



Μηχανική Μάθηση και Βελτιστοποίηση σε Ευφυή Συστήματα Ηλεκτρικής  
Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**Επιβλέποντες Καθηγητές:**

Ελευθέριος Τσουκαλάς  
Καθηγητής Π.Θ.

Ασπασία Δασκαλοπούλου  
Επίκουρος Καθηγήτρια Π.Θ.

**ΤΜΗΜΑ**

**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**



ΒΟΛΟΣ 2017



Machine Learning and Optimization in Smart Power Systems

DIPLOMA THESIS

**MAVROULIS PANAGIOTIS**

**Supervisors:**

Eleutherios Tsoukalas  
Professor UTH

Aspassia Daskalopoulou  
Assistant Professor UTH

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**



VOLOS 2017

# Ευχαριστίες

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για την καθοδήγησή του καθ' όλη την πορεία και τις χρήσιμες συμβουλές του, καθώς και την κ. Ασπασία Δασκαλοπούλου ως συνεπιβλέπουσα της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδακτορικό φοιτητή κ. Νικηφόρο Φαϊντί για την πολύτιμη βοήθειά του όποτε τηνχρειάστηκα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη θερμή υποστήριξή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια εφαρμογή μηχανικής μάθησης που στόχο έχει τη βελτιστοποίηση του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα του τα στάδια, από την παραγωγή έως και τη διανομή. Επιπλέον γίνεται μια αναφορά στις αδυναμίες που έχει το υπάρχων δίκτυο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα όπου περιγράφονται η αρχιτεκτονική του και τα κυριότερα χαρακτηριστικά. Τέλος αναλύονται τα βήματα για την εγκατάσταση στην Ελλάδα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος που λειτουργεί η απελευθερωμένη αγορά ενέργειας, ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα τους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται και κάποια από τα μοντέλα και τη δομή τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην Τεχνητή Νοημοσύνη σαν επιστήμη της μηχανικής των υπολογιστών καθώς και την Ασαφή Λογική και τα Ασαφή Σύνολα, όπως επίσης και σε εφαρμογές της Ασαφούς Λογικής

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η δημιουργία ενός χειριστή κλιματισμού Ασαφής Λογικής και αναλύονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Επιπλέον, κάνοντας χρήση της εργαλειοθήκης του Matlab, εξάγονται κανόνες και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έξυπνου αυτού χειριστή κλιματισμού.

# Abstract

The present diploma thesis is projecting an application of Machine Learning section in order to achieve optimization on the Greek Power System.

In order to make it more specific, the first chapter describes the Greek Power System in all its sections, from energy production to energy delivery. Moreover a reference is being made on its weaknesses.

On the second chapter, we introduce Smart Grid as a meaning whereas we describe its architecture and its main features. At the end of this section we analyze the steps that need to take place in order to install Smart Grid in Greece.

On third chapter, we analyze the way free energy market is operating in order to achieve better understanding on the factors that affect energy pricing. Meanwhile we introduce some free market models and their structure.

On the forth chapter, we introduce Artificial Intelligence as a science of Computer Engineering and its subsection of Fuzzy Logic and Fuzzy Logic Data Sets.

On the last but not least fifth section, we create a Fuzzy Logic air-conditioner controller. We analyze the input and output variables and by using the matlab Fuzzy Logic toolbox we extract Fuzzy Logic Rules and summarize the results.

# Περιεχόμενα

Σελίδα

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας</b> .....                             | 8  |
| 1.1 Εισαγωγή .....   | 8  |
| 1.2 Περιγραφή ελληνικού ΣΗΕ .....  | 8  |
| 1.3 Περιγραφή συστήματος Μεταφοράς και Διανομής .....                    | 10 |
| 1.4 Οι αδυναμίες του ηλεκτρικού δικτύου .....                            | 13 |
| <b>2. Έξυπνα Δίκτυα - Smart Grid</b> .....                               | 14 |
| 2.1 Εισαγωγή .....   | 14 |
| 2.2 Ορισμός .....  | 14 |
| 2.3 Προκλήσεις και ανάγκες .....   | 15 |
| 2.4 Αρχιτεκτονική ενός Έξυπνου Δικτύου .....                             | 16 |
| 2.5 Βασικά χαρακτηριστικά του Έξυπνου Δικτύου .....                      | 17 |
| 2.6 Το Έξυπνο Δίκτυο στην Ελλάδα.....                                    | 19 |
| <b>3. Στοιχεία της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας</b> ..... | 20 |
| 3.1 Εισαγωγή .....   | 20 |
| 3.2 Δομή και λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς.....                  | 21 |
| 3.2.1 Μοντέλα αγοράς.....  | 21 |
| <b>4. Τεχνητή Νοημοσύνη και Ασαφής Λογική</b> .....                      | 22 |
| 4.1 Ορισμός Τεχνητής Νοημοσύνης.....                                     | 22 |
| 4.2 Ιστορική Αναδρομή .....  | 23 |
| 4.3 Ασαφής Λογική – Fuzzy Logic .....                                    | 24 |
| 4.4 Θεωρία Ασαφών Συνόλων και Ασαφής Λογική .....                        | 24 |
| 4.5 Εφαρμογές της Ασαφούς Λογικής .....                                  | 25 |
| <b>5. Fuzzy Logic Χειριστής Κλιματισμού</b> .....                        | 26 |
| 5.1 Εισαγωγή .....   | 26 |
| 5.2 Μεταβλητές Εισόδου Fuzzy Controller.....                             | 26 |
| 5.2.1 Θερμοκρασία Εισόδου Χρήστη.....                                    | 26 |
| 5.2.2 Πληρότητα.....   | 27 |
| 5.2.3 Τιμολόγηση Ενέργειας.....  | 28 |
| 5.3 Μεταβλητές Εξόδου Fuzzy Controller.....                              | 29 |
| 5.3.1 Βέλτιστη Θερμοκρασία.....  | 29 |
| 5.4 Εκτέλεση με Matlab .....   | 29 |
| 5.4.1 Fuzzy Base Class.....  | 29 |
| 5.4.2 FuzzyRuleBase.....   | 30 |
| 5.4.3 Γραφήματα.....   | 31 |
| <b>6. Συμπεράσματα</b> .....   | 34 |
| <b>7. Βιβλιογραφία</b> .....   | 35 |



# 1. Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

## 1.1 Εισαγωγή

Ως Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται ένα σύνολο εγκαταστάσεων και εξοπλισμού το οποίο αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υποσταθμούς ανύψωσης τάσης, υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και γραμμές μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας ( υπόγειες και υπέργειες).

Κύριος σκοπός ενός ΣΗΕ είναι να τροφοδοτεί όλους τους καταναλωτές όποτε αυτοί το ζητήσουν, με αξιοπιστία και ασφάλεια, προσφέροντάς τους ηλεκτρική ενέργεια στην χαμηλότερη δυνατή τιμή και με όσον το δυνατό μικρότερο κόστος στο περιβάλλον. [1]

## 1.2 Περιγραφή ελληνικού ΣΗΕ

Όταν αναφερόμαστε στο ελληνικό ΣΗΕ, ουσιαστικά αναφερόμαστε στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), που ιδρύθηκε το 1950. Μέχρι το 2001 η ΔΕΗ κατείχε το μονοπώλιο στην ελληνική αγορά. Τότε απελευθερώθηκε η αγορά ενέργειας από μονοπωλιακή σε ανταγωνιστική βάση νόμου, ακολουθούμενη μιας τάσης που γεννήθηκε στις ΗΠΑ στα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Η απελευθέρωση της αγοράς βοήθησε στην ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών παραγωγής ρεύματος (φωτοβολταϊκά, βιομάζα, γεωθερμία, αιολική ενέργεια).

Το 1997 ήταν η χρονία των εξελίξεσεων για όλα τα βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη καθώς τότε υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο. Το πρωτόκολλο αυτό υποχρέωνε τα κράτη να μειώσουν τις εκπομπές αερίων ρύπων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Υπογράφηκε από 191 χώρες με τις ΗΠΑ όμως να μην συμπεριλαμβάνονται σε αυτές.

Συγκεκριμένα στο ελληνικό ΣΗΕ χρησιμοποιείται τριφασική εναλλασσόμενη τάση με συχνότητα 50Hz. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος παράγεται σε μεγάλους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στις πρώτες ύλες (λιγνίτης), έπειτα μέσω του συστήματος μεταφοράς φθάνει στα κέντρα κατανάλωσης και τέλος μέσω του δικτύου διανομής φθάνει και στους καταναλωτές.

Στο ελληνικό ΣΗΕ η παραγόμενη ισχύς από τα μεγάλα θερμοηλεκτρικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχει επίπεδο τάσης μεταξύ 20-30 kV. Έπειτα η τάση αυτή ανυψώνεται στα 400 kV, που είναι το επίπεδο του συστήματος μεταφοράς, έτσι ώστε να μην υπάρχουν απώλειες στους καταναλωτές. Κοντά στα αστικά κέντρα, η υπερυψηλή τάση υποβαθμίζεται σε σταθμούς υποβιβασμού τάσης στα 150 kV. Σε εκείνο το σημείο τροφοδοτεί καταναλωτές υψηλής τάσης (βιομηχανίες), και συνεχίζεται η μεταφορά ισχύος σε άλλους σταθμούς υποβιβασμού, όπου η τάση πέφτει στα 20 kV (μέση τάση).

Στους κόμβους μέσης τάσης συνδέονται μετασχηματιστές διανομής που υποβαθμίζουν την τάση στα 400V τριφασική ή 230V μονοφασική (χαμηλή τάση). Από εκεί αναχωρούν οι γραμμές χαμηλής τάσης που τροφοδοτούν τους καταναλωτές (κατοικίες, μικρές βιοτεχνίες και εμπορικά καταστήματα). Όσες βιομηχανίες έχουν μεγάλες απαιτήσεις ισχύος (>100kW) συνδέονται απευθείας σε γραμμές μέσης τάσης.

Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί μία νέα τάση στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό μοντέλο με μεγάλες μονάδες παραγωγής, δημιουργούνται μικρότερες μονάδες οι οποίες συνδέονται απευθείας στο δίκτυο μέσης ή χαμηλής τάσης. Έτσι αποφεύγεται η χρήση του συστήματος μεταφοράς σε γραμμές υψηλής



τάσης. Με το μοντέλο αυτό ικανοποιούνται οι ανάγκες των καταναλωτών τοπικά προσδίδοντάς τους μία σχετική αυτάρκεια. Όταν υπάρχει πλεόνασμα ισχύος, δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής της ισχύος στο σύστημα μεταφοράς. Βασικό στοιχείο της διανεμημένης παραγωγής είναι η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Την διανομή και την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα έχουν αναλάβει εξολοκλήρου δημόσιοι φορείς, ενώ αντίθετα στον τομέα της παραγωγής ενέργειας εμπλέκονται πλέον και αρκετές ιδιωτικές εταιρίες.

Ύστερα από τον διαχωρισμό της ΔΕΗ Α.Ε σχηματίστηκαν δύο εταιρίες οι οποίες είναι 100% θυγατρικές της. Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε αποτελεί τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε αποτελεί τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η πρώτη εταιρεία ασχολείται με την ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του δικτύου διανομής ενέργειας ενώ η δεύτερη με την διαχείριση, λειτουργία και συντήρηση του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και όλων των διασυνδέσεών του.[2],[3]

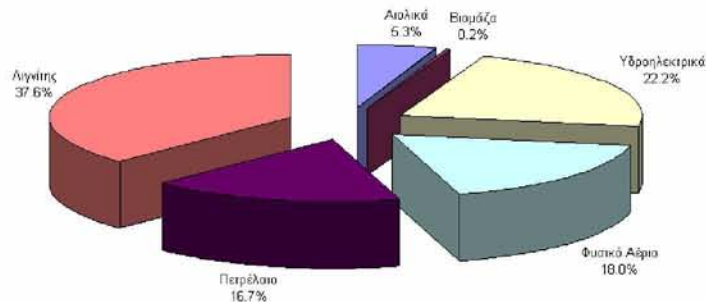
Η ΔΕΗ κατέχει περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος των θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα και είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής ενέργειας στην ελληνική αγορά.

Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή αυτή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα. Έτσι έχουμε:

- Ηλεκτροπαραγωγή από Συμβατικά καύσιμα η οποία χρησιμοποιεί σαν πηγή ενέργειας ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα τα οποία βρίσκονται στο υπέδαφος. Βρίσκονται σε μικρά ή μεγαλύτερα βάθη και οι ποσότητες του είναι μη ανανεώσιμες. (π.χ. θερμοηλεκτρικοί, ατμοηλεκτρικοί σταθμοί κ.τ.λ.)
- Ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας η οποία χρησιμοποιεί πηγές ενέργειας που είναι διαχρονικές και δεν έχουν πεπερασμένο απόθεμα όπως για παράδειγμα ο ήλιος. (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα).

