

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**«ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ»**

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΚΑΡΑΦΙΝΑ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ  
ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ)  
ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ  
ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ ΚΩΣΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΧΑΝΙΑ  
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



## *Ευχαριστίες*

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την καθηγήτρια κ. Διονυσία Κολοκοτσά για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για τη βοήθεια που μου προσέφερε σε κάθε στάδιο, αλλά και τους καθηγητές της σχολής ΜΗΠΕΡ του Πολυτεχνείου Κρήτης που με καθοδήγησαν τα τελευταία πέντε χρόνια στο πολύ ενδιαφέρον και ευρύ αντικείμενο του Μηχανικού περιβάλλοντος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου που ήταν πάντα δίπλα μου και στήριζαν τις επιλογές μου, καθώς και όλους τους αγαπημένους μου φίλους, πολλούς από τους οποίους είχα την τύχη να γνωρίσω στη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων και να ζήσουμε αξέχαστες στιγμές.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι φυσικοί πόροι κάποια στιγμή θα εξαντληθούν, οδήγησε στην στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αναφορά στην ενεργειακή διαχείριση που ακολουθούν διεθνή Πανεπιστημιακά Ιδρύματα, κυρίως μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και άλλων πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση του Matlab και συγκεκριμένα του εργαλείου Statistics Toolbox. Αρχικά, συλλέγονται τα ενεργειακά δεδομένα από τους λογαριασμούς κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για την τετραετία 2009-2012. Έπειτα, ονοματίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή ζήτηση στο Πολυτεχνείο, ενώ τα δεδομένα αποτυπώνονται γραφικά. Στη συνέχεια, αναλύεται η διακύμανση τους, ομαδοποιούνται και εντοπίζεται η κατανομή που τα περιγράφει. Τέλος, παρατίθεται το Σχέδιο Βιώσιμης Ανάπτυξης του Πολυτεχνείου, που έχει ως στόχο την ευημερία του, και προτείνονται τρόποι βελτίωσής του.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>2</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή</b>	<b>5</b>
1.1 Το Ενεργειακό Πρόβλημα.....	5
1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας.....	6
1.3 Αειφόρος ανάπτυξη.....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ενεργειακή Διαχείριση</b>	<b>10</b>
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	10
2.2.1 Ηλιακή ενέργεια.....	11
2.2.1.α Ηλιακοί θερμοσίφωνες.....	12
2.2.1.β Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	13
2.2.2 Αιολική ενέργεια.....	14
2.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	15
2.2.4 Γεωθερμική ενέργεια.....	17
2.2.5 Βιομάζα.....	19
2.3 Άλλες πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας.....	21
2.3.1 Λαμπτήρες φωτισμού LED και αισθητήρες κίνησης.....	21
2.3.2 Συστήματα παρακολούθησης CO <sub>2</sub> .....	22
2.3.3 Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.....	23
2.3.4 Αποθήκευση θερμικής ενέργειας.....	25
2.3.5 Εξοικονόμηση ενέργειας H/Y.....	26
2.3.6 Πράσινες στέγες.....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων</b>	<b>29</b>
3.1 Εισαγωγή.....	29
3.2 Το Matlab.....	29
3.3 Organizing Data.....	30
3.4 Statistical Visualization.....	31
3.5 Analysis of Variance.....	31
3.5.1 One-Way ANOVA.....	32
3.5.1.α ANOVA table.....	33
3.5.1.β Box plots.....	34
3.6 Cluster Analysis.....	37
3.6.1 K-Means Clustering.....	38
3.7 Distribution plots.....	39
3.7.1 Normal distribution.....	40
3.7.2 T-distribution.....	40
3.7.3 Empirical distribution.....	41
3.7.4 Exponential distribution.....	42
3.7.5 Extreme value distribution.....	42
3.7.6 Lognormal distribution.....	43
3.7.7 Rayleigh distribution.....	43
3.7.8 Weibull distribution.....	44



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Στατιστική ανάλυση ενεργειακών δεδομένων</b>	<b>45</b>
4.1 Ενέργεια.....	45
4.2 Άεργα.....	46
4.3 Οι Ενεργειακές Απαιτήσεις στο Πολυτεχνείο Κρήτης.....	47
4.4 Παράγοντες επιρροής ενεργειακής ζήτησης.....	48
4.5 Γραφική απεικόνιση δεδομένων και συσχέτιση με τους παράγοντες επιρροής ενεργειακής ζήτησης.....	48
4.6 Ανάλυση Διακύμανσης.....	55
4.7 Ομαδοποίηση δεδομένων.....	60
4.8 Κατανομή δεδομένων.....	68
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Πράσινο Πολυτεχνείο</b>	 <b>78</b>
5.1 Εισαγωγή.....	78
5.2 Το σχέδιο.....	78
5.3 Προτάσεις.....	79
5.4 Συμπεράσματα.....	81
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	 <b>82</b>
I. Ετήσια δεδομένα.....	82
II. Μηνιαία δεδομένα.....	83
III. Ωριαία δεδομένα.....	84
IV. Εποχικά δεδομένα.....	85
 <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	 <b>86</b>



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

#### 1.1 Το Ενεργειακό Πρόβλημα

Η απρογραμμάτιστη τεχνολογική και βιομηχανική εξέλιξη, με αλματώδεις ρυθμούς, των τελευταίων τριάντα χρόνων, έχει ως απόρροια τη δημιουργία συνεχώς αυξανόμενων ανησυχιών για προβλήματα που δημιουργούνται στο περιβάλλον. Τα προβλήματα αυτά έγκεινται κυρίως στις εκπομπές αέριων ρύπων που προκύπτουν από την αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων και στη δημιουργία ραδιενεργών αποβλήτων, λόγω της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας.

Η εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων έχει συμβάλει αποτελεσματικά στην πρωτοφανή ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας τους τελευταίους δύο αιώνες. Εξαιτίας, όμως, της καθολικής επέμβασης της τεχνολογίας στην καθημερινότητα των ανθρώπων, η ενεργειακή ζήτηση παρουσιάζει δραματική άνοδο για τα δεδομένα των υφιστάμενων πόρων. Αποτέλεσμα των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών είναι η υπερκατανάλωση των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, η υπερκατανάλωση των πόρων αυτών, με απώτερη συνέπεια τη μείωση των αποθεμάτων τους, έχει συντελέσει στην ραγδαία αύξηση των τιμών τους και κυρίως του πετρελαίου.

Η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, σε συνδυασμό με την άνοδο στην τιμή του πετρελαίου, αλλά και των ορυκτών καυσίμων γενικότερα, και την μείωση των αποθεμάτων τους, έχει προκαλέσει έντονη ανησυχία στη διεθνή κοινότητα. Οι κυβερνήσεις και αρκετοί φορείς καλούνται να λύσουν αυτό το πρόβλημα, αναζητώντας άλλες ενεργειακές πηγές. Έτσι, έχει παρατηρηθεί μια στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες μπορούν να επιφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον.



Εικόνα 1.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

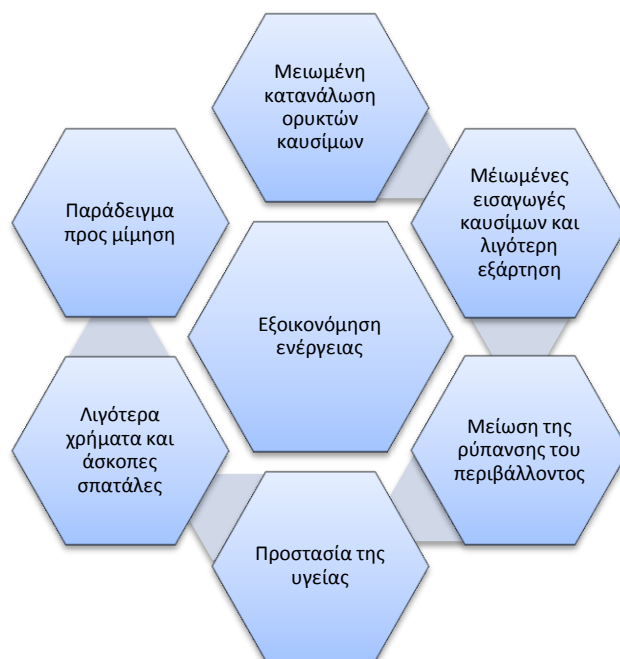


## 1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας

Η υιοθέτηση ενός τρόπου συμπεριφοράς που έχει ως συνέπεια τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι ευρύτερα γνωστή με τον όρο εξοικονόμηση ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να πάρει απλές διαστάσεις, όπως η απενεργοποίηση ενός υπολογιστή όταν αυτός δεν είναι σε χρήση, μέχρι πιο σύνθετες, όπως η ενεργειακή επιθεώρηση ενός κτιρίου για εύρεση πιθανών απωλειών ενέργειας και λήψη μέτρων. Η ουσιαστική εφαρμογή στην πράξη αυτής της συμπεριφοράς προϋποθέτει περιβαλλοντική συνείδηση από πλευράς πολιτών, η οποία είναι επίκτητη και άρρηκτα συνδεδεμένη με τη συστηματική πληροφόρηση. Η πληροφόρηση πρέπει να ξεκινά από το σχολείο και να συνεχίζεται σε κάθε ηλικιακό στάδιο για να έχει αποτέλεσμα.

Η ευαισθητοποίηση των πολιτών οδηγεί στη συνειδητοποίηση της ανάγκης για μείωση της εξάρτησης από τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η περιορισμένη χρήση ορυκτών καυσίμων συνεπάγεται και μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία είναι υπεύθυνα για τις κλιματικές αλλαγές του πλανήτη.

Κινητήρια δύναμη της εξοικονόμησης ενέργειας αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιεί τρόπους οι οποίοι συντελούν σ' αυτή τη μείωση και τελικά στη μειωμένη κατανάλωση καυσίμων. Η εξοικονόμηση ενέργειας προσπαθεί να εξισορροπήσει την μείωση στη σπατάλη των ενεργειακών αποθεμάτων με τη διατήρηση της άνεσης των καταναλωτών.



Εικόνα 1.2. Αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας



### 1.3 Αειφόρος ανάπτυξη

Η έκρηξη της τεχνολογικής εξέλιξης των τελευταίων δεκαετιών συνοδεύτηκε από πλήθος επιστημονικών ερευνών που είχαν ως αντικείμενο τη μελέτη του αντίκτυπου των τεχνολογικών επιτευγμάτων στο περιβάλλον. Οι έρευνες αυτές έφεραν στο προσκήνιο την υποβάθμιση και την καταπάτηση περιβάλλοντος και φυσικών πόρων. Με αυτό τον τρόπο, άρχισε να καλλιεργείται ένα έντονο συναίσθημα προστασίας του περιβάλλοντος, το οποίο ενισχύθηκε από την ανησυχία για τους πολυάριθμους κινδύνους που ελλόχευαν στην τεχνολογική άνοδη. Η κοινωνία, τότε, συνειδητοποίησε ότι η οικονομική ανάπτυξη οφείλει να συνάδει με το φυσικό περιβάλλον, προκειμένου να διασφαλίζεται η ισορροπία του πλανήτη.

Παγκόσμιοι φορείς άρχισαν να ψάχνουν λύσεις στην αντιμετώπιση του προβλήματος και η πρώτη απάντηση στην εναρμόνιση πόρων και οικονομικής προόδου ήρθε από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Το 1987, με τη μελέτη «Το Κοινό μας Μέλλον», εισήχθη για πρώτη φορά η έννοια της αειφορίας (sustainability) και της αειφόρου ανάπτυξης (sustainable development), η οποία είναι ευρέως γνωστή και ως έκθεση Brundtland<sup>[1]</sup>:

*"Αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Μέσα της περιέχει δύο βασικές έννοιες.:*

- *την έννοια των αναγκών, ιδίως των βασικών αναγκών των Τρίτου κόσμου, στην οποία πρέπει να δοθεί απόλυτη προτεραιότητα*
- *και στην ιδέα των περιορισμών που επιβάλλονται από την κατάσταση της τεχνολογίας και της κοινωνικής οργάνωσης στην ικανότητα του περιβάλλοντος να αντιμετωπίσει τις σημερινές και τις μελλοντικές ανάγκες. "*

Θεμελιώδης συνιστώσα της αειφόρου ανάπτυξης, ή αλλιώς βιώσιμης ανάπτυξης, είναι η παραδοχή ότι ο κόσμος συνιστά ένα ενιαίο σύστημα με παρόν και μέλλον. Το σύστημα αυτό μπορεί να αξιοποιήσει αγαθά και πόρους που του είναι απαραίτητα, με γνώμονα πάντα την ύπαρξη υλικών σε ικανοποιητική ποσότητα και στο μέλλον. Στόχος της αειφόρου ανάπτυξης είναι να βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου, μέσω της οικονομικής ανάπτυξης, με παράλληλο σεβασμό προς το περιβάλλον. Η επίτευξη αυτής της βιωσιμότητας προϋποθέτει την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων με τέτοιο ρυθμό, ώστε αυτός να μην ξεπερνά τον ρυθμό ανανέωσής τους. Σε διαφορετική περίπτωση, προκαλείται υποβάθμιση του περιβάλλοντος και υπάρχει μακροπρόθεσμος κίνδυνος εκδήλωσης οικολογικής κρίσης.

---

<sup>[1]</sup> Πηγή «Το Κοινό μας Μέλλον», Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, 1987





Άλλες σημαντικές αναφορές στην αειφόρο ανάπτυξη αποτελούν η Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (1992) και το πρωτόκολλο του Κιότο (1997), αλλά και η Ευρωπαϊκή Ένωση την έχει ενσωματώσει στις πολιτικές της.

Η αειφόρος ανάπτυξη αποτελεί πλέον θέμα συζήτησης σε όλα τα πολιτικά επίπεδα. Είναι το εργαλείο το οποίο έχει τη δυνατότητα να θέσει υπό έλεγχο την ταχύτητα της οικονομικής μεγέθυνσης, εξετάζοντας ένα εμπεριστατωμένο φάσμα διάφορων οικονομικών σχεδίων για κάθε μεμονωμένη περίπτωση. Ως τρισδιάστατο μέγεθος επιτρέπει αρμονική σύνδεση ανάμεσα σε περιβάλλον, κοινωνία και οικονομία, κάτι που την καθιστά απαραίτητη για την επίτευξη βιωσιμότητας.



Εικόνα 1.3. Συνιστώσες βιωσιμότητας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Ενεργειακή διαχείριση

#### 2.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποσκοπεί στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, με ταυτόχρονη διατήρηση της άνεσης των χρηστών. Κλειδί αυτής της διαδικασίας αποτελεί η ενεργειακή διαχείριση. Η ενεργειακή διαχείριση αφορά ένα σύνολο συνεχών δράσεων, οι οποίες είναι καθοριστικές για την αποδοτικότητα και την λειτουργικότητα, τόσο μακροπρόθεσμα, όσο και βραχυπρόθεσμα. Το επιθυμητό αποτέλεσμα, που δεν είναι άλλο από την εξοικονόμηση ενέργειας, δεν αλλάζει σε καμία από τις δύο περιπτώσεις.

Η σημασία της εξοικονόμησης στη βιωσιμότητα και την ευημερία την καθιστούν αναπόσπαστο κομμάτι της πολιτικής που ακολουθούν οργανισμοί, φορείς και κυβερνήσεις. Εξέχουσα θέση ανάμεσα στους οργανισμούς που προωθούν την εξοικονόμηση ενέργειας κατέχουν Πανεπιστημιακά Ιδρύματα διεθνούς φήμης, όπως το Boston University, το Princeton University, το Columbia University, καθώς και πολλά άλλα. Τα Πανεπιστήμια αυτά, άλλα υλοποιώντας το γνωστικό τους αντικείμενο, κι άλλα με πυξίδα την αειφορία, έχουν στραφεί στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην εφαρμογή άλλων τακτικών. Στόχος είναι η κάλυψη των ενεργειακών τους απαιτήσεων, με ταυτόχρονη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι πρακτικές αυτών των Ιδρυμάτων, άλλες πιο δύσκολα εφαρμόσιμες στα ελληνικά πανεπιστήμια και άλλες πολύ πιο απλές, παρατίθενται στο παρόν κεφάλαιο.

#### 2.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται ως ανεξάντλητες. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η αφθονία τους στη φύση. Η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, καθώς δεν αποδεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες ή άλλους ρύπους και απόβλητα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν έναν αποτελεσματικό τρόπο μείωσης της εξάρτησης από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και διακρίνονται στις εξής μορφές:

- ηλιακή ενέργεια
- αιολική ενέργεια
- υδροηλεκτρική ενέργεια
- γεωθερμική ενέργεια (γεωθερμία)
- βιομάζα
- ενέργεια των ωκεανών



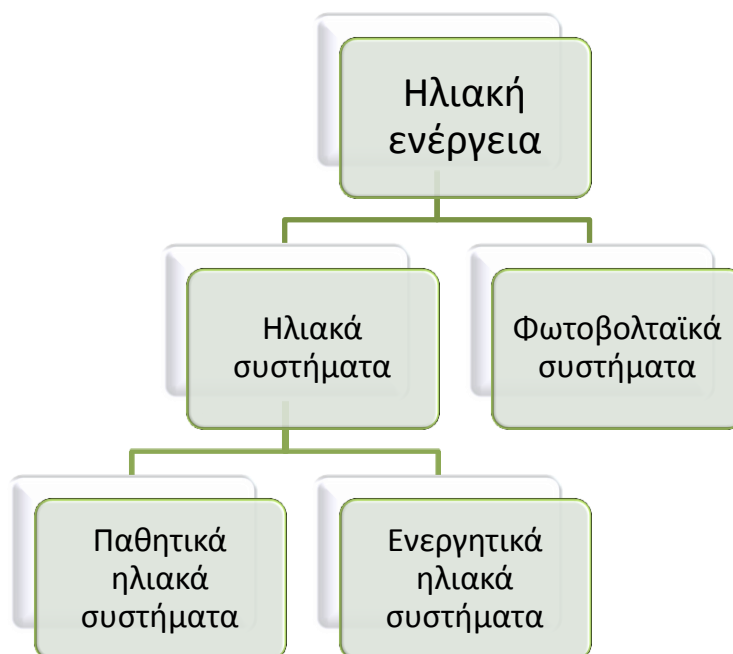
Πιο συγκεκριμένα, η οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ορίζει ότι <sup>[2]</sup>:

“Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια.”

Μέχρι σήμερα η διεθνής Πανεπιστημιακή κοινότητα δραστηριοποιείται σε αρκετούς τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την ηλιακή, την αιολική, την υδροηλεκτρική, τη γεωθερμική και την ενέργεια βιομάζας να είναι οι πιο δημοφιλείς. Τα αποτελέσματα της ενεργειακής διαχείρισης που σημειώνονται είναι θεαματικά και ενθαρρυντικά ως προς την εξάπλωση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 2.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας χωρίζεται στα ηλιοθερμικά συστήματα (παθητικά και ενεργητικά) και στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στην πρώτη κατηγορία η θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας υφίσταται άμεση εκμετάλλευση, ενώ στη δεύτερη κατηγορία πραγματοποιείται μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα.



<sup>[2]</sup> Πηγή «Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης», Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2009



### 2.2.1.α Ηλιακοί θερμοσίφωνες

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι ένα ενεργητικό ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού, που χρησιμοποιεί ως πηγή την ηλιακή ενέργεια. Τα συστήματα αυτά έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ζεστό νερό το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Ωστόσο, το χειμώνα, μερικές φορές, μπορεί να μην φθάνει η ηλιακή ακτινοβολία για την παροχή επαρκούς ζεστού νερού. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται κάποιο αέριο ή ηλεκτρισμός για να θερμάνει το νερό.

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες διακρίνονται σε δύο είδη ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου:

- Ανοικτού κυκλώματος: απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε).
- Κλειστού κυκλώματος: έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας).

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, έχουν όμως προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς) γιατί δεν μπορούμε να τους προσθέσουμε αντιψυκτικά μίγματα (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης). Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος μπορεί το θερμαινόμενο μέσο να είναι και άλλο ρευστό (πχ. λάδι). Αν είναι μόνο νερό, έχει αντιψυκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα για προστασία της συσκευής.

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας φυσικής κυκλοφορίας κατά την λειτουργία του εκμεταλλεύεται το φυσικό φαινόμενο της ροής των ρευστών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (διαφοράς πυκνότητας), γνωστό και σαν αρχή του θερμοσίφωνου. Έτσι πετυχαίνεται με φυσικό τρόπο χωρίς κυκλοφορητή (αντλία) συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου, από το θερμότερο σημείο (ηλιακοί συλλέκτες) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρις ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες θερμοκρασίες. Για να είναι αυτό δυνατό πρέπει το ψυχρότερο σημείο να είναι ψηλότερα από το θερμότερο σημείο και για τον λόγο αυτό σε όλους τους ηλιακούς θερμοσίφωνες η δεξαμενή αποθήκευσης είναι πάντα ψηλότερα από τους ηλιακούς συλλέκτες (σε περίπτωση που δημιουργηθούν φυσαλίδες αέρα στο κλειστό κύκλωμα η απόδοση του συστήματος μειώνεται).

Η συνολική απόδοση του ηλιακού θερμοσίφωνα εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος (ποιότητα) της συλλεκτικής επιφάνειας που σε συνάρτηση με το θερμοδοχείο (το οποίο όσο μικρότερο είναι ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία) καθώς και από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη νεφοκάλυψη και την αποτελεσματικότητα της θερμικής μόνωσης του συστήματος.

Η τοποθέτηση ηλιακών θερμοσίφωνων στις οροφές των κτιρίων στις Πανεπιστημιούπολεις μπορεί να εξοικονομήσει αρκετή ενέργεια, μέσω της θέρμανσης του νερού για τις εστίες, τα εστιατόρια και τα εργαστήρια. Ενδεικτικά, με τη χρήση του ηλιακού θερμοσίφωνα αποφεύγεται η έκλυση περίπου τριάντα τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.



*Εικόνα 2.2.1.α Ηλιακοί θερμοσίφωνες*

### **2.2.1.β Φωτοβολταϊκά συστήματα**

Τα φωτοβολταϊκά είναι μια μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνεχές ρεύμα, χρησιμοποιώντας ημιαγωγούς που εμφανίζουν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα απασχολεί ηλιακά πάνελ αποτελούμενα από έναν αριθμό ηλιακών κυττάρων για την παροχή ηλιακής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά έχει από καιρό θεωρηθεί ως μια καθαρά βιώσιμη ενεργειακή τεχνολογία η οποία αξιοποιεί την πιο άφθονη και ευρέως καταναεμημένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας του πλανήτη, τον ήλιο. Η άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια συμβαίνει χωρίς κινούμενα μέρη ή εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον κατά τη διαδικασία.

Τα ηλιακά κύτταρα μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ηλιακά κύτταρα χρησιμοποιούνται συχνά σε αριθμομηχανές και σε ρολόγια. Είναι κατασκευασμένα από ημιαγωγικά υλικά παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται σε τσιπ υπολογιστών. Όταν το ηλιακό φως απορροφάται από τα υλικά αυτά, η ηλιακή ενέργεια αποσπά τα ηλεκτρόνια από τα άτομα τους, επιτρέποντάς τους να ρέουν μέσα από το υλικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η διαδικασία μετατροπής φωτός (φωτόνια) σε ηλεκτρική ενέργεια (τάση) ονομάζεται φωτοβολταϊκό (PV) φαινόμενο.

Τα ηλιακά κύτταρα συνδυάζονται συνήθως σε ενότητες που κατέχουν περίπου 40 κύτταρα. Αρκετές από αυτές τις ενότητες είναι τοποθετημένες σε συστοιχίες φωτοβολταϊκών που μπορεί να φθάσουν πολλά μέτρα σε μήκος. Αυτές οι συστοιχίες μπορούν να τοποθετηθούν σε σταθερή γωνία με νότιο προσανατολισμό, ή σε μια συσκευή εντοπισμού που ακολουθεί τον ήλιο, συλλέγοντας έτσι το ηλιακό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας. Πολλές συνδεδεμένες συστοιχίες φωτοβολταϊκών μπορούν να παρέχουν αρκετή ενέργεια για ένα νοικοκυριό. Ηλιακά κύτταρα λεπτού φιλμ χρησιμοποιούν στρώματα ημιαγωγών υλικών μικρόμετρα πάχους. Η τεχνολογία





λεπτού φιλμ παρέχει τη δυνατότητα στα ηλιακά κύτταρα να διπλασιαστούν τώρα σε στέγες, κεραμίδια, προσόψεις κτιρίων ή αίθρια.

Μερικά ηλιακά κύτταρα έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με συμπυκνωμένο ηλιακό φως. Αυτά τα κύτταρα είναι ενσωματωμένα σε συμπυκνωμένους συλλέκτες που χρησιμοποιούν ένα φακό για να εστιάσει το φως του ήλιου πάνω σε αυτά. Η προσέγγιση αυτή έχει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών επίπεδης πλάκας. Η κύρια ιδέα είναι να χρησιμοποιούν πολύ λίγο από το ακριβό ημιαγωγό φωτοβολταϊκό υλικό, ενώ ταυτόχρονα να συλλέγουν όσο το δυνατό περισσότερο ηλιακό φως. Αλλά επειδή οι φακοί πρέπει να είναι στραμμένοι προς τον ήλιο, η χρήση των συμπυκνωμένων συλλεκτών περιορίζεται στις πιο ηλιόλουστες χώρες. Μερικοί συμπυκνωμένοι συλλέκτες έχουν σχεδιαστεί για να τους τοποθετούνται απλές συσκευές εντοπισμού, αλλά οι περισσότεροι απαιτούν εξελιγμένες συσκευές εντοπισμού, οι οποίες περιορίζουν τη χρήση τους σε ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, βιομηχανίες και μεγάλα κτίρια.

Η απόδοση ενός ηλιακού κυττάρου εξαρτάται από την άποψη της αποτελεσματικότητας της μετατροπής του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Μόνο το φως του ήλιου από ορισμένες πηγές θα λειτουργήσει αποτελεσματικά για τη δημιουργία της ηλεκτρικής ενέργειας, και ένα μεγάλο μέρος του αντανακλάται ή απορροφάται από το υλικό που συνθέτει το κύτταρο. Εξαιτίας αυτού, ένα τυπικό εμπορικό ηλιακό κύτταρο έχει απόδοση 15% (περίπου το ένα έκτο του ηλιακού φωτός που προσκρούει στο κύτταρο παράγει ηλεκτρική ενέργεια). Χαμηλή αποδοτικότητα σημαίνει ότι απαιτούνται μεγαλύτερες συστοιχίες, κάτι που συνεπάγεται υψηλότερο κόστος. Η βελτίωση της αποδοτικότητας των ηλιακών κυττάρων με ταυτόχρονη διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα είναι ένας σημαντικός στόχος της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που κατασκευάστηκαν το 1950, είχαν αποδόσεις μικρότερες από 4%.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να παίξουν καταλυτικό ρόλο στην ενεργειακή διαχείριση ενός Πανεπιστημίου, αποτελώντας την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, κυρίως σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια.



Εικόνα2.2.2 β Φωτοβολταϊκό πάνελ



### 2.2.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η μετατροπή της ενέργειας του ανέμου σε χρήσιμη μορφή ενέργειας, όπως είναι η χρήση ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανεμόμυλων για μηχανική ενέργεια, ή πανιά για την ώθηση των πλοίων.

Οι ανεμογεννήτριες, όπως και οι ανεμόμυλοι, είναι τοποθετημένες ψηλά για να συλλαμβάνουν περισσότερη ενέργεια. Σε 30 μέτρα ή περισσότερο, μπορούν να επωφεληθούν από τον ταχύτερο και λιγότερο ταραχώδη άνεμο. Οι τουρμπίνες πιάνουν την αιολική ενέργεια με έλικα σαν λεπίδα. Συνήθως, δύο ή τρία πτερύγια είναι τοποθετημένα επί ενός άξονα για να σχηματίσουν ένα ρότορα.

Μια λεπίδα δρα σαν το φτερό ενός αεροπλάνου. Όταν φυσάει ο άνεμος, ένας θύλακας χαμηλής πίεσης αέρα σχηματίζεται στην καθοδική πλευρά της λεπίδας. Τότε ο θύλακας αέρα χαμηλής πίεσης τραβά τη λεπίδα προς τη μεριά του, προκαλώντας το ρότορα να γυρίσει. Αυτό ονομάζεται άνωση. Η δύναμη της άνωσης είναι στην πραγματικότητα πολύ μεγαλύτερη από την δύναμη του ανέμου κατά την εμπρόσθια πλευρά της λεπίδας, η οποία ονομάζεται οπισθέλκουσα. Ο συνδυασμός της άνωσης και της οπισθέλκουσας προκαλεί το ρότορα να περιστρέφεται σαν προπέλα, και ο άξονας περιστροφής περιστρέφει μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Μεγάλα αιολικά πάρκα αποτελούνται από εκατοντάδες μεμονωμένες ανεμογεννήτριες οι οποίες συνδέονται με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Για νέες κατασκευές, η χερσαία αιολική ενέργεια είναι μια φθηνή πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανταγωνιστική ή σε πολλά μέρη φθηνότερη από ό, τι οι μονάδες ορυκτών καυσίμων. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια είναι σταθερότερη και ισχυρότερη από ό, τι στην ξηρά, αλλά το κόστος κατασκευής και συντήρησης είναι σημαντικά υψηλότερο.

Η αιολική ενέργεια, ως εναλλακτική λύση από τα ορυκτά καύσιμα, είναι άφθονη, ανανεώσιμη, ευρέως διανεμημένη, καθαρή, δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και χρησιμοποιεί λίγη έκταση γης. Οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον προκαλούν γενικά λιγότερα προβλήματα από ό, τι εκείνες που προέρχονται από άλλες πηγές ενέργειας. Από το 2011, η Δανία παράγει περισσότερο από το ένα τέταρτο της ηλεκτρικής της ενέργειας από αιολική και 83 χώρες σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια για την τροφοδότηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2010, η παραγωγή αιολικής ενέργειας ήταν πάνω από 2,5% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, και αυξάνεται ταχέως σε περισσότερο από 25% ετησίως.

Η αιολική ενέργεια είναι πολύ συνεπής από χρόνο σε χρόνο, αλλά έχει σημαντικές διαφορές σε μικρότερες χρονικές κλίμακες. Όσο το ποσοστό της αιολικής ενέργειας σε μια περιοχή αυξάνεται, μπορεί να εμφανιστεί η ανάγκη για την αναβάθμιση του δικτύου και μειωμένη ικανότητα αντικατάστασης της συμβατικής παραγωγής. Επιπλέον, η πρόγνωση του καιρού επιτρέπει στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να προετοιμαστεί για τις προβλέψιμες διακυμάνσεις της παραγωγής που συμβαίνουν.

Το 2001, το Πανεπιστήμιο Penn έγινε εθνικός ηγέτης στην χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της συμφωνίας του να αγοράσει, για τρία χρόνια, 20 εκατομμύρια κιλοβατώρες της αιολικής ενέργειας που παράγεται ετησίως. Το Penn χρηματοδότησε το κόστος ασφαλίστρου της αιολικής ενέργειας μέσω της εξοικονόμησης από την εφαρμογή ενός επιθετικού προγράμματος διατήρησης της

ενέργειας που μείωσε τη ζήτηση αιχμής κατά 18 τοις εκατό. Το Σεπτέμβριο του 2002, η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος και η Υπουργείο Προστασίας του Περιβάλλοντος της Πενσυλβανία τίμησε το Πανεπιστήμιο για την αφοσίωσή του στην εναλλακτική κατανάλωση ενέργειας. Το 2003, το Penn επεκτάθηκε στην αγορά αιολικής ενέργειας με δέσμευση 10 ετών, παρέχοντας σταθερή χρηματοδότηση που οδήγησε στην κατασκευή ενός νέου αιολικού πάρκου στην Πενσυλβανία με δώδεκα ανεμογεννήτριες.



*Εικόνα 2.2.3 Ανεμογεννήτριες*

### **2.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Η ροή του νερού δημιουργεί ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια ονομάζεται υδροηλεκτρική ενέργεια (hydroelectric power).