Σύμφωνα με την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) [4] γνωρίζουμε ότι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα στην Δυτική Μακεδονία παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως η συγκέντρωση των σταθμών παραγωγής στα βόρεια της Ελλάδας δημιουργεί μεγάλες απώλειες στη μεταφορά της ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και διάφορα προβλήματα στη λειτουργία. Ο σχεδιασμός όμως των σταθμών στις περιοχές αυτές έγινε για το λόγο ότι εκεί υπήρχαν μεγάλες ποσότητες λιγνίτη που αποτελεί και την κύρια πηγή ενέργειας. Οι περιοχές με τις περισσότερες ποσότητες λιγνίτη είναι η Δράμα, Δυτική Μακεδονία, Ελασσόνα και Μεγαλόπολη. Το 66.5% των παραγωγικών μονάδων είναι θερμοικοί σταθμοί εκ των οποίων με λιγνίτη 4900 MW, με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4600 MW

Σύνολο (MW) Εγκατεστημένης Ισχύος



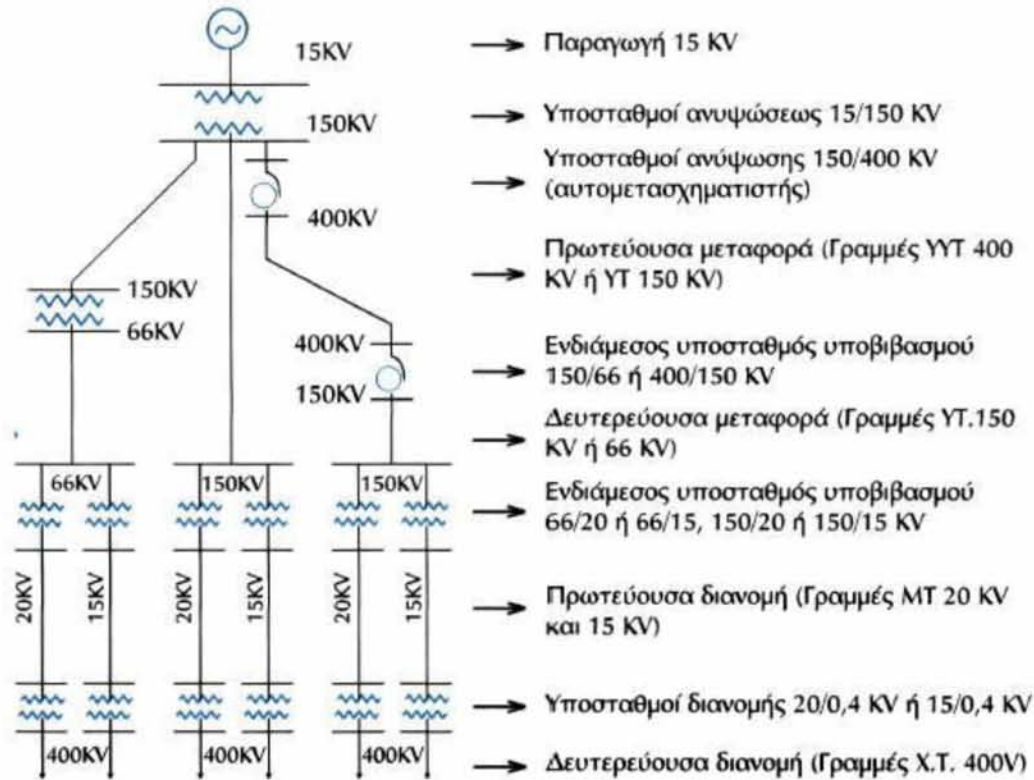
Σχήμα 1.1 : Ποσοστά μονάδων παραγωγής[4]

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 1.1 το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος που παράγεται βασίζεται στον λιγνίτη που είναι αναμενόμενο γιατί υπάρχουν τεράστιες ποσότητες αυτού στην ηπειρωτική Ελλάδα. Επίσης το ποσοστό της ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο είναι σταθερό αλλά σχετικά μεγάλο, όπως σταθερό είναι και το ποσοστό των υδροηλεκτρικών σταθμών οι οποίοι για να κατασκευαστούν χρειάζονται μεγάλες παρεμβάσεις στο περιβάλλον για την δημιουργία των φραγμάτων. Αντιθέτως βλέπουμε ότι αυξάνονται οι μονάδες παραγωγής με χρήση φυσικού αερίου, όπως και οι μονάδες που χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια και δείχνει την είσοδο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγική διαδικασία.

Στην χώρα μας οι οικονομικότεροι σταθμοί παραγωγής είναι οι ατμοηλεκτρικοί και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Σαν κύριο καύσιμο οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν τον λιγνίτη και λιγότερο συχνά το πετρέλαιο. Βασικότερο πλεονέκτημα των σταθμών αυτών είναι ότι μπορούν να δουλεύουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να έχουν ανάγκη συντήρησης και να σταματούν την λειτουργία τους. Αντίθετα κάποια μειονεκτήματα είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο σημείο όπου θα κατασκευαστεί ο σταθμός όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς του καυσίμου.

### 1.3 Περιγραφή συστήματος Μεταφοράς και Διανομής

Σύμφωνα με την Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος (ΜΑΣΜ 2010-2014)[5], όπως βλέπουμε και στο σχήμα 1.2, του ΔΕΣΜΗΕ στο ελληνικό σύστημα μεταφοράς υπάρχουν τα εξής επίπεδα υψηλής και υπερυψηλής τάσης με τις αντίστοιχες στάθμες βραχυκύκλωσης :



Σχήμα 1.2 : Περιγραφή Ελληνικού Δικτύου στη σημερινή μορφή του[5]

- Επίπεδο τάσης 66 kV: Η στάθμη βραχυκύκλωσης είναι 12 kA σε τάση 72,5 kV.
- Επίπεδο τάσης 150 kV: Ο παλιός εξοπλισμός αυτής της βαθμίδας τάσης είναι σχεδιασμένος με βάση μια στάθμη βραχυκύκλωσης ίση με 20 kA στα 170 kV. Για τον νέο εξοπλισμό αυτής της βαθμίδας που έχει ή πρόκειται να εγκατασταθεί στο Σύστημα προβλέπεται στάθμη βραχυκύκλωσης 31 kA, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος & ΣΗΕ.
- Επίπεδο τάσης 400 kV: Η στάθμη βραχυκύκλωσης είναι 40 kA σε τάση 420 kV.

Συγκεκριμένα το επίπεδο τάσης 400 kV ανήκει στην κατηγορία της υπερυψηλής τάσης (Υ.Υ.Τ.) και τα επίπεδα τάσεων των 150 kV και 66 kV ανήκουν στην κατηγορία της μέσης τάσης (Μ.Τ.). Οι τάσεις που εμφανίζονται στην τελευταία κατηγορία δεν εμφανίζονται στο Σύστημα αλλά μόνο στο Δίκτυο.

Σύμφωνα πάλι με την ίδια μελέτη του ΔΕΣΜΗΕ στο σύστημα είναι συνδεδεμένοι οι παρακάτω υποσταθμοί 150 kV/ΜΤ :

- 202 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/ΜΤ της ΔΕΗ
- Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος αιολικών πάρκων (Α/Π), εκ των οποίων οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου και Αργυρού εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους παραπάνω 202 Υ/Σ υποβιβασμού της ΔΕΗ).

- Υ/Σ ανυψώσεως ΜΤ/150 kV στους ακόλουθους σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ:
- Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί (Κομοτηνής, Πτολεμαΐδας, Αλιβερίου, Μεγαλόπολης Ι και ΙΙ, Αγ. Γεωργίου και Λαυρίου).
- Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Θησαυρού, Πλατανόβρυσης, Άγρα, Εδεσσαίου, Πολυφύτου, Ασωμάτων, Μακροχωρίου, Σφηκιάς, Ν. Πλαστήρα, Γκιώνας, Πηγών Αώου, Λούρου, Πουρναρίου Ι και ΙΙ, Καστρακίου, Κρεμαστών, Στράτου, Λάδωνα).
- 2 Υ/Σ ανυψώσεως σε σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών (ΗΡΩΝ Θερμοηλεκτρική Α.Ε. και Αλουμίνιο Α.Ε.). Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω Μ/Σ ανυψώσεως ΜΤ/150kV.
- 35 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV /ΜΤ που εξυπηρετούν τις ανάγκες πελατών Υ.Τ..

Τέλος σύμφωνα με την ίδια μελέτη στο σύστημα υπάρχουν πέρα των εναέριων γραμμών:

- 232 km υπόγειων και υποβρύχιων καλωδίων 150 kV
- 4 km υπόγειων καλωδίων 400 kV (ΕΝΘΕΣ- ΚΥΤ Θεσσαλονίκης)
- 13,5 km υποβρυχίων καλωδίων 66 kV (Ηγουμενίτσα- Κέρκυρα)
- 106 km εναέριας γραμμής και 160 km υποβρυχίου καλωδίου 400 kV συνεχούς ρεύματος για τη διασύνδεση με την Ιταλία
- 212 km υπόγειων καλωδίων 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης.

Όσον αφορά το ελληνικό Δίκτυο Διανομής ενέργειας αυτό έχει σύμφωνα με στοιχεία του 2013 μια έκταση συνολικού μήκους 236.000 km και περιλαμβάνει δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Το δίκτυο διανομής μέσης τάσης των 20 kV το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς της διανομής.
- Το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220 / 380V) το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους ίδιους τους καταναλωτές.

Το σύστημα διανομής έχει σαν βασικό εξοπλισμό τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τις γραμμές διανομής οι οποίες διανέμουν την ενέργεια από το ένα σημείο στο άλλο.
- Τους μετασχηματιστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν το μέγεθος της τάσης της μεταφερόμενης ενέργειας όταν αυτό είναι επιθυμητό.
- Τον εξοπλισμό ασφάλειας που χρησιμεύει για να παρέχει απρόσκοπτη λειτουργία ακόμα και σε περίπτωση που συμβεί κάποια βλάβη , όπως και για να εγγυάται την ασφάλεια.
- Τον εξοπλισμό ρύθμισης της τάσης που είναι απαραίτητος για να διατηρεί το επίπεδο της τάσης μέσα στα καθορισμένα επιτρεπτά όρια καθώς το φορτίο δεν είναι σταθερό και αλλάζει.



Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ [3] τα βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής για το έτος 2015 είναι :

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου Διανομής (τέλος του έτους):

- 111.130χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).

- 125.160χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).

Συνολικά 236.290χλμ. Δικτύου.

- 161.180 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).

- 945χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων 200χλμ στην Αττική και 745χλμ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

- 225 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ), εκ των οποίων 19 κλειστού τύπου, κατανομημένοι 199 στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και 26 στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά.

- 7.438.455 Πελάτες (11.444 ΜΤ & 7.427.011 ΧΤ).

- 43.237 GWH Καταναλώσεις Πελατών (10.973 στη ΜΤ & 32.264 στη ΧΤ).

#### 1.4 Οι αδυναμίες του ηλεκτρικού δικτύου

Οι απαιτήσεις των ανθρώπων αλλάζουν και πολλαπλασιάζονται καθώς περνούν τα χρόνια κάτι το οποίο απαιτεί και τα συστήματά μας να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις αυτές . Έχουμε δηλαδή αρχίσει να αντιλαμβανόμαστε τις όποιες αδυναμίες του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου.

Ένα δίκτυο το οποίο είναι χτισμένο να λειτουργεί με βάση μεγάλους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς χτισμένους σε στρατηγικά σημεία που πολλές φορές είναι και κοντά μεταξύ τους έχει ένα βασικό μειονέκτημα. Οι σταθμοί αυτοί συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης για να καλύπτουν την ηλεκτροδότηση μεγάλων περιοχών και έτσι διακινείται ένας τεράστιος όγκος πληροφορίας από και προς τα κέντρα παραγωγής , με αποτέλεσμα η πληροφορία αυτή να φτάνει πολλές φορές με μεγάλη καθυστέρηση στον προορισμό κάνοντας έτσι δύσκολη την δυνατότητα που έχει το σύστημα να πραγματοποιεί έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον εφόσον η κύρια πηγή ενέργειας, για το μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών, είναι ο λιγνίτης δημιουργείτε πρόβλημα και από την επάρκεια του ορυκτού αυτού να καλύψει τις ανάγκες του δικτύου.

Επίσης μια άλλη αδυναμία του τρέχοντος δικτύου είναι το γεγονός της μονόπλευρης φύσης της επικοινωνίας και της ροής της ενέργειας. Έτσι ενέργεια μεταφέρεται μόνο από τον σταθμό που την παράγει προς το δίκτυο και στην συνέχεια προς τον πελάτη με αποτέλεσμα ο πελάτης να μην μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση του δικτύου εισάγοντας δικές του πηγές ενέργειας σε αυτό όπως ηλιακή ενέργεια ή αιολική ενέργεια από ιδιόκτητες εγκαταστάσεις. Αυτή η ανικανότητα του δικτύου να ενσωματώσει αυτές τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχει επίσης και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον , η ρύπανση του οποίου αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στην εποχή μας.

Ένα άλλο πολύ μεγάλο πρόβλημα του τρέχοντος δικτύου είναι η αδυναμία που υπάρχει στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ισχύς με σχετικά εύκολο τρόπο. Όπως εξηγούν και οι κύριοι Τσουκαλάς και Gao [6] το δίκτυο για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της επόμενης μέρας, εφόσον δεν έχει αποθέματα ενέργειας, πρέπει να κάνει μια σωστή εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας της επόμενης μέρας. Αυτό είναι ένα σύνθετο πρόβλημα και η ζήτηση δεν μπορεί σχεδόν ποτέ να προβλεφθεί με απόλυτη ακρίβεια. Συνεπώς είτε θα παραχθεί περισσότερη ενέργεια από αυτή που πραγματικά χρειάζεται με αποτέλεσμα αυτή να μην χρησιμοποιείται

πουθενά και να χάνεται, είτε θα έχουμε διακοπή ρεύματος (blackout) λόγω του ότι παράχθηκε τελικά λιγότερη ενέργεια από αυτή που τελικά ζητήθηκε την επόμενη μέρα.

Τέλος το γεγονός ότι το υπάρχον σύστημα, εφόσον παρουσιαστεί κάποια βλάβη, χρειάζεται την φυσική παρέμβαση κάποιου χειριστή προκειμένου να αποκατασταθεί η λειτουργία του.

Για όλους αυτούς τους λόγους φθάσαμε στην εποχή όπου το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να επανασχεδιαστεί με έξυπνο τρόπο για να καλύψει τις σύγχρονες ανάγκες. Έτσι γεννιέται η ιδέα του Έξυπνου Ηλεκτρικού Δικτύου (Smart Grid), στο οποίο οι τεχνολογίες της επικοινωνίας και της πληροφορίας θα έχουν κεντρικό ρόλο στα επιμέρους στάδια από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

## 2. Έξυπνα δίκτυα-Smart Grid

### 2.1 Εισαγωγή

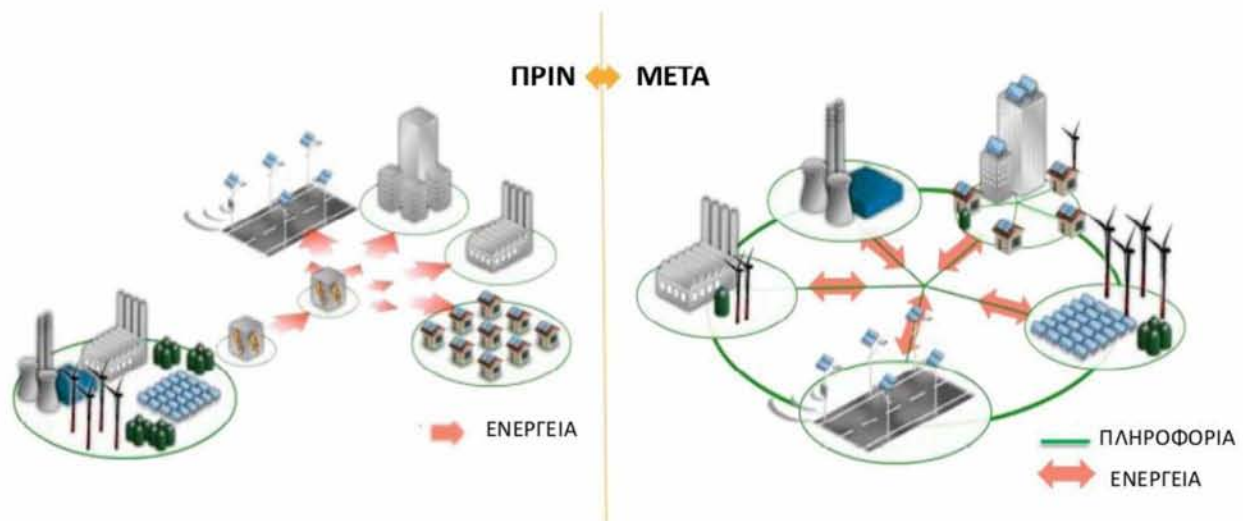
Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η παραγωγή, η μετάδοση, η διανομή και τα φορτία. Η ενέργεια παράγεται, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής αυτής εργασίας, από μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής και τροφοδοτείται σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης. Η μεταφερόμενη πάνω από μεγάλες αποστάσεις ισχύς μεταβιβάζεται, μέσω μιας σειράς μετασχηματιστών διανομής, στα τελικά κυκλώματα για τη διανομή στους καταναλωτές. Τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζονται κατά βάση στα ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του πετρελαίου, του άνθρακα και του φυσικού αερίου ως πηγές ενέργειας. Αυτά τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμα και τα αποθέματά τους στη γη καταναλώνονται ταχύτατα. Η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, μαζί με την πολυπλοκότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο ήδη καταπονημένο δίκτυο, όπως διακοπές ρεύματος, βυθίσεις τάσης και υπερφορτίσεις, τα οποία μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ρεύματος και την αξιοπιστία. Για να ξεπεράσουμε προβλήματα τέτοιας φύσης, εμφανίστηκε ένα νέο ηλεκτρικό δίκτυο επόμενης γενιάς, ένα έξυπνο δίκτυο. Η στροφή στην ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς ώστε να είναι πιο έξυπνα έχει οριστεί ως “Έξυπνο Δίκτυο” (Smart Grid).

### 2.2 Ορισμός

Ο όρος Έξυπνο Δίκτυο αναφέρεται σε ένα σύγχρονο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Πρόκειται για ένα σύστημα που στόχο έχει την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων/μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της ζήτησης, τη διαθεσιμότητα της ενέργειας και του δικτύου κ.ά. Το σύστημα περιλαμβάνει κεντρικές και κατακεντρωμένες



ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα διανομής χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτηρίων[7]. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το σχήμα 2.1 το έξυπνο δίκτυο χαρακτηρίζεται από αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου, ευρέως καταναλωμένου δικτύου διανομής ενέργειας. Ενσωματώνει στο δίκτυο τα πλεονεκτήματα των καταναλωμένων υπολογιστικών συστημάτων και των επικοινωνιών, για τη μεταφορά σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών με σκοπό την εξισορρόπηση της παροχής και της ζήτησης ρεύματος.



Σχήμα 2.1: Μετατροπή ενός δικτύου σε «έξυπνο»[18]

### 2.3 Προκλήσεις και ανάγκες

Οι προσκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει και οι ανάγκες του μελλοντικού έξυπνου δικτύου μεταφοράς[7] συνοψίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

- **Περιβαλλοντικές προκλήσεις.** Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τους μέχρι τώρα τρόπους επιβαρύνει το περιβάλλον με διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σε μεγάλο βαθμό και πρέπει να αλλάξει ώστε να μειωθεί ο παράγοντας αυτός που επηρεάζει αρνητικά την κλιματική αλλαγή. Παράλληλα, έχει προβλεφθεί ανεπάρκεια ορυκτών καυσίμων στις επόμενες δεκαετίες. Φυσικές καταστροφές, όπως θύελλες και σεισμοί μπορούν εύκολα να καταστρέψουν το δίκτυο μεταφοράς. Τέλος, ο διαθέσιμος χώρος για τη μελλοντική επέκταση του δικτύου έχει μειωθεί δραματικά.
- **Ανάγκες αγοράς/καταναλωτών.** Η ικανοποίηση των πελατών από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να βελτιωθεί με υψηλής ποιότητας ενέργεια σε λογική τιμή και με τη δυνατότητα των καταναλωτών να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο.
- **Προκλήσεις Υποδομής.** Η υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει στοιχεία που είναι γηρασμένα. Οι ανάγκες του δικτύου μεγαλώνουν όλο και περισσότερο και η συμφώηση γίνεται όλο και χειρότερη. Τα εργαλεία online ανάλυσης, η ευρείας ζώνης παρακολούθηση, οι μετρήσεις και ο έλεγχος, είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που κρίνονται απαραίτητα για να βελτιωθεί η αξιοπιστία των δικτύων.

- **Προκλήσεις Καινοτόμων Τεχνολογιών.** Από τη μία πλευρά, οι καινοτόμες τεχνολογίες, δεν είναι ακόμα ώριμες ή εμπορικά διαθέσιμες ώστε να βελτιστοποιηθεί το δίκτυο μεταφοράς. Από την άλλη, στο υπάρχον δίκτυο υπάρχει έλλειψη συμβατότητας για να δεχθεί την εφαρμογή smart-grid τεχνολογιών σταπρακτικά δίκτυα.

## 2.4 Η αρχιτεκτονική ενός Έξυπνου Δικτύου

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να περιγράψει ένα Έξυπνο Δίκτυο. Ένας τρόπος ο οποίος εμφανίζεται συχνά στη βιβλιογραφία αφορά στην απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου ως ενός συνόλου από οντότητες οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο τρόπος αυτός όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον οργανισμό NIST [8], προσφέρει μια αφαιρετική απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου σε υψηλό επίπεδο, χωρίζοντάς το σε επτά τομείς-δίκτυακάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει μια ή περισσότερες οντότητες- συσκευές, συστήματα ή προγράμματα (όπως π.χ. smart meters, συστήματα SCADA κτλ..) τα οποία ανταλλάσσουν πληροφορίες και λαμβάνουν αποφάσεις για την εξασφάλιση της εύκολης λειτουργίας του. Οι επτά τομείς στους οποίους μπορούμε να χωρίσουμε ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι οι Πελάτες, οι Αγορές, οι Πάροχοι Υπηρεσιών, οι Λειτουργίες, η Παραγωγή, η Μεταφορά και η Διανομή. Πιο συγκεκριμένα :

- **Πελάτες :** Τομέας που περιλαμβάνει τόσο τους καταναλωτές όσο και τις συσκευές που αυτοί διαθέτουν για να παράγουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται την ενέργεια. Τυπικά αναφερόμαστε σε τρεις τύπους πελατών. Πελάτες του δικτύου με σκοπό την οικιακή χρήση ηλεκτρισμού, πελάτες με σκοπό την εμπορική χρήση και πελάτες με σκοπό τη βιομηχανική χρήση
- **Αγορές :** Τομέας που περιλαμβάνει τους λειτουργούς και τους συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας
- **Πάροχοι Υπηρεσιών :** Τομέας που αφορά στους οργανισμούς οι οποίοι προσφέρουν υπηρεσίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες αλλά και παρόχους άλλων υπηρεσιών
- **Λειτουργίες :** Τομέας που έχει να κάνει με τους διαχειριστές της διακίνησης ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δικτύων
- **Παραγωγή :** Τομέας που περιλαμβάνει το σύνολο των γεννητριών και ηλεκτροπαραγωγών σταθμών που παράγουν ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες και τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας για διάθεση σε κατοπινό στάδιο
- **Μεταφορά :** Τομέας που αναφέρεται στην υποδομή για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μακρινές αποστάσεις. Ενδεχομένως να περιλαμβάνει μέσα για την αποθήκευση ή παραγωγή ενέργειας κατά τόπους
- **Διανομή :** Τομέας που έχει να κάνει με την υποδομή που υπάρχει για διανομή ηλεκτρικής ενέργειας από και προς πελάτες, ο οποίος ενδεχομένως να περιλαμβάνει και την αποθήκευση ενέργειας ή την παραγωγή της





Σχήμα 2.2 : Αρχιτεκτονική ενός Smart Grid[8]

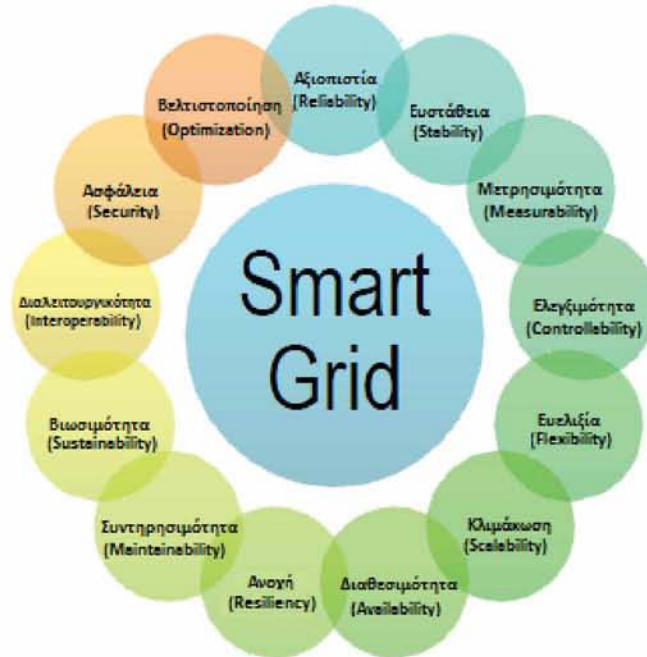
Έχοντας περιγράψει τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων βλέπουμε στο σχήμα 2.2 πως οι οντότητες-συσκευές σε κάθε τομέα έχουν κοινούς στόχους και για να τους πετύχουν πρέπει να συνεργαστούν τόσο μεταξύ τους όσο και με οντότητες-συσκευές άλλων τομέων.