Ο πιο κοινός τύπος ενός υδροηλεκτρικού σταθμού χρησιμοποιεί ένα φράγμα σε ένα ποτάμι για την αποθήκευση νερού σε μια δεξαμενή. Το νερό που απελευθερώνεται από τη δεξαμενή ρέει μέσω μιας τουρμπίνας που το περιστρέφει, κι αυτό με τη σειρά του ενεργοποιεί μία γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν απαιτεί κατ' ανάγκη ένα μεγάλο φράγμα. Μερικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν απλά ένα μικρό κανάλι για τη διοχέτευση του νερού του ποταμού μέσω ενός στροβίλου.





Ένας άλλος τύπος υδροηλεκτρικής μονάδας παραγωγής ενέργειας, που ονομάζεται pumped storage plant (μονάδα άντλησης-αποθήκευσης), μπορεί ακόμα και να αποθηκεύσει ενέργεια. Η ενέργεια στέλνεται από ένα ηλεκτρικό δίκτυο στις ηλεκτρικές γεννήτριες. Οι γεννήτριες τότε περιστρέφουν προς τα πίσω τις τουρμπίνες, πράγμα το οποίο προκαλεί την άντληση του νερού από το ποτάμι ή από μια χαμηλότερη δεξαμενή σε μια ανώτερη, όπου αποθηκεύεται η ενέργεια. Για τη χρήση της, το νερό απελευθερώνεται από την άνω δεξαμενή πίσω στο ποτάμι ή στη χαμηλότερη δεξαμενή. Αυτό περιστρέφει τις τουρμπίνες προς τα εμπρός, ενεργοποιώντας τις γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παράγει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για ένα σπίτι ή αγρόκτημα.

Υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε 150 χώρες, με την περιοχή Ασίας-Ειρηνικού να παράγει 32 τοις εκατό της παγκόσμιας υδροηλεκτρικής ενέργειας το 2010. Ήταν η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας για το 2010, αντιπροσωπεύοντας το 16 τοις εκατό της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (3.427 τεραβατώρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας). Η Κίνα ήταν ο μεγαλύτερος παραγωγός υδροηλεκτρικής ενέργειας για το 2010, με 721 τεραβατώρες της παραγωγής, που αντιπροσώπευαν περίπου το 17 τοις εκατό της εγχώριας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν τέσσερα εργοστάσια υδροηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερης από 10 GW: το «Three Gorges Dam» και το «Xiluodu Dam» στην Κίνα, το «Itaipu» Dam πέρα από τα σύνορα Βραζιλίας-Παραγουάης, και το «Guri Dam» στη Βενεζουέλα.

Το κόστος της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά χαμηλό, καθιστώντας το μια ανταγωνιστική πηγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι, επίσης, μια εύελικτη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι η ποσότητα που παράγεται από τη μονάδα μπορεί να αλλάξει προς τα πάνω ή προς τα κάτω πολύ γρήγορα προκειμένου να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ενέργειας. Ωστόσο, η κατασκευή φραγμάτων διακόπτει τη ροή των ποταμών και μπορεί να βλάψει τα τοπικά οικοσυστήματα, και η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και δεξαμενών συχνά περιλαμβάνει τον εκτοπισμό των ανθρώπων και της άγριας ζωής. Μόλις κατασκευάζεται ένα υδροηλεκτρικό συγκρότημα, το έργο δεν παράγει άμεσα αποβλήτα, και έχει μια σημαντικά χαμηλότερη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (αέριο του θερμοκηπίου) απ' ό, τι οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα.



Εικόνα 2.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια-Φράγμα



Το Πανεπιστήμιο Cornell μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρωτοπόρο στην αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, καθώς διαθέτει υδροηλεκτρική μονάδα σχεδόν έναν αιώνα τώρα. Η πρώτη μονάδα κατασκευάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1880, ενώ το 1904 η μονάδα μεταφέρθηκε στη θέση που βρίσκεται μέχρι και σήμερα. Η μέση παραγωγή της μονάδας μπορεί να αγγίζει τα 4,5-5,5 εκ. KWh το χρόνο, ανάλογα με τις βροχοπτώσεις. Το Πανεπιστήμιο, τώρα, σχεδιάζει την αναβάθμιση της εγκατάστασης, η οποία αναμένεται να επιφέρει αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής κατά 1 εκατομμύριο KWh ετησίως και παράλληλη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 450-600 μετρικούς τόνους ανά χρόνο.

### 2.2.5 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια (geothermal energy) είναι η θερμική ενέργεια που παράγεται και αποθηκεύεται στη Γη. Θερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που καθορίζει την θερμοκρασία της ύλης. Η γεωθερμική ενέργεια του φλοιού της Γης προέρχεται από τον αρχικό σχηματισμό του πλανήτη κατά 20% και από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των ορυκτών κατά 80%. Η γεωθερμική βαθμίδα, η οποία είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του πυρήνα του πλανήτη και της επιφάνειάς του, κινεί μια συνεχή διεξαγωγή θερμικής ενέργειας υπό μορφή θερμότητας από τον πυρήνα προς την επιφάνεια.

Η εσωτερική θερμότητα της Γης είναι η θερμική ενέργεια που παράγεται από τη ραδιενεργό διάσπαση και τη συνεχή απώλεια θερμότητας από το σχηματισμό της Γης. Οι θερμοκρασίες στα όρια πυρήνα-μανδύα μπορεί να φτάσουν πάνω από 4000 ° C (7.200 ° F). Η υψηλή θερμοκρασία και η πίεση στο εσωτερικό της Γης προκαλεί τα πετρώματα να λιώνουν (μάγμα) και το στερεό μανδύα να συμπεριφέρεται πλαστικά, με αποτέλεσμα τμήματα του μανδύα να κινούνται προς τα άνω, δεδομένου ότι είναι ελαφρύτερα από το περιβάλλον πέτρωμα. Πετρώματα και νερό θερμαίνονται στο φλοιό, μερικές φορές μέχρι και 370 ° C (700 ° F).

Το ρηχό έδαφος, ή περίπου πάνω από 3 μέτρα από την επιφάνεια της Γης, διατηρεί μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία μεταξύ 10 ° και 16 ° C (50 ° και 60 ° F). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να αξιοποιήσουν αυτόν τον πόρο για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων. Ένα γεωθερμικό σύστημα αντλίας θερμότητας αποτελείται από μια αντλία θερμότητας, ένα σύστημα παροχής αέρα (αεραγωγών), και έναν εναλλάκτη θερμότητας (ένα σύστημα σωλήνων θαμμένο στο ρηχό έδαφος κοντά στο κτίριο). Το χειμώνα, η αντλία θερμότητας αφαιρεί θερμότητα από τον εναλλάκτη και την αντλεί στην εσωτερικό σύστημα παροχής αέρα. Το καλοκαίρι, η διαδικασία αντιστρέφεται, και η αντλία θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα μέσα στον εναλλάκτη. Η θερμότητα που απομακρύνεται από τον εσωτερικό αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να παροχή ζεστού νερού.



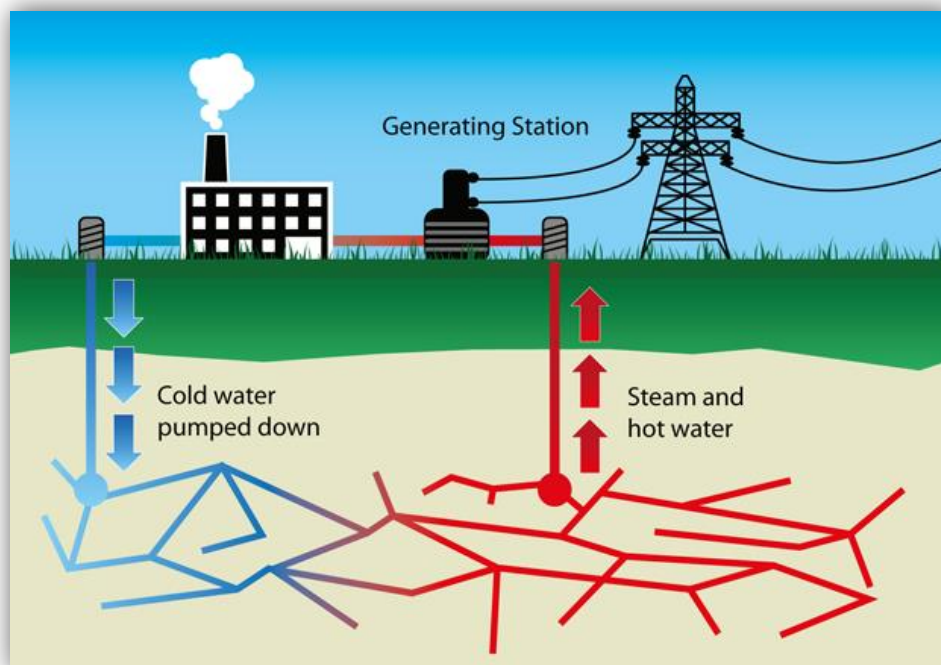
Πηγές θερμών και ξηρών πετρωμάτων προκύπτουν σε βάθος 3 με 5 μίλια παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης και σε μικρότερο βάθος σε ορισμένες περιοχές. Η πρόσβαση σε αυτές τις πηγές περιλαμβάνει την έγχυση κρύου νερού κάτω από ένα πηγάδι, που κυκλοφορεί μέσω του θερμού σπασμένου βράχου, και την άντληση του θερμαινόμενου νερού από ένα άλλο πηγάδι. Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν εμπορικές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας. Η υπάρχουσα τεχνολογία δεν επιτρέπει ακόμη την ανάκτηση της θερμότητας απευθείας από το μάγμα, την βαθιά και πιο ισχυρή πηγή γεωθερμικής ενέργειας. Πηγάδια, επίσης, μπορούν να ανοιχτούν σε υπόγειες δεξαμενές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κάποια γεωθερμικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν τον ατμό από μια δεξαμενή για να τροφοδοτήσουν μια τουρμπίνα / γεννήτρια, ενώ άλλα χρησιμοποιούν το ζεστό νερό για το βρασμό ενός φέροντος ρευστού, που εξατμίζεται και στη συνέχεια γυρίζει ένα στρόβιλο. Ζεστό νερό κοντά στην επιφάνεια της Γης μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή θερμότητας. Εφαρμογές άμεσης χρήσης περιλαμβάνουν τη θέρμανση των κτιρίων, την καλλιέργεια φυτών σε θερμοκήπια, ξήρανση των καλλιεργειών, τη θέρμανση του νερού σε ιχθυοτροφεία, και πολλές βιομηχανικές διεργασίες, όπως η παστερίωση του γάλακτος.

Από τις ιαματικές πηγές, η γεωθερμική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί για κολύμβηση από την παλαιολιθική εποχή και για θέρμανση χώρων από τους αρχαίους ρωμαϊκούς χρόνους, αλλά είναι τώρα περισσότερο γνωστή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παγκοσμίως, 11.400 MW γεωθερμικής ενέργειας ήταν συνδεδεμένα σε 24 χώρες, μέχρι το 2012, ενώ επιπλέον 28 GW άμεσης ικανότητας γεωθερμικής θέρμανσης είχαν εγκατασταθεί για τηλεθέρμανση, θέρμανση χώρου, ιαματικά λουτρά, βιομηχανικές διεργασίες, αφαλάτωση και γεωργικές εφαρμογές μέχρι το 2010.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι οικονομικά αποδοτική, αξιόπιστη, βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον, αλλά ιστορικά έχει περιοριστεί σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε όρια τεκτονικών πλακών. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επεκτείνει δραματικά το εύρος και το μέγεθος των βιώσιμων πόρων, ειδικά για εφαρμογές, όπως η οικιακή θέρμανση, ανοίγοντας το δρόμο για ευρεία εκμετάλλευση. Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου που είναι παγιδευμένα βαθιά μέσα στη γη, αλλά οι εκπομπές αυτές είναι πολύ χαμηλότερες ανά μονάδα ενέργειας από εκείνες των ορυκτών καυσίμων. Ως αποτέλεσμα, η γεωθερμική ενέργεια έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, εάν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη θέση των ορυκτών καυσίμων.

Οι γεωθερμικοί πόροι της Γης είναι θεωρητικά περισσότερο από επαρκείς για τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας, αλλά μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό θα μπορέσει να αξιοποιηθεί κατάλληλα. Η διαδικασία της διάτρησης και της εξερεύνησης για βαθιά πηγές είναι πολύ ακριβή. Πολλές τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για να επωφεληθούν της γεωθερμικής ενέργειας. Οι προβλέψεις για το μέλλον της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτώνται από παραδοχές σχετικά με την τεχνολογία, το κόστος της ενέργειας, τις επιδοτήσεις, και τα επιτόκια.

Το Columbia University αποφάσισε πρόσφατα την ανακαίνιση σε αρκετά κτίρια του, γεγονός που θα αξιοποιήσει περίπου 600 μέτρα βάθους γεωθερμικών πηγαδιών. Τα πηγάδια αυτά θα είναι σε θέση να παρέχουν θέρμανση και ψύξη στην Πανεπιστημιούπολη, επιτυγχάνοντας 50-60% εξοικονόμηση ενέργειας. Το πλάνο αυτό θα ωφελήσει όχι μόνο τη βιωσιμότητα του Πανεπιστημίου, αλλά και την κοινότητα στο σύνολό της.



Εικόνα 2.2.5 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμική

### 2.2.5 Βιομάζα

Η βιομάζα είναι βιολογικό υλικό που προέρχεται από ζωντανούς ή πρόσφατα ζώντες οργανισμούς. Αναφέρεται πιο συχνά στα φυτά ή τα φυτικά υλικά τα οποία καλούνται συγκεκριμένα λιγνοκυτταρινική βιομάζα. Ως πηγή ενέργειας, η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας μέσω της καύσης για την παραγωγή θερμότητας, είτε έμμεσα μετά τη μετατροπή της σε διάφορες μορφές βιοκαυσίμων. Μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμα μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους οι οποίες σε γενικές γραμμές ταξινομούνται σε: θερμικές, χημικές και βιοχημικές.

Το ξύλο παραμένει η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας βιομάζας έως σήμερα. Παραδείγματα αποτελούν τα δασικά υπολείμματα (όπως νεκρά δέντρα, κλαδιά και κούτσουρα δέντρων), τα υπολείμματα κήπων, τα ροκανίδια, ακόμα και τα αστικά στερεά απόβλητα. Στη δεύτερη έννοια, η βιομάζα περιλαμβάνει φυτική ή ζωική ύλη που μπορεί να μετατραπεί σε ίνες ή άλλες βιομηχανικές χημικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων. Η βιομηχανική βιομάζα μπορεί να προέρχεται από πολλά είδη φυτών, όπως ο μίσχανθος, η κάνναβη, το καλαμπόκι, οι λεύκες, οι ιτιές, το ζαχαροκάλαμο, το μπαμπού, καθώς και μια ποικιλία από είδη δέντρων, που κυμαίνονται από ευκάλυπτο ως φοινικέλαιο.

Η φυτική ενέργεια παράγεται από καλλιέργειες που αναπτύσσονται ειδικά για να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα τα οποία προσφέρουν υψηλή απόδοση βιομάζας ανά εκτάριο με χαμηλή εισροή ενέργειας. Μερικά παραδείγματα από αυτά τα φυτά είναι





το σιτάρι, το οποίο αποφέρει συνήθως 7,5-8 τόνους ανά εκτάριο, και το άχυρο, το οποίο αποφέρει συνήθως 3,5-5 τόνους ανά εκτάριο στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το σιτάρι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υγρά καύσιμα μεταφορών, ενώ το άχυρο μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Η φυτική βιομάζα μπορεί επίσης να αποικοδομηθεί από κυτταρίνη σε γλυκόζη μέσω μιας σειράς χημικών επεξεργασιών, και το προκύπτον σάκχαρο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο πρώτης γενιάς.

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας όπως το φυσικό αέριο ή τα καύσιμα μεταφορών όπως η αιθανόλη και το βιοντίζελ. Τα σκουπίδια που βρίσκονται σε αποσύνθεση, καθώς και τα γεωργικά και τα ανθρώπινα απόβλητα, απελευθερώνουν όλα μεθάνιο, το οποίο είναι γνωστό ως βιοαέριο. Καλλιέργειες, όπως το καλαμπόκι και η ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο, μπορούν να υποστούν ζύμωση για την παραγωγή του καυσίμου μεταφορών, την αιθανόλη. Το βιοντίζελ, άλλο ένα καύσιμο μεταφορών, μπορεί να παραχθεί από υπολείμματα τροφών, όπως τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη.

Υπάρχει μια μεγάλη έρευνα για τη χρήση φυκιών ως βιομάζα, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι δεν αποτελούν τρόφιμα και μπορούν να παραχθούν σε ποσοστά 5 έως 10 φορές πιο γρήγορα από ό, τι άλλα είδη χερσαίων καλλιεργειών, όπως το καλαμπόκι και η σόγια. Μετά τη συγκομιδή, μπορούν να υποστούν ζύμωση για την παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως η αιθανόλη, η βουτανόλη, και το μεθάνιο, καθώς και το βιοντίζελ και το υδρογόνο.

Η βιομάζα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει ανάλογα με την περιοχή. Δασικά υποπροϊόντα, όπως τα κατάλοιπα ξυλείας, είναι πολύ συνηθισμένα σαν πρώτη ύλη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στη Μαυρίκιο υπερτερούν γεωργικά υπολείμματα όπως ζαχαροκάλαμα, ενώ στη Νοτιοανατολική Ασία φλοιοί ρυζιού. Κτηνοτροφικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Το Πανεπιστήμιο της Αϊόβα κατέχει ηγετική θέση στις στρατηγικές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των βιώσιμων πρακτικών. Πρόσφατα, δεσμεύτηκε για αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μειώνοντας έτσι την εξάρτησή του από τον άνθρακα και την αγορά ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου. Το σχέδιο αυτό απαιτεί από το Πανεπιστήμιο να καλύψει το 40% των ενεργειακών του απαιτήσεων από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2020. Επίκεντρο αυτής της στρατηγικής αποτελεί η αντικατάσταση του άνθρακα με βιομάζα. Η πρωτοπορία του Πανεπιστημίου έγκειται στη χρήση της βρώμης ως πηγής καυσίμου, η οποία είναι οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον. Η ενέργεια που παράγεται από την καύση του φλοιού της βρώμης αντικαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση άνθρακα. Οι φλοιοί βρώμης είναι η βιομάζα και η καύση της βιομάζας δεν οδηγεί σε νέες εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Όσο το φυτό μεγαλώνει, απορρόφα CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα και απελευθερώνει οξυγόνο (φωτοσύνθεση). Όταν η φυτική ύλη καίγεται, το ατμοσφαιρικό οξυγόνο χρησιμοποιείται στην καύση και το CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται πίσω στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, όταν καίγονται ορυκτά καύσιμα (όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο) το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνουν προστίθεται στην παγκόσμια απογραφή του CO<sub>2</sub>, επειδή ο άνθρακας του καυσίμου προήλθε από υπόγεια (σε σχέση με την ατμόσφαιρα).



Εικόνα 2.2.6. Τύποι βιομάζας

## 2.3 Άλλες πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας

Πέρα από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα Πανεπιστημιακά Ιδρύματα έχουν προχωρήσει στην εφαρμογή και άλλων τακτικών που συμβάλουν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Κάποιες από αυτές είναι πιο απλές, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και κάποιες άλλες πιο σύνθετες και δαπανηρές, όπως το σύστημα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

### 2.3.1 Λαμπτήρες φωτισμού LED και αισθητήρες κίνησης

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, πολλές πανεπιστημιούπολεις έχουν προχωρήσει στην αντικατάσταση των παλαιών λαμπτήρων αλογονούχων μετάλλων με πιο αποδοτικούς ενεργειακά λαμπτήρες LED (light-emitting diode bulbs). Οι λαμπτήρες LED καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια (watts) σε σχέση με την ποσότητα του φωτός που παράγουν (lumens), βοηθώντας έτσι στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Το περιβαλλοντικό όφελος των λαμπτήρων φθορισμού στηρίζεται στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ένας λαμπτήρας φθορισμού 27 watt έχει την ίδια απόδοση φωτός, όπως μία λάμπα πυρακτώσεως 100 watt κι αυτό μεταφράζεται σε ένα ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κοντά στο 75 τοις εκατό. Αυτό σημαίνει λιγότερη ενέργεια, ρύποι και αέρια του θερμοκηπίου που συνδέονται με την παραγωγή αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα φθορισμού 27 watt μικρού μεγέθους θα εξοικονομήσει περισσότερα από 1000 κιλά διοξειδίου του άνθρακα από το να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα σε σύγκριση με την λάμπα 100 watt. Επιπλέον, ο συμβατικός λαμπτήρας πυρακτώσεως διαρκεί 750 ώρες, ενώ η μία λάμπα φθορισμού 10.000 ώρες.



Σε πολλές πανεπιστημιούπολεις τα συστήματα ελέγχου φωτισμού περιλαμβάνουν αισθητήρες στις περισσότερες ακαδημαϊκές θέσεις. Αυτές οι συσκευές αποτρέπουν τα φώτα από το να μείνουν ανοιχτά όταν δεν χρειάζεται. Πρόσφατες τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν κάνει τους αισθητήρες πολύ πιο αξιόπιστους από ό, τι ήταν στο παρελθόν, κρίνοντας αν ένας χώρος είναι πραγματικά κενός και σβήνοντας τα φώτα ανάλογα.

**Πίνακας σύγκρισης λαμπτήρων**

	<b>Λάμπες LED</b>	<b>Λάμπες αλογόνου</b>	<b>Λάμπες πυρακτώσεως</b>
<b>Μέση διάρκεια ζωής</b>	25.000+ ώρες	8.000 ώρες	1.200+ ώρες
<b>Watts</b>	8-12 watts	13-15 watts	60 watts
<b>Kilo-watts*</b>	44 KWh/yr	55 KWh/yr	219 KWh/yr
<b>Εκπομπές CO<sub>2</sub>*</b>	45 pounds/yr	56 pounds/yr	225 pounds/yr

*\*ανά λαμπτήρα, βασισμένο σε λειτουργία 10 ώρες τη μέρα, 365 μέρες το χρόνο*

### 2.3.2 Συστήματα παρακολούθησης CO<sub>2</sub>

Η παρακολούθηση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα εστιάζει στον εντοπισμό του ποσού του διοξειδίου του άνθρακα, που παράγεται εξαιτίας συγκεκριμένης δραστηριότητας, σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο. Για παράδειγμα, μπορεί να υποδηλώνει την παρακολούθηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από την αλλαγή χρήσης γης, όπως η αποψίλωση των δασών ή η γεωργία, είτε από την καύση ορυκτών καυσίμων, είτε από μια μονάδα παραγωγής ενέργειας. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο κοινό από τα αέρια του θερμοκηπίου που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Το γεγονός αυτό καθιστά την παρακολούθηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ως ζωτικής σημασίας, για κάθε προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών και, συνεπώς, για κάθε προσπάθεια επίτευξης αργής κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, η έλλειψη αξιόπιστων πηγών συνεκτικών δεδομένων σχετικά με τις εκπομπές αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στις προσπάθειες αυτές.

Συστήματα παρακολούθησης των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα εντοπίζονται στα περισσότερα σύγχρονα πανεπιστήμια. Τα συμβατικά συστήματα εξαερισμού αντλούν αέρα από το περιβάλλον στο εσωτερικό των κτιρίων στην πανεπιστημιούπολη για να αντικαταστήσουν το CO<sub>2</sub> που εκπνέουμε με οξυγόνο. Οι αντλίες λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Παλαιότερα, οι αντλίες λειτουργούσαν συνεχώς με τον ίδιο ρυθμό, ανεξάρτητα από το αν το κτίριο απασχολούνταν από



φοιτητές ή καθηγητές, ή αν χρειαζόταν φρέσκος αέρας. Τώρα, εγκαθίστανται οθόνες παρακολούθησης που μπορούν να επιβραδύνουν ή να σταματήσουν τις αντλίες, όταν τα κτίρια περιέχουν το σωστό επίπεδο οξυγόνου. Οι οθόνες θέτουν τις αντλίες και πάλι σε λειτουργία, όταν είναι απαραίτητος καθαρός αέρας, λόγω της ανίχνευσης υψηλού ποσοστού CO<sub>2</sub>.

### 2.3.3 Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Heat and Power Generation) ή συμπαράγωγή είναι η χρήση ενός θερμικού κινητήρα ή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρήσιμης θερμότητας.

Η συμπαράγωγή είναι μια θερμοδυναμικά αποτελεσματική χρήση των καυσίμων. Στην απλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κάποιο ποσοστό ενέργειας απορρίπτεται ως θερμικό απόβλητο, ενώ αντίθετα στη συμπαράγωγή αυτή η θερμική ενέργεια διατίθενται προς χρήση. Όλοι οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί εκπέμπουν θερμότητα κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία απελευθερώνεται στο φυσικό περιβάλλον μέσα από πύργους ψύξης, καυσάερια, ή άλλα μέσα. Αντιθέτως, η συμπαράγωγή συλλαμβάνει μερικό ή όλο από το υποπροϊόν για τη θέρμανση, είτε πολύ κοντά στη μονάδα είτε ως ζεστό νερό για τηλεθέρμανση με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από περίπου 80 έως 130 ° C. Αυτή η θερμότητα σε μέτριες θερμοκρασίες (100-180 ° C, 212 έως 356 ° F) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ψύξη.

Η παροχή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας ωθεί πρώτα μια γεννήτρια ατμού με στροβιλοκινητήρα και η θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας που προκύπτει χρησιμοποιείται στη συνέχεια για νερό ή θέρμανση χώρου. Σε μικρότερες κλίμακες (συνήθως κάτω από 1 MW) μπορούν να χρησιμοποιηθούν πετρελαιοκινητήρες ή κινητήρες υγραερίου. Η αυξημένη έμφαση στη βιωσιμότητα έχει κάνει τη βιομηχανική συμπαράγωγή πιο ελκυστική, δεδομένου ότι μειώνει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα σε σχέση με την παραγωγή ατμού ή την επιτόπια καύση και εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

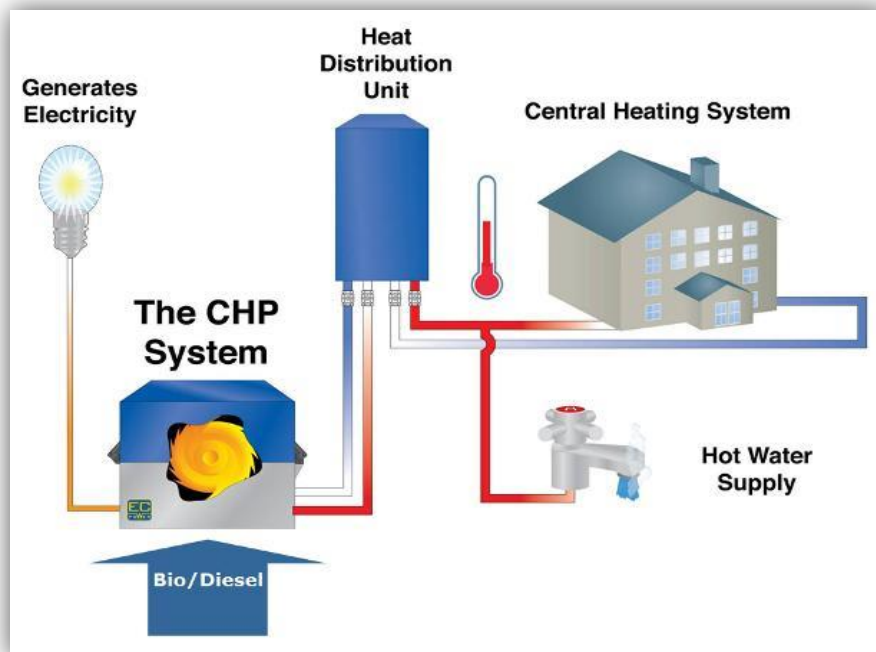
Για πολλούς οργανισμούς, η συμπαράγωγή είναι το μέτρο που προσφέρει την πιο σημαντική μεμονωμένη ευκαιρία για μείωση του ενεργειακού κόστους και βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων, με τους υπάρχοντες χρήστες της συμπαράγωγής να εξοικονομούν τυπικά περίπου 20% του ενεργειακού τους κόστους. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Η συμπαράγωγή έχει συνήθως απόδοση άνω του 80%.
- Οι χειριστές μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 30% στους λογαριασμούς ρεύματος.
- Οι χειριστές μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 30% για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
- Οι απώλειες μεταφοράς και διανομής μειώνονται.
- Αυξάνεται η ασφάλεια εφοδιασμού με καύσιμα.



Συμπαράγωγή εφαρμόστηκε σε ορισμένες από τις πρώτες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πριν από τους κεντρικούς σταθμούς παροχής ενέργειας, βιομηχανίες που παρήγαγαν τη δική τους ενέργεια χρησιμοποιούσαν ατμούς καυσαερίων για τη διαδικασία της θέρμανσης. Συμπαράγωγή εξακολουθεί να εφαρμόζεται σε χαρτοβιομηχανίες, διυλιστήρια και εργοστάσια χημικών.

Τρανό παράδειγμα συμπαράγωγής αποτελεί η μονάδα που διαθέτει το Πανεπιστήμιο του Maryland. Το σύστημα παράγει το σύνολο του ατμού που απαιτείται για τη θέρμανση και σε ορισμένες περιπτώσεις την ψύξη του Πανεπιστημίου. Η μονάδα είναι σε θέση να παράγει έως και 90 τοις εκατό της ηλεκτρικής ζήτησης του Πανεπιστημίου το χειμώνα και περίπου το 50 τοις εκατό της ηλεκτρικής ζήτησης του καλοκαιριού. Αποτελούμενο από δύο αεριοστρόβιλους καύσης, ένα ατμοκίνητο ηλεκτρικό στρόβιλο και δύο γεννήτριες ατμού με ανάκτηση θερμότητας, το σύστημα λειτουργεί σε αποδόσεις της τάξης του 70 τοις εκατό, σημαντικά υψηλότερες από ό, τι επιτυγχάνουν ανεξάρτητοι λέβητες ατμού και ηλεκτρικές γεννήτριες του ίδιου μεγέθους. Το σύστημα απαιτεί περίπου 16 τοις εκατό λιγότερα καύσιμα από ό, τι η τυπική αγορασθείσα ηλεκτρική ενέργεια με την ξεχωριστή παραγωγή ατμού, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, και περίπου 53.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως.



Εικόνα2.3.3 Συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού



### 2.3.4 Αποθήκευση θερμικής ενέργειας

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας (Thermal Energy Storage-TES) επιτυγχάνεται με πολύ διαφορετικές τεχνολογίες που μπορούν να φιλοξενήσουν από κοινού ένα ευρύ φάσμα αναγκών. Επιτρέπει στην περίσσεια θερμικής ενέργειας να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση, ώρες, ημέρες ή και πολλούς μήνες αργότερα, σε κτίριο, πόλη ή ακόμα και σε περιφερειακή κλίμακα, ανάλογα με τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Με αυτό τον τρόπο, η ζήτηση ενέργειας μπορεί να ισορροπηθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας, η ζέστη του καλοκαιριού από τους ηλιακούς συλλέκτες μπορεί να αποθηκευτεί για χρήση το χειμώνα και ο κρύος αέρας του χειμώνα μπορεί να παρέχεται για κλιματισμό το καλοκαίρι. Το μέγεθος των δεξαμενών αποθήκευσης ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις, ενώ η μορφολογία τους περιλαμβάνει διάφορα αδιαπέραστα στρώματα με μονωτικά υλικά.

Άλλες πηγές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας περιλαμβάνουν:

- τη ζέστη ή το κρύο που παράγεται με αντλίες θερμότητας εκτός των ωρών αιχμής, κάτι που συνεπάγεται με χαμηλότερο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρακτική αυτή ονομάζεται «peak shaving».
- τη θερμότητα που προκύπτει από το συνδυασμό παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- τη θερμότητα που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία υπερβαίνει τη ζήτηση του δικτύου και τη θερμότητα των αποβλήτων από βιομηχανικές διεργασίες.

Σε πολλές πανεπιστημιούπολεις, όπως στο πανεπιστήμιο του Birmingham, λειτουργεί ένα σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας που μειώνει το κόστος της ενέργειας και την κατανάλωση ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Το σύστημα δροσίζει το νερό το βράδυ και το αποθηκεύει για ημερήσια χρήση. Η ψύξη του νερού τη νύχτα περιορίζει το κόστος της ενέργειας στις ώρες αιχμής και μειώνει το φορτίο της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών της μονάδας σε περιόδους υψηλών επιπέδων του όζοντος.