## 2.5 Βασικά χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου

Στο Σχήμα 2.3 βλέπουμε τα βασικά χαρακτηριστικά [9] του έξυπνου δικτύου(SmartGrid) τα οποία αναλύονται και παρακάτω. Τα στοιχεία αυτά μπορούμε να δούμε ότι συνδέονται μεταξύ τους με μια σχέση αιτίου-αποτελέσματος, για αυτό και στην ανάλυση αυτών ομαδοποιούνται.

- **Αξιοπιστία και Ευστάθεια.** Με τον όρο αξιοπιστία αναφερόμαστε στην ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Θεωρείται ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Με την αξιοπιστία απαιτούμε οι βλάβες του συστήματος να συμβαίνουν με μικρή πιθανότητα, ενώ σε περίπτωση που υπάρξει πρόβλημα, η επίπτωσή του στο συνολικό σύστημα να είναι ελάχιστη, δηλαδή να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες και το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή επιδιορθωθεί όσο το δυνατόν συντομότερα. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής καθώς και τη μεταβλητότητα του φορτίου.
- **Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα.** Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά τα οποία υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Το έξυπνο δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει δυσλειτουργίες μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου.
- **Ευελιξία και Κλιμάκωση.** Η ευελιξία επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται.
- **Διαθεσιμότητα.** Η διαθεσιμότητα της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι ουσιώδης για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Η διαθεσιμότητα ενός αντικειμένου σε θέματα που σχετίζονται με την καθυστέρηση ή την ασφάλεια, είναι αρκετά σημαντική και αναγκαία.

- **Ανθεκτικότητα/Ανοχή.** Το δίκτυο θα πρέπει να μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τα οποιαδήποτε προβλήματα. Το πόσο ανθεκτικό είναι ένα δίκτυο φαίνεται από τη δυνατότητα ανάκαμψης από διάφορα κενά ασφαλείας που μπορεί να εμφανιστούν.
- **Δυνατότητα συντήρησης.** Αντανακλά ουσιαστικά την αξιοπιστία ενός συστήματος. Δείχνει ότι το δίκτυο είναι σε θέση να εκτελεί εργασίες συντήρησης. Οι διαδικασίες που γίνονται κατά τη συντήρηση περιλαμβάνουν την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών να επιδιορθώνονται γρήγορα και με τρόπο οικονομικά και χρονικά αποδοτικό.
- **Βιωσιμότητα.** Εκφράζει την φιλικότητα προς το περιβάλλον, καθώς οι όποιες αυξημένες ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια σε ώρες αιχμής θα πρέπει να ικανοποιηθούν από μορφές φιλικές προς το περιβάλλον (εναλλακτικοί ενεργειακοί πόροι) μιας και η ανησυχία για αυτό μεγαλώνει όλο και περισσότερο.
- **Διαλειτουργικότητα.** Η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα της επίδοσης του συστήματος εξαρτάται από την διαλειτουργικότητα που παρουσιάζει η υποδομή. Ένα σύστημα λέμε ότι χαρακτηρίζεται από διαλειτουργικότητα όταν οι διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιεί και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των στοιχείων του δικτύου είναι κατανοητά το ένα στο άλλο παρέχουν μεταφορά ενέργειας και δεδομένων χωρίς διακοπή. Η μη-ύπαρξη θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα δημιουργούσε κενά στη σύνδεση του συστήματος.
- **Ασφάλεια.** Η έννοια της ασφάλειας απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες αλλαγές. Μια ασφαλής και σίγουρη σύνδεση μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας.
- **Βελτιστοποίηση.** Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας και των στοιχείων του έξυπνου δικτύου μπορεί να πραγματοποιηθεί κάνοντας χρήση έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent Electronic devices) καθώς και με έξυπνη διαχείριση και αυτοματισμό. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με όρους
  - αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
  - αποδοτικότητας μετατροπής και χρήσης της ενέργειας
  - ποιότητας παραγωγής και διανομής ενέργειας
  - διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων
  - αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών
  - χρονικής απόκρισης και διαχείρισης σφαλμάτων
  - οικονομικό κέρδος



Σχήμα 2.3 : Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός Smart Grid[9]

## 2.6 Το Έξυπνο Δίκτυο στην Ελλάδα

Στο συνέδριο “Recent Developments in the Greek Gas and Power Markets” που πραγματοποιήθηκε στις 16 Δεκεμβρίου του 2014 ο τότε Διευθύνων Σύμβουλος του ΔΕΔΔΗΕ κ. Κ. Ζωντανός ανακοίνωσε ότι οι επενδύσεις του Διαχειριστή των ελληνικών δικτύων στην δημιουργία των έξυπνων δικτύων, τόσο στην πλευρά της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην πλευρά της κατανάλωσης θα ξεπεράσουν το ποσό του 1.5 δις Ευρώ έως το 2018. Τα κυριότερα βήματα για να πραγματοποιηθεί αυτή η μεγάλη βελτιστοποίηση του δικτύου είναι η εισαγωγή του Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) με σκοπό να υποστηρίζονται εφαρμογές των ευφών δικτύων, η λειτουργία του Συστήματος Τηλεμέτρησης Μέσης Τάσης όπως και η εφαρμογή των έξυπνων μετρητών στην Χαμηλή Τάση με την αρχική τοποθέτησή τους σε πιλοτικό στάδιο.

Ο σχεδιασμός του ΔΕΔΔΗΕ έχει ως προτεραιότητα την δημιουργία ενός σύγχρονου δικτύου. Συγκεκριμένα τα κυριότερα έργα που είναι σε φάση υλοποίησης από τον ΔΕΔΔΗΕ είναι τα εξής:

- Εισαγωγή του Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), κάτι το οποίο αποτελεί το βασικότερο συστατικό της υποδομής που χρειάζεται για την υποστήριξη διάφορων εφαρμογών των Ευφών δικτύων (Smart Grids) . Με την δυνατότητα αυτή ο ΔΕΔΔΗΕ έχει σκοπό να αποτυπώσει ολόκληρο το δίκτυό του σε ψηφιακά αρχεία. Τα αρχεία αυτά θα ενσωματώνουν πληροφορίες για τα δίκτυα συσχετίζοντάς τα με την γεωγραφική τους θέση.
- Έχει τεθεί σε λειτουργία το Σύστημα Τηλεμέτρησης Μέσης Τάσης, το οποίο εκτιμάται ότι διαχειρίζεται το 23% της συνολικής διανεμόμενης ενέργειας. Η τηλεμέτρηση αυτή χρησιμοποιεί το σύστημα GSM όπως και την τεχνολογία GPRS και αφορά περίπου



13.500 παραγωγούς και καταναλωτές της Μέσης Τάσης. Επίσης έχει εφαρμοστεί και το σύστημα τηλεμέτρησης παροχών μεγάλων πελατών Χαμηλής Τάσης που περιλαμβάνει περίπου 60.000 μετρητές παροχών και η επικοινωνία γίνεται όπως και στη προηγούμενη περίπτωση.

- Ο ΔΕΔΔΗΕ έχει επίσης προκηρύξει διαγωνισμό για υλοποίηση πιλοτικού συστήματος Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της ζήτησης παροχών ηλεκτρικής ενέργειας οικιακών και μικρών εμπορικών καταναλωτών και εφαρμογής έξυπνων δικτύων. Με την ολοκλήρωση του έργου θα αποκτήσουν περίπου 200.000 έξυπνους μετρητές περιοχές όπως Ξάνθη, Λέσβος, Λευκάδα, Αττική, Θεσσαλονίκη αλλά και νησιά των Κυκλάδων όπως Σαντορίνη, Μήλος και Κύθνος.

Οι ενεργειακές συνήθειες των καταναλωτών θα αλλάξουν με τους μετρητές αυτούς βοηθώντας έτσι στην οικονομία αλλά και στην αναγκαία μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Το έργο αυτό θεωρείται καθοριστικής σημασίας καθώς στην συνέχεια ο ΔΕΔΔΗΕ θα γίνει αντικατάσταση περίπου 7 εκατομμυρίων υπάρχων μετρητών με έξυπνους.

### 3. Στοιχεία της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

#### 3.1 Εισαγωγή

Στις περισσότερες χώρες η βιομηχανία της ενέργειας υπόκειται σε θεμελιώδης αλλαγές. Η μέχρι τώρα καθιερωμένη δομή της βιομηχανίας εξελίσσεται σε μία οριζόντια και ανταγωνιστική μορφή η οποία έχει στόχο το μειωμένο κόστος παραγωγής και διάθεσης ηλεκτρισμού. Το μέχρι τώρα μονοπωλιακό καθεστώς της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζει την ορθολογική λήψη αποφάσεων κατά τον σχεδιασμό και την επέκταση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, δεν οδηγεί σε βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων και συνήθως η λήψη αποφάσεων επηρεάζεται από την εξυπηρέτηση πολιτικών συμφερόντων. Η απελευθέρωση της αγοράς έθεσε σαν προϋποθέσεις την “αποσύνθεση” της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Εστιάζει στον περιορισμό της κρατικής παρέμβασης στη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και της ιδιοκτησίας αυτών καθώς και στην εισαγωγή ανταγωνισμού μέσω της εδραίωσης της χονδρεμπορικής (wholesale) και της λιανεμπορικής (retail) αγοράς. Επίσης βασικές προϋποθέσεις αποτελούν, ο έλεγχος των δικτύων μεταφοράς και διανομής από ανεξάρτητες υπηρεσίες διαχείρισης και η δυνατότητα της ενεργής συμμετοχής των καταναλωτών στην αγορά [10]. Η ριζική αλλαγή της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφορά κυρίως στο διαχωρισμό του ανταγωνιστικού τομέα της παραγωγής από τα παραδοσιακά μονοπώλια των δικτύων μεταφοράς και διανομής. Ο αποτελεσματικός διαχωρισμός της παραγωγής από τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς έτσι διασφαλίζεται η πρόσβαση άλλων επιχειρήσεων στον τομέα της μεταφοράς. Επίσης, με τον οριζόντιο διαχωρισμό των επιχειρήσεων μειώνεται η συγκέντρωση του ελέγχου της αγοράς σε λίγες επιχειρήσεις και ενθαρρύνεται ο ανταγωνισμός. Η προϋπόθεση αυτή είναι απαραίτητη ώστε να διευκολυνθεί ο ανταγωνισμός σε βραχυχρόνιο επίπεδο και να ενθαρρυνθεί η είσοδος νέων επιχειρήσεων μακροπρόθεσμα [11]. Σε αντίθετη περίπτωση, οι εταιρείες



παραγωγής δεν έχουν κίνητρο να δραστηριοποιηθούν στην αγορά. Επιπλέον, η εδραίωση αγορών χονδρικής και λιανικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την απελευθέρωση της αγοράς. Το γεγονός ότι υπάρχει ανταγωνισμός στη χονδρική πώληση επωφελεί μόνο τη βιομηχανική χρήση και δε σημαίνει ότι τα ωφέλη της ανταγωνιστικής πολιτικής φτάνουν στους οικιακούς καταναλωτές. Ο ρόλος των ρυθμιστικών αρχών σε κάθε χώρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη διατήρηση του ανταγωνισμού και η επιβολή ρυθμίσεων και ελέγχου από τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές πρέπει να προηγείται της απελευθέρωσης. Ανάμεσα στα καθήκοντα των ρυθμιστικών αρχών συγκαταλέγεται ο έλεγχος διασφάλισης της ελεύθερης και χωρίς διακρίσεις πρόσβασης των επιχειρήσεων παραγωγής στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Δεδομένου ότι περίπου το 1/3 της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κυρίως από τη χρέωση για διανομή και μεταφορά, οι ρυθμιστικές αρχές πρέπει να ορίζουν ένα μοντέλο καθορισμού τιμής για τις υπηρεσίες αυτές. Τέλος, η ιδιωτικοποίηση των επιχειρήσεων έχει ως κύριο αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας και την μείωση του λειτουργικού κόστους των επιχειρήσεων, αφού αντικειμενικός σκοπός τους είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους [10].