Εικόνα 2.3.4. Thermal Storage Tank



### 2.3.5 Εξοικονόμηση ενέργειας Η/Υ

Οι επιτραπέζιοι υπολογιστές καταναλώνουν κατά μέσο όρο 60-500 watts όταν είναι σε ενεργή χρήση, ενώ σε κατάσταση αναμονής η κατανάλωση ενέργειας πέφτει στα 2-6 watts. Μεταφρασμένο σε κιλοβατώρες, ένας υπολογιστής σε χρήση για μία ώρα θα καταναλώσει 0,06kWh. Με την τρέχουσα μέση τιμή σε 0,10252 € ανά kWh και με την παραδοχή ότι οι περισσότεροι υπολογιστές μένουν ανοιχτοί για 24 ώρες την ημέρα, το κόστος κυμαίνεται από 54 έως 450€ ανά υπολογιστή ετησίως. Υποθέτοντας ότι στο Πολυτεχνείο Κρήτης υπάρχουν περίπου 3.500 υπολογιστές σε εργαστήρια, γραφεία και κοιτώνες, τα έξοδα για την λειτουργία των υπολογιστών ανέρχονται από 189.000€ σε 1.575.000€ ετησίως. Αυτό το ποσό σε kWh που χρησιμοποιείται για όλους αυτούς τους υπολογιστές είναι ισοδύναμο με χιλιάδες μετρικούς τόνους διοξειδίου του άνθρακα ετησίως ( $\text{MtCO}_2\text{e / yr}$ ).

Το ποσό της ενέργειας που καταναλώνουν οι υπολογιστές κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος που βασίζεται στο μέγεθος της οθόνης και στο αν αυτή είναι οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) ή καθοδικού σωλήνα (CRT). Οι οθόνες LCD και CRT διαφέρουν ως προς τον τρόπο που παράγουν φως και εικόνες. Ωστόσο, ένας υπολογιστής με οθόνη CRT απαιτεί περισσότερη ενέργεια, κυρίως επειδή διαθέτει πολύ μεγαλύτερη οθόνη.

Οι ρυθμίσεις διαχείρισης ενέργειας στους υπολογιστές μπορούν να προσπελαθούν από τους χρήστες μέσω του πίνακα ελέγχου και να γίνουν προσαρμογές σε αυτές τις ρυθμίσεις για εξοικονόμηση ενέργειας. Ανάμεσα στις διάφορες πρακτικές που μπορούν να ακολουθηθούν είναι:

- Η ρύθμιση της προφύλαξης οθόνης σας σε κενό (καμία).
- Το κλείσιμο της οθόνη όταν ο υπολογιστής δεν είναι σε χρήση.
- Το κατέβασμα της οθόνης του laptop όταν δεν είναι σε χρήση.
- Η χρήση από κοινού πόρων εκτύπωσης, όταν είναι δυνατόν.
- Η χρήση της εκτύπωσης διπλής όψης, όταν είναι δυνατόν.
- Η ρύθμιση της οθόνη σε αδράνεια μετά από περίπου 10 λεπτά.
- Άλλες ρυθμίσεις όπως προτεινόμενη εξοικονόμηση ενέργειας.

Έτσι, επιτυγχάνεται η μείωση κόστους ετησίως από τους λογαριασμούς ρεύματος και η προστασία του περιβάλλοντος με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



### 2.3.6 Πράσινες στέγες

Μια πράσινη στέγη (green roof) είναι η στέγη ενός κτιρίου που είναι μερικώς ή πλήρως καλυμμένη με βλάστηση και ένα αναπτυσσόμενο μέσο, φυτεμένο πάνω από μια μεμβράνη στεγανοποίησης. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει επιπλέον στρώσεις, όπως ένα φράγμα ριζών και συστήματα αποχέτευσης και άρδευσης. Στέγες με φυτά που διατηρούνται σε γλάστρες δεν θεωρούνται πράσινες στέγες, αν και αυτό αποτελεί αντικείμενο συζήτησης.

Οι πράσινες στέγες εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς σε ένα κτίριο, όπως η απορρόφηση των όμβριων υδάτων, η παροχή μόνωσης και η μείωση των αστικών θερμοκρασιών του αέρα. Επίσης, δημιουργούν ένα βιότοπο για την άγρια ζωή, αυξάνοντας την καλοσύνη και μειώνοντας το στρες των ανθρώπων μέσω του αισθητικά πιο ευχάριστου τοπίου και βοηθούν στην άμβλυνση του urban heat island, ένα φαινόμενο κατά το οποίο μια αστική περιοχή είναι σημαντικά θερμότερη από τις γύρω αγροτικές περιοχές λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Υπάρχουν δύο τύποι πράσινων στεγών:

- οι εντατικές στέγες, που είναι παχύτερες (με ελάχιστο βάθος 12,8 cm) και μπορούν να υποστηρίξουν μια ευρύτερη ποικιλία φυτών, αλλά είναι πιο βαριές και απαιτούν περισσότερη συντήρηση
- και οι εκτεταμένες στέγες, οι οποίες είναι ρηχές (κυμαίνονται σε βάθος από 2 cm έως 12,7 cm) και ελαφρύτερες από τις εντατικές πράσινες στέγες, και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Η οικοδόμηση πρασίνου ξεκινά από τα θεμέλια και εκτείνεται μέχρι την οροφή. Κάνοντας τις στέγες πράσινες, συμβάλλουμε στη δημιουργία ενός βιώσιμου περιβάλλοντος. Οι πράσινες στέγες προσφέρουν λύσεις σε διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα που είναι κοινά σε αστικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των όμβριων υδάτων, τη μείωση της ρύπανσης και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

Με τις πράσινες στέγες μπορεί επίσης να επιτευχθεί η μείωση του κόστους για την ενέργεια και τη συντήρηση της στέγης, καθώς και η μόνωση και η προστασία των κτηρίων. Τα φυτά που αναπτύσσονται σε πράσινες στέγες δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και το μετατρέπουν σε οξυγόνο, βοηθώντας στην πτώση της θερμοκρασίας τους ζεστούς μήνες και στην ανανέωση του αέρα.



*Εικόνα2.3.6 Green roof at Columbia University*



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων

#### 3.1 Εισαγωγή

Η στατιστική έρευνα αποτελείται από ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Στο επόμενο κεφάλαιο τα δεδομένα αυτά οργανώνονται σε μορφή πινάκων, αποτυπώνονται με την μορφή διαφόρων γραφικών μεθόδων, χωρίζονται σε ομάδες και αναλύεται η κατανομή που τα περιγράφει. Η στατιστική ανάλυση στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με τη βοήθεια του εργαλείου Matlab. Το παρόν κεφάλαιο περιέχει την παρουσίαση των μέσων, με τα οποία πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση.

#### 3.2 Το Matlab

Η ονομασία MATLAB προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων MATrix LABoratory, που στα ελληνικά σημαίνει εργαστήριο πινάκων. Πρόκειται για ένα διαδραστικό πρόγραμμα που βρίσκει πληθώρα εφαρμογών σε πανεπιστήμια, σε έρευνες και σε αρκετές περιπτώσεις επιστημονικών υπολογισμών. Το MATLAB αποτελεί ένα σύγχρονο λογισμικό πακέτο μαθηματικών, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα αριθμητικών υπολογισμών και οπτικοποίησης δεδομένων, με άπειρες επιλογές γραφικών παραστάσεων. Αυτές του οι ικανότητες το κατατάσσουν σε ένα πολύ χρήσιμο όπλο στη διάθεση των φυσικών και μαθηματικών επιστημών. Με την πάροδο των χρόνων, δημιουργούνται συνεχώς νέες, βελτιωμένες εκδόσεις του προγράμματος, οι οποίες περιλαμβάνουν επιπλέον εργαλεία και πακέτα.

Ο σχεδιασμός του MATLAB βασίζεται στη χρήση πινάκων, οι οποίοι εμπλέκονται σε υπολογισμούς, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κλπ. Επίσης, χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση και στην επίλυση άλλων προβλημάτων όπως η εύρεση των ριζών μη γραμμικής εξίσωσης και η επίλυση μη γραμμικών συστημάτων. Άλλο ένα στοιχείο της λειτουργίας του είναι ότι οι λύσεις των προβλημάτων είναι προσεγγιστικές, και όχι ακριβείς. Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο στατιστικής ανάλυσης του Matlab, γνωστό και ως Statistics Toolbox. Το Statistics Toolbox παρέχει αλγορίθμους στατιστικής και μηχανικής μάθησης και εργαλεία για την οργάνωση, ανάλυση και μοντελοποίηση δεδομένων. Επιτρέπει τη χρήση παλινδρόμησης ή ταξινόμησης για την προγνωστική μοντελοποίηση, την παραγωγή τυχαίων αριθμών για τις προσομοιώσεις Monte Carlo, τη χρήση στατιστικών διαγραμμάτων για διερευνητική ανάλυση των δεδομένων και





τις δοκιμές υποθέσεων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής λειτουργίες του:

- ✓ Organizing data
- ✓ Statistical visualization
- ✓ Analysis of Variance
- ✓ One-way ANOVA
- ✓ ANOVA table
- ✓ Box plots
- ✓ Cluster analysis
- ✓ K-means clustering
- ✓ Distribution plots

### 3.3 Organizing Data

Τα δεδομένα που εισέρχονται στη MATLAB τοποθετούνται σε «κουτιά» που μπορούν να υποστούν επεξεργασία, σαν τα κελιά του excel. Όλες οι μεταβλητές του χώρου εργασίας οργανώνονται υπό τη μορφή πινάκων. Για στατιστικούς λόγους, οι πίνακες αυτοί θεωρούνται πίνακες τιμών. Το MATLAB χρησιμοποιεί διαφορετικές δομές για την οργάνωση των δεδομένων:

- Αριθμητικοί πίνακες δύο διαστάσεων (μήτρες) οργανώνουν τις παρατηρήσεις και τις μεταβλητές σε γραμμές και στήλες, αντίστοιχα.
- Πολυδιάστατοι πίνακες οργανώνουν πολυδιάστατες παρατηρήσεις και πειραματικά σχέδια.
- Κελιά και πίνακες οργανώνουν ετερογενή δεδομένα διαφορετικών τύπων, μεγεθών, μονάδων, κλπ .

Οι τύποι δεδομένων καθορίζουν το είδος των δεδομένων που περιέχουν οι μεταβλητές. Αυτές οι βασικές μεταβλητές στο MATLAB αξιολογούνται, σε ένα στατιστικό πλαίσιο, στο τμήμα που αφορά τους πίνακες MATLAB. Ωστόσο, αυτές οι μεταβλητές δεν έχουν σχεδιαστεί ειδικά για στατιστικά στοιχεία. Στα στατιστικά δεδομένα περιλαμβάνονται γενικά παρατηρήσεις πολλών μεταβλητών, με μετρήσεις ετερογενών τύπων και μεγεθών. Τα δεδομένα μπορεί να είναι αριθμητικά, κατηγορηματικά, είτε με τη μορφή περιγραφικών δεδομένων. Η τοποθέτηση των στατιστικών δεδομένων σε βασικές μεταβλητές MATLAB και η αποτελεσματική πρόσβαση σε αυτά μπορεί να γίνει περίπλοκη.

Το λογισμικό Statistics Toolbox που περιέχει το MATLAB προσφέρει δύο επιπλέον τύπους για την οργάνωση των δεδομένων που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τα στατιστικά στοιχεία:

- Κατηγορηματικοί πίνακες που φιλοξενούν τα δεδομένα με τη μορφή διακριτών επιπέδων, μαζί με περιγραφικά δεδομένα τους.
- Πίνακες συνόλου δεδομένων που εμπεριέχουν ετερογενή δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των κατηγορικών δεδομένων, τα οποία γίνονται προσβάσιμα και εκμεταλλεύσιμα, χρησιμοποιώντας οικείες μεθόδους ανάλογες με εκείνες για τους αριθμητικούς πίνακες.



### 3.4 Statistical Visualization

Οι λειτουργίες οπτικοποίησης δεδομένων του λογισμικού Statistics Toolbox προσθέτονται στις εκτεταμένες δυνατότητες γραφικών του MATLAB. Πιο συγκεκριμένα:

- Τα διαγράμματα διασποράς είναι ένα βασικό εργαλείο για την οπτικοποίηση πολυμεταβλητών δεδομένων. Χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Σε διαγράμματα διασποράς πολλών ομάδων δεδομένων χρησιμοποιούνται ξεχωριστά σύμβολα για την αναγνώριση των διαφορετικών ομάδων. Η εντολή «gname» χρησιμοποιείται για να ονομάσει σημεία σε αυτές τις επιφάνειες με μια ετικέτα κειμένου ή έναν αριθμό παρατήρησης.
- Τα θηκογράμματα εμφανίζουν τη σύνοψη πέντε αριθμών του συνόλου δεδομένων: τη διάμεσο, τα δύο άκρα του ενδοτεταρτημοριακού φάσματος, και δύο ακραίες τιμές πάνω και κάτω από το πλαίσιο. Επειδή είναι λιγότερο λεπτομερή από ό, τι τα ιστογράμματα, τα θηκογράμματα είναι πιο χρήσιμα για παράλληλες συγκρίσεις των δύο κατανομών.
- Τα διαγράμματα κατανομής βοηθούν στον εντοπισμό της κατάλληλης κατανομής για τα δεδομένα. Ανάμεσα στα διαγράμματα που περιλαμβάνουν είναι τα διαγράμματα κανονικής κατανομής και Weibull πιθανότητας, τα διαγράμματα ποσοστημορίων και τα διαγράμματα της εμπειρικά αθροιστική κατανομής.

Επίσης, εξελεγμένες λειτουργίες απεικόνισης του Statistics Toolbox είναι διαθέσιμες για εξειδικευμένες στατιστικές αναλύσεις.

### 3.5 Analysis of Variance

Η ανάλυση της διακύμανσης, η αλλιώς εν συντομία ANOVA από την αγγλική ονομασία «analysis of variance», αποτελεί μια στατιστική μέθοδο, η οποία εξετάζει τη μεταβλητότητα που υπάρχει σε ένα δείγμα. Για την καλύτερη ανάλυση, γίνεται διαχωρισμός των επιμέρους συνιστωσών της μεταβλητότητας του δείγματος, προκειμένου να διευκρινιστεί κατά πόσο είναι σημαντικές οι διαφορετικές πηγές προέλευσης. Η διασπορά (variance) αποτελεί το σημαντικότερο δείκτη μεταβλητότητας και παίζει κεντρικό ρόλο στην επαγωγική στατιστική. Η διασπορά ενός δείγματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

όπου  $x_i$  η παρατήρηση,  $\bar{x}$  η μέση τιμή και  $n$  ο αριθμός του δείγματος. Η διασπορά δηλώνει πόσο μακριά από τη μέση τιμή απέχουν οι παρατηρήσεις. Όταν





απέχουν πολύ, η διασπορά είναι μεγάλη, ενώ όταν δεν απέχουν πολύ, η διασπορά είναι μικρή.

Η μέθοδος αυτή αποτελείται από τα δεδομένα του δείγματος και τους παράγοντες. Τα δεδομένα διακρίνονται στις παρατηρήσεις ή στα πειραματικά, αναλόγως την προέλευση τους. Στην πρώτη κατηγορία δεδομένων δεν μπορεί να υπάρξει επέμβαση από πλευράς ερευνητή. Αντίθετα, στη δεύτερη κατηγορία ο ερευνητής καλείται να επιλέξει μια εξαρτημένη μεταβλητή και να ελέγξει την επιρροή που της ασκούν μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες είναι γνωστές με τον όρο παράγοντες (factors). Κατά την εκτέλεση ενός πειράματος οι τιμές του παράγοντα ή των παραγόντων που υπολογίζονται καλούνται επίπεδα (levels).

### 3.5.1 One-Way ANOVA

Στη στατιστική, η one-way ανάλυση της διακύμανσης (one-way ANOVA) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τους μέσους από δύο ή περισσότερα δείγματα, χρησιμοποιώντας την κατανομή F. Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για αριθμητικά δεδομένα.

Η one-way ANOVA δοκιμάζει την μηδενική υπόθεση ότι τα δείγματα σε δύο ή περισσότερες ομάδες έχουν παρθεί από πληθυσμούς με τις ίδιες μέσες τιμές. Για να επιτευχθεί αυτό, γίνονται δύο εκτιμήσεις από τη διακύμανση του πληθυσμού. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται σε διάφορες υποθέσεις. Χρησιμοποιώντας το F-test, υπολογίζει την αναλογία της διακύμανσης μεταξύ των μέσων και τη διακύμανση εντός των δειγμάτων. Αν οι μέσες τιμές των ομάδων προέρχονται από πληθυσμούς με τις ίδιες μέσες τιμές, η διακύμανση μεταξύ των μέσων της ομάδας πρέπει να είναι χαμηλότερη από την διακύμανση των δειγμάτων, σύμφωνα με το θεώρημα του κεντρικού ορίου. Συνεπώς, μια υψηλότερη αναλογία υποδηλώνει ότι τα δείγματα προέρχονται από πληθυσμούς με διαφορετικές μέσες τιμές.

Το F-test<sup>[3]</sup> είναι οποιαδήποτε στατιστική δοκιμή η οποία περιέχει μια F-κατανομή υπό την μηδενική υπόθεση. Πιο συχνά χρησιμοποιείται κατά τη σύγκριση των στατιστικών μοντέλων που έχουν τοποθετηθεί σε ένα σύνολο δεδομένων, προκειμένου να προσδιορίσει το μοντέλο που ταιριάζει καλύτερα στον πληθυσμό από τον οποίο ελήφθησαν τα δεδομένα. Ένα ακριβές "F-τεστ" προκύπτει κυρίως όταν τα μοντέλα έχουν τοποθετηθεί στα δεδομένα με τη χρήση ελαχίστων τετραγώνων. Τυπικά, ωστόσο, η one-way ANOVA χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των διαφορών μεταξύ τουλάχιστον τριών ομάδων, δεδομένου ότι η περίπτωση των δύο ομάδων μπορεί να καλυφθεί από ένα t-test (Gosset, 1908). Όταν υπάρχουν μόνο δύο μέσες τιμές για να συγκριθούν, το t-test και το F-test είναι ισοδύναμα. Η σχέση μεταξύ της ANOVA και του t δίνεται από τον τύπο  $F = t^2$ . Μια επέκταση της one-way ANOVA είναι μια αμφίδρομη ανάλυση της διακύμανσης που εξετάζει την επίδραση δύο διαφορετικών κατηγορηματικών ανεξάρτητων μεταβλητών σε μία εξαρτημένη μεταβλητή.

---

<sup>[3]</sup> Το όνομα επινοήθηκε από τον George W. Snedecor, προς τιμήν του Sir Ronald A. Fisher. Fisher που ανέπτυξε αρχικά τη στατιστική ως το λόγο της διακύμανσης στη δεκαετία του 1920.



Η one-way ANOVA είναι μια απλή ειδική περίπτωση του γραμμικού μοντέλου, η μορφή του οποίου είναι:

$$y_{ij} = \alpha_{\cdot j} + \varepsilon_{ij}$$

όπου,  $y_{ij}$  είναι ένας πίνακας παρατηρήσεων στην οποία κάθε στήλη αντιπροσωπεύει μία διαφορετική ομάδα,  $\alpha_{\cdot j}$  είναι ένας πίνακας του οποίου οι στήλες είναι μέσες τιμές των ομάδων (ο συμβολισμός « $\cdot j$ » σημαίνει ότι το  $\alpha$  εφαρμόζεται σε όλες τις σειρές της στήλης  $j$ . Δηλαδή, η τιμή  $\alpha_{i \cdot j}$  είναι η ίδια για όλα τα  $i$ .) και το  $\varepsilon_{ij}$  είναι ένας πίνακας από τυχαίες διαταραχές.

Το μοντέλο υποθέτει ότι οι στήλες του  $y$  είναι μια σταθερά συν μια τυχαία διαταραχή κι αυτό που θέλουμε να ξέρουμε είναι αν οι σταθερές είναι όλες το ίδιο.

### 3.5.1.α ANOVA table

Ο πίνακας ANOVA, που προκύπτει κατά την εφαρμογή της one-way ANOVA έχει την εξής μορφή:

**Πίνακας ANOVA**

Source	SS (variation)	df	MS (variance)	F
*[4]				
Error				
Total				

Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών από τη μέση τιμή αυτών των τιμών (SS-Sum of Squares) ονομάζεται μεταβλητότητα. Εφ' όσον οι τιμές δεν είναι ταυτόσημες, θα υπάρξει μεταβολή. Οι βαθμοί ελευθερίας (df-degrees of freedom) είναι ο αριθμός των τιμών που είναι ελεύθερες να διαφέρουν, μόλις καθοριστούν ορισμένες παράμετροι. Συνήθως, είναι ένας αριθμός λιγότερος από το μέγεθος του δείγματος, αλλά σε γενικές γραμμές, είναι ο αριθμός των τιμών μείον τον αριθμό των παραμέτρων που εκτιμώνται. Η διακύμανση του δείγματος (MS-Mean of the Squares) είναι η μέση τετραγωνική απόκλιση από τη μέση τιμή και υπολογίζεται διαιρώντας την μεταβολή με τους βαθμούς ελευθερίας. Η στήλη F αντιστοιχεί στο στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής F. Γίνεται μια στατιστική δοκιμή F για κάθε πηγή εκτός από το λάθος και το συνολικό, γι' αυτό και στον πίνακα οι γραμμές του λάθους και του συνόλου δεν έχουν αποτέλεσμα στη στήλη του F. Το F είναι ο λόγος των διακυμάνσεων από δύο δείγματα, ενώ η στήλη MS περιέχει διακυμάνσεις. Το στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής F για κάθε πηγή είναι το MS για την εν λόγω γραμμή διαιρεμένο με το MS της γραμμής σφάλματος.

<sup>[4]</sup> \*: ανάλογα με κάθε πρόβλημα ANOVA



### 3.5.1.β Box plots

Τα θηκογράμματα, ή αλλιώς box plots, επειδή μοιάζουν με κουτιά, είναι γραφήματα, τα οποία βασίζονται στη σύνοψη των πέντε αριθμών για τη δημιουργία τους. Η σύνοψη των πέντε αριθμών (five numbers summary), όπως προδίδει και το όνομά της, αφορά πέντε αριθμούς και συγκεκριμένα πέντε βασικά περιγραφικά μέτρα:

- τη διάμεσο, η οποία δηλώνει πόσο μακριά από τη μέση τιμή απέχουν οι παρατηρήσεις και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

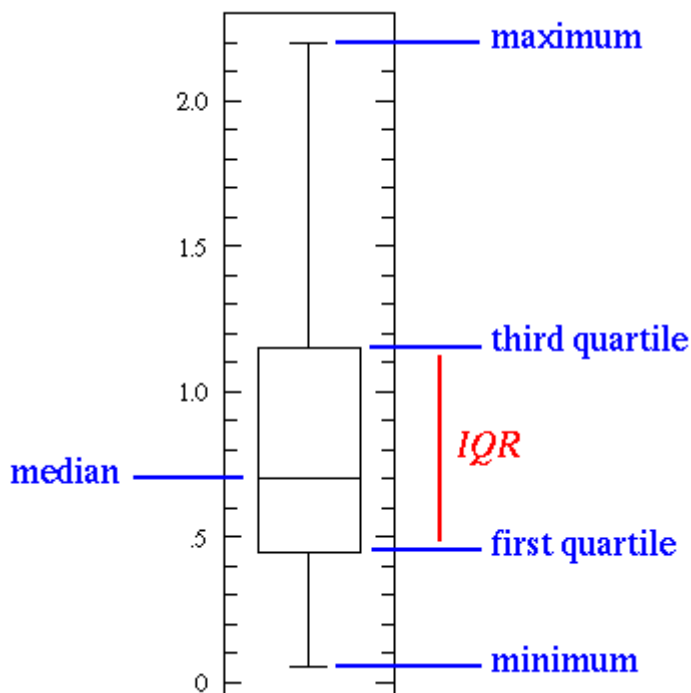
όπου  $x_i$  η παρατήρηση,  $\bar{x}$  η μέση τιμή και  $n$  ο αριθμός του δείγματος.

- τα τεταρτημόρια (quartiles)  $Q_1$ ,  $Q_2$ , και  $Q_3$ , τα οποία είναι τιμές που χωρίζουν ένα σύνολο παρατηρήσεων σε τέταρτα. Το  $Q_1$  χωρίζει το σύνολο σε 25% μικρότερες και 75% μεγαλύτερες από την τιμή αυτή, το  $Q_2$  (διάμεσος) σε 50% μικρότερες και 50% μεγαλύτερες και το  $Q_3$  σε 75% μικρότερες και 25% μεγαλύτερες.
- το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (interquartile range), το οποίο περιλαμβάνει το 50% των παρατηρήσεων που βρίσκονται γύρω από τη διάμεσο και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$IR = Q_3 - Q_1$$

- καθώς και τις ακραίες τιμές (outliers and extreme points).

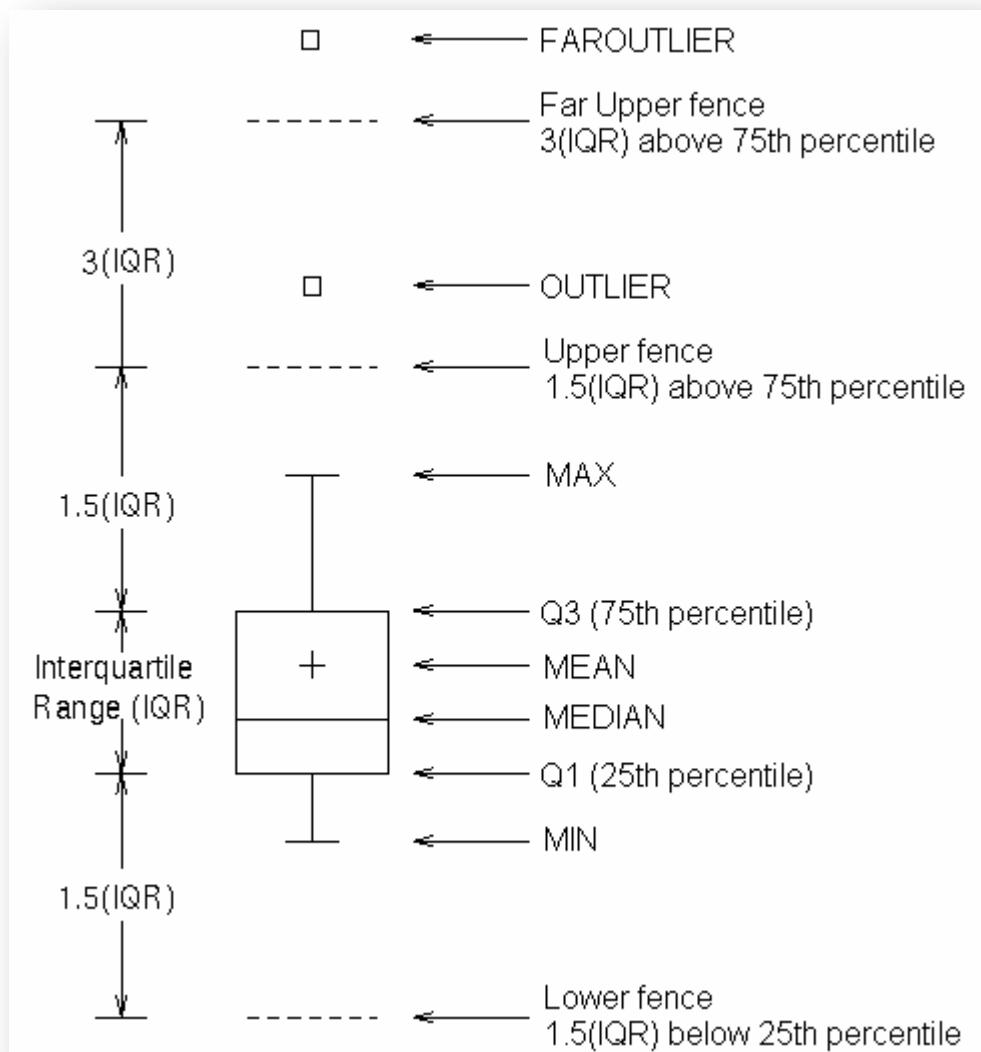
Η μορφή ενός θηκογράμματος παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Το ορθογώνιο κουτί της εικόνας έχει μήκος ίσο με  $Q$ , δηλαδή από το πρώτο μέχρι το τρίτο τεταρτημόριο. Στο εσωτερικό του σημειώνεται μια κάθετος, ίση με το πλάτος του, η οποία αντιπροσωπεύει τη διάμεσο. Από την πάνω και την κάτω πλευρά του κουτιού προεκτείνουμε γραμμή μέχρι τη μεγαλύτερη και, αντίστοιχα, τη μικρότερη τιμή των δεδομένων, μόνο αν είναι σε απόσταση μικρότερη από 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό εύρος  $Q$ . Αν είναι μεγαλύτερη, προεκτείνουμε ως 1,5 φορές το  $Q$ . Οι γραμμές αυτές ονομάζονται μυστακές. Το διάστημα  $\pm 1,5 Q$  από τις πλευρές του κουτιού ονομάζεται εσωτερικός φράχτης, ενώ το διάστημα  $\pm 3 Q$  ονομάζεται εξωτερικός φράχτης. Τα όρια των φραχτών σημειώνονται κι αυτά στο θηκόγραμμα. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εσωτερικό φράχτη, θεωρούνται ύποπτες για ακρότητα και εξετάζονται με προσοχή, ενώ οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εξωτερικό φράχτη κρίνονται ως ακραίες ή παράτυπες.

Το θηκόγραμμα είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη γραφική παράσταση διότι προσδιορίζει με τρόπο άμεσο:

- Τη θέση των δεδομένων και τη διάμεσο.
- Τη διασπορά τους με το μήκος του κουτιού και των μυστάκων.
- Την ύπαρξη τιμών οι οποίες είναι ακραίες ή ύποπτες για ακρότητα.
- Την ασυμμετρία που πιθανόν να εμφανιστεί στη σχηματική μορφή της κατανομής.



Εικόνα 3.5.2 Αναλυτική μορφή θηκογράμματος



### 3.6 Cluster Analysis

Το «Cluster Analysis», που ονομάζεται επίσης ανάλυση κατάταξης ή ανάλυση ταξινόμησης, δημιουργεί ομάδες δεδομένων. Οι ομάδες σχηματίζονται κατά τέτοιο τρόπο που τα αντικείμενα της ίδιας ομάδας είναι πολύ παρόμοια και τα αντικείμενα των διαφορετικών ομάδων είναι πολύ διαφορετικά. Τα μέτρα ομοιότητας εξαρτώνται από την εφαρμογή. Είναι μια βασική διεργασία της διερευνητικής εξόρυξης δεδομένων, και μια κοινή τεχνική για την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων, που χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής μάθησης, της αναγνώρισης προτύπων, της ανάλυσης εικόνας, της ανάκτησης πληροφοριών και της βιοπληροφορικής.

Η ίδια η ομαδοποίηση δεδομένων δεν αποτελεί κάποιο συγκεκριμένο αλγόριθμο. Η αποστολή της επιτυγχάνεται με διάφορους αλγόριθμους που διαφέρουν σημαντικά στην αντίληψη τους για το τι συνιστά ένα σύμπλεγμα και πώς να τα βρει αποτελεσματικά. Δημοφιλείς τρόποι ομαδοποίησης περιλαμβάνουν ομάδες με μικρές αποστάσεις μεταξύ των μελών κάθε ομάδας, πυκνές περιοχές του χώρου των δεδομένων, διαστήματα ή ιδιαίτερες στατιστικές κατανομές. Η ομαδοποίηση μπορεί έτσι να διατυπωθεί ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ο κατάλληλος αλγόριθμος ομαδοποίησης και οι ρυθμίσεις παραμέτρων (συμπεριλαμβανομένων των τιμών, όπως η εντολή απόστασης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ένα όριο πυκνότητας ή του αριθμού των αναμενόμενων ομάδων) εξαρτάται από το σύνολο των δεδομένων και την προοριζόμενη χρήση των αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου το «Cluster Analysis» δεν είναι μια αυτόματη εργασία, αλλά μια επαναληπτική διαδικασία ανακάλυψης γνώσης και διαδραστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, που περιλαμβάνει την δοκιμή και την αποτυχία. Μερικές φορές μπορεί να χρειαστεί να τροποποιηθεί η προεπεξεργασία δεδομένων και το μοντέλο παραμέτρων, μέχρις ότου το αποτέλεσμα να επιτυγχάνει τις επιθυμητές ιδιότητες.