### 3.2 Δομή και λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς

#### 3.2.1 Μοντέλα αγοράς

Γενικά, υπάρχουν 2 στόχοι για να πετύχει να εδραιωθεί μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, από τη μια η διασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας και από την άλλη η διασφάλιση οικονομικής λειτουργίας. Η ασφαλής λειτουργία κάνει χρήση υπηρεσιών που σχετίζονται με τη παρουσία ειδικών συνθηκών λειτουργίας ενώ η οικονομική λειτουργία στοχεύει στο κόστος παραγωγής. Για την κάλυψη των παραπάνω στόχων υπάρχουν 3 μοντέλα της αγοράς [10]:

- **Κοινοπραξία Ισχύος (Pool Corporation).** Η Κοινοπραξία Ισχύος ορίζεται σαν μία κεντροποιημένη πλειοδοσία που εκκαθαρίζει την αγορά για τους πωλητές και τους αγοραστές. Οι πωλητές και οι αγοραστές της ηλεκτρικής ισχύος προτείνουν προσφορές για το ποσό της ισχύος που είναι πρόθυμοι να εμπορευτούν στην αγορά. Οι πωλητές ανταγωνίζονται για το δικαίωμα της τροφοδοσίας του δικτύου με ενέργεια και όχι των τελικών καταναλωτών. Εάν η τιμή της πλειοδοσίας ενός πωλητή είναι υψηλή τότε πιθανώς να μην είναι σε θέση να πουλήσει. Από την άλλη, εάν η τιμή της πλειοδοσίας είναι χαμηλής τότε πιθανώς να μην είναι σε θέση να αγοράσει. Σε αυτό το μοντέλο της αγοράς, ανταμείβονται κυρίως οι χαμηλού κόστους μονάδες παραγωγής. Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής του Δικτύου (Independent System Operator, ISO) μέσα στην Κοινοπραξία Ισχύος διαχειρίζεται την οικονομική διεκπεραίωση και παράγει μία απλή (spot) τιμή για την ηλεκτρική ενέργεια. Η τιμή αυτή αποτελεί μία ένδειξη για τη κατανάλωση αλλά και για τις διενέργειες των παραγωγών. Η δυναμική της αγοράς οδηγεί τη spot τιμή σε ένα ανταγωνιστικό επίπεδο που είναι ίσο με το οριακό κόστος των περισσότερο αποδοτικών πλειοδοτών. Οι νικητές πλειοδότες πιστώνονται με τη spot τιμή η οποία ισούται με την υψηλότερη τιμή της πλειοδοσίας.
- **Διμερή Συμβόλαια (Bilateral Contracts).** Πρόκειται για διαπραγματεύσιμες συμφωνίες μεταξύ 2 εμπόρων για τη παράδοση και τη παραλαβή ηλεκτρικής ισχύος. Αυτές οι

διαπραγματεύσεις θέτουν τους όρους και τις συμφωνίες μεταξύ των εμπόρων και είναι ανεξάρτητες του ISO. Παρόλα αυτά, σε αυτό το μοντέλο ο ISO θα επαληθεύσει ότι υφίσταται μία επαρκής ικανότητα μεταφοράς ισχύος ώστε να ολοκληρωθούν οι δοσοληψίες. Το μοντέλο των Διμερών Συμβολαίων είναι αρκετά ευέλικτο εφόσον οι συμμετέχοντες σε αυτό είναι σε θέση να επισυνάψουν την επιθυμητή συμφωνία. Μειονεκτεί στο υψηλό κόστος της διαπραγμάτευσης και της συγγραφής του συμβολαίου και εμπεριέχει το ρίσκο της φερεγγυότητας των συμμετεχόντων.

- **Υβριδικό Μοντέλο (Hybrid Model).** Περιέχει στοιχεία από τα 2 προηγούμενα μοντέλα. Κάθε πελάτης είναι ελεύθερος στο να συνάψει συμβόλαια απ' ευθείας με τους παραγωγούς ή να επιλέξει να αγοράσει με τη τιμή της Κοινοπραξίας. Το πλεονέκτημα του Υβριδικού Μοντέλου είναι η κάλυψη των πραγματικών αναγκών σε ενέργεια των πελατών αλλά και η ώθηση της δημιουργίας ειδικών πολιτικών τιμολόγησης και υπηρεσιών που να ανταποκρίνονται πιο αποτελεσματικά στις ανάγκες των πελατών.

Εκτός από τους παραπάνω τύπους αγορών, υπάρχουν οι εξής μηχανισμοί αγορών[10]:

- Προθεσμιακή Αγορά (Forward Market). Στις περισσότερες αγορές ηλεκτρισμού, η προθεσμιακή αγορά επόμενης ημέρας (day-ahead) εξυπηρετεί στον προγραμματισμό των πόρων για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας. Η προθεσμιακή αγορά επόμενης ώρας (hour-ahead) εξυπηρετεί για τη διευθέτηση των αποκλίσεων του προγραμματισμού της επόμενης ώρας. Οι υπηρεσίες της ενέργειας και της εφεδρείας μπορούν να εμπορευτούν στη προθεσμιακή αγορά. Εφόσον λάβει χώρα η εκκαθάριση ακολουθούν οι πλειοδοτήσεις για τις εφεδρικές υπηρεσίες, σειριακά ή ταυτόχρονα. Εάν ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει χωρίς τη διαχείριση της συμφόρησης στην Αγορά Μεταφοράς, τότε ο ISO θα θέσει σε προμήθεια τις εφεδρικές υπηρεσίες.
- Αγορά Πραγματικού-Χρόνου (Real-Time Market). Η απαίτηση για αξιοπιστία της αγοράς ενέργειας προϋποθέτει την εξισορρόπηση της παραγωγής και της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Παρόλα αυτά, οι διάφορες τιμές πραγματικού χρόνου του φορτίου, της παραγωγής και της μεταφοράς υπάρχει περίπτωση να διαφέρουν από το προγραμματισμό της Προθεσμιακής Αγοράς. Έτσι λοιπόν απαιτείται μία αγορά πραγματικού χρόνου για να καλύψει τις απαιτήσεις αυτές. Η Αγορά Πραγματικού-Χρόνου ελέγχεται από τον ISO.

## 4. Τεχνητή Νοημοσύνη και Ασαφής Λογική

### 4.1 Ορισμός Τεχνητής Νοημοσύνης

Ο όρος τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στον τομέα της πληροφορικής ο οποίος ασχολείται με τη σχεδίαση και την υλοποίηση υπολογιστικών συστημάτων που μιμούνται στοιχεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς τα οποία υπονοούν στοιχειώδη ευφυΐα: μάθηση, προσαρμοστικότητα, εξαγωγή συμπερασμάτων, κατανόηση από συμφραζόμενα, επίλυση προβλημάτων κλπ.



Η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί σημείο τομής μεταξύ πολλαπλών επιστημών όπως της πληροφορικής, της ψυχολογίας, της φιλοσοφίας, της νευρολογίας, της γλωσσολογίας και της επιστήμης μηχανικών, με στόχο τη σύνθεση ευφυούς συμπεριφοράς, με στοιχεία συλλογιστικής, μάθησης και προσαρμογής στο περιβάλλον, ενώ συνήθως εφαρμόζεται σε μηχανές ή υπολογιστές ειδικής κατασκευής [12]. Διαιρείται σε

- συμβολική τεχνητή νοημοσύνη, η οποία επιχειρεί να εξομοιώσει την ανθρώπινη νοημοσύνη αλγοριθμικά χρησιμοποιώντας σύμβολα και λογικούς κανόνες υψηλού επιπέδου
- υποσυμβολική τεχνητή νοημοσύνη, η οποία προσπαθεί να αναπαράγει την ανθρώπινη ευφυΐα χρησιμοποιώντας στοιχειώδη αριθμητικά μοντέλα που συνθέτουν επαγωγικά νοήμονες συμπεριφορές με τη διαδοχική αυτοοργάνωση απλούστερων δομικών συστατικών

## 4.2 Ιστορική Αναδρομή

Κατά τη δεκαετία του 1940 εμφανίστηκε η πρώτη μαθηματική περιγραφή τεχνητού νευρωνικού δικτύου, με πολύ περιορισμένες δυνατότητες επίλυσης αριθμητικών προβλημάτων. Καθώς ήταν εμφανές ότι οι ηλεκτρονικές υπολογιστικές συσκευές που κατασκευάστηκαν μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ήταν ένα τελείως διαφορετικό είδος μηχανής από ό,τι προηγήθηκε, η συζήτηση για την πιθανότητα εμφάνισης μηχανών με νόηση ήταν στην ακμή της. Το 1950 ο μαθηματικός Άλαν Τούρινγκ, πατέρας της θεωρίας υπολογισμού και προπάτορας της τεχνητής νοημοσύνης, πρότεινε τη δοκιμή Τούρινγκ, μία απλή δοκιμασία που θα μπορούσε να εξακριβώσει αν μία μηχανή διαθέτει ευφυΐα.

Αξιοσημείωτοι σταθμοί της ιστορικής αναδρομής αυτής είναι η χρονιά 1958, όπου αναπτύχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού LISP από τον Μακάρθι η οποία έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία εφαρμογών ΤΝ (Τεχνητή Νοημοσύνη) τις επόμενες δεκαετίες, καθώς και η χρονιά 1962 όπου παρουσιάστηκε το βελτιώμενο νευρωνικό δίκτυο perceptron από τον Ρόσενμπλατ. Περίπου την ίδια χρονιά εμφανίστηκε επίσης και η γλώσσα λογικού προγραμματισμού Prolog.

Κατά τη δεκαετία του 1990, με την αυξανόμενη σημασία του Internet, ανάπτυξη γνώρισαν οι ευφυείς πράκτορες, οι οποίοι βρήκαν μεγάλο πεδίο εφαρμογών λόγω της εξάπλωσης του Διαδικτύου. Οι πράκτορες στοχεύουν συνήθως στην παροχή βοήθειας στους χρήστες τους, στη συλλογή ή ανάλυση γιγάντιων συνόλων δεδομένων ή στην αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών (π.χ. βλέπε διαδικτυακό ρομπότ), ενώ στους τρόπους κατασκευής και λειτουργίας τους συνοψίζουν όλες τις γνωστές μεθοδολογίες ΤΝ που αναπτύχθηκαν με το πέρασμα του χρόνου.

Επίσης τη δεκαετία του '90 η ΤΝ, κυρίως η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) και η Ανακάλυψη Γνώσης και Εξόρυξη Δεδομένων (Knowledge Discovery and Data Mining), άρχισε να επηρεάζεται πολύ από τη θεωρία πιθανοτήτων και τη στατιστική. Τα Δίκτυα Πεποιθήσεων (Δίκτυα Bayes κλπ) υπήρξαν η αφετηρία αυτής της νέας μετακίνησης, που συνέδεσε τελικά την ΤΝ με τα πιο σχολαστικά μαθηματικά εργαλεία της στατιστικής και της επιστήμης μηχανικών. Αυτή η νέα πιθανοκρατική προσέγγιση έχει αυστηρά υποσυμβολικό χαρακτήρα, όπως και οι τρεις μεθοδολογίες οι οποίες κατηγοριοποιούνται κάτω από την ετικέτα της υπολογιστικής νοημοσύνης: τα Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks), ο Εξελικτικός Υπολογισμός και η Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic). [13]

### 4.3 Ασαφής Λογική - FuzzyLogic

Τον όρο «ασαφή λογική» (fuzzylogic) εισήγαγε το 1962 με άρθρο του ο Zadeh[14], ο οποίος αναφέρθηκε στην αναγκαιότητα δημιουργίας μίας μαθηματικής θεωρίας που θα επεξεργαζόταν ασαφείς-ανακριβείς έννοιες, οι οποίες δεν είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν μέσω της θεωρίας των πιθανοτήτων. Η μαθηματική θεμελίωση της ασαφούς λογικής επιτεύχθηκε με τη διατύπωση της θεωρίας των ασαφών συνόλων (fuzzyssettheory) από τον Zadeh (1965) λίγα χρόνια αργότερα.

Η ασαφής λογική κατά τον Zadeh αποτελεί «τη διαδικασία της μετατροπής διακριτών μεγεθών σε ασαφή (fuzzification) που επιτρέπει τη γενίκευση μιας διακριτής (distinct) θεωρίας σε συνεχή (continuous)»

### 4.4 Θεωρία Ασαφών Συνόλων και Ασαφής Λογική

Το 1965 , ο Zadeh θεμελίωσε τη θεωρία των ασαφών συνόλων σε μια μέθοδο διαχείρισης της ανακρίβειας που αντιμετωπίζεται σε πολλά πρακτικά προβλήματα. Η ανακρίβεια ή η ασάφεια είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής. Τα ασαφή σύνολα ουσιαστικά αποτελούν μια γενίκευση των κλασικών συνόλων. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 τα ασαφή σύνολα βρήκαν πολλές εφαρμογές , ιδίως σε συστήματα ελέγχου. Οι άνθρωποι σκέφτονται συνήθως όχι με όρους ακριβών συμβόλων και αριθμών αλλά με ασαφείς όρους. Αυτοί οι ασαφείς όροι προσδιορίζουν κατηγορίες όχι όμως απόλυτα διαχωρισμένα και σαφώς καθορισμένα σύνολα. Η μετάβαση από τη μια κατηγορία στην άλλη γίνεται σταδιακά , μεταβαίνοντας από καταστάσεις με περισσότερη ή λιγότερη συσχέτιση με την κατηγορία. Με βάση λοιπόν την πρακτική των ανθρώπων να χρησιμοποιούν ελαστικά σύνολα , ο Zadeh πρότεινε την ιδέα των ασαφών συνόλων. Πιο συγκεκριμένα τα ασαφή σύνολα στηρίζονται στην επέκταση της έννοιας της χαρακτηριστικής συνάρτησης ενός κλασικού συνόλου  $A$  (ως προς σύνολο αναφοράς  $X$ ) δηλ.,