Εκτός από τον όρο clustering, υπάρχει μια σειρά από όρους με παρόμοια σημασία, συμπεριλαμβανομένης της αυτόματης ταξινόμησης, της αριθμητικής ταξινόμησης, botryology (από την ελληνική λέξη βότρυς που σημαίνει σταφύλι) και της τυπολογικής ανάλυσης. Οι λεπτές διαφορές είναι συχνά στη χρήση των αποτελεσμάτων. Ενώ στην εξόρυξη δεδομένων το αντικείμενο ενδιαφέροντος είναι οι ομάδες που προκύπτουν, στην αυτόματη ταξινόμηση αυτό που προκαλεί το ενδιαφέρον είναι η προκύπτουσα δύναμη διάκρισης. Αυτό συχνά οδηγεί σε παρεξηγήσεις μεταξύ των ερευνητών που προέρχονται από τους τομείς της εξόρυξης δεδομένων και της μηχανικής μάθησης, δεδομένου ότι χρησιμοποιούν τους ίδιους όρους και συχνά τους ίδιους αλγόριθμους, αλλά έχουν διαφορετικούς στόχους.

Το «Cluster Analysis» μπορεί να εφαρμοστεί στο MATLAB με τους εξής τρόπους:

- Ιεραρχική Ομαδοποίηση: ομαδοποιεί δεδομένα σε μια ποικιλία από κλίμακες, δημιουργώντας ένα δέντρο διασποράς ή δενδρόγραμμα. Το δέντρο δεν είναι ένα ενιαίο σύνολο από συστάδες, αλλά μάλλον μια πολυεπίπεδη ιεραρχία, όπου συστάδες του ενός επιπέδου εντάσσονται ως συστάδες στο επόμενο επίπεδο. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να αποφασίσουμε το επίπεδο ή την κλίμακα της ομαδοποίησης που είναι η πλέον κατάλληλη για την εφαρμογή μας.



- K-means Clustering: είναι μια μέθοδος κατανομής. Η εντολή «kmeans» χωρίζει τα δεδομένα σε k ομάδες και επαναφέρει το δείκτη της ομάδας στην οποία έχει αποδοθεί κάθε παρατήρηση. Σε αντίθεση με τη μέθοδο της ιεραρχικής ομαδοποίησης (hierarchical clustering), η μέθοδος k-means λειτουργεί σε πραγματικές παρατηρήσεις (και όχι στο ευρύτερο σύνολο των μέτρων ανομοιότητας) και δημιουργεί ένα μοναδικό επίπεδο ομάδων. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι αυτή η μέθοδος είναι συχνά πιο κατάλληλη από την ιεραρχική ομαδοποίηση για μεγάλες ποσότητες δεδομένων.
- Γκαουσιανό Μίγμα Μοντέλων: σχηματίζει συστάδες εκπροσωπώντας την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των παρατηρούμενων μεταβλητών ως ένα μίγμα πολυπαραγοντικών κανονικών πυκνοτήτων. Τα μίγματα μοντέλων της γκαουσιανής κατανομής χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο προσδοκώμενης μεγιστοποίησης για να ταιριάζουν τα δεδομένα, ο οποίος εκχωρεί μεταγενέστερες πιθανότητες για κάθε πυκνότητα συστατικού σε σχέση με κάθε παρατήρηση. Οι ομάδες σχηματίζονται από την επιλογή του στοιχείου που μεγιστοποιεί τη μεταγενέστερη πιθανότητα. Η ομαδοποίηση χρησιμοποιώντας Γκαουσιανά Μίγματα Μοντέλων μερικές φορές θεωρείται ως απλή μέθοδος ομαδοποίησης. Οι μεταγενέστερες πιθανότητες για κάθε σημείο δείχνουν ότι κάθε σημείο δεδομένων έχει κάποια πιθανότητα να ανήκει σε μια ομάδα. Όπως η μέθοδος k-means, η Γκαουσιανή μοντελοποίηση χρησιμοποιεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο που συγκλίνει σε ένα τοπικό βέλτιστο. Η Γκαουσιανή μοντελοποίηση μπορεί να είναι πιο κατάλληλη από την k-means, όταν ομάδες έχουν διαφορετικά μεγέθη και συσχετισμό ανάμεσά τους.

### 3.6.1 K-Means Clustering

Η μέθοδος K-means clustering είναι μια μέθοδος κατανομής. Η εντολή «kmeans» χωρίζει τα δεδομένα σε k ομάδες και επαναφέρει το δείκτη της ομάδας στην οποία έχει αποδοθεί κάθε παρατήρηση. Σε αντίθεση με τη μέθοδο της ιεραρχικής ομαδοποίησης (hierarchical clustering), η μέθοδος k-means λειτουργεί σε πραγματικές παρατηρήσεις (και όχι στο ευρύτερο σύνολο των μέτρων ανομοιότητας) και δημιουργεί ένα μοναδικό επίπεδο ομάδων. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι αυτή η μέθοδος είναι συχνά πιο κατάλληλη από την ιεραρχική ομαδοποίηση για μεγάλες ποσότητες δεδομένων.

Η μέθοδος K-means αντιμετωπίζει κάθε παρατήρηση σαν ένα αντικείμενο που έχει θέση στο χώρο. Βρίσκει ένα «χώρισμα» στο οποίο τα αντικείμενα κάθε ομάδας είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά το ένα στο άλλο, αλλά όσο το δυνατόν και πιο μακριά





από τα αντικείμενα των άλλων ομάδων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε πέντε διαφορετικά μέτρα απόστασης, ανάλογα με το είδος των δεδομένων που ομαδοποιούνται.

Κάθε ομάδα ορίζεται από αντικείμενά της (μέλη) και το κέντρο βάρους της, ή κέντρο. Το κέντρο βάρους κάθε ομάδας είναι το σημείο στο οποίο το άθροισμα των αποστάσεων όλων των αντικειμένων της ελαχιστοποιείται. Η μέθοδος υπολογίζει τα κέντρα διαφορετικά για κάθε μέτρο απόστασης, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος.

Η μέθοδος K-means χρησιμοποιεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των αποστάσεων κάθε αντικειμένου από το κέντρο βάρους της ομάδας, για όλες τις ομάδες. Ο αλγόριθμος μετακινεί αντικείμενα μεταξύ των ομάδων, μέχρι το άθροισμα αυτό να μην μπορεί να μειωθεί περαιτέρω. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο από ομάδες που είναι τόσο συμπαγείς και καλά διαχωρισμένες, όσο γίνεται. Η ελαχιστοποίηση μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση διαφόρων προαιρετικών παραμέτρων εισόδου, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων για τις αρχικές τιμές των κέντρων των ομάδων και τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων.

### 3.7 Distribution plots

Τα διαγράμματα κατανομής μας βοηθούν να εντοπίσουμε ποια κατανομή περιγράφει τα δεδομένα μας.

Η εντολή «`probplot (Y)`» παράγει μια γραφική παράσταση κανονικής πιθανότητας, συγκρίνοντας την κατανομή των δεδομένων  $Y$  με την κανονική κατανομή. Το  $Y$  μπορεί να είναι ένα απλό διάνυσμα, ή ένας πίνακας με ένα ξεχωριστό δείγμα σε κάθε στήλη. Το διάγραμμα περιλαμβάνει μια γραμμή αναφοράς, χρήσιμη για να κριθεί κατά πόσο τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή. Η εντολή «`probplot(distribution,Y)`» δημιουργεί μια παράσταση πιθανότητας για την κατανομή που ορίζεται:

- ‘normal’ - κανονική κατανομή
- ‘t’ – κατανομή  $t$
- ‘ecdf’ – εμπειρική αθροιστική κατανομή
- ‘exponential’ - εκθετική κατανομή
- ‘extreme value’ – κατανομή ακραίων τιμών
- ‘lognormal’ – λογαριθμοκανονική κατανομή
- ‘rayleigh’ - κατανομή Rayleigh
- ‘Weibull’ - κατανομή Weibull

Ο άξονας  $y$  βασίζεται στην επιλεγμένη κατανομή. Ο άξονας  $x$  έχει μια λογαριθμική κλίμακα για την κατανομή Weibull και τη λογαριθμοκανονική κατανομή, και μια γραμμική κλίμακα για τις υπόλοιπες.

Δεν είναι όλες οι κατανομές κατάλληλες για όλα τα σύνολα δεδομένων, και η εντολή «`probplot`» θα παρουσιάσει σφάλμα όταν της ζητηθεί να δημιουργήσει μια γραφική παράσταση με ένα σύνολο στοιχείων που είναι ακατάλληλα για τη συγκεκριμένη κατανομή.





### 3.7.1 Normal distribution

Η κανονική κατανομή (γνωστή και ως Γκαουσιανή κατανομή) αναφέρεται σε συνεχείς μεταβλητές αποτελώντας μία συνεχή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Χρησιμοποιείται ως μία πρώτη προσέγγιση για να περιγραφούν τυχαίες μεταβλητές πραγματικών τιμών, οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια μέση τιμή. Η κανονική κατανομή αποτελεί την πιο σημαντική κατανομή της στατιστικής μεθοδολογίας για τους εξής βασικούς λόγους:

- Την κανονική κατανομή ακολουθούν είτε με ακρίβεια είτε με μεγάλη προσέγγιση τα περισσότερα συνεχή φαινόμενα.
- Πολλές ασυνεχείς κατανομές πιθανοτήτων μπορούν να προσεγγιστούν μέσω της κανονικής κατανομής. Για παράδειγμα πολλά πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, όπως το ύψος, το βάρος ή βαθμολογία σε διαγώνισμα, κ.λπ.
- Η κανονική κατανομή αποτελεί σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα (το άθροισμα ενός ικανοποιητικά μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων και ισόνομων τυχαίων μεταβλητών προσεγγίζεται από την κανονική κατανομή) τη βάση της στατιστικής συμπερασματολογίας ή επαγωγικής στατιστικής.
- Τυχαία σφάλματα που εμφανίζονται σε διάφορες μετρήσεις έχουν κανονική κατανομή. Γι' αυτό το λόγο η Κανονική κατανομή αναφέρεται πολλές φορές και ως κατανομή σφαλμάτων.

Η γραφική παράσταση της σχετιζόμενης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας έχει σχήμα "καμπάνας", και είναι γνωστή ως Γκαουσιανή συνάρτηση ή κωδωνοειδής καμπύλη:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

όπου  $e$  = η βάση των νεπέρειων λογαρίθμων ( $\approx 2,71828$ ),  $\pi$  = η γνωστή μαθηματική σταθερά ( $\approx 3,14159$ ),  $\mu$  = ο μέσος του πληθυσμού,  $\sigma$  = η τυπική απόκλιση του πληθυσμού και  $X$  = μια τιμή της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής στο διάστημα  $-\infty$  έως  $+\infty$ .

### 3.7.2 T- distribution

Η κατανομή  $t$  ( $t$  distribution) είναι μια κατανομή πιθανοτήτων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων ενός πληθυσμού, όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μικρό και / ή όταν η διακύμανση του πληθυσμού είναι άγνωστη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κανονική κατανομή περιγράφει έναν ολόκληρο πληθυσμό, η κατανομή  $t$  περιγράφει τα δείγματα που λαμβάνονται από ένα πληθυσμό. Κατά συνέπεια, η κατανομή  $t$  είναι διαφορετική για κάθε μέγεθος του



δείγματος, και όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα, τόσο περισσότερο μοιάζει με την κανονική κατανομή.

Αν πάρουμε ένα δείγμα  $n = v + 1$  παρατηρήσεων από μια κανονική κατανομή, υπολογίσουμε τη μέση τιμή του δείγματος, αποδώσουμε τη γραφική παράσταση και επαναλάβουμε αυτή τη διαδικασία πολλές φορές (για το ίδιο  $v$ ), θα πάρουμε τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το εν λόγω  $n$ .

Αν υπολογίσουμε, επίσης, την διακύμανση του δείγματος για αυτές τις  $n$  παρατηρήσεις, τότε η κατανομή  $t$  (για  $n-1$ ) μπορεί να οριστεί ως η κατανομή της θέσης της πραγματικής μέσης τιμής, σε σχέση με την μέση τιμή του δείγματος και διαιρεμένη με την τυπική απόκλιση του δείγματος, μετά τον πολλαπλασιασμό με τον ομαλοποιημένο όρο  $\sqrt{n}$ , όπου  $n$  το μέγεθος του δείγματος. Με τον τρόπο αυτό, η κατανομή  $t$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί πόσο πιθανό είναι η πραγματική μέση να έγκειται σε οποιοδήποτε δεδομένο εύρος.

Η κατανομή  $t$  είναι συμμετρική και σε σχήμα καμπάνας, όπως και η κανονική κατανομή, αλλά έχει βαρύτερες «ουρές», πράγμα που σημαίνει ότι είναι πιο επιρρεπής να παράγει τιμές οι οποίες απέχουν πολύ από το μέσο όρο. Αυτό την καθιστά χρήσιμη για την κατανόηση της στατιστικής συμπεριφοράς ορισμένων αναλογιών τυχαίων ποσοτήτων, στις οποίες η μεταβολή στον παρονομαστή ενισχύεται και μπορεί να παράγει περιφερειακές τιμές, όταν ο παρονομαστής του λόγου πέφτει κοντά στο μηδέν. Η κατανομή  $t$  είναι μια ειδική περίπτωση της γενικευμένης υπερβολικής κατανομής.

### 3.7.3 Empirical distribution

Η εμπειρική συνάρτηση κατανομής, ή εμπειρική cdf, είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής που σχετίζεται με την εμπειρική μέτρηση του δείγματος. Αυτή η «cdf» είναι μια συνάρτηση βήματος που πηδάει  $1/n$  σε κάθε ένα από τα  $n$  σημεία δεδομένων. Η εμπειρική συνάρτηση κατανομής υπολογίζει το πραγματικό βασικό cdf από τα σημεία του δείγματος και συγκλίνει με πιθανότητα 1, σύμφωνα με το θεώρημα Glivenko-Cantelli (καθορίζει την ασυμπτωτική συμπεριφορά της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής, καθώς ο αριθμός των ανεξάρτητων και ταυτόσημα κατανομημένων παρατηρήσεων μεγαλώνει). Ένας αριθμός αποτελεσμάτων υπάρχει για να ποσοτικοποιήσει το ρυθμό σύγκλισης της εμπειρικής cdf με την βαθύτερη cdf.

Ας υποθέσουμε ότι  $(x_1, \dots, x_n)$  είναι οι ανεξάρτητα και ταυτόσημα κατανομημένες πραγματικές τυχαίες μεταβλητές με την κοινή cdf  $F(t)$ . Τότε η εμπειρική συνάρτηση κατανομής ορίζεται ως:

$$\hat{F}_n(t) = \frac{\text{number of elements in the sample} \leq t}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1\{x_i \leq t\}$$

όπου  $1\{A\}$  είναι ο δείκτης του γεγονότος  $A$ . Για ένα σταθερό  $t$ , ο δείκτης  $1\{x_i \leq t\}$  είναι μια τυχαία μεταβλητή Bernoulli με παράμετρο  $p = F(t)$ . Ως εκ τούτου, η  $\hat{F}_n(t)$  είναι μια διωνυμική τυχαία μεταβλητή με μέση τιμή  $nF(t)$  και διακύμανση  $nF(t)(1-F(t))$ . Αυτό σημαίνει ότι το  $\hat{F}_n(t)$  είναι ένας αμερόληπτος εκτιμητής για το  $F(t)$ .



### 3.7.4 Exponential distribution

Στην θεωρία πιθανοτήτων και στην στατιστική, η εκθετική κατανομή (ή αρνητική εκθετική κατανομή) είναι μια οικογένεια συνεχών κατανομών πιθανότητας. Περιγράφει τον χρόνο μεταξύ γεγονότων σε μια διαδικασία Poisson, δηλαδή μια διαδικασία στην οποία γεγονότα συμβαίνουν συνεχώς και ανεξάρτητα με ένα σταθερό μέσο ρυθμό.

Η εκθετική κατανομή ανήκει στην ευρύτερη εκθετική οικογένεια, η οποία είναι μια κλάση κατανομών πιθανότητας που περιλαμβάνει ακόμα την κανονική κατανομή, την διωνυμική κατανομή, την κατανομή γάμμα, την κατανομή Poisson, και άλλες. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σππ) μιας εκθετικής κατανομής είναι:

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

### 3.7.5 Extreme value distribution

Η γενικευμένη κατανομή ακραίων τιμών είναι μια οικογένεια από συνεχείς κατανομές πιθανοτήτων που αναπτύσσονται στο πλαίσιο θεωρίας ακραίων τιμών για να συνδυάσει τις οικογένειες Gumbel, Fréchet και Weibull, επίσης γνωστές ως τύπου I, II και III κατανομές ακραίων τιμών. Σύμφωνα με το θεώρημα των ακραίων τιμών η κατανομή ακραίων τιμών είναι η μόνη δυνατή οριακή κατανομή των κατάλληλα κανονικοποιημένων μέγιστων από μια ακολουθία ανεξάρτητων και όμοια κατανομημένων τυχαίων μεταβλητών. Αξίζει να σημειωθεί ότι μια κατανομή ορίων δεν χρειάζεται να υπάρχει. Αυτό απαιτεί συνθήκες κανονικότητας στην ουρά της κατανομής. Παρά το γεγονός αυτό, η κατανομή ακραίων τιμών χρησιμοποιείται συχνά ως μια προσέγγιση για να μοντελοποιήσει τα μέγιστα μεγάλων (πεπερασμένων) ακολουθιών τυχαίων μεταβλητών. Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της γενικευμένης κατανομής ακραίων τιμών είναι:

$$f(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

για  $1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) > 0$ , όπου  $\mu \in \mathbb{R}$  είναι η παράμετρος θέσης,  $\sigma > 0$  η παράμετρος κλίμακας και  $\xi \in \mathbb{R}$  η παράμετρος σχήματος. Επιπλέον, για  $\xi > 0$  η παραπάνω συνάρτηση ισχύει όταν  $x > \frac{\mu - \sigma}{\xi}$ , ενώ για  $\xi < 0$  ισχύει όταν  $x > \frac{\mu + \sigma}{-\xi}$ . Στην πρώτη περίπτωση, στο κατώτερο όριο ισούται με 0. Στη δεύτερη περίπτωση, στο ανώτερο



όριο ισούται με 1. Για  $\xi = 0$  η αθροιστική συνάρτηση κατανομής είναι τυπικά απροσδιόριστη και αντικαθίσταται από το αποτέλεσμα που προκύπτει παίρνοντας το όριο ως  $\xi \rightarrow 0$ :

$$f(x; \mu, \sigma, 0) = \exp \left\{ -\exp \left( -\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}$$

με κανένα περιορισμό στο  $x$ .

### 3.7.6 Lognormal distribution

Η λογαριθμοκανονική κατανομή είναι μια συνεχής κατανομή πιθανότητας μιας τυχαίας μεταβλητής της οποίας ο λογάριθμος ακολουθεί κανονική κατανομή. Έτσι, εάν μια τυχαία μεταβλητή  $X$  είναι λογαριθμοκανονικά κατανεμημένη, τότε η συνάρτηση  $Y = \log(X)$  ακολουθεί κανονική κατανομή. Ομοίως, εάν το  $Y$  ακολουθεί κανονική κατανομή, τότε η συνάρτηση  $X = \exp(Y)$  ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή. Μια τυχαία μεταβλητή η οποία είναι λογαριθμοκανονικά κατανεμημένη παίρνει μόνο θετικές πραγματικές τιμές.

Η διανομή αναφέρεται συχνά ως κατανομή Galton. Η λογαριθμοκανονική κατανομή έχει επίσης συνδεθεί με άλλα ονόματα, όπως McAlister, Gibrat και Cobb-Douglas.

Σε μια λογαριθμική-κανονική κατανομή  $X$ , οι παράμετροι που συμβολίζονται με  $\mu$  και  $\sigma$  είναι, αντίστοιχα, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της μεταβλητής, πράγμα που σημαίνει:

$$X = e^{\mu + \sigma Z}$$

όπου το  $Z$  είναι μια τυπική κανονική μεταβλητή.

### 3.7.7 Rayleigh distribution

Η κατανομή Rayleigh είναι μια συνεχής κατανομή πιθανότητας για θετικές τυχαίες μεταβλητές.

Μια κατανομή Rayleigh παρατηρείται συχνά όταν το συνολικό μέγεθος ενός διανύσματος έχει σχέση με τις συνιστώσες της κατεύθυνσης. Ένα παράδειγμα όπου η κατανομή Rayleigh απορρέει φυσικά είναι όταν η ταχύτητα του ανέμου αναλύεται σε ορθογώνια τμήματα, 2-διαστάσεων, του διανύσματος. Υποθέτοντας ότι κάθε συνιστώσα είναι ασυσχέτιστη, κανονικά κατανεμημένη με ισοδύναμη διακύμανση και μηδενική μέση τιμή, τότε η συνολική ταχύτητα του ανέμου (διάνυσμα μεγέθους) θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από μια κατανομή Rayleigh. Ένα δεύτερο παράδειγμα της κατανομής προκύπτει στην περίπτωση των τυχαίων μιγαδικών αριθμών των οποίων οι πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες είναι ανεξάρτητα και ταυτόσημα κατανεμημένες κατά Gauss με την ίδια διακύμανση και μηδενική μέση τιμή. Σε αυτή την περίπτωση, η απόλυτη τιμή του σύνθετου αριθμού είναι κατανεμημένη κατά Rayleigh. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Rayleigh είναι:



$$f(x; \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}, \quad x \geq 0$$

όπου  $\sigma > 0$  η παράμετρος κλίμακας. Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής είναι:

$$f(x) = 1 - e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}$$

για  $x \in [0, \infty)$ .

### 3.7.8 Weibull distribution

Η κατανομή Weibull είναι μια συνεχής κατανομή πιθανότητας, η οποία πήρε το όνομά της από τον Waloddi Weibull, ο οποίος την περιέγραψε λεπτομερώς το 1951, παρόλο που εντοπίστηκε για πρώτη φορά από τον Fréchet (1927) και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τους Rossin & Rammner (1933) για να περιγράψει μια κατανομή μεγέθους σωματιδίων. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας τυχαία μεταβλητή είναι:

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

όπου  $k > 0$  η παράμετρος σχήματος και  $\lambda > 0$  η παράμετρος κλίμακας. Η συμπληρωματική αθροιστική συνάρτηση κατανομής της είναι μια τεντωμένη εκθετική συνάρτηση.

Η κατανομή Weibull σχετίζεται με μια σειρά από άλλες κατανομές πιθανότητας. Ειδικότερα, παρεμβάλλει μεταξύ της εκθετικής κατανομής ( $k = 1$ ) και της κατανομής Rayleigh ( $k = 2$ ). Εάν η ποσότητα  $X$  είναι έτοιμη να «αποτύχει», η κατανομή Weibull δίνει μια κατανομή για την οποία το ποσοστό αποτυχίας είναι ανάλογο με μια δύναμη του χρόνου. Η παράμετρος σχήματος,  $k$ , είναι αυτή η δύναμη συν ένα, και έτσι αυτή η παράμετρος μπορεί να ερμηνευθεί ως εξής:

- Μια τιμή του  $k < 1$  δείχνει ότι το ποσοστό αποτυχίας μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει σημαντική «θνησιμότητα», ή ελαττωματικά στοιχεία που παραλείπονται νωρίς και το ποσοστό αποτυχίας μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς τα ελαττωματικά στοιχεία εξαλείφονται από τον πληθυσμό.
- Η τιμή του  $k = 1$  δείχνει ότι το ποσοστό αποτυχίας είναι σταθερό με την πάροδο του χρόνου. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι τυχαία εξωτερικά γεγονότα προκαλούν θνησιμότητα, ή αποτυχία.
- Μια τιμή του  $k > 1$  δείχνει ότι οι ποσοστό αποτυχίας αυξάνεται με το χρόνο. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει μια διαδικασία «γήρανσης», ή τμήματα που είναι πιο πιθανό να αποτύχουν, με το πέρασμα του χρόνου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Στατιστική ανάλυση δεδομένων

#### 4.1 Ενέργεια

Ο όρος της ενέργειας αναφέρεται στην ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παραγάγει έργο. Όλα τα συστήματα καταναλώνουν ενέργεια, προκειμένου να μεταβούν από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Η διαδικασία αυτή ορίζεται σαν έργο και η ενέργεια είναι αυτή που την εκφράζει. Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, αυτή δεν μπορεί να καταστραφεί, ούτε να δημιουργηθεί από τον μηδέν, παρά μόνο να μετατραπεί από μια μορφή σε κάποια άλλη.

Οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται η ενέργεια ποικίλλουν. Η κίνηση και η θερμότητα είναι ενέργεια. Ο ηλεκτρισμός και οι χημικοί δεσμοί είναι επίσης ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού. Η προέλευση της ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί από πολλές διαφορετικές πηγές, όπως το ξύλο, ο άνεμος και ο άνθρακας. Ωστόσο, ο ήλιος τροφοδοτεί τον πλανήτη μας σχεδόν με όλη την ενέργεια που του είναι απαραίτητη.

Κάτι που επίσης, ισχύει για την ενέργεια, είναι το γεγονός ότι όλες οι μορφές της «παρουσιάζουν» μάζα. Για να γίνει καλύτερα κατανοητό, θα αναφέρουμε το εξής: Η προσθήκη, με τη μορφή θερμότητας, 25 KWh ενέργειας σε ένα αντικείμενο προκαλεί αύξηση της μάζας του αντικείμενου κατά ένα μικρογραμμάριο.

Η ενέργεια έχει εισβάλει δυναμικά στην καθημερινότητά μας, αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι της. Η τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει στην συστηματική κατανάλωση ενέργειας, δημιουργώντας άρρηκτους δεσμούς ανάμεσα σ' αυτήν και στην ανθρωπότητα. Η πλειοψηφία των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, και ακόμη ορθότερα, το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι συνυφασμένο με την ανάγκη για ενέργεια.

Το ενεργειακό σύστημα αναφέρεται στον κύκλο της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Οι αρχικές μορφές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και το ξύλο είναι γνωστές με τον όρο πρωτογενής ενέργεια. Προκειμένου η πρωτογενής ενέργεια να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο, πρέπει να υποστεί ορισμένες μετατροπές. Το τελικό προϊόν, όπως ο ηλεκτρισμός ή η βενζίνη, μετατρέπεται με τη σειρά του σε χρήσιμη ενέργεια, με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού, όπως το αυτοκίνητο ή το ψυγείο. Μερικές από τις διαδικασίες που μεσολαβούν από την πρωτογενή ως τη χρήσιμη ενέργεια είναι η εξόρυξη, καύση και η μεταφορά.

Μονάδα μέτρησης της ενέργειας στο διεθνές σύστημα μετρικών μονάδων (S.I.) είναι το 1 Joule και είναι το έργο που παράγεται όταν δύναμη 1 Newton κινεί ένα αντικείμενο σε απόσταση ενός μέτρου.

Ως ισχύς θεωρείται το μέγεθος που μας δηλώνει πόσο γρήγορα μετασχηματίζεται, ή χρησιμοποιείται, η ενέργεια. Μεγάλη ισχύς υποδηλώνει ότι μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας μετασχηματίζεται, ή χρησιμοποιείται σε μικρό χρόνο, ενώ η μικρή ισχύς σημαίνει ότι χρειαζόμαστε πολύ χρόνο για να μετατρέψουμε, ή να χρησιμοποιήσουμε την ίδια ποσότητα ενέργειας. Μια κιλοβατώρα (1 KWh) ισούται με 3.600.000 Joule και αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώνει μια μηχανή ισχύος 1 KW σε μια ώρα λειτουργίας.





### Πίνακας μεγεθών κιλοβατώρας

<b>1 kWh</b>	Αντιστοιχεί στην ποσότητα ενέργειας που καταναλώνει οικιακός λαμπτήρας σε 24 ώρες.
<b>1 MWh (1.000 kWh)</b>	Η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνει ηλεκτρική κουζίνα σε χίλιες ώρες λειτουργίας.
<b>1 GWh (1.000. 000 kWh)</b>	Η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνουν ετησίως 450 κατοικίες στην κεντρική Ευρώπη.
<b>1 TWh (1.000.000.000 kWh)</b>	Η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνουν οι βαλκανικές χώρες σε διάστημα 24 ωρών.

## 4.2 Άεργα

Η κατανάλωση διακρίνεται στην μορφή της ενέργειας και στην μορφή των έργων.

Η άεργη ισχύς (reactive power) χαρακτηρίζεται ως μη παραγωγική ισχύς και είναι απόρροια της ύπαρξης πηνίων ή πυκνωτών στο κύκλωμα που διατρέχει το εναλλασσόμενο ρεύμα. Τα επαγωγικά και χωρητικά αυτά στοιχεία αποθηκεύουν ενέργεια σε μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο αντίστοιχα, χωρίς να την καταναλώνουν. Αποτέλεσμα αυτής της κράτησης είναι η παλινδρόμηση ρευμάτων πάνω στο δίκτυο μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ενέργεια αποδίδεται πάλι στο κύκλωμα μετά την ολοκλήρωση μιας περιόδου.

Όλα τα φορτία που διαθέτουν εξοπλισμό, ο οποίος δημιουργεί μαγνητικά πεδία παρουσιάζουν επαγωγική συμπεριφορά, και συγκεκριμένα κατανάλωση άεργης ισχύος. Τέτοιες συσκευές είναι τα κλιματιστικά, τα πλυντήρια, τα ψυγεία και οποιαδήποτε συσκευή με μετασχηματιστή τάσης.

Το φαινόμενο της άεργης ισχύος αυξάνει τις θερμικές απώλειες ενέργειας στο κύκλωμα. Για την αντιμετώπιση του τοποθετούνται ειδικές διατάξεις χωρητικών και επαγωγικών στοιχείων παράλληλα στα ηλεκτρικά κυκλώματα. Με αυτόν τον τρόπο, τάση και ένταση του κυκλώματος γίνονται πάλι συμφασικές, καθώς μέρος της ενέργειας παγιδεύεται και ανταλλάσσεται ανάμεσα στα στοιχεία. Ως μειονέκτημα αυτής της εφαρμογής χαρακτηρίζεται η επιβάρυνση της κατανάλωσης, μέσω της επιβάρυνσης του συνολικού κυκλώματος με ωμικό φορτίο. Στην περίπτωση δηλαδή που χρησιμοποιούνται σε κύκλωμα με καθαρά ωμικό φορτίο αυξάνουν την



κατανάλωση της ενεργής ισχύος, που είναι και αυτή που μετράται ως κατανάλωση στους μετρητές χρέωσης. Το αν τελικά θα υπάρχει ή όχι οικονομία στη συνολική κατανάλωση ισχύος εξαρτάται από τη διάταξη, τις τιμές και τον αριθμό του κάθε είδους των φορτίων, επαγωγικών, χωρητικών και ωμικών, στο κύκλωμα.

Η άεργη ισχύς πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των επαγωγικών και χωρητικών στοιχείων οποιουδήποτε κυκλώματος, καθώς τα επιβαρύνει αισθητά, παρόλο που δεν παράγεται χρήσιμο έργο από αυτήν.

#### 4.3 Οι Ενεργειακές Απαιτήσεις στο Πολυτεχνείο Κρήτης

Οι εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης είναι κτισμένες στο Ακρωτήρι Χανίων. Η τοποθεσία είναι πανοραμική και βρίσκεται επτά χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης των Χανίων. Η έκταση που καλύπτει η Πολυτεχνειούπολη εκτείνεται σε 2.900 στρέμματα. Το Πολυτεχνείο Κρήτης απαρτίζεται από περίπου 40 κτίρια συνολικής επιφάνειας 80.000 τ.μ. Τα κτήρια αυτά στεγάζουν αμφιθέατρα, γραφεία καθηγητών και διοικητικού προσωπικού, εργαστήρια, αθλητικές εγκαταστάσεις, δύο βιβλιοθήκες που λειτουργούν εναλλάξ, τη φοιτητική λέσχη και τα κυλικεία, το μηχανογραφικό κέντρο και τη φοιτητική εστία.

Είναι κατανοητό πως απαιτείται ενέργεια για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Η ενέργεια αυτή είναι απαραίτητη για τον φωτισμό των κτιρίων, καθώς και τη θέρμανση και την ψύξη τους, τη λειτουργία των ηλεκτρονικών υπολογιστών όλων των υπηρεσιών του Πολυτεχνείου, του προσωπικού και των φοιτητών και όλων των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια. Δεν μπορούν να παραλειφθούν όλες οι ηλεκτρικές συσκευές της λέσχης και των κυλικείων, ούτε η ανάγκη για ζεστό νερό στη φοιτητική εστία. Όλα αυτά συμβάλλουν στην κατανάλωση ενέργειας, με απώτερο σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Εικόνα 4.3. Πανοραμική θέα Πολυτεχνείου Κρήτης



#### 4.4 Παράγοντες επιρροής ενεργειακής ζήτησης

Το Πολυτεχνείο Κρήτης δαπανεί ένα πολύ σημαντικό μέρος του Τακτικού Προϋπολογισμού για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του. Πιο συγκεκριμένα, τα μεγαλύτερα ποσοστά καταλαμβάνουν οι ενεργειακές ανάγκες των κτιριακών υποδομών και η θέρμανση.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις, ωστόσο, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως κάτι το δεδομένο, αντιθέτως μπορούν πολύ εύκολα να επηρεαστούν και να μεταβληθούν. Για παράδειγμα, η ενέργεια που καταναλώνεται για τη θέρμανση ενός κτιρίου μια κρύα χειμωνιάτικη μέρα δεν είναι ίδια με αυτή που καταναλώνεται μια μέρα με πιο προσιτή θερμοκρασία. Επιπλέον, η χρήση δέκα ηλεκτρονικών υπολογιστών δεν απαιτεί την ίδια ενέργεια όσο η χρήση εκατό ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, τους οποίους θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε. Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ενεργειακή κατανάλωση στο Πολυτεχνείο Κρήτης είναι:

- οι μετεωρολογικές συνθήκες
- ο αριθμός των καταναλωτών
- το μέγεθος και ο αριθμός των κτιρίων
- οι ηλεκτρικές συσκευές και τα μηχανήματα
- η έλλειψη «βιοκλιματικής» συνείδησης των καταναλωτών και η λανθασμένη εκτίμηση των πραγματικών αναγκών

#### 4.5 Γραφική απεικόνιση δεδομένων και συσχέτιση με τους παράγοντες επιρροής ενεργειακής ζήτησης

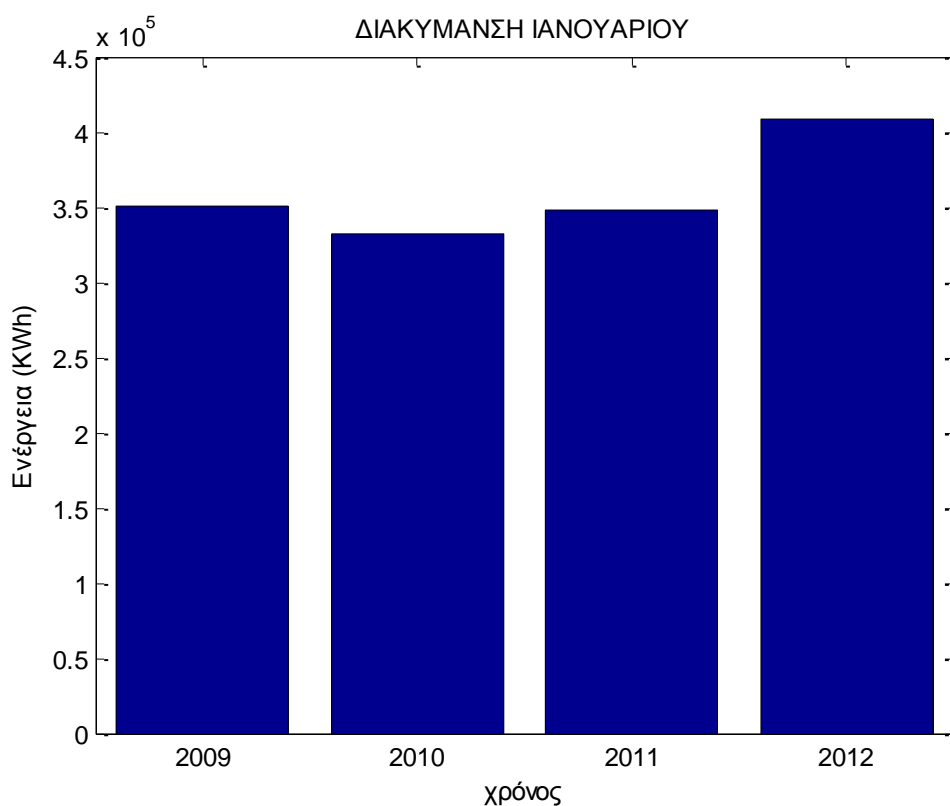
Η έννοια της έλλειψης συνείδησης και της λανθασμένης εκτίμησης από πλευράς καταναλωτών είναι τελείως υποκειμενική και αφηρημένη και δεν μπορεί να εξεταστεί με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα. Οι υπόλοιποι παράγοντες θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση μας.

Για την κατανόηση της συμβολής των μετεωρολογικών συνθηκών στην ενεργειακή κατανάλωση θα εξετάσουμε τα ενεργειακά δεδομένα του μήνα Ιανουαρίου στην πάροδο του χρόνου. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τους λογαριασμούς της ΔΕΗ και αφορούν τα έτη 2009-2012. Με αυτά κατασκευάσαμε το διάγραμμα της κατανάλωσης ενέργειας σε KWh σε συνάρτηση με το χρόνο. Πρώτα, όμως, συγκεντρώνουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα. Σύμφωνα, λοιπόν με τις πληροφορίες του σταθμού ο οποίος βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τη μέση θερμοκρασία του μήνα Ιανουαρίου για τα έτη 2009-2012.



**Πίνακας μετεωρολογικών δεδομένων Ιανουαρίου ανά έτος**

Μήνας	Έτος	Μέση τιμή θερμοκρασίας (°C)
Ιανουάριος	2009	12,4
	2010	12
	2011	11,8
	2012	9,3



Η γραφική απεικόνιση της κατανάλωσης ενέργειας για το μήνα Ιανουάριο αποδεικνύει την εξάρτηση της από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Το έτος 2012 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση, η οποία συνάδει με τη χαμηλή μέση τιμή της θερμοκρασίας για τον Ιανουάριο του 2012. Τα υπόλοιπα έτη κατά τα οποία οι μέσες θερμοκρασίες δεν αποκλίνουν πολύ μεταξύ τους, παρατηρείται ότι η ενεργειακή κατανάλωση κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

Όσον αφορά τον αριθμό των καταναλωτών, αυτός αποτελείται από το προσωπικό (καθηγητές και διοικητικοί υπάλληλοι) και τους φοιτητές του Πολυτεχνείου. Το προσωπικό του Πολυτεχνείου μπορεί να θεωρηθεί σταθερό για τα



εξεταζόμενα έτη. Αντιθέτως, ο αριθμός των φοιτητών μεταβάλλεται, αφού χρόνο με το χρόνο αλλάζει ο αριθμός εισακτέων στις σχολές του ιδρύματος. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τον αριθμό εισακτέων στο Πολυτεχνείο Κρήτης και η γραφική απεικόνιση της ετήσιας διακύμανσης της ενέργειας.

**Πίνακας αριθμού εισακτέων ανά ακαδημαϊκό έτος<sup>[5]</sup>**

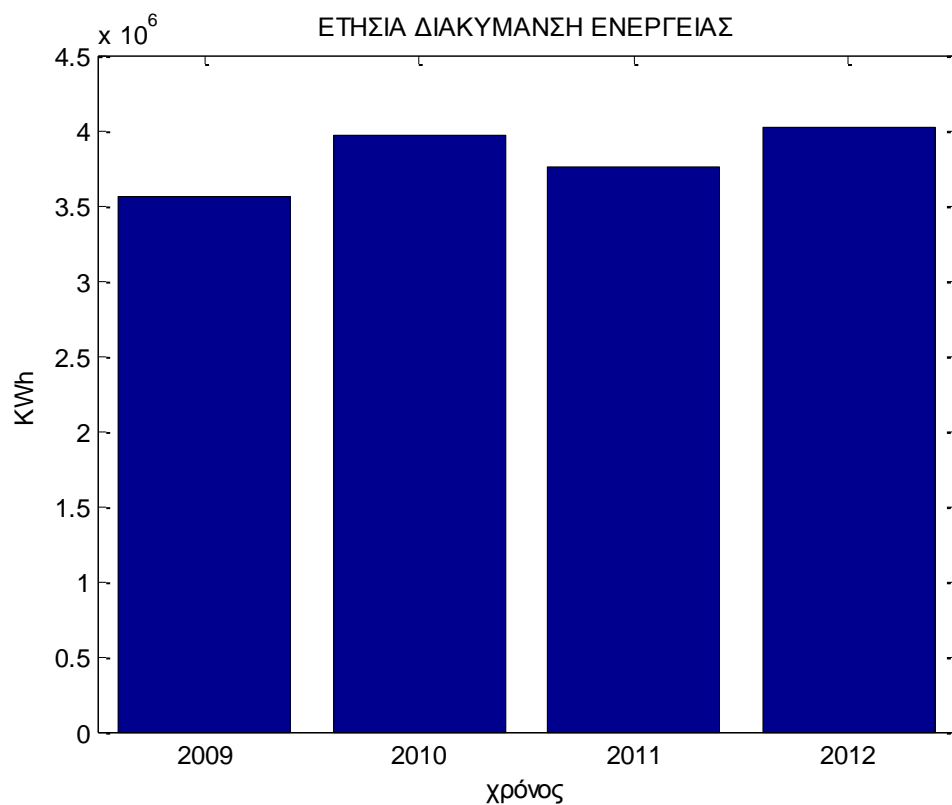
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΚΤΕΩΝ
2008-2009	500
2009-2010	520
2010-2011	520
2011-2012	515

Η μεταβολή του αριθμού των εισακτέων από το έτος 2009 έως το 2012 είναι πάρα πολύ μικρή, κι επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί πως η ετήσια κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται από τον αριθμό των καταναλωτών. Έτσι, στρεφόμαστε πάλι στα μετεωρολογικά δεδομένα.

**Πίνακας ετήσιων μετεωρολογικών δεδομένων**

Έτος	Μέση τιμή θερμοκρασίας (°C)
2009	18,4
2010	19,5
2011	17,7
2012	18,8

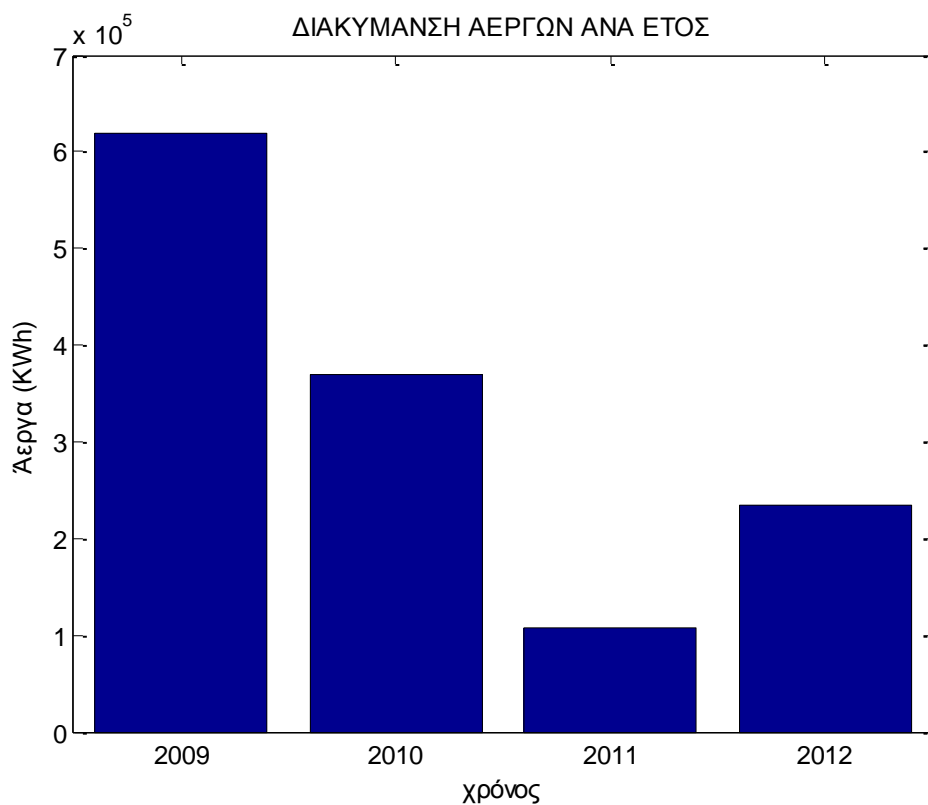
<sup>[5]</sup> Τα στοιχεία πάρθηκαν από το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων.



Η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας δεν συμβαδίζει με την ανάγκη θέρμανσης λόγω μετεωρολογικών δεδομένων. Ωστόσο, τα ποσά της ενέργειας δεν παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διαφορά από χρόνο σε χρόνο. Η αύξηση τα έτη 2010 και 2012 μπορεί να δικαιολογηθεί από την κατασκευή νέων κτιριακών μονάδων, αλλά και από την λειτουργία νέων κυλικείων, που συνεπάγεται την αγορά νέου εξοπλισμού με αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις. Η μειωμένη κατανάλωση το έτος 2011 δικαιολογείται από το γεγονός ότι το Ίδρυμα υπολειτουργούσε περίπου 3 μήνες, εξαιτίας μιας μεγάλης κατάληψης. Ο μέσος όρος κατανάλωσης ενέργειας για τα έτη 2009-2012 αγγίζει περίπου τις 4 GWh, για ακρίβεια 3,8 GWh .

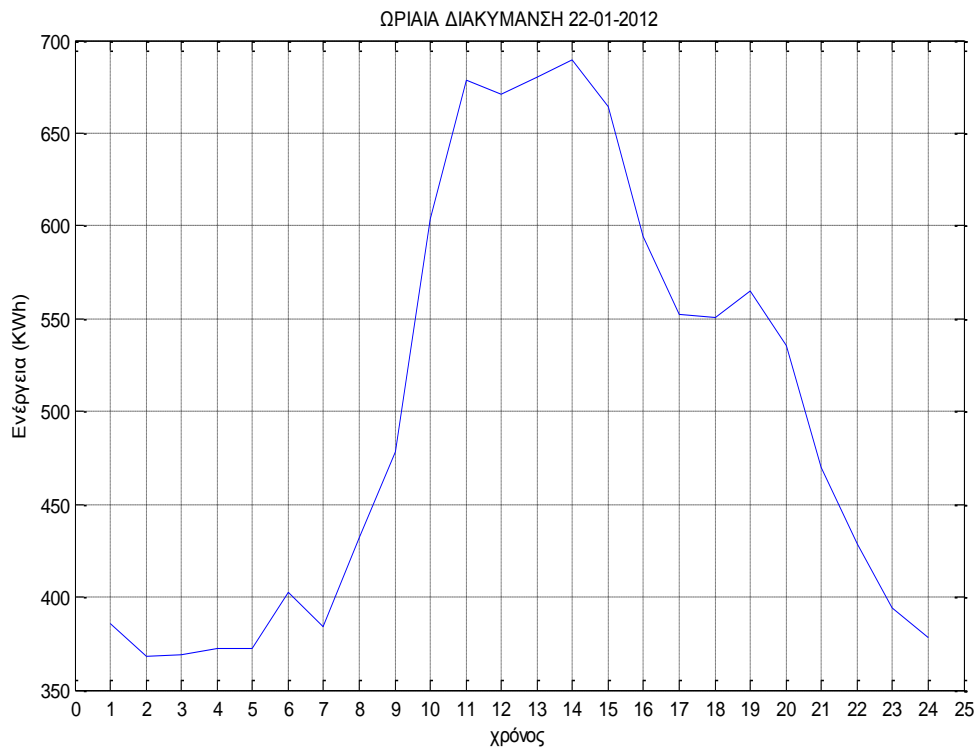
Για τα δεδομένα των έργων προέκυψε το εξής διάγραμμα:





Η πολύ σημαντική μείωση των άεργων το έτος 2011 μαρτυρά την αντικατάσταση και την αναβάθμιση των παλιών ηλεκτρικών συσκευών, οι οποίες παρουσίαζαν επαγωγική συμπεριφορά, αυξάνοντας έτσι την άεργη ισχύ.

Για την ανάλυση της συνεισφοράς των ηλεκτρικών συσκευών στην κατανάλωση ενέργειας θα εξετάσουμε την γραφική απεικόνιση της ωριαίας διακύμανσης για μια προκαθορισμένη μέρα. Επιλέγουμε η μέρα που εξετάζουμε να είναι Κυριακή, έτσι ώστε το μεγαλύτερος μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων να αφορούν τη φοιτητική λέσχη και τη φοιτητική εστία.

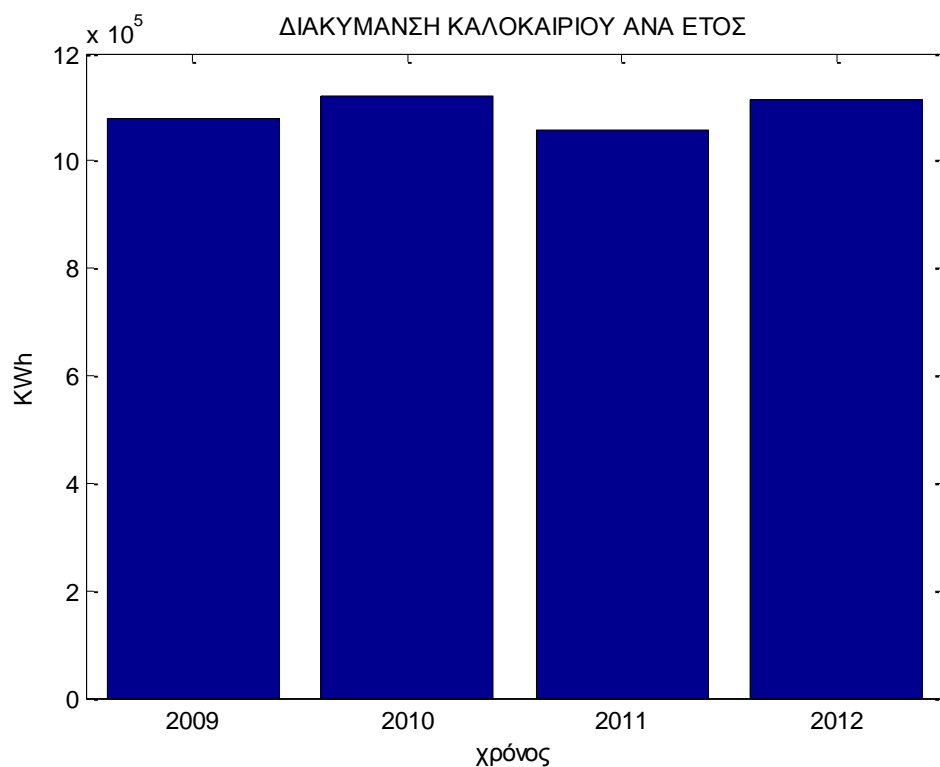


Πράγματι, διαπιστώνουμε ότι η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας υφίσταται για τις ώρες αιχμής της λέσχης, που δεν είναι άλλες από τις μεσημεριανές. Γενικά, είναι φανερή η ανάγκη για ενέργεια κατά τη διάρκεια των πρωινών και μεσημεριανών ωρών, ενώ όσο βραδιάζει η ανάγκη αυτή μειώνεται αισθητά με κατακόρυφη πτώση τις μεταμεσονύχτιες ώρες.

Τέλος, εξετάζουμε τη σχέση των μετεωρολογικών δεδομένων με τις εποχιακές ενεργειακές απαιτήσεις και συγκεκριμένα το καλοκαίρι για τα έτη 2009-2012. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τη μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού για τα έτη 2009-2012, υπολογισμένη με βάση τη μέση θερμοκρασία του Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου κάθε έτους.

**Πίνακας εποχιακών μετεωρολογικών δεδομένων ανά έτος**

Εποχή	Έτος	Μέση τιμή θερμοκρασίας (°C)
καλοκαίρι	2009	25,7
	2010	26,5
	2011	25,5
	2012	26,9



Η ανάγκη για ψύξη αυτή τη φορά με τη χρήση κλιματιστικών, που αποτυπώνεται στην παραπάνω γραφική παράσταση, συμβαδίζει απόλυτα με τη μέση θερμοκρασία που παρατηρείται κάθε έτος. Έτσι, αν κατατάξουμε τα καλοκαίρια σύμφωνα με το ποιο ήταν πιο ζεστό, προηγείται το καλοκαίρι του 2012, ακολουθεί το καλοκαίρι του 2010, μετά το καλοκαίρι του 2009 και τέλος εκείνο του 2011. Πράγματι, η κατανάλωση ενέργειας είναι η μέγιστη για το καλοκαίρι του 2012 και ακολουθούν ακριβώς με την ίδια σειρά τα υπόλοιπα έτη, σύμφωνα και με την προηγούμενη κατάταξη.

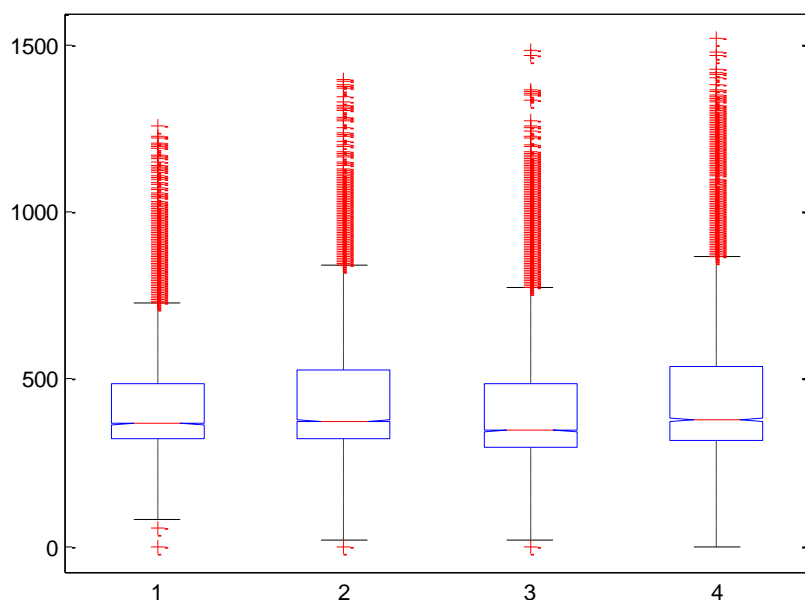


#### 4.6 Ανάλυση Διακύμανσης

Η ανάλυση της διακύμανσης, η αλλιώς εν συντομία ANOVA από την αγγλική ονομασία «analysis of variance», αποτελεί μια στατιστική μέθοδο, η οποία εξετάζει τη μεταβλητότητα που υπάρχει σε ένα δείγμα. Για την καλύτερη ανάλυση, γίνεται διαχωρισμός των επιμέρους συνιστωσών της μεταβλητότητας του δείγματος, προκειμένου να διευκρινιστεί κατά πόσο είναι σημαντικές οι διαφορετικές πηγές προέλευσης. Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε ανάλυση της διακύμανσης με τη χρήση της one-way ANOVA, καθώς εξετάσαμε την κατανάλωση ενέργειας μόνο σε σχέση με το χρόνο. Αποτέλεσμα της one-way ANOVA ήταν ο πίνακας ANOVA (ANOVA table) και τα θηκογράμματα (box plots).

Η ανάλυση της διακύμανσης των ωριαίων δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας για κάθε έτος επέφερε τα εξής αποτελέσματα:

**Box plot ενέργειας<sup>[6]</sup>**



Τα θηκογράμματα αποτελούνται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με ύψος IR. Η κάτω οριζόντια πλευρά του αντιστοιχεί στο 25<sup>ο</sup> εκατοστημόριο και η πάνω οριζόντια πλευρά στο 75<sup>ο</sup> εκατοστημόριο. Η οριζόντια γραμμή στο εσωτερικό του είναι η διάμεσος. Οι οριζόντιες γραμμές (φράκτες) βρίσκονται σε αποστάσεις ίσες το πολύ με  $1,5(Q_3 - Q_1)$ . Αν η μικρότερη ή μεγαλύτερη τιμή βρίσκονται εντός των περιοχών αυτών, τότε οι φράκτες φέρονται ακριβώς στο ύψος των τιμών αυτών. Τιμές που βρίσκονται εκτός των φρακτών ονομάζονται ακραία σημεία (outliers). Αν τα ακραία σημεία βρίσκονται σε απόσταση (από την άνω ή κάτω πλευρά) μικρότερη του  $3(Q_3 - Q_1)$ , δηλαδή μεταξύ  $1,5(Q_3 - Q_1)$  και  $3(Q_3 - Q_1)$ , συμβολίζονται με έναν μικρό κύκλο (ο). Διαφορετικά, συμβολίζονται με έναν αστερίσκο (\*).

<sup>[6]</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο έτος 2009, ο αριθμός 2 στο 2010, ο αριθμός 3 στο 2011 και ο 4 στο 2012.

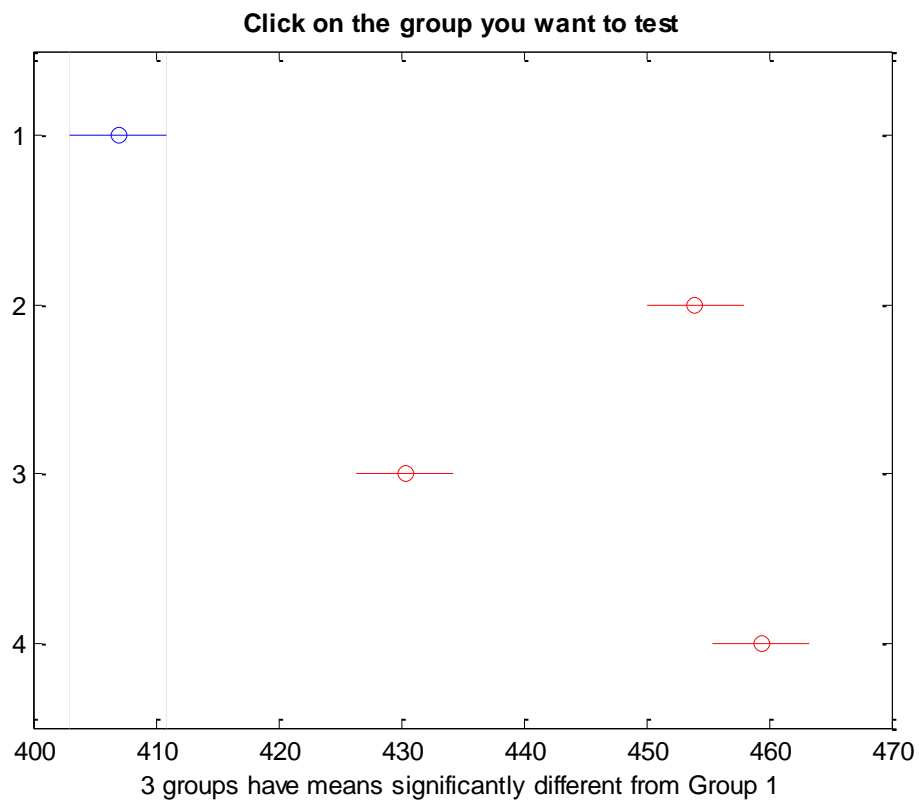


**Πίνακας ANOVA**  
**ANOVA Table**

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	1.51696e+007	3	5056536.6	122.12	1.10655e-078
Error	1.44675e+009	34940	41406.8		
Total	1.46192e+009	34943			

Ο πίνακας ANOVA που προκύπτει αποτελείται από στήλες και γραμμές, για τις οποίες ισχύουν τα εξής:

Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών από τη μέση τιμή αυτών των τιμών (SS) ονομάζεται μεταβλητότητα. Εφ' όσον οι τιμές δεν είναι ταυτόσημες, θα υπάρξει μεταβολή. Οι βαθμοί ελευθερίας (df) είναι ο αριθμός των τιμών που είναι ελεύθερες να διαφέρουν, μόλις καθοριστούν ορισμένες παράμετροι. Συνήθως, είναι ένας αριθμός λιγότερος από το μέγεθος του δείγματος, αλλά σε γενικές γραμμές, είναι ο αριθμός των τιμών μείον τον αριθμό των παραμέτρων που εκτιμώνται. Η διακύμανση του δείγματος (MS) είναι η μέση τετραγωνική απόκλιση από τη μέση τιμή και υπολογίζεται διαιρώντας την μεταβολή με τους βαθμούς ελευθερίας. Η στήλη F αντιστοιχεί στο στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής F. Γίνεται μια στατιστική δοκιμή F για κάθε πηγή εκτός από το λάθος και το συνολικό, γι' αυτό και στον πίνακα οι γραμμές του λάθους και του συνόλου δεν έχουν αποτέλεσμα στη στήλη του F. Το F είναι ο λόγος των διακυμάνσεων από δύο δείγματα, ενώ η στήλη MS περιέχει διακυμάνσεις. Το στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής F για κάθε πηγή είναι το MS για την εν λόγω γραμμή διαιρεμένο με το MS της γραμμής σφάλματος.



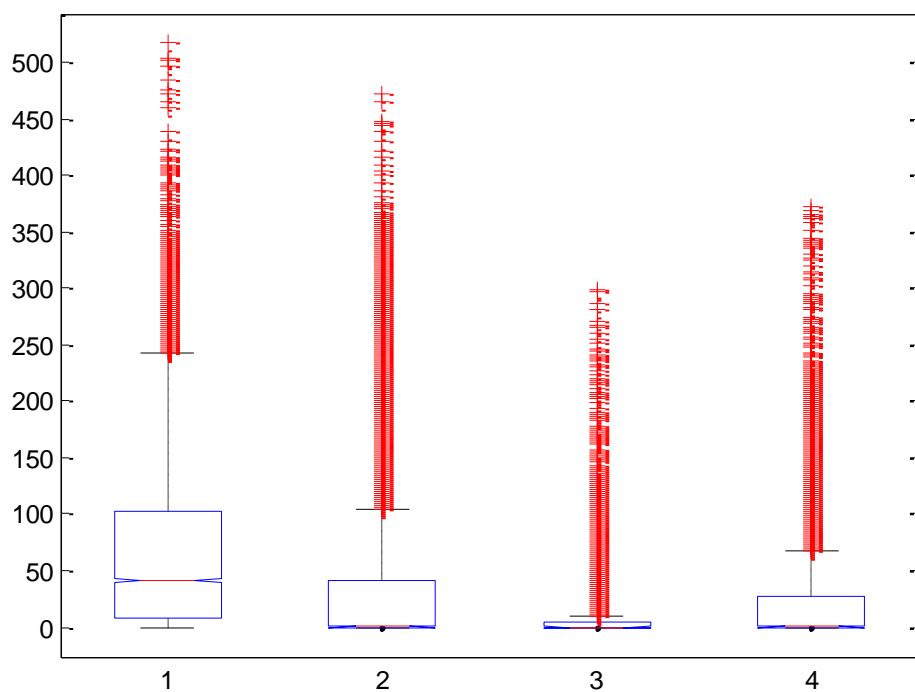
Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η διακύμανση της ενέργειας του έτους 2009 διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα έτη, πράγμα αναμενόμενο αφού όπως είδαμε και στα διαγράμματα της ετήσιας διακύμανσης η κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2009 παρουσιάζει απόκλιση σε σχέση με τα υπόλοιπα έτη.