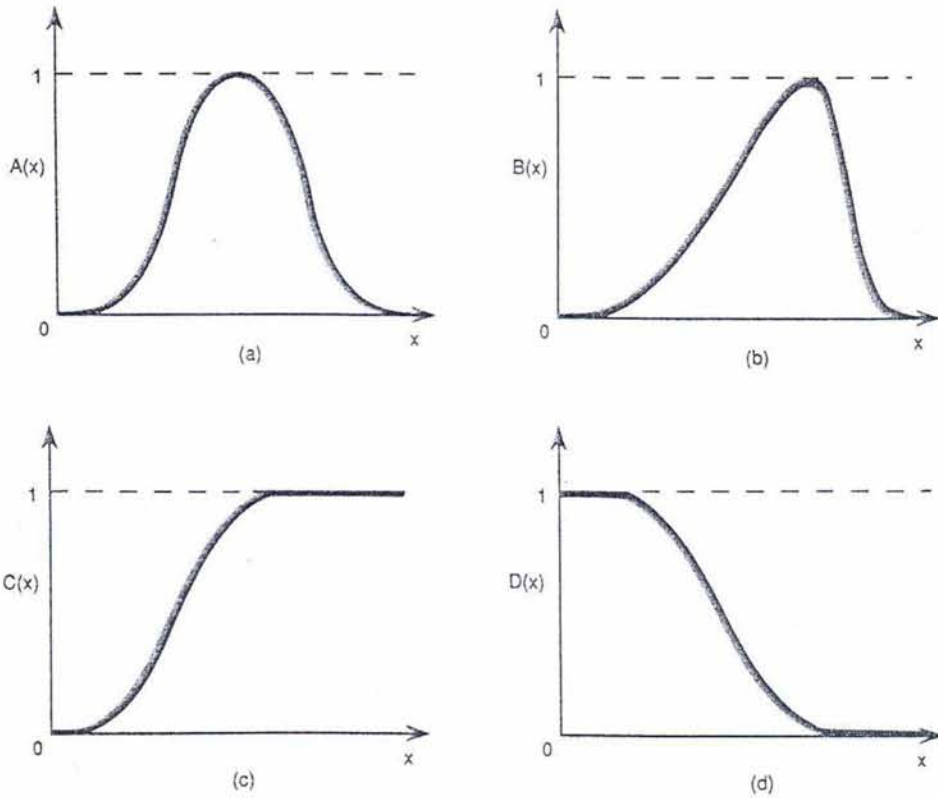
$$I_A : x \in X \rightarrow I_A(x) \in \{0,1\}$$

στη συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου  $A$  ,

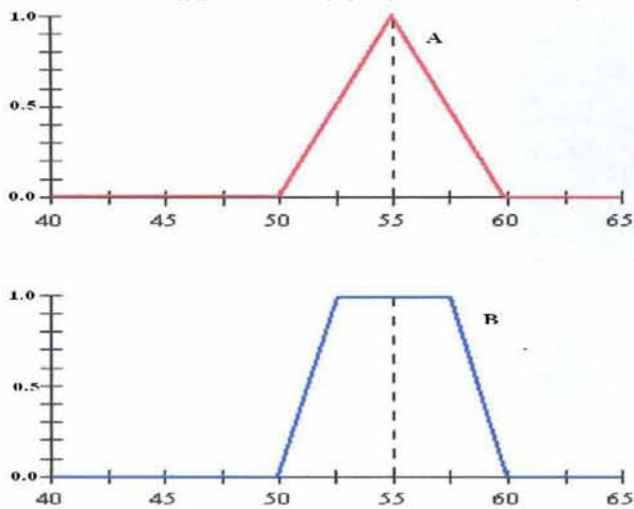
$$\mu_A : x \in X \rightarrow \mu_A(x) \in [0,1]$$

Ο αριθμός  $\mu_A(x) \in [0,1]$  αυτός δηλώνει το βαθμό συσχέτισης της τιμής με το ασαφές σύνολο. Όταν ο βαθμός αυτός είναι 0 (δηλ.  $\mu_A(x)=0$ ) τότε αυτό σημαίνει ότι η τιμή δεν ανήκει στο σύνολο, όταν είναι 1 (δηλ.  $\mu_A(x)=1$ ) τότε αυτό σημαίνει ότι η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει πλήρως το ασαφές σύνολο, ενώ όταν είναι ανάμεσα σε 0 και 1 (δηλ.  $0 < \mu_A(x) < 1$ ) τότε σημαίνει οτι ανήκει μερικώς. Ο βαθμός αυτός καθορίζεται από τη συνάρτηση συμμετοχής του ασαφούς συνόλου. Το γράφημα των ασαφών συνόλων μπορεί να είναι μια καμπανοειδής καμπύλη όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1 , στην πράξη, όπως βλέπουμε και στο σχήμα 4.2, συνήθως θεωρούνται συμμετρικά τρίγωνα ή ισοσκελή τραπέζια γύρω από κάποιες τιμές.





Σχήμα 4.1 : Διάφοροι γενικοί τύποι Ασαφών Συνόλων[15]



Σχήμα 4.2 : Στην πράξη γραφική αναπαράσταση ασαφών συνόλων: Α-Τριγωνικό, Β-Τραπεζοειδής [15]

#### 4.5 Εφαρμογές της Ασαφούς Λογικής

Η ασαφής λογική αποτελεί σήμερα μια αναγνωρισμένη επιστημονική θεωρία, κυρίως πρακτικού χαρακτήρα, με προσανατολισμό στην επίλυση ή τουλάχιστον στην επίτευξη καλύτερων λύσεων από αυτές των υπόλοιπων επιστημών. Η θεωρία, η τεχνολογία και οι εφαρμογές της ασαφούς

λογικής έχουν σημειώσει τα τελευταία χρόνια ταχύτερη ανάπτυξη και έχουν καταστεί αξιόπιστο και εύχρηστο εργαλείο σε πολλές επιστημονικές και ερευνητικές περιοχές. Για παράδειγμα πολλές οικιακές συσκευές χρησιμοποιούν την ασαφή λογική. Μερικές απ' αυτές είναι τα πλυντήρια πιάτων ή ρούχων που από μόνα τους έχουν τη δυνατότητα να καθορίζουν την κατάλληλη ποσότητα απορρυπαντικού που πρέπει να χρησιμοποιήσουν καθώς και την σωστή πίεση νερού που απαιτείται, ώστε να καθαρίζουν αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Εκτός από τις οικιακές συσκευές, ασαφή λογική χρησιμοποιούν τα αντικλεπτικά συστήματα, οι ελεγκτές αυτοκίνητων μηχανών, τα υπόγεια συστήματα τρένων, τα αναπτυσσόμενα συστήματα έγχρωμων φιλμ, τα μετεωρολογικά συστήματα, τα συστήματα απόφασης, ακόμη και οι αυτόματες εστίασης κάμερες. Τέλος, ασαφή λογική χρησιμοποιείτε στην ιατρική για τις διάφορες διαγνώσεις καθώς και για την πρόβλεψη κληρονομικών χαρακτηριστικών.

Η ασαφής λογική δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα που δε λύνονται «αδύνατα». Μπορεί αυτό να ακούγεται λογικό και προφανές αλλά συχνά, λόγω της τυχαιότητας που χαρακτηρίζει την ασαφή λογική, οι άνθρωποι πιστεύουν πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού. Επίσης μια φανερά αδυναμία της ασαφούς λογικής είναι ότι τα αποτελέσματά της δεν είναι πάντα σωστά ακριβώς επειδή παρουσιάζονται ως εικασίες. Αντίθετα αυτά της «κλασσικής» λογικής μπορούν να είναι πλήρως αξιόπιστα. Τέλος, υπάρχει ο φόβος να θεωρήσει κανείς πως η ασαφή λογική ταυτίζεται με τη θεωρία των πιθανοτήτων.

## 5.Fuzzy Logic Χειριστής Κλιματισμού

### 5.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν πάρα πολλές εφαρμογές και υλοποιήσεις ControllerΚλιματισμού στο διαδίκτυο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η δημιουργία ενός FuzzyLogicController ο οποίος σύμφωνα με τη δομή ενός FuzzyLogicΣυστήματος ακολουθεί τις εξής διαδικασίες:

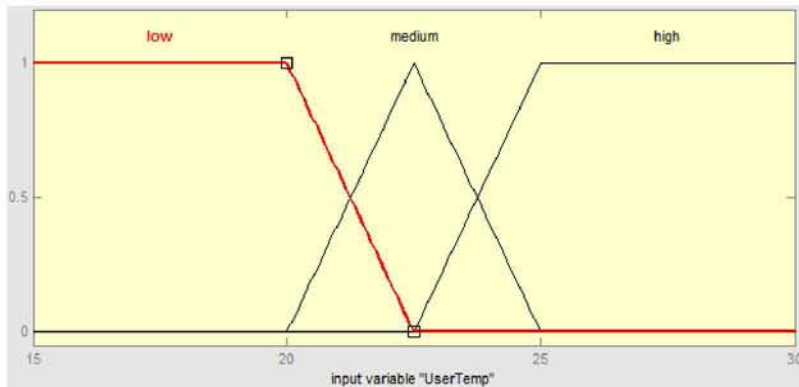
- DataBase: Ομαδοποιεί τα διακριτά στοιχεία της εισόδου και εξόδου σε κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά τους.
- FuzzyRuleBase : Περιέχει τον τύπο των κανόνων που έχουν παραχθεί καθώς και την βαρύτητα στη λήψη αποφάσεων.
- FuzzyInferenceMachine : Η βασική λειτουργία του συστήματος καθώς υπολογίζει όλα τα στοιχεία της εξόδου σύμφωνα με τα στοιχεία της εισόδου και των κανόνων συσχέτισης μεταξύ τους.
- Defuzzification: Μετατροπή των χαρακτηριστικών της εξόδου σε διακριτά καθώς και στη φυσική τους οντότητα.

### 5.2 Μεταβλητές Εισόδου Fuzzy Controller

#### 5.2.1 Θερμοκρασία Εισόδου Χρήστη

Θερμοκρασία εισόδου από το χρήστη(User Temperature) είναι η θερμοκρασία που δίνει ο χρήστης από τον θερμοστάτη ή το χειριστήριο. Στη γραφική παράσταση της εικόνας 5.1 βλέπουμε πως η θερμοκρασία κατηγοριοποιείται σε

- Χαμηλή(low) όταν είναι ανάμεσα στους και 15 και 20 βαθμούς Κελσίου [15,20]
- Μεσαία(medium) όταν είναι [20,25]
- Υψηλή(high) στους βαθμούς [25,30].

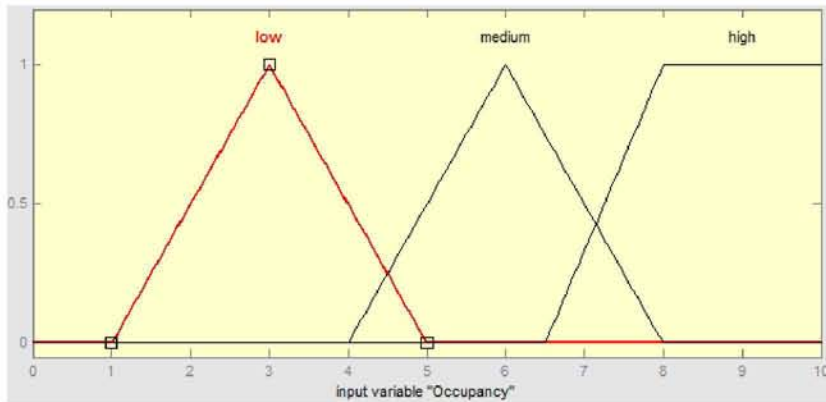


Εικόνα 5.1:Θερμοκρασία Εισόδου από το Χρήστη (User Temperature)

### 5.2.2 Πληρότητα

Με τον όρο πληρότητα(occupancy) εννοούμε τον αριθμό των ατόμων που είναι εκτεθειμένοι στο κλιματιστικό. Όσο περισσότερα άτομα είναι στο χώρο τόσο μεγαλύτερη ενέργεια απορροφούν από αυτόν, άρα για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα θα πρέπει να ζητήσουμε ακόμα πιο μειωμένη θερμοκρασία από την αρχική. Το εύρος των ανθρώπων θα χαρακτηριστεί σαν χαμηλό(low), μέσο(medium) και υψηλό(high). Θεωρούμε ότι ο χώρος είναι μικρός, δηλαδή μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι 10 άτομα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορούμε να παραμετροποιήσουμε τα δεδομένα αυτά και για μεγάλα εμπορικά κέντρα, γραφεία επιχειρήσεων και γενικά χώρους με πολύ μεγαλύτερο αριθμό ατόμων. Στη γραφική απεικόνιση της εικόνας 5.2 βλέπουμε πως διαφοροποιείται η τιμή:

- Χαμηλή(low) 1-5 άτομα
- Μεσαία(medium) 5-8 άτομα
- Υψηλή(high) αριθμός ατόμων πάνω από 8