Όσον αφορά τα άεργα, ύστερα από την ανάλυση διακύμανσης κάθε έτους προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:





**Box plot άεργων<sup>[7]</sup>**



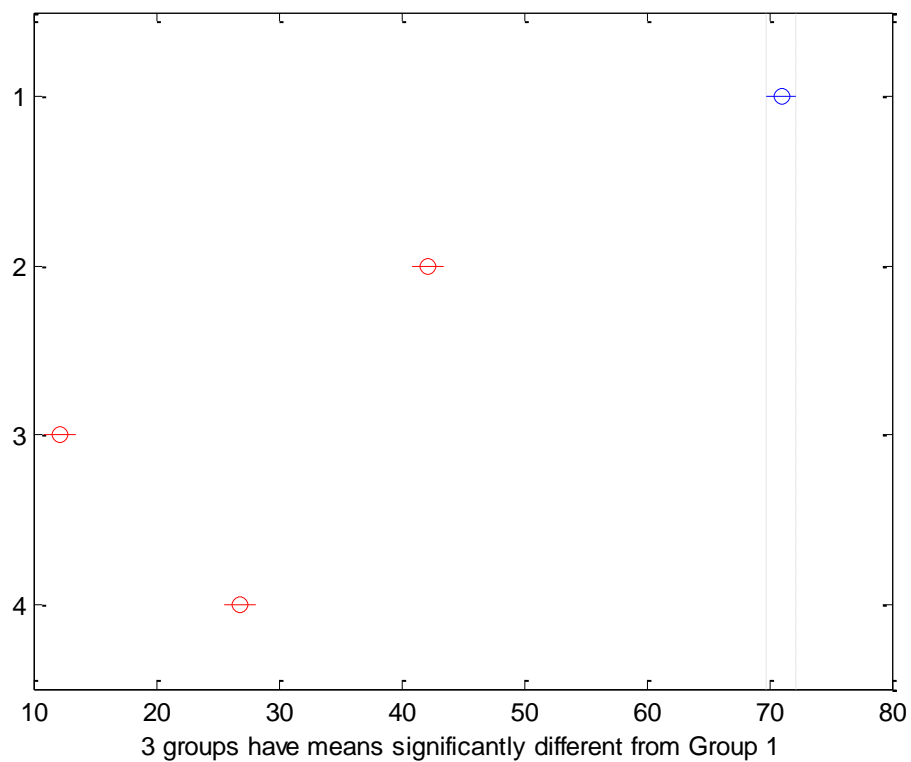
<sup>[7]</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο έτος 2009, ο αριθμός 2 στο 2010, ο αριθμός 3 στο 2011 και ο 4 στο 2012.



Πίνακας ANOVA  
ANOVA Table

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	1.65481e+007	3	5516043.34	1285.75	0
Error	1.49898e+008	34940	4290.15		
Total	1.66446e+008	34943			

Click on the group you want to test





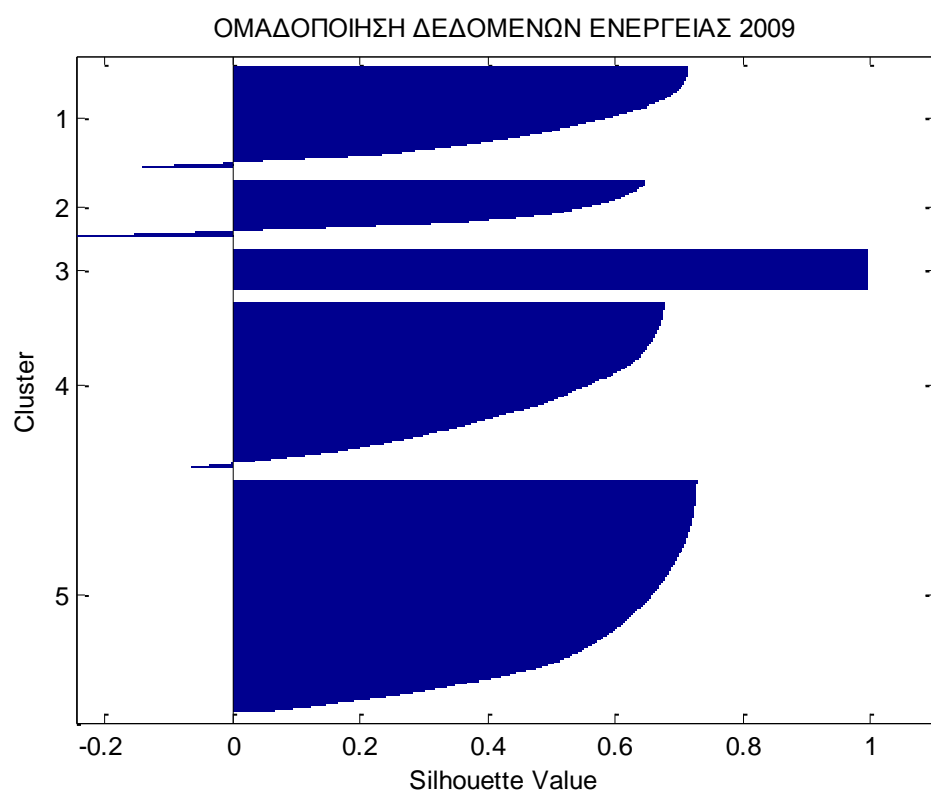
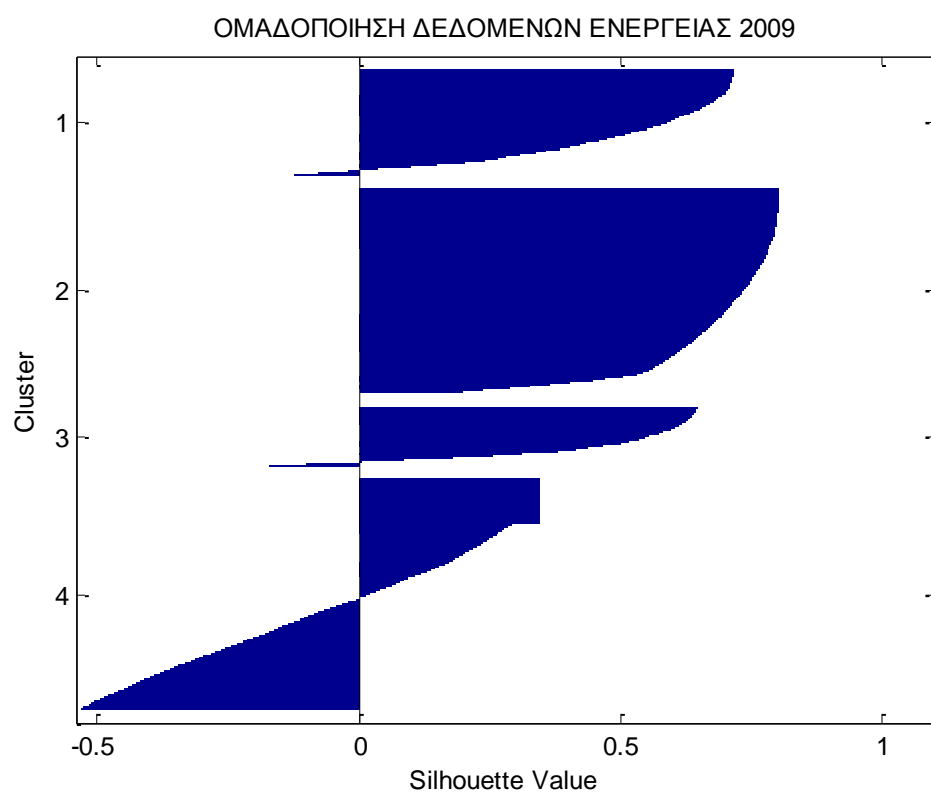
Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η διακύμανση των έργων του έτους 2009 διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα έτη, ενώ τα δεδομένα για τα έργα του 2011 εμφανίζουν τη μικρότερη διακύμανση.

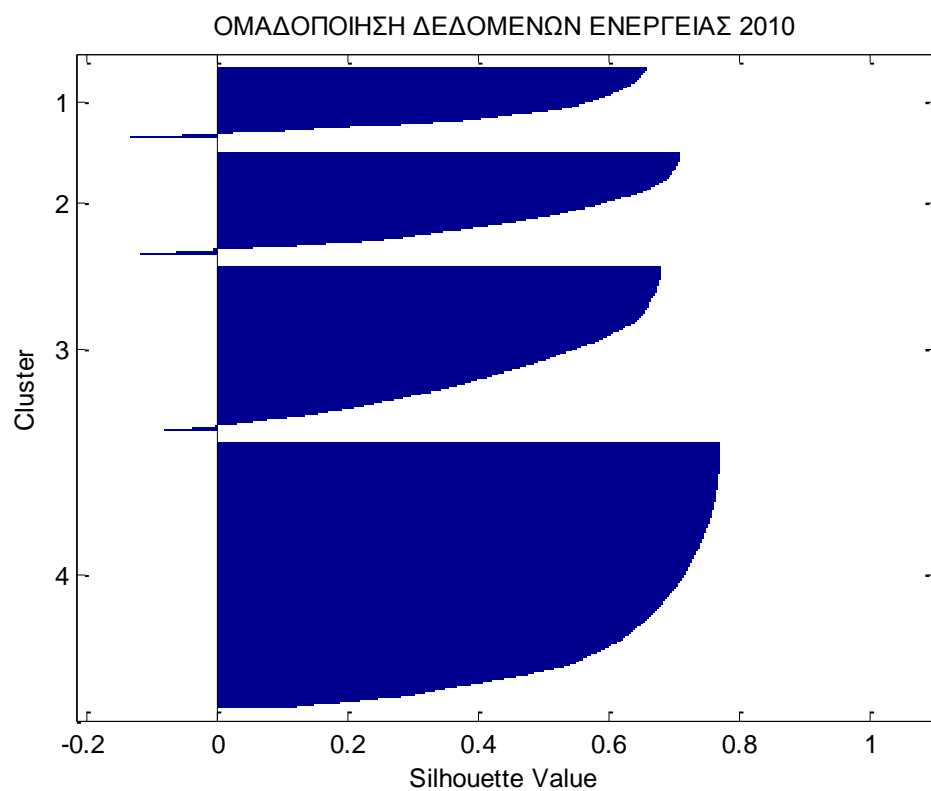
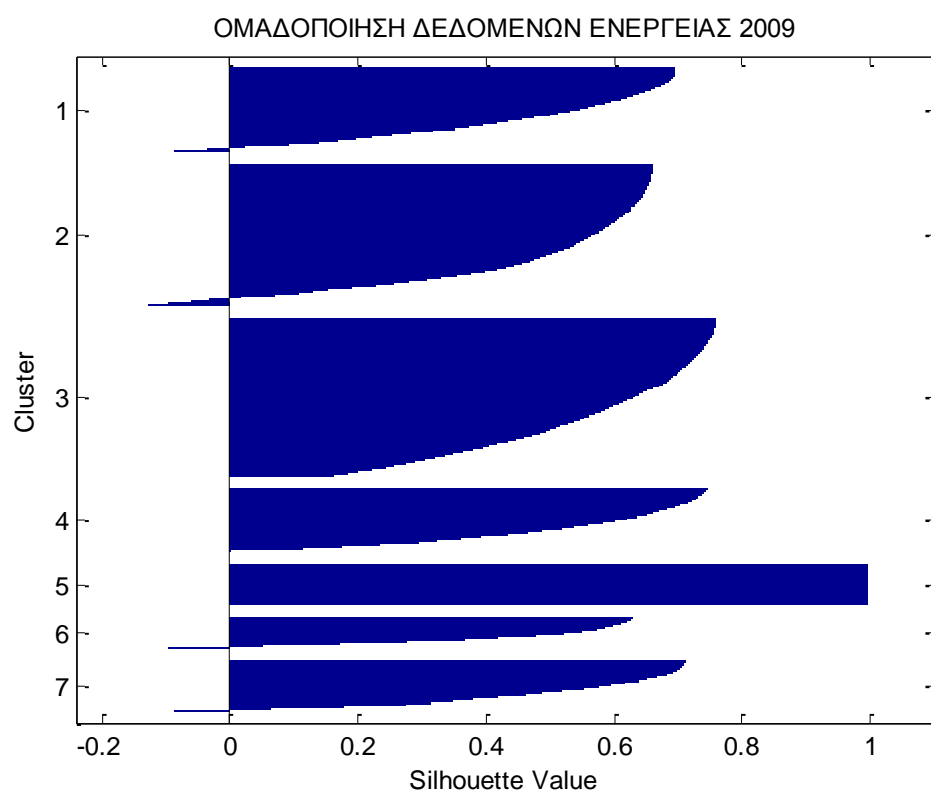
#### 4.7 Ομαδοποίηση δεδομένων

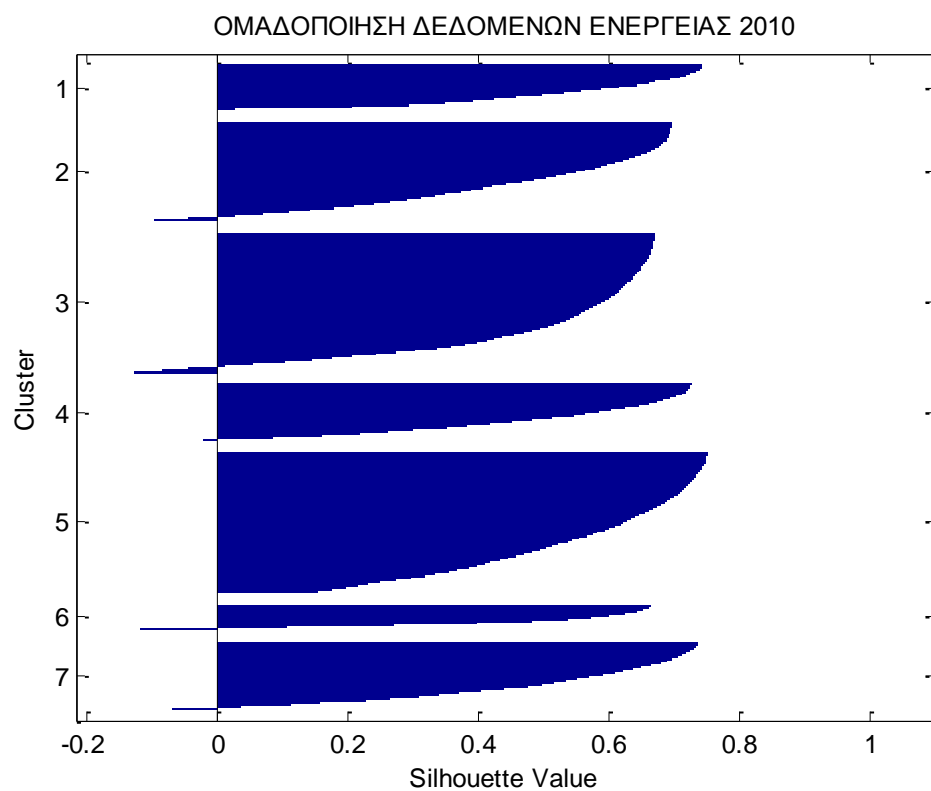
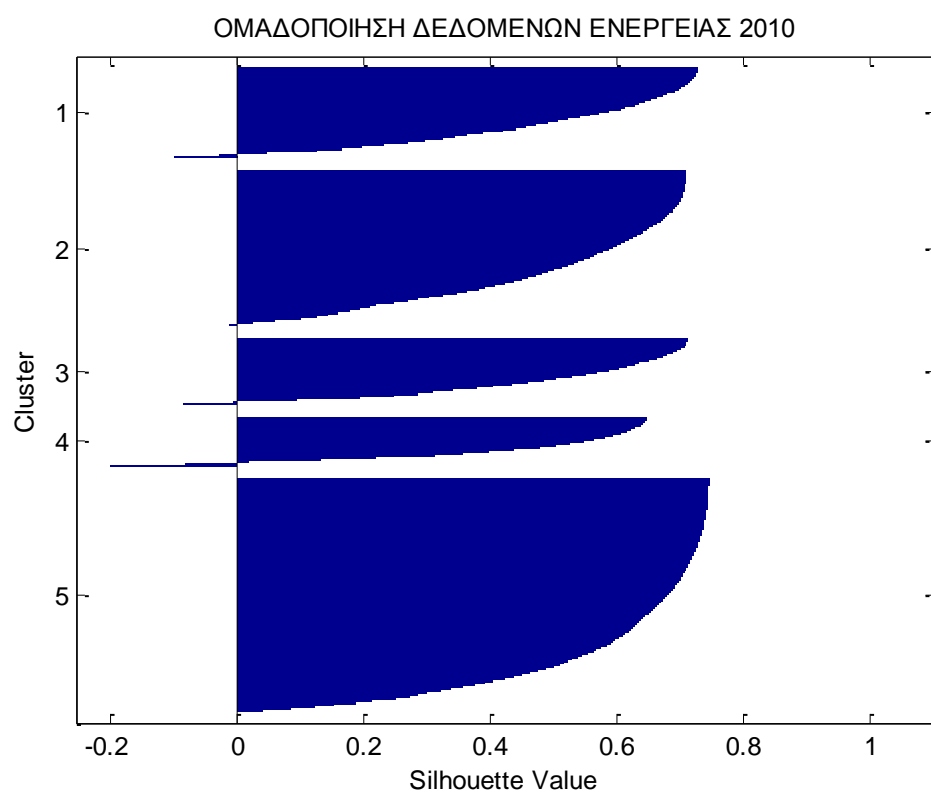
Η ομαδοποίηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο k-means. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι ένας απλός και εύκολος τρόπος ταξινόμησης των δεδομένων σε ένα ορισμένο αριθμό συστάδων (k clusters) που έχει καθοριστεί εκ των προτέρων. Η βασική ιδέα είναι να καθοριστούν k κέντρα βάρους, ένα για κάθε συστάδα. Αυτά τα κέντρα βάρους πρέπει να τοποθετηθούν με έναν έξυπνο τρόπο λόγω, αφού η διαφορετική θέση μπορεί να επιφέρει διαφορετικό αποτέλεσμα. Έτσι, η καλύτερη επιλογή είναι να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν πιο μακριά το ένα από το άλλο. Στη συνέχεια, κάθε σημείο που ανήκει σε ένα σύνολο δεδομένων συσχετίζεται στο πλησιέστερο κέντρο βάρους. Όταν δεν υπάρχει σημείο που να εκκρεμεί, το πρώτο βήμα έχει ολοκληρωθεί και η πρώτη ομαδοποίηση έχει τελειώσει. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να υπολογιστούν εκ νέου τα κέντρα βάρους ως κέντρα των συστάδων που προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα. Αφού έχουμε τα νέα k κέντρα βάρους, ένας νέος δεσμός πρέπει να γίνει μεταξύ των ίδιων σημείων του σύνολο δεδομένων και του πλησιέστερου νέου κέντρου βάρους. Έτσι, ξεκινάει μια διαδρομή, αποτέλεσμα της οποίας είναι τα k κέντρα βάρους να αλλάζουν τη θέση τους βήμα-βήμα μέχρι να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν άλλες αλλαγές.

Για να καταλάβουμε το πόσο καλά διαχωρίζονται οι προκύπτουσες συστάδες, μπορούμε να κάνουμε ένα διάγραμμα σκιαγραφιών (silhouette plot), χρησιμοποιώντας τους δείκτες διασποράς των ομάδων που προέκυψαν από το kmeans. Το διάγραμμα σκιαγραφιών αποτυπώνει το πόσο κοντά βρίσκεται κάθε σημείο μιας ομάδας με τα σημεία των γειτονικών ομάδων. Ο άξονας x κυμαίνεται από +1 μέχρι -1. Η τιμή +1 υποδεικνύει τα σημεία που είναι πολύ απομακρυσμένα από τις γειτονικές συστάδες. Η τιμή 0 υποδεικνύει τα σημεία που δεν είναι ξεκάθαρα σε μια ομάδα ή σε άλλη. Η τιμή -1 υποδεικνύει τα σημεία που πιθανώς αποδίδονται σε λάθος σύμπλεγμα.

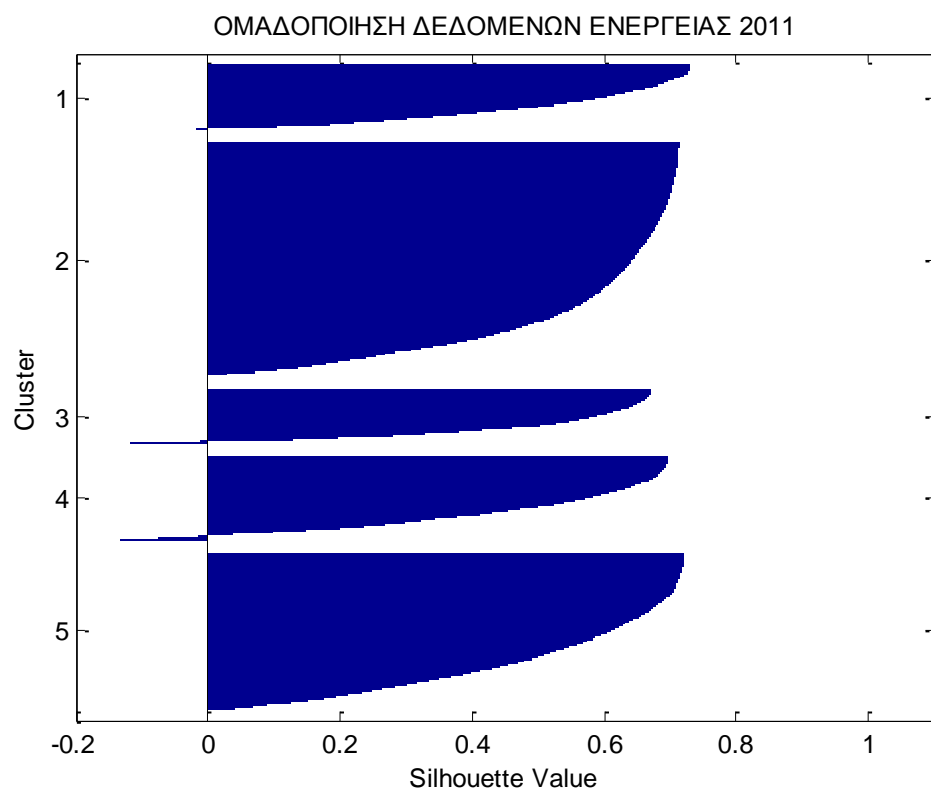
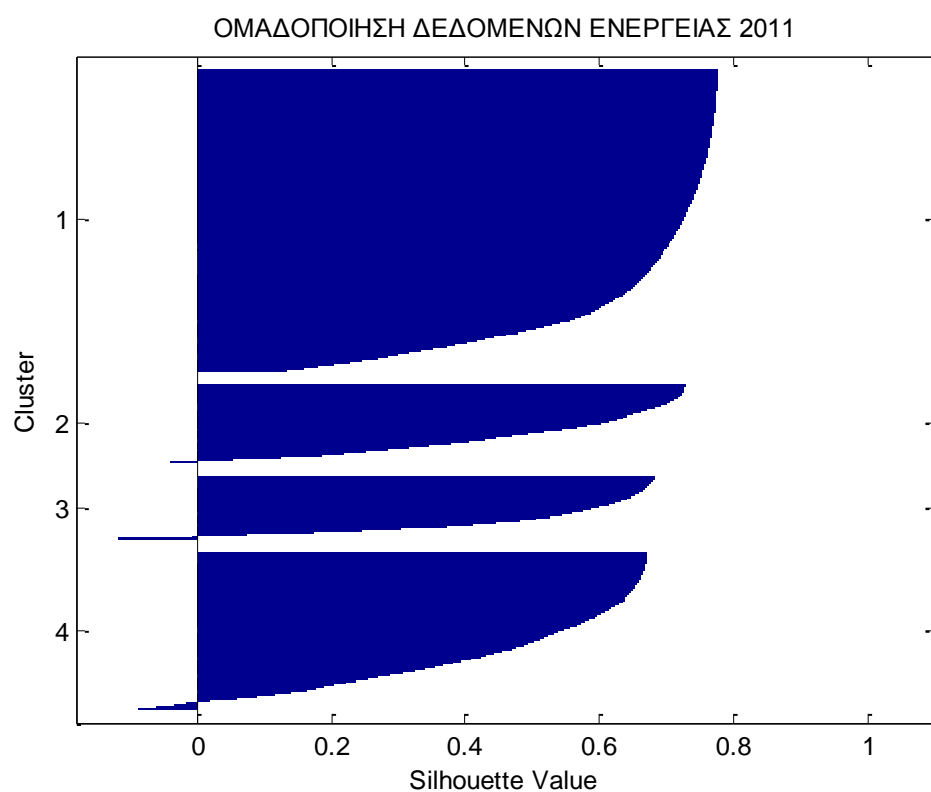
Τα δεδομένα που επεξεργαστήκαμε για την ομαδοποίηση ήταν η ενέργεια (KWh) των ετών 2009-2012. Στην επεξεργασία μας, προχωρήσαμε σε δοκιμές για τον εντοπισμό της καλύτερης ομαδοποίησης και επιλέξαμε να χωρίζουμε κάθε φορά τα δεδομένα σε 4, 5 και 7 ομάδες αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω:

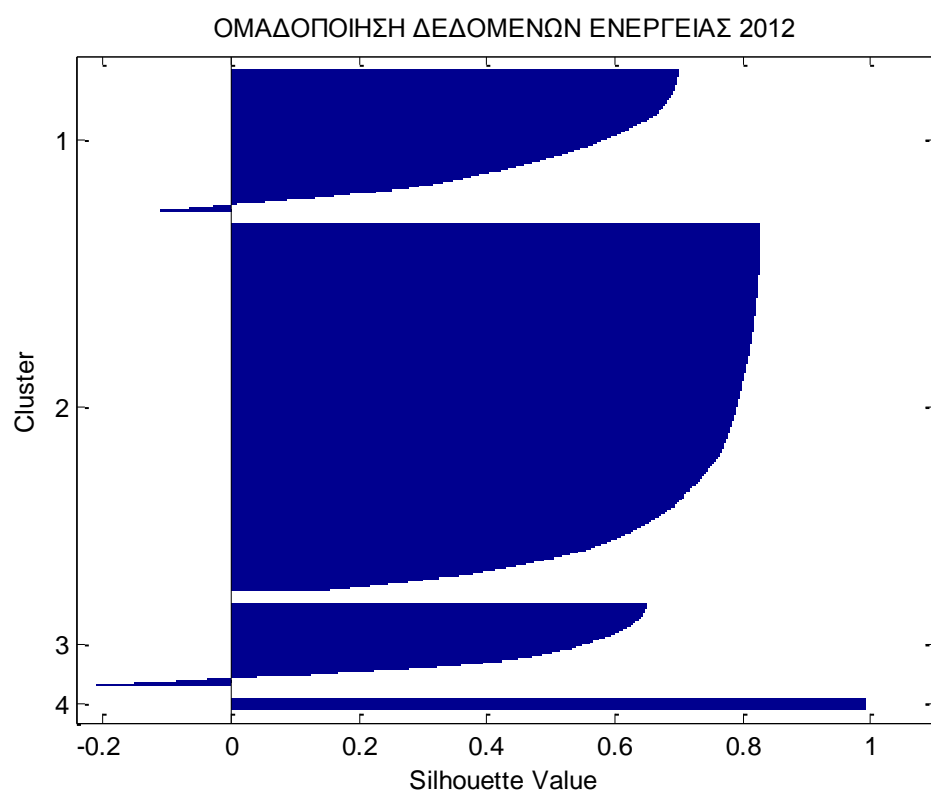
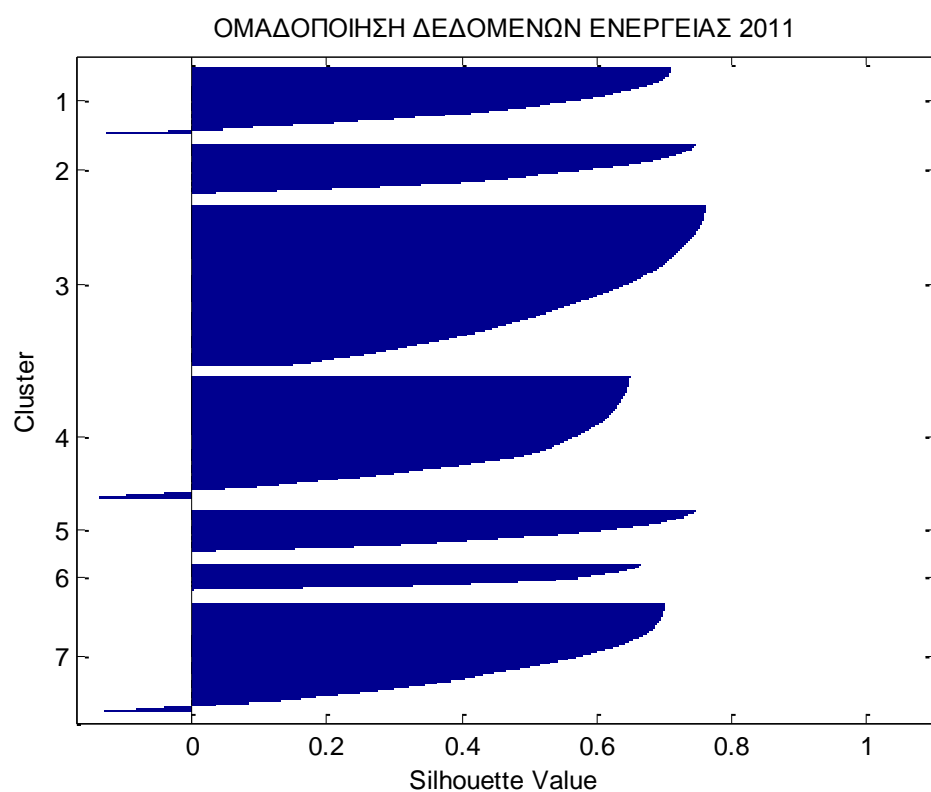


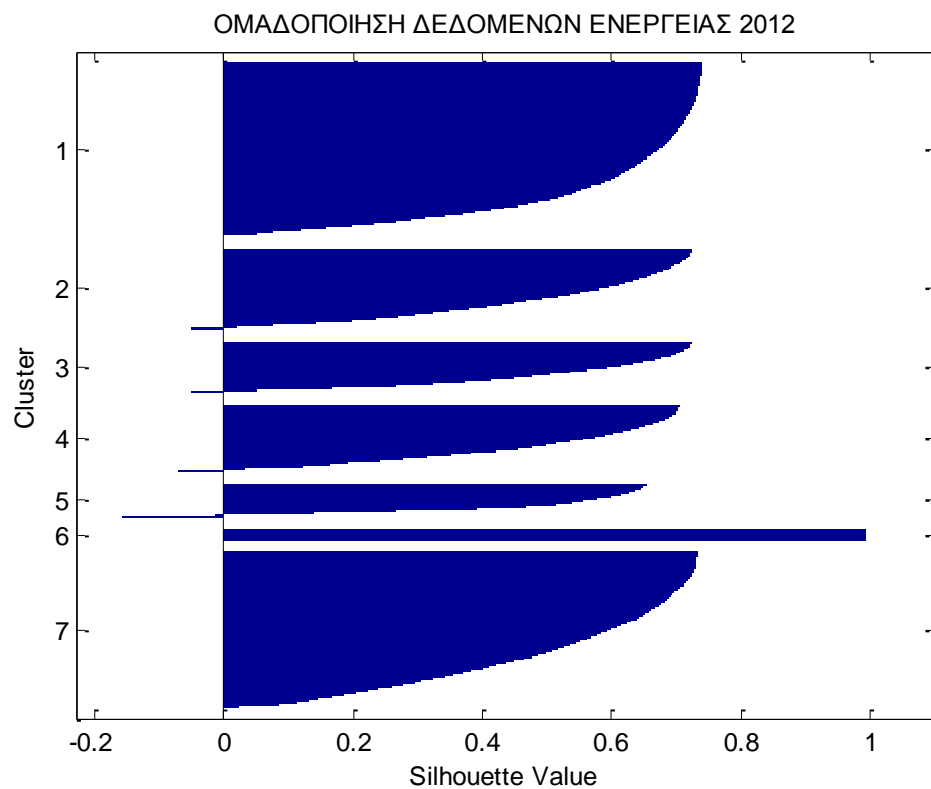
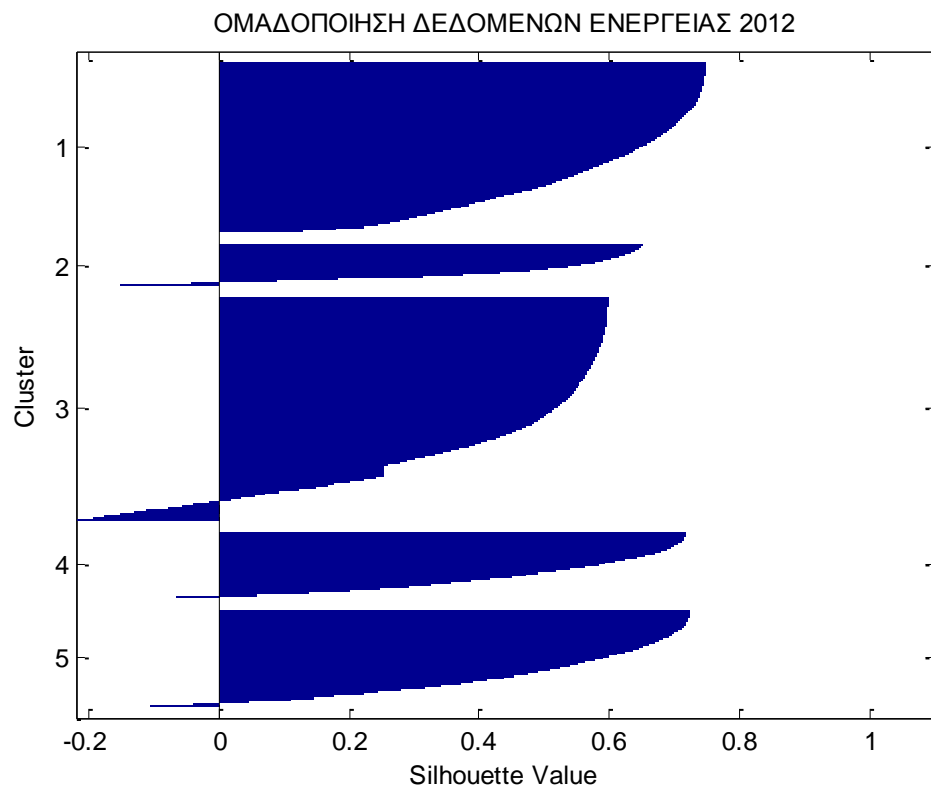














Παρατηρούμε ότι σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήσαμε για την ομαδοποίηση, υπάρχει πάντα μία τουλάχιστον ομάδα η οποία παρουσιάζει αρνητικές τιμές, πράγμα που σημαίνει πως κάποια από τα στοιχεία αποδόθηκαν σε λάθος ομάδα.

Η ανάδειξη του ορθού αριθμού των ομάδων προκύπτει με αύξηση του αριθμού των clusters. Με αυτό τον τρόπο διαπιστώνουμε αν η μέθοδος kmeans μπορεί να πετύχει μια καλύτερη ομαδοποίηση των δεδομένων. Αξίζει να σημειώσουμε ότι το συνολικό άθροισμα των αποστάσεων μειώνεται σε κάθε επανάληψη, καθώς η kmeans εκχωρεί εκ νέου τα σημεία μεταξύ των συστάδων και υπολογίζει ξανά τα κέντρα βάρους των συμπλεγμάτων. Εκτελώντας τις κατάλληλες εντολές, προκύπτει ο σωστός αριθμός ομάδων για τα δεδομένα της ενέργειας κάθε έτους, που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας ανάδειξης σωστής ομαδοποίησης**

	Ενέργεια 2009	Ενέργεια 2010	Ενέργεια 2011	Ενέργεια 2012
Correct number of clusters	29	23	50	30

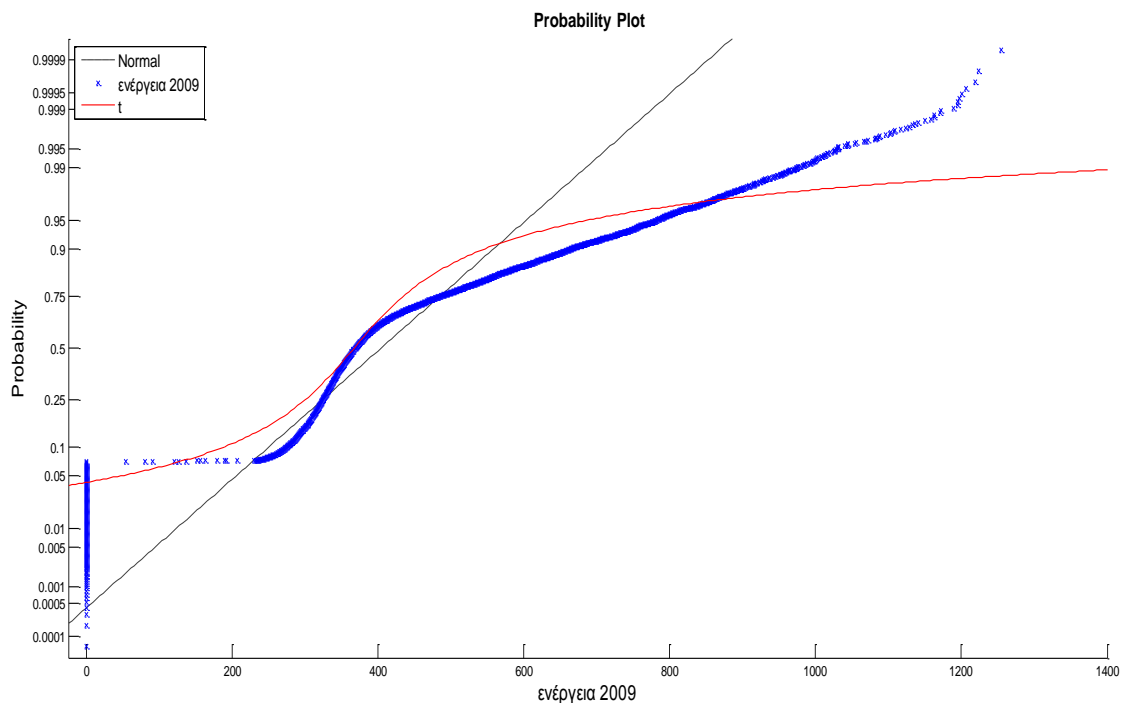
Ο σωστός αριθμός των ομάδων σε κάθε περίπτωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως αρκετά μεγάλος. Αυτό, ωστόσο, μπορεί να δικαιολογηθεί από τον όγκο των δεδομένων, τα οποία ξεπερνούν τις 8.000 για κάθε έτος.

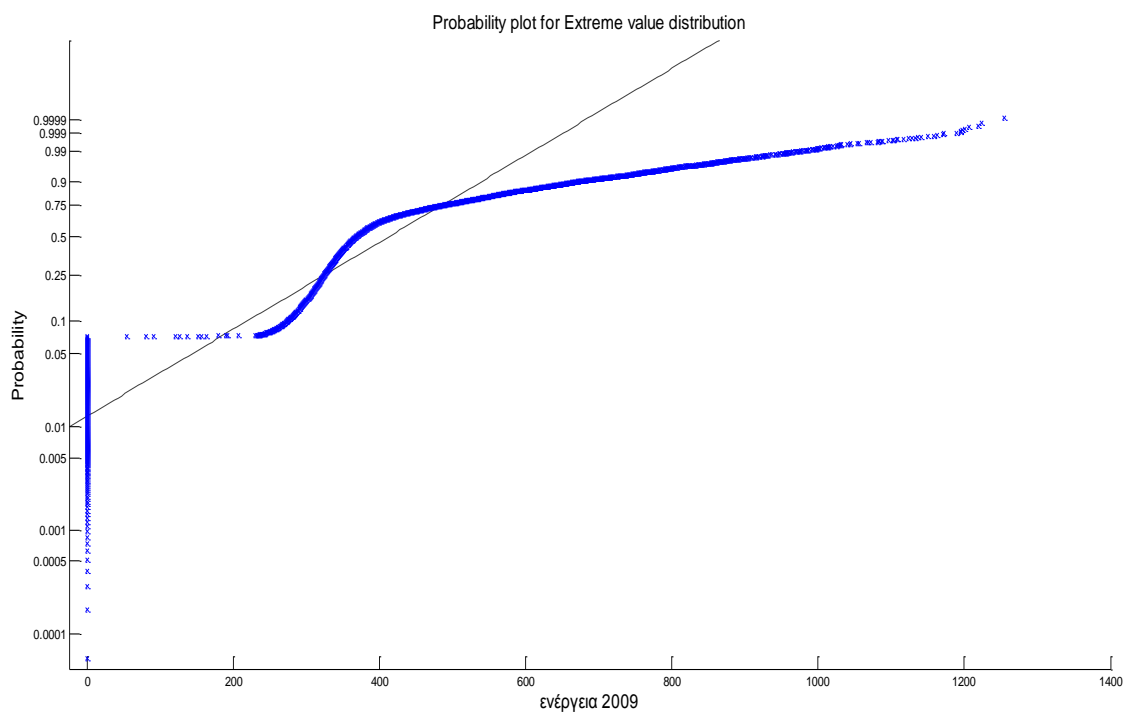
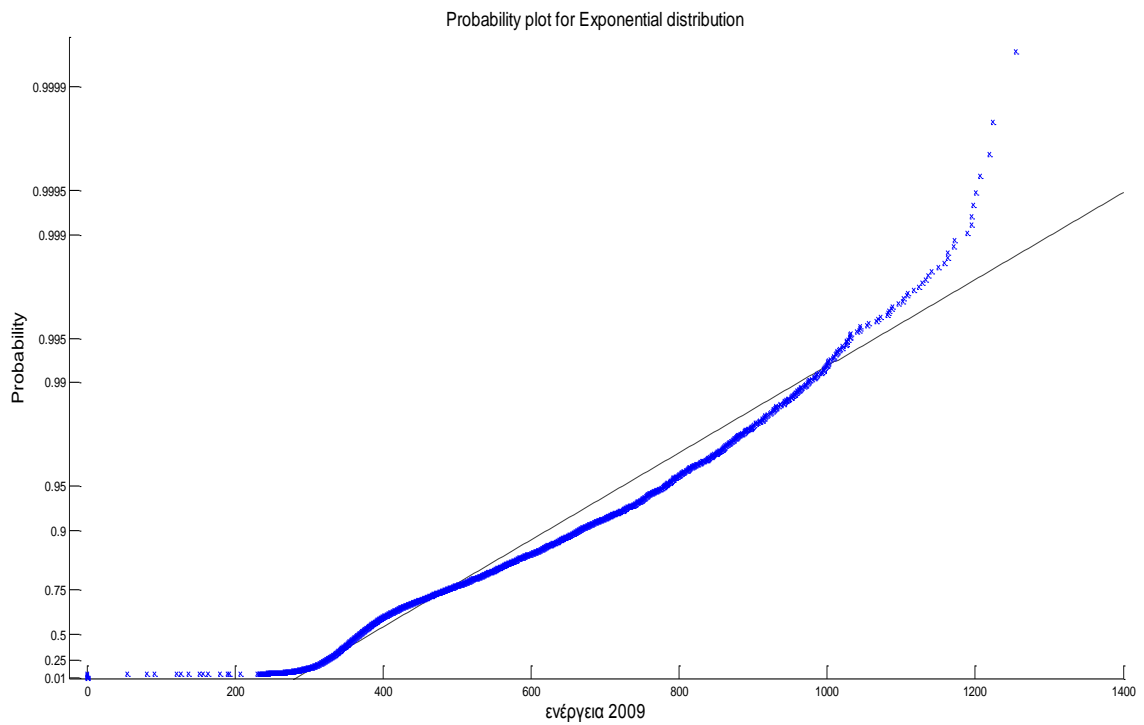


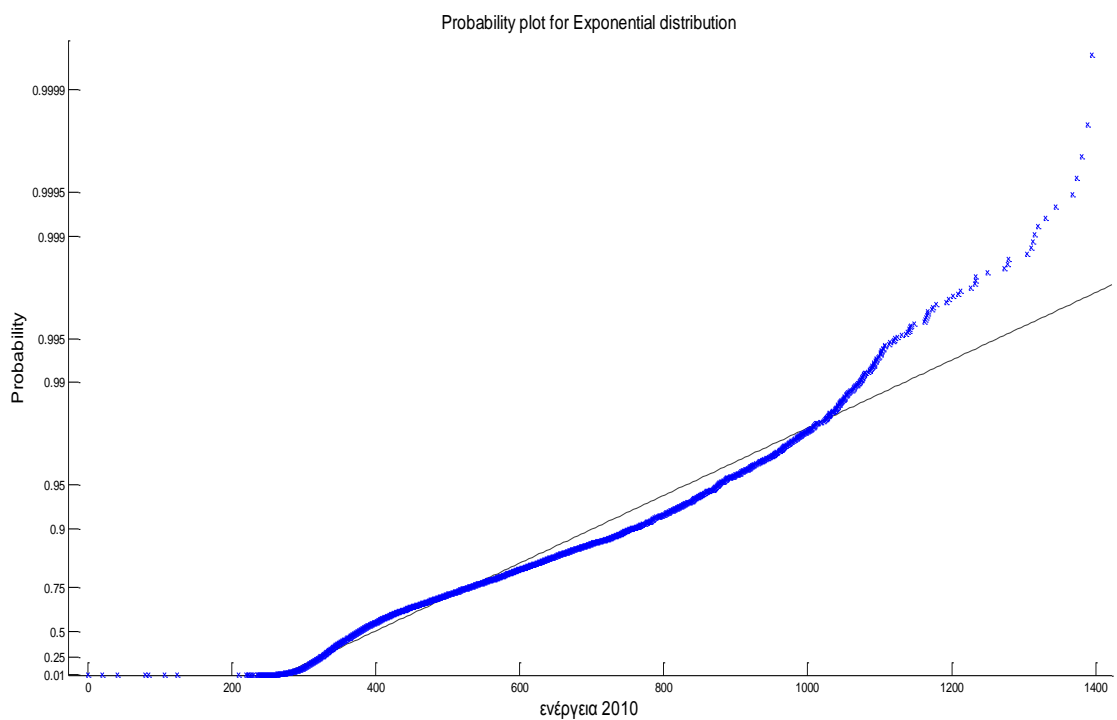
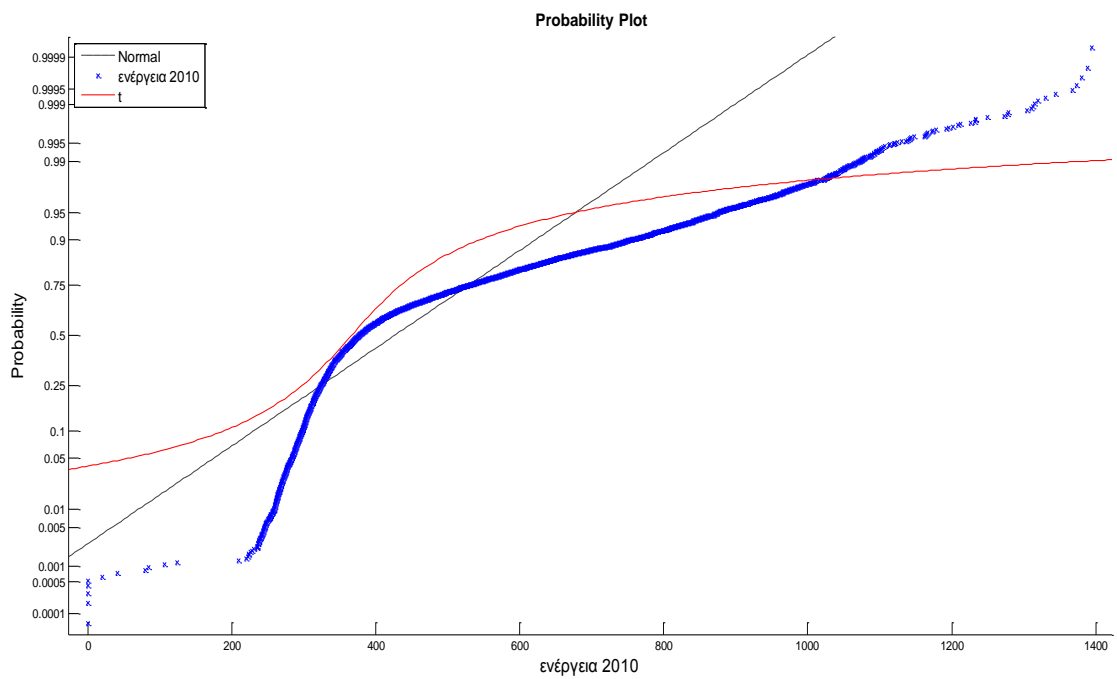
#### 4.8 Κατανομή δεδομένων

Η εύρεση της κατανομής που περιγράφει τα δεδομένα περιελάμβανε δοκιμές για την κανονική κατανομή, την κατανομή  $t$ , την εκθετική κατανομή και την κατανομή ακραίων τιμών. Δοκιμές έγιναν και για την λογαριθμοκανονική κατανομή, την κατανομή Weibull και την κατανομή Rayleigh. Ωστόσο, οι δοκιμές αυτές δεν μας έδωσαν κάποιο αποτέλεσμα, αφού οι εν λόγω κατανομές προϋποθέτουν τιμές μεγαλύτερες του μηδενός και σε αρκετές περιπτώσεις τα δεδομένα μας υπήρξαν μηδενικά. Τα δεδομένα που επεξεργαστήκαμε ήταν η ενέργεια (KWh) των ετών 2009-2012.

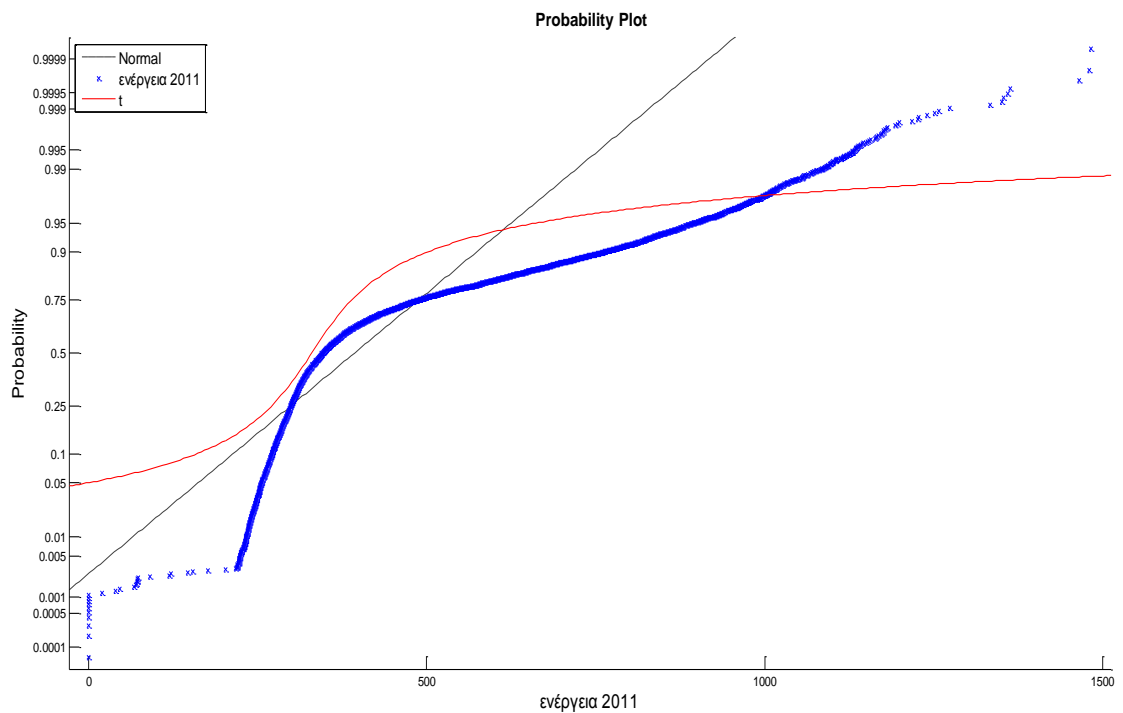
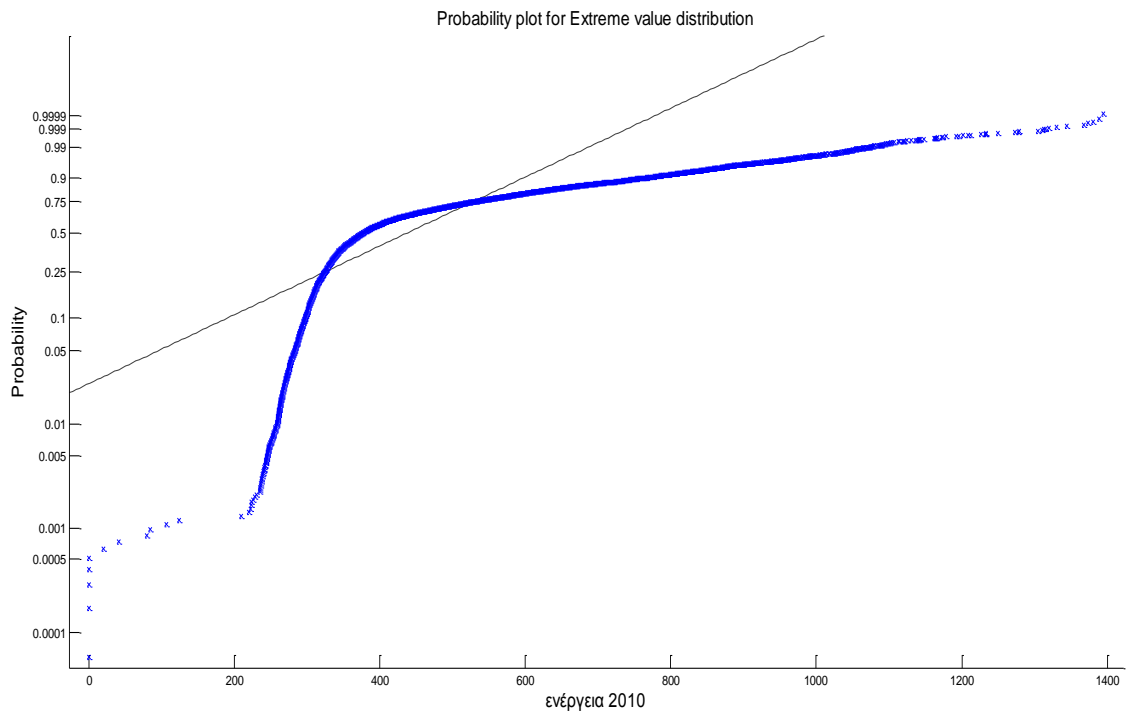
Παρακάτω, παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν για την κανονική κατανομή, την κατανομή  $t$ , την εκθετική και την κατανομή ακραίων τιμών.

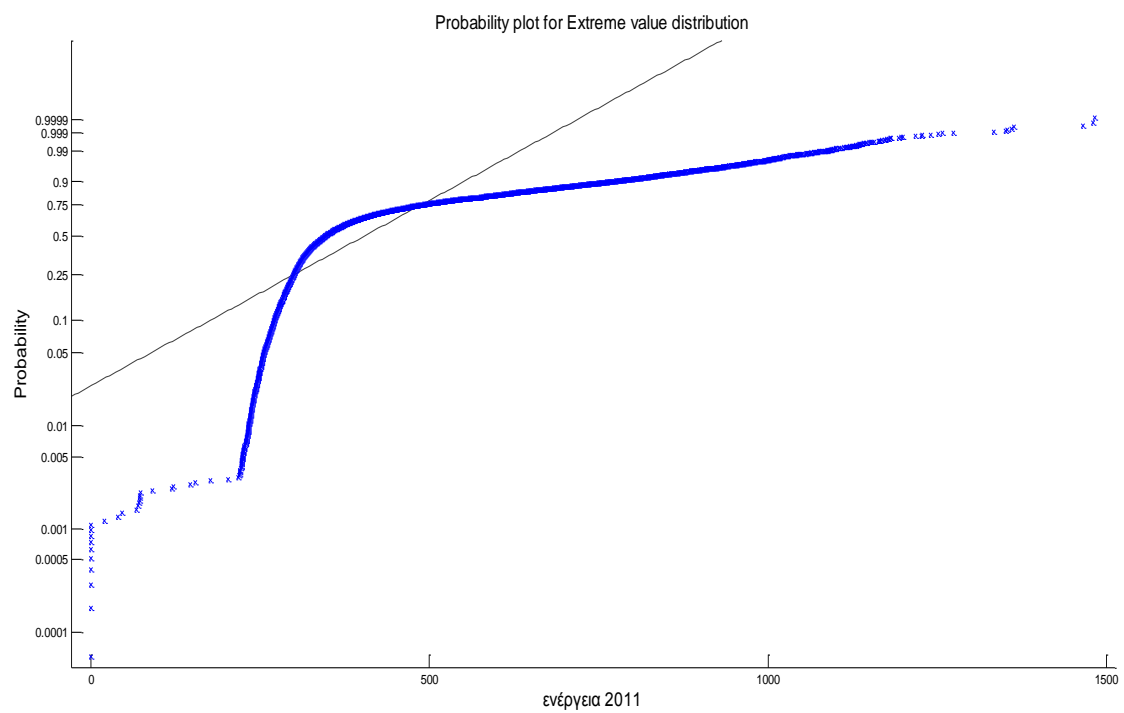
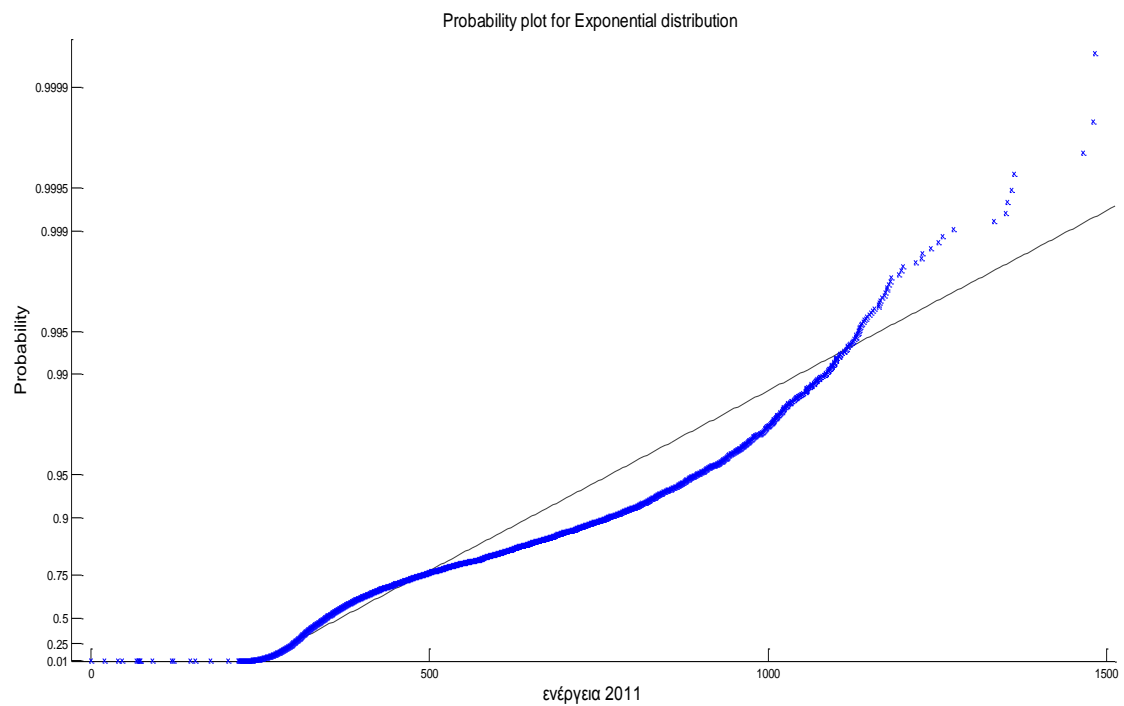


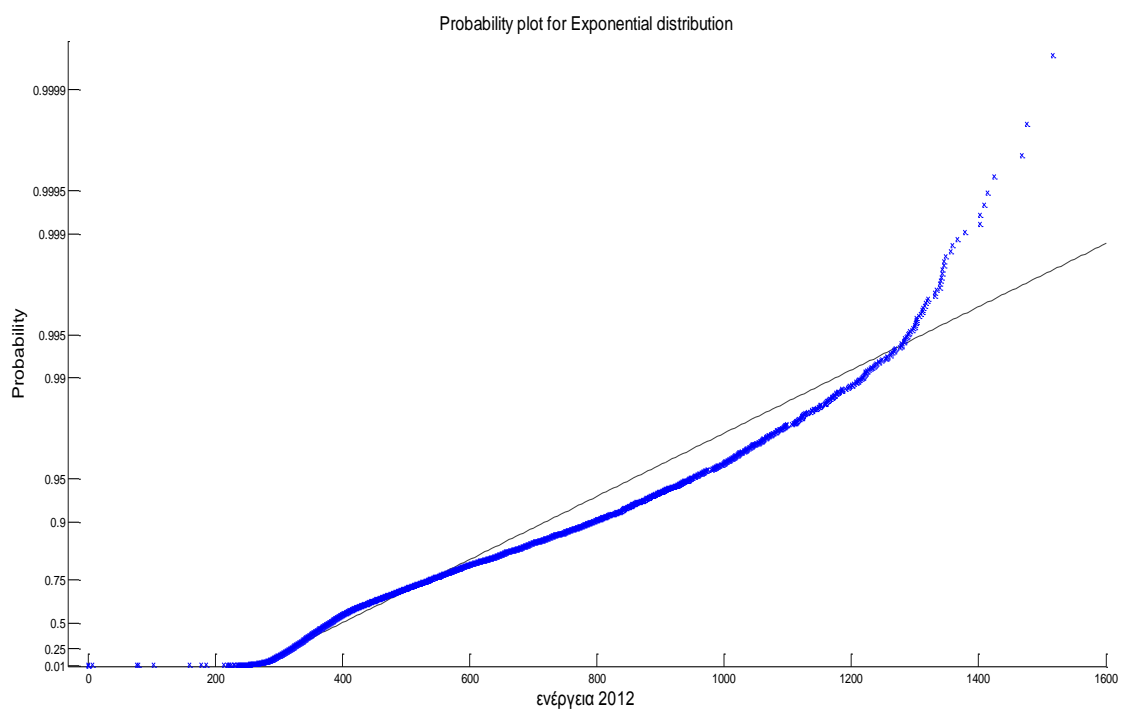
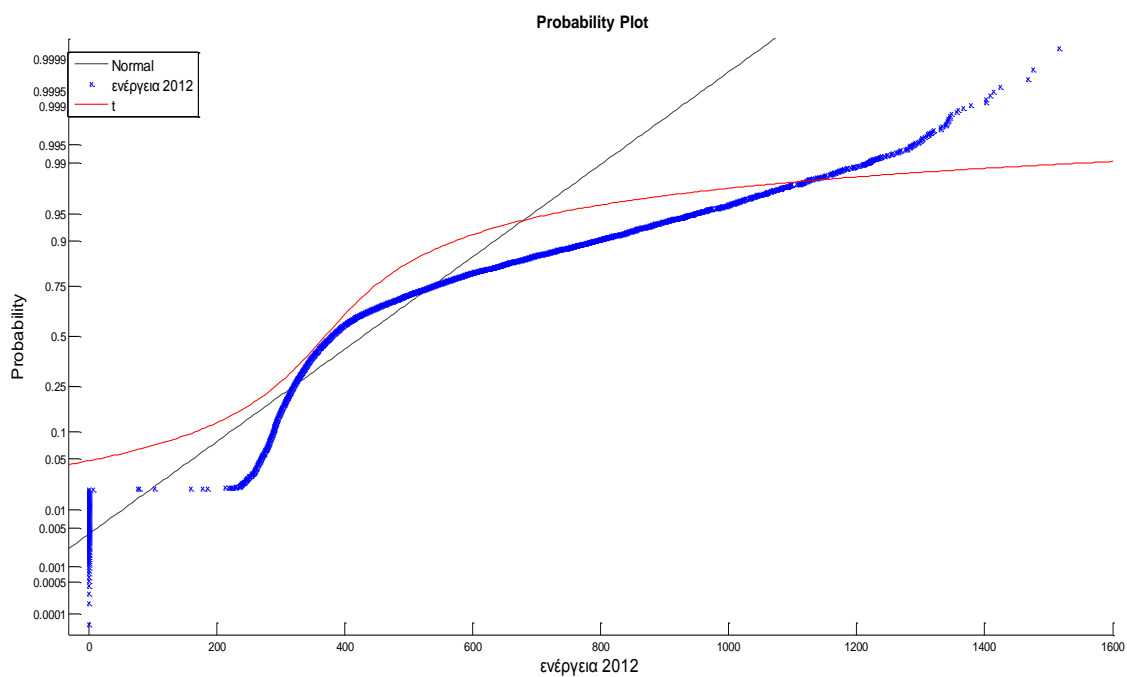