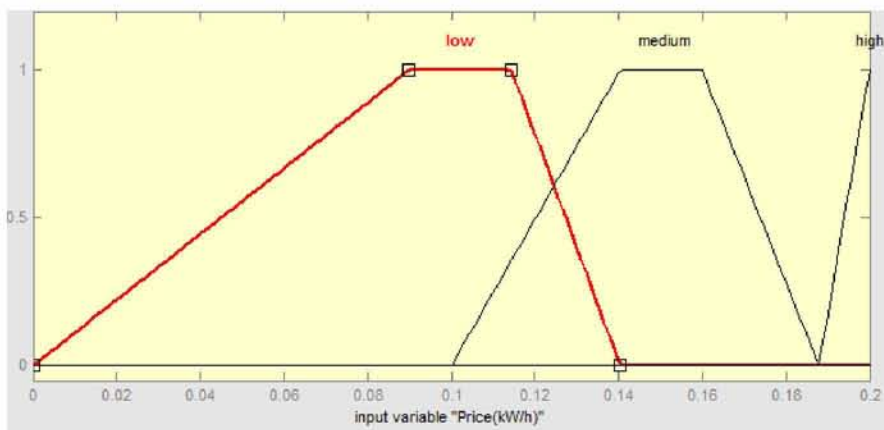


Εικόνα 5.2 : Πληρότητα (Occupancy)

### 5.2.3 Τιμολόγηση Ένεργειας

Η τιμή της ενέργειας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, εφόσον τη γνωρίζουμε, είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά τη χρήση μιας συσκευής. Σύμφωνα με το τιμολόγιο της ΔΕΗ [16] κάνουμε την υπόθεση ότι ο χώρος που μελετάμε καταναλώνει πάνω από 3001Kw/ανά τετράμηνο και ότι χρησιμοποιεί τριφασικό ρεύμα. Έτσι καταλήγουμε στις εξής κατηγορίες και τη γραφική αναπαράσταση της εικόνας 5.3:

- Χαμηλή (low) όταν η τιμή είναι ανάμεσα σε [0.0898, 0.1144] €/kwh
- Μεσαία (medium) όταν [0.1144, 0.1879] €/kwh
- Υψηλή (high) όταν είναι μεγαλύτερη από 0.1879 €/kwh



Εικόνα 5.3 : Τιμολόγηση Ενέργειας (Energy Pricing)

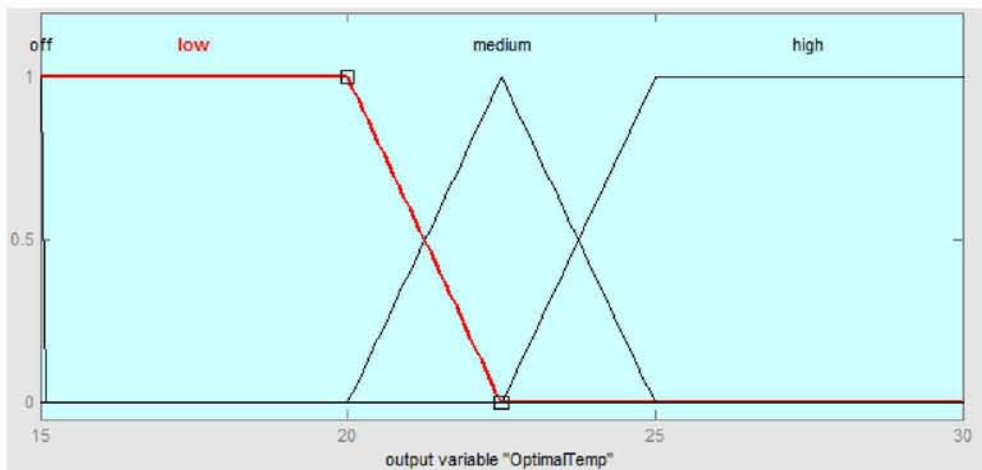


## 5.3 Μεταβλητές Εξόδου Fuzzy Controller

### 5.3.1 Βέλτιστη Θερμοκρασία

Η βέλτιστη θερμοκρασία(optimal temperature) είναι η θερμοκρασία που πρέπει να ρυθμίσουμε το κλιματιστικό λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις παραμέτρους εισόδου καθώς και τον τρόπο που αλληλοσυσχετίζονται μεταξύ τους σύμφωνα με τους κανόνες. Ο τρόπος κατηγοριοποίησης είναι ίδιος με την θερμοκρασία εισόδου και η αναπαράσταση του φαίνεται στην εικόνα 5.4, δηλαδή:

- Χαμηλή(low) όταν είναι ανάμεσα στους και 15 και 20 βαθμούς Κελσίου [15,20]
- Μεσαία(medium) όταν είναι [20,25]
- Υψηλή(high) στους βαθμούς [25,30].

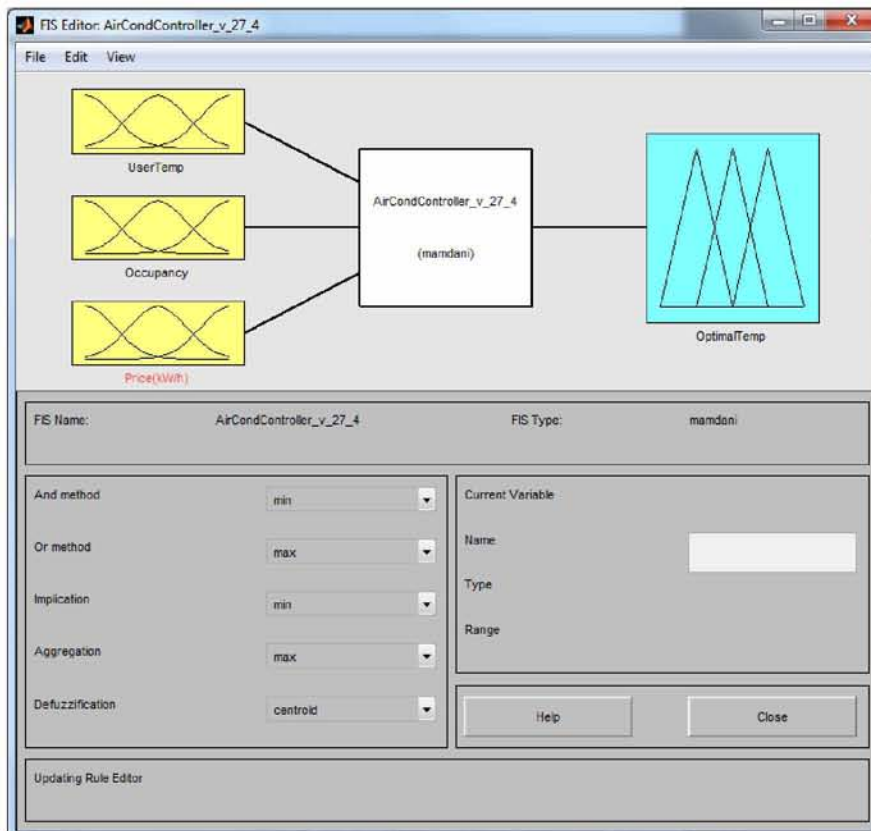


Εικόνα 5.4 : Βέλτιστη Θερμοκρασία (Optimal Temperature)

## 5.4 Εκτέλεση με Matlab

### 5.4.1 Fuzzy Base Class

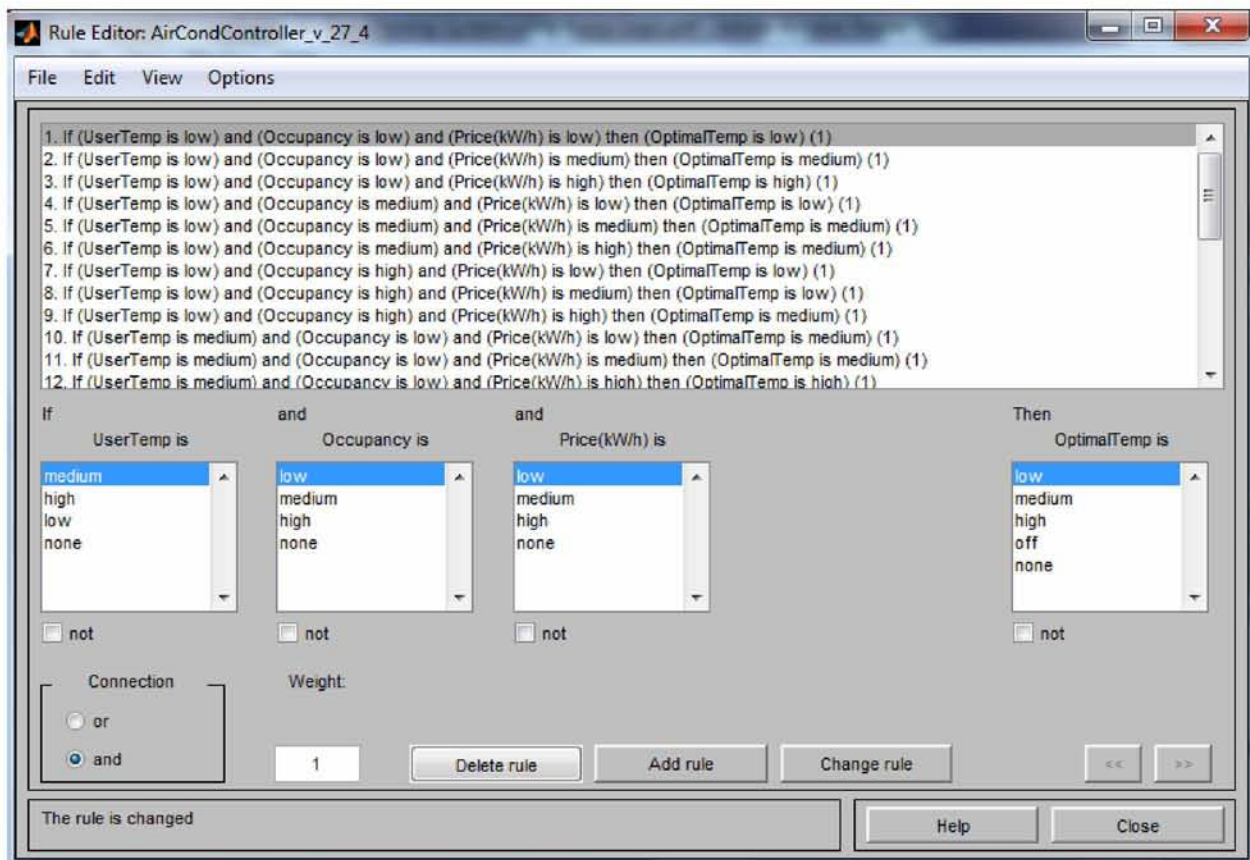
Χρησιμοποιήσαμε το Mamdanifuzzysystemγια την ηλοποίηση του controllerμε ρυθμίσεις όπως φαίνονται και στην εικόνα 5.5. Ορίζουμε την κλάση μας με βάση τα στοιχεία που αναλύσαμε στις ενότητες 5.1 και 5.2 όσον αφορά την είσοδο και έξοδο του controller.



Εικόνα 5.5 : Fuzzy Base Class

### 5.4.2 Fuzzy Rule Base

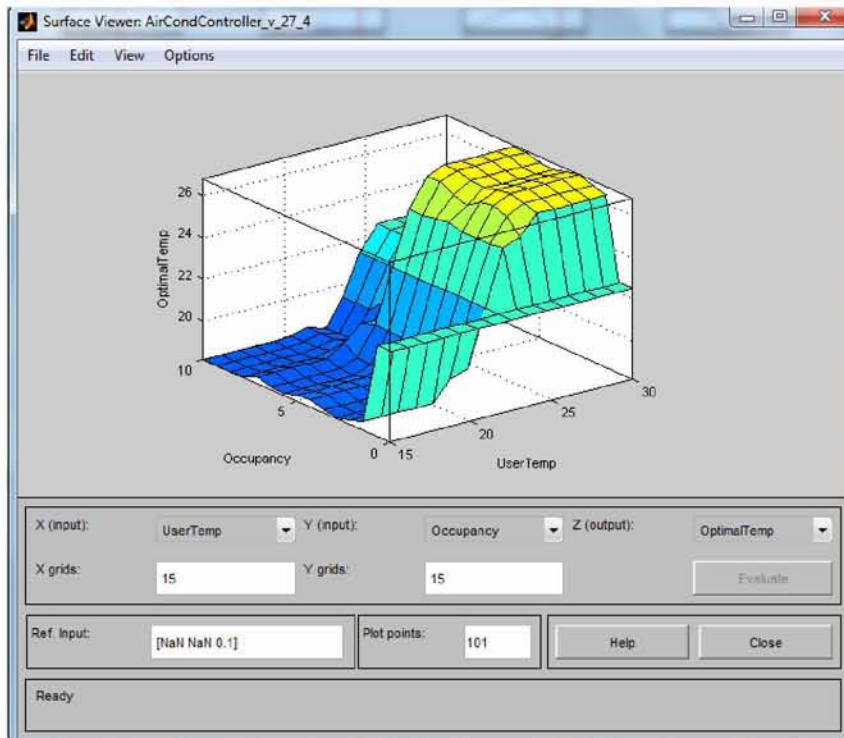
Οι κανόνες του controller που χρησιμοποιούμε σχεδιάστηκαν χειροκίνητα και περιλαμβάνουν όλες τους δυνατούς συνδιασμούς εισόδου/εξόδου. Κάθε κανόνας μπορεί να απενεργοποιηθεί ξεχωριστά από τους υπόλοιπους καθώς και να παραμετροποιηθεί ξεχωριστά όσον αφορά τη βαρύτητα στη λήψη αποφάσεων. Οι κανόνες ορίζονται επιλέγοντας τα πεδία που μας ενδιαφέρουν στο IF\_THEN τμήμα όπως βλέπουμε και σε ένα στιγμιότυπο της εικόνας 5.6. Το πλήθος των κανόνων εξαρτάται από τον αριθμό των παραμέτρων στην είσοδο και αυξάνεται εκθετικά εισάγοντας επιπλέον κανόνες. Στο δικό μας παράδειγμα έχουμε  $3^3$  διαφορετικούς κανόνες (συνδιασμούς εισόδου/εξόδου). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως η παραγωγή κανόνων έγινε με βασικό κριτήριο την τιμή της ενέργειας, ώστε ο controller να μας δίνει την πιο οικονομική λύση, χωρίς όμως να παραβιάζονται η απόλυτη άνεση των ατόμων στο χώρο.