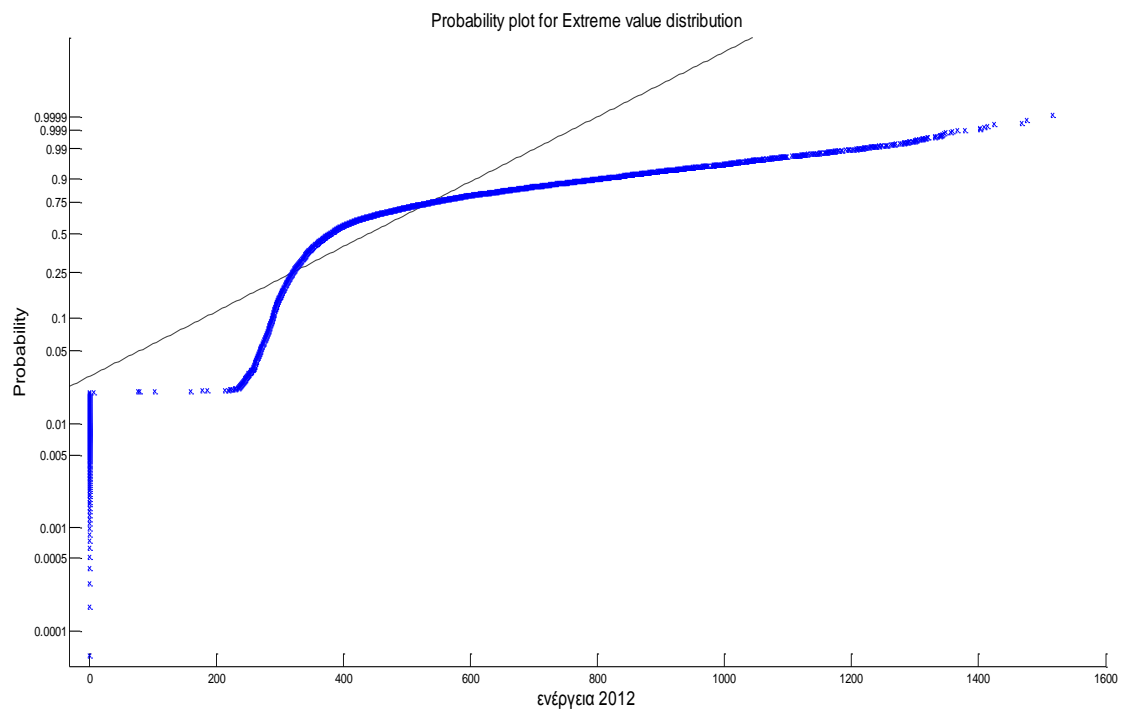






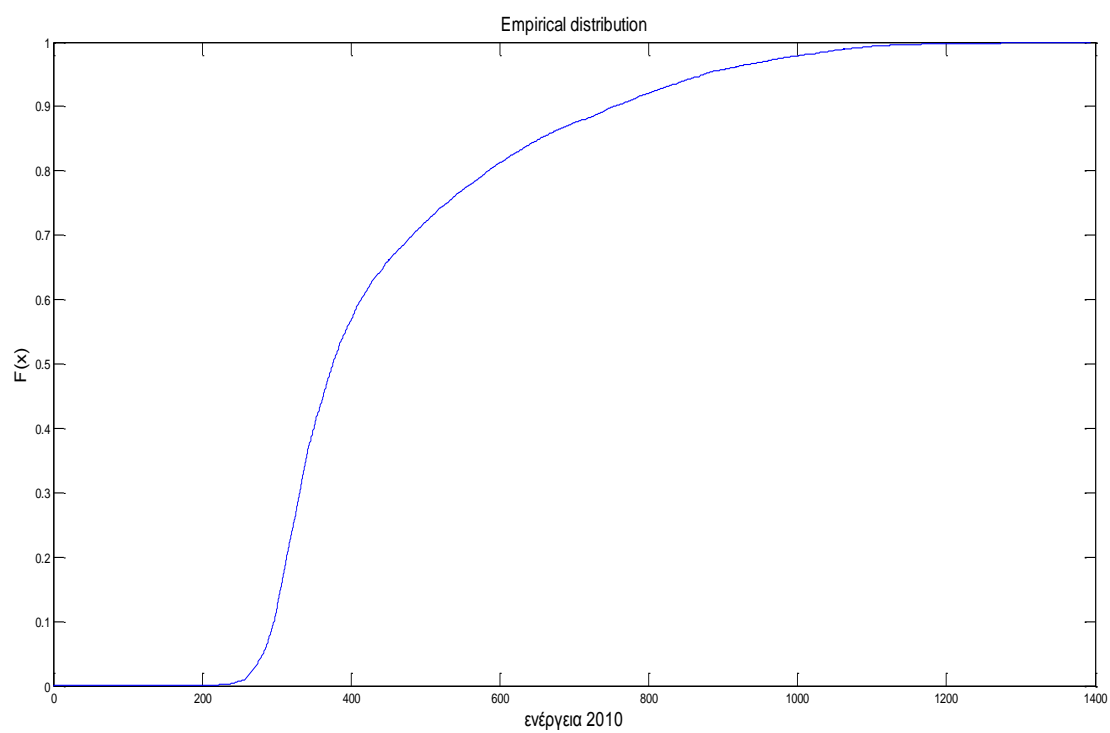
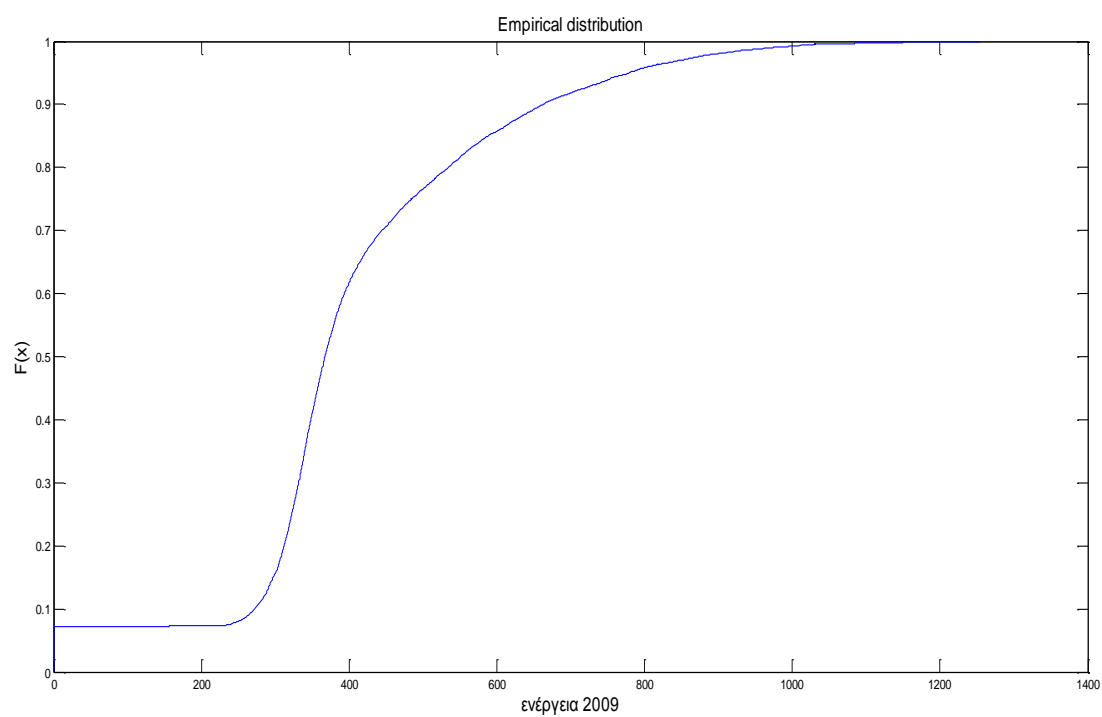


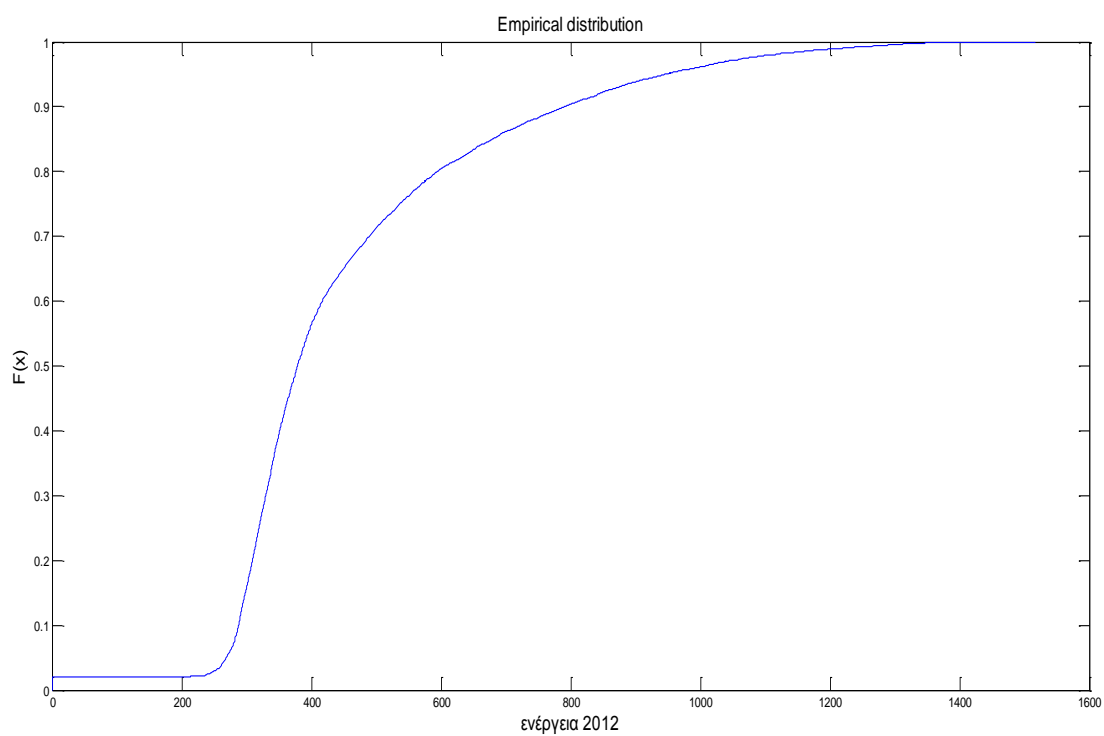
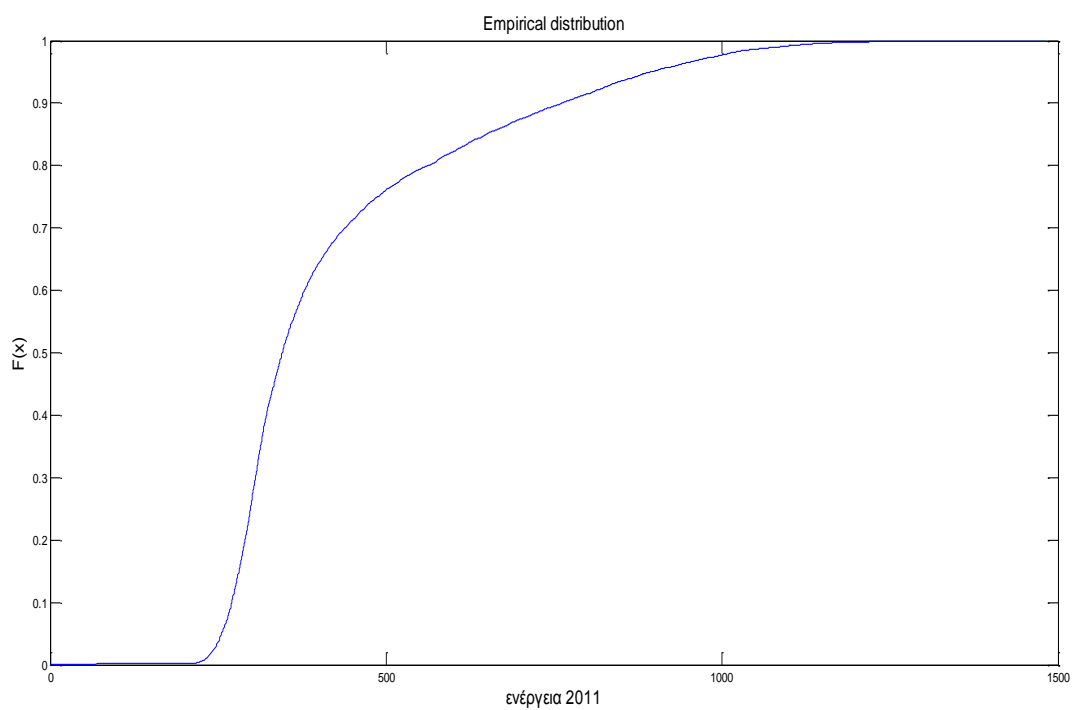




Για να περιγράψει η εκάστοτε κατανομή τα δεδομένα μας, πρέπει αυτά να συμπίπτουν με τη διακεκομμένη γραμμή της κατανομής. Παρατηρούμε ότι αυτό δεν συμβαίνει για καμία από τις κατανομές που επιλέξαμε παραπάνω (κανονική κατανομή, κατανομή  $t$ , κατανομή ακραίων τιμών και εκθετική κατανομή).

Θα δοκιμάσουμε τώρα και την εμπειρική αθροιστική κατανομή.







Με την εντολή «ecdf» παράγουμε μια εμπειρική εκδοχή της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής (cumulative distribution function-cdf). Η εντολή «ecdf» υπολογίζει αυτό το εμπειρικό cdf. Επιστρέφει τις τιμές μιας συνάρτησης  $F$  τέτοιας ώστε το  $F(x)$  να αντιπροσωπεύει την αναλογία των παρατηρήσεων του δείγματος που είναι μικρότερες ή ίσες του  $x$ .

Η ιδέα πίσω από το εμπειρικό cdf είναι απλή. Είναι μια συνάρτηση που αποδίδει πιθανότητα  $1/n$  σε καθεμία από τις  $n$  παρατηρήσεις του δείγματος. Η γραφική του παράσταση μοιάζει με σκαλιά που ανεβαίνουν. Αν ένα δείγμα προέρχεται από μια κατανομή σε μια παραμετρική οικογένεια (όπως η κανονική κατανομή), το εμπειρικό του cdf είναι πιθανό να μοιάζει με την παραμετρική κατανομή. Αν όχι, η εμπειρική κατανομή του εξακολουθεί να δίνει μια εκτίμηση του cdf για την κατανομή των δεδομένων.

Η εμπειρική αθροιστική κατανομή είναι η πιο κατάλληλη για την περιγραφή των δεδομένων μας.





## Πράσινο Πολυτεχνείο

### 5.1 Εισαγωγή

Ο όρος «Πράσινο Πολυτεχνείο» αναφέρεται σε ένα σχέδιο δράσεων, που αφορούν στη σωστή διαχείριση της ενέργειας, και είναι ικανές να συμβάλλουν ουσιαστικά στο Σχέδιο Βιώσιμης Ανάπτυξης, του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η διαρκής ζήτηση ενέργειας, από την κοινότητα του Πολυτεχνείου, σε συνδυασμό με την οικονομική κρίση που έχει ξεσπάσει, συνέβαλαν στην αναγκαιότητα υιοθέτησης τέτοιων πρακτικών, από πλευράς του ιδρύματος, οι οποίες έχουν στόχο την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων και την ταυτόχρονη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, από τη λειτουργία του.

### 5.2 Το σχέδιο

Το Πολυτεχνείο Κρήτης, αναγνωρίζοντας ότι οι ενεργειακές πηγές είναι πεπερασμένες, προχώρησε στην εφαρμογή του Σχεδίου Βιώσιμης Ανάπτυξης. Το σχέδιο αυτό, χαρακτηρίζεται από την ευελιξία τροποποιήσεων κατά τη διάρκεια της υλοποίησής του, καθώς και από την παροχή μετρήσιμων αποτελεσμάτων.

Το 2013 το Ίδρυμα έλαβε περίπου 2,15 εκ. ευρώ από τον Τακτικό Προϋπολογισμό του Κράτους και 1,85 εκ. ευρώ από τις Δημόσιες Επενδύσεις. Ο Τακτικός Προϋπολογισμός χρησιμοποιείται για τις λειτουργικές δαπάνες του Πολυτεχνείου και οι Δημόσιες Επενδύσεις κυρίως για την συντήρηση και την επισκευή των υποδομών του. Από τα χρήματα του Τακτικού Προϋπολογισμού 650.000 ευρώ δαπανήθηκαν στη ΔΕΗ και 150.000 ευρώ στη θέρμανση. Αυτό σημαίνει ότι το 37% του Τακτικού Προϋπολογισμού διατέθηκε στις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηριακών υποδομών. Έτσι, λοιπόν, κρίθηκε απαραίτητη η λήψη αποφάσεων για την ενεργειακή διαχείριση του Πολυτεχνείου, ώστε να μην δημιουργηθούν προβλήματα στη λειτουργία του από τυχόν έλλειψη χρημάτων.

Τον Ιούνιο του 2013 τέθηκε σαν στόχος η εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20%. Το πλάνο για το επίτευγμα αυτό περιελάμβανε την εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης και ενεργειακής καταγραφής, καθώς επίσης και την μελέτη για την εγκατάσταση 1MW φωτοβολταϊκών στις οροφές των κτιρίων και στους χώρους στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης. Επίσης, αποφασίστηκε η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων και άλλες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας, που προέκυψαν μέσα από ερωτηματολόγια του προσωπικού του Ιδρύματος. Σταθμό στις πρακτικές βιώσιμης ανάπτυξης του Πολυτεχνείου αποτέλεσε η μεταφορά της Αρχιτεκτονικής και της Διοίκησης στην Πολυτεχνειούπολη. Τα κτίρια που τις στέγαζαν, ήταν υπεύθυνα για την κατανάλωση του 15% του ενεργειακού προϋπολογισμού, ενώ κάλυπταν μόνο το 3% της συνολικής επιφάνειας. Με αυτό τον τρόπο καταργήθηκε και το κόστος διατήρησης διπλών υποδομών, όπως της λέσχης, της βιβλιοθήκης και του μηχανογραφικού. Έτσι, ο στόχος επεκτάθηκε σε



εξοικονόμηση της τάξεως του 60%, που μεταφράζεται σε περίπου 500.000 ευρώ ετησίως.

Το άλλο σκέλος του Σχεδίου Βιώσιμης Ανάπτυξης περιλαμβάνει την αύξηση των εσόδων από τα ερευνητικά προγράμματα. Γι' αυτό το λόγο τέθηκε σαν στόχος ο διπλασιασμός της ερευνητικής δραστηριότητας μέσα στα επόμενα τρία χρόνια. Υπάρχει αισιοδοξία ότι το διάστημα αυτό τα καθαρά έσοδα θα αυξηθούν κατά 1,3 εκ. ευρώ, κάτι το οποίο θα συνεισφέρει σημαντικά στην ανάπτυξη του Πολυτεχνείου Κρήτης.

### 5.3 Προτάσεις

Η ενεργειακή διαχείριση αποτελεί προτεραιότητα του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούνται και τα πρώτα αποτελέσματα είναι ορατά. Η εγκατάσταση 17 μετρητών ενέργειας, προκειμένου να είναι δυνατή η παρακολούθηση ισάριθμων κτιρίων στην Πολυτεχνειούπολη πραγματοποιήθηκε, ενώ η εγκατάσταση του 1MW φωτοβολταϊκών θα εξασφαλίσει πολλές κιλοβατώρες για τις διάφορες λειτουργίες του Πολυτεχνείου. Ενέργεια εξοικονομείται και από την αντικατάσταση των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο μηχανογραφικό κέντρο με υπολογιστές νέας γενιάς. Ωστόσο, το Σχέδιο Βιώσιμης Ανάπτυξης, όπως προαναφέραμε, μπορεί να υποστεί τροποποιήσεις.

Στο κεφάλαιο 2 έγινε εκτενής αναφορά στους τρόπους ενεργειακής διαχείρισης που εφαρμόζονται από διεθνή Πανεπιστήμια. Είναι κατανοητό ότι οι προϋπολογισμοί αυτών των Ιδρυμάτων διαφέρουν κατά πολύ από τον προϋπολογισμό του Πολυτεχνείου Κρήτης, όπως και οι διατάξεις του νόμου που αφορούν την αγορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν λύσεις που δεν απαιτούν μεγάλα ποσά χρημάτων, αλλά συντονισμό δράσεων, όπως:

- Η ενημέρωση όλων των φοιτητών και του προσωπικού του Ιδρύματος θα πρέπει να κατέχει εξέχουσα θέση στις δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Το πρόβλημα μπορεί να είναι γνωστό και το σύνολο της κοινότητας να συμμερίζεται την προσπάθεια, ωστόσο δεν λείπουν τα μεμονωμένα περιστατικά λανθασμένης αντίληψης και εκτίμησης. Η ευαισθητοποίηση της Πολυτεχνειακής κοινότητας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να γίνει το κλειδί στην ενεργειακή διαχείριση, με μια μείωση κόστους της τάξης του 17%, με απλές ενέργειες, όπως το κλείσιμο των φώτων.
- Τα εργαστήρια του Πολυτεχνείου αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι στην ενεργειακή κατανάλωση, εξαιτίας των μηχανημάτων που απαιτούνται για τη διεξαγωγή τους. Μια καλή λύση θα ήταν η αποφυγή της διεξαγωγής πολλαπλών πειραμάτων της ίδιας εργαστηριακής άσκησης, μέσω της



παρακολούθησης πολλών εργαστηριακών ομάδων στο ίδιο πείραμα, όσο αυτό είναι εφικτό.

- Η ερευνητική δραστηριότητα του Πολυτεχνείου, η οποία πρόκειται να ενταθεί μέσα στην τριετία μπορεί να εστιάσει στη βελτιστοποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να επιτύχει την καλύτερη απόδοση με το μικρότερο κόστος, ενεργειακό και οικονομικό.
- Η λειτουργία με τη μέγιστη απόδοση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης και γενικά του ηλεκτρικού εξοπλισμού επιτυγχάνεται και μέσω τακτικής συντήρησης. Η τακτική συντήρηση του συστήματος μπορεί να επιφέρει μείωση στο κόστος από 10 έως 15%. Επίσης, προτείνεται η αντικατάσταση του παλαιού εξοπλισμού ηλεκτρικών συστημάτων με άλλα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Πλήρης αντικατάσταση των παλαιών λαμπτήρων με λαμπτήρες φωτισμού LED, σε όποιον χώρο δεν έχει πραγματοποιηθεί, χρήση φυσικού φωτισμού όπου είναι δυνατό (50% μείωση κόστους ηλεκτρικού ρεύματος) και ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων με απλές και μικρού κόστους επεμβάσεις, όπως η μόνωση στις οροφές (μείωση από 15-20% του κόστους θέρμανσης και ψύξης) και η αντικατάσταση παραθύρων, ώστε η απώλεια ενέργειας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη.



#### 5.4 Συμπεράσματα

Οι συνθήκες που βιώνουμε στην εποχή μας, με κύριες συνιστώσες την οικονομική κρίση και την κρίση αξιών, έχουν εισβάλει σε κάθε πτυχή της καθημερινότητάς μας, κάνοντάς μας να αναθεωρήσουμε πολλά πράγματα που θεωρούσαμε δεδομένα.

Η αλόγιστη κατανάλωση των φυσικών πόρων έχει οδηγήσει την κοινωνία σε οικονομικό αδιέξοδο, ενώ οι συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις καθιστούν ως μόνη λύση για βιώσιμη ανάπτυξη τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κλειδί στην εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί η ενεργειακή διαχείριση.

Το Πολυτεχνείο Κρήτης, ως ένας μικρόκοσμος αυτής της κοινωνίας, αντιλαμβάνεται την αύξηση των ενεργειακών αναγκών, κυρίως λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών και του εξοπλισμού του, καθώς και την εξαντλησιμότητα των φυσικών πόρων και καλείται να βρει λύσεις για την ευημερία του. Με τη δημιουργία του Στρατηγικού Σχεδίου Βιώσιμης Ανάπτυξης και την εφαρμογή διαφόρων προτάσεων, όπως αυτές που τέθηκαν παραπάνω, ευελπιστεί να συντελέσει στην ευζωία της πανεπιστημιακής κοινότητας και της ευρύτερης κοινωνίας, αλλά και να μειώσει το οικολογικό του αποτύπωμα.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

\* Όλα τα δεδομένα προέκυψαν από τους λογαριασμούς της ΔΕΗ.

### Ι. Ετήσια δεδομένα

Έτος	Ενέργεια (KWh)	Άεργα (KWh)
2009	3555017,24	620032,58
2010	3966330,52	368469,7
2011	3759368,28	106821,82
2012	4019639,25	234311,47



## II. Μηνιαία δεδομένα

Μήνας	Έτος							
	2009		2010		2011		2012	
	Ενέργεια	Άεργα	Ενέργεια	Άεργα	Ενέργεια	Άεργα	Ενέργεια	Άεργα
Ιανουάριος	350215,2	70148,8	332532,86	37691,7	348137	20380,86	408261,24	13858,8
Φεβρουάριος	22486,94	4164,54	355440,9	12445,62	343608,72	5431,16	384939,2	34353,36
Μάρτιος	355196,9	78593,08	334297,36	4401,98	380090,12	10807,36	369383	14489,96
Απρίλιος	261949,82	37622,34	257737,44	1592,48	265598,16	12377,12	227363,2	4620,82
Μάιος	283986,74	60682,16	277215,7	6211,22	268812,28	1034,28	240628,76	8004,28
Ιούνιος	376632,24	69258,28	367192,4	49012,1	350727,44	16257,62	350939,15	18977,75
Ιούλιος	392361,6	50964,36	393912,9	69330,7	379462,12	13652,3	426068,05	34562,35
Αύγουστος	308891,52	39525,72	359480,32	55903,56	326226,14	7127,26	337056,1	19998,35
Σεπτέμβριος	334098,38	81601,1	395133,9	71379,14	226700,46	832,64	362924,55	23873,25
Οκτώβριος	307149,94	65502,36	321466,52	27774,64	208790,98	7696,34	329385,75	14714,65
Νοέμβριος	276838,96	34686,32	279088,18	11733,78	336638,6	8004,08	261466,95	14049,05
Δεκέμβριος	285209	27283,52	292832,04	20992,78	324576,26	3220,8	314623,75	32686,25



### III. Ωριαία δεδομένα

22 Ιανουαρίου 2012	Ωρα	Ενέργεια	Άεργα
	00:00	327,7	0
	01:00	327,76	0
	02:00	328,14	0
	03:00	333,46	0
	04:00	327,58	0
	05:00	322,78	0
	06:00	305,24	0
	07:00	366,8	0
	08:00	383,36	0
	09:00	400,06	0
	10:00	357,94	0
	11:00	368,7	0
	12:00	379,24	0
	13:00	382,14	0
	14:00	372,46	0
	15:00	393,12	0,02
	16:00	400,18	0
	17:00	405,98	0
	18:00	431,74	0
	19:00	439,06	0
	20:00	403,94	0
	21:00	372,44	0
	22:00	376,26	0
	23:00	380,32	0

\* Παραθέτονται ενδεικτικά τα ωριαία δεδομένα της ημέρας που χρησιμοποιήθηκαν για τη γραφική απεικόνιση.





#### IV. Εποχιακά δεδομένα

Εποχή	Έτος							
	2009		2010		2011		2012	
	Ενέργεια	Άεργα	Ενέργεια	Άεργα	Ενέργεια	Άεργα	Ενέργεια	Άεργα
Καλοκαίρι	1077885,36	159748,36	1120585,62	174246,36	1056415,7	37037,18	1114063,3	73538,45
Φθινόπωρο	918087,28	181789,78	995688,6	110887,56	772130,04	16533,06	953777,25	52636,95
Άνοιξη	901133,46	176897,58	869250,5	12205,68	914500,56	24218,76	837374,96	27115,06
Χειμώνας	657911,14	101596,86	1641686,88	71130,1	1016321,98	29032,82	1107824,19	80898,41

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



1. Σύγγραμμα: «Στατιστική», Φ. Κολυβά-Μαχαίρα, Ε. Μπόρα-Σέντα, 1998, Εκδόσεις Ζήτη
2. Σύγγραμμα: «Ατμοσφαιρική ρύπανση», Λαζαρίδης Μ., 2010, Εκδόσεις Τζιόλα
3. Σύγγραμμα: «Φυσικοί πόροι, περιβάλλον και ανάπτυξη», Γαρ. Αραμπατζής, Σ. Πολύζος, 2008, Εκδόσεις Τζιόλα
4. Σύγγραμμα: «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι., 2013, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
5. Σύγγραμμα: «Κτίρια, ενέργεια και περιβάλλον», Κοσμόπουλος Πάνος Ι., 2008, Εκδόσεις University Studio Press
6. Ηλεκτρονικές Διαλέξεις: «Εισαγωγή στην Matlab» του Γ. Γεωργίου και του Χ. Ξενοφώντος.
7. Σημειώσεις: «Αειφόρος ανάπτυξη», Τσούτσος Θ., 2007
8. Ηλεκτρονικές Διαλέξεις: «Ενεργειακή Αξιολόγηση Κτιρίων», Διονυσία Κολοκοτσά
9. Ιστοσελίδα: <http://facilities.uiowa.edu/uem/renewable-energy/>
10. Ιστοσελίδα: <http://www.sustainability.umd.edu/content/campus/energy.php>
11. Ιστοσελίδα: <http://www.sustainablecampus.cornell.edu/energy>
12. Ιστοσελίδα: <http://www.bu.edu/sustainability/what-were-doing/energy/fluorecsent-lighting-retrofits/>
13. Ιστοσελίδα: <http://www.upenn.edu/sustainability/sustainability-themes/conserving-energy>
14. Ιστοσελίδα: <http://www.princeton.edu/reports/2011/sustainability/greenhouse/campus-energy/>
15. Ιστοσελίδα: <http://en.wikipedia.org/wiki>
16. Ιστοσελίδα: <http://facilities.columbia.edu/sustainability/energyefficiency>
17. Ιστοσελίδα: <http://www.biomassenergycentre.org.uk>
18. Ιστοσελίδα: <http://www.geo-energy.org/>
19. Ιστοσελίδα: [https://www.energystar.gov/index.cfm?c=power\\_mgt.pr\\_power\\_mgt\\_users](https://www.energystar.gov/index.cfm?c=power_mgt.pr_power_mgt_users)
20. Ιστοσελίδα: <http://digitalcommons.uri.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1175&context=srhonorsprog>
21. Ιστοσελίδα: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1>
22. Ιστοσελίδα: <http://www.allaboutenergy.gr/Intro11.html>
23. Ιστοσελίδα: <http://el.wikipedia.org/wiki>
24. Ιστοσελίδα: <http://www.technicalreview.gr>
25. Ιστοσελίδα: <https://www.google.gr>
26. Ιστοσελίδα: <http://www.ba.duth.gr>
27. Ιστοσελίδα: [http://home.deib.polimi.it/matteucc/Clustering/tutorial\\_html/kmeans.html](http://home.deib.polimi.it/matteucc/Clustering/tutorial_html/kmeans.html)



28. Ιστοσελίδα: <http://www.mathworks.com/help/stats/probplot.html>
29. Ιστοσελίδα: <http://bitcoinx.gr>
30. Ιστοσελίδα: <http://chp.decc.gov.uk/cms/what-is-chp/>
31. Ιστοσελίδα: <http://stattrek.com/probability-distributions/t-distribution.aspx>
32. Ιστοσελίδα: <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/7113/1/DT2014-0248.pdf>
33. Ιστοσελίδα: <https://www.tuc.gr/university.html?&L=0>
34. Ιστοσελίδα: [http://www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k\\_8.pdf](http://www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k_8.pdf)
35. Ιστοσελίδα: <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#main4>
36. Ιστοσελίδα: <http://www.birmingham.ac.uk/research/activity/energy-new/research/centre-energy-storage/thermal-energy-storage/index.aspx>
37. Ιστοσελίδα: <http://www.meteo.gr/meteoplus/index.cfm>
38. Ιστοσελίδα: <http://www.pde.gr>
39. Ιστοσελίδα: <http://www.floropoulos.gr>
40. Ιστοσελίδα: <http://www.inital.gr>
41. Ιστοσελίδα: <http://7lyk-kallith.att.sch.gr>
42. Ιστοσελίδα: <http://www.deddie.gr/>