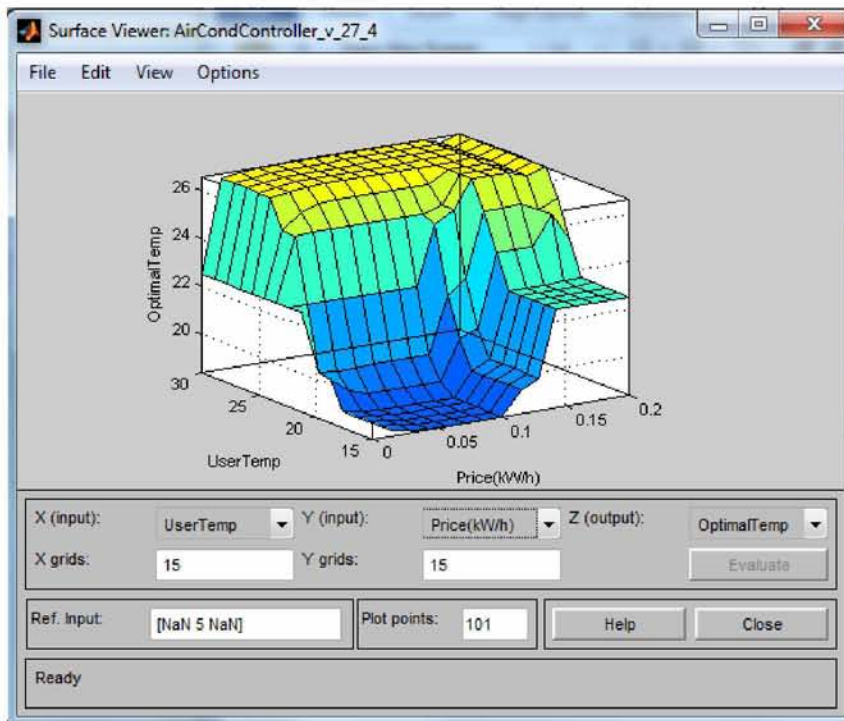
Εικόνα 5.6 : Στιγμιότυπο παραγωγής κανόνων(Fuzzy Rule Editor)

### 5.4.3 Γραφήματα

Με τη βοήθεια του SurfaceView του FuzzyLogicToolbox, παράγονται τα ακόλουθα διαγράμματα, στα οποία μπορούμε να αλλάξουμε τα στοιχεία που προβάλλονται σε κάθε άξονα από τα πεδία X(input) και Y(input) :

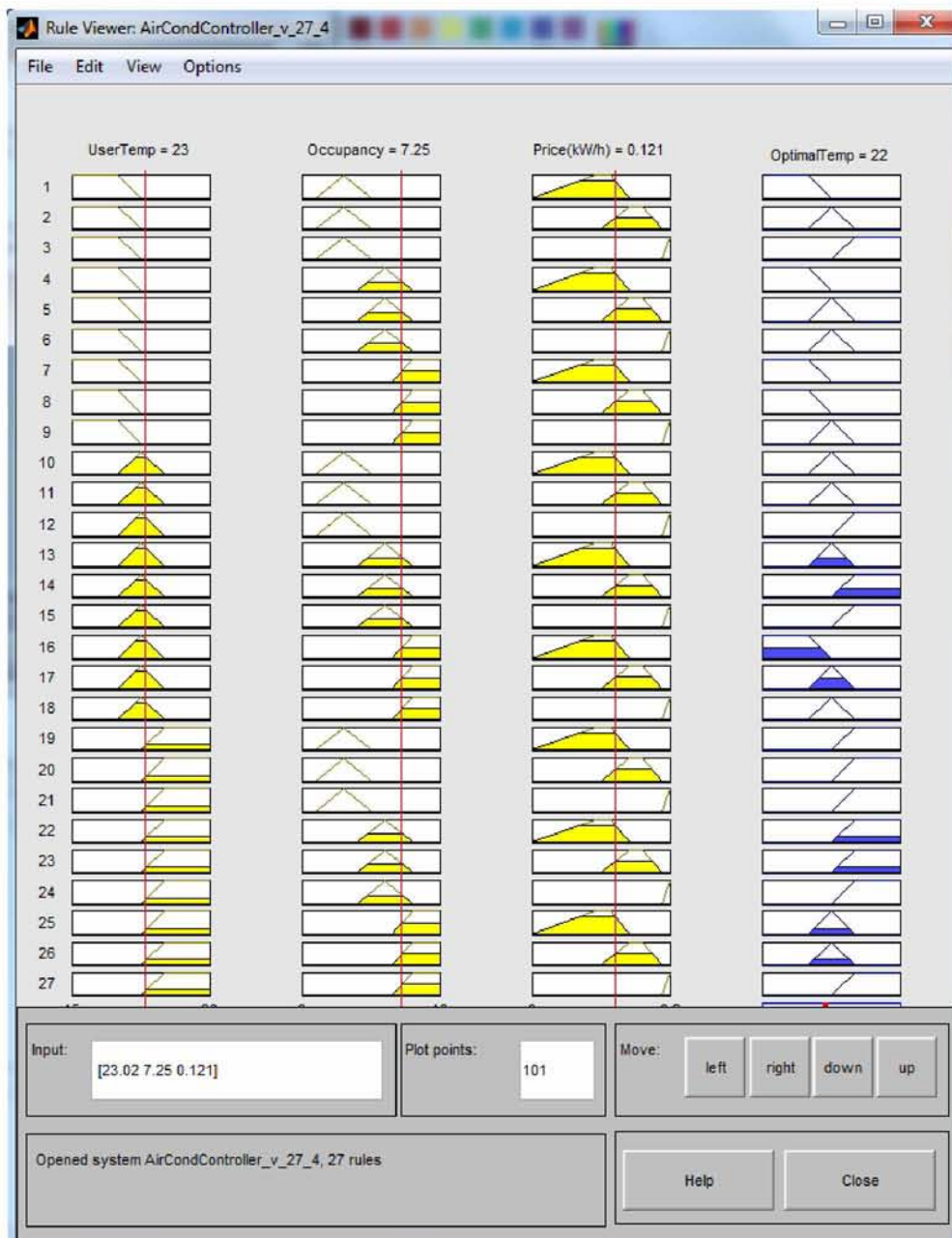


Εικόνα 5.7 : Απεικόνιση Βέλτιστης θερμοκρασίας συναρτήσει της Θερμοκρασίας Χρήστη(άξονας x) και Πληρότητας(άξονας y)



Εικόνα 5.8 : Απεικόνιση Βέλτιστης θερμοκρασίας συναρτήσει της Θερμοκρασίας χρήστη(άξονας x) και Τιμής(άξονας y)





**Εικόνα 5.9 : Rule Viewer**

Η εικόνα 5.9 μας δίνει την επίδραση που έχει η αλλαγή σε κάθε μεταβλητή εισόδου στην έξοδο σύμφωνα με τους κανόνες και όλα αυτά σε πραγματικό χρόνο. Δηλαδή η μετακίνηση της κόκκινης κάθετης γραμμής σε κάθε μεταβλητή μας δίνει και διαφορετικό αποτέλεσμα. Στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο βλέπουμε πως όταν ο χρήστης ζητάει μια θερμοκρασία 23 βαθμών Κελσίου και στο χώρο βρίσκονται 7 άτομα και αφού η τιμή είναι σε μεσαία επίπεδα τότε προτρέπει μια θερμοκρασία λίγο πιο χαμηλή στην επιθυμητή που ζήτησε ο χρήστης λόγω της πληρότητας στο χώρο.

## 6. Συμπεράσματα

Συμπεραίνουμε ότι το γνώριμο μοντέλων δικτύων θα μετασχηματιστεί σε ένα νέο μοντέλο πιο ευφύες, το οποίο θα μπορεί να προσφέρει αμφίδρομη ροή πληροφορίας και ισχύος. Το δίκτυο αυτό μπορεί να ενσωματώνει την ενέργεια καθώς και τη συμπεριφορά των χρηστών, ώστε να εξασφαλίζει ασφάλεια, σταθερότητα και οικονομική παροχή ενέργειας. Σαν χρήστες του νέου αυτού δικτύου, για να πετύχουμε το τελευταίο σκέλος, δηλαδή την οικονομική παροχή ενέργειας, θα πρέπει να ενσωματώσουμε στην καθημερινότητά μας έξυπνους χειριστές ηλεκτρικών συσκευών.

Ξεκινώντας από τον χειριστή κλιματισμού που παρουσιάσαμε μετατρέψαμε μια ηλεκτρική συσκευή σε «έξυπνη» και οικονομική χωρίς τη χρήση κάποιας επιπλέον γνώσης στο φυσικό επίπεδο της συσκευής, παρα μόνο γνωρίζοντας τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου. Έτσι αποδείξαμε πως, μέσω της Ασαφούς Λογικής, μπορούμε να επιλύσουμε προβλήματα που έχουν σχετικά μεγάλη πολυπλοκότητα, πιο εύκολα.

Στο μέλλον μπορούμε να ενσωματώσουμε περισσότερες οικιακές συσκευές όπως πλυντήρια πιάτων και ρούχων, κλπ. Έτσι θα καταλήξουμε σε ένα Έξυπνο Σπίτι, όχι με την έννοια της πολυτέλειας αλλά με την πραγματική έννοια, της έξυπνης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη της οποίας μπορεί να είναι είτε οικονομικά είτε περιβαλλοντικά καθώς μέσω του έξυπνου δικτύου θα περιοριστεί η ασύστολη παραγωγή ενέργειας με τους μέχρι τώρα ρυπογόνους τρόπους.

## 7. Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Βουρνάς και Γ. Κονταξής, «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2001.
- [2] ΑΔΜΗΕ, «Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.admie.gr](http://www.admie.gr).
- [3] ΔΕΔΔΗΕ, «Διαχειριστής Ελληνικού Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr).
- [4] ΡΑΕ, «Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.rae.gr](http://www.rae.gr).
- [5] Πρώην ΔΕΣΜΗΕ και νυν ΑΔΜΗΕ, «ΜΑΣΜ (Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος) 2010-2014», Ελλάδα
- [6] P.Gao, L.Tsoukalas, “Implementing Virtual Buffer of Electric Power Grids”, Applied Intelligent Systems Lab, School of Nuclear Engineering, Purdue University
- [7] F. Li, W. Qiao, H. Sun, H. Wan, J. Wang, Y. Xia, Z. Xu, P.Zhang, “Smart Transmission Grid: Vision and Framework”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 1, no. 2, Sep. 2010.
- [8] U.S. Department of Commerce, “NIST Special Publication 1108 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0”, 2010.
- [9] Ευφροσύνη Ζώτου, «Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα(SmartGrids)», 2012 .
- [10] M. Shahidehpour, Hatim Yamin and Zuyi Li. “Market operations in electric power systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Management.”, John Wiley & Sons Inc.: New York, U.S.A., 2002.
- [11] C. Defeuilley, “Retail competition in electricity markets”, Energy Policy, vol. 37, pp. 377-386, Feb 2009.
- [12] Κ.Γεωργούλη, «Τεχνητή Νοημοσύνη, Μια εισαγωγική προσέγγιση»(Ιντερνετικό [www.kallipos.gr](http://www.kallipos.gr))
- [13] S.Russell, P.Norvig, “Τεχνητή Νοημοσύνη, Μια σύγχρονη προσέγγιση”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2<sup>nd</sup> edition
- [14] L. Zadeh, “Fuzzy sets. Information and Control”, 8:338–353, 1965
- [15] Γ.Θεοδώρου, «Εισαγωγή στην Ασαφή Λογική, Βασικές Αρχές της Ασαφούς Λογικής με Εφαρμογές στην Τεχνολογία», Θεσσαλονίκη 2010, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- [16] Τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας υπό χαμηλή τάση. Ηλεκτρονικό: <https://www.dei.gr/documents>
- [17] S.Dash, G.Mohanty, A. Mohanty, “Intelligent Air Conditioning System using Fuzzy Logic”, International Journal of Scientific & Engineering Research, vol 3, Issue 12, Dec-2012

[18] Κων/νος Ανδρεάδης, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας»