



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Επίδραση φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα μεγέθη ενός  
μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών  
Ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βαρβάρα Κ. Ρίζου

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ανέστης Αναστασιάδης  
Υ.Δ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## **Επίδραση φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα μεγέθη ενός μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Βαρβάρα Κ. Ρίζου**

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ανέστης Αναστασιάδης  
Υ.Δ. Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2012.

.....  
Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Γεωργιάκης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

.....  
Βαρβάρα Κ. Ρίζου

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

Copyright © Βαρβάρα Κ. Ρίζου, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2011 – 2012 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης που έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα στα μεγέθη ενός μικροδικτύου για διάφορα επίπεδα διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας και για διάφορα σενάρια λειτουργίας ενός μικροδικτύου.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής κ. Νικόλαος Χατζηαργυρίου, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της.

Με την ευκαιρία αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ανέστη Αναστασιάδη για τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και για τη συμβολή του στην απρόσκοπτη χρήση του υλικού και των προγραμμάτων του εργαστηρίου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με στήριζαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου και ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

Βαρβάρα Κ. Ρίζου



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός μικροδικτύου υπό την επίδραση διαφορετικών πολιτικών λειτουργίας και οι επιπτώσεις που αυτές έχουν στα διάφορα μεγέθη ενός μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων για διάφορα επίπεδα διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Συγκεκριμένα μελετάται ένα δίκτυο χαμηλής τάσης 17 ζυγών, το οποίο περιλαμβάνει μια πληθώρα μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (μια μικροτουρμπίνα, μια κυψέλη καυσίμου, δύο σειρές φωτοβολταϊκών, μια ανεμογεννήτρια και δύο ενεργειακούς διανομείς με μια μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και ένα boiler ο καθένας). Σε αυτό το δίκτυο συνδέονται 12 ηλεκτρικά οχήματα διασκορπισμένα σε όλους του κλάδους. Το δίκτυο εξετάζεται ως προς τρία σενάρια λειτουργίας (απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ανεξάρτητη λειτουργία με παρουσία μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και μικροδίκτυο), έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της επίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων στο μικροδίκτυο. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab και η μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται είναι ο αρμονικός αλγόριθμος.

Αρχικά γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση μέσω του αρμονικού αλγορίθμου και της μεθόδου Lagrange. Στη συνέχεια για διάφορα επίπεδα διείσδυσης μελετώνται στην πολιτική του ιδανικού πολίτη παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων, το κόστος λειτουργίας του δικτύου, η έγχυση ισχύος από το ανάντη δίκτυο, η παραγωγή των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και μονάδων συμπαραγωγής, οι απώλειες ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής πρέπει να αγοράζουν το σύνολο των δικαιωμάτων των εκπομπών τους, μελετάται επίσης το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, ως άθροισμα του λειτουργικού κόστους και του κόστους αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών. Τα ίδια μεγέθη μελετώνται και για την πολιτική του καλού πολίτη παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων. Στο τέλος γίνεται σύγκριση της πολιτικής του καλού και του ιδανικού πολίτη για διάφορα επίπεδα διείσδυσης και μια συγκριτική μελέτη όλων των σεναρίων για διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής των 130 kW.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά με συγκριτικά διαγράμματα που παρατίθενται στο κεφάλαιο 9.

## ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρικά οχήματα, Αρμονικός Αλγόριθμος, μικροδίκτυο, Πολιτική του Ιδανικού πολίτη, Πολιτική του Καλού πολίτη, διεσπαρμένης παραγωγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλη καυσίμου, μικροτουρμπίνα, Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και Θερμότητας, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

## **ABSTRACT**

The main purpose of this diploma thesis is to study the influence of various operation scenarios on a microgrid and the impact of these scenarios on the microgrid's important features with the presence of electrical cars, when the penetration of Renewable Energy Sources is increased.

More specifically, a 17-bus low voltage network with several distributed generation (DG) technologies (one microturbine, one fuel cell, two rows of solar panels, one windturbine, two hubs with a unit of combined heat and power (CHP) and a boiler each) is studied. 12 electrical cars are connected to this grid and are dispersed to all the branches of the grid. Three different scenarios were studied (absence of DG units, independent operation of the DG units with the presence of the CHPs and Microgrid), in order to clarify the impact of electrical cars on the grid. The simulations were conducted using Matlab and the optimization needed by each operation scenario was done by using the Harmonic Algorithm.

First of all, the results of the Harmonic Algorithm and the Lagrange Method are compared. Then, for the Policy of Ideal Citizen and the Policy of Good Citizen the following features of the grid are studied: its operational cost, the power injection from the upstream grid, the DGs' and the CHPs' production, losses and carbon dioxide emissions. Since all electricity production units will have to buy all of their emissions allowances, the total cost of each scenario can be calculated as the sum of the operational cost and the emissions allowances cost. Above all, the two policies are compared for different levels of penetration of Renewable Energy Sources. Also, all scenarios are compared for a DGs' penetration of 130kW.

The results are presented in the ninth (9<sup>th</sup>) chapter via comparative diagrams.

## **KEYWORDS**

Electrical Cars, Harmonic Algorithm, Microgrid, Policy of Ideal Citizen, Policy of Good Citizen, distributed generation, Renewable Energy Sources, photovoltaics, windturbine, fuel cell, microturbine, combined heat and power (CHP), carbon dioxide emissions.



*Στην οικογένεια και τους φίλους μου*



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

|         |                                                                              |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1     | Εισαγωγή                                                                     | 1  |
| 1.2     | Ορισμός                                                                      | 3  |
| 1.2.1   | Βασικά χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού δικτύου                                | 4  |
| 1.2.2   | Ηλεκτροπαραγωγή                                                              | 5  |
| 1.3     | Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας                                        | 5  |
| 1.3.1   | Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα                                                  | 7  |
| 1.3.2   | Απελευθέρωση Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας                                     | 8  |
| 1.3.3   | Παράγοντες και Ρυθμιστικά Όργανα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα | 9  |
| 1.3.4   | Απελευθερωμένη ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας                           | 16 |
| 1.3.4.1 | Βασικές αρχές της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας                | 18 |
| 1.3.4.2 | Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς – Transmission System Operator (TSO)   | 18 |
| 1.3.4.3 | Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (HEΠ)                                  | 19 |
| 1.3.4.4 | Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ) – System Marginal Price (SMP)               | 20 |
| 1.4     | Περιβαλλοντική Πολιτική                                                      | 22 |
| 1.4.1   | Κλιματική Αλλαγή                                                             | 22 |
| 1.4.2   | Φαινόμενο του Θερμοκηπίου                                                    | 23 |
| 1.4.3   | Πρωτόκολλο του Κιότο                                                         | 25 |
| 1.4.4   | Συμφωνία της Κοπεγχάγης                                                      | 26 |
| 1.4.5   | Μηχανισμοί Προώθησης έργων καθαρής ενέργειας                                 | 27 |
| 1.4.6   | Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου      | 28 |
|         | Βιβλιογραφία                                                                 | 30 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανάλυση Ροών Φορτίου 32

|       |                                                                                   |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1   | Εισαγωγή                                                                          | 32 |
| 2.2   | Μελέτη Ροής Φορτίου                                                               | 32 |
| 2.2.1 | Μεταβλητές Συστήματος                                                             | 33 |
| 2.2.2 | Εξισώσεις ροών φορτίου                                                            | 34 |
| 2.2.3 | Εφαρμογή της μεθόδου Newton –Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου | 35 |

|                    |                                                                         |           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.4              | Υπολογισμός ροών ισχύος και απωλειών ισχύος                             | 39        |
|                    | Βιβλιογραφία                                                            | 41        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:</b> | <b>Διεσπαρμένη Παραγωγή</b>                                             | <b>42</b> |
| 3.1                | Εισαγωγή                                                                | 42        |
| 3.2                | Ακτινικά Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας                                 | 42        |
| 3.3                | Μειονεκτήματα συμβατικού τρόπου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας          | 44        |
| 3.3.1              | Εξάντληση Ορυκτών Καυσίμων                                              | 44        |
| 3.3.2              | Εκπομπές Αερίων του θερμοκηπίου                                         | 45        |
| 3.3.3              | Πυρηνική Ενέργεια                                                       | 45        |
| 3.3.4              | Υδροηλεκτρική Ενέργεια                                                  | 45        |
| 3.4                | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας                                             | 45        |
| 3.5                | Απελευθέρωση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας                                | 46        |
| 3.6                | Μη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας                              | 46        |
| 3.6.1              | Είδη μη συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας                       | 46        |
| 3.6.1.1            | Μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων | 47        |
| 3.6.1.2            | Μικροτουρμπίνα                                                          | 47        |
| 3.6.1.3            | Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΥΘ)                            | 49        |
| 3.6.1.4            | Κυψέλες Καυσίμου                                                        | 52        |
| 3.6.1.5            | Γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας                      | 53        |
| 3.6.1.6            | Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα                      | 53        |
| 3.6.1.7            | Μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια                                          | 54        |
| 3.6.1.8            | Ανεμογεννήτριες                                                         | 54        |
| 3.6.1.9            | Φωτοβολταϊκά                                                            | 56        |
| 3.6.1.10           | Παλιρροϊκά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας                    | 58        |
| 3.6.1.11           | Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μέσω της κυματικής ενέργειας                   | 59        |
| 3.6.1.12           | Ενεργειακοί διανομείς                                                   | 60        |
| 3.6.2              | Χαρακτηριστικά μη συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας             | 60        |
| 3.6.3              | Διεσπαρμένη Παραγωγή                                                    | 61        |
| 3.6.3.1            | Πλεονεκτήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής                                    | 61        |
| 3.6.3.2            | Μειονεκτήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής                                    | 63        |
| 3.6.4              | Στοχαστική Παραγωγή                                                     | 65        |

|                    |                                                                                       |            |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.6.5              | Οριζόντια Διάρθρωση των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας                               | 66         |
|                    | Βιβλιογραφία                                                                          | 68         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:</b> | <b>Μικροδίκτυο</b>                                                                    | <b>70</b>  |
| 4.1                | Εισαγωγή                                                                              | 70         |
| 4.2                | Παραδείγματα πειραματικής εφαρμογής του μικροδικτύου                                  | 72         |
| 4.3                | Πλεονεκτήματα μικροδικτύου                                                            | 77         |
| 4.4                | Μειονεκτήματα μικροδικτύου                                                            | 79         |
| 4.5                | Δομή μικροδικτύου                                                                     | 81         |
| 4.6                | Έλεγχος μικροδικτύου                                                                  | 84         |
| 4.7                | Πολιτικές συμμετοχής του μικροδικτύου στην ιδεατή αγορά ενέργειας                     | 86         |
| 4.7.1              | Πολιτική 1 – Πολιτική του «καλού πολίτη»                                              | 87         |
| 4.7.2              | Πολιτική 2 – Πολιτική του «ιδανικού πολίτη»                                           | 88         |
| 4.8                | Λειτουργία με στόχο την περιβαλλοντική βελτιστοποίηση και συμμετοχή στο εμπόριο ρύπων | 90         |
| 4.9                | Χρήση Συναρτήσεων οικονομικής λειτουργίας για το μικροδίκτυο                          | 92         |
| 4.9.1              | Ένταξη μονάδων (Unit Commitment)                                                      | 92         |
| 4.9.2              | Οικονομική Κατανομή (Economic Dispatch)                                               | 95         |
|                    | Βιβλιογραφία                                                                          | 97         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:</b> | <b>Έξυπνα Δίκτυα</b>                                                                  | <b>99</b>  |
| 5.1                | Εισαγωγή                                                                              | 99         |
| 5.2                | Περιγραφή έξυπνων δικτύων                                                             | 99         |
| 5.3                | Εξοπλισμός έξυπνων δικτύων                                                            | 101        |
| 5.4                | Έξυπνα δίκτυα και ΑΠΕ                                                                 | 103        |
| 5.5                | Σενάρια λειτουργίας έξυπνων δικτύων                                                   | 105        |
|                    | Βιβλιογραφία                                                                          | 110        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:</b> | <b>Ηλεκτρικά Οχήματα</b>                                                              | <b>111</b> |
| 6.1                | Εισαγωγή                                                                              | 111        |
| 6.2                | Ορισμός και τύποι ηλεκτρικών οχημάτων                                                 | 112        |
| 6.3                | Τεχνολογία συσσωρευτών                                                                | 116        |

|         |                                                                                                                                                            |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4     | Σύστημα μετάδοσης                                                                                                                                          | 120 |
| 6.5     | Τεχνολογίες Σταθμών φόρτισης                                                                                                                               | 120 |
| 6.6     | Ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο                                                                                                            | 128 |
| 6.6.1   | Φάσεις διείσδυσης                                                                                                                                          | 128 |
| 6.6.2   | Νέα επιχειρηματικά μοντέλα                                                                                                                                 | 129 |
| 6.6.2.1 | Διαχειριστής της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων ή<br>Διαχειριστής του σημείου φόρτισης (ΔΣΦ)<br>Προμηθευτής Συναθροιστής Ηλεκτρικής Ενέργειας Ηλεκτρικών | 129 |
| 6.6.2.2 | Οχημάτων (Π – ΣΗΟ Electric Vehicle Supplier Aggregator –<br>EVS/A)                                                                                         | 130 |
| 6.7     | Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας                                                                                                                                 | 130 |
|         | Βιβλιογραφία                                                                                                                                               | 132 |

|                    |                                       |            |
|--------------------|---------------------------------------|------------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:</b> | <b>Αρμονικός Αλγόριθμος</b>           | <b>133</b> |
| 7.1                | Εισαγωγή                              | 133        |
| 7.2                | Πλεονεκτήματα Αρμονικού Αλγόριθμου    | 134        |
| 7.3                | Βήματα εκτέλεσης Αρμονικού Αλγόριθμου | 134        |
| 7.4                | Βελτιωμένος Αρμονικός Αλγόριθμος      | 139        |
|                    | Βιβλιογραφία                          | 141        |

|                    |                                |            |
|--------------------|--------------------------------|------------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:</b> | <b>Δίκτυο Εφαρμογής</b>        | <b>142</b> |
| 8.1                | Στοιχεία του συστήματος        | 142        |
| 8.1.1              | Μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής | 144        |
| 8.1.2              | Ενεργειακοί Διανομείς          | 146        |
| 8.1.3              | Φορτία                         | 149        |
| 8.1.4              | Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (EVs)     | 149        |
| 8.1.5              | Ανάντη Δίκτυο                  | 150        |
| 8.2                | Σενάρια Λειτουργίας            | 150        |
| 8.3                | Μεθοδολογία                    | 152        |
|                    | Βιβλιογραφία                   | 159        |

|                    |                                                  |            |
|--------------------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:</b> | <b>Αποτελέσματα Εφαρμογής</b>                    | <b>160</b> |
| 9.1                | Εισαγωγή                                         | 160        |
| 9.2                | Βελτιστοποίηση με χρήση του Αρμονικού Αλγορίθμου | 160        |

|         |                                                                                                       |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2.1   | Σύγκριση Βελτιστοποιήσεων με Αρμονικό Αλγόριθμο και μέθοδο Lagrange                                   | 160 |
| 9.2.1.1 | Μελέτη Μικροδικτύου για την πολιτική του ιδανικού πολίτη χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα                   | 163 |
| 9.2.1.2 | Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες δικτύου                                                   | 163 |
| 9.2.1.3 | Κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                        | 165 |
| 9.2.1.4 | Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα                                                                       | 165 |
| 9.2.1.5 | Συνολικό κόστος λειτουργίας                                                                           | 166 |
| 9.2.1.6 | Κέρδος Διαχειριστή                                                                                    | 167 |
| 9.2.1.7 | Απώλειες Ενεργού Ισχύος στις γραμμές μεταφοράς δικτύου                                                | 167 |
| 9.2.2   | Μελέτη μικροδικτύου ως προς την πολιτική του ιδανικού πολίτη κατόπιν σύνδεσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων  | 168 |
| 9.2.2.1 | Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου                                               | 168 |
| 9.2.2.2 | Κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                        | 169 |
| 9.2.2.3 | Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα                                                                       | 170 |
| 9.2.2.4 | Συνολικό κόστος λειτουργίας                                                                           | 170 |
| 9.2.2.5 | Απώλειες Ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου                                            | 171 |
| 9.2.3   | Συγκριτική μελέτη των διαφόρων μεγεθών του μικροδικτύου παρουσία ή μη ηλεκτρικών αυτοκινήτων          | 171 |
| 9.2.3.1 | Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου                                               | 172 |
| 9.2.3.2 | Κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                        | 173 |
| 9.2.3.3 | Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα                                                                       | 174 |
| 9.2.3.4 | Συνολικό κόστος λειτουργίας                                                                           | 175 |
| 9.2.3.5 | Κέρδος διαχειριστή                                                                                    | 175 |
| 9.2.3.6 | Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου                                            | 176 |
| 9.3     | Προβλήματα Τάσεων                                                                                     | 176 |
| 9.4     | Μελέτη μικροδικτύου ως προς την πολιτική του καλού πολίτη κατόπιν σύνδεσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων | 177 |
| 9.4.1   | Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου                                               | 177 |
| 9.4.2   | Κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                        | 179 |
| 9.4.3   | Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα                                                                       | 180 |
| 9.4.4   | Συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                               | 181 |
| 9.4.5   | Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου                                            | 182 |
| 9.5     | Σύγκριση των δύο πολιτικών λειτουργίας του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων               | 182 |
| 9.5.1   | Κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                        | 182 |

|       |                                                                                                                                                      |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.5.2 | Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα                                                                                                                      | 183 |
| 9.5.3 | Συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                                                              | 184 |
| 9.6   | Σύγκριση των σεναρίων λειτουργίας του δικτύου ως προς ένα επίπεδο διείσδυσης<br>διεσπαρμένης παραγωγής (130 kW) παρουσία ή μη ηλεκτρικών αυτοκινήτων | 184 |
| 9.6.1 | Κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                                                                       | 185 |
| 9.6.2 | Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα                                                                                                                      | 185 |
| 9.6.3 | Συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου                                                                                                              | 186 |
| 9.6.4 | Συνολικό κόστος                                                                                                                                      | 187 |
| 9.7   | Συμπεράσματα                                                                                                                                         | 188 |



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΕ)

### 1.1. Εισαγωγή

Τα πρώτα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1870, όταν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες για το φωτισμό τους από τον G. Lane-Fox και τον Thomas Edison. Ο πρώτος σταθμός παραγωγής λειτούργησε στο Λονδίνο στις 12 Ιανουαρίου 1882 και ο δεύτερος στις 4 Σεπτεμβρίου 1882 στη Νέα Υόρκη. Το ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιήσαν τα πρώτα ΣΗΕ ήταν συνεχές (ΣΡ), χαμηλής τάσης, και οι περιοχές που εξυπηρετούσαν οι πρώτοι κεντρικοί σταθμοί ήταν περιορισμένες, λόγω της μικρής απόστασης στην οποία μπορούσε να μεταφερθεί αποδοτικά το ρεύμα αυτό. Η τεράστια ωφέλεια του κοινωνικού συνόλου από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας αναγνωρίστηκε αμέσως και αυτό συνετέλεσε ταχύτατα στην εύρεση πιο αποδοτικών μεθόδων και στην εξέλιξη των ΣΗΕ προς τη σύγχρονη μορφή τους.

Επαναστατική αλλαγή στα ΣΗΕ αποτέλεσε η εισαγωγή του εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) στις αρχές τις δεκαετίας του 1880, με την παράλληλη ανάπτυξη της γεννήτριας ΕΡ και του μετασχηματιστή. Οι αρχικές ευρεσιτεχνίες των A. Gaulard και G. Gibbs αγοράστηκαν το 1885 από τον G. Westinghouse και ακολούθησε η ανάπτυξη και οι εφαρμογές. Τα πρώτα πλεονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος φάνηκαν από την πρώτη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε απόσταση 1200 m στη Μασαχουσέτη το 1886, όπου χρησιμοποιήθηκε ένας μετασχηματιστής στην αρχή της γραμμής για να ανυψώσει την τάση στα 3kV και ένας δεύτερος στο τέλος για να την υποβιβάσει στα 50V. Ακολούθησε η εφεύρεση των πολυφασικών συστημάτων ΕΡ και της πρώτης διφασικής γεννήτριας ΕΡ το 1893, στην ανάπτυξη των οποίων μεγάλη ήταν και η συμβολή του Nicola Tesla. Έκτοτε οι εξελίξεις ήταν ταχύτατες και η παγκόσμια εξάπλωση των ΣΗΕ ραγδαία. Το 1893 επίσης λειτούργησε και η πρώτη τριφασική γραμμή μήκους 21 km τάσης 2300V στην Καλιφόρνια.

Η συχνότητα δεν είχε τυποποιηθεί από την πρώτη περίοδο λειτουργίας των συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος. Πολλές διαφορετικές συχνότητες είχαν χρησιμοποιηθεί, όπως 25, 50, 60, 125 και 133 Hz. Το γεγονός αυτό εμπόδιζε τη διασύνδεση των επιμέρους συστημάτων. Τελικά η συχνότητα των 60 Hz επικράτησε στη Β. Αμερική και αυτή των 50 Hz στην Ευρώπη.

Η ανάγκη μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ κέντρων παραγωγής και κατανάλωσης οδήγησε στη χρησιμοποίηση υψηλότερων τάσεων 12, 44 και 60 kV. Από τη δεκαετία του 1920 είχαν κατασκευαστεί μεγάλα θερμικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια, καθώς και γραμμές μεταφοράς 220 kV

σε πολλά μέρη του κόσμου και τα ΣΗΕ άρχισαν να παίρνουν τη σύγχρονη μορφή τους. Η τάση αυξήθηκε στα 287 kV το 1935, στα 300 kV το 1953 και στα 500kV το 1965. Το 1966 η ηλεκτρική επιχείρηση του Καναδά Hydro Quebec λειτούργησε την πρώτη γραμμή των 735 kV και το 1969 στις ΗΠΑ κατασκευάστηκε η πρώτη γραμμή των 765 kV.

Για αποστάσεις μεγαλύτερες από 500 km για εναέρια δίκτυα και 50 km για υπόγεια και υποβρύχια καλώδια η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με συνεχές ρεύμα από υψηλή τάση γίνεται ελκυστική. Η πρώτη γραμμή συνεχούς ρεύματος λειτούργησε στη Σουηδία το 1954 με τη διασύνδεση της νήσου Gotland με το υπόλοιπο σύστημα. Η εξέλιξη των μετατροπών από εναλλασσόμενο σε συνεχές με τη χρησιμοποίηση των θυρίστορ και η δυνατότητα που παρέχουν για διασύνδεση συστημάτων διαφορετικής συχνότητας ή με έντονα προβλήματα ευστάθειας, έχει αυξήσει το ενδιαφέρον της χρησιμοποίησης του συνεχούς ρεύματος.

Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και στο ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο την κατανεμημένη παραγωγή. Αυτό επιβεβαιώνεται από την IEA (International Energy Agency, 2003) που παραθέτει τους πέντε βασικούς λόγους που συνετέλεσαν σ' αυτό:

- Ανάπτυξη των τεχνολογιών κατανεμημένης παραγωγής.
- Περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς.
- Αυξημένη ζήτηση παροχής ηλεκτρισμού υψηλής αξιοπιστίας.
- Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Προβληματισμοί για τις κλιματικές αλλαγές.

Η διείσδυση των διασκορπισμένων πηγών παραγωγής στα δίκτυα αυξάνεται συνεχώς, ως αποτέλεσμα των τεχνολογικών προόδων και των θεσμικών αλλαγών στη βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος, αν και συχνά μπορεί να σχετίζεται με δαπανηρές ενισχύσεις δικτύων ή νέες εξόδους ελέγχου για να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία.. Η σύνδεση των νέων εγκαταστάσεων εμποδίζεται συχνά από ποικίλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών εκτιμήσεων και των απαιτήσεων, που επιλύονται συνήθως εις βάρος του επενδυτή. Δεδομένου ότι το ενδιαφέρον για τις εγκαταστάσεις νέας γενιάς κλιμακώνεται, η υιοθέτηση της διαφανούς και εύκολα εφαρμόσιμης τεχνολογίας γίνεται επιτακτικότερη. Τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η σταθερή λειτουργία και οι γρήγορες παραλλαγές τάσης, καθώς επίσης τα flickers και οι αρμονικές. Η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου, βιομάζα, γεωθερμία, μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, κ.λπ., που κυμαίνονται από το λίγα kW ως και πολλά MW) στα δίκτυα διανομής αυξάνεται παγκοσμίως. Οι οικονομικές ευκαιρίες που παρουσιάζονται για τους ιδιωτικούς επενδυτές στο απορρυθμισμένο ηλεκτρικό περιβάλλον βιομηχανίας και τα σημαντικά πιθανά οφέλη για τις μονάδες (ικανότητες μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος, μείωση των απωλειών) συμβάλλουν σ' αυτή την τάση.

## 1.2. Ορισμός

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύστημα των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης [1.1].

Η τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ: την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί ως το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευθεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Η σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεμελιωθεί στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσεως, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσεως που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσεως. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται παρακάτω τα ακόλουθα συστήματα σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [1.2]:

- *Το σύστημα παραγωγής*

Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του υπό υπερυψηλή και υψηλή τάση. Η σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεμελιωθεί στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών, αντίστοιχα.

- *Το σύστημα μεταφοράς*

Διασυνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες ισχύος προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργεί στα μέγιστα δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υπερυψηλής και υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς

μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται.

- *Το σύστημα υπομεταφοράς*

Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερες ποσότητες και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης, στην ίδια περιοχή μείζονος φορτίου. σημειώνεται ότι οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από το σύστημα υπομεταφοράς. Όσο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες γραμμές μεταφοράς υποβιβάζονται σε λειτουργία υπομεταφοράς, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.

- *Το σύστημα διανομής*

Περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία υπάγονται και υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Με τα δίκτυα διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται σε μικρότερες περιοχές στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης. Η μορφή των δικτύων διανομής είναι κατά κανόνα ακτινική ή βροχοειδής. Η ακτινική λειτουργία του δικτύου διανομής έγκειται στο γεγονός ότι όλα τα φορτία του δικτύου τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Έτσι, οι κλάδοι του δικτύου δεν συνδέονται μεταξύ τους, αλλά διαδίδονται ακτινικά από την κεντρική τροφοδοσία προς τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Αντίθετα, στη βροχοειδή λειτουργία, τα δίκτυα διανομής είναι κλειστά, μέσω των βρόχων που σχηματίζουν οι γραμμές. Η βροχοειδή μορφή επιτρέπει οικονομία των γραμμών για τον ίδιο βαθμό εξυπηρέτησης και προσφέρει εναλλακτική τροφοδότηση σε περίπτωση βλαβών, ενώ η ακτινική απλοποιεί και διευκολύνει ζητήματα διανομής προστασίας του δικτύου και ροής ενέργειας. Σημειώνεται, ότι πολλά δίκτυα διανομής έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να μετατρέπονται από ακτινικά σε βροχοειδή και αντίστροφα, με το χειρισμό κατάλληλων διακοπών ή αποζευκτών.

### **1.2.1. Βασικά χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού δικτύου**

Αξίζει, επιπλέον, να αναφερθεί πως τρία γενικά, αλλά βασικά, χαρακτηριστικά σχεδίασης και αναφοράς ενός ηλεκτρικού δικτύου είναι [1.3]:

- *Η τάση του δικτύου:*  
Η μέγιστη τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών γραμμών.
- *Η ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου:*

Είναι η συμβατική ισχύς που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ, η οποία αποδίδεται στο δίκτυο σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος μέσα σε αυτό.

▪ *Η στάθμη μόνωσης του δικτύου:*

Αναφέρεται συνήθως στην τιμή της κρουστικής αντοχής του δικτύου, δηλαδή της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης του εξοπλισμού των υποσταθμών σε κρουστικές υπερτάσεις τυποποιημένης μορφής.

### **1.2.2. Ηλεκτροπαραγωγή**

Η ηλεκτροπαραγωγή κατατάσσεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιεί. Οι κατηγορίες αυτές είναι [1.4]:

- Η ηλεκτροπαραγωγή από συμβατικά καύσιμα, η οποία χρησιμοποιεί σαν πηγή ενέργειας ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα τα οποία έχουν σχηματιστεί σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους και βρίσκονται αποθηκευμένα στο υπέδαφος, σε μικρότερα ή μεγαλύτερα βάθη σε πεπερασμένες μη ανανεώσιμες ποσότητες.
- Η ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η οποία αντίθετα με την πρώτη, χρησιμοποιεί πηγές διαχρονικές, που δεν εξαντλούν περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα. Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον ήλιο και τα φυσικά φαινόμενα και κατά συνέπεια εξαρτάται από την περιοδικότητα ή την στοχαστικότητα αυτών των φαινομένων.

Κάθε χώρα έχει επιλέξει το δικό της μείγμα Τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής. Το μείγμα αυτό διαφέρει από χώρα σε χώρα γιατί καθορίζεται από παράγοντες όπως:

- Οι διαθέσιμοι εγχώριοι ενεργειακοί πόροι.
- Οι Διεθνείς συγκυρίες και η Ενεργειακή Πολιτική.
- Οι γεωλογικές, γεωφυσικές, γεωγραφικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες.

### **1.3. Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Το Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και των διασυνδεδεμένων με αυτό νησιών στα επίπεδα υψηλής (150kV και 66kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV) (στο Σύστημα αυτό δεν περιλαμβάνονται τα ανεξάρτητα συστήματα μεταφοράς των νησιών Κρήτη, Ρόδος, Λέσβος, Σάμος, ο σχεδιασμός ανάπτυξης των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του Διαχειριστή δικτύου). Το δίκτυο υπογείων (Υ/Γ) καλωδίων Υ.Τ. που εξυπηρετεί ακτινικά τις ανάγκες της περιοχής της πρωτεύουσας είναι στην αρμοδιότητα του Διαχειριστή του δικτύου, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προγραμματισμό της ανάπτυξής του [1.5].

Το ελληνικό δίκτυο έχει μέγεθος 228.900 χλμ. εκ των οποίων τα 949 χλμ. αποτελούν το δίκτυο Υ.Τ., τα 107.500 χλμ. το δίκτυο Μ.Τ. και τα 121.400 χλμ. το δίκτυο Χ.Τ.. Διαθέτει 155.000 Υποσταθμούς Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση και 224 Υποσταθμούς Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση εκ των οποίων 20 είναι κλειστού τύπου, 199 στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και 25 στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά [1.6].

Κύριο χαρακτηριστικό του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος είναι η μεγάλη συγκέντρωση σταθμών παραγωγής στο βόρειο τμήμα της χώρας (Δυτική Μακεδονία, περιοχή Πτολεμαΐδας), ενώ το κύριο κέντρο κατανάλωσης βρίσκεται στο Νότο (περιοχή Αττικής). Δεδομένου ότι και οι διεθνείς διασυνδέσεις με Βουλγαρία και ΠΓΔΜ είναι στο Βορρά, υπάρχει μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίων. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ανάγκη μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ισχύος κατά το γεωγραφικό άξονα Βορρά – Νότου, η οποία εξυπηρετείται κυρίως από έναν κεντρικό κορμό 400kV αποτελούμενο από τρεις γραμμές μεταφοράς 400kV διπλού κυκλώματος. Οι γραμμές αυτές συνδέουν το κύριο κέντρο παραγωγής (Δυτική Μακεδονία) με τα ΚΥΤ που βρίσκονται περί της ευρύτερης περιοχής της πρωτεύουσας, η μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης είχε οδηγήσει στο παρελθόν σε σημαντικά προβλήματα τάσεων. Στην κατεύθυνση αντιμετώπισης του προβλήματος, έχουν ληφθεί κατάλληλα μέτρα, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. Πάντως, η ένταξη μονάδων παραγωγής στο Νότιο σύστημα αναμένεται να διαφοροποιήσει σημαντικά αυτή τη γεωγραφική ανισορροπία στο άμεσο μέλλον.

Για το 2008, η μέγιστη ζήτηση (αιχμή φορτίου) στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς ανήλθε σε 10393MW (με μέση ωριαία τιμή 10217MW) την 22<sup>α</sup> Ιουλίου 2008. Η θερινή αιχμή φορτίου για το 2009 ανήλθε σε 9828MW (με μέση ωριαία τιμή 9762MW) την 24<sup>η</sup> Ιουλίου 2009.

Το ιστορικό μέγιστο της αιχμής φορτίου για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα ανήλθε σε 10610MW την 23<sup>η</sup> Ιουλίου 2007. Το Σύστημα αντεπεξήλθε επιτυχώς στις αυξημένες απαιτήσεις της ζήτησης, διατηρώντας πολύ καλά επίπεδα ποιότητας ισχύος και ιδίως τάσεων.

Σε περιόδους υψηλών φορτίων στο παρελθόν, σημαντικά χαμηλότερων του μεγίστου 2007, προβλήματα χαμηλών τάσεων είχαν οδηγήσει σε κατάρρευση του Νότιου Συστήματος και σε άλλες περιπτώσεις στα όρια της κατάρρευσης. Μία σειρά από μέτρα που συστηματικά εφαρμόστηκαν έκτοτε, επέτρεψαν την αντιμετώπιση των υψηλών θερινών φορτίων των τελευταίων ετών, διατηρώντας μάλιστα εξαιρετικά επίπεδα τάσεως. Τα μέτρα αυτά, συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Αντιστάθμιση άεργου ισχύος σε επίπεδο μέσης και υψηλής τάσεως στους Υποσταθμούς του συστήματος, της τάξεως των 1100MVar. Παράλληλα, εγκαταστάθηκε σημαντική αντιστάθμιση στα δίκτυα Διανομής, σε εγκαταστάσεις καταναλωτών και σε Δημόσια κτίρια.

- Βελτίωση της συνεκτικότητας μεταξύ συστήματος 400kV και του συστήματος 150kV με την εγκατάσταση 8 νέων αυτομετασχηματιστών 400/150kV συνολική ισχύος 2240MVA.
- Κατασκευή 450 περίπου km κυκλωμάτων μεταφοράς, πόντιση υποβρυχίων καλωδίων μήκους 20km, κατασκευή 9 νέων Υ/Σ και υλοποίηση σημαντικών ενισχύσεων σε πολλούς παλαιούς.
- Βέλτιστη ρύθμιση των αυτομετασχηματιστών του συστήματος και της άεργου παραγωγής των μονάδων με εφαρμογή και συστηματική χρήση προηγμένων εργαλείων λογισμικού.
- Εγκατάσταση ειδικού λογισμικού ανάλυσης ευστάθειας τάσης που σε πραγματικό χρόνο προσδιορίζει τα ασφαλή όρια λειτουργίας του συστήματος, καθώς και ειδικών αυτόματων σχημάτων προστασίας, που επέτρεψαν την ασφαλή λειτουργία του συστήματος κοντά στα όριά του σε περιπτώσεις εκτάκτων περιστάσεων.

Οι περιοχές της Αττικής και της Πελοποννήσου παραμένουν οι πιο κρίσιμες περιοχές του συστήματος από πλευράς ευστάθειας τάσεων. Η περιοχή της Πελοποννήσου, συνδέεται με την περιοχή της Αττικής μέσω τριών Γ.Μ. 150kV (οι δύο εκ των οποίων είναι διπλού κυκλώματος) και με τη Δυτική Ελλάδα μέσω δύο Υ/Β καλωδίων στο στενό Ρίου – Αντιρρίου.

Σημαντικές ενισχύσεις τα τελευταία χρόνια υπήρξαν επίσης στο σύστημα παραγωγής, με την ένταξη αρχικά μονάδων ταχείας εκκίνησης (αεροστροβίλων) ονομαστικής ισχύος 148MW και στη συνέχεια δύο μεγάλων συμβατικών μονάδων συνδυασμένου κύκλου (Λαύριο V, Ενεργειακή Θεσσαλονίκης) συνολικής ονομαστικής ισχύος περίπου 780MW, εκ των οποίων η μια στο Νότο (Λαύριο), ενώ για τις αυξημένες ανάγκες του θέρους εκμισθώθηκαν για τα έτη 2006 έως και 2010 μονάδες diesel συνολικής ισχύος 60MW, που εγκαθίστανται στην Πελοπόννησο (Μεγαλόπολη).

### **1.3.1. Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα**

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΡΑΕ [7], η κυριότερη πηγή καυσίμου είναι ο εγχώριος λιγνίτης (70 εκατ. τόνοι) που για το 2008 κάλυψε το 50,5% του συνόλου των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πετρέλαιο το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων νησιωτικών συστημάτων μη συνδεδεμένων με την ηπειρωτική χώρα, συμμετείχε σε ποσοστό 13%. Το φυσικό αέριο προερχόμενο από εισαγωγές από τη Ρωσία και σε μορφή LNG από την Αλγερία κάλυψε το 22,5%. Το έτος 2008, η υδραυλική ενέργεια συμμετείχε με ποσοστό 6%. Τέλος, η αιολική ενέργεια, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, η βιομάζα και τα Φ/Β συμμετείχαν με ποσοστό 4,3%.

Η ηλεκτροπαραγωγή από τις κλασικές ΑΠΕ στην Ελλάδα (χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά) παρουσιάζει ανοδικό ρυθμό ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, τα 27MW εγκατεστημένων αιολικών πάρκων το 1997, έφθασαν τα 1022MW στο τέλος του 2008. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έφθασαν τα 158MW στο τέλος του 2008 από τα 43MW το

1997. Τέλος οι εγκαταστάσεις από βιοαέριο XYTA στην Θεσσαλονίκη, επεκτάθηκαν κατά 5MW και συμπαραγωγής από βιοαέριο λυμάτων στα Λιόσια κατά 9,7MW, ανεβάζοντας έτσι το σύνολο ηλεκτρικής ισχύος μαζί με την Ψυτάλλεια σε 29,5MW και 10,4MW αντίστοιχα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2008, έφθασε τις 6,6TWh περίπου και προήλθε κατά 63% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (4149GWh), κατά 34,1% από αιολικά πάρκα (2242GWh), κατά 2,6% (171GWh) από βιοαέριο, ενώ υπήρχε και μικρή παραγωγή της τάξης των 5GWh (ποσοστό 0,1%) από Φ/Β. Η ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας την ίδια χρονιά ήταν 63,7TWh.

Παρατηρούμε, λοιπόν, πως η ελληνική αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δείχνει πλέον σημεία σχετικής ωριμότητας. Τα θερμικά ηλιακά συστήματα (ηλιακοί συλλέκτες) αποτελούν ευρύτατα διαδεδομένες λύσεις που συνεχίζουν να βελτιώνονται τεχνικά και να αυξάνουν τη συμμετοχή τους, έστω και με λιγότερο θεαματικά αποτελέσματα, από τους εκρηκτικούς ρυθμούς αύξησης στη δεκαετία του 1980 – 1990. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επίσης δε θεωρούνται πλέον εξεζητημένη τεχνολογία. Η αξιοποίηση της βιομάζας αποκτά, κυρίως σε ότι αφορά τη δυνατότητα παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, αυξανόμενη σημασία. Τέλος, η αιολική ενέργεια είναι μία αξιόπιστη και οικονομικά ελκυστική πρόταση, που προσελκύει επενδυτές ακόμη και στο καθεστώς απελευθερωμένων αγορών. Το κόστος των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί, ενώ χρησιμοποιούνται όλο και μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες, μειώνοντας το μοναδιαίο κόστος και τις απαιτήσεις σε χώρο εγκατάστασης.

### **1.3.2. Απελευθέρωση Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Μετά από μια μακρά περίοδο αναζητήσεων, προετοιμασίας, μελετών και οργανωτικών βημάτων τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο, δημιουργείται βαθμιαία ελεύθερη αγορά και στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό θα επιτρέψει σε πελάτες να επιλέγουν τον προμηθευτή τους και σε νέους παραγωγούς να ανταγωνιστούν τη ΔΕΗ, που σήμερα είναι ο μόνος παραγωγός. Πρόκειται για μια επανάσταση στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας, που παραδοσιακά κυριαρχούνταν διεθνώς από μονοπώλια και απόλυτη ρύθμιση. Οι αλλαγές αυτές είναι για τη χώρα μας πρωτόγνωρες αλλά και διεθνώς η εμπειρία από την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγάλη.

Βασική διαφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τα άλλα αγαθά είναι ότι από τη φύση της είναι δύσκολο να αποθηκευτεί και πρέπει να είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή, καλύπτοντας τη ζήτηση. Ωστόσο, η ζήτηση μεταβάλλεται εντός ευρέων ορίων μέσα στον ημερήσιο κύκλο αλλά και εποχιακά μέσα στον ενιαύσιο κύκλο. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εφεδρείας ισχύος προκειμένου να καλύπτεται η ζήτηση. Επιπλέον, εκτός από την ανελαστικότητα της ζήτησης είναι δυνατόν και η προσφορά να εξαρτάται από απρόβλεπτους παράγοντες, όπως π.χ. οι καιρικές συνθήκες. Αυτό επηρεάζει κυρίως τους ηλεκτροπαραγωγούς που στηρίζονται στην υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή παραγωγή. Σημειώνεται, επίσης, ότι ο ηλεκτρισμός, ως αγαθό είναι ομογενές προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι όταν παρέχεται, μέσω ενός δικτύου, έχει τα



ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (π.χ. τάσεως και συχνότητας) για όλους τους καταναλωτές ανεξάρτητα από ποιο παραγωγό προέρχεται η ενέργεια. Έτσι, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών περιορίζεται μόνο στο επίπεδο της τιμής του προϊόντος χωρίς να συνυπάρχουν κριτήρια ποιότητας. Οι αγορές ηλεκτρισμού μπορούν να εκτείνονται και εκτός εθνικών συνόρων, με τη διασύνδεση και ενοποίηση μεμονωμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Για να λειτουργήσει η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται, ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας, ο έμπορος, ο προμηθευτής και ο καταναλωτής, καθώς και κάποιοι βοηθοί, όπως ο διαχειριστής τους συστήματος μεταφοράς και διανομής.

### **1.3.3. Παράγοντες και Ρυθμιστικά όργανα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα**

Οι παράγοντες που σχετίζονται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

➤ *Οι παραγωγοί:*

Ως παραγωγοί χαρακτηρίζονται όλοι όσοι κατέχουν άδεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία τους χορηγείται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) σύμφωνα με τους ισχύοντες νόμους για αδειοδότηση ιδιωτών.

➤ *Οι προμηθευτές:*

Στην κατηγορία των προμηθευτών ανήκουν οι έμποροι, οι ιδιώτες και η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), οι οποίοι προμηθεύουν με ενέργεια τους επιλεγέντες πελάτες του Συστήματος έπειτα από σύναψη εμπορικών συμβολαίων. Στην περίπτωση των μη επιλεγέντων πελατών, το ρόλο του προμηθευτή τον αναλαμβάνει αποκλειστικά η ΔΕΗ.

➤ *Οι επιλεγέντες πελάτες:*

Είναι οι πελάτες οι οποίοι επιλέγουν να προμηθεύονται ενέργεια μέσω του Συστήματος Συναλλαγών Ενέργειας προς ιδιωτική και αποκλειστική χρήση (Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες).

Τα θεσμικά όργανα, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

➤ *Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)*

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία συγκροτήθηκε τον Ιούλιο του 2000, αποτελεί ανεξάρτητη διοικητική αρχή, στην οποία έχει ανατεθεί η παρακολούθηση της αγοράς ενέργειας, όπως αυτή αναπτύσσεται – τόσο μονοσήμαντα στην Ελληνική αγορά – όσο και όπως αυτή λειτουργεί και αναπτύσσεται σε σχέση με τις ξένες αγορές ενέργειας, και ιδίως με αυτές με τις οποίες διασυνδέεται. Η ΡΑΕ συστήθηκε με το ν. 2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις οδηγίες 2003/54/EK και 2003/55/EK για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο [1.7].

Με τον ως άνω νόμο, τον εσωτερικό κανονισμό της (Π.Δ. 139/01), και κυρίως με τις τροποποιήσεις του ν. 2773/1999, που ακολούθησαν στη συνέχεια, της δόθηκαν αρμοδιότητες παρακολούθησης και ελέγχου της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Περαιτέρω, η ΡΑΕ έχει συγκεκριμένες αρμοδιότητες σε σχέση με την αγορά των πετρελαιοειδών.

Αρχικά, η ΡΑΕ είχε κυρίως γνωμοδοτικές αρμοδιότητες, πλην όμως, σε συμμόρφωση με τις κοινοτικές επιταγές και τις ανάγκες της ενεργειακής αγοράς, με σειρά άλλων νομοθετικών διατάξεων, της δόθηκαν πλείονες αποφασιστικές αρμοδιότητες. Θεμελιώδεις στόχοι που τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και η ελληνική νομοθεσία επιδίωξαν να καλύψουν είναι:

- Η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας.
- Η προστασία του περιβάλλοντος στο πλαίσιο και των διεθνών υποχρεώσεων της χώρας.
- Η ενίσχυση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας της εθνικής οικονομίας.
- Η ισόρροπη περιφερειακή ανάπτυξη.

Ειδικότερα, η ΡΑΕ έχει γνωμοδοτική αρμοδιότητα στη χορήγηση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, με τον δε πρόσφατο νόμο 3851/2010, η ΡΑΕ έχει αποφασιστική αρμοδιότητα για τη χορήγηση αδειών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι υπεύθυνη να παρακολουθεί τη διασφάλιση πρόσβασης τρίτων στο δίκτυο της χώρας, τη λειτουργία του διασυνδεδετικού εμπορίου εισαγωγών και εξαγωγών, καθώς και για τον έλεγχο του ότι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας – όπως αυτή λειτουργεί μέσω του ηλεκτρονικού συστήματος που εκτελεί ο Διαχειριστής του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί ομαλά. Στην ίδια βάση, γνωμοδοτεί για τη χορήγηση αδειών για τη προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας, πάντα με πρώτο γνώμονα τη προστασία του καταναλωτή. Στο πλαίσιο αυτό, παρακολουθεί την ανάπτυξη και τήρηση κανόνων υγιούς ανταγωνισμού και προστασίας του καταναλωτή και, σε συνεργασία με συναρμόδιους φορείς, δύναται να εκκινήσει διαδικασίες επιβολής κυρώσεων, όταν διαπιστώνεται ότι οι εν λόγω ειδικότερες διατάξεις παραβιάζονται.

Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για την μεγαλύτερη δυνατή ένταξη σταθμών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια από τις ιδιαίτερες βαρύνουσες σημασίας αρμοδιότητες της Αρχής. Για το λόγο αυτό, ενώ έως πρόσφατα η ΡΑΕ είχε απλή γνωμοδοτική αρμοδιότητα, τώρα πλέον έχει αποφασιστική αρμοδιότητα στην χορήγηση αδειών παραγωγής από ΑΠΕ. Το γεγονός αυτό, θέτει ένα εντελώς νέο σχήμα λειτουργίας της εν λόγω αγοράς – και ιδίως σε συσχέτιση με την περιβαλλοντική αδειοδότηση – το οποίο κρίνεται αναγκαίο να λειτουργήσει αποτελεσματικά, δεδομένων των διεθνών υποχρεώσεων της χώρας μας για αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Στον τομέα του φυσικού αερίου, η ΡΑΕ πέραν της παρακολούθησης της τήρησης των υγιών κανόνων ανταγωνισμού, γνωμοδοτεί – μεταξύ άλλων – για τη χορήγηση αδειών προμήθειας, διαχείρισης και κυριότητας ανεξάρτητων συστημάτων φυσικού αερίου. Με πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις, η ΡΑΕ είναι αρμόδια και για τη διασύνδεση του ελληνικού συστήματος φυσικού αερίου με άλλες χώρες, καθώς και για τον τρόπο δυνατότητας ανάπτυξης αυτού, σε συνεργασία με τους αντίστοιχους ρυθμιστές.

Η παρακολούθηση της τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και η αρμοδιότητα της ΡΑΕ είτε να θεσπίσει αρχές και κανόνες, είτε να γνωμοδοτήσει σχετικά, συνιστά μείζονος σημασίας αρμοδιότητα, η άσκηση της οποίας προϋποθέτει σφαιρική και βέβαιη αντίληψη των δεδομένων που επικρατούν στην αγορά. Στο ίδιο πλαίσιο, η αρμοδιότητα της Αρχής για οριοθέτηση των ΥΚΩ (Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας) και Κοινωνικού Τιμολογίου (ΚΟΤ), για παρακολούθηση των τιμολογίων τόσο στον τομέα του ηλεκτρισμού όσο και του φυσικού αερίου, καθίσταται μείζονος σημασίας.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι με το νέο, γνωστό ως 3<sup>ο</sup> ενεργειακό πακέτο, και ειδικότερα από το Μάρτιο του 2011, η ΡΑΕ έχει κυρίως αποφασιστικές αρμοδιότητες και σημαντικότερη συνεργασία με τους λοιπούς Ρυθμιστές και Διαχειριστές, θα ενισχυθεί δε περαιτέρω η οικονομική και διοικητική της αυτοτέλεια.

#### ➤ *Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)*

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με περίπου 7,5 εκατομμύρια πελάτες. Διαθέτει σήμερα μια μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Κατέχει περίπου το 70% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) [10].

Μετά την απόσχιση των κλάδων Μεταφοράς και Διανομής, δημιουργήθηκαν δύο 100% θυγατρικές εταιρείες της ΔΕΗ Α.Ε., ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.):

#### ➤ *Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ)*

Ως Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) ο ΑΔΜΗΕ έχει σαν αποστολή τη διασφάλιση του εφοδιασμού της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο, προωθώντας την ανάπτυξη του ελεύθερου ανταγωνισμού στην Ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και εξασφαλίζοντας την ισότιμη μεταχείριση των χρηστών του ΕΣΜΗΕ. Ο ΑΔΜΗΕ εκτελεί

όλα τα καθήκοντα που ορίζονται στο Άρθρο 94 του Νόμου 4001/2011. Τα καθήκοντα αυτά είναι [1.8]:

- Διασφάλιση ότι η μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπό οικονομικά βιώσιμες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος. Παροχή πρόσβασης στο Σύστημα στους κατόχους άδειας παραγωγής, προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σε όσους έχουν νόμιμα εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών και στους Επιλεγέντες Πελάτες.
- Παροχή της δυνατότητας σύνδεσης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) με το ΕΣΜΗΕ, σύμφωνα με όσα καθορίζονται στον Κώδικα Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Κώδικας Διαχείρισης ΕΣΜΗΕ).
- Διαχείριση των ροών της ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα, συνεκτιμώντας τις ανταλλαγές με άλλα διασυνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς.
- Μέριμνα για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία του Συστήματος, διασφαλίζοντας, μεταξύ άλλων, τη διαθεσιμότητα των αναγκαίων επικουρικών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω διαχείρισης της ζήτησης, στο βαθμό που η διαθεσιμότητά τους δεν εξαρτάται από άλλο διασυνδεδεμένο Σύστημα μεταφοράς.
- Κατάρτιση του προγράμματος κατανομής των μονάδων παραγωγής που συνδέονται με το Σύστημα, προσδιορισμός της χρήσης των διασυνδέσεων με άλλα συστήματα μεταφοράς και κατανομή σε πραγματικό χρόνο του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας στις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής.
- Παροχή στους Διαχειριστές άλλων Συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με τα οποία συνδέεται το Σύστημα, επαρκών πληροφοριών για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία, καθώς και τη συντονισμένη ανάπτυξη και τη διαλειτουργικότητα του Συστήματος και των παραπάνω συστημάτων και δικτύων.
- Παροχή στους Χρήστες του Συστήματος κάθε αναγκαίας πληροφορία για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής πρόσβασής τους στο Σύστημα.
- Παροχή των πάσης φύσεως υπηρεσιών του εφαρμόζοντας διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια, ώστε να αποτρέπεται κάθε διάκριση μεταξύ των Χρηστών ή των κατηγοριών Χρηστών του Συστήματος και ιδίως κάθε διάκριση υπέρ των συνδεδεμένων με αυτόν επιχειρήσεων.
- Είσπραξη των τελών πρόσβασης στο Σύστημα και διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς, σύμφωνα με το άρθρο 13 του Κανονισμού (ΕΚ) 714/2009.
- Χορήγηση και διαχείριση της πρόσβασης τρίτων στο Σύστημα και παροχή ειδικά αιτιολογημένων επεξηγήσεων σε περίπτωση άρνησης πρόσβασης.
- Συμμετοχή σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς

ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στον καταμερισμό και την εκχώρηση δικαιωμάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αντίστοιχων διασυνδέσεων, καθώς και στη διαχείριση των δικαιωμάτων αυτών για λογαριασμό των ως άνω διαχειριστών και ιδίως στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E).

- Εκπόνηση σε ετήσια βάση, κατόπιν διαβούλευσης με όλους τους υφιστάμενους και μελλοντικούς Χρήστες του ΕΣΜΗΕ, Δεκαετούς Προγράμματος Ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ
- Τήρηση των αναγκαίων διαχειριστικών λογιστικών λογαριασμών για την είσπραξη των εσόδων από τη διαχείριση συμφόρησης των διασυνδέσεων, ή άλλων χρεώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία και τη διαχείριση του ΕΣΜΗΕ
- Δημοσίευση στην ιστοσελίδα του καταλόγου όλων των εγκεκριμένων από τη ΡΑΕ τιμολογίων με τα οποία χρεώνει τους Χρήστες του Συστήματος.
- Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Αποκλίσεων.
- Εκκαθάριση των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης και διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο της διευθέτησης των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης σε συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ και το Διαχειριστή του ΕΔΔΗΕ.
- Σύναψη, κατόπιν διαγωνισμού, συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας, περιλαμβανομένων συμβάσεων διαχείρισης της ζήτησης, μόνον εφόσον αυτό απαιτείται για την παροχή των επικουρικών υπηρεσιών και για τις ανάγκες εξισορρόπησης των αποκλίσεων παραγωγής – ζήτησης κατά τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και στο πλαίσιο των ρυθμίσεων του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών και του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Προσφορά συμβουλευτικών υπηρεσιών τεχνικής φύσεως σε θέματα της αρμοδιότητάς του σε διαχειριστές ή κυρίους συστημάτων μεταφοράς έναντι αμοιβής, καθώς και συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα, καθώς και σε προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ε.Ε., εφόσον δεν παρακαλύπτεται η άρτια εκτέλεση των καθηκόντων του.

➤ *Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ)*

Ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) είναι ανώνυμη εταιρεία, θυγατρική της ΔΕΗ, η οποία είναι και ο μοναδικός (100%) ιδιοκτήτης της. Συστάθηκε με το Ν. 4001/2011, με τον οποίο η Οδηγία 2009/72/ΕΚ της ΕΕ, ενσωματώθηκε στο ελληνικό δίκαιο. Η εν λόγω οδηγία επιβάλλει το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των δραστηριοτήτων της Μεταφοράς και Διανομής από τις καθετοποιημένες ηλεκτρικές επιχειρήσεις όπως η ΔΕΗ. Η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. θα είναι ο Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής ΗΕ (ΕΔΔΗΕ) έχοντας λάβει από τη ΡΑΕ σχετική Άδεια Διαχείρισης. Με την άδεια αυτή θα καθορίζονται, μεταξύ άλλων, τα αναγκαία μέτρα για τη διασφάλιση της ανεξαρτησίας, της

αμεροληψίας και της μη διακριτής συμπεριφοράς της ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ έναντι όλων των χρηστών του Δικτύου. Η κυριότητα του ΕΔΔΗΕ παραμένει στη ΔΕΗ, η οποία έχει ήδη λάβει σχετική Άδεια Αποκλειστικότητας [1.6].

Η ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη, τη λειτουργία και τη συντήρηση, υπό οικονομικούς όρους του ΕΔΔΗΕ ώστε να διασφαλίζεται η αξιόπιστη, αποδοτική και ασφαλής λειτουργία του, καθώς και η μακροπρόθεσμη ικανότητά του να ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας τη δέουσα μέριμνα για το περιβάλλον και την ενεργειακή αποδοτικότητα, καθώς και για τη διασφάλιση, κατά τον πλέον οικονομικό, διαφανή, άμεσο και αμερόληπτο τρόπο, της πρόσβασης των χρηστών (δηλαδή των Παραγωγών, των Προμηθευτών και των Πελατών) στο ΕΔΔΗΕ, προκειμένου να ασκούν τις δραστηριότητές τους, σύμφωνα με την Άδεια Διαχείρισης του ΕΔΔΗΕ και τον Κώδικα Διαχείρισης του ΕΔΔΗΕ.

Η διαχείριση των ηλεκτρικών συστημάτων των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ) πλέον της διαχείρισης του Δικτύου, περιλαμβάνει τη διαχείριση της παραγωγής και τη λειτουργία της αγοράς των συστημάτων των νησιών αυτών. Για την άσκηση της δραστηριότητας αυτής, η ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ υποχρεούται να λάβει άδεια Διαχείρισης ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ, η οποία χορηγείται από τη ΡΑΕ και με την αυτήν καθορίζονται μεταξύ άλλων, οι υποχρεώσεις και τα δικαιώματα της ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ σχετικά με την άσκηση της δραστηριότητας αυτής, οι όροι και οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για την άσκηση της δραστηριότητας αυτής καθώς και τα αναγκαία μέτρα διασφάλισης της αμερόληπτης και της χωρίς διακρίσεις συμπεριφοράς της ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ έναντι των Παραγωγών και των Προμηθευτών.

Οι εργασίες που εκτελούνται από την ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. αφορούν:

- Την ικανοποίηση αιτημάτων των χρηστών:
  - Νέες συνδέσεις καταναλωτών και παραγωγών.
  - Τροποποίηση παλαιών παροχών (Επαύξηση ισχύος υπάρχουσών συνδέσεων).
  - Μετατοπίσεις Δικτύων.
- Την ανάπτυξη του δικτύου
  - Ενισχύσεις, βελτιώσεις και εκσυγχρονισμός του δικτύου
  - Κατασκευή Κέντρων Διανομής και Γραμμών 150 kV
- Τις εργασίες εκμετάλλευσης του δικτύου
  - Λειτουργία του Δικτύου Διανομής.
  - Επιθεώρηση και Συντήρηση του δικτύου.
  - Αποκατάσταση βλαβών.
  - Εξυπηρέτηση των χρηστών δικτύου στα γραφεία.
  - Καταμέτρηση των καταναλώσεων.
- Την ομαλή και αποδοτική λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρισμού στο επίπεδο των δικτύων
- Την αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία των αυτόνομων νησιωτικών ηλεκτρικών συστημάτων

➤ *Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ)*

Ο Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ (ΛΑΓΗΕ ΑΕ) ιδρύθηκε με βάση το ν.4001/2011 για τη “Λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις” (ΦΕΚ 179/22-8-2011) και ασκεί τις δραστηριότητες που ασκούνταν από τη Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ (ΔΕΣΜΗΕ ΑΕ), πλην εκείνων που κατά το άρθρο 99 του ν.4001/2011 μεταφέρονται στην Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ (ΑΔΜΗΕ ΑΕ) [1.9].

Ο ΛΑΓΗΕ εφαρμόζει τους κανόνες για τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου 4001/2011 και των κατ’ εξουσιοδότηση αυτού εκδιδόμενων πράξεων και ιδίως τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό. Στο πλαίσιο του σκοπού του, ο Λειτουργός της Αγοράς ασκεί, ιδίως, τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

- Διενεργεί τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό, ως εξής:
  - Προγραμματίζει τις εγχύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ, καθώς και τις απορροφήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό, κατά τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
  - Υπολογίζει την Οριακή Τιμή Συστήματος.
  - Εκκαθαρίζει τις συναλλαγές στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού.
- Συνεργάζεται με τον Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ.
- Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά.
- Αποφεύγει κάθε διάκριση μεταξύ των Συμμετεχόντων στην Αγορά Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμόζει κατά την παροχή των υπηρεσιών του διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια.
- Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.
- Εισπράττει από τους Συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

- Συμμετέχει σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, μέλη των οποίων είναι λειτουργοί αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συνάπτει συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 12 του ν. 3468/2006 που παράγονται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, και καταβάλλει τις πληρωμές που προβλέπονται στις συμβάσεις αυτές. Τα ποσά που καταβάλλονται στους αντισυμβαλλόμενους ανακτώνται κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 143 του Ν. 4001/2011.
- Διενεργεί τη διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε συνεργασία με τους Διαχειριστές του ΕΣΜΗΕ και του ΕΔΔΗΕ. Για τη διενέργεια της διευθέτησης των χρηματικών συναλλαγών, ο Λειτουργός της Αγοράς δύναται:
  - Να συστήνει ή να συμμετέχει σε εταιρείες με εξειδικευμένο σκοπό την παροχή χρηματοοικονομικών υπηρεσιών.
  - Να αναθέτει σε τρίτους, μετά από σύμφωνη γνώμη της ΡΑΕ, την ως άνω διευθέτηση, ιδίως αναφορικά με τη διαχείριση και εκκαθάριση χρηματικών συναλλαγών και τη διαχείριση πιστωτικού και συναλλακτικού κινδύνου, στο πλαίσιο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του, ο Λειτουργός της Αγοράς διευκολύνει κατά κύριο λόγο την ολοκλήρωση της ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και για το σκοπό αυτόν αναλαμβάνει κάθε αναγκαία ενέργεια, στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων που του ανατίθενται με τον νόμο 4001/2011, προκειμένου να διασφαλίζεται η εφαρμογή των προβλέψεων του Κανονισμού 714/2009, της Οδηγίας 72/2009 και όλων των σχετικών κατευθύνσεων και αποφάσεων που εκδίδονται από τα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

#### **1.3.4. Απελευθερωμένη ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας**

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώθηκε από τις 19/02/01 οπότε και με εξαίρεση τα μη διασυνδεδεμένα νησιά υφίσταται πλέον το δικαίωμα ελεύθερης διαπραγμάτευσης και σύναψης σύμβασης προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς ή προμηθευτές στους ακόλουθους καταναλωτές [1.11]:

- Όσοι καταναλώνουν κατά σημείο κατανάλωσης περισσότερες από 100GWh ετησίως συμπεριλαμβανομένης της αυτοπαραγωγής.
- Συγκεκριμένοι καταναλωτές, οι οποίοι αναγνωρίζονται ως Επιλεγέντες Πελάτες

Ο διαχειριστής του συστήματος και η διαχειρίστρια του συστήματος ΔΕΗ έχουν υποχρέωση να εξασφαλίζουν στους επιλεγέντες πελάτες, ύστερα από αίτησή τους, πρόσβαση μέσω ηλεκτρικών γραμμών ή εγκαταστάσεων ή και των δύο στο σύστημα



και το δίκτυο. Οι οικιακοί και οι άλλοι καταναλωτές (τριτογενής τομέας, αγρότες κλπ) που αποτελούν τους Μη επιλεγέντες πελάτες, έχουν το δικαίωμα να επιλέξουν τον προμηθευτή τους από το 2005 και μετά. Ως τότε η ΔΕΗ υποχρεούνταν μετά την αίτηση του Μη Επιλεγέντα πελάτη, να του προμηθεύει ηλεκτρική ενέργεια και να προβαίνει ως διαχειρίστρια του δικτύου σε σύνδεση με το δίκτυο, εφόσον ήταν αναγκαίο για την προμήθεια υπό τον όρο καταβολής του σχετικού τιμήματος.

Τα τελευταία χρόνια, κατόπιν και της νομοθετικής ρύθμισης, η αγορά της ενέργειας έχει αλλάξει δομή και έχει επανασχεδιαστεί στην Ελλάδα (όπως συνέβη και σε αρκετές άλλες χώρες του κόσμου). Η αγορά της ενέργειας είναι σε μεγάλο ποσοστό υπό τον έλεγχο του κράτους, με την κατάσταση αυτή να αλλάζει λίγο τα αμέσως προηγούμενα χρόνια, με την είσοδο ιδιωτών (Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) στην αγορά, κυρίως στον τομέα της παραγωγής [1.12].

Βασικός στόχος του επανασχεδιασμού της αγοράς ανά τον κόσμο, είναι η δημιουργία ανταγωνιστικού περιβάλλοντος τόσο στον τομέα της χονδρικής όσο και της λιανικής πώλησης. Σε κάποιες χώρες, η αλλαγή της δομής της αγοράς θεωρήθηκε επιτακτική ανάγκη από τις κυβερνήσεις αυτών. Παρακολουθώντας τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για ηλεκτρισμό, στήριξαν την ανεξάρτητη παραγωγή ενέργειας η οποία απελευθέρωσε κρατικούς πόρους.

Σε χώρες που η ιδιοκτησία των περιουσιακών στοιχείων των εταιριών ηλεκτρικής ενέργειας βρισκόταν σε χέρια ιδιωτών η αλλαγή έγινε για να αποκτήσουν οι εταιρείες ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Στις πιο προηγμένες χώρες, ο επανασχεδιασμός οδηγήθηκε από την επιθυμία να μπορεί ο καταναλωτής να διαλέξει τον προμηθευτή με βάση την τιμή και τις υπηρεσίες που του προσφέρει. Πάντως, η αλλαγή της δομής της αγοράς και ο επανασχεδιασμός της είναι κάτι ιδιαίτερα πολύπλοκο. Βασίζεται σε εθνικές ενεργειακές στρατηγικές και σε μακροοικονομικές πολιτικές, με αποτέλεσμα να ποικίλει από χώρα σε χώρα ο τρόπος με τον οποίο επιδιώκεται και επιτυγχάνεται.

Παράλληλα, η αλλαγή αυτή στον τρόπο λειτουργίας της αγοράς έφερε στο προσκήνιο καινούργια φαινόμενα, νέες καταστάσεις, νέους κινδύνους και έκανε επιτακτική την ανάγκη για την εύρεση εργαλείων που θα βοηθούσαν στη μελέτη αυτών. Πολλά από αυτά τα νέα θέματα προήλθαν από την έλλειψη εμπειρίας σε μια τέτοια καινοτομία, ενώ κάποια αλλά ήταν αναπόφευκτα λόγω των προτεινόμενων δομών. Απαραίτητο είναι πλέον να βρεθούν εργαλεία που θα βοηθούν στη λήψη αποφάσεων και θα βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα του δικτύου ενέργειας. Η μελέτη μοντέλων λειτουργίας άλλων αγορών είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα οδηγούσε τους συμμετέχοντες στην αγορά της ενέργειας σε λάθος αποφάσεις. Εργαλεία που βοηθούν στη μελέτη του εμπορίου ενέργειας θα βοηθούσαν τους προμηθευτές και τους καταναλωτές να συνάψουν συμφωνία για διάφορους ενεργειακούς πόρους, για ποικίλα προϊόντα ηλεκτρικής ενέργειας, έχοντας κατά νου τις ιδιαίτερες συνθήκες της ενεργειακής αγοράς.

#### **1.3.4.1. Βασικές αρχές της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας**

Σε μια απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρισμού [1.11], η ύπαρξη πολλών παικτών στην πλευρά της παραγωγής και το δικαίωμα ορισμένων εκ των καταναλωτών να επιλέγουν τον προμηθευτή τους απαιτούν την λύση δύο καίριας σημασίας προβλημάτων:

- Του προβλήματος της κατανομής του φορτίου ανάμεσα στους συμμετέχοντες στην αγορά παραγωγούς και
- Του προβλήματος της εκκαθάρισης της αγοράς, δηλαδή του προσδιορισμού των οικονομικών δοσοληψιών οι οποίες πρέπει να γίνουν μεταξύ αφενός των παραγωγών που κατά τις εντολές της κατανομής φορτίου εγχέουν ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα κοινό για όλους δίκτυο και αφετέρου των αντίστοιχους προς τους παραγωγούς καταναλωτών έκαστος των οποίων απορροφά από το κοινό δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια σε ποσότητες, οι οποίες εν γένει δεν συμπίπτουν με τις ποσότητες τις οποίες παράγει ο αντίστοιχος προμηθευτής παραγωγός του.

Το πρώτο πρόβλημα, της κατανομής του φορτίου, παρουσιάζεται και στην περίπτωση της μονοπωλιακής διάρθρωσης του τομέα ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση αυτή ο υπεύθυνος κατανομέας φορτίου υποτίθεται ότι δρα υπέρ των συμφερόντων της μια και μόνης υπάρχουσας επιχείρησης ηλεκτρισμού στην οποία και ο ίδιος ανήκει, κατανέμοντας το φορτίο μεταξύ των μονάδων της επιχείρησης κατά τον οικονομικότερο τρόπο, δηλαδή με το ελάχιστο κόστος. Με καθορισμένες τις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από την αρχή που εποπτεύει την μονοπωλιακή επιχείρηση, η ελαχιστοποίηση του μεταβλητού κόστους παραγωγής μεγιστοποιεί το κέρδος της μονοπωλιακής επιχείρησης.

Σε μια απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρισμού η ύπαρξη πολλών παικτών με αντιτιθέμενα, λόγω του ανταγωνισμού, συμφέροντα, απαιτεί την καθιέρωση ενός αμερόληπτου κατανομέως, που θα μοιράζει το παιχνίδι με δίκαιο και αποδεκτό από όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά, τρόπο. Το πρόβλημα της εκκαθάρισης της αγοράς δεν υφίσταται στη μονοπωλιακή περίπτωση, όπου ο επιμερισμός των εισπραττομένων από τους καταναλωτές ποσών στα επιμέρους τμήματα της μίας και μόνης υπάρχουσας καθετοποιημένης επιχείρησης ηλεκτρισμού θεωρείται ότι είναι εσωτερικό της πρόβλημα.

#### **1.3.4.2. Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς – Transmission System Operator (TSO)**

Κάθε σύστημα ηλεκτρισμού έχει έναν διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (TSO), ο οποίος παρακολουθεί και ελέγχει την κατάσταση του συστήματος μεταφοράς και εξασφαλίζει με κατάλληλους χειρισμούς και εντολές, την ακεραιότητα, την αξιοπιστία και την απρόσκοπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές. Η πιο σημαντική, όμως, δραστηριότητα του TSO είναι ότι βελτιστοποιεί την κατανομή του φορτίου, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Επιβάλλεται να είναι ανεξάρτητος από όλους

τους συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρισμού και συνεπώς, να είναι μια ανεξάρτητη αρχή, που θα κατανέμει το φορτίο με τρόπο αμερόληπτο, αλλά και σαφή, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται ο γενικότερος κοινωνικός στόχος ελαχιστοποίησης του μεταβλητού κόστους παραγωγής ολόκληρου του τομέα ηλεκτρισμού.

Ο ΤSO δεν πρέπει να πραγματοποιεί κέρδη, αλλά μόνο να χειρίζεται το σύστημα μεταφοράς, εξασφαλίζοντας τη συνοχή του δικτύου και την απρόσκοπτη και ευσταθή λειτουργία του με την τήρηση της συχνότητας και της τάσης εντός των τεχνικά αποδεκτών ορίων. Επίσης, εκκαθαρίζει την αγορά (market clearing), δηλαδή καθορίζει όχι μόνο τις ποσότητες που θα παράγει κάθε συμμετέχων στην αγορά παραγωγός (κατανομή φορτίου), αλλά και πώς και από ποιούς θα πληρώνεται ο παραγωγός. Για τις υπηρεσίες αυτές, αλλά και για την κάλυψη των δαπανών ενοικίασεως του δικτύου και αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών (ancillary services), εισπράττει κάποια ποσά από τους καταναλωτές, μέσω των αντίστοιχων παραγωγών τους, σε τιμές ελεγχόμενες από τον ρυθμιστή.

Λόγω των πολλών και αντιτιθέμενων συμφερόντων που δημιουργούνται με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού, ο ρόλος του διαχειριστή καθίσταται κεντρικός. Ο ρόλος ως «κατανομές φορτίου» υπάρχει και στην περίπτωση της μονοπωλιακής αγοράς, όμως σε αυτή την περίπτωση, οποιαδήποτε απόκλιση από τη βέλτιστη κατανομή, δημιουργεί μεν ζημία στην μονοπωλιακή επιχείρηση και στους καταναλωτές της, αλλά δεν υπάρχουν αντιτιθέμενα συμφέροντα άλλων παραγωγών ούτως ώστε να δημιουργηθούν προβλήματα. Επιβάλλεται ο διαχειριστής να έχει κανόνες χειρισμού του δικτύου και κατανομής του φορτίου, που να είναι παραδεκτοί από όλους τους παίκτες της αγοράς και να χειρίζεται το σύστημα χωρίς διακρίσεις και κατά ενιαίο τρόπο [1.11].

#### **1.3.4.3. Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ)**

Σκοπός του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης για την εξυπηρέτηση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε ημέρα κατανομής. Η ελαχιστοποίηση αυτή γίνεται υπό όρους καλής κι ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος και διασφάλισης επαρκών εφεδρειών, μέσω της αντιπαραβολής του συνολικά αιτούμενου φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας με τις οικονομικές προσφορές έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα και μέσω του προγράμματος ΗΕΠ.

Οι διαδικασίες και οι πράξεις του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού αναφέρονται σε μια ημέρα κατανομής και ολοκληρώνονται εντός της ημέρας που προηγείται αυτής. Ως ημέρα κατανομής ορίζεται το χρονικό διάστημα των 24 ωρών που συμπίπτει με μία ημερολογιακή ημέρα. Ως περίοδος κατανομής ορίζεται μία ώρα της ημέρας κατανομής. Οι περίοδοι κατανομής αρχίζουν από ώρα 00:00 της ημέρας κατανομής. Ως λήξη της προθεσμίας υποβολής ορίζεται η 12η μεσημβρινή ώρα της ημέρας που προηγείται της ημέρας κατανομής. Ο υπολογισμός των προθεσμιών αφορά ημερολογιακές μέρες.

Η επίλυση του ΗΕΠ προσδιορίζει τον τρόπο λειτουργίας κάθε μονάδας για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας ώστε να μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος που προκύπτει, λαμβάνοντας υπόψη:

- Την ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου.
- Την κάλυψη των βραχυχρόνιων αναγκών για επικουρικές υπηρεσίες.
- Την τήρηση του περιορισμού του συστήματος.

#### **1.3.4.4. Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ) – System Marginal Price (SMP)**

Η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται βάση της Οριακής Τιμής του Συστήματος. Ο υπολογισμός αυτής αποτελεί μάλιστα και το τελευταίο στάδιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού. Ο διαχειριστής του συστήματος, αφού συγκεντρώσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και τις προσφορές έγχυσης των παραγωγών, αθροίζει την ισχύ που μπορεί να παρέχει η κάθε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αρχίζοντας από αυτή με τη χαμηλότερη προσφορά. Ακολουθώντας, προστίθεται η μονάδα με την αμέσως μεγαλύτερη προσφορά και η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου καλυφθεί το προβλεπόμενο φορτίο. Η παραγωγή που προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και η υποχρεωτική παραγωγή των Υδροηλεκτρικών Σταθμών εισάγονται πάντα πρώτες στη διάταξη, διότι ο ΑΔΜΗΕ απαιτεί την υποχρεωτική απορρόφηση αυτής της ενέργειας, ανεξάρτητα από την τιμή στην οποία προσφέρεται. Η τιμή της τελευταίας μονάδας που εντάσσεται στο σύστημα, πριν το 'κλείσιμο' της διαδικασίας, ονομάζεται Οριακή Τιμή Συστήματος. Βάση αυτής της τιμής γίνονται όλες οι εκκαθαρίσεις των λογαριασμών.

Η Οριακή Τιμή του Συστήματος λαμβάνει αριθμητική τιμή για κάθε περίοδο κατανομής της ημέρας κατανομής, η οποία αντιστοιχεί στην οριακή αύξηση της βέλτιστης δαπάνης του ΗΕΠ που θα προέκυπτε από οριακή αύξηση του φορτίου του συστήματος. Πρόκειται, ουσιαστικά, για τη δυική μεταβλητή του περιορισμού του ενεργειακού ισοζυγίου, εξίσωση ζήτησης-προσφοράς. Η οριακή αυτή αύξηση περιλαμβάνει τη δαπάνη για την έγχυση πρόσθετης ενέργειας στο σύστημα με σκοπό την κάλυψη της οριακής αύξησης του φορτίου του Συστήματος, η οποία θα πρέπει να επιτελείται με τρόπο που να εξακολουθεί να ικανοποιεί τους περιορισμούς που αφορούν το σύστημα μεταφοράς, τους τεχνικούς περιορισμούς των μονάδων, καθώς και τις απαιτήσεις εφεδρειών και ετοιμότητας για παροχή Επικουρικών Υπηρεσιών.

Όλοι οι παραγωγοί, οι οποίοι συμμετέχουν τελικά στην αγορά ενέργειας, πληρώνονται με την ίδια τιμή, η οποία είναι η Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ), ανεξάρτητα από την ποσότητα ενέργειας που παρέχουν. Το κέρδος που προσκομίζουν από τη διαδικασία του ΗΕΠ ισούται με τη διαφορά της ΟΤΣ από την προσφορά έγχυσης που κατέθεσαν στον ΑΔΜΗΕ, στην αρχή της διαδικασίας. Όσοι προσέφεραν υψηλότερη τιμή από αυτήν της ΟΤΣ μένουν εκτός αγοράς και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι προμηθευτές αγοράζουν ενέργεια από το διαχειριστή, το κόστος της οποίας

προκύπτει από την τιμή κλεισίματος της διαδικασίας του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, με μια προσαύξηση εξαιτίας των εξόδων μεταφοράς. Στη συνέχεια εισπράττουν από τους καταναλωτές το ήδη συμφωνημένο ποσό για την παροχή υπηρεσιών.

Κατά την επίλυση του προβλήματος ΗΕΠ, εάν δεν υπάρχουν ενεργοί περιορισμοί μεταφοράς του συστήματος, η οριακή αύξηση του φορτίου επιφέρει την ίδια αύξηση στο κόστος ανεξαρτήτως της γεωγραφικής θέσης στην οποία επιτελείται η οριακή αύξηση του φορτίου. Στην περίπτωση όμως ενεργού περιορισμού μεταφοράς του συστήματος, η αύξηση της βέλτιστης δαπάνης υπάρχει πιθανότητα να διαφέρει ανάλογα με τη λειτουργική ζώνη στην οποία επιτελείται η οριακή αύξηση του φορτίου. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση, καθορίζονται διαφορετικές μεταξύ τους Οριακές Τιμές Παραγωγής, μία ανά λειτουργική ζώνη του συστήματος. Η Οριακή Τιμή Παραγωγής αντιστοιχεί, σε συγκεκριμένη ζώνη και περίοδο κατανομής της ημέρας κατανομής, στην πρόσθετη συνολική δαπάνη που προκύπτει στην περίπτωση οριακής αύξησης του φορτίου εντός της ζώνης. Ωστόσο, η Οριακή Τιμή του Συστήματος παραμένει κοινή για όλες τις λειτουργικές ζώνες του συστήματος σε κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα στην περίπτωση ενεργού περιορισμού μεταφοράς του συστήματος, η Οριακή Τιμή Συστήματος λαμβάνει αριθμητική τιμή ίση με τη σταθμισμένη μέση τιμή των Οριακών Τιμών παραγωγής όλων των λειτουργικών ζωνών του συστήματος.

Οι εγγέοντες (παραγωγοί και εισαγωγείς) υποβάλλουν για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας προσφορές υπό τη μορφή ζευγών ποσότητας  $Q_i$  σε MW και τιμής  $b_i$  σε €/MWh. Οι προσφορές αυτές κατατάσσονται κατά αύξουσα σειρά σχηματίζοντας μια συνολική βαθμιδωτή καμπύλη των προσφορών των εγγεόντων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εγγέοντες στο σύστημα ανταγωνίζονται μεταξύ τους και ο ανταγωνισμός αυτός καταλήγει αφενός στην επιλογή των φθηνότερων προσφορών και αφετέρου στην διαμόρφωση της Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ), δηλαδή της τιμής με την οποία γίνονται όλες οι συναλλαγές στην χονδρεμπορική αγορά. Από την άλλη πλευρά, οι απομαστεύοντες ενέργεια από το σύστημα (προμηθευτές, εξαγωγείς και αυτοπρομηθευόμενοι καταναλωτές) αγοράζουν την ενέργεια στην ΟΤΣ και ανταγωνίζονται μεταξύ τους (στην λιανεμπορική αγορά) επιδιώκοντας να προσελκύσουν τελικούς καταναλωτές με την προσφορά προς αυτούς ελκυστικών τιμολογίων. Είναι φανερό ότι σταδιακά οι δύο αυτές αγορές θα γίνουν αλληλένδετες υπό την έννοια ότι η ΟΤΣ της μιας θα επηρεάζει τα προσφερόμενα τιμολόγια της άλλης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ενέργειας του ΗΕΠ καλείται Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ), προκύπτει κατά την αλγοριθμική διαδικασία βελτιστοποίησης του ΗΕΠ. Αποτελεί την ενιαία τιμή στην οποία οι προμηθευτές αγοράζουν την ενέργεια που αναμένουν ότι θα απορροφήσουν από το σύστημα οι πελάτες τους και με την οποία αμείβονται επίσης οι εγγέοντες στο σύστημα παραγωγοί και εισαγωγείς.

## **1.4. Περιβαλλοντική Πολιτική**

### **1.4.1. Κλιματική Αλλαγή**

Τα προβλήματα του περιβάλλοντος σήμερα που συνδέονται με την ενέργεια είναι η κλιματική αλλαγή, εξαιτίας των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση (αέριοι ρυπαντές, όξινη βροχή, φωτοχημικό νέφος) και οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν κατά τη θαλάσσια μεταφορά υδρογονανθράκων [1.13]. Συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια έχει καταγραφεί συνεχής άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της Γης, ως αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, δηλαδή της φυσικής κατά βάση διαδικασίας για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της Γης σε κατάλληλα για την ανάπτυξη ζωής επίπεδα. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (International Panel of Climate Change, IPCC), υπάρχουν ολόένα και ισχυρότερες ενδείξεις ότι η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται σε επιρροές από την ανθρώπινη δραστηριότητα, γι' αυτό και η διεθνής κοινότητα έχει λάβει μέτρα τουλάχιστον και έχει καθιερώσει μακρόχρονες πολιτικές για τον περιορισμό του.

Σχετικά με τις κλιματικές μεταβολές που αναμένονται μελλοντικά, επικρατεί ένα σημαντικό ποσοστό αβεβαιότητας σε επίπεδο επιστημονικών προβλέψεων, ενώ το θέμα αποτελεί επιπλέον ένα αμφιλεγόμενο πολιτικό ζήτημα, που σχετίζεται με την ανάγκη λήψης πολιτικών μέτρων αντιμετώπισης του προβλήματος της παγκόσμιας θέρμανσης, εκ μέρους των κυβερνήσεων. Σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες της IPCC, η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1.4 – 5.8 °C εντός της χρονικής περιόδου 1990 και 2100. Οι συνέπειες μίας τέτοιας ενδεχόμενης αύξησης, επεκτείνονται και σε άλλου είδους μεταβολές, όπως αύξηση της στάθμης των θαλασσών ή δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, τυφώνες ή εξαφάνιση βιολογικών ειδών. Αν και το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης αναμένεται να αυξήσει την ένταση και την συχνότητα τέτοιων μεταβολών, θεωρείται δύσκολο να συνδεθεί κάθε μεμονωμένο γεγονός ως άμεσο αποτέλεσμα της [1.14].

Το 1979 γίνεται η πρώτη παγκόσμια διάσκεψη για το κλίμα, αναγνωρίζοντας πως το περιβαλλοντικό ζήτημα χρήζει ανάληψης πολιτικών πρωτοβουλιών και δράσης και ακολουθούν αρκετές ακόμα διασκέψεις, με αποκορύφωμα τη Διάσκεψη στο Κιότο, καρπός της οποίας είναι το Πρωτόκολλο του Κιότο και το πρόγραμμα 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ενώ, η πιο πρόσφατη συνδιάσκεψη για το κλίμα της Κοπεγχάγης, το Δεκέμβριο του 2009 είχε μικρή συνεισφορά.

### **1.4.2. Φαινόμενο Θερμοκηπίου**

Ως φαινόμενο του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται το φαινόμενο θέρμανσης που παρατηρείται στα θερμοκήπια. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη φύση, όταν η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συμβάλλει στη θέρμανσή του.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας, τη διαπερνά και φθάνει στην επιφάνεια της ενώ το υπόλοιπο σκεδάζεται.

Το ποσοστό αυτό στο ένα μέρος του απορροφάται από τη γη και ότι την καλύπτει ενώ το υπόλοιπο ανακλάται διάχυτα προς το διάστημα, υφιστάμενο απορροφήσεις και συμβάλει στη θέρμανσή της. Ταυτόχρονα, η γη, ως σώμα μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας περίπου 15 °C εκπέμπει, από όλη την επιφάνειά της προς την ατμόσφαιρα, ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στη μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία, έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της, ποσοστό περίπου 71%. Η ίδια η ατμόσφαιρα επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη – μαζί με τον Ήλιο – πηγή θερμότητας.

Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση περίπου -18°C.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου άρχισε να αποκτά αρνητική σημασία, όταν διαπιστώθηκε η διόγκωσή του εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα πρώτος ο Σουηδός Aithenius το 1896 παρατήρησε κάποια σχέση ανάμεσα στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως, η καύση ορυκτών καυσίμων και η εκτεταμένη υλοτομία, προκαλούν αύξηση της περιεκτικότητας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα πάνω από τα φυσιολογικά, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την όξυνση του φαινομένου [1.15].

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνα για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και δεν της επιτρέπουν να ακτινοβολείται πίσω στο διάστημα με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα αέρια αυτά είναι τα εξής:

- CO<sub>2</sub>: διοξείδιο του άνθρακα
- CH<sub>4</sub>: μεθάνιο
- N<sub>2</sub>O: υποξείδιο του αζώτου
- HFCs: υδρογονοφθοράνθρακες
- PFCs: υπερφθοράνθρακες
- SF<sub>6</sub>: εξαφθοριούχο θείο.

Μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας του πλανήτη γη, μόλις κατά 3°C, είναι ικανή να δημιουργήσει έντονη διατάραξη των υπαρχόντων περιβαλλοντικών συνθηκών, τη μετατόπιση των κλιματικών ζωνών, το λιώσιμο των πάγων των βουνών της εύκρατης ζώνης και άρα την απώλεια των φυσικών ταμιευτήρων νερού, την αύξηση της στάθμης της θάλασσας με συνακόλουθες επιπτώσεις στις παράκτιες πόλεις, στις εγκαταστάσεις και στις καλλιέργειες. Ήδη, παρατηρήσεις των τελευταίων δεκαετιών καταδεικνύουν σαφή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας του πλανήτη κατά

~0,25°C. Αν συνεχιστεί με τους ίδιους ρυθμούς η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, η δράση του φαινομένου του θερμοκηπίου θα έχει διπλασιαστεί μέχρι το 2040, ενδεχόμενο το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης κατά 2 με 10°C, ανάλογα με τη γεωγραφική ζώνη. Τα πρώτα αποτελέσματα του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ήδη ορατά ενώ οι παρούσες ενδείξεις προμηνύουν ένα ζοφερό μέλλον.

Σήμερα, ο πιο συνηθισμένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην καύση ορυκτών καυσίμων και φυσικού αερίου, διαδικασία που απελευθερώνει στο περιβάλλον τεράστια ποσά διοξειδίου του άνθρακα. Οι υδροφθοράνθρακες, οι υπερφθοράνθρακες και το εξαφθοριούχο θείο δεν παράγονται με φυσικό τρόπο αλλά αποτελούν υβριδικά προϊόντα που προκύπτουν κατά την παραγωγή πλαστικών ή κατά τις διαδικασίες ψύξης, κλιματισμού και ψεκασμού.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για το 82% της συνολικής επίδρασης στην κλιματική αλλαγή, το μεθάνιο 11%, το υποξείδιο του αζώτου 6% και τα υπόλοιπα για το 2%. Έτσι εξηγείται η ιστορική ανάδειξη του διοξειδίου του άνθρακα ως του σημαντικότερου αερίου του θερμοκηπίου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέχει την 3η θέση παγκοσμίως στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μετά την Κίνα και τις ΗΠΑ σε συνολικές εκπομπές. Η Ελλάδα διατηρεί μία αρκετά χαμηλή θέση σε ότι αφορά τα αέρια του θερμοκηπίου, γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στο μικρό της μέγεθος. Εάν όμως τα μεγέθη αναχθούν σε κατά κεφαλή τιμές, διαπιστώνεται ότι η συνεισφορά της χώρας μας δεν αποκλίνει από τον κοινοτικό μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 15, ενώ βρίσκεται πολύ ψηλά στην σχετική κατάταξη μεταξύ των χωρών ολόκληρης της Ευρωπαϊκής Ένωσης μετά την διεύρυνση της σε 25 κράτη – μέλη. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην χρήση λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1.15].

Για να περιορισθεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου απαιτείται η εφαρμογή αυστηρών περιβαλλοντικών μέτρων και η αξιοποίηση μη ενεργειακών πόρων. Απέναντι σε αυτό το πρόβλημα προβάλλονται δύο συμπληρωματικές προσεγγίσεις, εκ των οποίων, στην πρώτη ανήκουν προτάσεις που γίνονται από διεθνείς οργανισμούς και κυβερνήσεις για πλήρη μεταστροφή στην υφιστάμενη ενεργειακή πολιτική που ακολουθείται σε παγκόσμια κλίμακα με ελάχιστες εξαιρέσεις και στη δεύτερη ανήκουν μεθοδολογίες απορρόφησης των αερίων, όταν η παραγωγή τους είναι αναπόφευκτη, έστω και σε μειωμένες ποσότητες:

Εξεύρεση τρόπων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:

- Πραγματοποίηση παγκόσμιας εκστρατείας για τη μείωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάζει έντονες αυξητικές τάσεις.
- Μέριμνα για την αποδοτικότερη και οικονομικότερη χρήση ενέργειας.
- Διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, υδρογόνο, μηχανική ενέργεια κυμάτων, γεωθερμία). Συνίσταται επίσης η ευρεία



χρήση του φυσικού αερίου, που ναι μεν δεν θεωρείται ΑΠΕ αλλά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου υποδιπλάσιες σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Λόγω της μεγάλης της επικινδυνότητας, η πυρηνική ενέργεια δεν συγκαταλέγεται στις ΑΠΕ.

Απορρόφηση των ήδη εκπεμπόμενων ποσοτήτων:

- Αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα σε υπόγεια κοιτάσματα από όπου προηγουμένως έχουν εξορυχτεί ορυκτά καύσιμα.
- Πλύση και ξήρανση του άνθρακα και διαδικασίες μπρικετοποίησης.
- Προστασία δασών, αναδάσωσης και δημιουργία νέων δασικών εκτάσεων, διότι η φωτοσύνθεση είναι ένας φυσικός μηχανισμός απορρόφησης ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα.

#### **1.4.3. Πρωτόκολλο του Κιότο**

Το πρωτόκολλο του Κιότο ορίζει διαφορετικές υποχρεώσεις για τα συμβαλλόμενα μέρη, ανάλογα με το επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης κάθε χώρας. Οι αναπτυγμένες χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ε.Ε αναλαμβάνουν συγκεκριμένες δεσμεύσεις και υποχρεούνται να συντάσσουν αναφορές για τα μέτρα που λαμβάνουν για τον περιορισμό των εκπομπών τους σε αέρια του θερμοκηπίου. Οι περισσότερο αναπτυγμένες και οικονομικά ισχυρές χώρες έχουν την πρόσθετη υποχρέωση να συνεισφέρουν οικονομικά και τεχνολογικά στις προσπάθειες των αναπτυσσόμενων χωρών. Οι χώρες των οποίων η οικονομία βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης δεν έχουν ποσοτικοποιημένους στόχους μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου αν και υποχρεούνται να συμβάλλουν στη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών [1.13].

Το πρωτόκολλο του Κιότο δεσμεύει τις αναπτυγμένες χώρες να επιτύχουν μείωση των εκπομπών των 6 κύριων αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% στην περίοδο 2008 – 2012 σε σχέση με το επίπεδο εκπομπών του 1990. Οι χώρες της Ευρώπης, έχουν αναλάβει να μειώσουν τις εκπομπές τους σε αέρια του θερμοκηπίου κατά 8% σε σχέση με το 1990, με εξαίρεση τη Νορβηγία και την Ισλανδία που έχουν περιθώρια αύξησης των εκπομπών τους κατά 1% και 10% αντίστοιχα. Στη χώρα με τις μεγαλύτερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, τις ΗΠΑ, έχει τεθεί ο στόχος της ελάττωσης των εκπομπών κατά 7%. Ωστόσο οι ΗΠΑ δεν έχουν υπογράψει το Πρωτόκολλο του Κιότο και συνεπώς δεν δεσμεύονται έναντι του στόχου αυτού. Άλλες ισχυρές οικονομικά χώρες, όπως η Ιαπωνία και ο Καναδάς, αναλαμβάνουν δέσμευση μείωσης της τάξης του 6%. Η Ρωσία δεσμεύεται να διατηρήσει τις εκπομπές της στα ίδια επίπεδα με αυτά του 1990 [1.13].

Για να διευκολυνθούν τα συμβαλλόμενα μέρη στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από το πρωτόκολλο του Κιότο θεσπίστηκαν τρεις ευέλικτου μηχανισμοί που συμβάλλουν στην υλοποίηση των στόχων των ανεπτυγμένων χωρών με οικονομικότερο τρόπο και στην άμβλυνση των αντιθέσεων μεταξύ των χωρών με διαφορετική

οικονομική ανάπτυξη. Οι τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί που προβλέπονται είναι οι παρακάτω[1.13]:

- Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (ΜΚΑ):

Επιτρέπει σε μια ανεπτυγμένη χώρα να επενδύσει σε ένα πρόγραμμα μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου σε μια χώρα αναπτυσσόμενη και ως συνέπεια να καρπωθεί μία ποσότητα Βεβαιωμένων Μειώσεων Εκπομπών (CERs).

- Προγράμματα από Κοινού – ΠΚ:

Ο μηχανισμός αυτός προβλέπει ότι μια ανεπτυγμένη χώρα που έχει υπογράψει το πρωτόκολλο μπορεί να εξασφαλίσει μονάδες μείωσης εκπομπών (ΜΜΕ) με την εφαρμογή προγράμματος το οποίο μειώνει τις εκπομπές σε μία άλλη χώρα επίσης ανεπτυγμένη.

Οι μηχανισμοί ΠΚ και ΜΚΑ έχουν ως κοινή αρχή λειτουργίας τη συγκέντρωση μονάδων μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η οποία συντελείται μέσω έργων μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αναλαμβάνει να υλοποιήσει η «χώρα επενδυτής». Οι μονάδες αυτές υπολογίζονται από τη σύγκριση των πραγματικών εκπομπών που προκύπτουν αφού έχει πραγματοποιηθεί ένα έργο «καθαρής ενέργειας» με το θεωρητικό σενάριο αναφοράς που προσδιορίζει τις εκπομπές ρύπων με τη θεώρηση ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί το έργο.

- Εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών (International Emissions Trading, IET):

Επιτρέπει σε χώρες που δεν έχουν δεσμεύσεις για τις εκπομπές τους να πουλήσουν ένα μέρος των δικαιωμάτων εκπομπών τους στις χώρες που έχουν δεσμευτεί να επιτύχουν μείωση των εκπομπών τους. Η εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών έχει σαν αποτέλεσμα την αναδιανομή των επιτρεπόμενων εκπομπών μεταξύ των ανεπτυγμένων συμβεβλημένων χωρών, καθώς, σε αντίθεση με τους άλλους δύο μηχανισμούς δεν βασίζεται σε κάποιο έργο μείωσης εκπομπών, αλλά είναι κυρίως ένας μηχανισμός της αγοράς που διευκολύνει τη λειτουργία και αύξηση της αποδοτικότητας της αγοράς επενδύσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

#### **1.4.4. Συμφωνία της Κοπεγχάγης**

Η συμφωνία της Κοπεγχάγης αποτελεί το κύριο αποτέλεσμα της διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή που πραγματοποιήθηκε στην Κοπεγχάγη από 7 έως 19 Δεκεμβρίου 2009. Την τελευταία μέρα της διάσκεψης οι πολιτικοί αρχηγοί περίπου 28 ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διαπραγματεύτηκαν τη συμφωνία αυτή. Οι εν λόγω χώρες ευθύνονται για περισσότερο από το 80% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η Ε.Ε. επιβεβαιώνει τη δέσμευσή της να συμμετάσχει σε διαπραγματευτική διαδικασία για την επίτευξη του στρατηγικού στόχου να περιοριστεί η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη σε λιγότερο από 2°C, σε σχέση με τα προ βιομηχανικής

εποχής επίπεδα. Η συμφωνία της Κοπεγχάγης αναγνωρίζει μεν την επιστημονική άποψη ότι πρέπει να συγκρατηθεί η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη σε λιγότερο από 2°C, προκειμένου να αποτραπεί επικίνδυνη κλιματική αλλαγή, δεν περιλαμβάνει όμως στόχους μείωσης των παγκόσμιων εκπομπών για την τήρηση του ορίου αυτού.

Σύμφωνα με τη θέση της Ε.Ε., για να συγκρατηθεί η άνοδος της θερμοκρασίας σε λιγότερο από 2°C, οι παγκόσμιες εκπομπές πρέπει να έχουν κορυφωθεί το αργότερο έως το 2020, να μειωθούν έως το 2050 στο 50% τουλάχιστον των επιπέδων του 1990 και να συνεχίσουν κατόπιν τη φθίνουσα πορεία τους. Επίσης, αναφέρει ότι για να επιτευχθεί αυτό σύμφωνα με τις διαπιστώσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), οι αναπτυγμένες χώρες πρέπει μέχρι το 2020, να έχουν μειώσει συνολικά τις εκπομπές τους κατά 25 – 40% έναντι των επιπέδων του 1990, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες πρέπει να έχουν επιτύχει σημαντική μείωση του προβλεπόμενου σήμερα ποσοστού αύξησης των εκπομπών της τάξης του 15 – 30% [1.13].

#### **1.4.5. Μηχανισμοί προώθησης έργων καθαρής ενέργειας**

Η φιλελευθεροποίηση της αγοράς του ηλεκτρισμού στην Ε.Ε. έχει δημιουργήσει καθεστώς έντονου ανταγωνισμού μεταξύ των εταιριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Προτεραιότητα πλέον των παραγωγών αυτών είναι η διατήρηση ενός ανταγωνιστικού κόστους παραγωγής που θα επιφέρει κερδοφορία. Έτσι οι κύριοι οικονομικοί στόχοι είναι ο περιορισμός του κόστους παραγωγής και η προτίμηση σε επενδύσεις με χαμηλό κεφαλαιουχικό κόστος και σύντομες περιόδους αποπληρωμής [1.16].

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, τα τελευταία χρόνια οι επενδύσεις σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ περιορίστηκαν όχι μόνο του υψηλότερου κεφαλαιουχικού κόστους αλλά και λόγω της υψηλότερης τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ένα ενοποιημένο ηλεκτρικό δίκτυο δεν μπορεί σαφώς να γίνει διαχωρισμός της ηλεκτρικής ενέργειας σε πράσινη και σε συμβατική. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που ρέει στο δίκτυο είναι ενιαία, κάτι που δημιουργεί έλλειμμα στους παραγωγούς πράσινης ενέργειας. Το υψηλότερο κόστος παραγωγής κάνει ασύμφορη την επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για το λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί πλαίσια οικονομικής στήριξης έτσι ώστε η διαφορά κόστους να αντισταθμίζεται, με αποτέλεσμα την δυναμική αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ σε διάφορα κράτη μέλη της ΕΕ, οδηγώντας σε μια πιο αισιόδοξη προοπτική για την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιστροφή της κλιματικής αλλαγής. Τα πιο σημαντικά από τα μέτρα οικονομικής στήριξης των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, είναι τα ακόλουθα:

##### **➤ Απευθείας επιδοτήσεις**

Ένα σταθερό ποσοστό του κόστους της επένδυσης έργου καθαρής ενέργειας επιδοτείται από τις αρχές μέσω ειδικών προγραμμάτων.

➤ Φορολογικά κίνητρα

Μείωση φόρων για όσους επενδύουν σε έργα καθαρής ενέργειας

➤ Σταθερά τιμολόγια αγοράς (Feed-in tariffs – FIT)

Ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας θα καταβάλλει σταθερή τιμή για την αγορά ενέργειας από παραγωγό που χρησιμοποιεί ΑΠΕ.

➤ Πράσινα τιμολόγια (Green tariffs)

Οι καταναλωτές επιλέγουν αν αγοράσουν ηλεκτρική ενέργεια από έναν προμηθευτή «πράσινης ενέργειας» στα λεγόμενα «πράσινα τιμολόγια». Αυτή η τιμολόγηση ανά kWh είναι μεγαλύτερη από αυτή που πληρώνουν κανονικά οι καταναλωτές και τα επιπλέον έσοδα περνούν στους παραγωγούς ΑΠΕ προκειμένου να καλυφθούν τα επιπλέον έξοδά τους.

➤ Εμπορεύσιμα Πράσινα Πιστοποιητικά (Tradable Green Certificates – TGC)

Οι παραγωγοί/καταναλωτές υποχρεούνται να προμηθευθούν /καταναλώνουν ενέργεια της οποίας ένα ποσοστό προέρχεται από ΑΠΕ. Οι επενδυτές που επιθυμούν να μετάσχουν στην αγορά ενέργειας πρέπει αν διαθέτουν πράσινα πιστοποιητικά.

➤ Περιβαλλοντολογικοί φόροι (Environmental taxes)

Οι ΑΠΕ προωθούνται έμμεσα μέσω της επιβολής φόρων στους συμβατικούς παραγωγούς που εκπέμπουν ρύπους (κυρίως CO<sub>2</sub>)

#### **1.4.6. Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου**

Το Μάρτιο του 2007 οι αρχηγοί της Ε.Ε ενέκριναν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την περιβαλλοντική και ενεργειακή πολιτική που στοχεύει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και αυξάνει την ενεργειακή ασφάλεια στην Ε.Ε, ενώ παράλληλα ενισχύει την ανταγωνιστικότητά της. Πρόκειται για δράσεις που εναρμονίζονται με τις δεσμεύσεις του Κιότο και επιπλέον θέτουν στόχους πιο ειδικούς με επιθυμητό αποτέλεσμα ακόμα πιο φιλόδοξο από αυτό που προβλέπει το πρωτόκολλο του Κιότο [1.17].

Η πολιτική της Ε.Ε για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έχει ως δύο κύριους άξονες την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με αύξηση της αποδοτικότητάς της και την ενίσχυση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ευρωπαϊκό ενεργειακό μίγμα. Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι που έχουν τεθεί είναι:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 ως το 2020.

- 20% διείσδυση των ΑΠΕ – εναλλακτικών καυσίμων στην τελική κατανάλωση ενέργειας ως το 2020.
- 20% εξοικονόμηση ενέργειας ως το 2020.
- 10% μερίδιο ΑΠΕ στα καύσιμα μεταφορών ως το 2020.

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε ανάγκες θέρμανσης/ψύξης και 10% στις μεταφορές.

Επιπρόσθετα, σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας η Ελλάδα έχει ήδη καταρτίσει το 1ο Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας όπου προβλέπεται 9% εξοικονόμηση ενέργειας στην τελική κατανάλωση μέχρι το 2016, ενώ προχωρά στην ανάπτυξη μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας.

## Βιβλιογραφία

- [1.1] Κ. Βουρνάς και Γ. Κοντάξης, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2006.
- [1.2] Μ.Π. Παπαδόπουλος, “Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμος Γ”, Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1994.
- [1.3] Β.Κ. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμος Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας”, Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985.
- [1.4] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) Website: <http://www.ypeka.gr/>.
- [1.5] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) Website: <http://www.desmie.gr/>.
- [1.6] Διαχειριστής του ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) Website: <http://www.deddie.gr/>.
- [1.7] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) Website: <http://www.rae.gr>.
- [1.8] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) Website: <http://www.admie.gr/>.
- [1.9] Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) Website: <http://www.lagie.gr/>
- [1.10] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) Website: <http://www.dei.gr/>
- [1.11] Ευάγγελος Λεκατσάς “Οικονομική ανάλυση ηλεκτρικών συστημάτων – προβλήματα προσαρμογής εν όψει της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού», έκδοση ΤΕΕ.
- [1.12] Sally Hunt, Graham Shuttleworth, John Wiley & Sons Ltd, “Competition and choice in electricity”, 1996.
- [1.13] Ι. Ψαρράς, “Διαχείριση ενέργειας και περιβαλλοντική πολιτική”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2006.
- [1.14] Wikipedia Website: <http://en.wikipedia.org/wiki/>.
- [1.15] Κ. Δέρβος, “Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2009.
- [1.16] GREENPEACE Website: <http://www.greenpeace.org/greece/el/>
- [1.17] EUROPA, “Μια ενιαία ενεργειακή πολιτική για την Ευρώπη”, Website: <http://europa.eu/>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

#### 2.1 Εισαγωγή

Σχετικά με τη λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) διακρίνεται η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας ή κανονική λειτουργία και η μεταβατική και ασύμμετρη κατάσταση λειτουργίας ή γενικότερα μη κανονική ή ανώμαλη λειτουργία. Ο κύριος προορισμός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι να προμηθεύει την πραγματική και άεργο ισχύ τις οποίες ζητούν τα διάφορα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο σύστημα. Η ροή της ισχύος στο δίκτυο για την τροφοδότηση της ζήτησης αποτελεί τη χαρακτηριστικότερη εκδήλωση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας για ένα σύστημα. Ταυτόχρονα, η τάση και η συχνότητα στους ζυγούς πρέπει να τηρούνται μέσα σε προδιαγεγραμμένα όρια παρά το γεγονός ότι τα φορτία υπόκεινται σε σημαντικές και ως ένα σημείο απρόβλεπτες μεταβολές [2.1].

Το πρόβλημα των ροών φορτίου συνίσταται στον προσδιορισμό των μεταβλητών του συστήματος (ισχύος, ρευμάτων, τάσεων), σε μια δεδομένη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχεί σε μια ορισμένη εικόνα φορτίων, μια αντίστοιχη εικόνα παραγόμενης ισχύος και μια αντίστοιχη εικόνα τάσεων και ροών στο δίκτυο. Κάθε άλλη εικόνα φορτίων ή ροών συνιστά μια άλλη κατάσταση λειτουργίας και περιγράφεται από άλλες τιμές μεταβλητών.

#### 2.2 Μελέτη ροής φορτίου

Βασικά στοιχεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ζυγοί και οι γραμμές του. Η ισχύς διακινείται μεταξύ των διαφόρων ζυγών από τις θέσεις παραγωγής προς τα φορτία, ανάλογα με τις διαθέσιμες γραμμές και τις τάσεις των ζυγών. Οι διαδρομές των γραμμών, με τις οποίες γίνεται η διακίνηση της ισχύος, διαμορφώνονται ανάλογα με τα μεγέθη και τις θέσεις των φορτίων, με δεδομένες τις θέσεις παραγωγής και το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος. Άλλοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η σχετική σημασία των φορτίων και οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ παραγόμενης ισχύος, απωλειών και φορτίων και η ισορροπία αυτή διέπεται από σταθερή συχνότητα λειτουργίας και σταθερές τάσεις ζυγών [2.2].

### 2.2.1 Μεταβλητές συστήματος

Θεωρώντας τη γενική περίπτωση ενός ζυγού του συστήματος με παραγωγή και φορτίο, που εκφράζονται υπό τη μορφή ισχύος, διακρίνονται τα έξι ηλεκτρικά μεγέθη του ζυγού ως εξής:

- Παραγόμενη ενεργός ισχύς,  $P_G$
- Παραγόμενη άεργος ισχύς,  $Q_G$
- Ενεργός ισχύς φορτίου,  $P_D$
- Άεργος ισχύς φορτίου,  $Q_D$
- Μέτρο της τάσης,  $V$
- Φασική γωνία της τάσης,  $\theta$

Τα ηλεκτρικά αυτά μεγέθη αποτελούν τις μεταβλητές του συστήματος και είναι έξι ανά ζυγό. Σε ένα σύστημα με  $N$  ζυγούς υπάρχουν συνολικά  $6N$  μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες. Τα φορτία ή μεταβλητές διαταραχής ( $P_D, Q_D$ ), οι ισχείς παραγωγής ή μεταβλητές ελέγχου ( $P_G, Q_G$ ) και οι εξαρτημένες μεταβλητές ή μεταβλητές κατάστασης ( $V, \theta$ ). Σημειώνεται, ότι η εγχεόμενη ενεργός και άεργος ισχύς στο ζυγό εκφράζεται ως εξής:

$$P = P_G - P_D \quad (2.1)$$

$$Q = Q_G - Q_D \quad (2.2)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι ζυγοί διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς: Στο ζυγό αυτό επιβάλλεται σταθερή τάση κατά μέτρο και γωνία, ενώ προσδιορίζονται η παραγόμενη ενεργός και άεργος ισχύς.
- Ζυγός φορτίου (PQ): Ζυγός στον οποίο είναι γνωστή η ισχύς φορτίου ενώ προσδιορίζεται η τάση κατά μέτρο και γωνία.
- Ζυγός παραγωγής (PV): Ζυγός στον οποίο είναι γνωστή η παραγόμενη ενεργός ισχύς και το μέτρο της τάσης, ενώ προσδιορίζεται η παραγόμενη άεργος ισχύς και η γωνία της τάσης [2.1]



## 2.2.2 Εξισώσεις ροών φορτίου

Οι σχέσεις μεταξύ των τάσεων στους ζυγούς (κόμβους) και των ρευμάτων που εγχέονται σε αυτούς, μπορούν να διατυπωθούν με τη βοήθεια του πίνακα αγωγιμοτήτων ζυγών ως εξής:

$$[\tilde{I}] = [Y] \cdot [\tilde{V}] \Rightarrow \begin{bmatrix} \tilde{I}_1 \\ \tilde{I}_2 \\ \dots \\ \tilde{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_1 \\ \tilde{V}_2 \\ \dots \\ \tilde{V}_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Όπου:

- $n$ : Συνολικός αριθμός των ζυγών του δικτύου
- $Y_{ii}$ : Διαγώνιο στοιχείο του πίνακα αγωγιμοτήτων των ζυγών, που εκφράζει το άθροισμα των αγωγιμοτήτων που καταλήγουν στο ζυγό  $i$   
Μη διαγώνιο στοιχείο του πίνακα αγωγιμοτήτων των ζυγών, που ισούται με την
- $Y_{ij}$ : αντίθετη τιμή του αθροίσματος όλων των αγωγιμοτήτων μεταξύ του ζυγού  $i$  και του ζυγού  $j$
- $\tilde{V}_i$ : Τάση στο ζυγό  $i$
- $\tilde{I}_i$ : Εγχεόμενο ρεύμα στο ζυγό  $i$

Η εξίσωση (2.3) θα ήταν γραμμική αν τα εγχεόμενα ρεύματα στους ζυγούς ήταν γνωστά. Πρακτικά, όμως, τα εγχεόμενα ρεύματα στους περισσότερους ζυγούς είναι άγνωστα. Το ρεύμα σε οποιοδήποτε ζυγό  $i$  σχετίζεται με την τάση και την ισχύ του ζυγού ως εξής:

$$\tilde{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\tilde{V}_i^*} \quad (2.4)$$

Για τους διάφορους τύπους ζυγών οι σχέσεις μεταξύ των μεγεθών που περιγράφονται στην εξίσωση (2.4) καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά των συσκευών που συνδέονται στους ζυγούς. Οι οριακές συνθήκες που επιβάλλονται από τους διαφορετικούς τύπους των ζυγών καθιστούν το πρόβλημα μη γραμμικό, με αποτέλεσμα οι εξισώσεις ροών φορτίου να επιλύονται επαναληπτικά μέσω αριθμητικών τεχνικών, όπως οι μέθοδοι Gauss – Siedel και Newton – Raphson.

### 2.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου

Η επαναληπτική μέθοδος Newton – Raphson είναι πιο σύνθετη, αλλά και πιο ασφαλής. Συνήθως δεν έχει πρόβλημα σύγκλισης και κατά κανόνα συγκλίνει ταχύτερα από την Gauss – Siedel. Η μέθοδος Newton – Raphson συνίσταται στη γραμμικοποίηση του αρχικού συστήματος εξισώσεων με τη βοήθεια του αναπτύγματος Taylor, όπου αμελούνται οι όροι δεύτερης τάξης και άνω. Παρακάτω παρουσιάζεται η συγκεκριμένη μέθοδος.

Για οποιοδήποτε ζυγό  $i$  του δικτύου η μιγαδική ισχύς εκφράζεται ως εξής:

$$\tilde{S}_i = P_i + jQ_i = \tilde{V}_i \cdot \tilde{I}_i^* \quad (2.5)$$

Τα εγχεόμενα ρεύματα στο ζυγό  $i$ , σύμφωνα με την (2.3), είναι:

$$\tilde{I}_i = \sum_{m=1}^N Y_{im} \cdot \tilde{V}_m \quad (2.6)$$

Με αντικατάσταση της σχέσης (2.6) στη σχέση (2.5), προκύπτει:

$$P_i + jQ_i = \tilde{V}_i \cdot \sum_{m=1}^N Y_{im} \cdot \tilde{V}_m^* = \tilde{V}_i \cdot \sum_{m=1}^N (G_{im} - jB_{im}) \cdot \tilde{V}_m^* \quad (2.7)$$

Το γινόμενο των τάσεων  $\tilde{V}_i$  και  $\tilde{V}_m^*$  μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\begin{aligned} \tilde{V}_i \cdot \tilde{V}_m^* &= (V_i \cdot e^{j\theta_i}) \cdot (V_m \cdot e^{-j\theta_m}) = V_i \cdot V_m \cdot e^{j(\theta_i - \theta_m)} \\ &= V_i \cdot V_m \cdot [\cos(\theta_i - \theta_m) + j \sin(\theta_i - \theta_m)] \\ &= V_i \cdot V_m \cdot [\cos(\theta_{im}) + j \sin(\theta_{im})] \end{aligned} \quad (2.8)$$

Οπότε, αντικαθιστώντας την (2.8) στη σχέση (2.7) και χωρίζοντας το πραγματικό από το φανταστικό μέρος, οι εξισώσεις για την ενεργό και άεργο ισχύ του ζυγού  $i$  διαμορφώνονται ως εξής:

$$P_i = V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \quad (2.9)$$

$$Q_i = V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) \quad (2.10)$$

Οπότε, η ενεργός και η άεργος ισχύς στους ζυγούς είναι συναρτήσεις που εξαρτώνται από τα μέτρα και τις γωνίες όλων των ζυγών. Οι εξισώσεις (2.9) και (2.10) συνιστούν ένα σύστημα από μη γραμμικές εξισώσεις. Η εξίσωση (2.9) εφαρμόζεται τόσο στους ζυγούς φορτίου, όσο και στους ζυγούς παραγωγής, ενώ η (2.10) εφαρμόζεται μόνο στους ζυγούς φορτίου. Οι επαναληπτικές εξισώσεις ροής φορτίου στο ζυγό  $i$ , που αποτελούν τις διαφορές μεταξύ δοσμένων και υπολογιζόμενων τιμών ισχύος, προκύπτουν, ανάλογα με το είδος του ζυγού ως εξής:

Ζυγός  $i$ : Ζυγός φορτίου

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - \left( V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \right) \quad (2.11)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - \left( V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) \right) \quad (2.12)$$

Ζυγός  $i$ : Ζυγός παραγωγής

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - \left( V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \right) \quad (2.13)$$

Όπου  $P_i^{sp}$  η δοσμένη τιμή της εγχεόμενης ενεργού ισχύος, αν ο ζυγός  $i$  είναι ζυγός παραγωγής και  $P_i^{sp}$ ,  $Q_i^{sp}$  οι δοσμένες τιμές της εγχεόμενης ενεργού και αέργου ισχύος αντίστοιχα, αν ο ζυγός  $i$  είναι ζυγός φορτίου.

Αν υποθεθεί ότι ο ζυγός 1 του δικτύου είναι ζυγός αναφοράς, οι ζυγοί 2 έως  $f$  είναι ζυγοί παραγωγής και οι ζυγοί  $f+1$  έως  $n$  είναι ζυγοί φορτίου, τότε με τη βοήθεια του αναπτύγματος Taylor και αγνοώντας τους όρους δεύτερης τάξης και άνω, προκύπτουν οι ακόλουθες γραμμικές εξισώσεις:

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Delta Q_{f+1} \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_n} \\ \vdots & (H) & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \theta_n} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial V_n} \\ \vdots & (N) & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial \theta_n} \\ \vdots & (J) & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_n} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial V_n} \\ \vdots & (L) & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_2 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Delta V_{f+1} \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Όπου  $\begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix}$  είναι ο Ιακωβιανός πίνακας.

Με βάση την αρίθμηση των ζυγών που έχει γίνει, ο Ιακωβιανός πίνακας θα έχει διαστάσεις  $(2n - m - 1) \times (2n - m - 1)$ . Οι υποπίνακες  $H$  και  $L$  είναι τετραγωνικοί με διαστάσεις  $(n - 1) \times (n - 1)$  και  $(n - m) \times (n - m)$ , ενώ οι  $N$  και  $J$  δεν είναι τετραγωνικοί και έχουν διαστάσεις  $(n - 1) \times (m)$  και  $(m) \times (n - 1)$  αντίστοιχα. Οι σχέσεις υπολογισμού των διαγώνιων και μη διαγώνιων στοιχείων των υποπινάκων του Ιακωβιανού πίνακα είναι οι εξής:

$$H_{ii} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_i} = V_i \cdot \sum_{m \neq i} (G_{im} \sin \theta_{im} - B_{im} \cos \theta_{im}) \cdot V_m \quad (2.16)$$

$$H_{im} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_m} = -V_i \cdot (G_{im} \sin \theta_{im} - B_{im} \cos \theta_{im}) \cdot V_m \quad (2.17)$$

$$J_{ii} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_i} = V_i \cdot \sum_{m \neq i} (G_{im} \cos \theta_{im} + B_{im} \sin \theta_{im}) \cdot V_m = -P_i^{sp} + V_i^2 \cdot G_{ii} \quad (2.18)$$

$$J_{im} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_m} = V_i \cdot (G_{im} \cos \theta_{im} + B_{im} \sin \theta_{im}) \cdot V_m \quad (2.19)$$

$$N_{ii} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_i} = -P_i^{sp} - V_i^2 \cdot G_{ii} \quad (2.20)$$

$$N_{im} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_m} = -J_{ii} \quad (2.21)$$

$$L_{ii} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_i} = -Q_i^{sp} + V_i^2 \cdot B_{ii} \quad (2.22)$$

$$L_{im} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_m} = H_{im} \quad (2.23)$$

Αν ο μετρητής των ανακυκλώσεων της μεθόδου Newton – Raphson συμβολίζεται με  $k$ , τότε οι νέες εκτιμήσεις που προκύπτουν για τα μέτρα και τις γωνίες των τάσεων των ζυγών δίνονται από τις σχέσεις:

$$\theta_i^{(k+1)} = \theta_i^{(k)} + \Delta\theta_i^{(k)} \quad (2.24)$$

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \Delta V_i^{(k)} \quad (2.25)$$

Η διαδικασία για τη λύση των εξισώσεων ροής φορτίου με τη μέθοδο Newton – Raphson είναι η ακόλουθη:

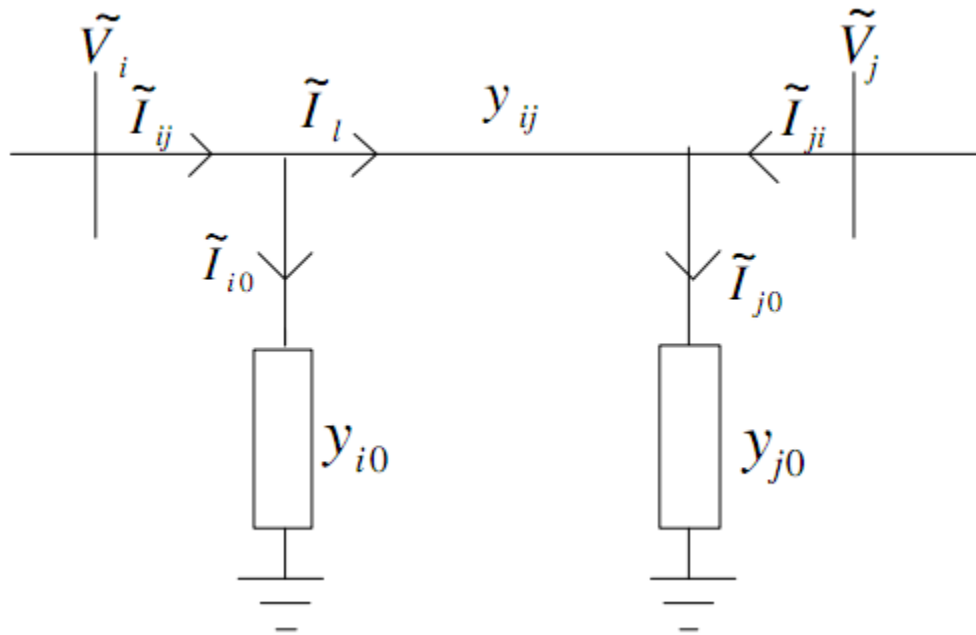
- Για τους ζυγούς φορτίου, όπου οι ισχείς  $P_i^{sp}$  και  $Q_i^{sp}$  είναι γνωστές, το μέτρο των τάσεων και οι γωνίες των φάσεων τίθενται ίσες με τις τιμές των ζυγών αναφοράς ή 1.0 και 0 αντίστοιχα, δηλαδή  $V_i^{(0)} = 1.0$  και  $\theta_i^{(0)} = 0$ . Για τους ζυγούς PV, όπου τα  $V_i$  και  $P_i^{sp}$  είναι γνωστά, οι γωνίες των φάσεων τίθενται ίσες με τη φάση του ζυγού αναφοράς ή 0, δηλαδή  $\theta_i^{(0)} = 0$ .
- Για τους ζυγούς φορτίου, οι  $P_i$  και  $Q_i$  υπολογίζονται από τις σχέσεις (2.9) και (2.13) αντίστοιχα.
- Τα στοιχεία του Ιακωβιανού πίνακα ( $H, N, J, L$ ) υπολογίζονται από τις (2.16) – (2.23).
- Η γραμμική εξίσωση (2.14) λύνεται απευθείας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης και απαλοιφής Gauss.
- Τα νέα μέτρα των τάσεων και οι νέες γωνίες φάσεων υπολογίζονται από τις (2.24) και (2.25).
- Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι οι  $\Delta P_i$  και  $\Delta Q_i$  να είναι μικρότερες από την προσδιορισμένη ακρίβεια, δηλαδή:

$$\begin{aligned} |\Delta P_i| &\leq \varepsilon \\ |\Delta Q_i| &\leq \varepsilon \end{aligned} \quad (2.26)$$

Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου Newton – Raphson είναι ο τετραγωνικός ρυθμός σύγκλισης, ο οποίος είναι ταχύτερος κάθε άλλης μεθόδου. Επίσης, αποτελεί μια πολύ αξιόπιστη μέθοδο που δεν επηρεάζεται από παράγοντες όπως η επιλογή του ζυγού ταλαντώσεως ή οι μικρές επαγωγικές αντιδράσεις μεταξύ των ζυγών. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αναγκαιότητα διαμόρφωσης και αντιστροφής του Ιακωβιανού πίνακα σε κάθε ανακύκλωση. Ένα άλλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι παρουσιάζει προβλήματα σύγκλισης όταν οι αρχικές υποθετικές τιμές των τάσεων διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματικές τιμές [2.3].

### 2.2.3 Υπολογισμός ροών ισχύος και απωλειών ισχύος

Μετά τη σύγκλιση της προσεγγιστικής μεθόδου επίλυσης του προβλήματος ροής φορτίο, είναι γνωστές οι τιμές των τάσεων κατά μέτρο και γωνία σε όλους τους ζυγούς του συστήματος. Οπότε, πλέον, είναι εφικτό να υπολογιστούν οι ροές ισχύος και οι απώλειες ισχύος σε όλες τις γραμμές του συστήματος. Έστω μια τυπική γραμμή του συστήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Με  $y_{ij}$  συμβολίζεται η αγωγιμότητα σειράς της γραμμής, ενώ με  $y_{i0}$ ,  $y_{j0}$  οι εγκάρσιες αγωγιμότητες.



**Σχήμα 2.1:** Γραμμή του συστήματος για υπολογισμό ροών ισχύος

Το ρεύμα γραμμής μεταξύ των ζυγών  $i$  και  $j$  υπολογίζεται με εφαρμογή του νόμου ρευμάτων Kirkchoff ως εξής:

$$\tilde{I}_{ij} = \tilde{I}_l + \tilde{I}_{i0} = y_{ij} \cdot (\tilde{V}_i - \tilde{V}_j) + y_{i0} \cdot \tilde{V}_i \quad (2.27)$$

Αντίστοιχα, το ρεύμα γραμμής μεταξύ των ζυγών  $j$  και  $i$  είναι:

$$\tilde{I}_{ji} = -\tilde{I}_l + \tilde{I}_{j0} = y_{ij} \cdot (\tilde{V}_j - \tilde{V}_i) + y_{j0} \cdot \tilde{V}_j \quad (2.28)$$

Η ροή μιγαδικής ισχύος  $\tilde{S}_{ij}$  από το ζυγό  $i$  προς το ζυγό  $j$  και η ροή της μιγαδικής ισχύος  $\tilde{S}_{ji}$  από το ζυγό  $j$  προς το ζυγό  $i$ , προκύπτουν ως εξής:

$$\tilde{S}_{ij} = \tilde{V}_i \cdot \tilde{I}_{ij}^* \quad (2.29)$$

$$\tilde{S}_{ji} = \tilde{V}_j \cdot \tilde{I}_{ji}^* \quad (2.30)$$

Οι απώλειες ισχύος της γραμμής υπολογίζονται από το αλγεβρικό άθροισμα των ροών μιγαδικής ισχύος των σχέσεων (2.29) και (2.30) και είναι:

$$\tilde{S}_{Lij} = \tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji} \quad (2.31)$$

Σημειώνεται, τέλος, ότι οι συνολικές απώλειες ισχύος του συστήματος υπολογίζονται από το άθροισμα των απωλειών ισχύος σε όλες τις γραμμές του συστήματος. Χωρίζοντας την εξίσωση των συνολικών απωλειών ισχύος σε πραγματικό και φανταστικό μέρος, προκύπτουν οι συνολικές απώλειες ενεργού και αέργου ισχύος αντίστοιχα του συστήματος.

$$\tilde{P}_{Ltotal} = \sum Re(\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}) \quad (2.32)$$

$$\tilde{Q}_{Ltotal} = \sum Im(\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}) \quad (2.33)$$

## **Βιβλιογραφία**

- [1.1]** B. K. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμος I, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985.
- [1.2]** H. Saadat, “Power Systems Analysis, second edition”, New York: McGraw – Hill, 1999.
- [1.3]** W. D. Stevenson, Jr., “Elements of Power System Analysis, third edition”, New York: McGraw – Hill, 1975.



### ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

#### 3.1. Εισαγωγή

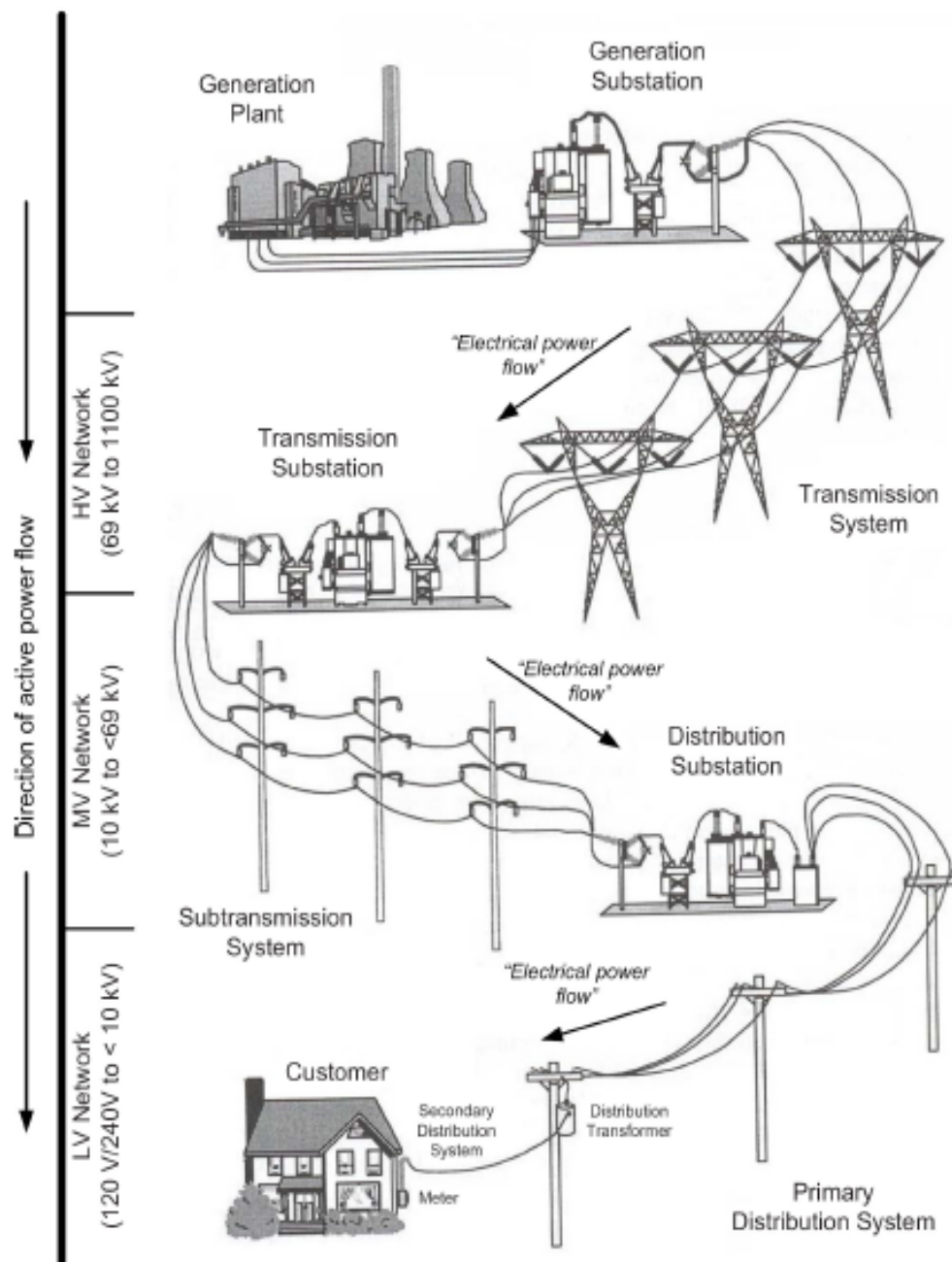
Ο γενικός στόχος ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στα φορτία, δηλαδή τους πελάτες, με ένα ασφαλές και αξιόπιστο τρόπο. Η παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι τρεις κύριες λειτουργίες του. Προς την επίτευξη αυτού του στόχου, λειτουργούν υπό τον περιορισμό που προκύπτει από τη μη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και καταναλώνεται στο σύστημα την ίδια στιγμή. Κατά συνέπεια, η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στον έλεγχο της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και στην προσαρμογή της στις διακυμάνσεις του φορτίου, σύμφωνα με τους περιορισμούς που καθορίζονται από τα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας.

#### 3.2. Ακτινικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας παραδοσιακά εξελίχθηκαν με μια ακτινική δομή, όπου η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από ένα μικρό αριθμό μεγάλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Αυτές οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής είναι συνήθως κατασκευασμένες σε απομακρυσμένες τοποθεσίες κοντά στις πηγές ενέργειας ή των οδών εφοδιασμού και σχετικά μακριά από τα κέντρα των φορτίων. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τις πηγές σε διεσπαρμένους τελικούς χρήστες με μια ιεραρχική δομή από την Υψηλή Τάση στα δίκτυα διανομής της Μέσης και Χαμηλής Τάσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Για να εξασφαλιστεί τόσο υψηλή ασφάλεια όσο και διαθεσιμότητα, κατασκευάζονται τα δίκτυα μεταφοράς με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν εναλλακτική δρομολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση σφάλματος. Τα δίκτυα διανομής είναι παθητικά συστήματα με ακτινική δομή που επιτρέπει την επιλεκτική προστασία. Σε αυτή τη δομή η ηλεκτρική ενέργεια ρέει από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο επίπεδο τάσης.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ακτινικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται κυρίως σε πρωτογενείς πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, στην περίπτωση των μεγάλων θερμοηλεκτρικών σταθμών ή στο φραγμένο νερό στην περίπτωση των υδροηλεκτρικών σταθμών. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι θερμοηλεκτρικών σταθμών: οι *σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα*, όπου από την καύση των ορυκτών καυσίμων μετατρέπεται η θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική και οι *πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας*, όπου η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιείται για την απελευθέρωση της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη μέσα στον πυρήνα του ατόμου. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται αργότερα για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης που κινεί έναν στρόβιλο και μια γεννήτρια.

Η χρήση ελεγχόμενων πηγών ενέργειας επιτρέπει τον ισχυρό έλεγχο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος. Σε όλες σχεδόν τις μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, οι σύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αυτές οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής σχηματίζουν τη λεγόμενη συμβατική παραγωγή με τρία κύρια χαρακτηριστικά: μεγάλη κλίμακα, δυνατότητα ελέγχου και ενιαία τεχνολογία παραγωγής. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς για τις διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορούμε να δούμε ότι, κατά το έτος 2000, η συμβατική παραγωγή παρείχε το 99% της συνολικής ισχύος,



**Εικόνα 3.1:** Ακτινικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας [3.1]

εκ των οποίων τα δύο τρίτα προέρχονται από θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ορυκτά καύσιμα).

| Region                     | Thermal | Hydro | Nuclear | Other/Renew | Total |
|----------------------------|---------|-------|---------|-------------|-------|
| North America              | 642     | 176   | 109     | 18          | 945   |
| Central/South America      | 64      | 112   | 2       | 3           | 181   |
| Western Europe             | 353     | 142   | 128     | 10          | 633   |
| Eastern Europe/Former USSR | 298     | 80    | 48      | 0           | 426   |
| Middle East                | 94      | 4     | 0       | 0           | 98    |
| Africa                     | 73      | 20    | 2       | 0           | 95    |
| Asia/Oceania               | 651     | 160   | 69      | 4           | 884   |
| Total                      | 2175    | 694   | 358     | 35          | 3362  |
| Percentage                 | 66.6    | 21.3  | 11.0    | 1.1         | 100   |

**Πίνακας 3.1:** Εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως

Αυτή η ακτινική δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας φέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η οικονομία κλίμακας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μείωση των απαιτούμενων περιθωρίων εφεδρείας της γεννήτριας για τις μεμονωμένες μονάδες, ελαχιστοποίηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας με μετατόπιση της παραγωγής σε μονάδες με διαφορετικές πρώτες ύλες, μείωση της καμύλης φορτίου λόγω της συγκέντρωσης των φορτίων σε υψηλότερα επίπεδα του συστήματος που επιτρέπεται μια πιο αποτελεσματική χρήση του εξοπλισμού παραγωγής, υψηλότερη ενεργειακή απόδοση σε μεγάλες μονάδες παραγωγής και λειτουργίας, μείωση του κινδύνου αποτυχίας λόγω της χρήσης εξοπλισμού διάφορων κατασκευαστών, ηλικίας, κτλ. [3.3].

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φέρει εγγενή μειονεκτήματα. Αυτά τα μειονεκτήματα, που έχουν σχέση και με κοινωνικοοικονομικούς και πολιτικούς λόγους, αποτελούν το κίνητρο για την ανάπτυξη ενός νέου σχεδίου μη συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση την αξιοποίηση των νέων και καταναεμημένων ενεργειακών πόρων.

### 3.3. Μειονεκτήματα συμβατικού τρόπου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

#### 3.3.1. Εξάντληση ορυκτών καυσίμων

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1, η παραγωγή ενέργειας από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς αντιστοιχεί στο 67% της εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως για το έτος 2000, ενώ η παραγωγή από πυρηνικής ενέργειας παρέχει ένα 11%. Οι πρώτες ύλες για αυτές τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, δηλαδή τα ορυκτά καύσιμα, εξάγονται από τα φυσικά αποθέματα. Ωστόσο τα αποθέματα αυτά δεν είναι άπειρα και θα εξαντληθούν σε μακροχρόνια βάση. Αυτό υπαγορεύει τη σταδιακή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής, δηλαδή ανεξάντλητων πηγών ενέργειας.

### **3.3.2. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου**

Από την άλλη πλευρά, οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων, όπως η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλείται από την αύξηση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα της γης, έδωσε περισσότερα κίνητρα για την αποσύνδεση της οικονομικής δραστηριότητας από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Το Πρωτόκολλο του Κιότο στη Σύμβαση του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή θεσπίστηκε για την επίτευξη της «απανθράκωσης» των ενεργειακών συστημάτων του μέλλοντος, που θα έχουν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

### **3.3.3. Πυρηνική Ενέργεια**

Η πυρηνική ενέργεια, αν και είναι ενεργειακά αποδοτική και δεν συνδέεται με εκπομπές οξειδίων του άνθρακα, είναι ενάντια στην κοινή γνώμη λόγω των αρνητικών επιπτώσεων των πυρηνικών αποβλήτων και το φόβο πυρηνικού ατυχήματος. Με εξαίρεση κάποιες αναδυόμενες περιοχές του πλανήτη, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες τεχνολογίες, θα μειωθεί τις επόμενες δεκαετίες καθώς οι παλιοί πυρηνικοί σταθμοί αποσύρονται χωρίς να αντικαθίστανται και Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γερμανία και η Σουηδία, έχουν θεσπίσει νόμους για τον παροπλισμό των υφιστάμενων πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής [3.2].

### **3.3.4. Υδροηλεκτρική Ενέργεια**

Οι μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν μια σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αν και τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα αποτελούν μια πολύ καλή λύση για κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες, στις ανεπτυγμένες χώρες το διαθέσιμο υδροδυναμικό έχει ήδη χρησιμοποιηθεί κατά ένα μεγάλο μέρος. Η κατασκευή φραγμάτων και λεκανών για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί την κάλυψη με νερό μεγάλων περιοχών και επηρεάζει τη ροή των ποταμών. Αυτά προκαλούν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και κοινωνικές αναταραχές που συχνά ξεπερνούν τα σύνορα μιας χώρας [3.2].

## **3.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)**

Η μετάβαση σε ένα μη συμβατικό ενεργειακό μείγμα στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται κατ' αρχάς με την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το πιο σημαντικό υποσύνολο της βιώσιμης ενέργειας είναι η ανανεώσιμη ενέργεια, που συνήθως ορίζεται ως «η ενέργεια από ένα ενεργειακό πόρο που αντικαθίσταται από μια φυσική διεργασία με ταχύτητα ίση ή και μεγαλύτερη από τον ρυθμό με τον οποίο ο πόρος καταναλώνεται». Οι ΑΠΕ εξασφαλίζουν την ενέργειά τους από την υπάρχουσα ροή ενέργειας μέσω φυσικών διαδικασιών, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, τα κύματα, η δύναμη από το νερό που τρέχει (υδροηλεκτρική ενέργεια), οι βιολογικές διεργασίες, όπως η βιομάζα και η γεωθερμική ροή ενέργειας. Οι περισσότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, εκτός από τη γεωθερμική και την παλιρροϊκή ενέργεια, τελικά προέρχονται από την ηλιακή ενέργεια. Η ενέργεια από βιομάζα προέρχεται από φυτικό υλικό που παράγεται από τη φωτοσύνθεση χρησιμοποιώντας την ενέργεια του ήλιου. Η αιολική ενέργεια προέρχεται από την αιολική δραστηριότητα, η οποία δημιουργείται από την άνιση θέρμανση της

ατμόσφαιρας από τον ήλιο. Η υδροηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από τη βροχή, η οποία δημιουργείται από την εξάτμιση του νερού μέσω του ηλιακού φωτός.

Οι ΑΠΕ έχουν δύο χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας: είναι από τη φύση τους κατανεμημένες και δεν μπορούν να ελεγχθούν. Αν και οι ΑΠΕ βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στη φύση, δεν είναι γεωγραφικά κατανεμημένες και παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε κάθε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Για την αξιοποίηση της ενέργειας αυτής θα πρέπει να εξαπλωθούν σε πολλές περιοχές του συστήματος μικρής κλίμακας μετατροπείς. Η πραγματική συνεισφορά των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο σύστημα είναι η άθροιση ενός μεγάλου αριθμού αυτών. Ανάλογα με το επίπεδο συγκέντρωσης, αυτές οι μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής μπορούν να συνδεθούν σε διαφορετικά επίπεδα τάσης στο σύστημα, συμπεριλαμβανομένου και του δικτύου διανομής. Η χρήση των ΑΠΕ εισάγει στο ενεργειακό μείγμα τη χρήση νέων πηγών ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, το κύματα και η υδροηλεκτρική ενέργεια από τη ροή των ποταμών. Η ισχύς των εν λόγω σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εξαρτάται κυρίως από τη διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας και όχι από το διαχειριστή του συστήματος. Άρα εισάγεται ένας βαθμός αβεβαιότητας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### **3.5. Απελευθέρωση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας**

Ιστορικά, η αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είχε ως επακόλουθο την κατασκευή νέων κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς και την επέκταση των υπάρχοντων συστημάτων διανομής. Ωστόσο οι λύσεις αυτές καθίστανται όλο και πιο δύσκολες λόγω του αυξημένου κόστους και της έλλειψης διαθέσιμου χώρου [3.2]. Αυτό το πρόβλημα σε συνδυασμό με την παγκόσμια τάση απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και της εισαγωγής νέων μορφών παραγωγής μικρής κλίμακας, όπως η συμπαραγωγή, οι μικροτουρμπίνες, οι κυψέλες καυσίμου [3.5] δημιούργησαν μια ώθηση προς την κατεύθυνση της χρήσης στο σύστημα των κατανεμημένων πηγών ενέργειας. Μια εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων του συστήματος μεταφοράς ήρθε με τη σύνδεση των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής. Επιπλέον ένα μη αυστηρά καθορισμένο περιβάλλον με αυξημένη πρόσβαση των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής προσφέρει καλύτερες δυνατότητες στις μονάδες παραγωγής μικρής κλίμακας, οι οποίες απαιτούν χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου και μείωση του χρόνου κατασκευής. Τα οφέλη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κοντά στην κατανάλωση περιλαμβάνουν την αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας για θέρμανση ή ψύξη (συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP), συμπαραγωγή) και η διαθεσιμότητα ισχύος σε περιόδους αιχμής όταν η ενέργεια από το δίκτυο δεν επαρκεί.

### **3.6. Μη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

#### **3.6.1. Είδη μη συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ανάπτυξη και εφαρμογή μη συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενθαρρύνεται από τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και πολιτικές δυνάμεις. Αυτά έχουν παρακινήσει την έρευνα για την προώθηση, την ανάπτυξη και την αύξηση

της χρήσης νέων, ανανεώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον μορφών ενέργειας. Η μη συμβατική παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνει εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η βιομάζα, η παλιρροϊκή και γεωθερμική ενέργεια και νέες τεχνολογίες παραγωγής όπως η κυψέλη καυσίμου, η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, η μικροτουρμπίνα καθώς και μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής ορυκτών καυσίμων. Τα βασικά είδη μη συμβατικής παραγωγής παρουσιάζονται σύντομα παρακάτω.

#### **3.6.1.1. Μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων**

Αυτός ο τύπος μη συμβατικών μονάδων παραγωγής αναφέρεται σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων των μερικών kW μέχρι 100 MW [3.5] [3.7] [3.2]. Οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης και οι αεριοστρόβιλοι είναι η πιο κοινή τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αυτή την τεχνολογία.

Οι παλινδρομικές μηχανές χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος κεφαλαίου, δυνατότητα θερμικής και ηλεκτρικής συμπαραγωγής, ευελιξία και υψηλή αξιοπιστία. Ωστόσο η χρήση τέτοιων γεννητριών δημιουργεί τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού [3.2]. Οι εκπομπές βέβαια μπορούν να μειωθούν σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση του φυσικού αερίου. Επιπλέον, ο μεγάλος αριθμός κινητών μερών δημιουργεί ηχορύπανση (που είναι δύσκολα να ελεγχθεί) και αυξάνει το κόστος συντήρησης.

Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία. Στη βιομηχανία πετρελαίου, τα αέρια από τα κοιτάσματα πετρελαίου συχνά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [3.2]. Η χρήση του φυσικού αερίου στους αεριοστρόβιλους συνδέεται με χαμηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με τις παλινδρομικές μηχανές. Η χρήση των αεριοστρόβιλων ενθαρρύνθηκε περισσότερο με την ανάπτυξη των μικροστρόβιλων.

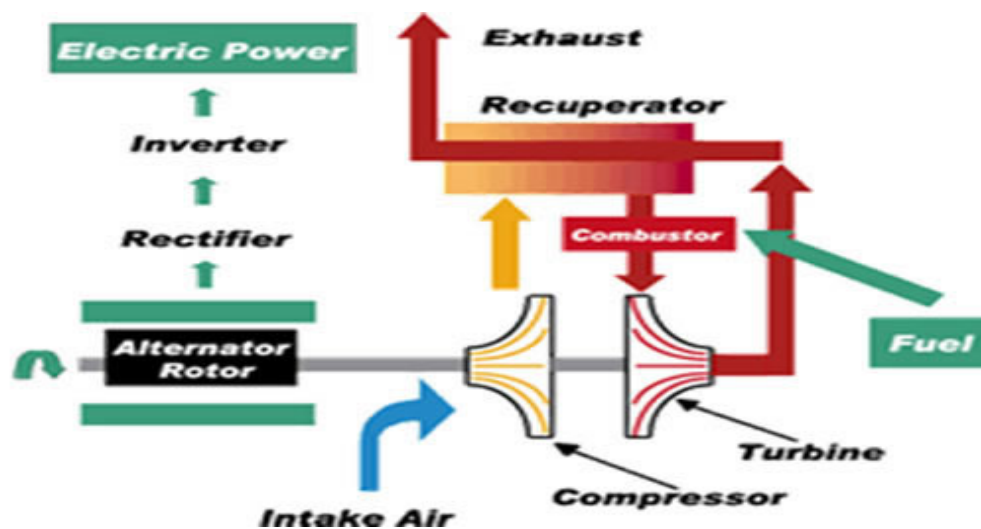
#### **3.6.1.2. Μικροτουρμπίνα**

Μια μικροτουρμπίνα παράγει ηλεκτρική ενέργεια στην περιοχή των 25 – 500 kW. Αποτελείται από μια τουρμπίνα αερίου (gas turbine), ένα συμπιεστή (compressor) και μια ηλεκτρική γεννήτρια, που λειτουργεί σε υψηλή ταχύτητα περιστροφής (50000 έως 120000 rpm). Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με μια συχνότητα της τάξης των 10000Hz. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας για την σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο. Μέσω των ηλεκτρονικών ισχύος, η ηλεκτρική ισχύς υψηλής συχνότητας μετατρέπεται σε DC πριν μετατραπεί πάλι σε χαμηλής συχνότητας AC ρεύμα. Οι περισσότερες μικροτουρμπίνες κάνουν χρήση του φυσικού αερίου. Κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από χαμηλά επίπεδα εκπομπών. Η χρήση ΑΠΕ, όπως το βιοαέριο είναι δυνατή και καθιστά το μικροστρόβιλο ακόμη πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Δέχονται, επίσης, για τη λειτουργία τους και πολλά άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, diesel και κηροζίνη. Τέλος, το χαμηλό κόστος κεφαλαίου, η υψηλή απόδοση και αντοχή, και ο χαμηλός θόρυβος ενθαρρύνουν τη χρήση της μικροτουρμπίνας [3.8].

Οι μικροτουρμπίνες είναι περιστροφικές μηχανές που παράγουν ενέργεια από τη ροή αερίου υπό πίεση. Αποτελούνται από έναν συμπιεστή που συνδέεται με μια τουρμπίνα αερίου μεγάλης ταχύτητας, η οποία οδηγεί μια ενσωματωμένη ηλεκτρική γεννήτρια, που

λειτουργεί σε υψηλή ταχύτητα, μέσω ενός θαλάμου καύσης. Μπορούν να λειτουργήσουν με τη μέθοδο του απλού κύκλου ή της ανάκτησης θερμότητας.

Σε έναν στρόβιλο απλού κύκλου, χωρίς ανάκτηση, μέσα στον καυστήρα (ignitor) προστίθεται ενέργεια στο ρεύμα αερίου, αέρας αναμιγνύεται με καύσιμο και αναφλέγεται. Η καύση αυξάνει την θερμοκρασία, την πτητικότητα και τον όγκο του αερίου. Αυτό κατευθύνεται προς τις λεπίδες της τουρμπίνας, περιστρέφοντάς τη και ενεργοποιώντας το συμπιεστή. Οι μικροτουρμπίνες απλού κύκλου έχουν χαμηλότερο κόστος, υψηλότερη αξιοπιστία και περισσότερη θερμότητα διαθέσιμη για τις εφαρμογές συμπαραγωγής, από ότι οι μονάδες ανάκτησης θερμότητας.



**Εικόνα 3.2:** Διάγραμμα λειτουργίας της μικροτουρμπίνας

Οι μονάδες ανάκτησης θερμότητας χρησιμοποιούν έναν εναλλάκτη θερμότητας (recuperator) από φύλλα μετάλλου, που ανακτά τμήμα της θερμότητας από το ρεύμα αέρα που κατευθύνεται προς την εξάτμιση και το μεταβιβάζει στο εισερχόμενο κρύο ρεύμα αέρα. Ο προθερμασμένος αέρας στη συνέχεια, περνάει στον καυστήρα (combustor), όπου αναμειγνύεται με καύσιμο, αναφλέγεται και καίγεται. Η προθέρμανση του αέρα, μειώνει την ποσότητα των απαιτούμενων καυσίμων για την αύξηση της θερμοκρασίας του στο απαραίτητο επίπεδο στην είσοδο του στρόβιλου. Ο αναφλεκτήρας (ignitor) χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και από εκεί και πέρα η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Το αέριο από τον καυστήρα περνάει από το στόμιο της τουρμπίνας και από τον τροχό της τουρμπίνας, μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια των καυτών διεσταλμένων αερίων σε στρεφόμενη μηχανική ενέργεια της τουρμπίνας. Η τουρμπίνα οδηγεί το συμπιεστή και τη γεννήτρια. Τα αέρια που εξέρχονται από την τουρμπίνα κατευθύνονται πάλι πίσω μέσω του εναλλάκτη θερμότητας, έξω στη θερμαντική στήλη, για την παραγωγή θερμότητας για τους χρήστες.

Ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια στις μονάδες ανάκτησης θερμότητας έχει υψηλότερη τιμή από τις μονάδες χωρίς ανάκτηση και, επιπλέον, οι πρώτες

μπορούν να κάνουν εξοικονόμηση καυσίμων σε ποσοστό 30 με 40%, από τη διαδικασία της προθέρμανσης.

Μερικές μικροτουρμπίνες δίνουν τη δυνατότητα να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τη θερμότητα των αερίων εξάτμισης. Η θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρατμών που διαφεύγουν μέσω ενός δεύτερου συνόλου λεπίδων στροβίλου, που περιστρέφουν μια δεύτερη ηλεκτρική γεννήτρια. Αυτά τα συστήματα είναι πολύ μεγαλύτερα και ακριβότερα, αλλά λειτουργούν αποτελεσματικότερα.

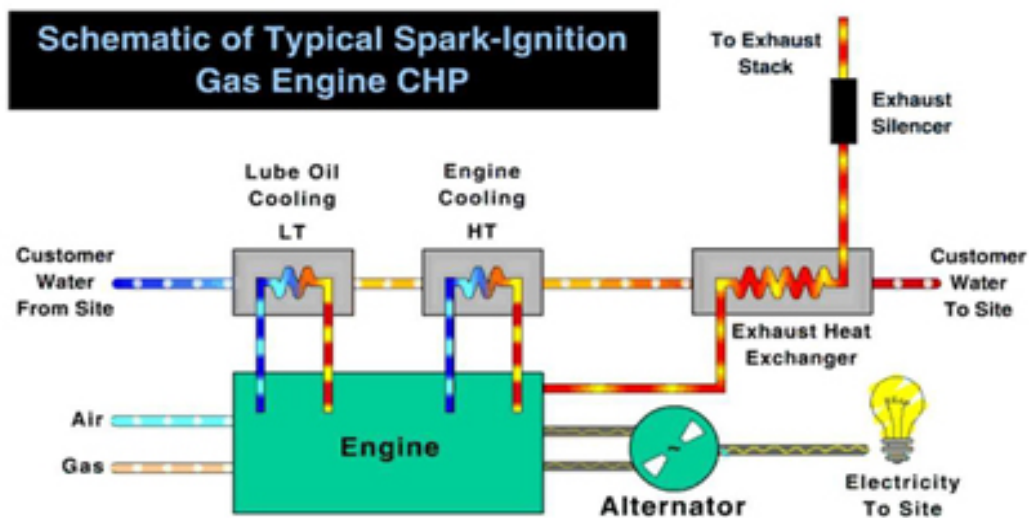
### **3.6.1.3. Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)**

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, ή αλλιώς γνωστή ως συμπαραγωγή, είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρήσιμης θερμικής ενέργειας. Παλινδρομικοί κινητήρες, αεριοστρόβιλοι και μικροστρόβιλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ΣΗΘ. Οι μονάδες συμπαραγωγής βασίζονται σε μεγάλη κλίμακα στα ορυκτά καύσιμα. Η «αποβαλλόμενη θερμότητα», αποτέλεσμα της ηλεκτροπαραγωγής, χρησιμοποιείται σε άλλες εφαρμογές. Με αυτή τη μέθοδο, η απόδοση ενός σταθμού συμπαραγωγής μπορεί να είναι γύρω στο 85%. Σε μικρότερες μονάδες συμπαραγωγής, η θερμότητα κυριαρχεί της διαδικασίας και ο ηλεκτρισμός είναι το υποπροϊόν [3.2] [3.7].

Πιο αναλυτικά, ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τέσσερα στοιχεία [3.24]:

- Τον κινητήρα (prime mover), ο ρόλος του οποίου είναι να κινεί τη γεννήτρια και μπορεί να είναι ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένου κύκλου, κυψέλες καυσίμου, μηχανή Stirling ή microturbine.
- Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας, το οποίο αποτελεί σύστημα που ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).
- Τη γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη, ασύγχρονη ή αυτοδιεγερόμενη ασύγχρονη, και παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Το σύστημα ελέγχου μέσω του οποίου διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής.





**Εικόνα 3.3:** Σύστημα συμπαραγωγής με καύσιμη ύλη φυσικό αέριο

Ως ενεργειακή πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε καύσιμο. Σήμερα, ωστόσο, και στο πλαίσιο της προσπάθειας εξοικονόμησης ενέργειας, φυσικών πόρων και προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ΑΠΕ, κρίνεται αποδοτικότερη και συμφέρουσα η χρήση καυσίμων, όπως της βιομάζας και του φυσικού αερίου, που είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον. Το φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με άλλα καύσιμα, π.χ. το ελαφρύ και το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ), όπως η καθαρότητα και η ποιότητα του, που συντελούν στην πιο αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία της μονάδας, με ευνοϊκές επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής της και στις δαπάνες συντήρησης. Επιπλέον, με τη χρήση του φυσικού αερίου λύνονται τα προβλήματα προμήθειας και αποθήκευσης που παρουσιάζονται με τη χρησιμοποίηση άλλων καυσίμων, υγρών και στερεών, καθώς και το φυσικό αέριο διανέμεται στα σημεία κατανάλωσης με ευθύνη της εταιρείας αερίου. Τέλος, το φυσικό αέριο αναμιγνύεται εύκολα με τον ατμοσφαιρικό αέρα πράγμα που το καθιστά σχεδόν ακίνδυνο, ενώ τα προϊόντα της καύσεως του είναι ελεύθερα θείου που σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας που επέρχεται με τη μέθοδο της συμπαραγωγής, οδηγούν σε σημαντική μείωση αέριων ρυπαντών, όπως τα  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  και  $\text{SO}_x$ .

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, δηλαδή οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή, είναι οι ακόλουθοι [3.25]:

- *Παραγωγή θερμότητας ίση με το θερμικό φορτίο (Heat Match):*  
Εάν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια περισσότερη από το φορτίο, η περίσσεια πωλείται στο εθνικό δίκτυο.
- *Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο (Electricity Match):*  
Βοηθητικό λέβητας συμπληρώνει τις πρόσθετες ανάγκες σε θερμότητα, εάν χρειαστεί. Επίσης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ψυγείων ικανών να αποβάλουν την περίσσεια θερμότητα, εάν προκύψει ανάγκη.
- *Μικτός τρόπος:*  
Παρακολουθήση άλλοτε του θερμικού φορτίου και άλλοτε του ηλεκτρικού.

- *Αυτόνομη λειτουργία:*

Έχουμε πλήρη κάλυψη του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή, χωρίς σύνδεση με το εθνικό δίκτυο. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας απαιτεί επαρκή εφεδρεία και επομένως περίπλοκο σύστημα συμπαραγωγής. Συνεπώς είναι η πιο ακριβή λύση, τουλάχιστον από πλευράς αρχικού επενδυτικού κόστους

Γενικά, χωρίς όμως να λείπουν οι εξαιρέσεις, ο πρώτος τρόπος προσφέρει την υψηλότερη ενεργειακή και οικονομική απόδοση για συστήματα στο βιομηχανικό και τον εμπορικό τομέα. Η τελική, όμως, επιλογή του τρόπου λειτουργίας εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου, τις διαθέσιμες μονάδες καθώς και τις υποχρεώσεις απέναντι στους καταναλωτές.

Για την εκτίμηση των ενεργειακών επιδόσεων των μονάδων συμπαραγωγής χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μεγέθη:

- **Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:**

$$n_{el} = \frac{Q_E}{W_F} \quad (3.1)$$

Όπου:

$Q_E$ : Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (kW)

$W_F$ : Η ισχύς καυσίμου που καταναλώνεται στο σύστημα (kW)

- **Θερμικός βαθμός απόδοσης:**

$$n_{th} = \frac{Q_{th}}{W_F} \quad (3.2)$$

Όπου:

$Q_{th}$ : Παραγόμενη θερμική ισχύς (kW)

$W_F$ : Η ισχύς καυσίμου που καταναλώνεται στο σύστημα (kW)

- **Ολικός βαθμός απόδοσης – Συντελεστής χρησιμοποίησης ενέργειας (Energy Utilization Factor, EUF):**

$$EUF = \frac{Q_E + Q_{th}}{W_F} \quad (3.3)$$

- Λόγος θερμότητας προς ηλεκτρική ισχύ (Heat to Power Ration, HPR):

$$HPR = \frac{Q_{th}}{Q_E} \quad (3.4)$$

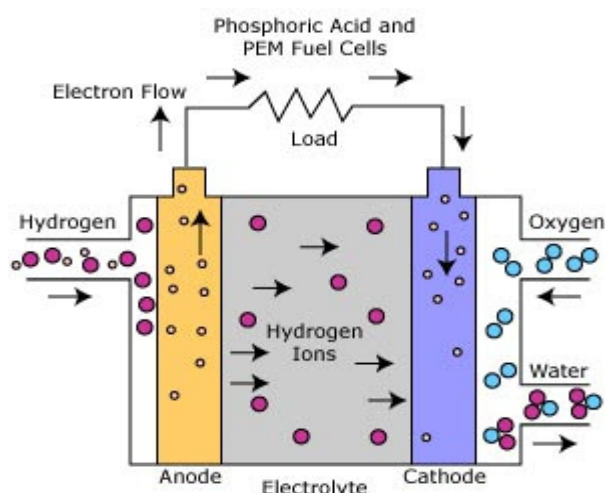
Υπάρχουν δύο λόγοι HPR, όπου ο ένας αφορά το κινητήριο σύστημα και ο δεύτερος το φορτίο.

#### 3.6.1.4. Κυψέλες καυσίμου

Ακριβώς όπως μια μπαταρία μια κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μιας χημικής αντίδρασης. Ωστόσο είναι σχεδιασμένη για συνεχή τροφοδοσία των αντιδραστηρίων που καταναλώνονται, παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας εξωτερικής παροχής καυσίμου στην άνοδο (συνήθως υδρογόνο) και οξυγόνου στην κάθοδο και σε αντίθεση με την μπαταρία δεν έχει περιορισμένη ενεργειακή χωρητικότητα.

Για να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου χρησιμοποιείται ένας καταλύτης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο) υψηλής αγωγιμότητας (π.χ. πλατίνα), χωρίς να επηρεάζει την άνοδο ή την κάθοδο. Ο καταλύτης είναι συνήθως μια σκληρή και πορώδης σκόνη που καλύπτεται από χαρτί άνθρακα ή ύφασμα έτσι ώστε η μέγιστη δυνατή επιφάνεια να είναι εκτεθειμένη στο υδρογόνο ή το οξυγόνο.

Όταν το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι καθαρό υδρογόνο, τα μόνα παράγωγα της διεργασίας αυτής είναι ηλεκτρικό ρεύμα, καθαρό νερό και θερμότητα. Αν το υδρογόνο παράγεται με ηλεκτρόλυση νερού με τη βοήθεια ΑΠΕ τότε η εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως εγκατάσταση ΑΠΕ. Αν και το καταλληλότερο καύσιμο για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου είναι το καθαρό υδρογόνο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα άλλα καύσιμα που είναι φορείς υδρογόνου. Τέτοιοι φορείς είναι η αμμωνία, το φυσικό αέριο, παράγωγα πετρελαίου, το υγρό προπάνιο και η βιομάζα. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται συνηθέστερα είναι το φυσικό αέριο.



Εικόνα 3.4: Λειτουργία κυψέλης καυσίμου υδρογόνου

Ανάλογα με τον τύπο ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται υπάρχουν διάφορα είδη κυψελών καυσίμου:

- Πολυμερών ηλεκτρολυτών (PEMFC)
- Φωσφορικού οξέος (PAFC)
- Τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC)
- Στερεών οξειδίων (SOFC)
- Άμεσης μεθανόλης (DMFC)
- Αλκαλικές (AFC)

Οι τεχνολογίες αυτές είναι σε διαρκή εξέλιξη για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους, τη μείωση του κόστους τους, αλλά και την ασφαλή αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου που χρησιμοποιούν, με τις τέσσερις πρώτες να έχουν περισσότερες εφαρμογές στον τομέα της διεσπαρμένης παραγωγής.

Μια κυψέλη καυσίμου παράγει μικρά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ μεγαλύτερα ποσά μπορούν να λαμβάνονται από μια στοίβα κυψελών [3.9]. Οι κυψέλες καυσίμου είναι πολύ αποδοτικές, περίπου 80%, και επειδή η εκπομπή τους είναι μόνο καθαρό νερό (στην περίπτωση που το καύσιμο είναι υδρογόνο) είναι πολύ φιλικές για το περιβάλλον. Είναι φορητές και δεν δημιουργούν ηχορύπανση, καθώς δε διαθέτουν κινητά μέρη. Στο μέλλον τα ηλεκτρικά δίκτυα μπορούν να συνδυαστούν με υποδομές αερίου και υδρογόνου. Μια τέτοια εξέλιξη θα αυξήσει περαιτέρω την εφαρμογή των κυψελών καυσίμου [3.10].

#### **3.6.1.5. Γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλεύονται την ενέργεια από τα επιφανειακά ή βαθύτερα στρώματα των γεωλογικών σχηματισμών και του υπογείου ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα της Γης. Η γεωθερμικής ενέργειας αναφέρεται συχνά ως μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, η θερμότητα όμως μπορεί τελικά σε οποιαδήποτε θέση να εξαντληθεί, γι' αυτό τεχνικά δεν ανήκει απόλυτα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε γενικές γραμμές ανάλογα με το ποσοστό εκχύλισης, ένα πεδίο μπορεί να παραμείνει παραγωγικό για μια περίοδο από 10 έως 100 χρόνια. Ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί ελάχιστη γη και δεν απαιτεί ανασκαφή, μεταφορά και αποθήκευση. Τέλος δεν παράγεται κανένας ρύπος και αν παραχθεί οποιοδήποτε ανεπιθύμητο προϊόν αυτό τοποθετείται υπόγεια .

#### **3.6.1.6. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα**

Με τον όρο βιομάζα αναφερόμαστε στο βιολογικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή για τη βιομηχανική παραγωγή. Περιλαμβάνει την ξηρή ή μη βλάστηση και τα δέντρα, τα αστικά λύματα, τα ζωικά απόβλητα, τα δασικά και γεωργικά υπολείμματα καθώς και ορισμένους τύπους βιομηχανικών αποβλήτων. Η βιομάζα θεωρείται υποκατάστατο των ορυκτών αποβλήτων. Πρακτικά η βιομάζα μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, υγρό, στερεό ή αέριο καύσιμο και άλλα χημικά προϊόντα μέσω μιας ποικιλίας διεργασιών. Αυτές οι τελευταίες μορφές

στη συνέχεια θα μετατραπούν σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε γενικές γραμμές, η ηλεκτρική ενέργεια είναι άφθονη και μπορεί να θεωρηθεί ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας [3.12].

#### 3.6.1.7. Μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια

Ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την κίνηση μιας μάζας νερού από ένα υψηλό επίπεδο σε ένα χαμηλότερο. Αυτή η κίνηση του νερού μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, μέσω της ροής ενός ποταμού ή μέσω της κατακράτησης της ροής του ποταμού. Ένα μικρό υδροηλεκτρικό εργοστάσιο παράγει ισχύ μέχρι 10 MW. Σήμερα η τεχνολογία των υδροηλεκτρικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει ωριμάσει. Ένα μικρό υδροηλεκτρικό εργοστάσιο έχει λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και το οικοσύστημα, σε σχέση με ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό σταθμό, και είναι εύκολο να οικοδομηθεί σε ένα σύντομο χρονοδιάγραμμα κατασκευής. Μόλις κατασκευαστεί, το κόστος συντήρησης του είναι ελάχιστο. Επειδή δεν υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα ισχύος, η ισχύς εξόδου σε μια μικροτουρμπίνα επιτυγχάνεται σχεδόν κατευθείαν από τη ροή του νερού (την κινητήρια δύναμη σε ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο) [3.13]. Έτσι, μια απλή έκφραση της ισχύος εξόδου ενός υδροηλεκτρικού σταθμού είναι [3.14]:

$$P = QH\eta\rho g \quad (3.5)$$

όπου,

- P: ισχύς εξόδου υδροηλεκτρικού εργοστασίου (W)
- Q: ροή νερού ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )
- H: αποτελεσματικό ύψος (m)
- $\eta$ : συνολική απόδοση
- $\rho$ : πυκνότητα νερού ( $\text{kg m}^{-3}$ )
- g: επιτάχυνση της βαρύτητας ( $\text{m/s}^2$ )

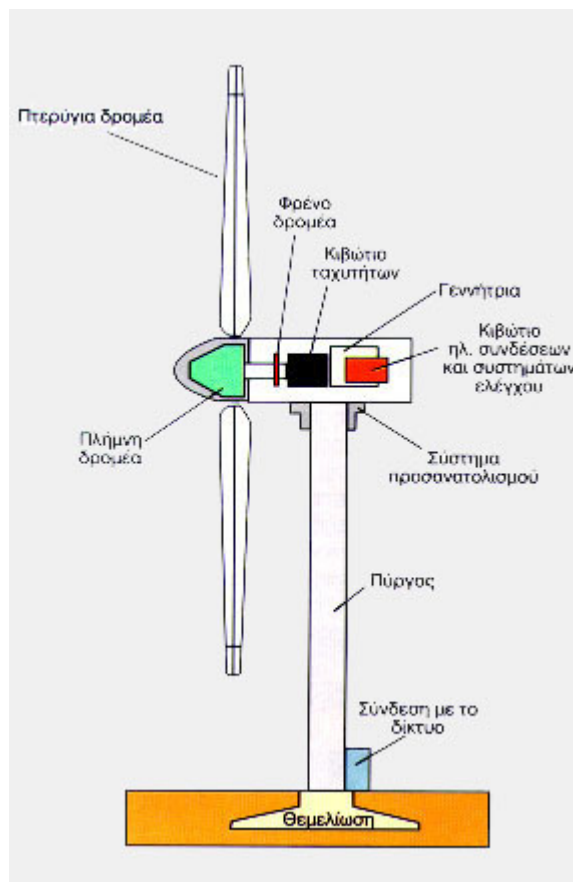
Στους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, τα H,  $\eta$ ,  $\rho$  και g είναι ντετερμινιστικά και σταθερά. Ένα μειονέκτημα των μικρών υδροηλεκτρικών εργοστασίων είναι, ότι έχουν μικρή αποθηκευτική ικανότητα, γι' αυτό ενδέχεται να αντιμετωπίσουν μια πολύ μεγάλη διακύμανση στη διαθέσιμη ροή νερού (Q) και επομένως στην ισχύ εξόδου (P).

#### 3.6.1.8. Ανεμογεννήτριες

Μια ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου που περνά μέσα από τις λεπίδες της. Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις πλέον υποσχόμενες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των ανεμογεννητριών έγκειται στην άπειρη διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας, τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το ανταγωνιστικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [3.3].

Κάθε ανεμογεννήτρια αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα [3.26]:

- Τον πύργο
- Την έλικα με δύο ή τρία πτερύγια
- Το κιβώτιο ταχυτήτων (πολλαπλασιαστή στροφών)
- Το μηχανισμό ελέγχου του βήματος των πτερυγίων
- Το μηχανισμό περιστροφής και προσανατολισμού
- Το μηχανικό φρένο
- Τη γεννήτρια
- Τον ηλεκτρικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου



**Εικόνα 3.5:** Δομή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα [3.27]

Η ενέργεια που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια (με την προϋπόθεση ότι η ταχύτητα του ανέμου  $u$  είναι μεταξύ των τιμών  $4 < u < 12 \text{ m/s}^2$ ) μπορεί να εκφραστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho u^3 A \quad (3.6)$$

όπου

$$C_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{u}{u_o} \right) \left[ 1 - \left( \frac{u}{u_o} \right)^2 \right] \quad (3.7)$$

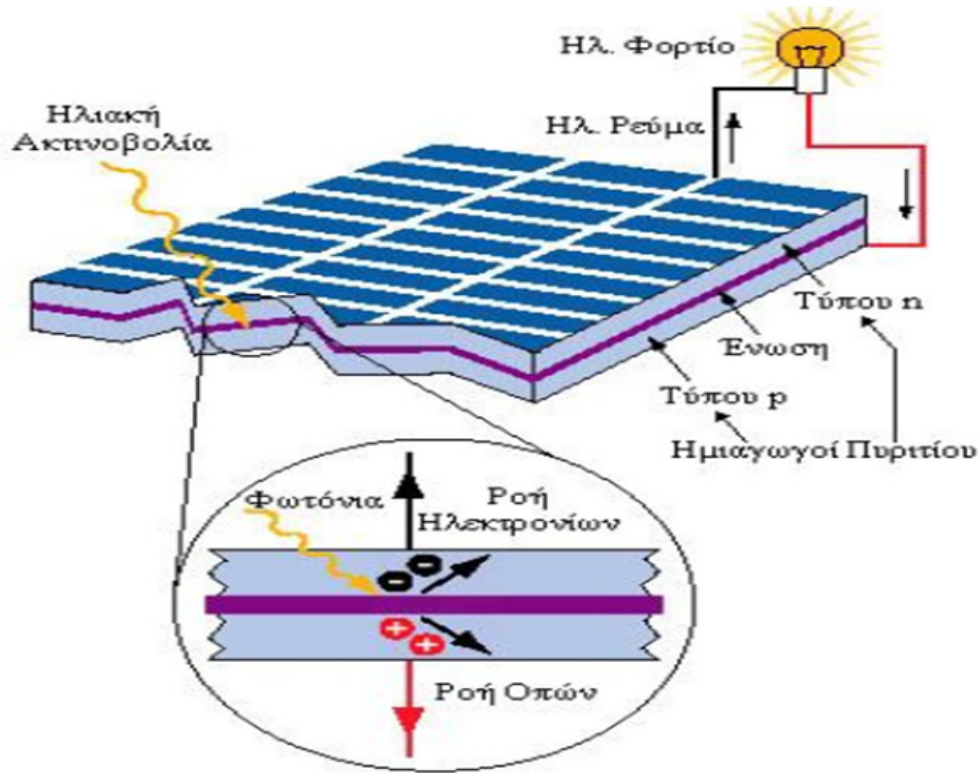
όπου

- P: ισχύς εξόδου (W)  
C<sub>p</sub>: αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος  
ρ: πυκνότητα αέρα (kg/m<sup>3</sup>)  
u: ταχύτητα αέρα (m/s)  
A: επιφάνεια δρομέα (π R<sup>2</sup>) (m<sup>2</sup>)

Στην πράξη, τα ρ, A και c<sub>p</sub> είναι ντετερμινιστικές σταθερές τιμές. Έτσι, η ισχύς που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια χαρακτηρίζεται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου από μόνη της έχει μια στοχαστική συμπεριφορά, οποιαδήποτε ταχύτητα του ανέμου μπορεί να συμβεί οποιαδήποτε στιγμή. Επιπλέον, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι κάτω από το επιτρεπόμενο ελάχιστο ή πάνω από το μέγιστο (το επιτρεπόμενο όριο είναι 4 < u < 12 m/s<sup>2</sup>), η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας είναι 0. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παράγεται μια στοχαστική ισχύς εξόδου.

### 3.6.1.9. Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας μετατρέπουν απευθείας το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια [3.15]. Ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγών με ειδικές φυσικές ιδιότητες. Αυτά τα στρώματα ημιαγωγών διατάσσονται με τέτοιο τρόπο, ώστε όταν το φωτοβολταϊκό κύτταρο εκτίθεται στο φως τα φωτόνια αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς μια κατεύθυνση δημιουργώντας έτσι ένα συνεχές ρεύμα.



**Εικόνα 3.6:** Μηχανισμός εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Το κόστος των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων εξακολουθεί να είναι υψηλό. Ωστόσο το κόστος κεφαλαίου ανά Watt έχει μειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Η χρήση των φωτοβολταϊκών ενθαρρύνεται από την άπειρη διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, τον σύντομο σχεδιασμό και εκκίνηση λειτουργίας, τη μεγάλη διάρκεια ζωής και την απλή συντήρηση.

Η ισχύς που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά δίνεται από [3.15]:

$$P = \eta \cdot (E_{ed} \cdot A_{PV \text{ total}} + E_{es} \cdot A_{PV \text{ with sun}}) \quad (3.8)$$

Όπου

$$A_{PV \text{ with sun}} = (\vec{S} \times \vec{P}) \times A_{PV \text{ total}} \quad (3.9)$$

και

$$\vec{S} = [S_x S_y S_z], |\vec{S}| = 1 \quad (3.10)$$

$$\vec{P} = [P_x P_y P_z], |\vec{P}| = 1 \quad (3.11)$$



$$\vec{S}_x = \cos(\theta) \times \cos(a_{sun}) \quad (3.12)$$

$$\vec{S}_y = \cos(\theta) \times \sin(a_{sun}) \quad (3.13)$$

$$\vec{S}_z = \sin(\theta) \quad (3.14)$$

$$\vec{P}_x = \cos(\beta) \times \cos(a_{panel}) \quad (3.15)$$

$$\vec{P}_y = \cos(\beta) \times \sin(a_{panel}) \quad (3.16)$$

$$\vec{P}_z = \sin(\beta) \quad (3.17)$$

όπου

- $P$ : ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκού (W)
- $\eta$ : συνολική απόδοση φωτοβολταϊκού
- $E_{ed}$ : διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (W/m<sup>2</sup>)
- $E_{es}$ : άμεση ηλιακή ακτινοβολία (W/m<sup>2</sup>)
- $\vec{S}$ : προσανατολισμός του ήλιου
- $\vec{P}$ : προσανατολισμός panel
- $\theta$ : γωνία πρόσπτωσης του ήλιου (rad)
- $a_{sun}$ : αζιμούθια γωνία του ήλιου (rad)
- $\beta$ : γωνία πρόσπτωσης του panel (rad)
- $a_{panel}$ : αζιμούθια γωνία του panel (rad)

Στην πράξη τα  $A_{PV\ total}$ ,  $\eta$ ,  $\beta$  και  $a_{panel}$  είναι ντετερμινιστικά και σταθερά. Συνεπώς, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χαρακτηρίζεται από τα  $E_{ed}$ ,  $E_{es}$ ,  $\theta$  και  $a_{sun}$ , που μεταβάλλονται ανάλογα με την ημέρα και την εποχή. Οι αλλαγές του καιρού και η κίνηση των σύννεφων επηρεάζουν ιδιαίτερα τις μεταβλητές  $E_{ed}$  και  $E_{es}$  και κατά συνέπεια την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι στοχαστική.

### 3.6.1.10. Παλιρροϊκά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η παλιρροϊκή ενέργεια προέρχεται από τις βαρυτικές δυνάμεις έλξης μεταξύ της γης και της σελήνης και ανάμεσα στη γη και στον ήλιο. Η ενέργεια εξάγεται είτε άμεσα με την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των ρευμάτων λόγω των παλιρροιών ή χρησιμοποιώντας μια δεξαμενή που εκμεταλλεύεται τη δυναμική ενέργεια από τη διαφορά ύψους μιας μάζας νερού η οποία αρχικά ανεβαίνει και στη συνέχεια κατεβαίνει. Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με προπέλες μεγάλων διαμέτρων. Στη δεύτερη τεχνική, ένα τεράστιο φράγμα που λέγεται «μπαράζ» είναι χτισμένο στις εκβολές ενός ποταμού. Όταν η παλίρροια πηγαίνει μέσα και έξω, το νερό ρέει μέσα από τις σήραγγες του φράγματος. Η άμπωτη και η πλημμυρίδα της παλίρροιας χρησιμοποιούνται για τη στρέψη της γεννήτριας. Όταν η παλίρροια έρχεται μέσα στην ακτή, ένα τμήμα του νερού παγιδεύεται πίσω από το φράγμα.

Αργότερα στην άμπωτη όταν πέφτει η στάθμη του νερού, το φράγμα του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως ακριβώς ένα φράγμα ενός υδροηλεκτρικού σταθμού [3.16].

Η παλιρροιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα παλιρροϊκά εργοστάσια παραγωγής δεν παράγουν ρύπους. Επιπλέον δεν μπορούν να προκαλέσουν καμία ουσιαστική αλλαγή του φυσικού ρυθμού του παλιρροιακού κύκλου ούτε πλημμύρα του γειτονικού χώρου. Αυτοί οι παράγοντες ενθαρρύνουν την κατασκευή παλιρροϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά ένα τέτοιος σταθμός θα πρέπει να κατασκευαστεί προσεκτικά, αφού πρώτα ληφθούν υπόψη οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η ισχύς εξόδου μιας γεννήτριας που λειτουργεί μέσω νερού που ρέει, δίνεται από τον παρακάτω τύπο [3.17]:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho u^3 A$$

όπου,

$P$ : ισχύς εξόδου (W)

$C_p$ : συντελεστής ισχύος (το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να εξάγει η τουρμπίνα σε σχέση με το νερό που ρέει)

$\rho$ : πυκνότητα του νερού ( $\text{kg/m}^3$ )

$u$ : ταχύτητα του νερού (m/s)

$A$ : επιφάνεια δρομέα γεννήτριας ( $\pi R^2$ ) ( $\text{m}^2$ )

Στην πράξη, τα  $\rho$ ,  $A$  και  $C_p$  είναι ντετερμινιστικές σταθερές τιμές. Έτσι, η ισχύς που παράγεται από ένα παλιρροϊκό σταθμό παραγωγής εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του νερού. Η παλίρροια, που δεν είναι συνεχής, επηρεάζει την παραγωγή του σταθμού.

### 3.6.1.11. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μέσω της κυματικής ενέργειας

Τα κύματα δημιουργούνται στην επιφάνεια των ωκεανών λόγω των ανέμων, οι οποίοι με τη σειρά τους οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης. Η κυματική ενέργεια είναι ουσιαστικά συμπληρωματική της παλιρροϊκής ενέργειας, χρησιμοποιεί όμως την επάνω – κάτω κίνηση των κυμάτων στην επιφάνεια της θάλασσας, αντί για την εμπρός – πίσω. Ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής που αξιοποιεί την κυματική ενέργεια, μετατρέπει την ενέργεια των κυμάτων σε ενέργεια ηλεκτρική.

Τέτοιοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής προωθούνται στην ηλεκτροπαραγωγή, καθώς η κυματική ενέργεια υπάρχει σε αφθονία παντού στον κόσμο. Είναι μια μη ρυπογόνα, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που μπορεί να ηλεκτροδοτήσει ακόμη και τις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Ωστόσο, ακριβώς όπως οι σταθμοί που αξιοποιούν την παλιρροϊκή ενέργεια, πρέπει ο σχεδιασμός και αυτών των σταθμών να γίνει έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η παραγωγή ισχύος μέσω ενός σταθμού που αξιοποιεί την κυματική ενέργεια μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$P_{abs} = a A_w H_s$$

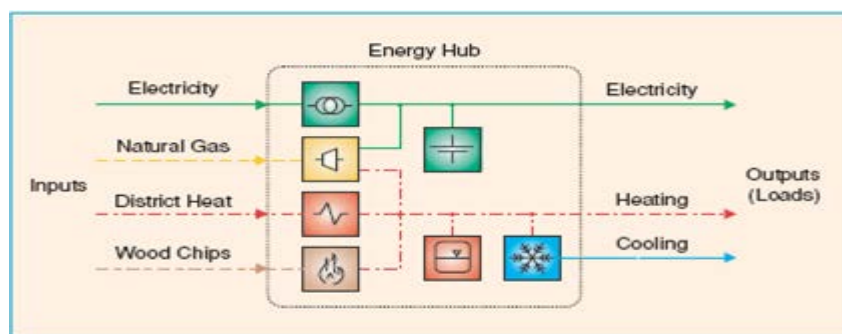
όπου,

|             |                                                                            |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|
| $P_{abs}$ : | μέση αναρροφούμενη ισχύς (W)                                               |
| $A_w$ :     | εμβαδόν της επιφάνειας του νερού ( $m^2$ )                                 |
| $H_S$ :     | ύψος κύματος (m)                                                           |
| $a$ :       | ένας συντελεστής που ισούται με $0,166 \text{ kg m}^{-1.5} \text{ s}^{-3}$ |

Σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ενέργειας των κυμάτων, η ισχύς εξόδου εξαρτάται ουσιαστικά από το ύψος των κυμάτων που δεν έχει σταθερή τιμή.

### 3.6.1.12. Ενεργειακοί διανομείς

Ο ενεργειακός διανομέας ορίζεται ως μια διασύνδεση μεταξύ των ενεργειακών παραγωγών, των καταναλωτών και της υποδομής μεταφοράς ενέργειας. Ένας ενεργειακός διανομέας από τη σκοπιά του συστήματος, μπορεί να θεωρηθεί ως η μονάδα που παρέχει τα βασικά χαρακτηριστικά της εισόδου και της εξόδου, της μετατροπής και της αποθήκευσης των πολλαπλών ενεργειακών φορέων. Μπορεί να λειτουργήσει ως σύνδεση μεταξύ των υποδομών του δικτύου και των διάφορων συμμετεχόντων, δηλαδή των καταναλωτών και των παραγωγών, συνδυάζοντας για παράδειγμα συστήματα ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου χωρίς να συνδέονται οι πάροχοι και τα φορτία. Συνεπώς, ο ενεργειακός διανομέας αποτελεί μια γενίκευση ή επέκταση ενός κόμβου σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Το σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός ενεργειακού διανομέα:



Εικόνα 3.7: Τυπικός ενεργειακός διανομέας

### 3.6.2. Χαρακτηριστικά μη συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Με βάση την ανάλυση των διαφόρων μη συμβατικών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να συνοψίσουμε τα χαρακτηριστικά της μη συμβατικής παραγωγής στα παρακάτω:

- *Μέγεθος (size)*: Σε αντίθεση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι μεγάλου μεγέθους και συνδέονται συνήθως στην Υψηλή Τάση, οι μη συμβατικοί σταθμοί είναι μικρότερου μεγέθους και μπορούν να συνδεθούν σε διάφορα επίπεδα τάσης του ηλεκτρικού συστήματος.

- *Δυνατότητα Αξιοποίησης (dispatchability)*: Οι μη συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν ελεγχόμενες πρώτες ύλες και ο διαχειριστής του συστήματος ή η εταιρεία παραγωγής μπορούν να ελέγχουν την ηλεκτροπαραγωγή. Έτσι, η ενέργεια η οποία παράγεται από αυτές μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα. Αντίθετα, οι μη συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν μη ελεγχόμενες πρώτες ύλες. Η ενέργεια που παράγουν μπορεί είτε να αξιοποιηθεί τοπικά ή να μην αξιοποιηθεί καθόλου.
- *Τεχνολογία παραγωγής (Generation Technology)*: Σε όλους σχεδόν τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στους μη συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες, που περιλαμβάνουν νέους τύπους ηλεκτρικών γεννητριών και ηλεκτρονικών ισχύος για τη ζεύξη με το δίκτυο.

Αυτά τα χαρακτηριστικά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Κάθε τύπος ηλεκτροπαραγωγής που διαθέτει έστω ένα από τα χαρακτηριστικά της μη συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κατατάσσεται σε αυτή την κατηγορία.

|                       | CG                    | non-CG           |
|-----------------------|-----------------------|------------------|
| Size                  | large                 | small, medium    |
| Dispatchability       | dispatchable          | non-dispatchable |
| Generation technology | synchronous generator | different types  |

**Πίνακας 3.2:** Βασικά χαρακτηριστικά συμβατικής (Conventional Generation) και μη συμβατικής (non-Conventional Generation) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

### 3.6.3. Διεσπαρμένη Παραγωγή

Στη βιβλιογραφία, είναι μια συνηθισμένη πρακτική να χρησιμοποιείται το μέγεθος μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής προκειμένου να εντοπιστούν οι μη συμβατικές μονάδες παραγωγής. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται ο όρος *κατανεμημένη παραγωγή*. Αυτό το χαρακτηριστικό προσδιορίζει επιπλέον το σημείο σύνδεσης με το σύστημα (MT – XT δίκτυο). Που οδηγεί στον ακόλουθο ορισμό: «Διεσπαρμένη παραγωγή έχουμε όταν μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα με το δίκτυο διανομής ή κοντά στον μετρητή του πελάτη» [3.18]. Σύμφωνα με τη CIGRE ως διεσπαρμένη παραγωγή έχει οριστεί η ηλεκτρική παραγωγή, η οποία δεν έχει σχεδιαστεί κεντρικά και συνδέεται με το δίκτυο διανομής [3.19]. Ωστόσο, ο ορισμός αυτός εξαιρεί μη συμβατικές μονάδες, που είναι άμεσα συνδεδεμένες με το δίκτυο υψηλής τάσης, όπως για παράδειγμα μεγάλα αιολικά πάρκα. Ένα μεγάλο αιολικό πάρκο δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής. Από την άλλη πλευρά είναι μη συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην ουσία, η διεσπαρμένη παραγωγή είναι υποσύνολο της μη συμβατικής παραγωγής.

### 3.6.3.1. Πλεονεκτήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι κυρίως τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά. Συγκεκριμένα [3.28]:

Περιβαλλοντικά:

- Η εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βοηθά στη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και άλλων επιβλαβών αερίων όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας τέτοιες μορφές ενέργειας δίνεται η δυνατότητα σε χώρες που έχουν αναλάβει υποχρεώσεις για μείωση των εκπομπών ρυπών, να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις αυτές.
- Περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την μείωση των απωλειών στις γραμμές μεταφοράς, ένεκα της σωστής χωροθέτησης των σταθμών κατανεμημένης παραγωγής σε σχέση με την τοποθεσία και δυναμικότητα, μπορεί να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο το περιβαλλοντικό ισοζύγιο της κατανεμημένης παραγωγής.

Οικονομικά [3.29]:

- Η διεσπαρμένη παραγωγή καλύπτει μία ευρεία γκάμα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών που παρέχουν ισχύ μικρής κλίμακας, σε τοποθεσία κοντά στους χρήστες. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό.
- Η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην τοποθεσία στην οποία χρησιμοποιείται, ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, που αποτελεί ένα σημαντικό μέρος (πάνω από 30%) του συνολικού κόστους του ηλεκτρισμού.
- Ένα ακόμα οικονομικό όφελος είναι η αύξηση της σταθερότητας στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, η μείωση της ζήτησης καυσίμου με μία επακόλουθη μείωση και στην τιμή τους και καθυστέρηση των αυξήσεων των τιμών ενέργειας γενικότερα.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή διασφαλίζει απτά οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές, όπως, μικρότερο συνολικό ενεργειακό κόστος ή αποφυγή υψηλών τιμολογίων κατά τη διάρκεια της αιχμής φορτίου.
- Χρησιμοποιώντας όλο και περισσότεροι καταναλωτές ανανεώσιμες πηγές διεσπαρμένης παραγωγής, μειώνεται το συνολικό φορτίο αιχμής της εταιρείας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι δε χρειάζεται να γίνει καμιά αναβάθμιση του δικτύου (κόστος το οποίο επιβαρύνει τους καταναλωτές), αφού η διεσπαρμένη παραγωγή βοηθά στην αποσυμφόρηση των ήδη υπάρχοντων γραμμών.
- Από την επενδυτική σκοπιά του θέματος είναι πρακτικά πιο εύκολο να βρεθούν τοποθεσίες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες διεσπαρμένες παραγωγές από ότι για ένα μεγάλο, κεντρικό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος και μάλιστα οι μονάδες αυτές είναι πιο εύκολο και κυρίως πιο γρήγορο να συνδεθούν στο δίκτυο. Η έκθεση και το ρίσκο του κεφαλαίου μειώνονται, και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.

- Η διεσπαρμένη παραγωγή παρέχει επίσης πολλά πλεονεκτήματα στους καταναλωτές που έχουν θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής (αυξάνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος) καθώς επίσης και σε εκείνους που έχουν πρόσβαση σε φτηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα φυσικό αέριο, αλλά και σε εκείνους που ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που ζούνε και μπορούν έτσι να αξιοποιήσουν ανανεώσιμες πηγές.

#### Τεχνικά:

- Τα σημαντικότερα, οφέλη αξιοπιστίας που προσφέρει η διεσπαρμένη παραγωγή είναι υποστήριξη και σταθερότητα στην παροχή τάσης, αξιοπιστία άεργου ισχύος VAR, εφεδρεία για απρόβλεπτα φαινόμενα και δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης (black start).
- Πέρα από το γεγονός ότι η διεσπαρμένη παραγωγή βοηθά στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων δικτύων, αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι υπό προϋποθέσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρική ισχύς, σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, καθώς και σε περιπτώσεις βύθισης τάσης, ώστε να ενισχυθεί η ποιότητα της ισχύος που παρέχεται τοπικά.
- Βελτίωση του συντελεστή χρησιμοποίησης των δικτύων δεδομένου ότι πλέον περιορίζονται οι απαιτήσεις για την υπέρ-διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων για την αντιμετώπιση μικρών σε διάρκεια αιχμών.
- Επιπροσθέτως, πολλοί καταναλωτές, όπως νοσοκομεία, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, βιομηχανία ημιαγωγών, εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, κ.ά., απαιτούν υψηλότερη ποιότητα ενέργειας από τη συνηθισμένη, που προμηθεύεται το μεγαλύτερο μέρος των καταναλωτών. Για τους καταναλωτές αυτούς, η διακοπή ρεύματος ή η βύθιση τάσης μπορεί να έχει πολύ μεγάλες οικονομικές και όχι μόνο συνέπειες. Οι καταναλωτές αυτοί μπορούν με τη χρήση ανανεώσιμης διανεμημένης παραγωγής να ικανοποιήσουν τις αυξημένες ανάγκες τους για ποιότητα ισχύος.
- Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών, αλλά και άλλων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, εκτός από την υψηλότερη απόδοση ενέργειας θα κάνει και πιο ασφαλή την παρεχόμενη ενέργεια, καθώς μειώνονται οι εισαγωγές ενέργειας ενώ παράλληλα οι νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται και η εμπειρία που μπορεί να αποκτηθεί από την υλοποίηση των νέων ενεργειακών μοντέλων διεύθυνσης θα προσφέρουν ανεκτίμητη αρτιότητα γνώσεων με τεράστιες δυνατότητες εξαγωγής.

#### 3.6.3.2. Μειονεκτήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής

Η εισαγωγή των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής ενέργειας, σε ευρεία κλίμακα, είναι πιθανό να οδηγήσει σε μερική αστάθεια του ενεργειακού προφίλ. Η αμφίδρομη ροή ισχύος και η σύνθετη διαχείριση ενέργειας, που απαιτεί η διεσπαρμένη παραγωγή, μπορούν να εμφανίσουν προβλήματα και να οδηγήσουν σε έντονη διακύμανση της τάσης. Επιπρόσθετα, τα πιθανά βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις στο δίκτυο προέρχονται πλέον από πολλαπλές πηγές, το οποίο προκαλεί δυσκολίες στον εντοπισμό των εκάστοτε σφαλμάτων του δικτύου.

Πιο αναλυτικά, τα μειονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής είναι [3.30]:

- Το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο για την εγκατάσταση της διεσπαρμένης παραγωγής είναι σχετικά μικρό, λόγω του μικρού μεγέθους, αλλά είναι σημαντικά υψηλό το αρχικό οικονομικό κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής τα κόστη κεφαλαίων μπορεί να ποικίλουν από 1000€/kW έως 20000€/kW στις τουρμπίνες καύσης και τις κυψέλες καυσίμου αντίστοιχα.
- Η αυξανόμενη συμμετοχή της διεσπαρμένης παραγωγής στην εγκατεστημένη παραγωγή θα επιφέρει μικρότερη επιλογή μεταξύ των βασικών καυσίμων. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει τη διαφοροποίηση των πρωταρχικών αποθεμάτων ενέργειας. Δεδομένου ότι οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής βασίζονται πρωταρχικά στο φυσικό αέριο, αναμένεται έντονα αυξημένη ζήτηση και εξάρτηση από αυτό.
- Το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στη διεσπαρμένη παραγωγή προβλέπεται να είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με την κεντρική παραγωγή.
- Ένα άλλο πρόβλημα έγκειται στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πολλές φορές δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής πρόβλεψη για την ικανότητα παραγωγής συγκεκριμένων εγκαταστάσεων. Πρέπει να γίνεται μετεωρολογική πρόβλεψη, που δεν μπορεί όμως να προβλέψει ακριβώς την ποσότητα ισχύος που θα είναι δυνατό να παραχθεί. Σε μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και απώλεια της παραγωγής εξαιτίας της φύσης ορισμένων πηγών όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος ή ο ήλιος. Έτσι υπάρχει συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης που μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές η διείσδυση είναι δηλαδή περιορισμένη και πρέπει να υπάρχει πάντα εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής. Αυτό το πρόβλημα αφορά κυρίως τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς η ισχύς εξόδου των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής εμφανίζει αρκετές δυσκολίες, ως προς την πρόβλεψη της, προκύπτουν επιζήμιες και δυσμενείς συνέπειες στους μετέχοντας σε αυτήν.
- Όσον αφορά στις επιπτώσεις της διανεμημένης παραγωγής στο περιβάλλον γενικά οι τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής περιγράφονται ως περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τεχνολογίες ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση όμως των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς, για κάθε τεχνολογία παραγωγής υπάρχουν έμμεσες και άμεσες εκπομπές ρύπων. Οι έμμεσες εκπομπές είναι εκπομπές ρύπων κατά τη διαδικασία κατασκευής της μονάδας, αναζήτησης και μεταφοράς των πηγών ενέργειας. Κάποιοι πιστεύουν πως η μεγάλη διείσδυση και χρήση σταθμών κατανεμημένης παραγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα τη υπολειτουργία των μεγάλων κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι εκπομπές ανά παραγόμενη κιλοβατώρα. Άλλα στοιχεία τα οποία κάνουν δύσκολη την ενιαία περιβαλλοντική εκτίμηση, είναι οι διαφορετικές απόψεις που διατυπώνονται σε διάφορα σχετικά θέματα όπως για παράδειγμα, την επικινδυνότητα των πυρηνικών σταθμών, ή την υψηλή στάθμη θορύβου και την οπτική ρύπανση που μπορεί να προκαλεί μια ανεμογεννήτρια.

- Η μη μελετημένη ή ανεξέλεγκτη διείσδυση μονάδων διανεμημένης παραγωγής μπορεί να προκαλέσει τεχνικά προβλήματα και να δημιουργήσει διαταραχές στην ομαλή λειτουργία του δικτύου.
- Παρά το γεγονός ότι η εγκατάσταση και σύνδεση μονάδων παραγωγής μπορούν να επηρεάσουν θετικά την ποιότητα ισχύος, ωστόσο, μπορεί να παρατηρηθεί και το αντίστροφο, καθώς οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι πιθανό να επηρεάσουν τη συχνότητα του συστήματος, ενώ πολύ συχνά δεν είναι εξοπλισμένες με συστήματα ελέγχου φορτίου – συχνότητας.
- Η επίδραση στο τοπικό επίπεδο της τάσης εκεί που συνδέεται η διεσπαρμένη παραγωγή στο κεντρικό δίκτυο διανομής μπορεί να είναι αξιοσημείωτη. Ειδικά τα επίπεδα ανύψωσης τάσης σε ακτινικά συστήματα διανομής είναι ένα από τα κυριότερα ζητήματα σύνδεσης των συστημάτων παραγωγής όταν πρόκειται για συστήματα με ασθενές φορτίο, αφού τότε δύναται να έχουμε ανεπιθύμητη αύξηση της τάσης.
- Η συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης από τις διεσπαρμένες γεννήτριες θα μπορούσε να προκαλέσει την αποσύνδεση υγιών γραμμών στις οποίες συνδέονται διεσπαρμένες γεννήτριες λόγω της γρήγορης αντίδρασης των υπέργειων γραμμών μέσης τάσης σε σφάλματα του δικτύου. Σε μερικές περιπτώσεις όπου οι διεσπαρμένες γεννήτριες παραμένουν συνδεδεμένες σε μια ελαττωματική γραμμή, θα μπορούσαν να διατηρήσουν τη γραμμή διεγερμένη και να αποτρέψουν την αυτό-απόσβεση σφαλμάτων με την μορφή τόξου. Αφετέρου, μπορεί όμως να γίνει αυτόματη επανάζευξη της γραμμής όταν οι γεννήτριες έχουν χάσει το συγχρονισμό τους με το δίκτυο, με ενδεχόμενες καταστρεπτικές συνέπειες για τις γεννήτριες. Η τροφοδοσία γραμμών αποσυνδεδεμένων από το δίκτυο λόγω σφαλμάτων μέσης και χαμηλής τάσης από διεσπαρμένες γεννήτριες, μπορεί να προκαλέσει πιθανή ζημιά στους καταναλωτές λόγω των μεγάλων αποκλίσεων της τάσης και της συχνότητας από τις ονομαστικές τιμές τους.

#### 3.6.4. Στοχαστική Παραγωγή

Με βάση τη συνδεσιμότητα τους οι μη συμβατικές μονάδες παραγωγής μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- *Κατανεμημένη μη συμβατική παραγωγή:* Πολλές μη συμβατικές τεχνολογίες επιτρέπουν σε μονάδες παραγωγής να συνδεθούν τοπικά. Ο χειριστής της μονάδας μπορεί να ρυθμίσει την ισχύ εξόδου της ελέγχοντας τις παρεχόμενες πηγές πρωτογενούς ενέργειας (καυσίμων). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μικρές εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, κυψέλες καυσίμου καθώς και σταθμοί ΣΗΘ.
- *Μη κατανεμημένη (στοχαστική) μη συμβατική παραγωγή:* Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μη κατανεμημένες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή ο χειριστής δεν μπορεί να εξασφαλίσει την σύνδεση των μονάδων οποτεδήποτε γιατί η κύρια πηγή ενέργειας δεν μπορεί να ελεγχθεί (στοχαστική). Η ισχύς της μονάδας ορίζεται από τη διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μικρά



υδροηλεκτρικά, οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι εγκαταστάσεις παλιρροϊκής ενέργειας και οι σταθμοί ΣΗΘ.

Θα πρέπει να σημειωθεί το εξής για τους γεωθερμικούς σταθμούς παραγωγής και τους σταθμούς ΣΗΘ. Οι σταθμοί παραγωγής που έχουν ως πρώτη ύλη τη γεωθερμική ενέργεια δεν είναι τόσο ευέλικτοι όσο οι σταθμοί που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα [3.20]. Επίσης οι μονάδες ΣΗΘ μπορεί να μην είναι τόσο ευέλικτες για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας [3.19]. Μια μονάδα ΣΗΘ κατατάσσεται στις κατανεμημένες ή μη κατανεμημένες πηγές ενέργειας ανάλογα με το καθεστώς λειτουργίας της. Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας της ΣΗΘ εξαρτάται από εμπορικο/οικονομικούς παράγοντες [3.21]. Συνοπτικά, ο Πίνακας 3.3 κατηγοριοποιεί τις διάφορες μορφές μη συμβατικής παραγωγής σε κατανεμημένες και στοχαστικές.

Αναφερόμαστε στη στοχαστική παραγωγή ως τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καθοδηγείται από μια ανεξέλεγκτη κινητήρια δύναμη. Αν και αναφέρεται κυρίως σε ΑΠΕ, πολλές μορφές ανανεώσιμων δεν ανήκουν στη στοχαστική παραγωγή, όπως είναι τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, η βιομάζα και οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη θερμικά φορτία που εξυπηρετούνται από μονάδες ΣΗΘ ανήκουν στη στοχαστική παραγωγή. Ο ορισμός της στοχαστικής παραγωγής τονίζει την μη δυνατότητα ελέγχου της πρωτογενούς μορφής ενέργειας και ότι η θεμελιώδης διαφορά της σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή είναι ότι σχετίζεται με αβεβαιότητα, όσο αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

| Generation Technology                      | Dispatchable | Stochastic |
|--------------------------------------------|--------------|------------|
| Small-scale Fossil-Fuel-Fired Power Plants | ✓            |            |
| Microturbines                              | ✓            |            |
| Combined Heat and Power (CHP) Plants       | ✓            | ✓          |
| Fuel cells                                 | ✓            |            |
| Geothermal power plants                    | ✓            |            |
| Biomass power plants                       | ✓            |            |
| Small hydro-power plants                   |              | ✓          |
| Wind turbines                              |              | ✓          |
| Photovoltaics                              |              | ✓          |
| Tidal power plants                         |              | ✓          |
| Wave power plants                          |              | ✓          |

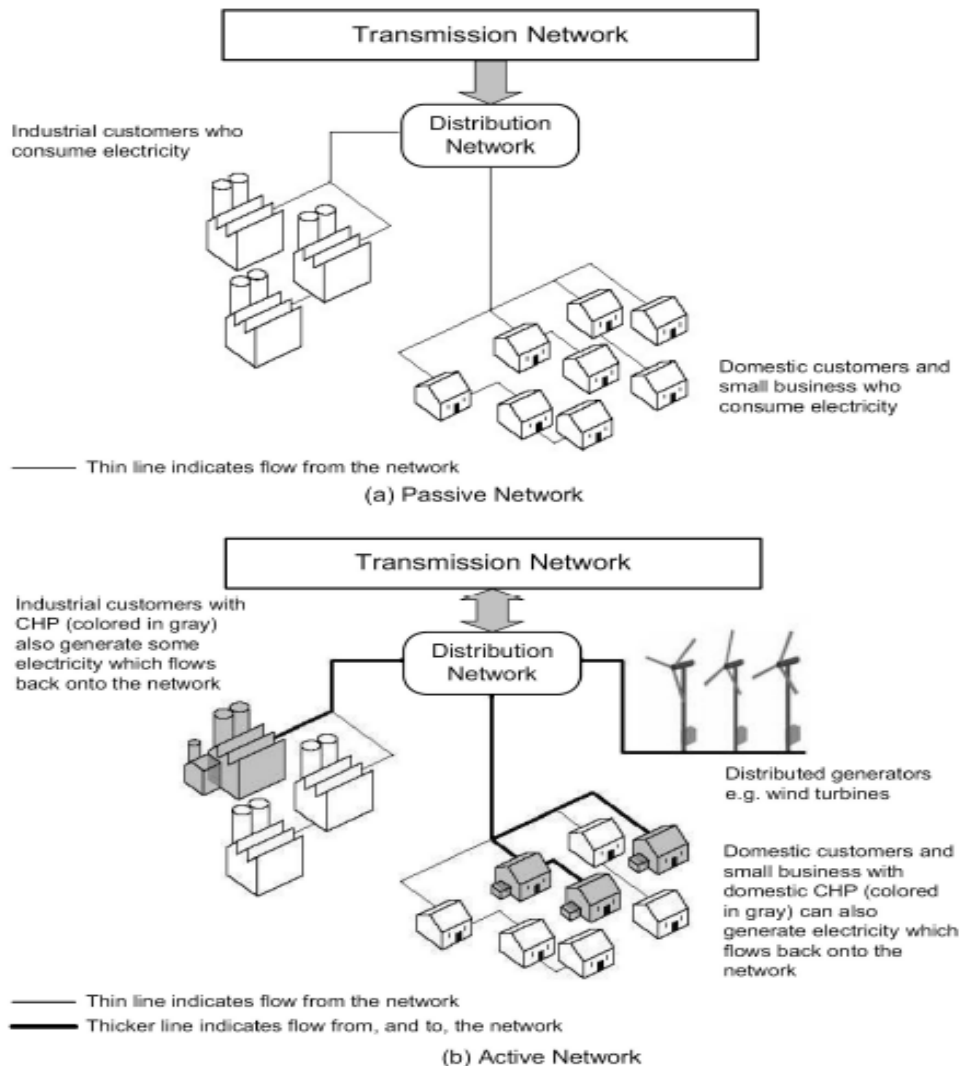
**Πίνακας 3.3:** Κατηγοριοποίηση μη συμβατικών μονάδων παραγωγής [3.22]

### 3.6.5. Οριζόντια διάρθρωση των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μεγάλης κλίμακας εφαρμογή των μη συμβατικών μονάδων παραγωγής οδηγεί στη μετάβαση προς μια νέα «οριζόντια» διάρθρωση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Σ' αυτή τη δομή του συστήματος, εκτός από τις μονάδες μεγάλης κλίμακας που συνδέονται στο δίκτυο υψηλής τάσης, οι μεσαίου και μικρής κλίμακας μονάδες συνδέονται επίσης στο δίκτυο μέσης και χαμηλής τάσης. Αυτή η ανεξέλεγκτη ροή ισχύος από τα χαμηλότερα επίπεδα τάσεων του

συστήματος οδηγεί σε μια ριζική αλλαγή της ακτινικής δομής του συστήματος. Η ισχύς, δηλαδή, μπορεί να ρέει όχι μόνο ακτινικά, δηλαδή από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο επίπεδο τάσης, αλλά και οριζόντια, δηλαδή από ένα δίκτυο MT ή XT στο άλλο ή από μια γεννήτρια σε ένα φορτίο στο ίδιο δίκτυο MT ή XT. Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, που ακολουθεί αυτές τις αρχές λειτουργίας, ονομάζεται οριζόντιας λειτουργίας σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε αυτή την περίπτωση, τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν ενεργό ρόλο. Αυτά δε διαθέτουν μόνο διανεμημένα φορτία, αλλά και εγκατεστημένη παραγωγή ισχύος. Η Εικόνα 3.8 δείχνει την μετατροπή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας από παθητικά σε ενεργά. Η ροή ισχύος μεταξύ του συστήματος μεταφοράς και διανομής δεν είναι πλέον μονόδρομη, αλλά αμφίδρομη. Το σύστημα μεταφοράς ενεργεί ως ένας ζυγός ενέργειας, που διασυνδέει το σύστημα διανομής και τις άλλες συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν το επίπεδο της διείσδυσης μη συμβατικών μονάδων παραγωγής αυξηθεί σε τέτοιο επίπεδο ώστε ένα μεγάλο μέρος του φορτίου του συστήματος να καλύπτεται από αυτές, ο αριθμός των συμβατικών μονάδων θα μειωθεί.



**Εικόνα 3.8:** Μετατροπή Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας από παθητικά σε ενεργά

## Βιβλιογραφία

- [1] R. E. Brown, Electric Power Distribution Reliability, Marcel Dekker, Inc., New York, 2002.
- [2] H. B. Püttgen, P. R. MacGregor, and F. C. Lambert, Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era?, IEEE Power and Energy Magazine, 1 (2003), pp.22 – 29.
- [3] J. G. Slootweg, Wind Power: Modelling and Impact on Power Systems Dynamics, PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2003.
- [4] N. Wohlgemuth and F. Missfeldt, The kyoto mechanisms and the prospects for renewable energy technologies, Solar Energy, 69 (2000), pp. 305–314.
- [5] A.-M. Borbely and J. F. Kreider, Distributed Generation: The Power Paradigm for the New Millennium, CRC Press, 2001.
- [6] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, and G. Strbac, Embedded Generation, no. 31 in Power and Energy, IEEE, 2000.
- [7] CIGRE, Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system. CIGRE Study Committee No 37, Working Group 23, Final Report, September 1998.
- [8] M. W. Davis, Microturbines - an economic and reliability evaluation for commercial, residential, and remote load applications, IEEE Transactions on Power Systems, 14(4) (1999), pp. 1556–1562.
- [9] A.-M. Borbely and J. F. Kreider, Distributed Generation: The Power Paradigm for the New Millennium, CRC Press, 2001.
- [10] J. H. R. Enslin, Interconnection of distributed power to the distribution network, in IEEE Young Researchers Symposium, Delft, the Netherlands, March 18-19 2004.
- [11] S. Sheth and M. Shahidehpour, Geothermal energy in power systems, in 2004 IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 6-10 2004, pp. 1972–1977.
- [12] N. Sriram and M. Shahidehpour, Renewable biomass energy, in 2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 12-16 2005, pp. 1910–1915.
- [13] F. Schwartz, R. Pegallapati, and M. Shahidehpour, Small hydro as green power, in 2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 12-16 2005, pp. 1883–1890.
- [14] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, and G. Strbac, Embedded Generation, no. 31 in Power and Energy, IEEE, 2000.
- [15] M. R. Patel, Wind and Solar Power Systems, CRC Press LLC, 1999.
- [16] Tidal energy in electric power systems, in 2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting, vol. 1, June 12-16 2005, pp. 630–635.
- [17] A. M. Tuckey, D. J. Patterson, and J. Swenson, A kinetic energy tidal generator in the northern territory-results, in 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation IECON 97, vol. 2, November 9-14 1997, pp. 937–942.
- [18] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, Distributed generation: a definition, Electric Power Systems Research, 57 (2001), pp. 195–204.
- [19] CIGRE, Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system. CIGRE Study Committee No 37, Working Group 23, Final Report, September 1998.
- [20] S. Sheth and M. Shahidehpour, Geothermal energy in power systems, in 2004 IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 6-10 2004, pp. 1972–1977.
- [21] M. Reza, Stability analysis of transmission systems with high penetration of distributed

- generation, PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2006.
- [22] Georgios Papaefthymiou, Integration of stochastic Generation in Power Systems, Dissertation, Delft University of Technology 2007.
- [23] [www.wastegaspower.com](http://www.wastegaspower.com)
- [24] Α. Παπαστεφανάκης, “Μελέτη ένταξης σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας υπό τεχνοοικονομικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς”, Διπλωματική Εργασία. Ε.Μ.Π, Αθήνα, Ιούλιος 2009
- [25] Ε. Π. Νταβέλου “Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Οικιστικού Συγκροτήματος με Μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2009.
- [26] Μ. Παπαδόπουλος, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές”, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997.
- [27] ΚΑΠΕ – Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας website: <http://www.cres.gr/kape>
- [28] W. El – Khatam and M. M. A. Salama, “Distributed generation technologies, definitions and benefits”, Electric Power Systems Research, 2004.
- [29] H. A. Gil and G. Joos, “On the Quantification of the Network Capacity Deferral Value of Distributed Generation”, IEEE Transactions on Power Systems, November 2006.
- [30] J. A. P. Lopes, “Integration of dispersed generation on distribution networks – impact studies”, in Proc. 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, January 2002.

### ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

#### 4.1. Εισαγωγή

Η ρύπανση του περιβάλλοντος και η κλιματική αλλαγή ώθησαν στην αυξημένη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και κυρίως των φωτοβολταϊκών πάνελ και των ανεμογεννητριών. Το πρόβλημα αυτών των συστημάτων παραγωγής είναι ότι δεν αποτελούν μια σταθερή πηγή ενέργειας, αλλά διακοπτόμενη. Γι' αυτό το λόγο δημιουργούνται στο σύστημα προβλήματα σταθερότητας, αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος. Το μικροδίκτυο εξετάζεται ως η πιθανή λύση για τα προβλήματα αυτά [4.1].

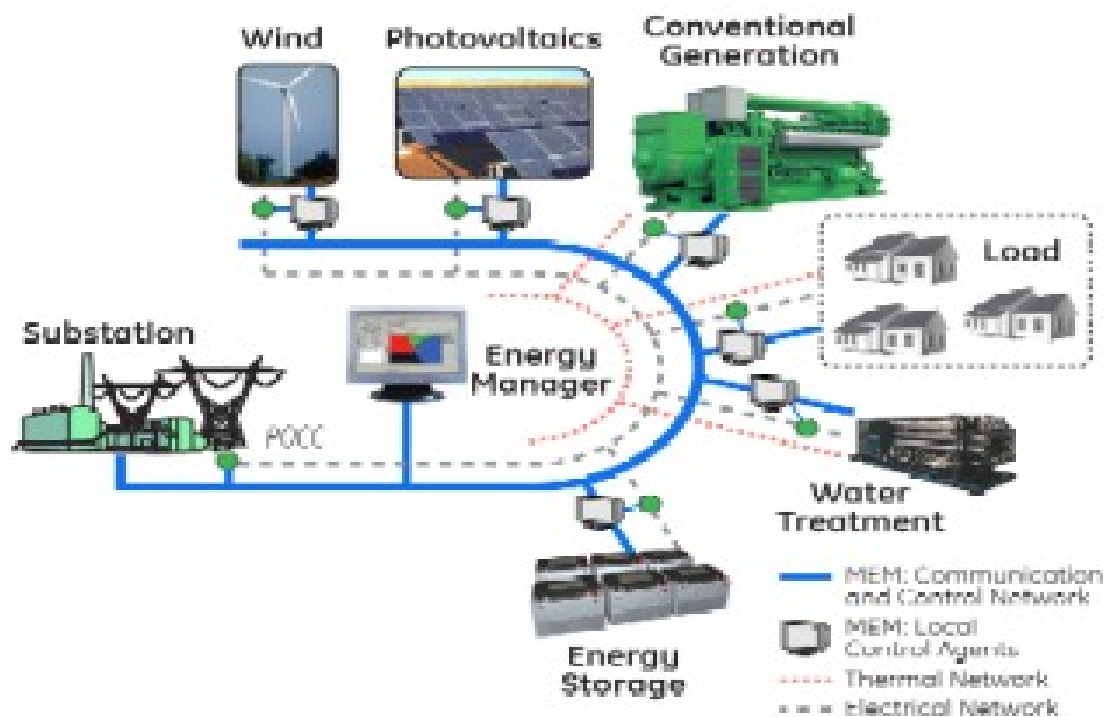
Ως μικροδίκτυο προσδιορίζεται ένα εν δυνάμει ηλεκτρικά απομονωμένο σύνολο γεννητριών που τροφοδοτούν κατά αποκλειστικότητα όλη τη ζήτηση ενός συνόλου καταναλωτών. Συμπεριλαμβάνουν πηγές κατανεμημένης παραγωγής ισχύος από λίγα kW μέχρι 1 – 2 MW, συσκευές αποθήκευσης όπως πυκνωτές, μπαταρίες, σφονδύλους, και ελέγξιμα φορτία. Τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα είδος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο.

Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Τυπικές πηγές ενός μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και οι ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντίζελ ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να εγκατασταθεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μια από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής που εγκαθίσταται. Η κλίμακα του μικροδικτύου ποικίλει, από μια οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μια πόλη που τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Μια συνδυασμένη μάλιστα χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων. Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στη χαμηλή τάση, όπου ούτως ή άλλως δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος δηλαδή των μονάδων παραγωγής είναι ουσιαστικά αυτό που

σε τελική ανάλυση καθορίζει την στάθμη λειτουργίας. Το μέγεθος συνολικότερα των μονάδων παραγωγής και των φορτίων, καθορίζει εξάλλου και τον τρόπο δισύνδεσής του με άλλα μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στην μέση ή στην χαμηλή τάση. Είναι προφανές ότι η δισύνδεση στη μέση τάση απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ.

Βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχός τους, ώστε τελικά να εμφανίζονται στο ανάντη δίκτυο ως μια ενιαία οντότητα με το δικό της αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου το οποίο δεν επιβαρύνει τα συστήματα ελέγχου του ανάντη ευρισκόμενου δικτύου με τον έλεγχο κάθε μιας μονάδας ξεχωριστά. Ένα άλλο εξίσου σημαντικό, όσο και πρωτοποριακό, γνώρισμα των μικροδικτύων είναι η δυνατότητά τους να λειτουργούν όχι μόνο διασυνδεδεμένα με το ανάντη δίκτυο, που είναι και η συνήθης λειτουργία τους, αλλά και απομονωμένα (ή νησιδοποιημένα) όταν διακοπεί η διασύνδεση με το κύριο δίκτυο, με οργανωμένο και ελεγχόμενο τρόπο παρέχοντας στους καταναλωτές αυξημένη αξιοπιστία και βελτιωμένα επίπεδα ποιότητας ισχύος. Αυτή η δυνατότητα βεβαίως απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας, ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να είναι σε θέση να απομονώσουν το μικροδίκτυο και να παράσχουν σταθερή, αυτόνομη λειτουργία. Η διαρκής όμως πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και ελεγκτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο εύκολο να επιτευχθεί τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.

Από την πλευρά του δικτύου, ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ελεγχόμενη οντότητα μέσα στο σύστημα ενέργειας που μπορεί να λειτουργεί όπως ένα συγκεντρωμένο φορτίο, μια μικρή πηγή ενέργειας ή μια βοηθητική υπηρεσία που υποστηρίζει το δίκτυο. Από την πλευρά του καταναλωτή, τα μικροδίκτυα εκπληρώνουν τις ανάγκες τους σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, όμοια με τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής Μέσης Τάσης, αλλά επιπροσθέτως ενισχύουν και την τοπική αξιοπιστία, μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνουν την ποιότητα ενέργειας υποστηρίζοντας την τάση και μειώνοντας τις βυθίσεις της. Επίσης, δυνητικά, «ρίχνουν» τις τιμές του αποθέματος ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι, ενώ υπό ομαλές συνθήκες λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, μπορεί αυτόματα να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου. Συνεπώς ένα μικροδίκτυο για το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο του αντιμετωπίζεται τόσο από άποψης αγοράς όσο και από τεχνική άποψη σαν ένα ενιαίο φορτίο ή σαν μια ενιαία παραγωγή η οποία με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα μπορεί να προσφέρει και κάποιες βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο διανομής ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής ακόμη και τοπικού επιπέδου. Οι καταναλωτές που βρίσκονται συνδεδεμένοι στο μικροδίκτυο, όχι μόνο μπορούν όπως και πριν να ικανοποιήσουν τις ηλεκτρικές και θερμικές τους ανάγκες, αλλά μπορούν να απολαύσουν υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας, καλύτερη ποιότητα ισχύος με εξομαλυσμένη καμπύλη τάσης και να επιτύχουν ακόμη και ευνοϊκότερους οικονομικά όρους για την ικανοποίηση των αναγκών τους.



Εικόνα 4.1: Ένα τυπικό μικροδίκτυο

## 4.2. Παραδείγματα πειραματικής εφαρμογής των μικροδικτύων

Σε όλο τον κόσμο έχουν δημιουργηθεί πολλές εγκαταστάσεις που αφορούν σε πειράματα σχετικά με το μικροδίκτυο. Στις πειραματικές αυτές εγκαταστάσεις γίνεται χρήση διαφόρων τεχνολογιών. Παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών ανά τον κόσμο [4.4].

- *Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής*

Στην Εικόνα 4.2 φαίνεται ένα μικροδίκτυο της Κοινοπραξίας τεχνολογικών λύσεων για την αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions – CERTS), που βρίσκεται στο πειραματικό εργοτάξιο Walnut στην πόλη Columbus του Οχάιο. Αυτό αποτελείται από τρεις πηγές με μετατροπέα των 60 kW και ένα στατικό διακόπτη με θυρίστορ.



**Εικόνα 4.2:** *CERTs Μικροδίκτυο*

Βασικό τμήμα αυτής της διάταξης είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με φυσικό αέριο και οδηγεί μια σύγχρονη γεννήτρια σε διάφορες ταχύτητες έτσι ώστε να καλύπτει με τον βέλτιστο τρόπο ένα μεγάλο εύρος φορτίων. Η έξοδος των γεννητριών ανορθώνεται και αναστρέφεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται μια σταθερή AC συχνότητα στο μικροδίκτυο.

- *Ιαπωνία*

Ο Οργανισμός Ανάπτυξης νέων Ενεργειακών και Βιομηχανικών Τεχνολογιών (New Energy and Industrial Technology Development Organization - NEDO) υποστηρίζει διάφορες εφαρμογές μικροδικτύων με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και κατακευμαμένης παραγωγής. Η πρώτη ομάδα πειραματικών εφαρμογών στην Ιαπωνία περιελάμβανε τα ακόλουθα έργα: 1) το Expo 2005 στο Aichi 2) το Kyoto Eco – Energy Project στο Kyoto 3) το Regional Power Grid with Renewable Energy Resources στην πόλη Hachinohe. Και στα τρία μικροδίκτυα υπάρχουν συστήματα ελέγχου για την αντιστοίχιση της προσφοράς με τη ζήτηση στο μικροδίκτυο.

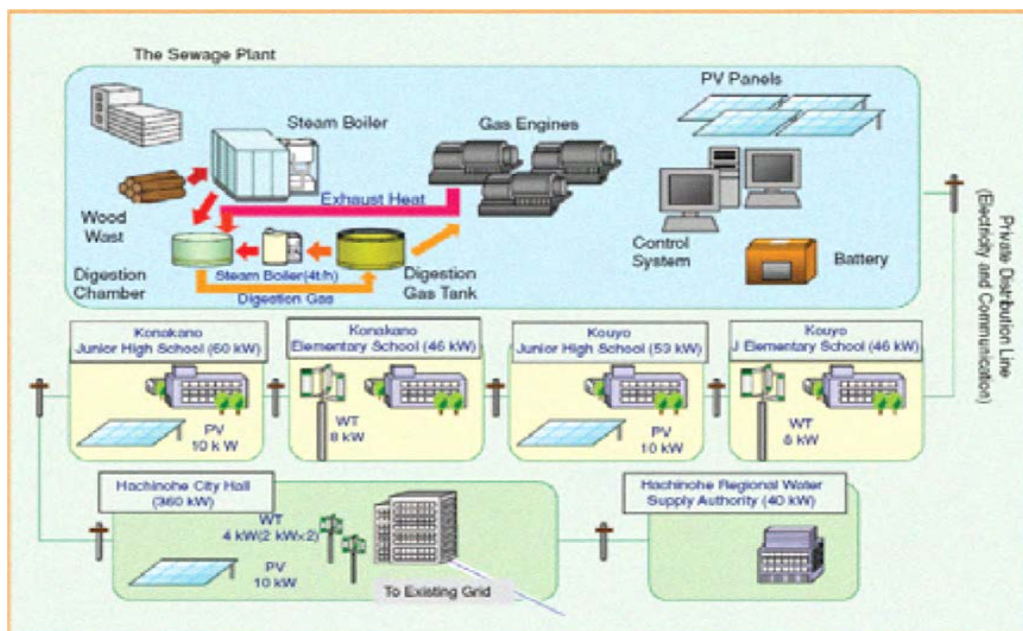




**Εικόνα 4.3:** Διάγραμμα του μικροδικτύου στο Aichi

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ένα μπλοκ διάγραμμα του μικροδικτύου στο Aichi.

Στο μικροδίκτυο στο Kyotango εγκαταστάθηκαν γεννήτριες φυσικού αερίου των 400 kW, μαζί με κυψέλες καυσίμου (Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC) των 250kW και μπαταρίες μολύβδου – οξέος των 100kW. Σε απομοακρυσμένες περιοχές του μικροδικτύου, τοποθετήθηκαν δυο φωτοβολταϊκά συστήματα και μια ανεμογεννήτρια των 50kW.



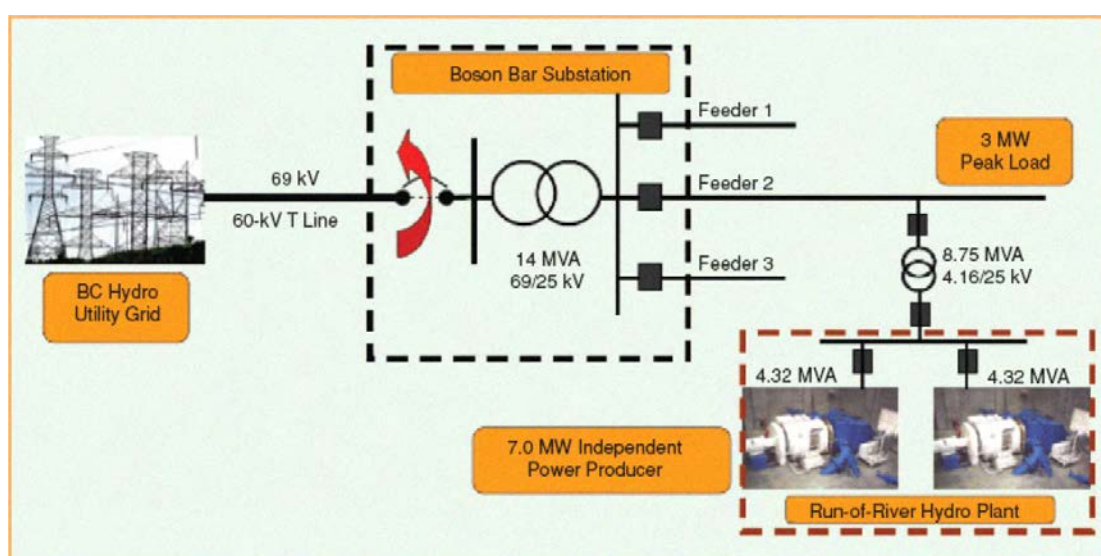
**Εικόνα 4.3:** Hachinohe μικροδίκτυο

Στο έργο Hachinohe έχουν εγκατασταθεί τρεις γεννήτριες φυσικού αερίου των 170kW και πολλά συστήματα φωτοβολταϊκών και μικρών ανεμογεννητριών.

Διαθέτει, επίσης, μια ιδιωτική γραμμή διανομής μεγαλύτερη από 5 km, η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις γεννήτριες.

- *Καναδάς*

Στην πόλη Boston Bar στον Καναδά ήταν συχνές οι διακοπές ρεύματος για 12 με 20 ώρες τρεις φορές το χρόνο. Σε αυτή την περιοχή, όπως φαίνεται από την Εικόνα 4.4, ο περιορισμός της διάρκειας διακοπής ρεύματος βασίζεται στην χρήση ενός τοπικού ανεξάρτητου παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας (Independent Power Producer – IPP), σε νησιδοποιημένη λειτουργία, και τροφοδοτεί τους καταναλωτές με τρεις κλάδους που ξεκινούν από τον υποσταθμό. Το μικροδίκτυο αυτό διαθέτει δύο υδροηλεκτρικούς σταθμούς των 3,45MW και μπορεί να τροφοδοτήσει μέγιστο φορτίο των 3 MW.



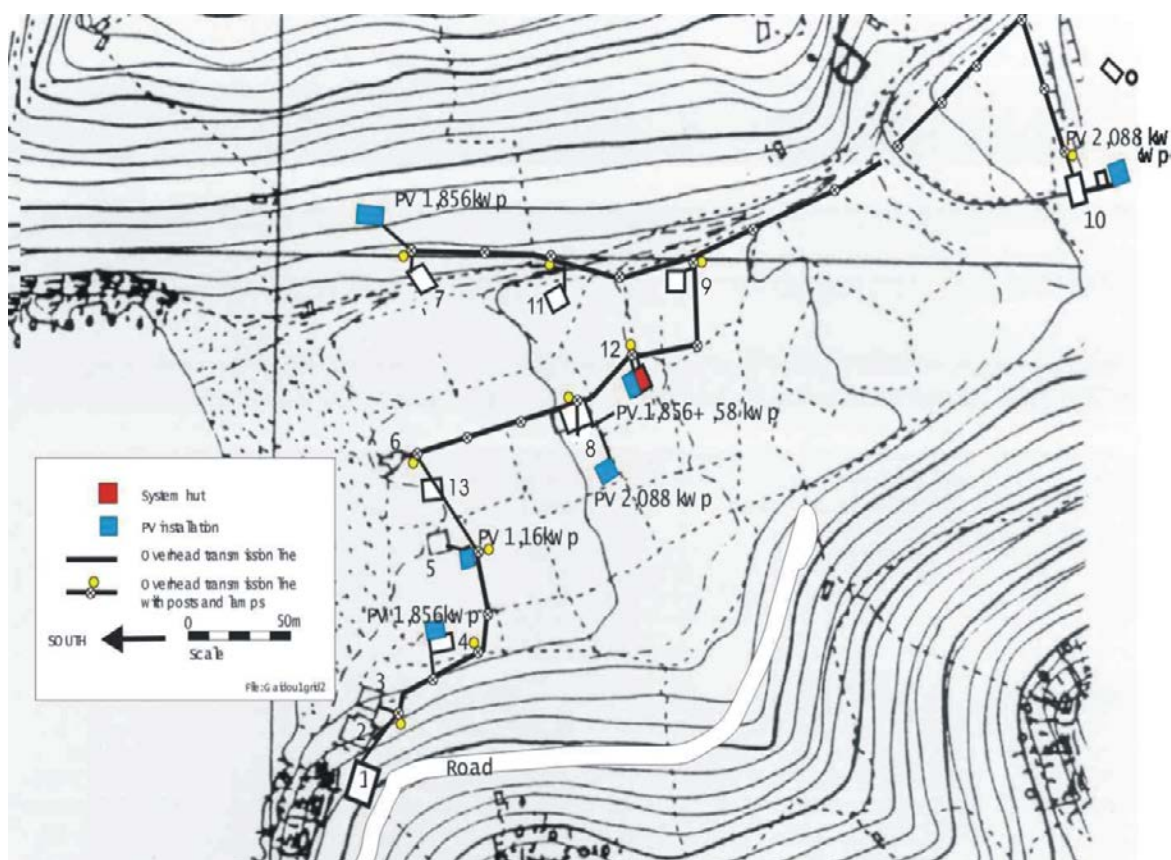
**Εικόνα 4.4 :** Διαμόρφωση συστήματος *Boston Bar IPP*

- *Ευρώπη*

Η Ευρωπαϊκή Ένωση υποστηρίζει δύο μεγάλες ερευνητικές προσπάθειες που επικεντρώνονται αποκλειστικά στα μικροδίκτυα.

Το ένα παράδειγμα μικροδίκτυου, που έχει δημιουργηθεί για ερευνητικούς σκοπούς, είναι ένα πραγματικό πιλοτικό μικροδίκτυο στην Κύθνο. Το μικροδίκτυο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Το πιλοτικό μονοφασικό μικροδίκτυο, στο οποίο αναφερθήκαμε, έχει εγκατασταθεί στη Γαϊδουρομάντρα, μια μικρή παραθαλάσσια πεδιάδα στην Κύθνο. Διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, τάσης 230 V και αποτελείται από εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ένα καλώδιο επικοινωνίας (RS 485) που διατρέχει το δίκτυο παράλληλα με τις ηλεκτρικές γραμμές. Το μικροδίκτυο τροφοδοτεί 12 σπίτια. Το δίκτυο και οι προδιαγραφές ασφαλείας για τη διασύνδεση με τα σπίτια είναι σύμφωνες με τις

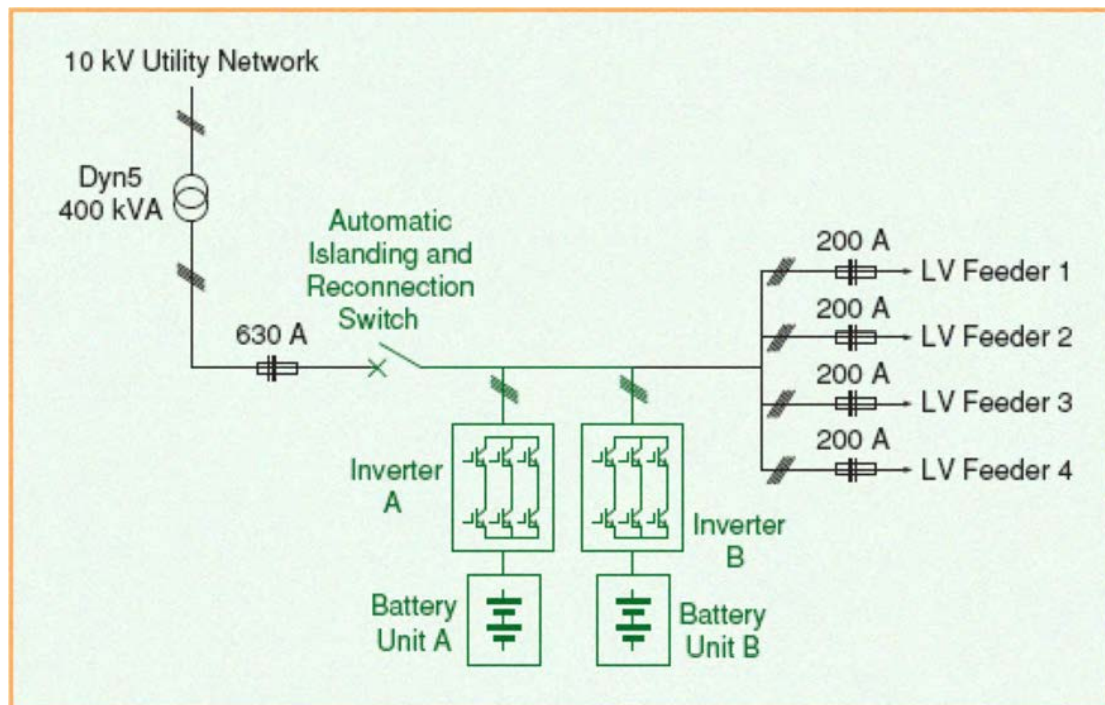
προδιαγραφές της ΔΕΔΔΗΕ , η οποία είναι ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας στο υπόλοιπο νησί. Ο λόγος για τον οποίο επελέγη το μικροδίκτυο να είναι συμβατό με το δίκτυο της ΔΕΔΗΕ στο νησί συνίσταται στην πιθανότητα στο μέλλον το μικροδίκτυο να συνδεθεί με το υπόλοιπο δίκτυο. Σε κάθε σπίτι, το ρεύμα που παρέχεται περιορίζεται από μια ασφάλεια 6 Α. Η όλη εγκατάσταση βρίσκεται σε απόσταση τεσσάρων χιλιομέτρων από τον πλησιέστερο κόμβο παροχής μέσης τάσης του νησιού. Στο κέντρο της εγκατάστασης οικοδομήθηκε οίκημα συνολικής επιφάνειας 20 m<sup>2</sup> για να στεγάσει τις συστοιχίες των μπαταριών, τους αντιστροφείς για τις μπαταρίες , τη γεννήτρια diesel και τη δεξαμενή πετρελαίου της , το hardware για την επικοινωνία καθώς και τον υπόλοιπο εξοπλισμό από υπολογιστικά συστήματα για την εποπτεία του μικροδικτύου.



**Εικόνα 4.5:** Τοπογραφικός Χάρτης της κοιλάδας της Γαϊδουρομάντρας, με επισημασμένες τις τοποθεσίες των ηλεκτροδοτούμενων σπιτιών, των φωτοβολταϊκών συστημάτων και του οικήματος ελέγχου.

Ένα άλλο μικροδίκτυο είναι αυτό που βρίσκεται στο Holiday Park Bronsbergen , κοντά στο Zutphen της Ολλανδίας. Αυτό αποτελείται από 210 σπίτια, 108 από τα οποία είναι διασυνδεδεμένα με διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Το πάρκο τροφοδοτείται από ένα παραδοσιακό τριφασικό δίκτυο των 400 V, το οποίο συνδέεται με ένα δίκτυο MT των 10kV μέσω ενός μετασχηματιστή που είναι τοποθετημένος στην εγκατάσταση.





**Εικόνα 4.6:** Διάγραμμα του μικροδικτύου Bronsbergen Holiday Park

### 4.3. Πλεονεκτήματα Μικροδικτύων

Τα πλεονεκτήματα που μπορεί να παρέχει στη λειτουργία του συστήματος ένα μικροδίκτυο συμπεριλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα περιοχών, όπως [4.6]:

Περιβαλλοντικά:

- Η ανάπτυξη μικροδικτύων και η ευρεία χρήση συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και το μετριασμό της αλλαγής του κλίματος. Αυτό συμβαίνει επειδή η λειτουργία των μικροδικτύων είναι βασισμένη σε μεγάλο βαθμό στις ανανεώσιμες πηγές και σε μικρές μονάδες παραγωγής που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές εκπομπές καυσαερίων.
- Σημαντικό πλεονέκτημα των μικροδικτύων είναι η χρησιμοποίηση τοπικά της θερμότητας που αποβάλλεται κατά την μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση αυτής της θερμότητας μειώνει τις εκπομπές αερίων ρύπων και αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης πρωτογενών πηγών ενέργειας κατά 30% περίπου. Σήμερα, συναντώνται μεσαίου μεγέθους εφαρμογές συμπαραγωγής σε βιομηχανικά συστήματα σε διάφορες χώρες και έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη μικρότερης κλίμακας εφαρμογών συμπαραγωγής, ακόμα και για οικιακή χρήση. Αυτά τα συστήματα αναμένεται να διαδραματίσουν πολύ σημαντικό ρόλο στα μικροδίκτυα των Βορείων χωρών της ΕΕ.

Αντίστοιχα, οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες αναμένεται να γίνουν όλο και περισσότερο δημοφιλείς στις Νότιες χώρες της ΕΕ.

- Επιπλέον, η λειτουργία των μικροδικτύων συμβάλει στη μείωση των απωλειών και επομένως στην περαιτέρω ορθολογική διαχείριση της παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προσδιορίσει τις απώλειες, ως βασικό στόχο για τα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης, αναγνωρίζοντας ότι πρόκειται για μια από τις προτεραιότητες για τη βελτιωμένες ενεργειακή αποδοτικότητα και τη συμβολή στο μετριασμό της αλλαγής του κλίματος. Η λειτουργία των μικροδικτύων μπορεί να μειώσει τις απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής από 2 έως 4%, συμβάλλοντας σε μια μείωση 20 εκατομμυρίων τόνων ετησίως του CO<sub>2</sub>.

Τεχνικά:

- Η συνέχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου σε περιπτώσεις κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας μπορεί να εξασφαλίσει στον καταναλωτή που ανήκει στο εκάστοτε μικροδίκτυο την αδιάλειπτη λειτουργία την ίδια ώρα όπου το ανάντη δίκτυο διανομής μπορεί να είναι σε ασταθή κατάσταση ή να έχει καταρρεύσει προσωρινά (black out).
- Το μικροδίκτυο μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παίζει υποστηρικτικό ρόλο ως προς το δίκτυο, λειτουργία η οποία μπορεί για παράδειγμα να σημαίνει ότι το μικροδίκτυο θα απορροφά ή θα παρέχει ενεργό ή άεργο ισχύ όταν χρειάζεται για το κεντρικό δίκτυο.
- Η αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ελαχιστοποίηση των απωλειών και η βελτίωση της ποιότητας ισχύος με την ενσωμάτωση μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP), καθώς και με την εγκατάσταση αυτών κοντά στους καταναλωτές. Η τοπική κάλυψη του φορτίου συνεπάγεται ότι δεν παρεμβάλλονται ούτε μεγάλα μήκη γραμμών ούτε πολλοί ενδιάμεσοι καταναλωτές που αλλοιώνουν με τη χωρητική (ή επαγωγική αν πρόκειται για φορτία) συμπεριφορά τους τον συντελεστή ισχύος.
- Πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές εντός αυτού, το οποίο είναι ύψιστης σημασίας ζήτημα ιδιαίτερα για τους καταναλωτές, όπως νοσοκομεία κτλ, για τους οποίους είναι σημαντική η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.
- Βελτίωση της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας του συστήματος, αφού τα μικροδίκτυα ακολουθούν την αρχή της διεσπαρμένης παραγωγής, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να μην παράγεται αποκλειστικά από λίγες μεγάλες μονάδες.
- Ενεργός διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων), διαδικασία η οποία είναι σε θέση να βοηθά σημαντικά στην ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.

- Από την πλευρά του χειριστή του Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης ή της Επιχείρησης Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου από το μικροδίκτυο προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Η δυνατότητα αναβολής επενδύσεων προς ενίσχυση του δικτύου και των κεντρικών σταθμών παραγωγής καθώς επίσης και η μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα κατά τον χειρισμό των συμφορήσεων και την επαναφορά του συστήματος μετά από σβέση, είναι μερικά από αυτά.

Οικονομικά:

- Από την πλευρά του καταναλωτή, παραγωγή σε τοπικό επίπεδο σε περιβάλλον πλήρως απελευθερωμένης αγοράς μπορεί να σημαίνει αύξηση της μείωσης του κόστους κάλυψης των ενεργειακών του αναγκών με ευέλικτους τρόπους διαχείρισης της τοπικής παραγωγής, όταν οι τιμές στην ελεύθερη αγορά ενέργειας την καθιστούν οικονομικά συμφέρουσα.
- Η δυνατότητα οργάνωσης της τοπικής παραγωγής του καταναλωτή και συμμετοχής της στην ελεύθερη αγορά ενέργειας μέσω κάποιου παροχέα ενεργειακών υπηρεσιών ανοίγει περαιτέρω δυνατότητες αύξησης του εισοδήματος του και συνεισφέρει στο άνοιγμα της αγοράς.

#### **4.4.Μειονεκτήματα Μικροδικτύου**

Το μικροδίκτυο είναι σχεδιασμένο για λειτουργία τόσο σε διασύνδεση με το δίκτυο όσο και σε απομονωμένη κατάσταση, σε έκτακτες περιπτώσεις (interconnected or emergency mode). Η δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε παραλληλισμένη λειτουργία καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ενέργειας. Δηλαδή, την παροχή πλεονάζουσας ενέργειας σε αυτό ή την απορρόφηση ενέργειας όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση. Σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το μικροδίκτυο προβλήματα. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου και η απορροφώμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή.

Η εισαγωγή μονάδων παραγωγής στο επίπεδο την χαμηλής και μέσης τάσης δεν είναι απλό θέμα από τεχνικής πλευράς ειδικά αν αυτή ενταθεί στο μέλλον. Δημιουργούνται έτσι, μία σειρά από τεχνικά ζητήματα τα οποία αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

- *Μεταβολές στην τάση του δικτύου:*  
Για κάθε δίκτυο διανομής έχουν τεθεί συγκεκριμένα όρια για την τάση. Αυτά τα όρια σε κάθε περίπτωση είναι σημαντική παράμετρος τόσο για την επέκταση του δικτύου όσο και για το κόστος που αυτό συνεπάγεται. Το πλέον επικίνδυνο σενάριο από την παρουσία μικροπηγών στο επίπεδο της

χαμηλής και μέσης τάσης είναι η πιθανότητα η τάση να υπερβεί τα μέγιστα επιτρεπτά όρια. Το σενάριο αυτό θα συμβεί στην περίπτωση που το φορτίο τοπικά είναι στο ελάχιστο και παράλληλα έχουμε σημαντική παραγωγή από την μονάδα. Το πρόβλημα εντείνεται στην χαμηλή τάση δεδομένου ότι εκεί η τιμή της αντίστασης των καλωδίων είναι σχετικά μεγάλη οπότε στην τιμή της τάσης εμπλέκεται και η ενεργός ισχύς. Μία προτεινόμενη λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι η αύξηση της ζήτησης έργου ισχύος από την πλευρά της μονάδας ενώ μία άλλη λύση είναι η χρήση με αντισταθμιστικό τρόπο των λήψεων του μετασχηματιστή (tap changer).

■ *Αύξηση στη στάθμη βραχυκυκλώσεως του δικτύου:*

Η χρήση στρεφόμενων κυρίως μηχανών στις μονάδες παραγωγής προφανώς θα έχει επίπτωση στο επίπεδο του σφάλματος. Η αύξηση του επιπέδου του σφάλματος πιθανών να απαιτεί αλλαγές στους διακόπτες του δικτύου κάτι που συνεπάγεται σημαντική αύξηση του κόστους ειδικά αν τις όποιες αναβαθμίσεις είναι υποχρεωμένος να τις αναλάβει ο ιδιοκτήτης της μονάδας. Μια λύση είναι η εγκατάσταση μίας αντίδρασης (μετασχηματιστή ή πηνίο) μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου με αύξηση όμως των απωλειών και των μεταβολών στην τάση.

■ *Ποιότητα ισχύος:*

Η ποιότητα της ισχύος είναι ένα σημαντικό θέμα στην εισαγωγή των μικρομονάδων στο δίκτυο για αυτό και αναλύεται διεξοδικά αργότερα. Η ποιότητα ισχύος περιλαμβάνει μία σειρά από φαινόμενα:

- Μεταβολή της τάσης (Voltage variation)
- Απότομη αλλαγή της τάσης (Rapid voltage change)
- Διακύμανση της τάσης (Voltage fluctuation)
- Φλίκερ (Flicker)
- Προσωρινή υπέρταση (Temporary power frequency overvoltage or swell)
- Αρμονικές στην τάση (Harmonic voltage)
- Ασυμμετρία στην τάση (Voltage unbalance)

Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προέλθουν από την παρουσία στρεφόμενων μηχανών, ηλεκτρονικών ισχύος αλλά και από απότομη σύνδεση ή αποσύνδεση μονάδων.

■ *Προστασία:*

Η προστασία των συσκευών του μικροδικτύου είναι ένα σύνθετο θέμα αφού αφορά τόσο την λειτουργία των υπαρχόντων προστασιών αλλά και των αλλαγών που θα πρέπει να γίνουν στο σύστημα διανομής. Ειδικότερα θα πρέπει να μελετηθεί το θέμα των γειώσεων, των προστασιών που θα πρέπει να έχουν οι μονάδες αλλά και τη λειτουργία του συστήματος σε κατάσταση νησίδας.

- *Ευστάθεια του δικτύου:*

Το θέμα της ευστάθειας του συστήματος αφορά κυρίως την περίπτωση που η εκτεταμένη χρήση της διεσπαρμένης παραγωγής αλλά και των μικρομονάδων χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της ασφάλειας του δικτύου. Το βασικό πρόβλημα σε αυτήν την περίπτωση είναι η συμπεριφορά των διεσπαρμένων μονάδων μετά από μία απώλεια μίας μεγάλης μονάδος ή μίας μεγάλης γραμμής μεταφοράς.

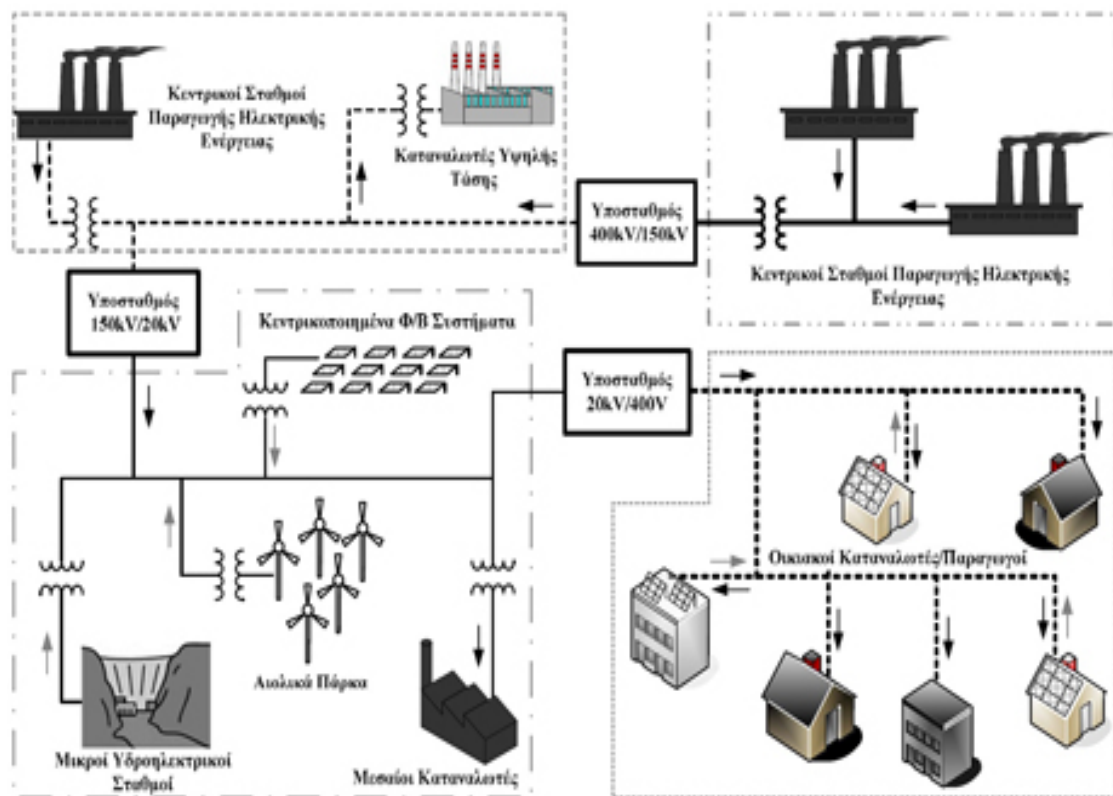
Επιπλέον, η δημιουργία μικροδικτύων πρέπει να αναφέρουμε ότι δημιουργεί τοπικά ένα είδος ρύπανσης, ειδικά αν δεν έχει γίνει σωστός σχεδιασμός των εγκαταστάσεων παραγωγής. Αυτό γιατί οι γεννήτριες μπορεί να προκαλούν ηχορύπανση αν δεν βρίσκονται σε χώρο με καλή μόνωση καθώς επίσης, αν δεν είναι τοποθετημένες σε μη εμφανή μέρη το αισθητικό αποτέλεσμα δεν θα είναι ευχάριστο. Παράλληλα, η παραγωγή δίπλα στο φορτίο, για τα αστικά κέντρα προκαλεί επιπλέον ρύπανση σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής που βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές παρόλο που είναι περισσότερο ρυπογόνοι.

#### **4.5.Δομή μικροδικτύου**

Τα μικροδίκτυα είναι μικρογραφίες των μεγάλων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες μικροπηγές συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω μετατροπών οι οποίοι τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν σημαντική εξέλιξη λόγω της σχετικής έρευνας τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Τα μικροδίκτυα αποτελούν τμήμα μίας γενικότερης τάσης για αλλαγή του τρόπου λειτουργίας των ηλεκτρικών συστημάτων ανά τον κόσμο που ουσιαστικά οφείλεται στην γενικότερη έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής.

Η γενική δομή για ένα μικροδίκτυο και η θέση του σε σχέση με το σύστημα διαχείρισης των δικτύων διανομής (Distribution Management System) DMS, παρουσιάζεται παρακάτω:





**Εικόνα 4.7:** Τυπική δομή μικροδικτύου

Μια τέτοια διάρθρωση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως το μικροδίκτυο, αναμένεται να έχει μεγάλη διείσδυση σε σχετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες οι όροι όχλησης είναι αυστηρότεροι σε σύγκριση με πιο απομακρυσμένες ή ήδη υπάρχουσες βιομηχανικές περιοχές. Επομένως σε αυτά τα δίκτυα αναμένεται σημαντική διείσδυση πηγών ενέργειας πιο φιλικών προς το περιβάλλον συγκρινόμενα με τις μεγάλες κεντρικές μονάδες ενός συστήματος, όπως για παράδειγμα τα BIPV (Building Integrated PhotoVoltaics). Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι στις αγροτικές περιοχές δεν μπορεί να γίνει διείσδυση τέτοιων δικτύων. Σε μία τέτοια περίπτωση μπορεί να επιτευχθεί η εκμετάλλευση των τοπικών πηγών ενέργειας, όπως είναι τα μικρά υδροηλεκτρικά ή η βιομάζα.

Η ευρεία διασύνδεση μικροπηγών συνδεδεμένων μέσω ηλεκτρονικών ισχύος προσφέρει σημαντική ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, αλλά και εισάγει σημαντική πολυπλοκότητα στην λειτουργία του μικροδικτύου, ιδιαίτερα σε νησιδοποιημένη κατάσταση, δεδομένου ότι οι πηγές αυτές στην πλειονότητα τους δεν διαθέτουν στρεφόμενες μάζες (αδράνεια) για τον έλεγχο της συχνότητας. Έτσι, με τον κατάλληλο συντονισμό και διαχείριση μικροπηγών, συστημάτων αποθήκευσης και φορτίων είναι δυνατή η αποδοτική λειτουργία του συνολικού συστήματος.

Οι βασικές μονάδες που απαρτίζουν ένα μικροδίκτυο είναι:

- *Αντιστροφείς (Inverters):*

Οι σύγχρονοι αντιστροφείς δίνουν την δυνατότητα να ελεγχθούν πάρα πολλές λειτουργίες όπως η παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος, και έτσι η τάση και η συχνότητα του δικτύου σε απομονωμένη λειτουργία.

- *Μονάδες αποθήκευσης:*

Το βασικό πρόβλημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί εύκολα σε εκτεταμένη κλίμακα. Σχεδόν όλη η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα είναι ταυτόχρονη με την παραγωγή της. Ωστόσο, για την λειτουργία των μικροδικτύων, εφόσον αυτά περιλαμβάνουν μεγάλη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή η παρουσία μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Σαν εναλλακτική στη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, η αποκοπή φορτίου είναι πιο πιθανό να χρησιμοποιηθεί σε έν μικροδίκτυο από ότι σε ένα κεντρικό δίκτυο, επειδή είναι ευκολότερο να προσδιοριστούν τα λιγότερο κρίσιμα φορτία. Όταν χρησιμοποιείται συμπαραγωγή, κάποια από αυτή την ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να είναι σε μορφή θερμότητας. Οι βασικές μονάδες αποθήκευσης είναι:

- Ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή κοινώς μπαταρίες και κυρίως μπαταρίες μολύβδου οξέος, που αποτελούν μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μετά την ηλεκτροχημική μετατροπή της.
- Μονάδες που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα (Compressed Air Energy Storage, CAES), όπου ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την συμπίεση ποσότητας αέρα η οποία στη συνέχεια κινώντας έναν στρόβιλο αναπαράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Σφόνδυλοι (flywheels). Πρόκειται για διατάξεις όπου μέσω ενός κινητήρα – γεννήτριας μπορεί να γίνει αποθήκευση με την μορφή κινητικής ενέργειας σε μια στρεφόμενη μάζα.
- Υπεραγώγιμες διατάξεις. Εφαρμογές με διατάξεις που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση ενώ επίσης διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον.
- Διατάξεις άντλησης. Η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται για άντληση νερού σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη. Κατόπιν ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν ζητηθεί με έναν υδροστρόβιλο.

- *Μονάδες ελέγχου:*

Ο έλεγχος των μικροδικτύων είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ενεργειακή ισορροπία και την ισορροπία ισχύος μέσα σε αυτά. Υπάρχουν τρεις βασικές παράμετροι η συχνότητα, η τάση και η ποιότητα ισχύος που πρέπει να ελεγχθούν και να βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα, παράλληλα με τη διατήρηση της ενεργειακής ισορροπίας.

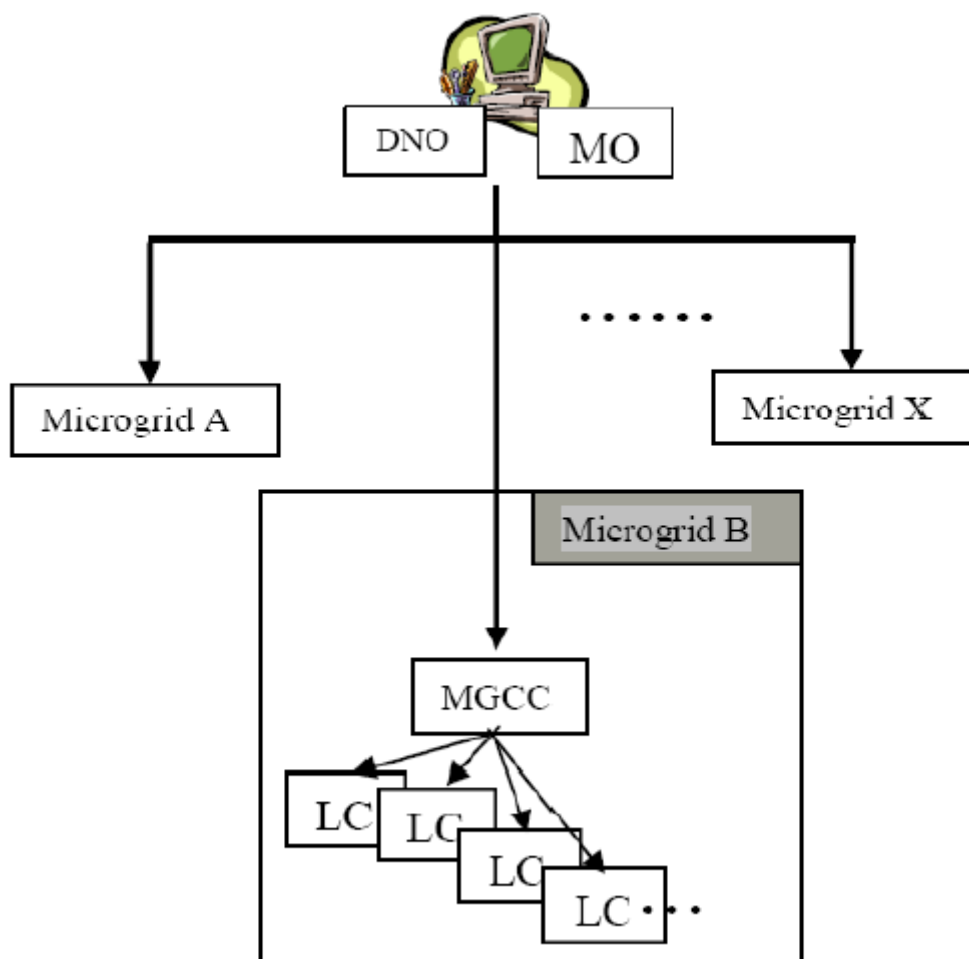
Η συχνότητα του μικροδικτύου όταν πρόκειται να συνδεθεί με το κεντρικό δίκτυο πρέπει να είναι ίση με αυτή του κεντρικού, συνήθως 50Hz. Με μια απόκλιση των  $\pm 0,5\text{Hz}$  είναι αποδεκτή. Η τυπική μέθοδος ελέγχου συχνότητας στις σύγχρονες μηχανές είναι ο έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα των γεννητριών που παρέχουν ηλεκτρική ισχύ στο μικροδίκτυο, ενώ στην περίπτωση των ασύγχρονων γεννητριών γίνεται χρήση αντιστροφών για τον έλεγχο της συχνότητας. Ο έλεγχος της τάσης του μικροδικτύου γίνεται αρχικά από την τάση των γεννητριών αλλά και με έλεγχο της ροής άεργου ισχύος. Γενικά η ισορροπία της άεργου ισχύος είναι πιο κρίσιμη σε μικρότερα συστήματα. Ο έλεγχος της ποιότητας ισχύος είναι υψίστης σημασίας για ένα μικροδίκτυο. Η πτώση τάσης, τα φλίκερ, οι αρμονικές κτλ είναι πολύ ουσιαστικές παράμετροι σε συστήματα με λίγες γεννήτριες.

Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη, το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει τα ακόλουθα :

- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα τοπικά φορτία.
- Συμμετοχή στις ενεργειακές αγορές με στόχο τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την αύξηση των κερδών των ιδιοκτητών διεσπαρμένης παραγωγής.
- Κατά το δυνατόν αδιάλειπτη παροχή ενέργειας σε κρίσιμα φορτία.
- Συνεισφορά στη μείωση των ρύπων που οφείλονται στην τοπική ζήτηση.
- Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο τοπικό δίκτυο διανομής όπως έλεγχος τάσης και άεργου ισχύος.
- Νησιδοποίηση και επανεκκίνηση του δικτύου μετά από σφάλμα στο ανάντη δίκτυο.

#### **4.6. Έλεγχος του μικροδικτύου**

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε σε γενικές γραμμές τα μέρη από τα οποία επιτελείται ο έλεγχος του μικροδικτύου. Υιοθετούμε το ακόλουθο ιεραρχικό μοντέλο ελέγχου του μικροδικτύου:



**Εικόνα 4.8:** Βασική δομή ελέγχου ενός μικροδικτύου

Αυτό το μοντέλο λειτουργίας έχει τρία βασικά επίπεδα λειτουργίας:

- το διαχειριστή του δικτύου (Distribution Network Operator - DNO) και τον διαχειριστή της αγοράς (Market Operator - MO) από την πλευρά της Μέσης Τάσης.
- Τον κεντρικό ελεγκτή του μικροδικτύου (Microgrid Central Controller – MGCC)
- τους τοπικούς ελεγκτές των μονάδων παραγωγής και των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Local Controllers – LC)

Ο διαχειριστής του δικτύου (DNO) είναι υπεύθυνος για την τεχνική λειτουργία του συστήματος στην χαμηλή και τη μέση τάση. Στο κομμάτι αυτό του δικτύου μπορεί να υπάρχουν περισσότερα του ενός μικροδίκτυα. Ο διαχειριστής της αγοράς (MO) είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας στην συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου διανομής. Μάλιστα ο MO αναμένεται να έχει σημαντικό διαχειριστικό ρόλο με την πλήρη απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Ο ρόλος του, αναλόγως με το μοντέλο που υιοθετείται, μπορεί να είναι είτε του απλού συντονιστή, επιβλέποντας π.χ. ότι τηρούνται οι σωστές διαδικασίες, είτε έχοντας μεγαλύτερες δικαιοδοσίες, να ορίζει π.χ. τη μέγιστη τιμή πώλησης και την ελάχιστη τιμή αγοράς

της κιλοβατώρας. Είναι προφανές ότι ανάλογα με το μοντέλο της αγοράς μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι από έναν διαχειριστές. Αυτές οι δύο οντότητες δεν ανήκουν στο μικροδίκτυο αλλά αποτελούν τους εκπροσώπους του δικτύου με τους οποίους επικοινωνεί το κάθε μικροδίκτυο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρά την αυτονομία του τελευταίου, εφόσον είναι συνδεδεμένο με το κυρίως δίκτυο θα πρέπει να υπάρχει ένα ελάχιστο επίπεδο συντονισμού με τους DNO/MO και αυτό θα γίνει πιο απαραίτητο στο μέλλον θεωρώντας ότι ο αριθμός των μικροδικτύων θα αυξηθεί κατακόρυφα.

Οι DNO/MO επικοινωνούν με το μικροδίκτυο μέσω του κεντρικού ελεγκτή (Microgrid Central Controller – MGCC). Ο τελευταίος σε ένα παραδοσιακό μοντέλο κεντρικού ελέγχου θα είναι υπεύθυνος για τη βέλτιστη λειτουργία του μικροδικτύου τόσο από οικονομική όσο και από τεχνική πλευρά στέλνοντας απλές εντολές στους τοπικούς ελεγκτές. Υπάρχουν ωστόσο μοντέλα στα οποία ο MGCC αναλαμβάνει απλώς να συντονίζει τους τοπικούς ελεγκτές. Οι τελευταίοι έχουν την ευφυΐα και κατόπιν διαπραγμάτευσης, ή βασισμένοι σε άλλους εξελιγμένους αλγορίθμους, μπορούν να φτάσουν στην επιθυμητή λύση.

Στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου ανήκουν οι τοπικοί ελεγκτές. Οι τοπικοί ελεγκτές μπορούν να ελέγχουν μονάδες παραγωγής, μονάδες αποθήκευσης της ενέργειας αλλά και κάποια από τα φορτία. Ανάλογα με το μοντέλο λειτουργίας έχουν και ένα βαθμό ευφυΐας, ωστόσο ένα μεγάλο ποσοστό των αποφάσεων για πρακτικούς λόγους μπορεί να ληφθεί μόνο τοπικά. Για παράδειγμα η παρακολούθηση και συντήρηση των μπαταριών (εφόσον έχουμε τέτοια μονάδα) είναι μια λειτουργία που μπορεί να γίνει τοπικά.

#### 4.7. Πολιτικές συμμετοχής του μικροδικτύου στην ιδεατή αγορά ενέργειας

Εντός του μικροδικτύου αναμένεται να λειτουργήσει μία μικρή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τουλάχιστον για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι θα καταθέτουν τις προσφορές τους στον MGCC για την ισχύ που μπορούν να παράγουν και την τιμή της προσφοράς τους. Ο στόχος του MGCC είναι να βελτιστοποιήσει την οικονομική λειτουργία λαμβάνοντας υπ' όψιν τεχνικούς περιορισμούς. Η βελτιστοποίηση μπορεί να είναι είτε ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής χωρίς ανταλλαγή με το δίκτυο, είτε μεγιστοποίηση των κερδών ενός διαχειριστή. Και στις δύο περιπτώσεις η κάθε μία από τις  $N$  μικροπηγές υποβάλλει πρόσφορα για την παραγωγή και πώληση ενεργού ισχύος, η οποία συμβολίζεται από την μεταβλητή  $active\_bid(x_i)$ , όπου  $x_i$  η ενεργός παραγωγή κάθε μιας από τις  $i$  μικροπηγές. Η πλήρης μορφή της συνάρτησης προσφοράς για συνεχή συνάρτηση κόστους δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση σε μορφή όχι ασυνήθιστη για μονάδες που καταναλώνουν καύσιμο:

$$active\_bid(x_i) = a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i$$

Για τις μονάδες που καταναλώνουν καύσιμο ο όρος  $c_i$  αντιπροσωπεύει τον σταθερό όρο για την κατανάλωση καυσίμου συμπεριλαμβάνοντας και το κόστος εκκίνησης της μονάδας, όταν αυτή δεν λειτουργεί κατά τη διάρκεια της υποβολής

της προσφοράς στον MGCC. Πιθανόν ο κάτοχος της μονάδας σε αυτήν την τιμή να προσθέτει και τμήμα του κόστους για την επένδυσή του στη διεσπαρμένη παραγωγή. Οι παράμετροι  $a_i$  και  $b_i$  αντιπροσωπεύουν το μεταβλητό κόστος παραγωγής για αυτές τις μονάδες. Όλες αυτές οι παράμετροι δίνονται σε μορφή χρηματικών μονάδων, ώστε να μπορεί με ευκολία να γίνει η σύγκριση με τις τιμές της αγοράς.

Για τις μονάδες ΑΠΕ, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά, η παραγωγή τους δεν μπορεί να ρυθμιστεί εξαρτώμενη μόνο από την διαθεσιμότητα ανέμου και ηλιοφάνειας, ενώ το κόστος λειτουργίας τους είναι αμελητέο. Πρακτικά μπορούν να λειτουργούν όποτε είναι εφικτό μειώνοντας το κόστος παραγωγής του συστήματος. Είναι πιθανό ο κάτοχός τους να υποβάλλει προσφορές της μορφής  $active\_bid(x_i)$  στον MGCC, όπου ο όρος  $b_i$  αντιπροσωπεύει την απαραίτητη αποζημίωση ανά παραγόμενη kWh ώστε να αποπληρωθεί η εγκατάσταση σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Οι παράμετροι  $b_i$  και  $c_i$  μπορούν να συμπεριλαμβάνουν το κόστος για την αγορά της υποδομής τηλεπικοινωνιών και ελέγχου για την επίτευξη της οργανωμένης λειτουργίας του μικροδικτύου. Το κόστος αυτό αναμένεται να είναι σχετικά μικρό σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων παραγωγής. Φυσικά οι παράμετροι της υποβολής προσφορών μπορούν να μεταβάλλονται από τους τοπικούς ελεγκτές ανάλογα με την πληροφορία που λαμβάνουν από τον MGCC και τυχόν τοπικές ανάγκες όπως η θέρμανση ή ψύξη του χώρου τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο πολιτικές που δύναται να υλοποιηθούν σε ένα μικροδίκτυο.

#### 4.7.1 Πολιτική 1 – Πολιτική του «καλού πολίτη»

Σύμφωνα με αυτήν την πολιτική ο στόχος της λειτουργίας του MGCC είναι η μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του μικροδικτύου με τον περιορισμό ότι δεν θα εξάγει ενέργεια στο ανάντη δίκτυο. Η πολιτική αυτή αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως «Good Citizen Policy» – «πολιτική του καλού πολίτη» και η αιτιολόγηση είναι ότι το μικροδίκτυο σε περιόδους αιχμής για το δίκτυο, άρα και υψηλών τιμών αφού οι τιμές στο δίκτυο αντανakλούν την κατάσταση του, μειώνει την επιβάρυνση του δικτύου μειώνοντας τη «φαινόμενη» ζήτησή του [4.9].

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος για αυτήν την πολιτική έχει ως εξής:

Κάθε χρονική περίοδο να γίνει ελαχιστοποίηση του κόστους ( $cost$ ), δηλαδή:

$$cost = \sum_{i=1}^N active\_bid(x_i) + AX$$

Όπου:

$X$ : η ενεργός ισχύς που αγοράζεται από το δίκτυο

$A$ : είναι οι τιμές αγοράς ενέργειας

Οι περιορισμοί του προβλήματος βελτιστοποίησης ομαδοποιούνται ως προς:

- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μικροπηγών όπως:
  - Τα τεχνικά ελάχιστα και μέγιστα των μονάδων
  - Οι χρόνοι εκκίνησης – αν και σε αυτήν την περίπτωση είναι σχεδόν αμελητέοι.
- Ισοζύγιο ισχύος εντός του μικροδικτύου, που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$X + \sum_{i=1}^N x_i = P\_demand$$

Όπου:

$P\_demand$ : η ζήτηση ενεργού ισχύος

Σε κάθε περίπτωση η τοπική παραγωγή θα πρέπει να είναι επαρκής, όταν η ζήτηση υπερβαίνει τη συμβολαιοποιημένη με το ανάντη δίκτυο ή το τεχνικό όριο ισχύος διασύνδεσης που περιγράφεται από την μεταβλητή *ConnectionLineCapacity*. Αυτός ο περιορισμός περιγράφεται από την παρακάτω ανισότητα:

$$\sum_{i=1}^N x_i \geq \max\{0, P\_demand - ConnectionLineCapacity\}$$

Η υλοποίηση μίας τέτοιας πολιτικής λειτουργίας αναμένεται να είναι επιλογή ενός συνεταιρισμού καταναλωτών, αγροτικών, βιοτεχνικών, ή κάποιος δήμος ο οποίος διαχειρίζεται τα κτίριά του ως μία ενιαία οντότητα, ή κάποιο συγκρότημα κατοικιών, π.χ. εργατικές κατοικίες, οπότε και ο κοινός στόχος είναι η μείωση του κόστους ενέργειας για τους τελικούς χρήστες και η ευελιξία που προσφέρει ένας μεγαλύτερος καταναλωτής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 4.7.2 Πολιτική 2 – Πολιτική του «ιδανικού πολίτη»

Σε αυτήν την πολιτική θεωρείται ότι ένας πάροχος ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Service Provider) διαχειρίζεται τον MGCC προσπαθώντας να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του ανταλλάσσοντας ενέργεια με το δίκτυο και χρεώνοντας τους καταναλωτές μέσα στο μικροδίκτυο με τις τιμές της αγοράς. Αναγκαία προϋπόθεση είναι το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο να επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος. Σε αυτήν την περίπτωση σε περιόδους υψηλών τιμών και αναλόγως των συνθηκών ενδέχεται να εγχέεται ισχύς στο ανάντη δίκτυο, οπότε το

μικροδίκτυο είναι περισσότερο ενεργό από ότι στην προηγούμενη υποενότητα. Σε μία τέτοια περίπτωση η λειτουργία του μικροδικτύου προσομοιάζεται ως η συμπεριφορά του «ιδανικού» πολίτη, ο οποίος όχι μόνο δεν επιβαρύνει το δίκτυο διανομής με την ενεργειακή του συμπεριφορά αλλά επιπλέον το υποβοηθά στις περιόδους μεγάλης ζήτησης όχι μόνο μειώνοντας την κατανάλωσή του αλλά παρέχοντας και ισχύ στις γειτονικές γραμμές ακόμη και αν δεν είναι μέλη του μικροδικτύου. Έτσι πρωτίστως επωφελοούνται οι καταναλωτές του μικροδικτύου, αλλά και οι γειτονικές του γραμμές αφού μειώνεται η συνολική ζήτηση στη συγκεκριμένη περιοχή [3.13].

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της παρακάτω παράστασης:

$$\text{Maximize}\{Income - expenses\} = \text{Maximize}\{Revenues\}$$

Το έσοδα προέρχονται από την πώληση της ενεργού ισχύος τόσο στο δίκτυο MT όσο και στους καταναλωτές του μικροδικτύου. Αν η ζήτηση είναι υψηλότερη από την παραγωγή των μικροπηγών, τότε εγχέεται ισχύς από το δίκτυο και μεταπωλείται στους καταναλωτές του μικροδικτύου. Αν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση τότε πωλείται ενέργεια στο δίκτυο και ο όρος  $X$  είναι ίσος με μηδέν στις επόμενες δύο εξισώσεις.

$$Income = AX + A \sum_{i=1}^N x_i$$

Ο όρος “expenses” περιλαμβάνει τα κόστη για την αγορά ενεργού ισχύος από το δίκτυο και την αποζημίωση των τοπικών παραγωγών, όπως διατυπώνεται και από την παρακάτω εξίσωση.

$$expenses = \sum_{i=1}^N active\_bid(x_i) + AX$$

Ο MGCC πρέπει να μεγιστοποιήσει το μέγεθος “Revenues” με βάση την εξίσωση:

$$Revenues = A \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N active\_bid(x_i)$$

Υπάρχει αλλαγή στο ισοζύγιο ισχύος σε σχέση με την αντίστοιχη εξίσωση της υποενότητας 4.7.1 διότι πλέον μπορεί να ανταλλάσσεται ισχύς με το δίκτυο, αρά μπορεί η παραγωγή των μικροπηγών να υπερβαίνει τη ζήτηση του μικροδικτύου. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να ικανοποιείται ο περιορισμός που περιγράφεται από τη σχέση:



$$X + \sum_{i=1}^N x_i \geq P\_demand$$

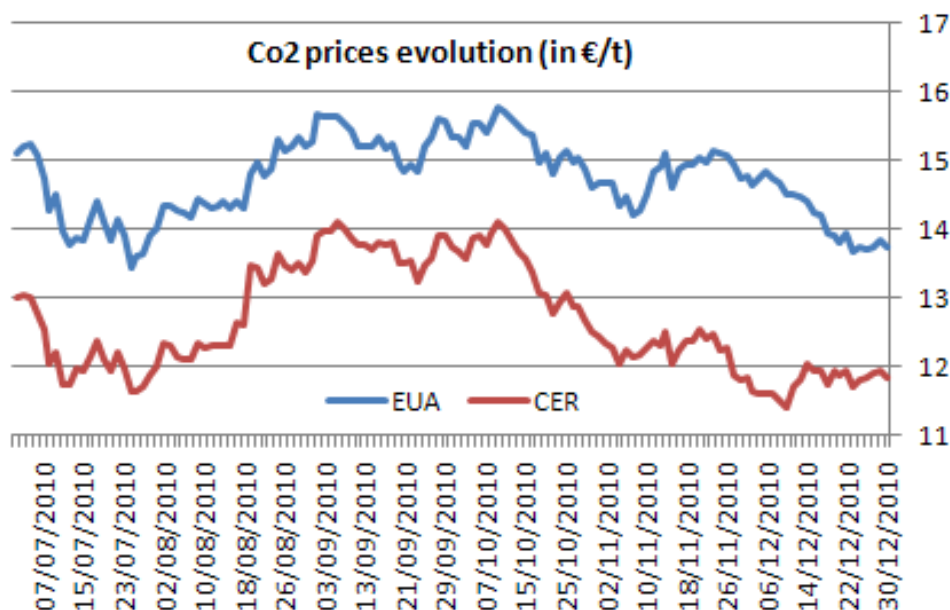
Σε καμία περίπτωση όμως η παραγόμενη ισχύς από το μικροδίκτυο δεν πρέπει να παραβιάζει ούτε τη συμβολαιοποιημένη ούτε την τεχνικά εφικτή ισχύ που εγγέεται στο ανάντη δίκτυο, ανισότητα.

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq P\_demand + ConnectionLineCapacity$$

#### **4.8. Λειτουργία με στόχο την περιβαλλοντική βελτιστοποίηση και συμμετοχή στο εμπόριο ρύπων**

Το σύστημα εμπορίας των αερίων ρύπων έχει στόχο να ενθαρρύνει της επιχειρήσεις να μειώσουν την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου τα οποία εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Αυτή η ανταλλαγή ονομάζεται «μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης» και έχει περιληφθεί στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ξεκινήσει από το 2002 το δικό της σύστημα εμπορίας εκπομπών άνθρακα για τα κράτη – μέλη της. Ένα από τα σχετικά χρηματιστήρια είναι το Ευρωπαϊκό Ενεργειακό Χρηματιστήριο (EEX) που ιδρύθηκε το 2002 ως αποτέλεσμα της συγχώνευσης του χρηματιστηρίου ενέργειας της Λειψίας (LPX) και του Ευρωπαϊκού Χρηματιστηρίου Ενέργειας. Τα μέλη του περιλαμβάνουν από τις κορυφαίες τράπεζες επενδύσεων μέχρι τους μικρούς, περιφερειακούς παραγωγούς, από όλη την Ευρώπη. Τα τελευταία χρόνια, μέσα στο EEX λειτουργεί και μία επιπλέον αγορά παραγώγων για τα επιδόματα εκπομπής ηλεκτρικής ενέργειας. Η αγορά αυτή, που έχει χαρακτήρα δημοπρασίας, επιτρέπει στους συμμετέχοντες να γνωστοποιούν τις προσφορές αγοράς και πώλησης. Η προκύπτουσα τιμή ισορροπίας είναι μια τιμή αγοράς, η οποία καθορίζεται μέσω της διμερούς δημοπρασίας από τους προμηθευτές καθώς επίσης και τους καταναλωτές

Οι πληροφορίες για τις ημερήσιες μεταβολές των τιμών αυτών βρίσκονται δημοσιευμένες ανά πάσα στιγμή στο διαδίκτυο. Η τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής έχει μονάδα το € ανά τόνο ρύπου που αποφεύγεται και η μεταβολή των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής CO<sub>2</sub> για το χρονικό διάστημα ενός έτους παρουσιάζεται στο Γράφημα 4.1.



**Γράφημα 4.1:** Διακύμανση τιμών Δικαιωμάτων Εκπομπής CO<sub>2</sub> (€/tn) για το 2010

Υπάρχει η δυνατότητα ο MGCC να λαμβάνει υπ' οψιν πέραν από τα οικονομικά δεδομένα των τοπικών μονάδων και τις τιμές της αγοράς, τις τιμές εμπορίας ρύπων και να αποζημιώνονται οι τελικοί χρήστες για την μείωση των ρύπων που μπορεί το μικροδίκτυο να προσφέρει στο παραπάνω δίκτυο. Έτσι, είναι εφικτό, ακόμη και όταν το κόστος παραγωγής των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι μεγαλύτερο από την τιμή αγοράς, η αποζημίωση από την αγορά ρύπων να είναι ικανοποιητική ώστε να συμφέρει η λειτουργία κάποιων τοπικών μονάδων παραγωγής. Αν υπάρχει συμφωνία συμμετοχής του μικροδικτύου στις αγορές ρύπων, η προσφορά της κάθε μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής όπως την αντιλαμβάνεται ο MGCC θα δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \text{marginal\_cost} \\ &= \text{operational\_cost} - \text{Emissions\_avoided\_param} \\ &\cdot \text{Emission\_cost} \end{aligned}$$

Όπου:

*operational\_cost*: αναπαριστά το κόστος κάθε μονάδας, όπως αυτό υποδηλώνεται από την προσφορά που υποβάλλει στον MGCC.

*Emissions\_avoided\_param*: δίνει τη διαφορά μεταξύ των εκπομπών της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής και τις εκπομπές ρύπων του δικτύου όπως αυτές είναι γνωστές στον MGCC σε kg/MWh για τον εμπορευόμενο ρύπο.

*Emission\_cost*: είναι η τιμή εμπορίας ρύπων για τον ρύπο ως προς τον οποίο επιδιώκεται η συμμετοχή στο εμπόριο του. Προς το παρόν αφορά μόνο το CO<sub>2</sub>.

#### 4.9. Χρήση Συναρτήσεων οικονομικής λειτουργίας για το μικροδίκτυο

Ο σκοπός της ύπαρξης των μικροδικτύων είναι να χρησιμοποιηθούν από ένα ή περισσότερους καταναλωτές με σκοπό να εξυπηρετήσουν το δικό τους οικονομικό όφελος. Παρόλο που πιθανόν να υπάρχει ενδιαφέρον και για λειτουργικά θέματα όπως περιβαλλοντικά ή επαρκείας ισχύος σε κάθε περίπτωση το βασικό στοιχείο παραμένει το κόστος. Το κόστος παραγωγής των μικροδικτύων θα πρέπει να συγκριθεί με το κόστος της ενέργειας στο επίπεδο της χαμηλής τάσης. Ευθεία σύγκριση με το κόστος παραγωγής των μεγάλων μονάδων δεν είναι δίκαιη αφού αγνοούνται κόστη για την μεταφορά της ενέργειας από ένα απομακρυσμένο σημείο στον καταναλωτή. Αντίθετα τεχνολογίες που αφορούν την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Σε ένα μικροδίκτυο πρέπει πάντα να επιλύεται το πρόβλημα οικονομικού προγραμματισμού. Οι συναρτήσεις οικονομικής λειτουργίας καθορίζουν τις προσφορές των μονάδων που θα γίνουν αποδεκτές. Επίσης καθορίζουν την παραγωγή των μικροπηγών των οποίων η έξοδος μπορεί να ρυθμιστεί ή αποφασίζουν αν οι μονάδες με διακριτές καταστάσεις λειτουργίας ON/OFF θα λειτουργήσουν ή όχι, καθώς και το αν θα αποκοπούν κάποια από τα φορτία που υποβάλλουν προσφορές. Όλα αυτά πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις πολιτικές βάσει των οποίων προδιαγράφεται η λειτουργία τους. Για τον υπολογισμό αυτών των εξόδων θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν και οποιαδήποτε από τις παροχές που οι χρήστες του μικροδικτύου θα ήθελαν να τους παρέχονται, όπως η εξασφάλιση στατικής ασφάλειας, διατήρησης τάσεων σε συγκεκριμένα επίπεδα αλλά και οι πολιτικές για την περιβαλλοντικά φιλική λειτουργία του μικροδικτύου [4.7].

##### 4.9.1. Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)

Η διαδικασία της ένταξης μονάδων απαρτίζεται από τα παρακάτω βήματα:

- Υπολογίζεται η μέγιστη και ελάχιστη ικανότητα των μονάδων παραγωγής είτε όπως δηλώνεται από τις προσφορές τους είτε από το μοντέλο πρόβλεψης παραγωγής αν πρόκειται για μονάδες ΑΠΕ, είτε ως στατικά χαρακτηριστικά γνωστά στον MGCC.
- Λαμβάνονται ως είσοδοι οι τιμές της αγοράς. Το ανάντη δίκτυο – εξωτερική αγορά θεωρείται μία «ιδεατή» μεγάλη γεννήτρια με μέγιστη ικανότητα παραγωγής που καθορίζεται από το όριο μεταφερόμενης ισχύος της διασύνδεσης. Επομένως, ο αριθμός των μονάδων ο οποίος λαμβάνεται υπ' όψιν στην διαδικασία επιλογής των μονάδων είναι όσες οι μικροπηγές που υποβάλλουν προσφορές +1.
- Λαμβάνονται υπ' όψιν οι προσφορές των φορτίων. Αν αυτά πρόκειται να αποζημιωθούν, θεωρούνται ως μονάδες παραγωγής με ισχύ την ισχύ της αποκοπής και τιμή φορτίου την τιμή που προσφέρονται για αποκοπή.

- Λαμβάνονται υπ' όψιν περιορισμοί όπως η ικανοποίηση των περιορισμών στατικής ασφάλειας (steady state security), περιορισμούς τάσης για την υποχρεωτική ένταξη τοπικών μονάδων ή τον περιορισμό της ισχύος τους, και τυχόν μεταβολές στο κόστος που επέρχονται από τη συμμετοχή του μικροδικτύου στο εμπόριο ρύπων.
- Κατόπιν επιλύεται το μαθηματικό πρόβλημα. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία σειρά από μεθόδους βελτιστοποίησης.

Συνήθως όμως οι προσφορές φορτίων και παραγωγών αναμένονται να είναι απλές γραμμικές συναρτήσεις χωρίς καν σταθερό όρο, οπότε μπορούν και να χρησιμοποιηθούν λιγότερο απαιτητικές υπολογιστικά μέθοδοι. Τότε η επιλογή των μονάδων δεν είναι τίποτα άλλο από μία απλή ταξινόμηση της λίστας προτεραιότητας που περιλαμβάνει τόσο τις προσφορές των φορτίων όσο και των παραγωγών.

Για την πολιτική 1, η ένταξη των μονάδων ολοκληρώνεται μόλις η ζήτηση του μικροδικτύου μπορεί να ικανοποιηθεί, ώστε να μην πωλείται ενέργεια πλέον στο δίκτυο και να ικανοποιηθεί ο περιορισμός:

$$X + \sum_{i=1}^N x_i + \sum_{j=1}^L y_j = P\_demand$$

Για την πολιτική 2, η διαδικασία επιλογής των μονάδων ολοκληρώνεται όταν η μονάδα που πρόκειται να ενταχθεί είναι το δίκτυο. Αν οι προσφορές των τοπικών μονάδων με κόστος μικρότερο του δικτύου υπερκαλύπτουν τη ζήτηση, τότε μόλις το δίκτυο γίνει η οικονομικότερη μονάδα, η διαδικασία επιλογής μονάδων σταματά αφού δεν μπορεί να αγοραστεί ενέργεια από το δίκτυο και ταυτόχρονα να πωληθεί ενέργεια σε αυτό. Σε μία τέτοια περίπτωση το μικροδίκτυο δρα ως παραγωγός ενέργειας. Σε αντίθετη περίπτωση το δίκτυο συμβάλλει ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση, η σχέση:

$$X + \sum_{i=1}^N x_i + \sum_{j=1}^L y_j \geq P\_demand$$

Ικανοποιείται ως ισότητα και το μικροδίκτυο είναι ένας καταναλωτής.

Για την επίλυση του προβλήματος της ένταξης μονάδων με συναρτήσεις υποβολής κόστους από τις μονάδες στη μορφή της εξίσωσης:

$$active\_bid(x_i) = a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i$$

χρησιμοποιείται η μέθοδος της λίστας προτεραιότητας που περιλαμβάνει τις μονάδες παραγωγής και τα φορτία κατά αύξουσα σειρά, ώστε να επιλεγθούν οι μονάδες που θα λειτουργήσουν και τα φορτία που τελικά θα αποκοπούν. Προκύπτει λοιπόν η συνάρτηση της μορφής:

$$av\_cost(x_i) = \frac{active\_bid(x_i)}{x_i}$$

Όταν στην  $active\_bid(x_i) = a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i$ , ο όρος  $a$  είναι μηδενικός τότε το σημείο υπολογισμού είναι το τεχνικό μέγιστο της εξεταζόμενης μονάδας, ή η μέγιστη ισχύς που απομένει να εξυπηρετηθεί από την εξεταζόμενη μονάδα, αν αφαιρεθούν τα τεχνικά ελάχιστα των ήδη ενταγμένων μονάδων. Αν όμως ο όρος  $a$  δεν είναι μηδενικός, υπάρχουν τιμές αγοράς για τις οποίες αν και οι μονάδες δεν είναι οι πιο οικονομικές σε σχέση με το δίκτυο αν φορτιστούν στη μέγιστη τιμή τους, εν τούτοις υπάρχουν σημεία λειτουργίας για τα οποία το κόστος παραγωγής τους είναι μικρότερο. Με την ίδια λογική ενδέχεται το μέσο κόστος στο μέγιστο φορτίο να είναι μικρότερο, από την αντίστοιχη τιμή αγοράς ενέργειας από το δίκτυο, αλλά το κόστος μεταβολής κατά 1kWh για τη μονάδα αυτή να είναι μεγαλύτερο από ότι η τιμή του δικτύου. Αν λοιπόν, όπως αναμένεται χωρίς τις τοπικές μονάδες παραγωγής, το δίκτυο μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση του μικροδικτύου, υπάρχουν τιμές αγοράς για τις οποίες δεν είναι συμφέρον να παρέχεται όλη η ισχύς από τις τοπικές μονάδες παραγωγής αν και έχουν μικρότερο μέσο κόστος παραγωγής στην πλήρη ισχύ τους. Αντίθετα μπορούν να υπάρξουν τιμές αγοράς για τις οποίες αν και οι τοπικές μονάδες παραγωγής έχουν υψηλότερο μέσο κόστος παραγωγής, εν τούτοις κάποια έγχυση ισχύος από τις τοπικές μονάδες να μπορεί να μειώσει περαιτέρω το κόστος.

Για κάθε μονάδα με μορφή συνάρτησης προσφοράς  $active\_bid(x_i) = a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i$ , το βέλτιστο σημείο λειτουργίας σε σχέση με το δίκτυο θα δίνεται από την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης:

$$active\_bid(x_i) - Ax_i$$

Η οποία προκύπτει να είναι:

$$x_{opt\_i} = \frac{A - b_i}{2a_i}$$

Όπου:

A: η τιμή αγοράς του δικτύου

Αν αυτή η τιμή είναι μεγαλύτερη από το τεχνικό μέγιστο, τότε το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της μονάδας ως προς το δίκτυο είναι το τεχνικό της μέγιστο και ως προς αυτό γίνονται οι υπολογισμοί στην  $av\_cost(x_i) = \frac{active\_bid(x_i)}{x_i}$ . Αν η τιμή αυτή είναι μικρότερη από το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας, τότε η τιμή στην οποία γίνονται οι υπολογισμοί είναι το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας.

Αυτή η φιλοσοφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον τοπικό ελεγκτή της μονάδας παραγωγής ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η τιμή στην οποία υποβάλλονται προσφορές, την τιμή της παραγωγής που προτίθεται να προσφέρει καθώς και τα όρια παραγωγής ώστε να μην αποζημιώνεται λιγότερο από το κόστος παραγωγής τους.

Αφού έχουν υπολογιστεί για όλες τις μονάδες οι τιμές της συνάρτησης  $av\_cost(x_i) = \frac{active\_bid(x_i)}{x_i}$ , οι τιμές αυτές μπαίνουν στη λίστα προτεραιότητας και ταξινομούνται κατά αύξουσα σειρά. Στη συνέχεια αφαιρούνται από τη συνολική ζήτηση οι ποσότητες  $x_{opt\_i}$  όταν κάθε μία μονάδα ορίζεται ως ενταγμένη. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν είτε για την πολιτική 1 έχει εξυπηρετηθεί όλη η ζήτηση, είτε όταν η μονάδα που πρόκειται να ενταχθεί είναι το δίκτυο για την πολιτική 2.

Αν πρόκειται να συμμετάσχει το μικροδίκτυο στο εμπόριο ρύπων, τότε λαμβάνεται υπ' όψιν η εξίσωση:

$$\begin{aligned} marginal\_cost \\ &= operational\_cost - Emissions\_avoided\_param \\ &\cdot Emission\_cost \end{aligned}$$

#### 4.9.2. Οικονομική Κατανομή (Economic Dispatch)

Μετά από την επιλογή του προγράμματος ένταξης μονάδων, η συνάρτηση οικονομικής κατανομής έχει ως στόχο τον καθορισμό των σημείων λειτουργίας των μονάδων που αποφασίστηκε να ενταχθούν. Τα βήματα για την επίλυση αυτού του προβλήματος συνοψίζονται παρακάτω:

- Λαμβάνονται οι τεχνικοί περιορισμοί των μονάδων των οποίων οι προσφορές έχουν γίνει αποδεκτές από τη διαδικασία ένταξης μονάδων. Οι ενταγμένες μονάδες λειτουργούν τουλάχιστον στο τεχνικό τους ελάχιστο. Αν έχει αποφασιστεί να αγοραστεί ενέργεια από το δίκτυο τότε το δίκτυο θεωρείται ως μία «φανταστική» μονάδα με τεχνικό μέγιστο την ισχύ της διασύνδεσης.
- Αφαιρούνται από το σύνολο της ζήτησης οι αναμενόμενες παραγωγές των μονάδων των οποίων η έξοδος δεν μπορεί να ρυθμιστεί. π.χ μονάδες ΑΠΕ, καθώς και οι προσφορές των φορτίων που έχουν γίνει αποδεκτές.
- Λαμβάνονται υπ' όψιν οι περιορισμοί για την αναγκαστική παραγωγή των τοπικών μονάδων παραγωγής για περιορισμούς τάσης αν προβλέπεται τέτοια πολιτική μέσα στο μικροδίκτυο. Οι περιορισμοί ασφαλείας έχουν ήδη ληφθεί υπ' όψιν κατά την επιλογή των μονάδων και πλέον αναμένεται η οικονομικότερη λειτουργία.

Στη συνέχεια επιλέγονται τα σημεία λειτουργίας των ενταγμένων μονάδων παραγωγής των οποίων η έξοδος μπορεί να ρυθμιστεί και η υπολειπόμενη ισχύς αγοράζεται από το δίκτυο αν έχει αποφασιστεί κάτι τέτοιο. Για τον καθορισμό αυτών των σημείων λειτουργίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος της οικονομικής κατανομής. Για παράδειγμα αν χρησιμοποιούνται συνεχείς συναρτήσεις για τις προσφορές των μονάδων, τότε για την επίλυση του προβλήματος της οικονομικής κατανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι όπως ο Σειριακός Τετραγωνικός Προγραμματισμός – Sequential Quadratic Programming (SQP) που είναι γενίκευση της μεθόδου Newton ή άλλες μαθηματικές μέθοδοι. Αν οι συναρτήσεις των προσφορών είναι κυρτές, όπως αποδεικνύεται ότι είναι οι συναρτήσεις δευτέρου βαθμού με  $\alpha > 0$ , τότε τέτοιου είδους μέθοδοι εγγυώνται την ύπαρξη ολικού βέλτιστου.

Μέθοδοι που στηρίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν αν και σε συνεχείς συναρτήσεις δεν εγγυώνται τη βέλτιστη λύση. Η χρήση τους όμως είναι σχεδόν μονόδρομος στην περίπτωση που οι προσφορές των φορτίων είναι ασυνεχείς συναρτήσεις.

Επειδή αναμένονται στις περισσότερες περιπτώσεις οι προσφορές να είναι απλά γραμμικές συναρτήσεις της μορφής  $b_i \cdot x_i + c_i$ , η κατάταξη των μονάδων με βάσει αυτές τις προσφορές σε μία λίστα προτεραιότητας είναι αρκετή, συγκρίνοντας απλά τις παραμέτρους  $b_i$  των μονάδων των οποίων οι προσφορές έχουν γίνει αποδεκτές, αφού η παράμετρος  $c_i$  θα πληρωθεί ούτως ή άλλως ανεξάρτητα από το ύψος της παραγωγής της μονάδας. Έτσι αναμένεται τέτοιου είδους μονάδων να λειτουργούν στο τεχνικό τους μέγιστο εφ' όσον αυτό είναι εφικτό.

## Βιβλιογραφία

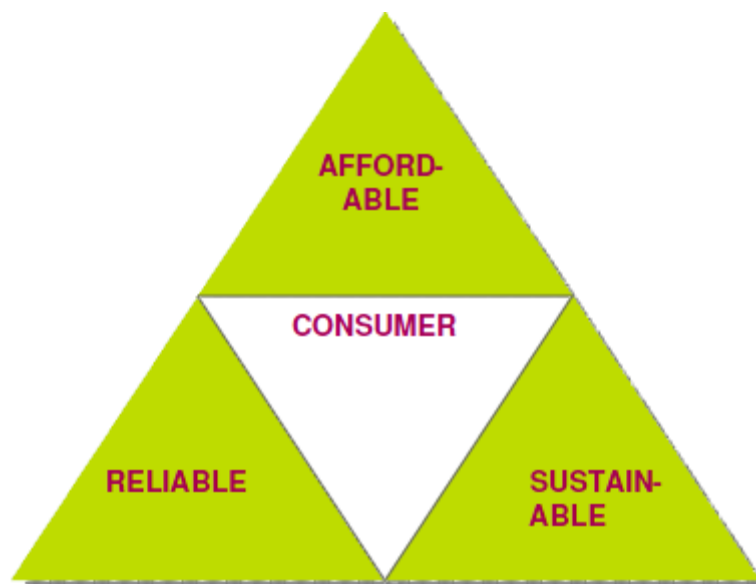
- [4.1] A. Etxeberria, I. Vechiu, H. Comblong, I. M. Vinassa, “Hybrid Energy Storage Systems for Renewable Energy Sources Integretion in Microgrid: A Review”, IEEE 2010.
- [4.2] R. Caire, N. Retiere, S. Martino, C. Andrieu, N. Hadjsaid, “Impact assessment of LV distributed on MV distribution network”, Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, 2002.
- [4.3] Nikos Hatziaargyriou, “MIGROGRIDS – Large Scale Integration of Micro – Generation to Low Voltage Grids”, NTUA, School of Electrical and Computer Engineering, 2000.
- [4.4] Xuan Liu, Bin Su, “Microgrids – An Integration of Renewable Energy Technologies”, Technical Session 3 Protection, Control, Communication and Aytomation of Distribution Network, CICED 2008.
- [4.5] Σπυρίδων Ι. Χατζηβασιλειάδης, “Ανάπτυξη Συστήματος Ελέγχου Απομονωμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας με Τεχνολογία Ευφών Πρακτόρων”, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2007.
- [4.6] Αικατερίνη Βαβαλάκη, “Επίδραση της τιμολόγησης των ΑΠΕ στα μικροδίκτυα”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2010, καθ. Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Υ.Δ. Ανέστης Αναστασιάδης.
- [4.7] Α. Γ. Τσικαλάκης, “Συμβολή στον Προγραμματισμό Λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Μεγάλη Διείσδυση Διεσπαρμένης και Ανανεώσιμης Παραγωγής και Συσκευών Αποθήκευσης”. Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- [4.8] Γεωργία Θ. Πιερή, “Η επίδραση των διαφορετικών πολιτικών λειτουργίας στα μεγέθη ενός μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2012, επιβλέποντες καθ. Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Υ.Δ. Ανέστης Αναστασιάδης.
- [4.9] R. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Meliopoulos, R. Yinger and J. Eto, “White Paper on Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS MicroGrid Concept,” Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS), CA, Tech. Rep. LBNL – 50829, April 2002.



### ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 5.1. Εισαγωγή

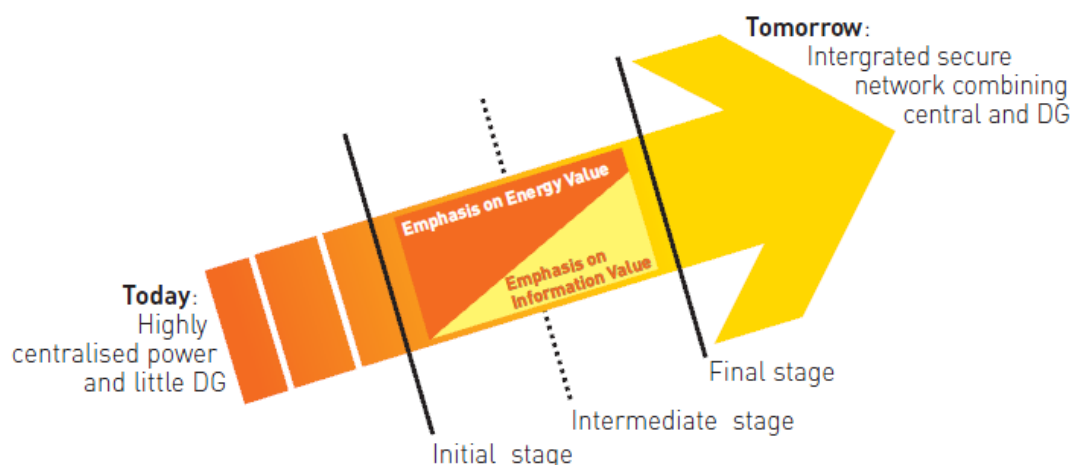
Ο βασικός σκοπός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στα φορτία του με τον πιο βιώσιμο, οικονομικό και αξιόπιστο τρόπο. Δυστυχώς οι τρεις αυτοί στόχοι είναι αντιφατικοί. Όσο πιο βιώσιμη και αξιόπιστη είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο πιο ακριβό είναι. Το να εξασφαλίσουμε την αξιοπιστία σ' ένα σύστημα στο οποίο π.χ. έχουμε μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πιο δύσκολο και δαπανηρό από το να χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα παραγωγής ορυκτών καυσίμων. Οι τρεις στόχοι ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα [5.1]:



**Διάγραμμα 5.1:** Γραφική αναπαράσταση των βασικών στόχων ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Η εξασφάλιση των παραπάνω στόχων καθίσταται ολοένα και πιο δύσκολη στα παραδοσιακά συστήματα. Η αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με μεταβολές της ζήτησης από την πλευρά της κατανάλωσης οδήγησαν σε αλλαγές στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η ευέλικτη κατανάλωση και η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η δημιουργία έξυπνων μετρητών υποστηρίζει την ενσωμάτωση της διεσπαρμένης παραγωγής και τη διαχείριση της ζήτησης (demand-side management) στο ηλεκτρικό σύστημα. Έτσι είναι σημαντική η ευαισθητοποίηση

των καταναλωτών και η βελτίωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της συμμετοχής τους. Έτσι μπορεί να γίνει καλύτερη χρήση του υπάρχοντος δικτύου με μεταφορά περισσότερης ενέργειας χωρίς να απαιτείται αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Όλες αυτές οι εξελίξεις οδήγησαν στη μετατροπή των συστημάτων, που είχαν ελάχιστους ενσωματωμένους αυτοματισμούς, σε συστήματα όπου τα φορτία ελέγχονται έξυπνα και η διεσπαρμένη παραγωγή καθώς και οι συσκευές αποθήκευσης ενσωματώνονται στη λειτουργία του δικτύου. Τα δίκτυα τείνουν να εξελίσσονται από παθητικά σε πιο ενεργά συστήματα. Από την πλευρά του διαχειριστή του συστήματος διανομής (Distribution System Operator – DSO) γίνεται όλο και πιο ξεκάθαρο ότι η ενεργός διαχείριση της διεσπαρμένης παραγωγής είναι η μόνη οικονομικά εφικτή λύση, προκειμένου να ανταπεξέλθει το σύστημα στη μελλοντική αύξηση της ζήτησης, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και διευκόλυνση της ένταξης της κατανεμημένης παραγωγής.



**Διάγραμμα 5.2:** Εξέλιξη δικτύων διανομής

## 5.2. Περιγραφή έξυπνων δικτύων

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσει έξυπνα τη συμπεριφορά όλων όσων συνδέονται με αυτό – είτε καταναλωτών, είτε χρηστών – για την αποτελεσματική επίτευξη του βιώσιμου, οικονομικού και ασφαλούς εφοδιασμού της ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό διαθέτει το κατάλληλο λογισμικό και υλικό συστημάτων πληροφορίας και τηλεπικοινωνιών. Πρόκειται για ένα ηλεκτρικό σύστημα επόμενης γενιάς [5.2].

Ένα έξυπνο δίκτυο μεταφέρει ηλεκτρισμό από προμηθευτές σε καταναλωτές χρησιμοποιώντας αμφίδρομη ψηφιακή τεχνολογία έτσι ώστε να ελέγχονται οι συσκευές στις οικίες των καταναλωτών, για να εξοικονομείται ενέργεια, να μειώνεται το κόστος και να αυξάνεται η αξιοπιστία και η διαφάνεια. Για να προστεθεί «έξυπνάδα» στα δίκτυα χρειάζονται ανεξάρτητοι μικροεπεξεργαστές σε κάθε

συσκευή του δικτύου. Τα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν εξελιγμένους αισθητήρες (sensors) και ενεργοποιητές (actuators) καθώς και κατανεμημένους υπολογιστές για να βελτιώνουν την απόδοση, την αξιοπιστία και την ασφάλεια τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή. Οι υποβοηθητικές τεχνολογίες των ευφών αυτών δικτύων είναι τα συστήματα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών για τη Διαχείριση της Ζήτησης (DSM/DR – Demand Side Management/Demand Response), οι υπηρεσίες on – line, οι έξυπνοι μετρητές (smart meters), τα ηλεκτρονικά ισχύος και οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Το ηλεκτρικό δίκτυο, ενδέχεται στο μέλλον να πάρει τις διαστάσεις του διαδικτύου (Internet) και μέχρι το 2020 οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας να επιτρέπουν σε όλους πρόσβαση στις υπηρεσίες τους [5.3].

Ένα ευφές δίκτυο επιτρέπει στις συσκευές όλων των επιπέδων να επικοινωνούν με το σύστημα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο ώστε να μπορούν να λειτουργούν όσο το δυνατό πιο αποδοτικά. Με τη χρήση έξυπνων συσκευών οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν ενέργεια. Επιπλέον, προηγμένες επικοινωνιακές ικανότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, για τα κίνητρα μείωσης ζήτησης και για σήματα άμεσης διακοπής φορτίων.

Ένα έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα έξυπνο σύστημα που ελέγχει τη ροή ενέργειας στο σύστημα, ενώ επίσης ενσωματώνει τη χρήση υπεραγωγίων γραμμών μεταφοράς για λιγότερες απώλειες. Τα ανεπτυγμένα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών και των κινητήρων σε μεταβλητές στροφές ώστε να αυξάνεται η απόδοση και η ποιότητα της παροχής ισχύος. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι φθηνότερη, ένα έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να ενεργοποιεί συγκεκριμένες οικιακές συσκευές, όπως για παράδειγμα τα πλυντήρια ή ακόμη και ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες, ενώ σε ώρες αιχμής θα μπορούσε να κλείνει επιλεγμένες συσκευές για να μειώσει τη ζήτηση [5.4]. Η αυτοδιόρθωση (self healing) είναι μία προοπτική για αυτά τα δίκτυα και μελετάται.

Στα έξυπνα δίκτυα κάθε μονάδα του δικτύου έχει το δικό της ανεξάρτητο επεξεργαστή, με στιβαρό λειτουργικό σύστημα, ικανό να δρα ως ανεξάρτητος πράκτορας (agent), που μπορεί να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με τους άλλους επεξεργαστές σχηματίζοντας μία μεγάλη κατανεμημένη υπολογιστική πλατφόρμα. Η μελλοντική φιλοσοφία της προστασίας των μικροδικτύων ή έξυπνων δικτύων θα είναι πολύ διαφορετική από τη σημερινή που στηρίζεται στις δυνατότητες των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων.

Η ευρυζωνική επικοινωνία χρησιμοποιείται για να υπάρχει εικονική πρόσβαση σε όλους τους σταθμούς παραγωγής και σε όλα τα φορτία σε κάθε επίπεδο ισχύος με πολύ χαμηλό κόστος. Αυτό οδηγεί στην εφαρμογή νέων στρατηγικών, όπως είναι η δημιουργία εικονικών σταθμών παραγωγής ή η καθιέρωση αγορών ακόμη και για μικρούς καταναλωτές ή παραγωγούς.

Για μια επιτυχημένη μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα είναι απαραίτητη η συμμετοχή όλων. Κυβερνήσεις, νομοθέτες, καταναλωτές, παραγωγοί, έμποροι, εταιρίες διανομής και μεταφοράς, κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και πάροχοι υπηρεσιών πληροφορικής και επικοινωνιών πρέπει όλοι να συμμετέχουν ενεργά. Παράλληλα, είναι σημαντική η δημιουργία πιλοτικών προγραμμάτων, όχι μόνο σε τεχνικό επίπεδο αλλά και σε οργανωτικό. Για παράδειγμα, οι νομοθετικές διατάξεις πρέπει να ανανεωθούν με τρόπο ώστε να παρέχουν κίνητρα για νέες εξελίξεις.

### **5.3. Εξοπλισμός έξυπνων δικτύων**

Ένα έξυπνο μικροδίκτυο διαθέτει τον παρακάτω εξοπλισμό [5.5]:

- *Τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (Information and Communication Technology – ICT)*

Οι Τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών μπορούν να εφαρμοστούν για τον συντονισμό και τον έλεγχο των κατανεμημένων πηγών ενέργειας που συνδέονται με το δίκτυο. Μέσα από την αμφίδρομη επικοινωνία οι διαχειριστές των δικτύων διανομής (Distributed Network Operators – DNOs) μπορούν να διαχειρίζονται τη διεσπαρμένη παραγωγή και να συλλέγουν πληροφορίες για το δίκτυο και στην πιο απομακρυσμένη περιοχή υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

- *Ηλεκτρονικά Ισχύος*

Συσκευές ηλεκτρονικών ισχύος εγκαθίστανται σε συστήματα μετάδοσης για τον έλεγχο της ροής ισχύος και της τάσης. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως ευέλικτα συστήματα μετάδοσης (flexible AC transmission systems – FACTS). Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη σταθερότητα του συστήματος και στην αύξηση της μεταφοράς ισχύος.

- *Έξυπνοι μετρητές*

Τα έξυπνα δίκτυα για να είναι υλοποιήσιμα απαιτούν τη χρήση έξυπνων μετρητών (smart meters). Ο έξυπνος μετρητής είναι μια ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης με δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες συσκευές. Ουσιαστικά, μετράει την ενέργεια που χρησιμοποιείται και στέλνει τις πληροφορίες στο σύστημα και από εκεί καταλήγουν στον πελάτη, ενημερώνοντάς τον για την εκάστοτε κατανάλωσή του και το αντίστοιχο κόστος αυτής. Οι έξυπνοι μετρητές έχουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, δυνατότητα δηλαδή, εκτός από την αποστολή δεδομένων και τη λήψη εντολών. Αποτελούν ένα οικονομικό τρόπο μέτρησης και παρακολούθησης της κατανάλωσης, που επιτρέπει την καλύτερη ρύθμιση της παραγωγής βασισμένη σε ημερήσια δεδομένα πραγματικού χρόνου – εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, μικρότερες επενδύσεις σε δίκτυα διανομής.

Οι έξυπνοι μετρητές θα έχουν τη δυνατότητα να μετρούν άμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος και να μεταδίδουν τις μετρήσεις στις βάσεις δεδομένων στο κέντρο διαχείρισης (EIS). Ο καταναλωτής μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να έχει γνώση της πραγματικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε συνθήκες απελευθερωμένης αγοράς, οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας θα έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με τους καταναλωτές μέσω μηνυμάτων διαμέσου του έξυπνου μετρητή και να προσφέρουν μειωμένες χρεώσεις κιλοβατώρας ή να κάνουν προσφορές ώστε να καταρτιστούν ειδικά προγράμματα χρέωσης με βάση τις ώρες κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας σε περιόδους αιχμής είναι μια μέθοδος που μπορεί να μειώσει την αντίστοιχη ζήτηση με αποτέλεσμα τεράστιο όφελος τόσο για τον παραγωγό όσο και για τη γενικότερη πολιτική εξοικονόμησης. Με την αυτόματη αναγνώριση μετρητή, ο διαχειριστής θα είναι σε θέση να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας κάθε οικίας, επιχείρησης, βιομηχανίας κτλ., γεγονός που αποτελεί τεράστιο όφελος από άποψη εξοικονόμησης οικονομικών και ανθρωπίνων πόρων. Σήμερα ένας μεγάλος αριθμός υπαλλήλων της εταιρίας διανομής (ΔΕΗ), απασχολείται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με μετρητές, είτε με υποθετικές προσεγγίσεις βάση στατιστικών δεδομένων, διορθώνοντας σε επόμενους λογαριασμούς τις αποκλίσεις που πιθανόν υπάρχουν από τα πραγματικά δεδομένα. Ένα γεγονός που μειώνει την αξιοπιστία του παρόχου και προβληματίζει τους πελάτες ως προς το ύψος των λογαριασμών.

Το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής ένωσης υιοθέτησε το τρίτο ενεργειακό πακέτο τον Απρίλιο του 2009. Σύμφωνα μ' αυτό έξυπνοι μετρητές πρέπει να έχουν εγκατασταθεί τουλάχιστο στο 80% των οικιακών καταναλωτών μέχρι το 2020 και στο 100% μέχρι το 2022.

➤ *Αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης*

Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός καταναλωτών έχει οδηγήσει τις εταιρίες στην αναζήτηση ενός αποδοτικού τρόπου υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνεται από τους συνδρομητές. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης (Automatic Meter Reading – AMR) αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται συνολικά και όχι μόνο στην ηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί δηλαδή να ενσωματώνει και άλλους μετρητές όπως του φυσικού αερίου και του νερού.

Εκτός από την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας το AMR σύστημα παρέχει ένα σύνολο ολοκληρωμένων υπηρεσιών. Μπορεί να απεικονίσει την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (real – time) καθώς οι μετρήσεις λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι μπορεί ο πελάτης να ξέρει ακριβώς τι καταναλώνει και τι πληρώνει και επιπλέον μπορεί να δημιουργηθεί ένα ενεργειακό προφίλ του πελάτη (κτιρίου). Το προφίλ αυτό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πιστοποιητικό που του δίνει αγοραστική δύναμη απέναντι σε μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Το προφίλ

αυτό δείχνει τι καταναλώνει ο πελάτης και ποια χρονική στιγμή, συνεπώς αυτό βοηθάει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, τόσο με εντοπισμό «άχρηστων» φορτίων όσο και από αποφυγή ποινών λόγω υψηλών αιχμών στην κατανάλωση. Επιπλέον μπορεί να προσφέρει ακόμα δυνατότητες χειρισμού φορτίου, ανίχνευσης σφαλμάτων στο δίκτυο και έγκαιρης ενημέρωσης του συστήματος αλλά και αξιοπιστία στις μετρήσεις.

Το AMR είναι ένα σύστημα αυτοματισμού που συλλέγει δεδομένα (μετρήσεις – καταναλώσεις) και τα στέλνει σε μια κεντρική βάση δεδομένων όπου γίνεται η αποθήκευση και η επεξεργασία αυτών των στοιχείων. Η επικοινωνία γίνεται μέσω τηλεπικοινωνιακού διαύλου – ενσύρματου ή ασύρματου – ή μέσω της γραμμής μεταφοράς με φέροντα κύματα και πραγματοποιείται είτε με μονομερή αποστολή δεδομένων από το σύστημα στο διακομιστή σε τακτά χρονικά διαστήματα, είτε με αποστολή κατόπιν αίτησης του διακομιστή, είτε με συνδυασμό των δύο παραπάνω.

➤ *Συσκευές προστασίας και διακόπτες*

Στα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούνται διακόπτες προκειμένου να προστατεύεται ο εξοπλισμός σε περιπτώσεις αύξησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Ακόμη γίνεται χρήση αυτοματοποιημένων συσκευών προστασίας προκειμένου να βελτιωθεί η ασφάλεια και η αξιοπιστία του συστήματος.

➤ *Συσκευές αποθήκευσης ενέργειας*

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Energy Storage Systems – ESSs) μπορούν να αποδειχθούν ωφέλιμα για το μικροδίκτυο, καθώς έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και ως φορτία και ως γεννήτριες. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με ηλεκτρονικά ισχύος παρέχουν βοηθητικές υπηρεσίες, για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος, της αξιοπιστίας του δικτύου και την αύξηση της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα δίκτυα. Σε αυτή την κατεύθυνση συμβάλλουν και υπηρεσίες V2G (Vehicle to Grid), όπου οι κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων ενσωματώνονται στη λειτουργία του δικτύου.

#### **5.4. Έξυπνα δίκτυα και ΑΠΕ**

Το έξυπνο δίκτυο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ταχύτατη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και την επακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ασφαλή για τον πλανήτη επίπεδα κατά τις επόμενες δεκαετίες. Τα ευφυή δίκτυα συνδυάζουν πολλές διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως είναι οι ΑΠΕ και δημιουργούν εικονικούς σταθμούς ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο πολλές μικρές ανανεώσιμες πηγές όπως είναι οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, μονάδες παραγωγής από γεωθερμία και βιομάζα, ενώνονται και παράγουν την ίδια ενέργεια με συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες, με μεγαλύτερη όμως αποδοτικότητα, ευελιξία και μηδαμινές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Η δημιουργία υπέρ – δικτύων (συστημάτων μεταφοράς υψηλής τάσης σε πολύ μακρινές αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες) θα επιτρέψει τη μεταφορά ανανεώσιμης

ενέργειας από την πηγή στη περιοχή όπου η ζήτηση είναι μεγάλη. Για παράδειγμα από τις ηλιοθερμικές μονάδες της Νότιας Ευρώπης σε περιοχές υψηλής ζήτησης στην Κεντρική Ευρώπη ή από τα παράκτια αιολικά της Βορείου θάλασσας για αποθήκευση στα υδροηλεκτρικά φράγματα της Νορβηγίας. Έξυπνες τεχνολογίες μπορούν να διαχειρίζονται τις καταναλωτικές τάσεις, να παρέχουν με ευελιξία ενέργεια ακολουθώντας τις αυξομειώσεις της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αξιοποιούν καλύτερα τις διαθέσιμες μονάδες αποθήκευσης. Έτσι διασφαλίζεται το ασφαλές και σταθερό ενεργειακό μέλλον που απαιτείται προκειμένου να αποφευχθούν οι καταστροφικές κλιματικές αλλαγές.

Το έξυπνο δίκτυο ενώνει διεσπαρμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαραγωγή και διανέμει την ενέργεια με ένα πολύ αποδοτικό τρόπο, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα ελέγχου και επικοινωνίας. Ταυτόχρονα διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια με έναν πιο οικονομικό τρόπο, με χαμηλότερη ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σε συνάρτηση με τις ανάγκες των καταναλωτών. Η μαζική αξιοποίηση των ΑΠΕ, μέσω ενός συστήματος έξυπνων δικτύων, κάνει εφικτή τη σταδιακή απόσυρση των παλιών συμβατικών θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής. Η βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης σημαίνει παράλληλα μείωση της πιθανότητας απώλειας φορτίου και μαζική μείωση εκπομπών αερίων. Με την εφαρμογή ενός ιδεατού παγκόσμιου έξυπνου δικτύου, ενέργεια που παράγεται τοπικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως οπουδήποτε. Προκειμένου να προετοιμαστούμε για ένα ενεργειακό μίγμα με πολύ υψηλά ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ, θα χρειαστεί να στραφούμε προς ένα διασυνδεδεμένο έξυπνο δίκτυο.

Η ανάγκη ενσωμάτωσης ανανεώσιμης ενέργειας στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας από τους λόγους του αυξημένου ενδιαφέροντος για τα έξυπνα δίκτυα. Δίνεται πλέον μεγάλη έμφαση στο οικονομικό και περιβαλλοντολογικό όφελος από τις «έξυπνες» επενδύσεις, δηλαδή αυτές που διευκολύνουν την εγκατάσταση των μονάδων ΑΠΕ, μειώνουν το κόστος μεταφοράς και μετατοπίζουν το περιθώριο κέρδους.

Η ενσωμάτωση καταναμημένων μονάδων ΑΠΕ σε ένα δίκτυο σχεδιασμένο για τη μεταφορά centrally – generated ηλεκτρισμού συναντά δυσκολίες τόσο σε μηχανικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι λιγότερο ικανές στο να παράγουν ελεγχόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Πολλές φορές η παραγωγή από ΑΠΕ δε συνάδει με τη μέγιστη ζήτηση, λόγω έλλειψης συνέχειας της παραγωγής από ορισμένες ΑΠΕ, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά και έτσι η ζήτηση δεν καλύπτει την προσφορά ηλεκτρισμού. Επιπλέον, αν οι ανανεώσιμες πηγές θα μπορούσαν να αλλάξουν τις απαιτήσεις ρύθμισης της τάσης και συχνότητας του δικτύου σε σχέση με την κεντρική παραγωγή ενέργειας.

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να βοηθήσει στο ζήτημα της διακοπής παροχής ανανεώσιμης ενέργειας, στη ρύθμιση της τάσης και συχνότητας και στην αποσταθεροποίηση που προκύπτει από τις καταναεμημένες ΑΠΕ. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ψηφιακό έλεγχο, τη χρήση διακοπών και ρελέ που μπορούν να συγχρονίζουν την πηγή ώστε να μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χωρίς διακοπή. Βέβαια η ασυνέπεια παραγωγής και ζήτησης δεν λύνεται από ένα έξυπνο δίκτυο, αλλά απαιτείται χρήση αποθηκευτικών μέσων ηλεκτρικής ενέργειας [5.6].

Οι διασυνδεδεμένες ηλεκτρικές διασυνδέσεις φέρουν μεγαλύτερη ενεργειακή ασφάλεια κατά την ανάπτυξη ενός ηλεκτρικού συστήματος που βασίζεται σε ΑΠΕ, καθώς για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ υπάρχουν περισσότερες επιλογές που εξασφαλίζουν την ποσότητα και την ποιότητα της κάλυψης της ζήτησης. Για αυτό το διασυνδεδεμένο έξυπνο δίκτυο αποτελεί μία σοφότερη λύση καθώς επιτρέπει την καλύτερη χρήση της εγκατεστημένης ισχύος.

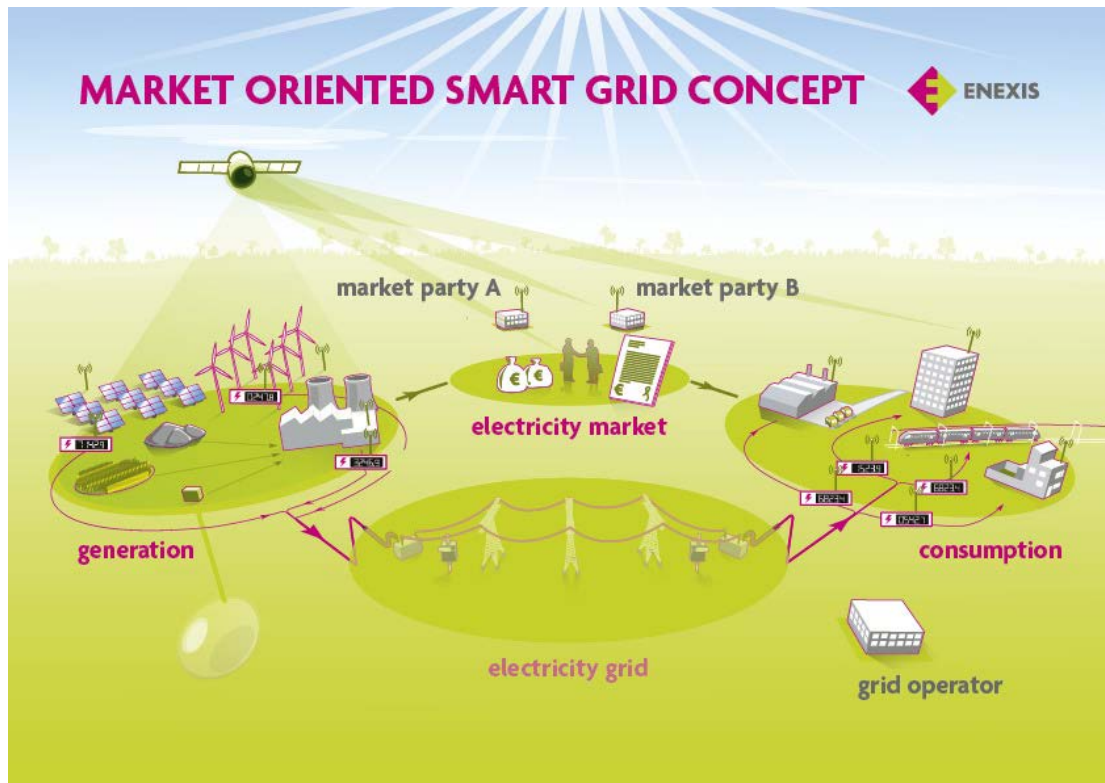
### **5.5. Σενάρια λειτουργίας Έξυπνων δικτύων**

Λόγω του ότι στο έξυπνο δίκτυο υπάρχουν πολλά εμπλεκόμενα μέρη, η ανάπτυξη ενός έξυπνου δικτύου μπορεί να εστιάσει σε διαφορετικούς στόχους. Τρεις είναι οι κύριες πολιτικές ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων [5.2]:

- *Ανάπτυξη έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό στην αγορά*

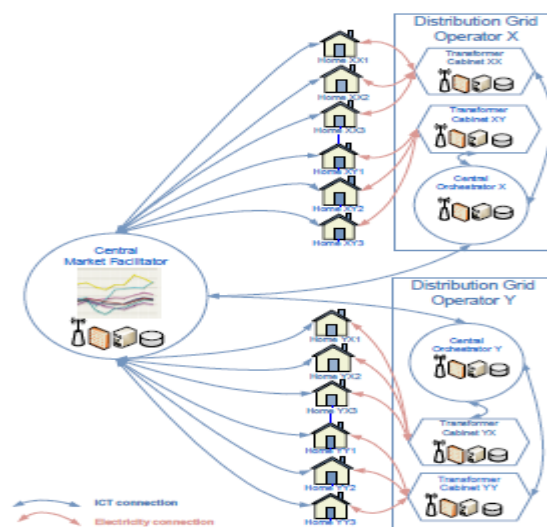
Όπως είναι προφανές, το σενάριο αυτό αφορά στη λειτουργία της αγοράς ενέργειας και δεν επηρεάζει τη λειτουργία του δικτύου. Κύριος στόχος του είναι να αυξήσει το επίπεδο της αλληλεπίδρασης μεταξύ των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας και των καταναλωτών λιανικής. Αντί το τιμολόγιο να είναι το ίδιο για όλες τις ώρες ή μόνο ελαφρώς διαφοροποιημένο (π.χ. κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας ή τη νύχτα / Σαββατοκύριακα), οι καταναλωτές λαμβάνουν πιο προηγμένα συστήματα τιμολόγησης με πρόβλεψη του φορτίου για την επόμενη μέρα. Καθοριστική είναι η χρήση των έξυπνων μετρητών στην εφαρμογή του σεναρίου αυτού.





**Εικόνα 5.1:** Ανάπτυξη έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό ανάπτυξης την αγορά

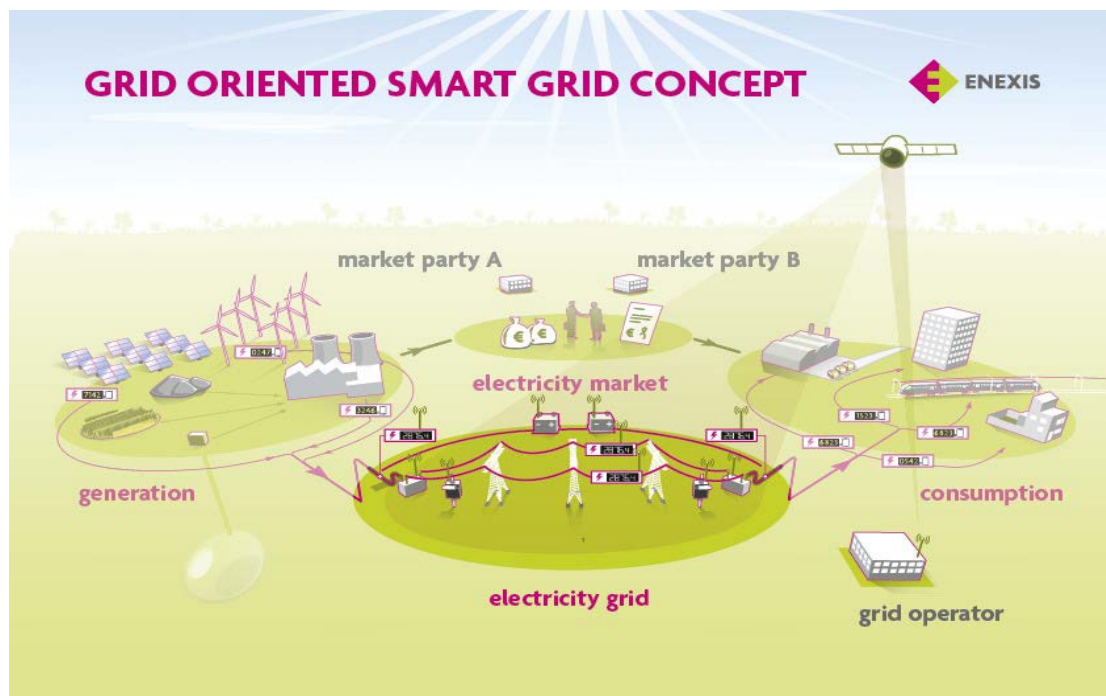
Στο σενάριο αυτό μόνο οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας αλληλεπιδρούν άμεσα με τους καταναλωτές. Οι διαχειριστές του δικτύου συσχετίζονται περισσότερο έμμεσα, επειδή συλλέγουν στοιχεία μέσω των έξυπνων μετρητών και λόγω του ότι ασκούν έλεγχο στις τιμές που ορίζονται από τους παρόχους για τους καταναλωτές. Η συνήθης αρχιτεκτονική λειτουργίας του μικροδικτύου στο σενάριο αυτό είναι η παρακάτω:



**Εικόνα 5.2:** Σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής λειτουργίας έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό ανάπτυξης την αγορά

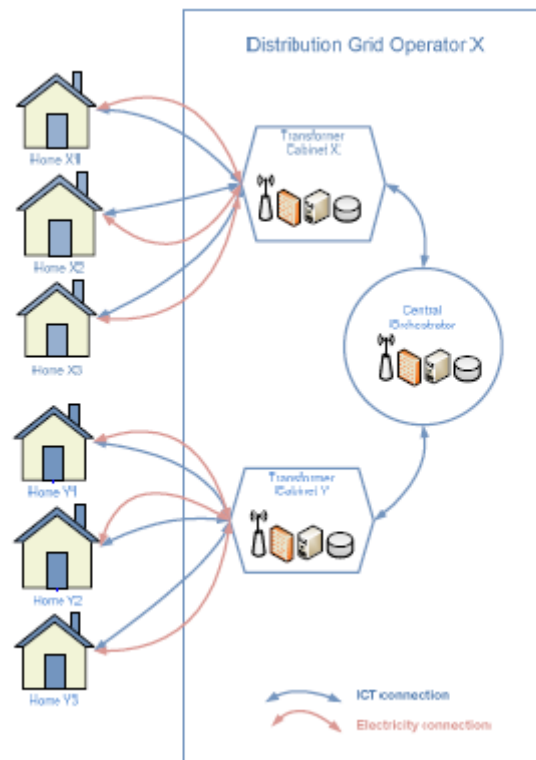
- *Ανάπτυξη έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό το δίκτυο*

Το αντίθετο του σεναρίου ενός έξυπνου δικτύου προσανατολισμένο στην αγορά είναι η ανάπτυξη ενός δικτύου με προσανατολισμός το δίκτυο. Αυτό το σενάριο αφορά μόνο στη διαχείριση του δικτύου. Στόχος του είναι η μείωση των επενδύσεων για ενίσχυση του δικτύου με την απόκτηση περισσότερων στοιχείων από μετρήσεις, την υποστήριξη και επιτάχυνση της διακοπτικής ικανότητας των μέσων προστασίας για την αποκατάσταση του δικτύου μετά από διακοπές. Αυτό επιτυγχάνεται με τον εξοπλισμό του δικτύου με μονάδες για τον έλεγχο των μετρήσεων και της κατάστασης των στοιχείων, των τάσεων και των ρευμάτων στο δίκτυο. Ένα παράδειγμα εξοπλισμού ελέγχου είναι ο τηλεχειρισμός των διακοπών, που συχνά αναφέρεται και ως αυτοματοποίηση της διανομής. Παράδειγμα παρακολούθησης και μέτρησης είναι και η μέτρηση της γραμμής των μερικών εκκενώσεων σε καλώδια και αρθρώσεις.



**Εικόνα 5.3:** Έξυπνο δίκτυο με προσανατολισμό ανάπτυξης το δίκτυο

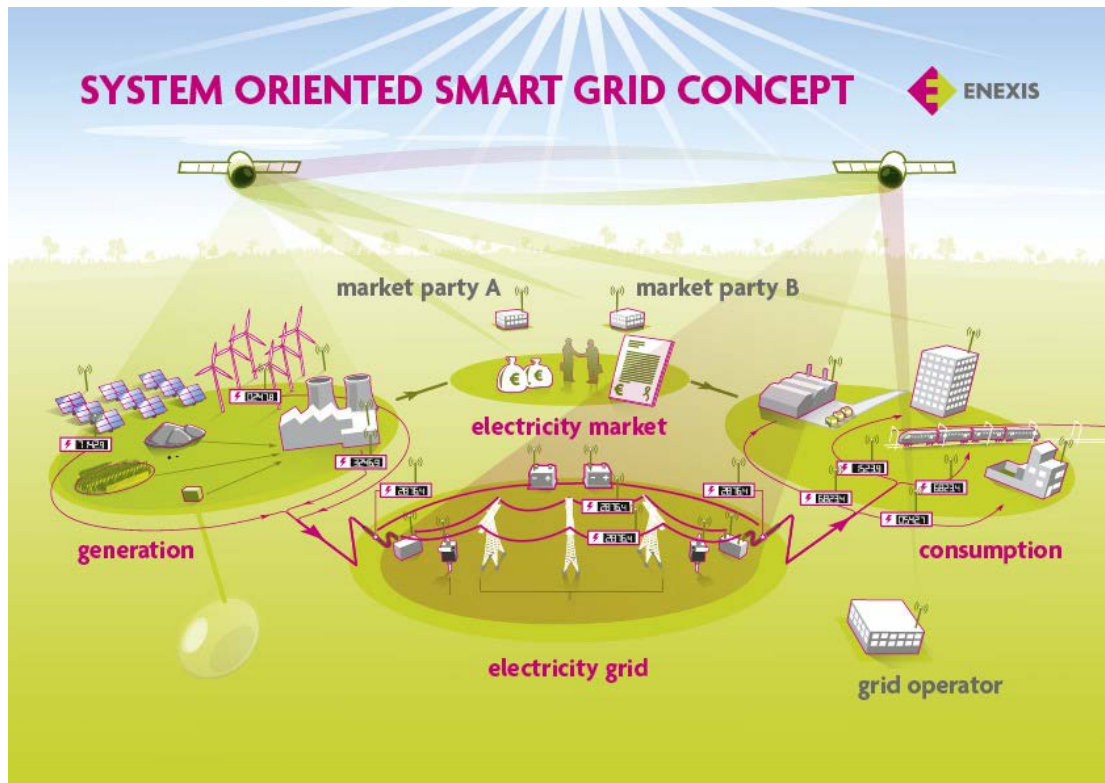
Σ' αυτό το σενάριο μόνο οι διαχειριστές του δικτύου διαδραματίζουν ενεργό ρόλο, γι' αυτό και έχει την αρχιτεκτονική, που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



**Εικόνα 5.4:** Σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής λειτουργίας έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό ανάπτυξης το δίκτυο

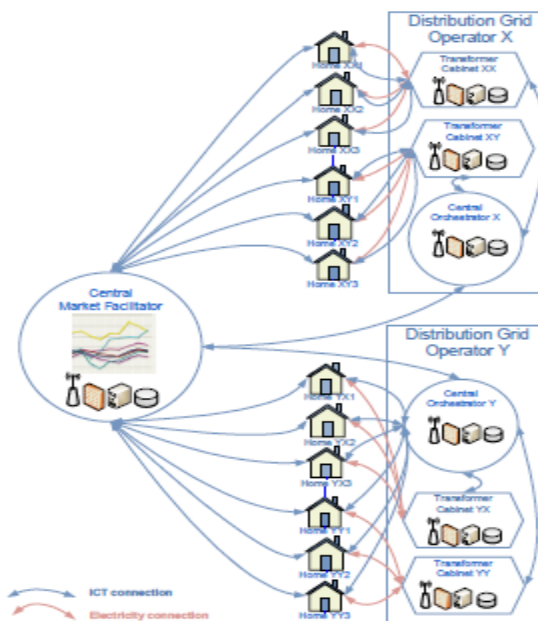
- Ανάπτυξη έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό το συνολικό σύστημα

Το τρίτο σενάριο έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση του συνολικού συστήματος και από την πλευρά του ενεργειακού ισοζυγίου και σε ό τι αφορά τη λειτουργία του δικτύου. Σκοπός της πολιτικής αυτής είναι να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες ώστε να ενσωματώνεται η τοπική παραγωγή χωρίς να διαταράσσεται η ενεργειακή ισορροπία στο σύστημα. Αυτές τις ενέργειες μπορούν να τις εκτελέσουν τόσο οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και οι διαχειριστές του δικτύου κατ' ευθείαν ή η κάθε κατάσταση να διαμορφώνει έτσι τις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε οι καταναλωτές να δρουν ανάλογα:



**Εικόνα 5.5:** Έξυπνο δίκτυο με προσανατολισμό ανάπτυξης το συνολικό σύστημα

Στο σενάριο αυτό τόσο οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και οι διαχειριστές του δικτύου συνεργάζονται με τους καταναλωτές. Έτσι τα έξυπνα δίκτυα αυτά έχουν την παρακάτω αρχιτεκτονική:



**Εικόνα 5.6:** Σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής λειτουργίας έξυπνου δικτύου με προσανατολισμό ανάπτυξης το συνολικό σύστημα

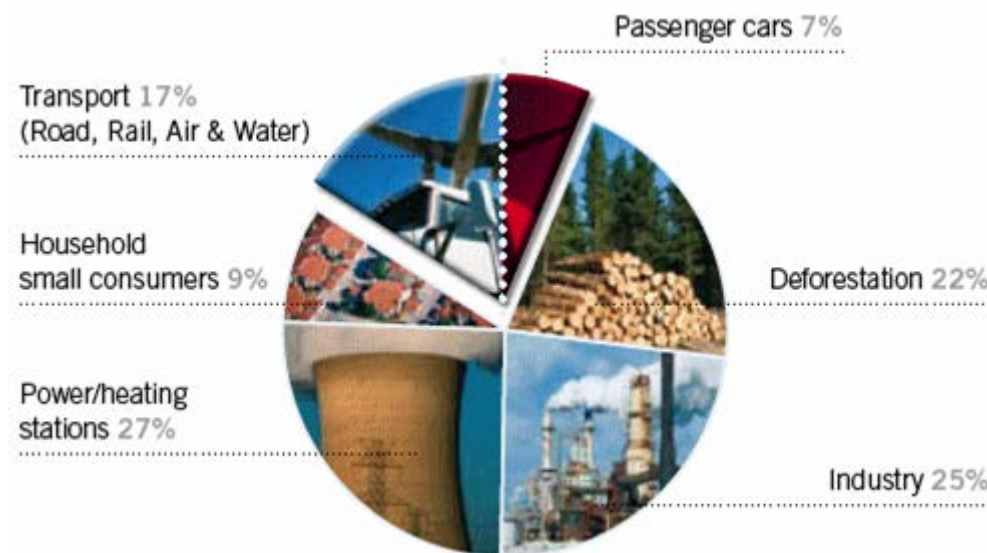
## Βιβλιογραφία

- [5.1] Dictorate – General for research sustainable Energy Systems, European Smartgrids technology platform, “Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the future”.
- [5.2] J.G. Slootweg, C. E. P. Jordan Cordova, C. Montes Portela, J. Morren, “Smart Grids – Intelligence for Sustainable Electrical Power Systems”.
- [5.3] Νίκος Χατζηαργυρίου, Ευφυή δίκτυα διανομής και αυξημένη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής. Αθήνα: ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΕΒΕΑ – εφημερίδα ΑΠΟΓΕΥΜΑΤΙΝΗ ‘ΕΝΕΡΓΕΙΑ και ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ’, 18 Απριλίου 2007.
- [5.4] Wikipedia website: [http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid).
- [5.5] Rodrigo Hidalgo, Chad Abbey, Ceza Joos, “Integrating Distributed Generation with Smart Grid Enabling Technologies”, IEEE 2011.
- [5.6] GREENPEACE website: <http://www.greenpeace.org/greece/el/>

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

#### 6.1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια κοινότητα γίνεται μάρτυρας των δυσχερών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις συνθήκες ζωής στον πλανήτη. Μια από τις σοβαρότερες επιπτώσεις της ρύπανσης αυτής είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εκπομπή αερίων προερχόμενων από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως το CO<sub>2</sub>. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα ένα σημαντικό ποσοστό των εκπομπών CO<sub>2</sub> οφείλεται και στις μεταφορές:



**Διάγραμμα 6.1:** Η ανθρωπογενής εκπομπή CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα [6.1]

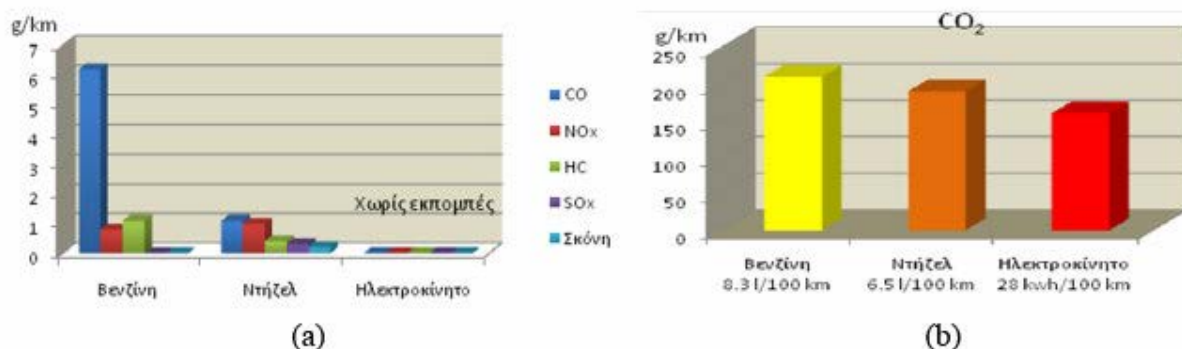
Όμως οι εκπεμπόμενοι ρύποι από μεταφορικές δραστηριότητες δεν εξαντλούνται στο CO<sub>2</sub> αλλά εκτείνονται και σε πολλά άλλα είδη ρύπων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το εύρος των παραγόμενων ρύπων από τις διάφορες κινητήριες μηχανές που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα.



| Τύπος μηχανής                 | Καύσιμο   | Κύριοι ρύποι                                                    | Μέσον                     |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Τετράχρονη (Otto)             | βενζίνη   | HC, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>                       | αυτοκίνητα, δίτροχα       |
| Δίχρονη                       | βενζίνη   | HC, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , σωματίδια           | δίτροχα, εξωλέμβιες       |
| Πετρελαίου                    | πετρέλαιο | NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , σωματίδια | αυτοκίνητα γενικώς, πλοία |
| Στροβιλοκινητήρας (αεροπλάνα) | κηροζίνη  | NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , σωματίδια                   | αεροπλάνα, τραίνα         |

**Πίνακας 6.1:** Κινητές ρυπογόνες πηγές και οι εκπεμπόμενοι ρύποι [6.2]

Η προσπάθεια περιορισμού των εκπεμπόμενων ρύπων όσο αφορά τις μεταφορές αποτελεί ένα πρόσφορο τομέα επιστημονικής δραστηριότητας και έρευνας, στον οποίο έχει στραφεί το ενδιαφέρον της παγκόσμιας κοινότητας τα τελευταία χρόνια στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Μια λύση για την μείωση των ρύπων από τις μεταφορικές δραστηριότητες είναι η υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης στα οχήματα. Αυτό μπορεί να φανεί και από το Διάγραμμα 6.2 στο οποίο γίνεται σύγκριση των εκπομπών τριών διαφορετικών κινητήριων συστημάτων. Σε αντίθεση με τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο δεν εκπέμπει κανένα ρύπο κατά τη λειτουργία του.



**Διάγραμμα 6.2:** Σύγκριση εκπομπών μεταξύ τριών κινητήριων συστημάτων [6.3]

- (α) Τοπικές εκπομπές ρύπων κατά την κυκλοφορία σε ευρωπαϊκή πόλη.  
 (β) Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά την κυκλοφορία σε ευρωπαϊκή πόλη λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές κατά την ηλεκτροπαραγωγή.

## 6.2.Ορισμός και τύποι Ηλεκτρικών Οχημάτων

Με τον όρο *ηλεκτρικό όχημα (EV)* αναφερόμαστε σε οχήματα που χρησιμοποιούν για την κίνηση τους έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες.



**Εικόνα 6.1:** Ηλεκτρικό όχημα της Honda

Τα ηλεκτρικά οχήματα που διατίθενται σήμερα στην αγορά μπορούν να διακριθούν με βάση την τεχνολογία τους σε τρεις βασικές κατηγορίες [6.4] :

➤ *Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles – BEV's)*

Είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που κινούνται αποκλειστικά με την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε συσσωρευτές εγκατεστημένους εντός του οχήματος και η οποία μπορεί να προσληφθεί από το δίκτυο, ή από κάποια εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Εφαρμόζονται επίσης και τεχνικές φόρτισης των συσσωρευτών με τη λεγόμενη «αναγεννητική πέδηση», που αξιοποιεί την θερμότητα που παράγεται κατά το φρενάρισμα του οχήματος. Με τα σημερινά δεδομένα οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος (lead – acid) αποτελούν την οικονομικότερη επιλογή, όμως τεχνολογίες όπως οι υδριδίου μετάλλων νικελίου (NiMH), ιόντων λιθίου (Li-Ion) και πολυμερών ιόντων λιθίου κερδίζουν συνεχώς έδαφος λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, του μικρότερου μεγέθους και βάρους. Σήμερα, ορισμένοι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα χαμηλής ταχύτητας, τα εδάφους αεροδρομίων, καθώς και οχήματα βιομηχανικού εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα περνοφόροι ανυψωτές κ.α.

➤ *Ηλεκτρικά οχήματα με μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (Battery Electric Vehicles with Range Extender)*

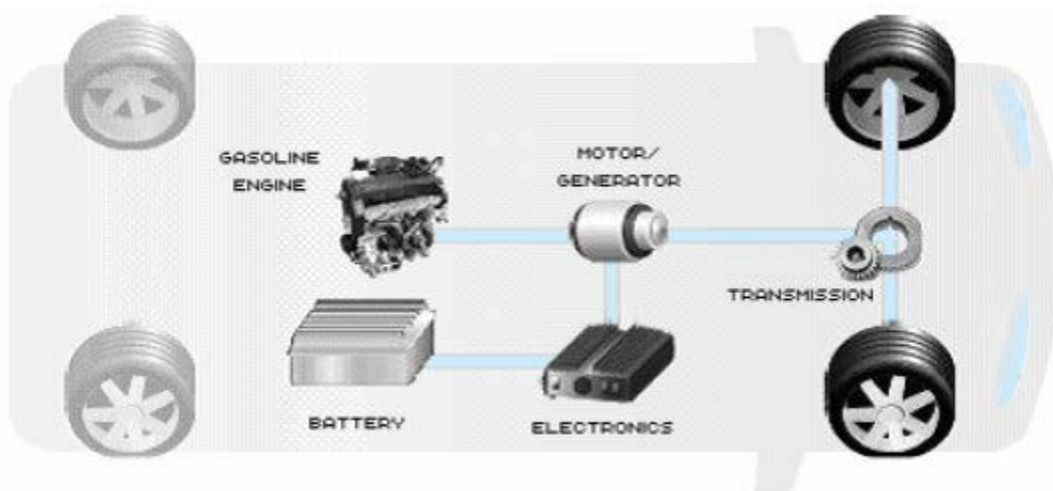
Είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τα οποία έχουν συσσωρευτές όπως ακριβώς και τα προαναφερθέντα, και επιπλέον διαθέτουν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (γεννήτρια) επί του οχήματος. Η γεννήτρια αυτή χρησιμοποιείται κατά περίπτωση είτε για να φορτιστούν οι συσσωρευτές του οχήματος όταν αυτοί εκφορτιστούν, είτε για την απευθείας τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων όταν αυτό απαιτείται. Τα οχήματα ανεφοδιάζονται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο όπως ακριβώς και τα BEV's, αλλά παράλληλα πρέπει να ανεφοδιάζονται και με το είδος του καυσίμου με το οποίο λειτουργεί η μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (είτε αυτό είναι βενζίνη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο).



➤ *Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PEHV)*

Τα αυτοκίνητα αυτά κινούνται χρησιμοποιώντας συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης, και εκτός από τον εφοδιασμό τους με το συμβατικό καύσιμο του θερμικού κινητήρα, έχουν επιπρόσθετα τη δυνατότητα να φορτίζουν τους συσσωρευτές τους με ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από το δίκτυο, ή από κάποια εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Οι διατάξεις των οχημάτων αυτών είναι δύο: η παράλληλη και η σειριακή [6.5].

Στην «παράλληλη» σχεδίαση του κινητήρα, ο κινητήρας εσωτερικής και ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι συνδεδεμένοι μηχανικά και κινούν τους τροχούς όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.2. Λόγω της μηχανικής σύνδεσης του κινητήρα με τους τροχούς απαιτείται κιβώτιο ταχυτήτων.

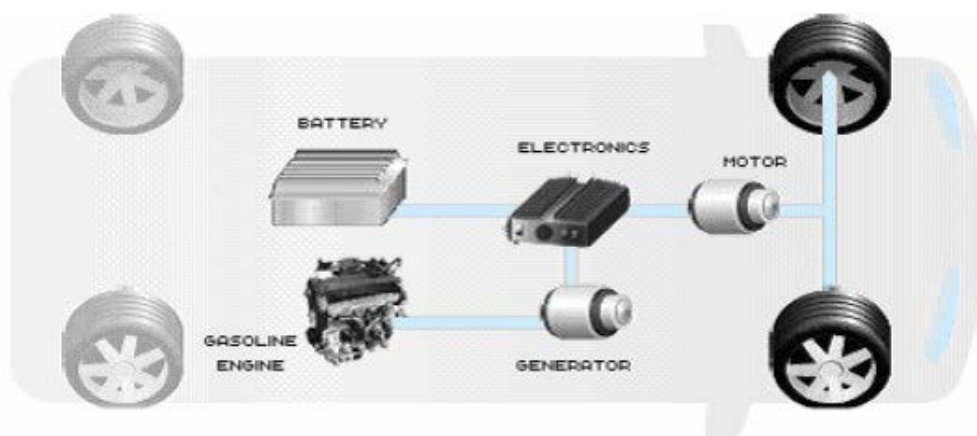


**Εικόνα 6.2:** Επαναφορτιζόμενο υβριδικό όχημα με παράλληλη διάταξη [6.5]

Κατά τη διάρκεια της κίνησης, η ενέργεια ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να οδηγείται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης στον ηλεκτροκινητήρα και από εκεί στους τροχούς ή τις μπαταρίες ή από τις μπαταρίες στον ηλεκτροκινητήρα και από εκεί στους τροχούς ή να κινούν και οι δύο κινητήρες τους τροχούς. Ένας ελεγκτής ρυθμίζει την εκάστοτε συμβολή του κάθε στοιχείου του συστήματος στην προώθηση των τροχών. Κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης, η κίνηση δίνεται και από τους δύο κινητήρες ενώ κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης, η περίσσεια ενέργειας φορτίζει τις μπαταρίες.

Η «σειριακή» διάταξη αποτελείται από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης, έναν ηλεκτρικό κινητήρα που λειτουργεί ως γεννήτρια και έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Οι τροχοί δέχονται κίνηση μόνο από τον ηλεκτρικό κινητήρα, ενώ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης κινεί τη γεννήτρια. Ο ηλεκτρικός κινητήρας δέχεται ενέργεια είτε

από τους συσσωρευτές είτε από τη γεννήτρια ή και από τις δύο πηγές ενέργειας. Η διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



**Εικόνα 6.3:** Επαναφορτιζόμενο υβριδικό όχημα με σειριακή διάταξη [6.5]

Στις χαμηλές ταχύτητες η κίνηση δίνεται στους τροχούς από τον ηλεκτροκινητήρα που τροφοδοτείται από τις μπαταρίες. Στις υψηλότερες ταχύτητες ο κινητήρας εσωτερικής καύσης δίνει μέρος της ενέργειας του στον ηλεκτροκινητήρα κίνησης και στις μπαταρίες. Κατά τη διάρκεια της πλήρους επιτάχυνσης, ο ηλεκτροκινητήρας δέχεται όλη την ενέργεια από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και από τις μπαταρίες ώστε να αντεπεξέλθει στην αυξημένη ζήτηση ροπής. Κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης, ο ηλεκτροκινητήρας φορτίζει τις μπαταρίες για μελλοντική χρήση τους.

Τα ηλεκτρικά οχήματα κατηγοριοποιούνται περαιτέρω ανάλογα με το μέγεθος και τη χρήση τους στις εξής κατηγορίες [6.6]:

➤ *L7e*

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλα τα πολύ μικρά αυτοκίνητα με μέγιστο καθαρό βάρος τα 550kg (χωρίς να υπολογίζεται το βάρος του καυσίμου ή των συσσωρευτών) και μέγιστη ισχύ τα 15kW ανεξαρτήτως του κινητήρα.

➤ *M1*

Ως τύπου M1 μπορούν να χαρακτηριστούν όλα τα επιβατικά οχήματα που περιλαμβάνουν μέχρι 8 θέσεις επιβατών επιπλέον της θέσης του οδηγού.

➤ *N1*

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλα τα επαγγελματικά οχήματα, με μέγιστο βάρος φορτίου τα 3500kg.

➤ N2

Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τα επαγγελματικά οχήματα με βάρος φορτίου μεταξύ 3500kg και 12000kg.

Οι λόγοι για τους οποίους η κατηγοριοποίηση των οχημάτων έχει περιοριστεί στις παραπάνω 4 κατηγορίες είναι οι εξής:

- Υπάρχει ήδη ένας αριθμός οχημάτων τύπου L7e διαθέσιμος στην αγορά, αλλά το ποσοστό τους επί των συνολικών πωλήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων θα μειωθεί δραστικά, καθώς οικονομικότερα, ασφαλέστερα και πρακτικότερα οχήματα τύπου M1 θα εισαχθούν στην αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων.
- Η κυρίαρχη τάξη ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι ο τύπος M1. Αυτό επιβεβαιώνεται καθημερινά από τις συνεχείς ανακοινώσεις των διαφόρων κατασκευαστών αυτοκινήτων περί κυκλοφορίας νέων μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων τύπου M1.
- Πολλά ηλεκτρικά οχήματα τύπου N1 αναμένεται να κυκλοφορήσουν στο μέλλον, καθώς σε πολλές περιπτώσεις τα μοντέλα χρήσης (πχ διανυόμενη απόσταση) καθώς και οι χρόνοι και οι τοποθεσίες φόρτισης (πχ κατά τη διάρκεια της νύχτας σε σταθμό φόρτισης) μπορούν να προβλεφθούν με αξιοπιστία και αποδεκτή ακρίβεια.
- Το άνω όριο τέθηκε με τα οχήματα τύπου N2, με μέγιστη δυνατότητα φορτίου τα 12000kg. Οι μέχρι τώρα πληροφορίες αναφέρουν πως μεγαλύτερα οχήματα είναι απίθανο να χρησιμοποιήσουν ηλεκτροκίνηση.

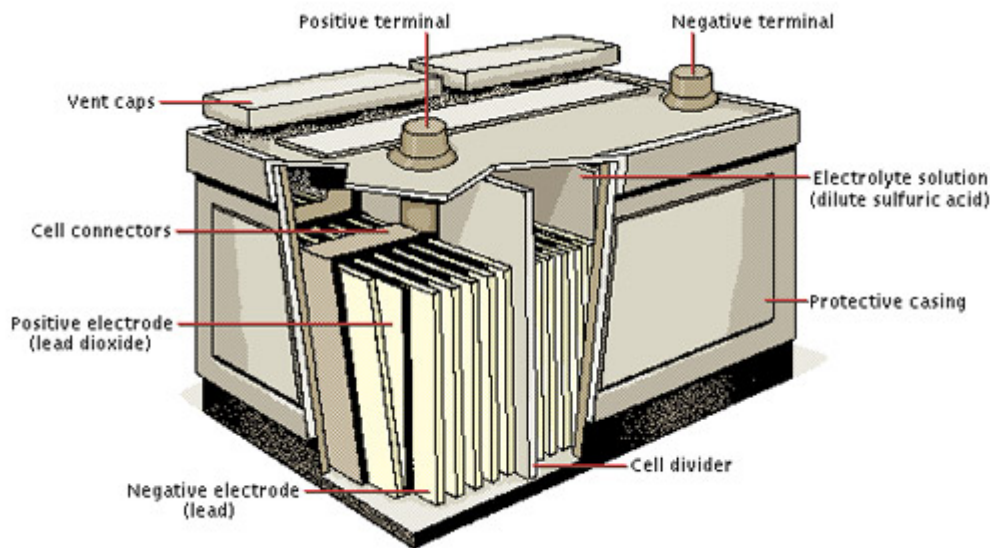
### 6.3.Τεχνολογία Συσσωρευτών

Ο συσσωρευτής είναι μια διάταξη που αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια μετατρέποντάς την σε χημική και την απελευθερώνει με την αντίστροφη διαδικασία. Αποτελείται από δυο διαφορετικά αγωγίμα υλικά βυθισμένα, σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, μέσα σε αγωγίμο υγρό, τον ηλεκτρολύτη. Οι συσσωρευτές διακρίνονται ανάλογα με τα αγωγίμα υλικά τους. Συνηθέστεροι τύποι συσσωρευτών είναι: μολύβδου-οξέως, νικελίου-καδμίου, νικελίου-μετάλλου υδριδίου και ιόντων λιθίου. Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται μεταβάλλονται σημαντικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή όπως η ενέργεια ανά μονάδα μάζας ( Wh/kg), το κόστος ανά μονάδα ενέργειας (€/Wh), βάθος εκφόρτισης (DOD %), ο ρυθμός εκφόρτισης κτλ. [6.7].

Μια σύντομη περιγραφή των βασικών τύπων συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται ακολουθεί παρακάτω [6.8]:

➤ Μολύβδου – Οξέος

Οι συσσωρευτές μολύβδου – εκχυλίσματος οξέος είναι οι φθηνότεροι και πιο συνηθισμένοι. Επιτρέπουν υψηλούς ρυθμούς φόρτισης στην περίπτωση της γρήγορης φόρτισης. Απαιτείται όμως επιθεώρηση του επιπέδου των ηλεκτρολυτών και αντικατάσταση του νερού. Παραδοσιακά, τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα έχουν χρησιμοποιήσει συσσωρευτές μολύβδου – οξέος εξαιτίας της ώριμης τεχνολογίας τους, της υψηλής διαθεσιμότητάς τους, και του χαμηλού κόστους.



**Εικόνα 6.4:** Συσσωρευτής μολύβδου - οξέος

Έχουν όμως σχετικά χαμηλή βαρομετρική πυκνότητα ενέργειας περίπου 30-40Wh/kg και καταλήγουν να αποτελούν το 25%-50% της τελικής μάζας του η ηλεκτρικού οχήματος. Παρόλο που η διαφορά στο βάρος δεν είναι τόσο μεγάλη, λόγω του ελαφρύτερου αμαξώματος των ηλεκτρικών οχημάτων, ακόμη και οι αποδοτικότεροι συσσωρευτές τείνουν να οδηγήσουν σε υψηλότερες μάζες όταν εφαρμόζονται σε οχήματα με σχετικά υψηλή αυτονομία. Η απόδοση (70-75%) και η ικανότητα αποθήκευσης της σημερινής γενιάς των κοινών συσσωρευτών μολύβδου – οξέος μειώνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σε ακραίες καιρικές συνθήκες είναι απαραίτητη η εκτροπή ενέργειας από τις μπαταρίες για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσής τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοσή τους μέχρι και 40%. Ακόμα έχει παρατηρηθεί πως η διάρκεια ζωής μειώνεται από συνεχόμενες εκφορτίσεις σε επίπεδα κάτω του 20% της ονομαστικής χωρητικότητας. Πρόσφατα επιτεύγματα στην απόδοση, τη χωρητικότητα, το υλικό κατασκευής, την ασφάλεια, την τοξικότητα και την ανθεκτικότητα είναι πιθανόν να επιτρέψουν την εφαρμογή αυτών των εξεχόντων χαρακτηριστικών της μπαταρίας σε κανονικού μεγέθους ηλεκτρικά οχήματα. Η φόρτιση και η λειτουργία των συσσωρευτών αυτών συνήθως έχει ως αποτέλεσμα τις εκπομπές υδρογόνου, οξυγόνου και θείου, οι οποίες είναι αναμενόμενες και αβλαβείς αν εξαερίζονται σωστά.

➤ *Νικελίου - Καδμίου*

Οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου έχουν υψηλή διάρκεια ζωής και μπορούν να εκφορτιστούν πλήρως χωρίς επιπτώσεις. Η πυκνότητα ενέργειας κυμαίνεται από 45 – 80 Wh/kg. Μπορούν να ανακυκλωθούν, αλλά το κάδμιο ανήκει στα βαρέα μέταλλα και απαιτείται ειδική μεταχείριση ώστε να μη βάψει το περιβάλλον. Ένα άλλο μειονέκτημα των συσσωρευτών νικελίου – καδμίου είναι το κόστος το οποίο είναι το υψηλότερο από όλα τα άλλα είδη συσσωρευτών.

➤ *Νικελίου – Υδριδίου Μετάλλου*

Οι συσσωρευτές νικελίου – υδριδίου μετάλλου θεωρούνται πλέον μια σχετικά ώριμη τεχνολογία. Ενώ είναι λιγότερο αποδοτικοί (60-70%) σε φόρτιση και εκφόρτιση από ότι οι μολύβδου – οξέος, έχουν να καυχώνται για μια ενεργειακή πυκνότητα της τάξης του 60 – 120 Wh/kg, πολύ υψηλότερη από αυτή του μολύβδου – οξέος. Όταν χρησιμοποιούνται σωστά, οι συσσωρευτές νικελίου - υδριδίου μετάλλου μπορούν να έχουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, όπως έχει αποδειχθεί κατά τη χρήση τους σε υβριδικά αυτοκίνητα, όπως για παράδειγμα στο RAV4 EV όπου εξακολουθούν να λειτουργούν καλά μετά από 160000 Km και πάνω από μια δεκαετία χρήσης. Μειονέκτημα αποτελούν η χαμηλή απόδοση, η υψηλή αυτό – εκφόρτιση, οι πολύ απαιτητικοί κύκλοι φόρτισης, και η κακή απόδοση σε ψυχρές καιρικές συνθήκες. Η καλύτερη λειτουργία επιτυγχάνεται όταν η εκφόρτιση γίνεται στο 20% - 50% της ονομαστικής χωρητικότητας, μακροπρόθεσμα όμως το SOC (State of Charge) θα μειωθεί κάτω από το 100%. Τα υλικά κατασκευής των συσσωρευτών αυτών δεν είναι βλαβερά για το περιβάλλον, και μάλιστα οι συστοιχίες είναι ανακυκλώσιμες.

➤ *Ιόντων Λιθίου*

Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου αποτελούνται από μια οικογένεια συσσωρευτών που χρησιμοποιούν διάφορους συνδυασμούς υλικών ανόδου και καθόδου. Κάθε συνδυασμός έχει σαφή πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσο αφορά την ασφάλεια, τις επιδόσεις, το κόστος, και άλλες παραμέτρους. Οι πιο χαρακτηριστικές τεχνολογίες για εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι η λιθίου – νικελίου – κοβαλτίου – αλουμινίου (NCA), λιθίου – νικελίου – μαγγανίου – κοβαλτίου (NMC), λιθίου – μαγγανίου – σπινελίου (ZTO), τιτανικού λιθίου (LTO), και λιθίου – φωσφορικού σιδήρου (LFP). Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου έχουν αποδείξει την πολύ καλή τους απόδοση σε εφαρμογές φορητών ηλεκτρονικών ή και ιατρικών συσκευών. Έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και είναι ανακυκλώσιμες. Το λίθιο είναι το τρίτο πιο ελαφρύ χημικό στοιχείο, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με άλλες μπαταρίες που χρησιμοποιούν βαρύτερα μέταλλα. Ένα ακόμη πλεονέκτημα που έχουν οι μπαταρίες Li – ion είναι η υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτυγχάνουν σε σχέση με άλλες υδάτινες μπαταρίες όπως οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος, οι μπαταρίες Νικελίου – υδριδίου μετάλλου και οι μπαταρίες Νικελίου-

Καδμίου. Οι πυκνωτές ισχύος της τάξης του 300W/kg και ενέργειας της τάξης του 100W/kg σε συνδυασμό με την μεγάλη διάρκεια ζωής (1000 κύκλοι) αποτελούν χαρακτηριστικά που δίνουν στους συσσωρευτές ιόντων λιθίου προοπτικές αντικατάστασης των συσσωρευτών NiMH στα ηλεκτρικά οχήματα της επόμενης γενιάς. Μοναδικό μειονέκτημα, ωστόσο, των μπαταριών Li – ion είναι ότι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται και από το χρόνο που έχει περάσει από τη στιγμή της κατασκευής τους, ανεξάρτητα από το αν αυτές έχουν φορτιστεί και ανεξάρτητα από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης. Έτσι, μια παλιότερη χρονολογικά μπαταρία θα διαρκέσει λιγότερο απ’ ότι μια καινούρια εξαιτίας της ηλικίας της και μόνο, κάτι που δε συμβαίνει με τις άλλες μπαταρίες.

Πέρα από τους παραπάνω συσσωρευτές υπάρχουν και κάποιες νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως οι υπερπυκνωτές και οι κυψέλες καυσίμου.

#### ➤ Υπερπυκνωτές

Μια σχετικά νέα τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας είναι οι υπερπυκνωτές. Σε αυτούς η αποθήκευση ενέργειας γίνεται μέσα από τον φυσικό διαχωρισμό θετικού και αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου. Τα φορτία αποθηκεύονται σε δύο παράλληλους οπλισμούς χωρισμένους με μονωτικό υλικό. Αφού δε λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια, οι υπερπυκνωτές έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Η χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε συνδυασμό με το μεγάλο κόστος κάνει τη χρήση των υπερπυκνωτών κυρίως βοηθητική. Μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν ως βασικές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας σε υβριδικά οχήματα ιδίως σε αστικό περιβάλλον, που το συνεχόμενο «σταμάτα – ξεκίνα» στην οδήγηση απαιτεί μικρή ισχύ. Είναι ιδανικοί για φόρτιση μέσω της αναγεννητικής πέδησης και μπορούν γρήγορα να προσφέρουν μεγάλα ποσά ισχύος κατά την επιτάχυνση λόγω των υψηλών ρυθμών φόρτισης/αποφόρτισης και της υψηλής πυκνότητας ισχύος.

#### ➤ Κυψέλες καυσίμου

Η τελευταία δεκαετία χαρακτηρίζεται από αλματώδη ανάπτυξη της ερευνητικής δραστηριότητας στο πεδίο των κυψελών καυσίμου, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για υιοθέτησή τους στα συστήματα ηλεκτροκίνησης. Η βασική αρχή λειτουργίας των κυψελών καυσίμου είναι γνωστή εδώ και 150 χρόνια, ωστόσο, μια ποικιλία τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων τις είχαν κρατήσει στο περιθώριο των τεχνολογικών εφαρμογών. Η διαφορά των κυψελών καυσίμου με τις μπαταρίες μπορεί να συνοψιστεί ως εξής : οι μπαταρίες αποθηκεύουν ενέργεια, ενώ οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν απευθείας τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Μια κυψέλη καυσίμου υδρογόνου παράγει ενέργεια όσο της παρέχεται υδρογόνο και οξυγόνο. Η ίδια η κυψέλη δεν εκφορτίζεται ούτε εξαντλείται η ενέργειά της, όπως συμβαίνει με τις μπαταρίες. Σε ένα ηλεκτρικό όχημα με κυψέλη καυσίμου, η αποθήκευση γίνεται στη δεξαμενή καυσίμου, όπως στα συμβατικά οχήματα. Παρότι το υδρογόνο έχει υψηλή πυκνότητα ενέργειας (περίπου ίση με 42kWh/kg) είναι τόσο ελαφρύ που ένα λίτρο, πεπιεσμένο σε 35 Mpa (περίπου

350 ατμόσφαιρες) ζυγίζει μόνο 31 γραμμάρια και αποδίδει μόνο 1,3kWh. Αντίθετα, η βενζίνη έχει χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας (περίπου ίση με 14kWh/kg), αλλά ένα λίτρο της είναι ισοδύναμο με 8,3kWh. Ομολογουμένως, οι κυψέλες καυσίμου και οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι πιο αποδοτικοί από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, ωστόσο, για να παρασχεθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα εύρος απόδοσης 500 km απαιτούνται 6 kg υδρογόνου. Συμπιεσμένο στα 35 Mpa, το υδρογόνο θα καταλάβει 200 λίτρα, ενώ με την προσθήκη των σωληνώσεων, βαλβίδων και συστημάτων ρύθμισης και συμπίεσης, ο απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης είναι διπλάσιος. Εταιρείες με μεγάλη τεχνογνωσία σε μπαταρίες νικελίου μετάλλου υβριδίου έχουν χρησιμοποιήσει τη γνώση στα υβρίδια μετάλλου για την ανάπτυξη κραμάτων μετάλλου που μπορούν να αποθηκεύσουν 7% του βάρους τους σε υδρογόνο και σε χαμηλή πίεση των 200 kPa. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να αποθηκευτούν 6 kg υδρογόνου σε 120 λίτρα, δηλαδή σε περίπου διπλάσιο μέγεθος δεξαμενής από αυτό που χρησιμοποιείται σε συμβατικά οχήματα μέσου μεγέθους. Ωστόσο, το βάρος αποθήκευσης παραμένει σημαντικό πρόβλημα, ενώ η παραγωγή υδρογόνου είναι ένα ακόμη ζήτημα προς επίλυση, καθώς δεν υπάρχουν αντίστοιχες υποδομές ή προοπτικές εγκατάστασής τους. Μία εναλλακτική λύση για την αποθήκευση υδρογόνου είναι η συνεχής παροχή του, μέσω παραγωγής από πιο εύχρηστα υλικά. Διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στραφεί στη δημιουργία συνεπτυγμένων χημικών συστημάτων για την παραγωγή υδρογόνου από κοινά καύσιμα. Η εναλλακτική αυτή εξαλείφει τα προβλήματα υποδομής, δημιουργεί όμως προβλήματα πολυπλοκότητας και κινδύνους ρύπανσης παρόμοιους με αυτούς των συμβατικών οχημάτων. Τέλος, η ασφάλεια του υδρογόνου σε σχέση με τη βενζίνη κατά τη μετακίνηση των οχημάτων παραμένει ακόμη ένα ανοιχτό ζήτημα.

#### **6.4. Σύστημα Μετάδοσης**

Το σύστημα μετάδοσης είναι απαραίτητο στοιχείο στο κινητήριο σύστημα ενός αυτοκινήτου. Ο λόγος είναι ότι αν συνδεόταν ο κινητήρας απ' ευθείας στους τροχούς, η ροπή που θα απαιτούνταν κατά την εκκίνηση θα ήταν μεγάλη και - στην περίπτωση του βενζινοκινητήρα - αυτός θα έσβηνε, ενώ στην περίπτωση του ηλεκτροκινητήρα, θα απαιτούνταν μεγάλα ρεύματα. Έτσι, χρειαζόμαστε τη μεταβολή του λόγου μετάδοσης ανάλογα με τις συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με το κιβώτιο διακριτών σχέσεων, είτε με το κιβώτιο συνεχούς λόγου μετάδοσης [6.7].

#### **6.5. Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης**

Είναι φανερό ότι όλες οι κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό που είναι η απαίτηση της ολικής ή μερικής φόρτισης των συσσωρευτών τους με ηλεκτρική ενέργεια που θα χρησιμοποιείται για την κίνησή τους. Αυτή η διαδικασία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά και αρκετές ιδιαιτερότητες που αποτελούν τη βασική και κρίσιμότερη προϋπόθεση για να επιτευχθεί η ευρεία διείσδυσή τους στο μέλλον. Ένας σταθμός φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα

χαρακτηριστικά σε αναλογία με τους σταθμούς ανεφοδιασμού των συμβατικών οχημάτων (ICE) [6.9]:

- εύκολη πρόσβαση που σημαίνει διαθεσιμότητα σταθμών διάσπαρτων κατά μήκος του οδικού δικτύου
- ταχεία διαδικασία φόρτισης στην ίδια κλίμακα χρόνου με αυτήν των συμβατικών οχημάτων (ιδανική περίπτωση).

Η ανάπτυξη ενός δικτύου σημείων (σταθμών) φόρτισης με τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα προκαλούσε τη μικρότερη μεταβολή στα χαρακτηριστικά οδήγησης του μέσου οδηγού και θα μπορούσε να δράσει καταλυτικά για την επιπρόσθετη στάθμη διείδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η ένταση φόρτισης των συσσωρευτών καθορίζεται από διεθνή πρότυπα οργανισμών όπως είναι, για παράδειγμα, η International Electrotechnical Committee (IEC). Στο σχετικό πρότυπό της έχουν καθορισθεί οι ακόλουθοι τέσσερις τρόποι φόρτισης (modes):

- Απλή φόρτιση από μία συμβατική πρίζα (μονοφασική ή τριφασική).
- Απλή φόρτιση από μία συμβατική πρίζα που είναι εξοπλισμένη με μία ειδική διάταξη προστασίας των ηλεκτρικών οχημάτων.
- Απλή φόρτιση ή ταχεία φόρτιση με χρήση ειδικού βύσματος για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με πολλούς ακροδέκτες (Multi pin).
- Ταχεία φόρτιση με χρήση ειδικής τεχνολογίας φόρτισης

Είναι φανερό ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ του χρόνου φόρτισης και της απαιτούμενης ισχύος των σταθμών φόρτισης. Οι ακόλουθες απαιτήσεις ισχύουν για την παροχή εναλλασσομένου ρεύματος στις αντίστοιχες συσκευές φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων που ευρίσκονται τοποθετημένοι σε αυτά:

- Διάρκεια φόρτισης 6 – 8 ώρες με μονοφασική παροχή:  
Τάση 230V, Ρεύμα 16A, Ισχύς 3kW.
- Διάρκεια φόρτισης 4 – 6 ώρες με μονοφασική παροχή:  
Τάση 230V, Ρεύμα 32A, Ισχύς 7kW.
- Διάρκεια φόρτισης 2 – 4 ώρες με τριφασική παροχή:  
Τάση 400V, Ρεύμα 16A, Ισχύς 11kW.



- Διάρκεια φόρτισης 1 – 2 ώρες με τριφασική παροχή:  
Τάση 400V, Ρεύμα 32A, Ισχύς 22kW.
- Διάρκεια φόρτισης 20 – 30 λεπτά ώρας με τριφασική παροχή:  
Τάση 400V, Ρεύμα 63A, Ισχύς 43kW.

Έχει αναπτυχθεί μία εναλλακτική μέθοδος φόρτισης με χρήση συνεχούς ρεύματος η οποία είναι ένα σύστημα ταχείας φόρτισης με την ονομασία CHAdeMO (CHArge de MOve). Οι σχετικές συσκευές δεν αποτελούν απλά τερματικά ηλεκτρικής παροχής στα οποία συνδέεται η υπάρχουσα επί του οχήματος συσκευή φόρτισης. Αντίθετα, είναι πλήρεις και αυτόνομες, εκτός των ηλεκτρικών οχημάτων, συσκευές φόρτισης μεγάλης ισχύος οι οποίες παρέχουν συνεχές ρεύμα υψηλής έντασης απευθείας στο συσσωρευτή τους παρακάμπτοντας την υπάρχουσα συσκευή φόρτισης. Είναι αυτονόητο ότι τα για να χρησιμοποιηθεί αυτή τη διαδικασία φόρτισης, τα ηλεκτρικά οχήματα θα πρέπει να διαθέτουν μία κατάλληλη ηλεκτρική σύνδεση με την αναγκαία υποδοχή και το κατάλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η σχεδίαση ενός φορτιστή CHAdeMO εμπεριέχει τη χρήση ενός ελεγκτή ο οποίος λαμβάνει εντολές από το ηλεκτρικό όχημα μέσω διαύλου CAN (CAN bus) με συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας και ο φορτιστής ρυθμίζει το ρεύμα φόρτισης ώστε να ανταποκρίνεται στην τιμή αναφοράς από το ηλεκτρικό όχημα. Με το μηχανισμό αυτό επιτυγχάνεται ταχεία και βέλτιστη διαδικασία φόρτισης σε συνάρτηση με την κατάσταση λειτουργίας του συσσωρευτή και το περιβάλλον χρήσης του ενώ προλαμβάνονται ενδεχόμενες ζημίες στο συσσωρευτή από υπερθέρμανση ή άλλα αίτια. Το σύστημα CHAdeMO είναι αρκετά διαδεδομένο και έχει προταθεί ως διεθνές βιομηχανικό πρότυπο ενώ η διαδικασία φόρτισης με χρήση συνεχούς ρεύματος αποτελεί αντικείμενο προς προτυποποίηση από διεθνείς οργανισμούς (π.χ. πρότυπο IEC 61296-3).

Οι σταθμοί φόρτισης με φορτιστές τύπου CHAdeMO συνήθως εγκαθίστανται κατά μήκος οδικών αξόνων ή σε άλλα σημεία στα οποία η ανάγκη φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να ικανοποιηθεί στο συντομότερο χρονικό διάστημα (συνήθως σε 20 έως 30 λεπτά). Κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων της Ιαπωνίας έχουν ήδη ιδρύσει μία ανοικτή σύμπραξη ενδιαφερομένων εταιρειών και αρκετά Ιαπωνικά μοντέλα οχημάτων είναι κατασκευασμένα ώστε να χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα ταχείας φόρτισης. Τα ηλεκτρικά οχήματα των Ευρωπαίων κατασκευαστών χρησιμοποιούν έως τώρα τη σχετικά ταχεία φόρτιση με παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος με ισχύ 21 kW, όπως αναφέρεται παραπάνω, η οποία συνδέεται με την υπάρχουσα συσκευή φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά δεν αποκλείεται μελλοντικά να χρησιμοποιήσουν την απευθείας φόρτιση με συνεχές ρεύμα. Ένα τέτοιο σημάδι είναι η αποδοχή του προτύπου IEC 62196 – 3 (Combo-System) το οποίο προβλέπει επαφές στις υποδοχές και τους ακροσυνδέσμους που είναι κατάλληλες για φόρτιση με συνεχές ρεύμα υψηλής έντασης.

Στην Εικόνα 6.5 παρουσιάζεται μία μικτή συσκευή ταχείας φόρτισης η οποία χρησιμοποιεί το σύστημα CHAdeMO με ισχύ 45 kW – 65kW και, εναλλακτικά, τη τριφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος με ισχύ 21 kW. Με τον τρόπο αυτό, τα Ευρωπαϊκά Η/Ο που δεν διαθέτουν υποδοχή του συστήματος CHAdeMO μπορούν να συνδέονται για τη διαδικασία φόρτισής τους. Αυτές οι συσκευές έχουν τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

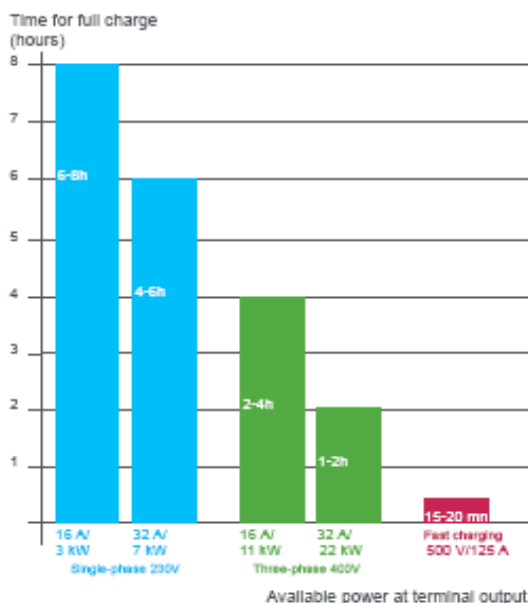
- *Τύποι και υποδοχές ακροσυνδέσμων:* Υπάρχει προσαρτημένο καλώδιο φόρτισης με ακροσύνδεσμο τύπου CHAdeMO για την ταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα, όσων Η/Ο διαθέτουν την αντίστοιχη υποδοχή, το αντίστοιχο κύκλωμα και το σχετικό πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον συνεχή έλεγχο και την αυτόματη ρύθμιση της φόρτισης. Επιπρόσθετα, υπάρχουν δύο υποδοχές (τύπου IEC 62196 – 2) για τη τριφασική σύνδεση εναλλασσόμενου ρεύματος με ισχύ 21kW για κάθε μία.
- *Αριθμός αγωγών ανά υποδοχή (τύπου IEC 62196 – 2):* Πέντε αγωγοί ισχύος και δύο αγωγοί δεδομένων.
- *Πρόσβαση:* Με προπληρωμένη κάρτα ή οποιοδήποτε άλλο σύστημα ελέγχου της πρόσβασης και αυτόματης χρέωσης.



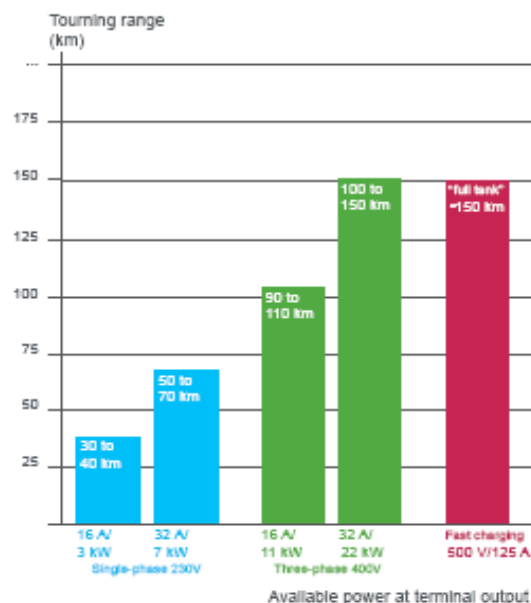
**Εικόνα 6.5:** Μικτή συσκευή ταχείας φόρτισης με εναλλασσόμενο και συνεχές ρεύμα

Τα παραπάνω τεχνικά χαρακτηριστικά των σταθμών φόρτισης φαίνονται παραστατικά στο Διάγραμμα 6.3 μαζί με τα ραβδογράμματα για τις αντίστοιχες αποστάσεις αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων που επιτυγχάνονται υποθέτοντας μία ώρα φόρτισης. Σημειώνεται ότι αυτές οι τιμές αφορούν την πλήρη διαδικασία επαναφόρτισης των συσσωρευτών ενώ μειωμένοι χρόνοι φόρτισης θα απαιτούνται για τη διαδικασία μερικής επαναφόρτισής τους (π.χ. κατά 85%). Από τις παραπάνω αναφερόμενες τιμές και το Διάγραμμα 6.3 φαίνεται ότι η μείωση του χρόνου φόρτισης ισοδυναμεί με σημαντικές απαιτήσεις ισχύος που σημαίνει ότι απαιτούνται πιο ακριβές υποδομές (εγκαταστάσεις παροχής, φορτιστές).

How long does it take to charge EV?  
(for "all-electric" car)



One hour's recharging for how many km travelled?  
(for "all-electric" car)



**Διάγραμμα 6.3 :** Τεχνικά χαρακτηριστικά των σταθμών φόρτισης και αντίστοιχες αποστάσεις αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων που επιτυγχάνονται υποθέτοντας μία ώρα φόρτισης

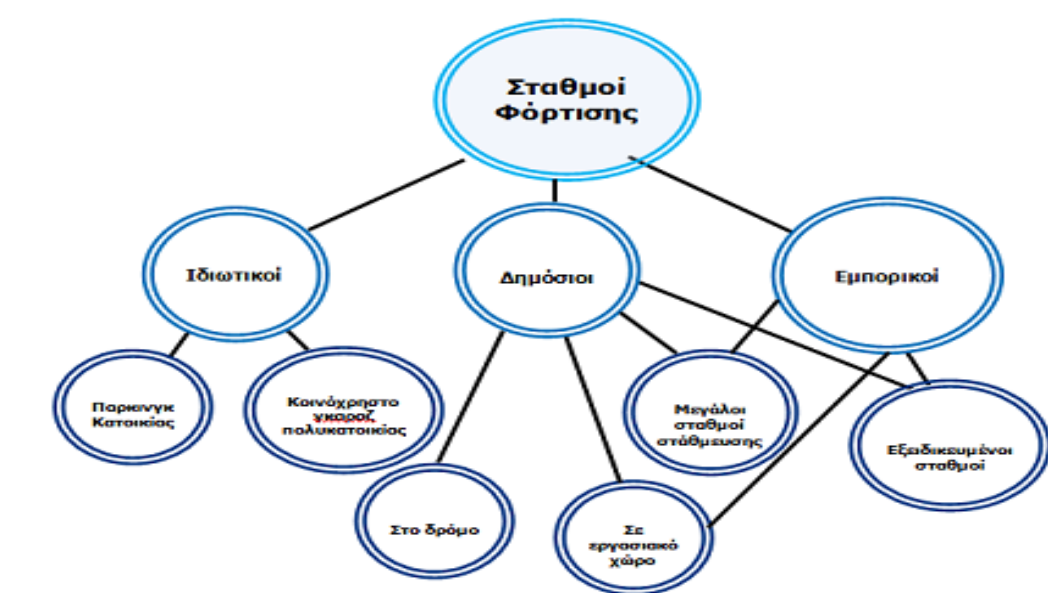
Επίσης, σημειώνεται ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη σταθμών φόρτισης που εφαρμόζουν μία διαφορετική διαδικασία φόρτισης με συνεχές ρεύμα η οποία επιτρέπει τη δυνατότητα άμεσης έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας με σημαντική τιμή ισχύος από εξωτερικό σύστημα συσσωρευτών που φορτίζονται με ξεχωριστό τρόπο. Αυτή η νέα διαδικασία φόρτισης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Δυνατότητα αυτόνομης τροφοδότησης που σημαίνει ότι δεν χρειάζονται υποδομές εναλλασσομένου ρεύματος με παροχές μεγάλων τιμών ηλεκτρικής ισχύος.
- Δυνατότητα χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων για τη φόρτιση του εξωτερικού συστήματος συσσωρευτών έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης αυτονομία του σχετικού σταθμού φόρτισης όσον αφορά την τοποθέτηση του.

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, η διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να υλοποιηθεί με τους ενσωματωμένους φορτιστές τους. Στα πρώτα χρόνια χρησιμοποίησης των ηλεκτρικών οχημάτων, αναμένεται ότι η διαδικασία φόρτισής τους θα πραγματοποιείται από ιδιωτικούς σταθμούς φόρτισης που θα ευρίσκονται στις οικίες των κατόχων τους κατά τη διάρκεια της νύκτας ή στους χώρους εργασίας τους κατά τη διάρκεια της ημερήσιας απασχόλησής τους.

Επομένως, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αυτών των χώρων θα πρέπει να βελτιωθούν και να αναβαθμιστούν κατάλληλα έτσι ώστε να επιτρέψουν την ομαλή παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος σε συσχέτιση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις ισχύος των υφιστάμενων συσκευών (π.χ. κλιματιστικά, κουζίνα, θερμοσίφωνα, άλλες συσκευές κίνησης, κλπ).

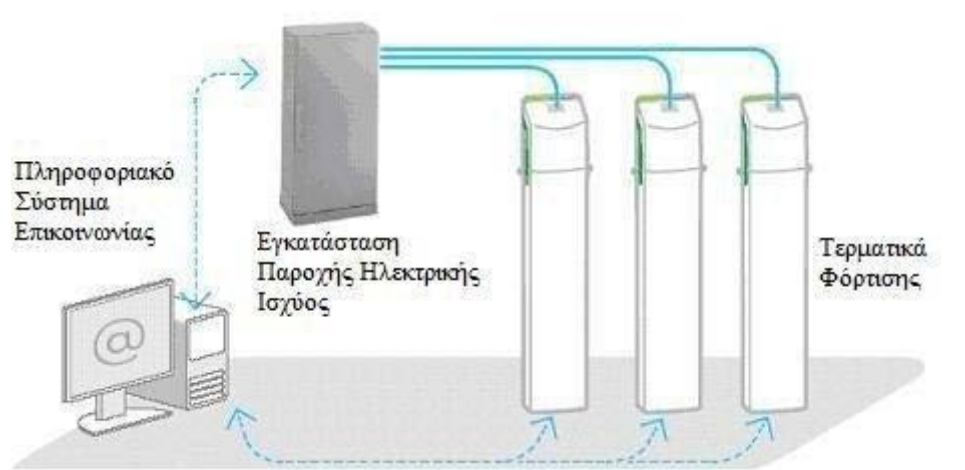
Είναι φανερό ότι δημιουργείται άμεσα η ανάγκη ανάπτυξης δικτύων κοινοχρήστων σταθμών ηλεκτρικής παροχής στους οποίους θα μπορεί να πραγματοποιείται η φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτά τα δίκτυα είναι απαραίτητα για να αυξηθεί η απόσταση αυτονομίας της χρησιμοποίησης των ηλεκτρικών οχημάτων και σε αρκετές χώρες έχει ξεκινήσει ένας μηχανισμός υλοποίησης τέτοιων δικτύων. Η ανάπτυξη αυτής της υποδομής υποστήριξης των ηλεκτρικών οχημάτων θα πραγματοποιείται σταδιακά και θα επιτείνει τις επιχειρηματικές δράσεις. Αυτοί οι σταθμοί φόρτισης θα μπορούν να ανήκουν σε φορείς με δημόσιο χαρακτήρα (π.χ. ΟΤΑ), σε επιχειρηματικούς φορείς με αντικείμενο εργασίας την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμων (πρατήρια) ή σε νέους επιχειρηματικούς φορείς που θα θελήσουν να δραστηριοποιηθούν (π.χ. εμπορικά κέντρα, υπεραγορές, κλπ). Το Διάγραμμα 6.4 δείχνει παραστατικά τις διάφορες ενδεχόμενες θέσεις των σταθμών φόρτισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των σχετικών περιοχών. Είναι φανερό ότι νέες θέσεις εργασίας θα δημιουργηθούν με αρκετά εξειδικευμένο υπόβαθρο τεχνικών γνώσεων.



**Διάγραμμα 6.4:** Διάφορες θέσεις των σταθμών φόρτισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά

Στην Εικόνα 6.6 φαίνεται παραστατικά ένα μοντέλο σταθμών φόρτισης με τρία τερματικά φόρτισης στα οποία συνδέονται τα καλώδια σύνδεσης με τα ηλεκτρικά οχήματα, η εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ισχύος και το πληροφοριακό

σύστημα επικοινωνίας με απομακρυσμένο σύστημα επιτήρησης και διαχείρισης της λειτουργίας τους. Για το σκοπό αυτό ένα σχετικό πρότυπο ευρίσκεται σε κατάσταση συγγραφής για τους τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των συνδεδεμένων ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου ηλεκτρικής παροχής.



**Εικόνα 6.6:** Μοντέλο σταθμών φόρτισης με τρία τερματικά φόρτισης, εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ισχύος και σύστημα επικοινωνίας

Ολοένα και περισσότερες προσπάθειες γίνονται για την αξιοποίηση των ΑΠΕ στους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί η μείωση των ρύπων [6.10] .



**Εικόνα 6.7:** Skyrump - ο πρώτος σταθμός φόρτισης αυτοκινήτων με ανεμογεννήτρια

Η General Electric και η Urban Green Energy κατασκεύασαν τον πρώτο σταθμό φόρτισης που λειτουργεί με την αιολική ενέργεια στη Βαρκελώνη. Ο σταθμός ονομάζεται Skyrump και χρησιμοποιεί την ανεμογεννήτρια ειδικού τύπου «4K», ύψους 14 μέτρων, η οποία απαιτεί ανέμους ταχύτητας επτά μιλίων ανά ώρα για να αποδώσει. Η εγκατάσταση έγινε στα γραφεία της εταιρείας περιβαλλοντικών



υπηρεσιών Cespa, ενώ αναμένονται ακόμα περισσότεροι στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αυστραλία ήδη από φέτος.

Παράλληλα , αρχιτέκτονες και σχεδιαστές ανά τον κόσμο εργάζονται ήδη για τον σχεδιασμό των πρώτων σταθμών φόρτισης για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, που πρόκειται να κυκλοφορήσουν σύντομα και στην ευρωπαϊκή αγορά. Ανάμεσά τους ανήκουν και προτάσεις οι οποίες εκτός από τη χρήση των ΑΠΕ, χαρακτηρίζονται και από ιδιαίτερα καλαίσθητη μορφή:



**Εικόνα 6.8:** Το «Ηλιακό Δάσος» του σχεδιαστή Νέβιλ Μαρς προφυλάσσει τα οχήματα από τον ήλιο ως χώρος στάθμευσης, ενώ τα φορτίζει παράλληλα.

Μακροχρόνια αναμένεται και η εμφάνιση πιο εξεζητημένων τρόπων φόρτισης με τα ηλεκτρικά οχήματα να προσφέρουν ενέργεια και συγκεκριμένες υπηρεσίες στο δίκτυο (υπηρεσίες V2G: Vehicle to Grid). Η βασική ιδέα του V2G είναι πως εφόσον τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα περιέχουν μπαταρίες που χρειάζονται ενέργεια για να φορτίσουν, αντιστοίχως θα μπορούσαν κάτω από κάποιες προϋποθέσεις να προσφέρουν και ενέργεια στο δίκτυο εξυπηρετώντας έτσι συγκεκριμένες ανάγκες του δικτύου. Αυτή η λειτουργία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για την αγορά ενέργειας, αλλά θα μπορούσε επίσης να επιτρέπει στα οχήματα να λειτουργούν ως μονάδες εκκίνησης μετά την καθολική συσκότιση (black out), σε αποκοπή υψηλής ισχύος (peak power) κτλ. (Kempton and Tomic, 2005 – Larsen, Chandrashekhara, and Oestergard, 2008). Εδώ να σημειώσουμε πως το concept αυτό είναι θεωρητικό και δεν έχει βρει εφαρμογή μέχρι στιγμής σε κανένα σημείο του κόσμου.

## 6.6. Ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο

### 6.6.1. Φάσεις διείσδυσης

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να γίνει σταδιακά έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η εξυπηρέτηση αυτού του επιπρόσθετου φορτίου χωρίς να διαταράσσεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου. Παράλληλα, θα πρέπει να αναπτυχθούν και τα απαραίτητα νομοθετικά πλαίσια που καθορίζουν τα ρυθμιστικά ζητήματα για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων και τις διμερείς συμφωνίες που μπορούν να επισυναφθούν.

Στο Διάγραμμα 6.5 παρουσιάζονται οι τρεις φάσεις ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας όπως καθορίστηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος MERGE [11]. Κάθε μια φάση εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο στόχο και απαιτεί είτε την επέκταση των αρμοδιοτήτων των υπαρχόντων παικτών στο χώρο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είτε την ανάπτυξη νέων που εξυπηρετούν συγκεκριμένες διεργασίες για την αποδοτική σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο.



**Διάγραμμα 6.5 :** Φάσεις ενσωμάτωσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

#### ➤ Καταλυτική Φάση

Η σημαντικότερη τροχοπέδη στην ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ψυχολογικοί ενδοιασμοί των υποψήφιων ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων σχετικά με την επάρκεια σταθμών φόρτισης σε πολλαπλά σημεία. Αυτό θα επιτρέψει την φόρτιση των οχημάτων και σε ιδιωτικούς ή δημόσιους χώρους, εκτός οικίας, προσφέροντας τη δυνατότητα για μεγαλύτερες διανυόμενες ημερήσιες αποστάσεις. Στόχος της καταλυτικής φάσης είναι η ανάπτυξη επαρκούς δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που θα λειτουργήσει ως κίνητρο για την διευκόλυνση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ο διαχειριστής του συστήματος θα πρέπει να εξασφαλίζει την ομαλή παροχή ισχύος προς τα ηλεκτρικά οχήματα χωρίς να γίνεται διάκριση, υπέρ ή κατά, των υπολοίπων καταναλωτών.

Στο συγκεκριμένο στάδιο, δεν αναμένεται να υπάρξουν πολύπλοκοι μηχανισμοί φόρτισης, οπότε δεν θα προσφέρεται η δυνατότητα αυτοματοποιημένου ελέγχου της φόρτισης.

➤ *Φάση εδραίωσης*

Η έναρξη της φάσης εδραίωσης αναμένεται να αρχίσει όταν η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων γίνει σχετικά έντονη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα φορτία του δικτύου. Εκτιμάται ότι θα ξεκινήσει στο μεσοπρόθεσμο διάστημα και επομένως δεν απαιτεί άμεση μέριμνα. Η φάση εδραίωσης είναι ουσιαστικά η φάση κατά την οποία θα πρέπει να αναπτυχθούν συστήματα ελεγχόμενης φόρτισης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, με σκοπό να μην διαταραχθεί η ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Ο έλεγχος της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης νέων επιχειρηματικών μοντέλων, όπως του Προμηθευτή/Συναθροιστή Ηλεκτρικής ενέργειας (EV Supplier/Aggregator - EVS/A), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αγορά της απαιτούμενης ισχύος από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τη διαχείριση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ο προγραμματισμός της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων από τον EVS/A θα πρέπει να μην επηρεάζει τη λειτουργία του δικτύου. Για το λόγο αυτό, η έγκριση του προγραμματισμού από τον διαχειριστή του συστήματος είναι απαραίτητη.

➤ *Προχωρημένη Φάση*

Η φάση αυτή ανταποκρίνεται σε μακροπρόθεσμα και ιδιαίτερα αισιόδοξα σενάρια. Στη φάση αυτή τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σε θέση να προσφέρουν επικουρικές υπηρεσίες (Vehicle-to-Grid, V2G), ωστόσο, μία τέτοια χρήση των οχημάτων βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο και δεν είναι γνωστό αν μπορεί να αποδειχθεί κερδοφόρα. Η συμμετοχή των ηλεκτρικών οχημάτων σε επικουρικές υπηρεσίες, όπως ο έλεγχος της τάσης και η ρύθμιση της συχνότητας, μπορεί να αποδειχθεί ωφέλιμη τόσο για την λειτουργία του δικτύου όσο και την για την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## **6.6.2. Νέα επιχειρηματικά μοντέλα**

### **6.6.2.1. Διαχειριστής της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων ή Διαχειριστής του σημείου φόρτισης (ΔΣΦ)**

Ο ρόλος του ΔΣΦ δύναται να είναι διπλός: α) ως τελικός πελάτης ο ΔΣΦ μπορεί να αγοράζει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για να φορτίσει το ηλεκτρικό όχημα που έχει στη κατοχή του ή β) ως ένα νέο επιχειρηματικό μοντέλο μπορεί να προμηθεύεται από την αγορά ένα ποσό ενέργειας, το οποίο μπορεί να μεταπουλά, μέσω διμερών συμβολαίων, σε άλλους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται σε έναν σταθμό φόρτισης.



Παραδείγματα επιχειρηματικών μοντέλων διαχείρισης της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ένας αστικός πελάτης που εγκαθιστά ένα σημείο φόρτισης στο γκαράζ του σπιτιού του/της για ιδιωτική χρήση.
- Ένας ιδιοκτήτης κτιρίου γραφείων που εγκαθιστά ορισμένα σημεία φόρτισης στο χώρο στάθμευσης για ιδιωτική χρήση από του υπαλλήλους
- Ένας ιδιοκτήτης εμπορικού κτιρίου που εγκαθιστά ορισμένα σημεία φόρτισης στο χώρο στάθμευσης για χρήση από τους πελάτες του.
- Ένας σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που εγκαθιστά κάποια σημεία φόρτισης με διαφορετικές επιλογές φόρτισης και συγκεκριμένα μεθόδους γρήγορης φόρτισης, ώστε να παρέχει τη συγκεκριμένη υπηρεσία στο κοινό.

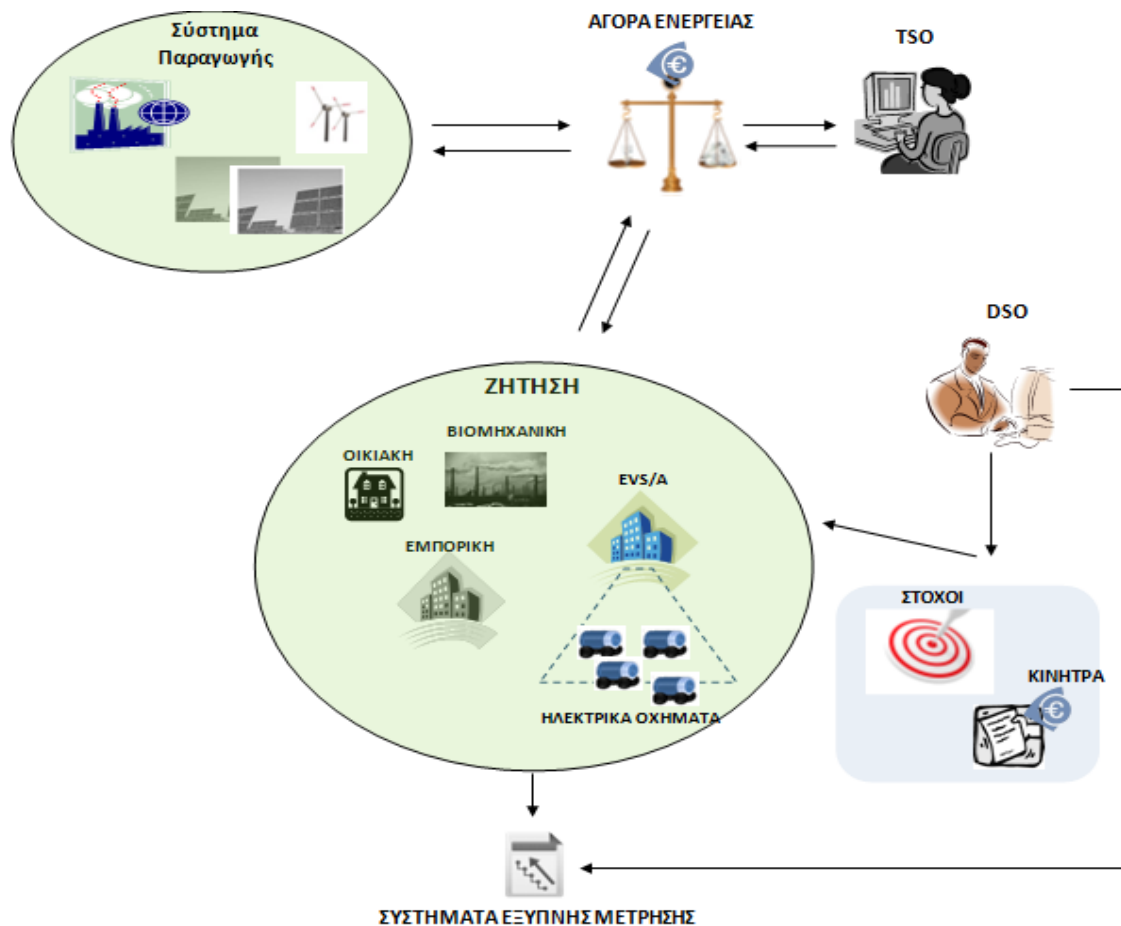
#### **6.6.2.2. Προμηθευτής-Συναθροιστής Ηλεκτρικής Ενέργειας Ηλεκτρικών Οχημάτων (Π-ΣΗΟ, Electric Vehicle Supplier Aggregator-EVS/A)**

Ο Προμηθευτής - Συναθροιστής ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά για ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να εμφανιστεί σε δύο περιπτώσεις: περιοχές φόρτισης ιδιωτικής ιδιοκτησίας με δημόσια ή ιδιωτική πρόσβαση και δημόσιες περιοχές φόρτισης με δημόσια πρόσβαση για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων.

Ο παράγοντας αυτός πουλάει ενέργεια στον ιδιοκτήτη του ηλεκτρικού οχήματος, με σύμβαση που παρέχει πρόσβαση σε συγκεκριμένα σημεία φόρτισης. Η καινοτομία του συγκεκριμένου παράγοντα είναι ότι οι συμβάσεις δεν περιορίζονται σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία ή μία συγκεκριμένη παροχή ηλεκτρισμού, αλλά προσφέρει την ελευθερία επιλογής μεταξύ διαφόρων σημείων φόρτισης. Οι Προμηθευτές Ηλεκτρικών Οχημάτων είναι λιανοπωλητές και επομένως η επιχείρησή τους πρέπει να ορίζεται ως ανταγωνιστική δραστηριότητα αποδεδειγμένη από άλλες λειτουργίες στο σύστημα ηλεκτρικής ισχύος. Οι Προμηθευτές γενικά αναμένεται να συγκεντρώνουν πολλές συμβάσεις με ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, ώστε να διεξάγουν μία ενιαία διαχείριση, γεγονός που θα τους δώσει μελλοντικά τη δυνατότητα για παροχή επικουρικών υπηρεσιών στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της V2G λειτουργίας. Ο Προμηθευτής Ηλεκτρικών Οχημάτων θα θεωρείται ως ανταγωνιστική επιχείρηση όπως και άλλες εμπορικές επιχειρήσεις στην αγορά.

#### **6.7. Αρχιτεκτονική επικοινωνίας**

Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι απαιτούμενες επικοινωνίες για τη διαχείριση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων.



**Διάγραμμα 6.6:** Διάγραμμα επικοινωνιών για τη διαχείριση ηλεκτρικών οχημάτων

Ο Κεντρικός ελεγκτής EVS/A είναι υπεύθυνος για την προμήθεια της απαιτούμενη ισχύος από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και για τη διαχείριση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων. Ο EVS/A προβλέπει την ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων και κλείνει τις αντίστοιχες συμφωνίες για την προμήθεια της στην «day-ahead» αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Την επόμενη ημέρα και σε πραγματικό χρόνο, ο EVS/A εξυπηρετεί την πραγματική ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων βάσει του συμφωνηθέντος προγραμματισμού.

Ο Διαχειριστής του δικτύου διανομής διαθέτει ένα σύστημα τηλε-μέτρησης σε πραγματικό χρόνο για να ελέγχει τη λειτουργία του δικτύου. Για την αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου ο DSO δύναται να δώσει οικονομικά κίνητρα στον EVS/A έτσι ώστε η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων να μην επιβαρύνει περαιτέρω το δίκτυο σε ώρες αυξημένης ζήτησης αλλά να κατανέμεται κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης.

## Βιβλιογραφία

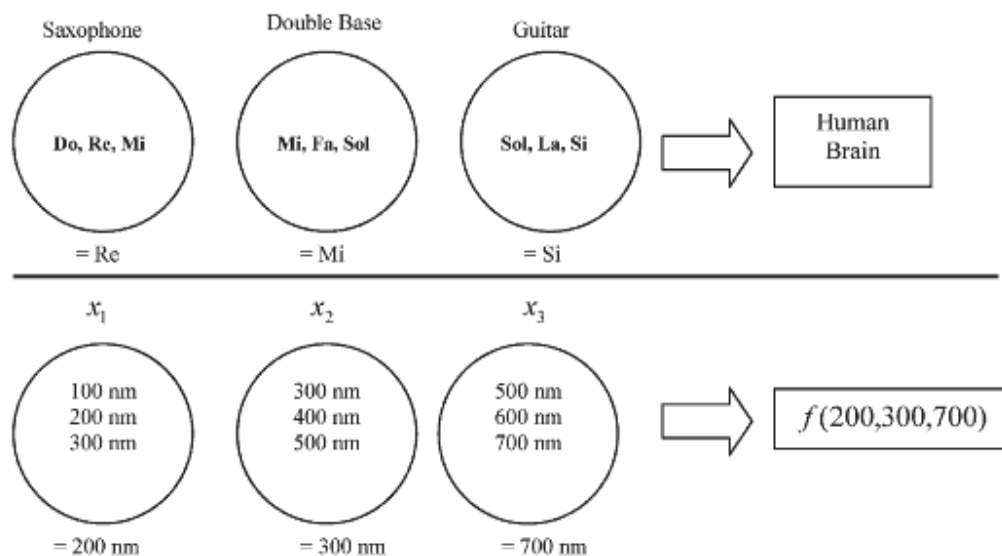
- [6.1] ACEA, European Automobile Manufacturers' Association, website: <http://www.acea.be>.
- [6.2] Ιωάννης Β. Γεντεκάκης «ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες», Εκδόσεις Τζιόλα, 1999.
- [6.3] Αθανάσιος Ν. Σαφάκας: «Ο κλάδος των μεταφορών και η ενεργειακή και περιβαλλοντική του επίπτωση σε παγκόσμιο, Ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο».
- [6.4] M. Ehsani, Y. Gao, S. Gay, A. Emadi, «Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design (Power Electronics and Application Series).
- [6.5] <http://www.hybridcenter.org/> .
- [6.6] S. Bending, M. Ferdowsi, S. Channon, K. Strunz, Project “Merge”, Deliverable 1.1 “Specification for an Enabling Smart Technology”, website: [http://www.ev-merge.eu/images/stories/uploads/MERGE\\_WP1\\_D1.1.pdf](http://www.ev-merge.eu/images/stories/uploads/MERGE_WP1_D1.1.pdf) .
- [6.7] Λάμπρος Σ. Λαμπρόπουλος «Έλεγχος κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος για εξοικονόμηση ενέργειας-εφαρμογή στα ηλεκτροκίνητα οχήματα» , διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Δεκέμβριος 2010.
- [6.8] Χαράλαμπος Ε. Μαρμαράς, «Προγραμματισμός, κατανομή και διαχείριση φορτίου ηλεκτρικών οχημάτων βάσει οικονομικών και δικτυακών κριτηρίων», διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2012.
- [6.9] <http://www.opengov.gr/minenv/?p=3512>
- [6.10] <http://www.energia.gr>
- [6.11] M. Rivier, T. Gomez, R. Cossent, I. Momber, MERGE Deliverable D5.1: “New actors and business models for the integration of EV in power systems”, Φεβρουάριος 2011. Website: [http://www.ev-merge.eu/images/stories/uploads/MERGE\\_WP5\\_%20D51Final.pdf](http://www.ev-merge.eu/images/stories/uploads/MERGE_WP5_%20D51Final.pdf) .

## ΑΡΜΟΝΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

### 7.1. Εισαγωγή

Ο αρμονικός αλγόριθμος (Harmony Search – HS) είναι ένας μετεωριστικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης, που προτάθηκε για πρώτη φορά το 2011 από τον Geem et al. κυρίως για διακριτές μεταβλητές αναζήτησης. Οι συγγραφείς απέδειξαν την απόδοσή του συγκρίνοντάς τον με έναν πρότυπο γενετικό αλγόριθμο. Ο αλγόριθμος στη συνέχεια επεκτάθηκε από τον Lee και Geem για τη βελτιστοποίηση προβλημάτων μηχανικής. Τέλος, προτάθηκε από τον Mahdavi et al. ο βελτιστοποιημένος αρμονικός αλγόριθμος στον οποίο οι παράμετροι μεταβάλλονται δυναμικά εξασφαλίζοντας αυξημένη ακρίβεια και ταχύτητα σύγκλισης.

Ο αρμονικός αλγόριθμος είναι μια απλή σύλληψη με λίγες παραμέτρους, που είναι εύκολο να εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις. Πρόκειται για ένα μιμητικό αλγόριθμο εμπνευσμένο από τη μουσική. Για να επιτευχθεί η καλύτερη αρμονία πρέπει να πραγματοποιηθεί ο καλύτερος συνδυασμός των διαφόρων μουσικών οργάνων.



**Εικόνα 7.1:** Αναλογία μεταξύ μουσικής αρμονίας και βελτιστοποίηση μηχανικών προβλημάτων

Με τη χρήση του αρμονικού αλγορίθμου επιτεύχθηκε μείωση του υπολογιστικού κόστους. Ο αλγόριθμος αυτός βρίσκει πλήθος πρακτικών εφαρμογών σε τομείς όπως στο σχεδιασμό δικτύου αγωγών, στη διαρθρωτική βελτιστοποίηση, στο οικονομικό

πρόβλημα συμπαράγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ή στον προγραμματισμό ενός συστήματος πολλών φραγμάτων. Έρευνα διεξάγεται σχετικά με τις εφαρμογές του αρμονικού αλγορίθμου στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων βελτιστοποίησης ή τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του αρμονικού αλγορίθμου σε σχέση με την μεταβολή των παραμέτρων του και άλλων τεχνικών [7.1].

## 7.2. Πλεονεκτήματα Αρμονικού Αλγορίθμου

Ο αρμονικός αλγόριθμος αναζήτησης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Δεν απαιτεί τον υπολογισμό διαφορικών, με αποτέλεσμα να μπορεί να επιλύσει ή να λάβει υπόψη του ασυνεχείς λειτουργίες, καθώς και συνεχείς συναρτήσεις.
- Μπορεί να χειριστεί διακριτές μεταβλητές το ίδιο καλά με συνεχείς μεταβλητές.
- Δεν απαιτεί αρχικοποίηση των μεταβλητών.
- Είναι απαλλαγμένος από προκαθορισμένα σημεία εκκίνησης της αναζήτησης λύσης.
- Μπορεί να ξεφύγει από τα τοπικά βέλτιστα.
- Ορισμένες παραλλαγές του αρμονικού αλγορίθμου δεν απαιτούν ειδικές αλγοριθμικές παραμέτρους, όπως HMCR και PAR, με αποτέλεσμα οι αρχάριοι χρήστες μπορούν εύκολα να χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο.
- Έχει στοχαστική παράγωγο που εφαρμόζεται σε διακριτές μεταβλητές και την οποία χρησιμοποιεί για αναζήτηση κατεύθυνσης όπως οι εμπειρίες ενός μουσικού που συνθέτει αρμονίες.

## 7.3. Βήματα εκτέλεσης αρμονικού αλγορίθμου

Σκοπός του αρμονικού αλγορίθμου είναι η εύρεση ενός διανύσματος  $x$ , το οποίο βελτιστοποιεί (μεγιστοποιεί ή ελαχιστοποιεί) μια συγκεκριμένη λειτουργία του δοθέντος προβλήματος [7.2].

- *Αρχικοποίηση του προβλήματος βελτιστοποίησης και των παραμέτρων του αλγορίθμου*

Στο πρώτο στάδιο, το πρόβλημα βελτιστοποίησης ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} & \text{Ελαχιστοποίηση (ή Μεγιστοποίηση)} f(\vec{x}) \\ & \text{για } x_i \in X_i, i = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

όπου,

- $f(x)$ : η αντικειμενική συνάρτηση διανυσμάτων προς βελτιστοποίηση  
 $\vec{x}$ : το διάνυσμα λύσης που αποτελείται από μεταβλητές  $x_i$   
 $X_i$ : το σύνολο τιμών για κάθε μεταβλητή  $x_i$

$Lx_i < X_i < Ux_i$  : όπου  $Lx_i$  το κατώτερο όριο και  $Ux_i$  το ανώτερο όριο  
 $N$ : αριθμός μεταβλητών  $x_i$

Επιπλέον σε αυτό το βήμα καθορίζονται οι παράμετροι ελέγχου του αρμονικού αλγορίθμου. Οι παράμετροι αυτές είναι το HMS (Harmony Memory Size), το μέγεθος του διανύσματος λύσης, το HMCR (Harmony Memory Considering Rate), το PAR (pitch-adjusting rate), ο αριθμός των επαναλήψεων ή κριτήριο τερματισμού (NI – Number Improvisations).

➤ *Αρχικοποίηση Harmony Memory*

Σε αυτό το βήμα, κάθε διάνυσμα από το αρχικό σύνολο, το οποίο είναι διαστάσεων HMS, αρχικοποιείται με έναν ομοιόμορφα διανεμηθέντα τυχαίο αριθμό μεταξύ του ανώτερου και κατώτερου ορίου  $[Lx_i, Ux_i]$ , όπου  $1 < i < N$ . Αυτό γίνεται για την  $i$ -οστή συνιστώσα του  $j$ -οστού διανύσματος ακολουθώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$x_i^j = L^{x_i} + rand(0,1) \cdot (U^{x_i} - L^{x_i})$$

Όπου  $j=1,2,3,\dots,HMS$  και  $rand(0,1)$  είναι ένας ομοιόμορφα διανεμηθέντας αριθμός μεταξύ 0 και 1, και αυτό αρχικοποιείται εκ νέου για κάθε συνιστώσα του διανύσματος. Έτσι προκύπτει η ακόλουθη μνήμη:

$$HM = \begin{pmatrix} x_1^1 & \dots & \dots & f(x^1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{hms} & \dots & \dots & f(x^{hms}) \end{pmatrix}$$

➤ *Δημιουργία ενός νέου διανύσματος  $x'$*

Σε αυτό το βήμα δημιουργείται ένα νέο διάνυσμα του αρμονικού αλγορίθμου:

$$\vec{x'} = (x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, \dots, x'_N)$$

Η δημιουργία του γίνεται με βάση τρεις κανόνες: την εξέταση της μνήμης, την προσαρμογή στο βήμα μεταβολής των παραμέτρων, τη στοχαστικότητα στην επιλογή. Κατά την εξέταση της μνήμης, επιλέγεται ως τιμή για την πρώτη μεταβλητή

$x'_1$  μια από αυτές που υπάρχουν ήδη στη μνήμη HM από το σύνολο  $\{x_1^1, \dots, x_1^{HMS}\}$  με πιθανότητα HMCR. Οι τιμές των άλλων μεταβλητών απόφασης  $x'_2, x'_3, x'_4, \dots, x'_N$  επιλέγονται με τον ίδιο τρόπο. Το HMCR κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1, και είναι η πιθανότητα επιλογής μιας τιμής από αυτές που είναι ήδη αποθηκευμένες στην HM, ενώ το  $(1-HMCR)$  είναι η πιθανότητα επιλογής μια καινούριας τιμής από το πιθανό σύνολο τιμών.

$$x'_i \leftarrow \begin{cases} x_i \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{HMS}\}, \\ \text{with probability HMCR} \\ x_i \in X_i, \\ \text{with probability } (1 - HMCR) \end{cases}$$

Για παράδειγμα, το  $HMCR=0.80$  δείχνει ότι ο HS αλγόριθμος θα επιλέξει την τιμή των μεταβλητών από τις τιμές που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη με πιθανότητα 80%, ενώ από το ευρύτερο σύνολο πιθανών τιμών με πιθανότητα 20%. Κατόπιν ελέγχεται η παρακάτω συνθήκη:

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \pm rand(0,1), \\ \text{with probability PAR} \\ x'_i, \\ \text{with probability } (1 - PAR) \end{cases}$$

Όπου

$b_w$ : ένα αυθαίρετο εύρος ζώνης

$rand()$ : ομοιόμορφα κατανομημένος τυχαίος αριθμός μεταξύ του 0 και του 1

#### ➤ Ενημέρωση της Harmony Memory

Αν το νέο αρμονικό διάνυσμα  $\vec{x'}$  είναι καλύτερο σε σχέση με τα διανύσματα που είναι αποθηκευμένα στην Harmony Memory, σύμφωνα με τις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης, τότε αυτό αντικαθιστά το χειρότερο διάνυσμα στη Harmony Memory. Αυτό είναι ουσιαστικά το στάδιο επιλογής, όπου σύμφωνα με την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κρίνουμε αν ένα διάνυσμα πρέπει να περιλαμβάνεται στην Harmony Memory ή όχι.

#### ➤ Κριτήριο τερματισμού

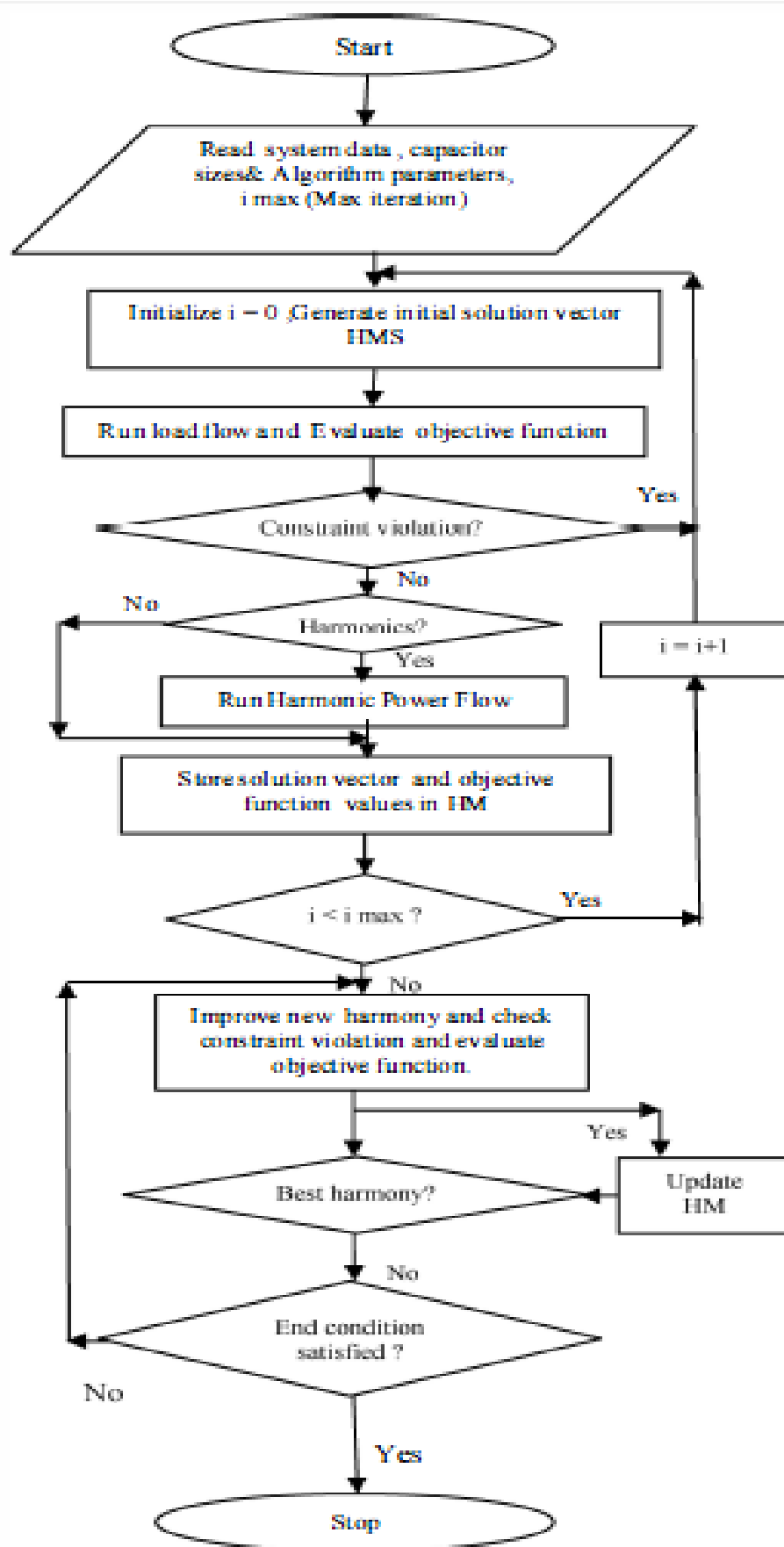
Αν το κριτήριο τερματισμού ικανοποιείται ( $NI = \text{μέγιστο}$ ), τότε ο υπολογισμός τερματίζεται. Αλλιώς επαναλαμβάνονται τα βήματα εύρεσης του νέου διανύσματος  $\vec{x'}$  και ενημέρωσης της Harmony Memory.

Οι παράμετροι που δηλώνονται για την λειτουργία του αλγορίθμου ανάλογα με το πρόβλημα και τη ζητούμενη επίλυσή του (ακριβείας, σύντομη, γρήγορη κτλ) είναι οι παρακάτω:

- *HMS*: Το μέγεθος της μνήμης του αρμονικού αλγορίθμου. Κυμαίνεται γενικά από 1 μέχρι 100.
- *HMCR*: Το ποσοστό της επιλογής μιας τιμής από τη μνήμη του αρμονικού αλγορίθμου. Κυμαίνεται γενικά από 0,7 έως 0,99.
- *par*: Το ποσοστό της επιλογής μιας γειτονικής αξίας. Κυμαίνεται γενικά από 0,1 έως 0,5.
- $\delta$ : Η ποσότητα μεταξύ δύο γειτονικών τιμών σε διακριτό σύνολο υποψηφίων.
- *bw*: Το ύψος της μέγιστης αλλαγής στη γειτονική αλλαγή. Το *bw* δεν είναι πάντοτε απαραίτητο.

Παρακάτω ακολουθεί ένα αναλυτικό διάγραμμα που πρέπει να ακολουθηθεί, προκειμένου ο αρμονικός αλγόριθμος να δώσει τη βέλτιστη λύση για ένα πρόβλημα:

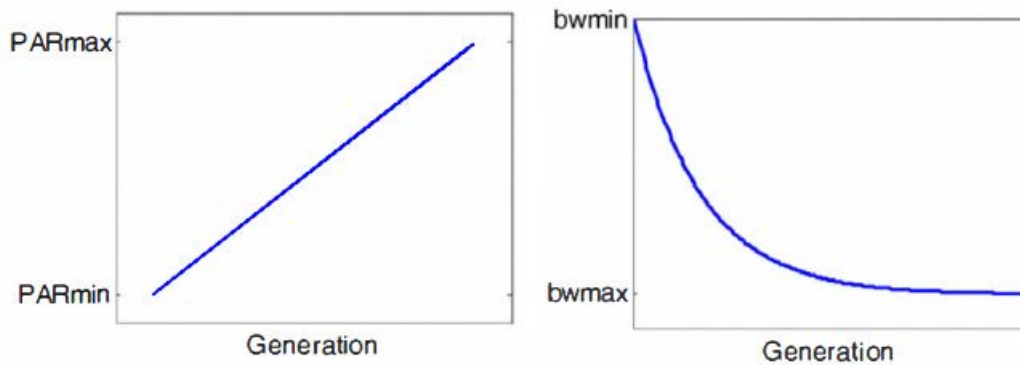




Διάγραμμα 7.1: Διάγραμμα ροής αρμονικού αλγορίθμου

#### 7.4. Βελτιωμένος Αρμονικός Αλγόριθμος

Η διαφορά του βελτιωμένου αρμονικού αλγορίθμου ( Improved Harmony Search Algorithm – IHSA) από τον απλό είναι η δυναμική αλλαγή των παραμέτρων  $par$  και  $bw$ , ο IHSA χρησιμοποιεί τις δύο αυτές παραμέτρους στο βήμα δημιουργίας του νέου διανύσματος  $\vec{x}'$ . Αυτές οι παράμετροι αλλάζουν δυναμικά όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:



**Διάγραμμα 7.2:** Μεταβολή παραμέτρων στον βελτιωμένο αρμονικό αλγόριθμο

Οι τιμές των παραμέτρων  $par$  και  $bw$  σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$par(gn) = par_{min} + \frac{(par_{max} - par_{min})}{NI} \times gn$$

Όπου,

|               |                                          |
|---------------|------------------------------------------|
| $par$ :       | pitch adjusting rate for each generation |
| $par_{min}$ : | minimum pitch adjusting rate             |
| $par_{max}$ : | maximum pitch adjusting rate             |
| $NI$ :        | number of solution vector generations    |
| $gn$ :        | generation number                        |

Και

$$bw(gn) = bw_{max} \exp(c \cdot gn),$$

$$c = \frac{\ln(\frac{bw_{min}}{bw_{max}})}{NI}$$

Όπου

|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| $bw(gn)$   | bandwidth for each generation |
| $bw_{min}$ | minimum bandwidth             |
| $bw_{max}$ | maximum bandwidth             |

Το μειονέκτημα του αρμονικού αλγορίθμου είναι ότι ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τις τιμές των παραμέτρων  $bw_{min}$ ,  $bw_{max}$ ,  $PAR_{min}$ ,  $PAR_{max}$ , κάτι το οποίο είναι δύσκολο και αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης από μόνο του.

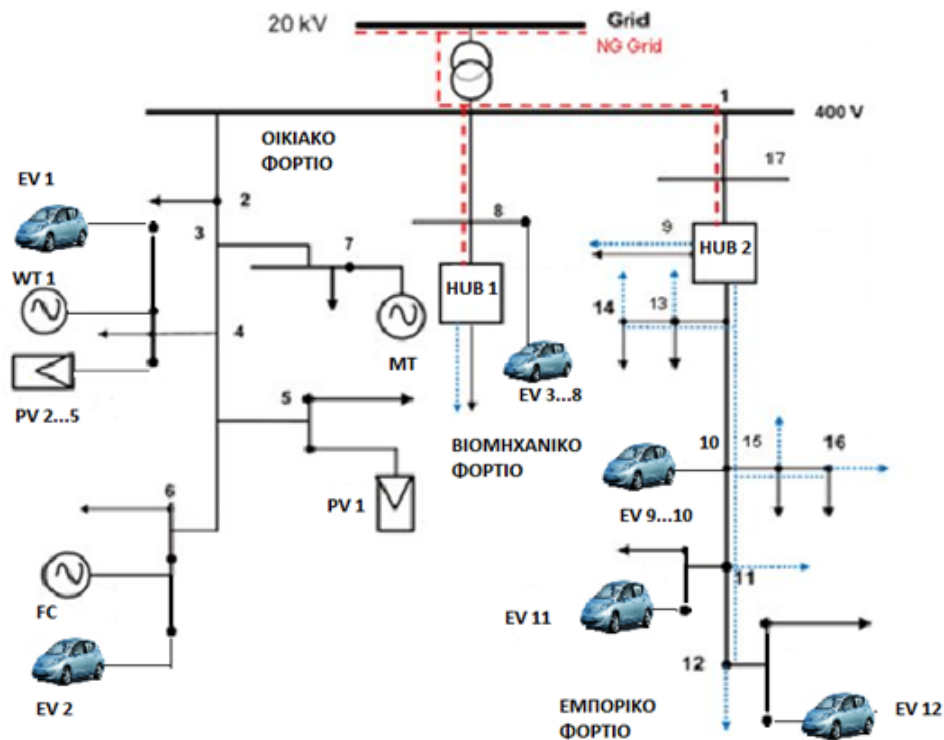
## **Βιβλιογραφία**

- [7.1] Swagatam Das, Arpan Mukhopadhyay, Anwit Roy, Ajith Abraham, Bijaya K. Panigrahi, “Exploratory Power of the Harmony Search Algorithm: Analysis and Improvements for Global Numerical Optimization”, IEEE Transaction on systems, man and cybernetics – Part B: Cybernetics, Vol.41, No1, February 2011.
- [7.2] Mohammad Tavakoli, Hossein Samsani, Sasan Beheshti, “SCT dimensions optimization by harmony search algorithm”, International Conference on Mechanical and Electrical Technology 2010 (ICMET 2010).
- [7.3] Leonardo dos Santos Coelho, Viviana Cocco Mariani, “An improved harmony search algorithm for power economic load dispatch”, Energy Conversion and Management. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/enconman](http://www.elsevier.com/locate/enconman)
- [7.4] Βιολέτα Μ. Αργυροπούλου, “Οικονομικά οφέλη μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής – Στοχαστική προσέγγιση”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2011, καθ. Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Υ.Δ. Ανέστης Αναστασιάδης.

## ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### 8.1. Στοιχεία του συστήματος

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το δίκτυο του παρακάτω σχήματος:



Σχήμα 8.1: Δίκτυο εφαρμογής

Πρόκειται για ένα δίκτυο χαμηλής τάσης που αποτελείται από τρεις κλάδους και ένα πλήθος διακλαδώσεων. Ο πρώτος κλάδος παρέχει ισχύ σε μια αστική περιοχή, ο δεύτερος σε έναν βιομηχανικό καταναλωτή και ο τρίτος σε μια αστική-εμπορική περιοχή.

Οι ηλεκτρικές γραμμές μπορεί να είναι είτε υπόγεια καλώδια, στις αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές, είτε εναέριας γραμμές στις αραιοκατοικημένες περιοχές με χαμηλή πυκνότητα φορτίου, όπως είναι οι αγροτικές περιοχές. Στο υπό μελέτη δίκτυο θεωρήσαμε ότι η αστική και εμπορική περιοχή εξυπηρετούνται από υπόγεια καλώδια, ενώ η βιομηχανική περιοχή από εναέριας γραμμές.

Το δίκτυο φυσικού αερίου είναι ένα συνηθισμένο αστικό δίκτυο, περιορισμένης όμως έκτασης. Παρέχει φυσικό αέριο στους ενεργειακούς διανομείς, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν οι μονάδες συμπαραγωγής και τα Boiler για

την κάλυψη των θερμικών αναγκών των φορτίων. Οι θερμικές ανάγκες του βιομηχανικού φορτίου καλύπτονται απευθείας από τον αντίστοιχο διανομέα (Hub 1), ενώ του εμπορικού φορτίου θεωρήσαμε πως υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα τηλεθέρμανσης. Το δίκτυο τηλεθέρμανσης μεταφέρει την παραγόμενη θερμότητα από το δεύτερο ενεργειακό διανομέα (Hub 2) στα διάφορα απομακρυσμένα φορτία της εμπορικής περιοχής.

Στον Πίνακα που ακολουθεί, αναγράφονται τα δεδομένα των γραμμών του δικτύου. Συγκεκριμένα:

- Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η σύνδεση μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Στη δεύτερη στήλη αναγράφεται η αντίσταση (R) της κάθε σύνδεσης (γραμμής) σε ανά μονάδα τιμές.
- Στην τρίτη στήλη αναγράφεται η αντίδραση (X) της κάθε σύνδεσης (γραμμής) σε ανά μονάδα τιμές.
- Στην τέταρτη στήλη αναγράφεται το ήμισυ της συνολικής εγκάρσιας επιδεκτικότητας της γραμμής ( $\frac{1}{2} B$ ), το φανταστικό δηλαδή μέρος της σύνθετης αγωγιμότητας της γραμμής χρησιμοποιώντας το ισοδύναμο – Π μοντέλο.
- Η τελευταία στήλη αναφέρεται στις λήψεις των μετασχηματιστών, όπου θεωρούμε ονομαστικές λήψεις σε όλους ( $t=1$ ).

Όλες οι μονάδες στον Πίνακα 8.1 είναι ανά μονάδα και θεωρούμε ως βασική ισχύ τα 100kVA και ως βασική τάση τα 400V της χαμηλής τάσης.

| Συνδέσεις | R<br>(p.u.) | X<br>(p.u.) | $\frac{1}{2} B$ | Λήψεις M/Σ |
|-----------|-------------|-------------|-----------------|------------|
| 1 – 2     | 0,0001      | 0,0001      | 0               | 1          |
| 2 – 3     | 0,0125      | 0,00375     | 0               | 1          |
| 3 – 4     | 0,0125      | 0,00375     | 0               | 1          |
| 4 – 5     | 0,0125      | 0,00375     | 0               | 1          |
| 5 – 6     | 0,0125      | 0,00375     | 0               | 1          |
| 3 – 7     | 0,021875    | 0,004375    | 0               | 1          |
| 1 – 8     | 0,033125    | 0,00875     | 0               | 1          |
| 1 – 9     | 0,0075      | 0,005       | 0               | 1          |
| 9 – 10    | 0,015       | 0,010625    | 0               | 1          |
| 10 – 11   | 0,02125     | 0,005625    | 0               | 1          |
| 11 – 12   | 0,02125     | 0,005625    | 0               | 1          |
| 9 – 13    | 0,010625    | 0,005625    | 0               | 1          |
| 13 – 14   | 0,010625    | 0,005625    | 0               | 1          |
| 10 – 15   | 0,023125    | 0,00625     | 0               | 1          |
| 15 – 16   | 0,023125    | 0,00625     | 0               | 1          |
| 17 – 1    | 0,0025      | 0,01        | 0               | 1          |

**Πίνακας 8.1:** Χαρακτηριστικές τιμές του δικτύου

Ο παραπάνω πίνακας, μαζί με τα δεδομένα ζήτησης και παραγωγής των ζυγών, αποτελούν την είσοδο στο πρόγραμμα επίλυσης της ροής φορτίου.

### 8.1.1. Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής

Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που έχουν εγκατασταθεί στον κλάδο του αστικού φορτίου είναι:

- *μια κυψέλη καυσίμου (FC):* Η διαθεσιμότητά της είναι 90% και η απόδοσή της 45%. Ως καύσιμο χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο που έχει θερμογόνο δύναμη 11,4920 kWh/Nm<sup>3</sup> και τιμή 0,62 €/m<sup>3</sup> [8.1].
- *μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαϊσίων(PV):* Η ετήσια παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι της τάξης των 1500 – 1800 kWh/kWp. Για την παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιήθηκαν κανονικοποιημένες χρονοσειρές από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών ισχύος 1,1kW που είναι εγκατεστημένες στο χώρο του ΕΜΠ στη Ζωγράφου [8.2].
- *μια άμεσα συνδεδεμένη ανεμογεννήτρια (WT):* Η ανεμογεννήτρια είναι της τάξης των 3504kWh/kW εγκατεστημένης ισχύος, με συντελεστή φόρτισης περίπου ίσο με 40%. Η ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι περίπου 15kW και η καμπύλη παραγωγής ισχύος της, προσεγγίζεται από πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού, με τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου να προκύπτουν από μετρήσεις από το νησί της Κρήτης [8.3].
- *μια μικροτουρμπίνα (MT):* Η διαθεσιμότητα της οποίας είναι 95% και η απόδοσή της 26%. Ως καύσιμο χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο που έχει θερμογόνο δύναμη 11,4920 kWh/Nm<sup>3</sup> και τιμή 0,62 €/m<sup>3</sup> [8.4].

Θεωρούμε πως όλες οι προαναφερθείσες πηγές παρέχουν στο σύστημα και ενεργό και άεργο ισχύ, οπότε ο συντελεστής ισχύος τους δεν ισούται με τη μονάδα, αλλά δίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

| Μικροπηγή | Συντελεστής Ισχύος |
|-----------|--------------------|
| PV1       | 0.95               |
| PV2...5   | 0.95               |
| WT        | 0.95               |
| MT        | 0.9                |
| FC        | 1                  |
| CHP       | 0.9                |

**Πίνακας 8.2:** Συντελεστής Ισχύος των μικροπηγών

Αν κάποια στιγμή η άεργος παραγωγή των ζυγών 4, 5 και 7 γίνει μεγαλύτερη ή μικρότερη από τα όρια Q<sub>min</sub>, Q<sub>max</sub> που έχουν οριστεί για κάθε ένα από αυτούς τους τρεις ζυγούς, τότε προσαρμόζεται ο συντελεστής ισχύος και δημιουργούνται νέα όρια Q<sub>min</sub>, Q<sub>max</sub> οπότε κατ' επέκταση και μια νέα άεργος παραγωγή, η οποία θα

προκύπτει από την ενεργό παραγωγή, που είναι ούτως ή άλλως καθορισμένη από τον νέο προσαρμοσμένο συντελεστή ισχύος. Όλος αυτός ο έλεγχος και ο επανακαθορισμός των μεγεθών των σχετικών με την άεργο παραγωγή γίνεται πριν τη δημιουργία του τελικού πίνακα με τα δεδομένα των ζυγών, πριν τη ροή φορτίου.

Το κόστος παραγωγής και πώλησης ενεργού ισχύος από τις μονάδες DG δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$active\ bid(P_i) = a_i \cdot P_i^2 + b_i \cdot P_i + c_i$$

όπου,

$P_i$ : η ενεργός παραγωγή της κάθε μικροπηγής.

$a_i, b_i$ : το μεταβλητό κόστος παραγωγής των μονάδων

$c_i$ : σταθερός όρος για την κατανάλωση καυσίμου

Οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά μπορούν να λειτουργούν μόνο όταν είναι εφικτό μειώνοντας το κόστος παραγωγής του συστήματος και το κόστος λειτουργίας τους θεωρείται στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μηδενικό.

Συγκεντρωτικά τα δεδομένα (ελάχιστη και μέγιστη παραγόμενη ισχύς και συντελεστές κόστους) για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και οι τιμές κόστους κεφαλαίου και ο χρόνος ζωής των μονάδων του συστήματος δίνονται στους παρακάτω πίνακες:

| Μονάδα    | Ελάχιστη Παραγόμενη Ισχύς kW | Μέγιστη Παραγόμενη Ισχύς kW | $c_i$ €/ct/h | $b_i$ €/ct/kWh | $a_i$ €/ct/kWh <sup>2</sup> |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|-----------------------------|
| MT        | 6                            | 30                          | 0,01         | 4,37           | 0,01                        |
| FC        | 3                            | 30                          | 0,8415       | 2,41           | 0,33                        |
| WT        | 0,001                        | 15                          | 0            | 0              | 0                           |
| PV1       | 0                            | 3                           | 0            | 0              | 0                           |
| PV2...PV5 | 0                            | 2,5                         | 0            | 0              | 0                           |

**Πίνακας 8.3:** Ελάχιστη, μέγιστη παραγόμενη ισχύς και συντελεστές κόστους για τις DG μονάδες παραγωγής

| Κόστη                         | PV   | WT   | MT   | FC   | CHP  | Boiler |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|--------|
| Κόστος Κεφαλαίου (€/kW)       | 2000 | 1500 | 1500 | 2500 | 1500 | 50     |
| Κόστος συντήρησης (€/kW-year) | 42   | 54   | 45   | 75   | 45   | 2      |
| Κόστος απόσβεσης (€/kW-year)  | 193  | 147  | 146  | 243  | 146  | 5      |

**Πίνακας 8.4:** Κόστη για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής



Για τον υπολογισμό του κόστους απόσβεσης στον παραπάνω πίνακα αρχικά υπολογίζουμε το προεξοφλητικό επιτόκιο από τον τύπο :

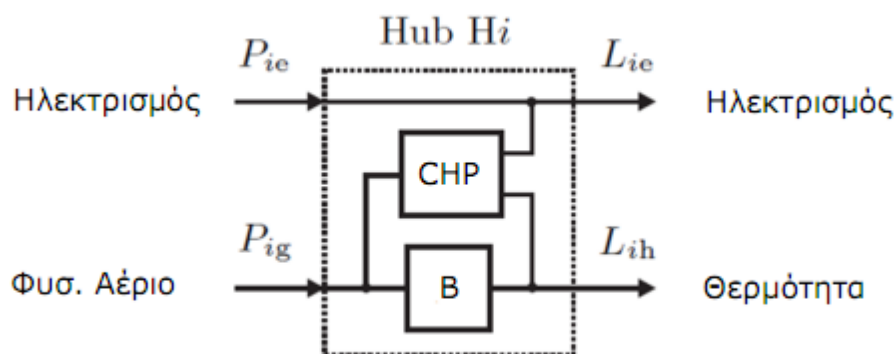
$$\text{προεξοφλητικό επιτόκιο} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

Όπου,  $r$  το επιτόκιο αναγωγής (7%).

Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε με αυτό το άθροισμα του κόστους κεφαλαίου με το κόστος συντήρησης.

### 8.1.2. Ενεργειακοί Διανομείς

Οι δύο ενεργειακοί διανομείς (Hub 1, Hub 2) στους ζυγούς 8 και 9 είναι όμοιοι και απεικονίζονται στο Σχήμα 8.2. Θεωρούμε πως κάθε ενεργειακός διανομέας είναι εφοδιασμένος με μία ηλεκτρική γραμμή μικρού μήκους, η οποία συνδέει άμεσα την ηλεκτρική είσοδο με την ηλεκτρική έξοδο, με μία μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), με την οποία επιτυγχάνεται σύζευξη μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου φυσικού αερίου και με ένα Boiler.



Σχήμα 8.2: Ενεργειακοί διανομείς

Για την μοντελοποίηση των μονάδων CHP χρησιμοποιήθηκε η υπάρχουσα μονάδα στο κτίριο των Γ.Ε. του ΕΜΠ, η οποία καταναλώνει φυσικό αέριο. Για να αυξήσουμε κατά το δυνατόν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις που θα ακολουθήσουν, θεωρήσαμε μεταβλητό ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης. Όσον αφορά τα Boiler, χρησιμοποιήσαμε μονάδες του εμπορίου. Οι ικανότητές του επιλέχθηκαν έτσι ώστε, σε περίπτωση προβλήματος στα CHP, να επαρκούν για την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών στους βιομηχανικής και στους εμπορικής περιοχής. Η συνάρτηση του λειτουργικού κόστους, καθώς και η συνάρτηση εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα των CHP αλλά και των Boiler είναι:

$$\text{active bid}(P_i) = c_i + b_i \cdot P_i^{\text{εισόδου}} + a_i \cdot P_i^{\text{εισόδου}^2} = c_i + b_i \cdot \frac{P_i}{n} + a_i \cdot \frac{P_i^2}{n}$$

όπου,

$P_i$  : η είσοδος φυσικού αερίου στην μονάδα.  
 $P_i$ : η θερμική ή ηλεκτρική ισχύς εξόδου στους μονάδας  
 $n$ : ο θερμικός ή ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, αντίστοιχα με την παραγόμενη ισχύ εξόδου

Οι συντελεστές κόστους έχουν ληφθεί από τη ΔΕΠΑ για όλο το 2008. Τα χαρακτηριστικά των μονάδων των διανομέων εμφανίζονται στους Πίνακες που ακολουθούν.

| Μονάδα | Ελάχιστη είσοδος Φυσικού Αερίου kW | Μέγιστη είσοδος Φυσικού Αερίου kW | Απόδοση        | $c_i$ €/ct/h | $b_i$ €/ct/kWh | $a_i$ €/ct/kWh <sup>2</sup> |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------|----------------|-----------------------------|
| CHP    | 5                                  | 143                               | Βλ. Πίνακα 8.6 | 10           | 3,738          | 0                           |
| Boiler | 0                                  | 200                               | 80%            | 0,001        | 5,098          | 0                           |

**Πίνακας 8.5:** Χαρακτηριστικά των μονάδων ενεργειακών διανομέων

| Είσοδος Φυσ. Αερίου $P_g$ kW | $n_e$ | $n_h$ |
|------------------------------|-------|-------|
| 5                            | 0,09  | 0,43  |
| 25                           | 0,14  | 0,44  |
| 50                           | 0,21  | 0,45  |
| 75                           | 0,25  | 0,45  |
| 100                          | 0,25  | 0,425 |
| 125                          | 0,27  | 0,45  |
| 143                          | 0,28  | 0,47  |

**Πίνακας 8.6:** Δεδομένα για τους βαθμούς απόδοσης των CHP

Από τις τιμές εισόδου του φυσικού αερίου και τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς και θερμικούς βαθμούς απόδοσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον μεταβλητό ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης.

Αρχικά υπολογίζουμε τις τιμές εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας. Από τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_{out\_el} = P_g \cdot n_e \quad (8.1)$$

$$P_{out\_th} = P_g \cdot n_{th} \quad (8.2)$$

Έτσι έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

| Είσοδος Φυσ.<br>Αερίου $P_g$<br>kW | $n_e$ | $n_h$ | $P_{out\_el}$ (kW) | $P_{out\_h}$ (kW) |
|------------------------------------|-------|-------|--------------------|-------------------|
| 5                                  | 0,09  | 0,43  | 0,45               | 2,15              |
| 25                                 | 0,14  | 0,44  | 3,5                | 11                |
| 50                                 | 0,21  | 0,45  | 10,5               | 22,5              |
| 75                                 | 0,25  | 0,45  | 18,75              | 33,75             |
| 100                                | 0,25  | 0,425 | 25                 | 42,5              |
| 125                                | 0,27  | 0,45  | 33,75              | 56,25             |
| 143                                | 0,28  | 0,47  | 40,04              | 67,21             |

**Πίνακας 8.7:** Τιμές εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας

Οι εκπομπές ρύπων για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής του δικτύου δίνονται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$Emissions_i = Emission\_param_i \cdot P_i$$

Όπου:

$P_i$ : η ενεργός παραγωγή της κάθε μικροπηγής.

$Emission\_param_i$ : τυπική τιμή των εκπεμπόμενων ρύπων της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής σε tn/MWh.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα καθώς οι εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων είναι αμελητέες σε σύγκριση με το CO<sub>2</sub>. Στον πιο κάτω Πίνακα 6.5 δίνονται πληροφορίες για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής που χρησιμοποιούνται στο προς μελέτη δίκτυο:

| Μονάδα<br>Ρυπαντές<br>(tn/MWh) | Μικροτουρμπίνα | Κυψέλη<br>Καυσίμου |
|--------------------------------|----------------|--------------------|
| CO <sub>2</sub>                | 0,7246         | 0,4894             |

**Πίνακας 8.7:** Τυπικές τιμές εκπεμπόμενων ρύπων από τις τοπικές μονάδες παραγωγής

Επομένως, το συνολικό κόστος της κάθε μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής δίνεται από τη σχέση:

$$Total\_cost = active\_bid(P_i) + Emissions_i \cdot emissions\_cost$$

Όπου:

$emissions\_cost$ : είναι η τιμή εμπορίας ρύπων για τον ρύπο ως προς τον οποίο επιδιώκεται η συμμετοχή στο εμπόριο του. Προς το παρόν αφορά μόνο το CO<sub>2</sub> και υπολογίζεται πως είναι 17€/tn CO<sub>2</sub>.

### 8.1.3. Φορτία

Τα δεδομένα της ζήτηση προέκυψαν από το IEEE – Reliability Test System (IEEE – RTS) για μια τυπική ημέρα του κάθε μήνα για κάθε ζυγό. Από αυτά και υποθέτοντας κανονική κατανομή της ζήτησης του κάθε ζυγού για ένα μήνα, με μέση τιμή κάθε ώρας την δοθείσα τιμή της τυπικής ημέρας του αυτού μήνα και με τυπική απόκλιση ίση με το 10% αυτής, προσδιορίσαμε τις ζητήσεις του κάθε ζυγού για κάθε ημέρα του κάθε μήνα.

Για τα θερμικά φορτία χρησιμοποιήσαμε συνηθισμένες καμπύλες ζήτησης θερμότητας σε βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές, τις οποίες προσαρμόσαμε κατάλληλα στο σύστημά μας. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήσαμε πως το συνολικό θερμικό φορτίο (το άθροισμα του θερμικού φορτίου στο μεσαίο και δεξί κλάδο) σχετίζεται με το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο με την αναλογία:

$$\frac{TL_{th}}{TL_{el}} = \frac{55}{45}$$

όπου,

$TL_{th}$ : το συνολικό θερμικό φορτίο  
 $TL_{el}$ : το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο

Το συνολικό θερμικό φορτίο με τη σειρά του μοιράζεται στους δύο κλάδους ως εξής:

$$TL_{th,1} = 0,3 \cdot TL_{th}$$

και

$$TL_{th,2} = 0,7 \cdot TL_{th}$$

Να σημειώσουμε ότι καθώς το θερμικό φορτίο εξυπηρετείται μόνο από τους διανομείς, στην περίπτωση της εμπορικής περιοχής, όπου έχουμε πολλά θερμικά φορτία δεν επιμερίσαμε το συνολικό θερμικό φορτίο σε κάθε κόμβο του δικτύου και για αυτό δεν παρουσιάζουμε δεδομένα για κάθε κόμβο ξεχωριστά.

### 8.1.4. Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (EVs)

Θεωρούμε ότι το Μικροδίκτυο της συγκεκριμένης εφαρμογής καλύπτει μια μικρή περιοχή και γι' αυτό χρησιμοποιείται ένας περιορισμένος αριθμός αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται 12 EVs, που φορτίζονται σε 12 διαφορετικές θέσεις διασκορπισμένες μέσα στο μικροδίκτυο. Καθένας από τους ζυγούς 4, 6, 11, 12 διαθέτει ένα σταθμό φόρτισης, ο ζυγός 10 διαθέτει δύο και ο 8 έξι. Επιπλέον έγιναν κάποιες επιπρόσθετες θεωρήσεις όσο αφορά τη μέθοδο φόρτισης και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Οι παραδοχές που κάναμε ήταν οι εξής:

- Κάθε EV διαθέτει μπαταρία των 10kW με ελάχιστο όριο αποφόρτισης 30% και μέγιστο όριο φόρτισης 78%, προκειμένου να αποφευχθεί πρόωπη γήρανση της. Τα EVs μπορούν να συνδεθούν στο μικροδίκτυο από τις 12 μμ μέχρι τις 7 πμ. Στις προσομοιώσεις που κάναμε θα λάβουμε υπόψη το χειρότερο σενάριο για το κόστος, δηλαδή ότι κάθε αυτοκίνητο θα συνδέεται στο δίκτυο στις 12 μμ με τη μπαταρία του φορτισμένη στο κατώτατο όριο των 30%. Μετά τις 7μμ πρέπει όλα τα αυτοκίνητα να είναι φορτισμένα στο ανώτατο όριο της μπαταρίας τους.
- Κάνουμε οικονομική βελτιστοποίηση και γι' αυτό η πρώτη μας προτεραιότητα είναι να αυξήσουμε το κέρδος του διαχειριστή όσο το δυνατό περισσότερο, προσέχοντας όμως ταυτόχρονα τα όρια τάσης, ρεύματος και άεργου ισχύος.
- Η οριακή τιμή είναι του έτους 2008 για όλες τις προσομοιώσεις.
- Θεωρείται ότι κάθε οικιακός φορτιστής είναι διαθέσιμος με ελάχιστο ωριαίο βήμα φόρτισης 400W και μέγιστο 4kW. Αυτό γιατί η μέγιστη ισχύς εξόδου μιας μονοφασικής πρίζας 230V είναι 4,6kW. Έτσι αυτά είναι τα μέγιστα βήματα φόρτισης που μπορούν να επιτευχθούν χωρίς να απαιτείται πρόσθετη καλωδίωση.
- Κάθε EV διαθέτει την ίδια μπαταρία με παρόμοια χαρακτηριστικά.

#### 8.1.5. Ανάντη δίκτυο

Στην περίπτωση που η παραγόμενη ισχύς από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν επαρκεί για την κάλυψη των φορτίων, θα πρέπει να εισάγουμε ισχύ από το δίκτυο. Για να έχουμε πιο ρεαλιστική απεικόνιση της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας στην οποία λειτουργεί το δίκτυο XT, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες Οριακές Τιμές του ελληνικού Συστήματος (ΟΤΣ), όπως δίνονται από το ΔΕΣΜΗΕ και αναφέρονται σε όλο το 2008.

#### 8.2. Σενάρια Λειτουργίας

Για το δίκτυο εφαρμογής των 17 ζυγών μελετήθηκαν τρία σενάρια λειτουργίας:

- **Σενάριο 1:** Απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και μονάδων συμπαραγωγής. (No – DG scenario)

Λειτουργία του δικτύου χωρίς διανεμημένη παραγωγή, όλη δηλαδή η ζήτηση ικανοποιείται από το ανάντη δίκτυο. Επιπλέον, οι ενεργειακοί διανομείς έχουν σε λειτουργία μόνο τη μονάδα Boiler, ενώ η μονάδα CHP είναι εκτός.

- **Σενάριο 2:** Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και μονάδων συμπαραγωγής, ανεξάρτητη λειτουργία. (DG + CHP scenario)

Λειτουργία του δικτύου με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Όλες οι DG μονάδες είναι παρούσες, αλλά λειτουργούν ανεξάρτητα. Το δίκτυο δηλαδή δεν συντονίζει τη λειτουργία του και όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής απλώς καλύπτουν τις ανάγκες των φορτίων τοπικά. Αν δεν επαρκούν απλά εισάγεται ηλεκτρική ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Αν πάλι η παραγόμενη ισχύς από τις μικροπηγές είναι μεγαλύτερη, τότε καλύπτεται η ζήτηση του φορτίου και η περίσσεια απορρίπτεται και δεν αξιοποιείται. Οι ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν ανεξάρτητα, εξυπηρετώντας τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία στον κλάδο στον οποίο βρίσκονται. Τα θερμικά φορτία καλύπτονται με παράλληλη λειτουργία του Boiler και του CHP.

Το σενάριο αυτό μελετήθηκε υπό τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομέων:

- I. Βέλτιστη λειτουργία του ενεργειακού διανομέα, χωρίς δυνατότητα απόρριψης ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Ο κάθε διανομέας ικανοποιεί με βέλτιστο οικονομικά τρόπο τις ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες στον κλάδο στον οποίο βρίσκεται (*Local\_optimization*).
- II. Κάλυψη του θερμικού φορτίου από τον σταθμό συμπαραγωγής. Αν το θερμικό φορτίο ξεπερνά τη δυναμικότητα της μονάδας CHP, τότε συμπληρώνεται από την μονάδα παραγωγής του Boiler. Αφού καθοριστεί η θερμική παραγωγή της μονάδας συμπαραγωγής, υπολογίζεται η ηλεκτρική παραγωγή, όπως επεξηγήθηκε στην υποενότητα 8.1.2. Εάν πάλι απαιτείται περισσότερη ηλεκτρική ισχύς, τότε αυτή εισάγεται από το ανάντη δίκτυο. Σε περίπτωση που η ηλεκτρική παραγωγή της μονάδας CHP ξεπερνά την ζήτηση του κλάδου, τότε η περίσσεια απορρίπτεται (*Heat\_Match*).
- III. Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου από τον σταθμό συμπαραγωγής. Αν το ηλεκτρικό φορτίο ξεπερνά τη δυναμικότητα της μονάδας CHP, τότε εισάγεται ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Ακολούθως, υπολογίζεται η θερμική παραγωγή της μονάδας συμπαραγωγής. Εάν απαιτείται περισσότερη θερμική ισχύς, τότε αυτή δίνεται από την μονάδα του Boiler. Εάν πάλι η θερμική παραγωγή ξεπερνά την ζήτηση του κλάδου, τότε η περίσσεια απορρίπτεται (*Electricity\_Match*).

■ **Σενάριο 3: Λειτουργία μικροδικτύου.** (*Microgrid scenario*)

Λειτουργία μικροδικτύου με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου. Όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι παρούσες, αλλά αυτή τη φορά λειτουργούν συντονισμένα και κατά βέλτιστο τρόπο. Οι ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν συντονισμένα, εξυπηρετώντας τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία.

Το σενάριο αυτό μελετήθηκε σύμφωνα με τις δύο παρακάτω πολιτικές λειτουργίας:

- I. Την πολιτική του καλού πολίτη. Σύμφωνα με την πολιτική αυτή, στόχος της λειτουργίας του μικροδικτύου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής με τον περιορισμό ότι δεν θα εξάγει ενέργεια στο ανάντη δίκτυο (*Good Citizen Policy*).
- II. Την πολιτική του ιδανικού πολίτη. Σε αυτήν την πολιτική υπάρχει ένας πάροχος ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Service Provider) ο οποίος διαχειρίζεται το μικροδίκτυο προσπαθώντας να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του ανταλλάσσοντας ενέργεια με το δίκτυο και χρεώνοντας τους καταναλωτές μέσα στο μικροδίκτυο με τις τιμές της αγοράς. Αναγκαία προϋπόθεση είναι το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο να επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος (*Ideal Citizen Policy*).

**Σημείωση:** Στο σενάριο 3, όπου έχουμε λειτουργία μικροδικτύου, οι μονάδες ανανεώσιμης παραγωγής ενέργειας (ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά) χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα και δεν υπόκεινται σε περιορισμό, με άλλα λόγια τροφοδοτούν τα φορτία με όση ισχύ έχουν διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή και έπειτα μελετώνται οι υπόλοιπες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Το σενάριο αυτό μελετήθηκε για διάφορα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής και συγκεκριμένα για εγκατεστημένη ισχύ από 130kW έως 193kW. Συγκεκριμένα σε κάθε βήμα διείσδυσης προστίθενται 5kW αιολικής παραγωγής, 3kW φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ζυγό 5 και 2,5kW φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ζυγό 4. Επομένως, σε κάθε βήμα διείσδυσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ αυξάνεται με βήμα 10,5kW.

### 8.3. Μεθοδολογία

Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια υλοποιήθηκαν διαφορετικά προβλήματα, τα οποία αναπτύχθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Για τις ώρες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, που καθορίζονται από τον διαχειριστή του μικροδικτύου, καλείται μια υποσυνάρτηση που υπολογίζει την ενέργεια και το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κάθε ώρα έτσι ώστε να μεγιστοποιείται το κέρδος του διαχειριστή (πολιτική του ιδανικού πολίτη) ή να ελαχιστοποιείται το κόστος στο μικροδίκτυο (πολιτική του καλού πολίτη). Η μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται από την υποσυνάρτηση και στις δύο περιπτώσεις είναι ο αρμονικός αλγόριθμος, που αναλύεται στο Κεφάλαιο 7. Τα βήματα και η διάρκεια της φόρτισης καθορίζονται από την υποσυνάρτηση αυτή, όμως δεν είναι προκαθορισμένα και η φόρτιση ενός οχήματος μπορεί να κρατήσει και λιγότερο από τις ώρες που έχουν καθοριστεί από τον διαχειριστή. Άρα στην περίπτωση παρουσίας ηλεκτρικών αυτοκινήτων ο υπολογισμός των μεγεθών του μικροδικτύου γίνεται με χρήση δυναμικού προγραμματισμού. Έτσι εξοικονομείται χρόνος, καθώς μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των συγκρίσεων.

Στη συνέχεια περιγράφεται και επεξηγείται αναλυτικά το κάθε πρόβλημα. Να σημειώσουμε ότι όλα τα μεγέθη υπολογίστηκαν σε ωριαίο, ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο επίπεδο.

### **Σενάριο 1: No – DG scenario**

Στο No – DG scenario όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Το ανάντη δίκτυο καλείται να εξυπηρετήσει όλο το ηλεκτρικό φορτίο και αντίστοιχα οι μονάδες Boiler όλο το θερμικό. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Εισάγονται αρχικά τα στοιχεία των γραμμών (linedata) του εξεταζόμενου συστήματος λαμβάνοντας υπόψη και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, η ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων λαμβάνοντας υπόψη και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ( $P_{Load}$ ) και η οριακή τιμή του συστήματος (ΟΤΣ), ανά ώρα για όλο το έτος.
- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών ( $TL_{th}$ ), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε στην υποενότητα 8.1.3.
- Υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που παράγονται από το ανάντη δίκτυο και από τις μονάδες Boiler αντίστοιχα.
- Υπολογίζεται η άεργος ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων ( $Q_{load}$ ).
- Κατασκευάζονται ο πίνακας των στοιχείων των ζυγών (busdata) και η μήτρα αγωγιμοτήτων ( $[Y]$ ), τα οποία είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson.
- Από την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου, υπολογίζονται οι απώλειες ενεργού ισχύος (Losses) στις γραμμές μεταφοράς.
- Υπολογίζεται το κόστος λειτουργίας (Cost) για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών του δικτύου.
- Υπολογίζονται οι εκλυόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ emissions). Να σημειώσουμε ότι η τυπική τιμή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από λιγνιτική μονάδα ανέρχεται σε 1,1tn/MWh.
- Υπολογίζεται το συνολικό κόστος (Total\_cost), ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

### **Σενάριο 2: DG + CHP scenario**

Στο DG + CHP scenario όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής είναι παρούσες και λειτουργούν ανεξάρτητα, καλύπτοντας τις ανάγκες των φορτίων τοπικά. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Εισάγονται αρχικά τα στοιχεία των γραμμών (linedata) του εξεταζόμενου συστήματος, η ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων λαμβάνοντας υπόψη και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ( $P_{Load}$ ) και η οριακή τιμή του συστήματος (ΟΤΣ), ανά ώρα για όλο το έτος.



- Εισάγεται η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ( $P_{GPV}$ ,  $P_{GWT}$ ) (φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριας).
- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών ( $TL_{th}$ ), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε στην υποενότητα 8.1.3.
- Υπολογίζεται η άεργος ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων ( $Q_{Load}$ ).
- Υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τοπικά από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των ζητούμενων φορτίων του αστικού κλάδου. Αν το ζητούμενο φορτίο είναι μεγαλύτερο από το τεχνικό μέγιστο της μονάδας, τότε η μονάδα τίθεται σε μέγιστη λειτουργία και η υπόλοιπη ζήτηση καλύπτεται από το ανάντη δίκτυο. Αν το ζητούμενο φορτίο είναι μικρότερο από το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας, τότε η μονάδα τίθεται σε ελάχιστη λειτουργία και η ενέργεια που δεν καταναλώνεται από το τοπικό φορτίο, χάνεται στο σύστημα.
- Υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που παράγονται από τους ενεργειακούς διανομείς στον βιομηχανικό και εμπορικό κλάδο. Κάθε ενεργειακός διανομέας καλύπτει τα φορτία του κλάδου στον οποίο συνδέεται. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του ενεργειακού διανομέα και της μονάδας συμπαραγωγής, *Local\_Optimization*, *Heat\_Match* ή *Electricity\_Match* υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική παραγωγή. Συγκεκριμένα για:

#### — *Local\_Optimization*

Πραγματοποιείται βελτιστοποίηση των μονάδων CHP και Boiler, των ενεργειακών διανομέων, για οικονομικότερη κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων των ζυγών. Η οικονομική βελτιστοποίηση υλοποιείται μέσα από τον αρμονικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης.

#### — *Heat\_Match*

Καλύπτεται πρώτα το θερμικό φορτίο. Αν η παραγωγή του CHP δεν είναι ικανή να καλύψει τις θερμικές ανάγκες του κλάδου, δηλαδή το θερμικό φορτίο είναι μεγαλύτερο του τεχνικού μεγίστου της μονάδας, τότε τίθεται σε λειτουργία το Boiler και υπολογίζεται η θερμική παραγωγή του. Ακολούθως, υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το CHP σε αντιστοιχία με τη θερμική ισχύ εξόδου. Αν το ζητούμενο ηλεκτρικό φορτίο είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, τότε εγχέεται ηλεκτρική ισχύς από το ανάντη δίκτυο, αν πάλι είναι μικρότερο τότε απορρίπτεται ηλεκτρική ισχύς.

#### — *Electricity\_Match*

Καλύπτεται πρώτα το ηλεκτρικό φορτίο. Αν η παραγωγή του CHP δεν είναι ικανή να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες του κλάδου, δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο είναι μεγαλύτερο του τεχνικού μεγίστου της μονάδας, τότε εγχέεται ηλεκτρική ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Ακολούθως, υπολογίζεται η θερμική ενέργεια που παράγεται από το CHP σε αντιστοιχία με την ηλεκτρική ισχύ εξόδου. Αν το ζητούμενο θερμικό φορτίο είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, τότε τίθεται σε λειτουργία το Boiler και

υπολογίζεται η θερμική παραγωγή του. Αν πάλι είναι μικρότερο τότε απορρίπτεται θερμική ισχύς.

- Υπολογίζεται η απορριπτόμενη ενέργεια των μονάδων συμπαραγωγής – θερμική σε λειτουργία **Electricity\_Match** και ηλεκτρική σε λειτουργία **Heat\_Match**.
- Υπολογίζεται ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το ανάντη δίκτυο σε περίπτωση όπου οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής δεν μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση του φορτίου.
- Κατασκευάζεται ο πίνακας των στοιχείων των ζυγών (busdata) με βάση την παραγωγή και ζήτηση, της ενεργού και άεργου ισχύος του καθενός ( $P_G$ ,  $P_{Load}$ ,  $Q_G$ ,  $Q_{Load}$ ).
- Κατασκευάζεται η μήτρα αγωγιμοτήτων ( $[Y]$ ), η οποία μαζί με τον busdata είναι απαραίτητη για την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson.
- Από την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου, υπολογίζονται οι απώλειες ενεργού ισχύος (Losses) στις γραμμές μεταφοράς.
- Υπολογίζεται το κόστος λειτουργίας (Cost) για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών του δικτύου.
- Υπολογίζονται οι εκλυόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ emissions). Να σημειώσουμε ότι η τυπική τιμή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από λιγνιτική μονάδα ανέρχεται σε 1,1tn/MWh.
- Υπολογίζεται το συνολικό κόστος (Total\_cost), ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

### Σενάριο 3: Microgrid scenario

Στο *Microgrid scenario* όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και οι ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν συντονισμένα και κατά βέλτιστο τρόπο. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Εισάγονται αρχικά τα στοιχεία των γραμμών (linedata) του εξεταζόμενου συστήματος, η ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων ( $P_{Load}$ ) και η οριακή τιμή του συστήματος (OTS), ανά ώρα για όλο το έτος.
- καλείται μια υποσυνάρτηση που υπολογίζει την ενέργεια και το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κάθε ώρα έτσι ώστε να μεγιστοποιείται το κέρδος του διαχειριστή (πολιτική του ιδανικού πολίτη) ή να ελαχιστοποιείται το κόστους στο μικροδίκτυο (πολιτική του καλού πολίτη). Η μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται είναι ο αρμονικός αλγόριθμος.
- Εισάγεται η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ( $P_{Gpv}$ ,  $P_{GWT}$ ) (φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριας).
- Καθορίζεται το βήμα διείσδυσης (10,5kW) των ΑΠΕ (70kW, 80,5kW, 91kW, 101,5kW, 112kW, 122,5kW, 133kW) και υπολογίζεται εκ νέου η παραγωγή τους.

- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών ( $TL_{th}$ ), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε στην υποενότητα 8.1.3.
- Υπολογίζεται η άεργος ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων ( $Q_{Load}$ ).
- Υλοποιείται η Οικονομική Κατανομή Φορτίου (Economic Dispatch, ED) μέσα από τον αρμονικό αλγόριθμο. Η αντικειμενική συνάρτηση,  $f(x)$ , που χρησιμοποιείται για την κάθε βελτιστοποίηση εξαρτάται από το σενάριο λειτουργίας του μικροδικτύου. Συγκεκριμένα για κάθε ένα από τα σενάρια λειτουργίας του μικροδικτύου η  $f(x)$  και οι περιορισμοί είναι:

#### — *Good Citizen Policy*

##### Αντικειμενική συνάρτηση:

$$f(x) = cost = \sum_{i=1}^N active\_bid(x_i) + AX = \sum_{i=1}^N (a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i) + AX$$

Όπου:

- $x_i$ : η παραγωγή ενέργειας από την  $i$  μικροπηγή σε MWh.
- $a_i, b_i$ : το μεταβλητό κόστος παραγωγής των μικροπηγών σε €/MWh<sup>2</sup> και €/MWh αντίστοιχα.
- $c_i$ : σταθερός όρος για την κατανάλωση καυσίμου σε €/h.
- $X$ : η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο σε MWh.
- $A$ : είναι οι τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε €.

##### Περιορισμοί:

$$X + \sum_{i=1}^N x_{i\_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} = \sum P_{Load} = \text{ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i\_θερμική} = TL_{th} = \text{ζήτηση θερμικής ενέργειας}$$

$$T_{εχνικό\_ελάχιστο} \leq x_i \leq T_{εχνικό\_μέγιστο}$$

$$0 \leq X \Rightarrow \text{δεν επιτρέπεται αμφίδρομη ροή ισχύος}$$

– *Ideal Citizen Policy*

**Αντικειμενική συνάρτηση:**

$$f(x) = \text{Revenues} = A \left[ \sum_{i=1}^N x_{i\_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} \right] - \sum_{i=1}^N \text{active\_bid}(x_i)$$

Όπου:

- $x_i$ : η παραγωγή ενέργειας από την  $i$  μικροπηγή σε MWh.
- $P_{PV}$ : η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά σε MWh.
- $P_{WT}$ : η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια σε MWh.
- $a_i, b_i$ : το μεταβλητό κόστος παραγωγής των μικροπηγών και μονάδων σε €/MWh<sup>2</sup> και €/MWh αντίστοιχα.
- $c_i$ : σταθερός όρος για την κατανάλωση καυσίμου σε €/h.
- $A$ : είναι οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σε €.

**Περιορισμοί:**

$$X + \sum_{i=1}^N x_{i\_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} = \sum P_{Load} = \text{ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i\_θερμική} = TL_{th} = \text{ζήτηση θερμικής ενέργειας}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i\_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} \geq \sum P_{Load}$$

$$T_{\text{τεχνικό\_ελάχιστο}} \leq x_i \leq T_{\text{τεχνικό\_μέγιστο}}$$

$$X \Rightarrow \text{επιτρέπεται η αμφίδρομη ροή ισχύος}$$

- Από την επίλυση της Οικονομικής Κατανομής, για κάθε ένα από τα σενάρια του μικροδικτύου, υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που πρέπει να εγχέεται στο μικροδίκτυο από την κάθε μονάδα.
- Κατασκευάζονται ο πίνακας των στοιχείων των ζυγών (busdata) και η μήτρα αγωγιμοτήτων ([Y]), τα οποία είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson.
- Από την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου, υπολογίζονται οι απώλειες ενεργού ισχύος (Losses) στις γραμμές μεταφοράς.

- Υπολογίζονται οι εκλυόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>emissions). Να σημειώσουμε ότι η τυπική τιμή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από λιγνιτική μονάδα ανέρχεται σε 1,1tn/MWh.
- Υπολογίζονται το κόστος λειτουργίας (Cost) για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών του δικτύου και το συνολικό κόστος (Total\_cost), ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

## Βιβλιογραφία

- [8.1] <http://www.fuelcellenergy.com/>
- [8.2] G.C.Bakos and M.Soursos, “Technical Feasibility and economic viability of a grid-connected PV installation for low cost electricity production.” Energy and Buildings J, vol. 34, pp. 753–758, July 2002.
- [8.3] A. Tsikalakis, N. Hatziaargyriou, “Financial Evaluation of Renewable Energy Source Production in Microgrids Markets Using Probabilistic Analysis”, In proc of the IEEE Power Tech '05 Conference, St. Petersburg June 2005, paper No133.
- [8.4] <http://www.capstoneturbine.com/>
- [8.5] Γεωργία Θ. Πιερή, “Η επίδραση των διαφόρων πολιτικών λειτουργίας στα μεγέθη ενός μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2012, επιβλέποντες: καθ. Χατζηαργυρίου Νικόλαος, Υ.Δ. Αναστασιάδης Ανέστης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

#### 9.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι εφαρμογές του λογισμικού που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 8. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της μελέτης, υπό μορφή διαγραμμάτων, σε ετήσιο επίπεδο. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από διαδοχική άθροιση των ωριαίων, ημερήσιων και μηνιαίων τιμών – οι οποίες είναι η έξοδος του προγράμματος που ήδη έχει περιγραφεί στην ενότητα 8.3.

Αρχικά θα γίνει βελτιστοποίηση για την περίπτωση της πολιτικής του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με χρήση του αρμονικού αλγορίθμου. Στη συνέχεια προστίθενται 12 ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο προς μελέτη μικροδίκτυο και μελετάται η επίδραση αυτών στα διάφορα μεγέθη του. Ακολουθεί συγκριτική μελέτη των πολιτικών του καλού και ιδανικού πολίτη παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων για διάφορα επίπεδα διεύθυνσης διεσπαρμένης παραγωγής. Τέλος, συγκρίνονται όλα τα σενάρια λειτουργίας του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων. Η πολιτική του ιδανικού πολίτη, όταν στο μικροδίκτυο υπάρχουν οι 12 σταθμοί φόρτισης, μελετάται εκτενέστερα, καθώς εισήχθη για πρώτη φορά στη μελέτη του δικτύου εφαρμογή.

#### 9.2. Βελτιστοποίηση με χρήση του αρμονικού αλγορίθμου

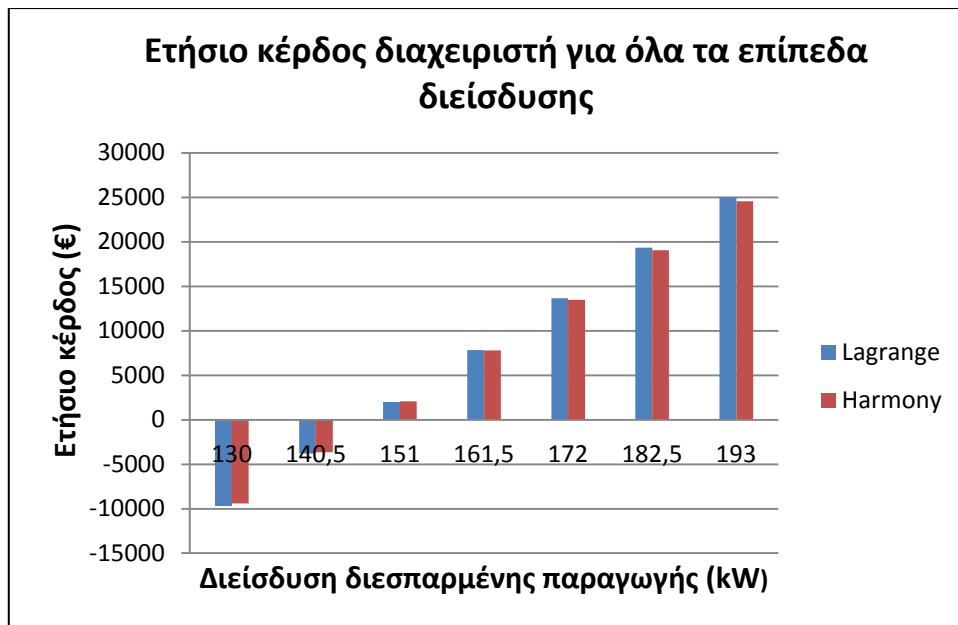
##### 9.2.1. Σύγκριση βελτιστοποιήσεων με αρμονικό αλγόριθμο και μέθοδο Lagrange

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 7, ο αρμονικός αλγόριθμος είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης του οποίου η ακρίβεια και η ταχύτητα σύγκλισης εξαρτάται από τον προσδιορισμό τεσσάρων παραμέτρων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο προσδιορισμός των παραμέτρων αυτών έγινε μετά από πολλαπλές δοκιμές, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να προσεγγίζουν εκείνα της βελτιστοποίησης με τη μέθοδο Lagrange. Αλλάζοντας κάθε φορά μία από τις παραμέτρους HMS, NI, par και HMCR καταλήξαμε για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στις παρακάτω τιμές:

|       |      |
|-------|------|
| HMS:  | 70   |
| NI:   | 5000 |
| HMCR: | 0.8  |
| par:  | 0.4  |

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων ακολουθεί σύγκριση των διαφόρων τιμών που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους βελτιστοποίησης στην πολιτική του ιδανικού πολίτη, όταν δεν είναι συνδεδεμένα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο μικροδίκτυο.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται τα ετήσια κέρδη του διαχειριστή για διάφορα επίπεδα διεύθυνσης διεσπαρμένης παραγωγής τόσο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Lagrange, όσο και τον αρμονικό αλγόριθμο .



**Διάγραμμα 9.1:** Ετήσιο κέρδος διαχειριστή του μικροδικτύου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Lagrange και τον αρμονικό αλγόριθμο

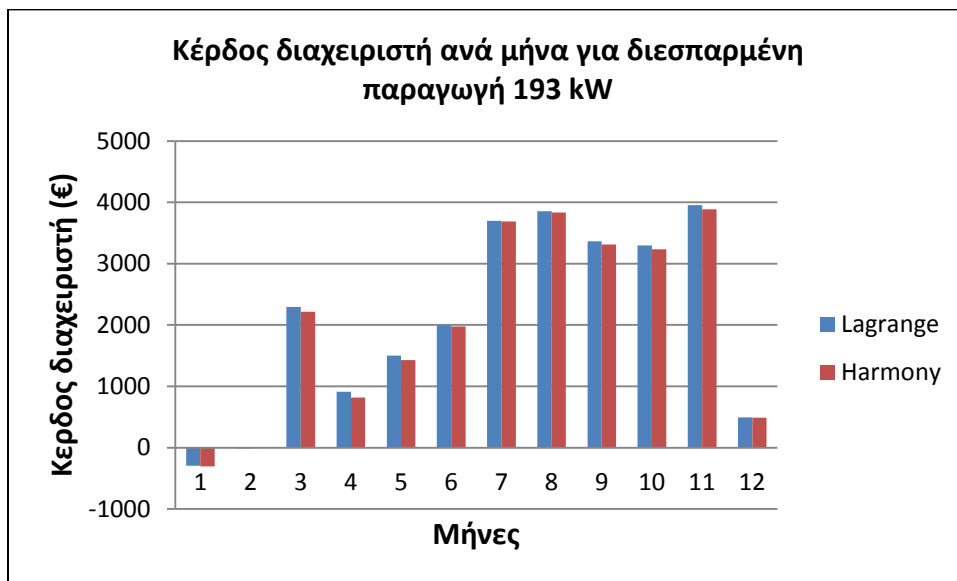
Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων βελτιστοποίησης γενικά συγκλίνουν. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ τους, σε ό τι αφορά το ετήσιο κέρδος διαχειριστή του μικροδικτύου, είναι 484 €. Για την τάξη μεγέθους του κέρδους, που ανέρχεται περίπου στα 25000 €, η διαφορά θεωρείται ικανοποιητική. Το σχετικό σφάλμα του ετήσιου κέρδους υπολογισμένο με τον αρμονικό αλγόριθμο σε σχέση με εκείνο που υπολογίζεται με τη μέθοδο Lagrange είναι 0,0193.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μηνιαίο κέρδος του διαχειριστή τόσο για την περίπτωση χρήσης του αρμονικού αλγορίθμου όσο και της μεθόδου Lagrange, για τη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής των 193 kW που το σχετικό σφάλμα του ετήσιου κέρδους είναι μεγαλύτερο. Παρατηρούμε ότι η διαφορά του μηνιαίου κέρδους μεταξύ των δύο μεθόδων είναι σε αποδεκτά επίπεδα.



| Μήνες | Μέθοδος Lagrange | Αρμονικός Αλγόριθμος |
|-------|------------------|----------------------|
| 1     | -296,681         | -302,595             |
| 2     | -10,5139         | -0,4278              |
| 3     | 2293,51          | 2215,788             |
| 4     | 913,0098         | 819,2841             |
| 5     | 1502,201         | 1428,318             |
| 6     | 1994,934         | 1973,817             |
| 7     | 3700,83          | 3687,658             |
| 8     | 3852,803         | 3832,004             |
| 9     | 3366,248         | 3310,132             |
| 10    | 3297,285         | 3233,493             |
| 11    | 3952,736         | 3887,045             |
| 12    | 493,4053         | 491,2817             |

**Πίνακας 9.1:** Σύγκριση μηνιαίου κέρδους διαχειριστή για βελτιστοποίηση με τη μέθοδο Lagrange ή τον αρμονικό αλγόριθμο



**Διάγραμμα 9.2:** Σύγκριση μηνιαίου κέρδους διαχειριστή για βελτιστοποίηση με τη μέθοδο Lagrange ή τον αρμονικό αλγόριθμο

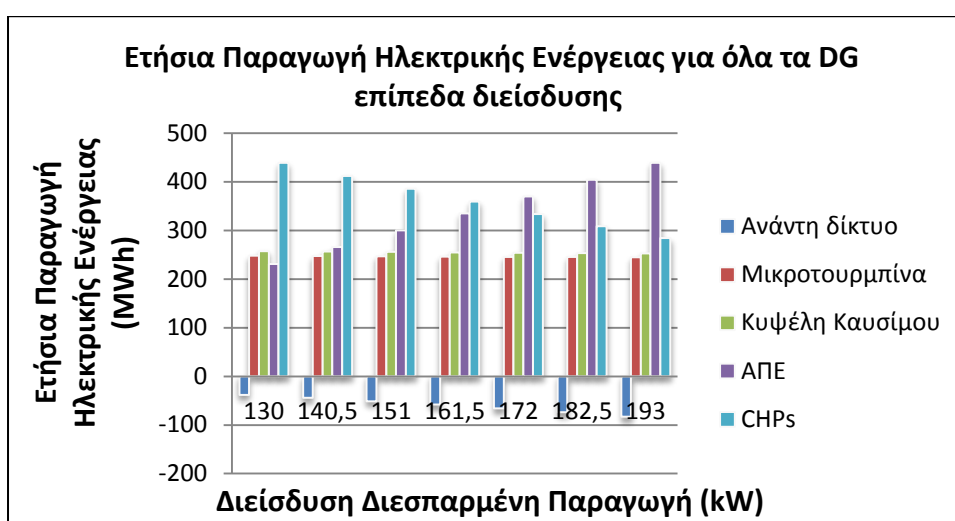
### 9.2.1.1. Μελέτη μικροδικτύου για την πολιτική του ιδανικού πολίτη χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 8.2 η πολιτική του ιδανικού πολίτη ή αλλιώς Ideal Citizen Policy δύναται να μεγιστοποιήσει τα κέρδη ενός διαχειριστή, ο οποίος αναλαμβάνει να παρέχει ενεργειακές υπηρεσίες στους καταναλωτές του μικροδικτύου. Ενώ παράλληλα, υποβοηθά, σε περιόδους μεγάλης ζήτησης, το κεντρικό δίκτυο, εγγέροντας ενέργεια προς αυτό. Κατά την προσομοίωση της πολιτικής αυτής η βελτιστοποίηση του κέρδους του διαχειριστή θα γίνει με τον αρμονικό αλγόριθμο.

Η πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου μελετήθηκε ως προς όλα τα επίπεδα διείσδυσης (130-193 kW) και ως προς τα μεγέθη:

- Παραγωγή ενέργειας ως προς τις διάφορες μονάδες του δικτύου
- Κόστος λειτουργίας του δικτύου
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα
- Συνολικό κόστος λειτουργίας
- Κέρδος διαχειριστή
- Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου

### 9.2.1.2. Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου

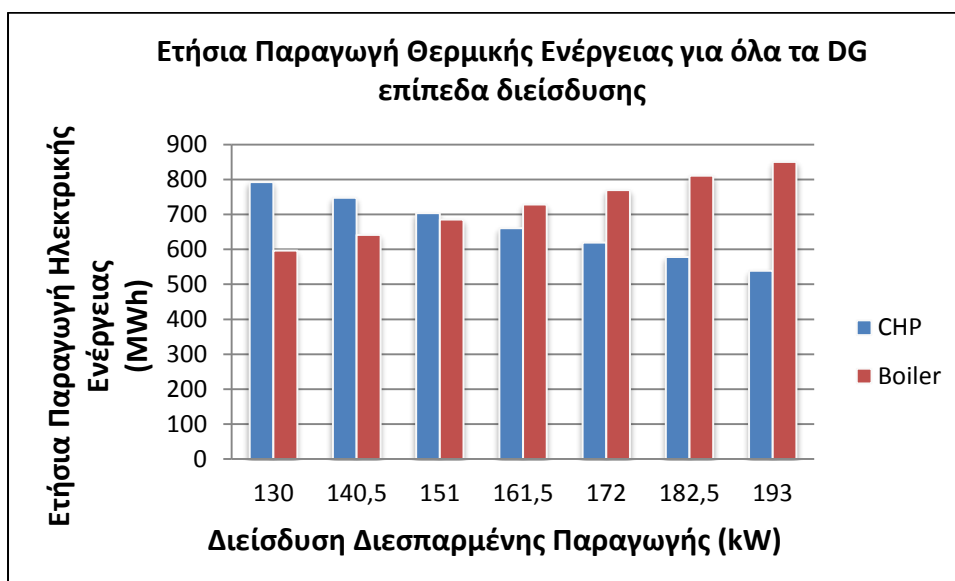


**Διάγραμμα 9.3:** Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Παρατηρούμε ότι η έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο παίρνει αρνητικές τιμές. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα της λειτουργίας αυτής, να επιτρέπει αμφίδρομη ροή ισχύος.

Κατά τη λειτουργία μικροδικτύου, οι μονάδες ΑΠΕ χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα και δεν υπόκεινται σε περιορισμό, με άλλα λόγια τροφοδοτούν τα φορτία με όση ισχύ έχουν διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή. Για το λόγο αυτό, όσο αυξάνεται η διείσδυσή

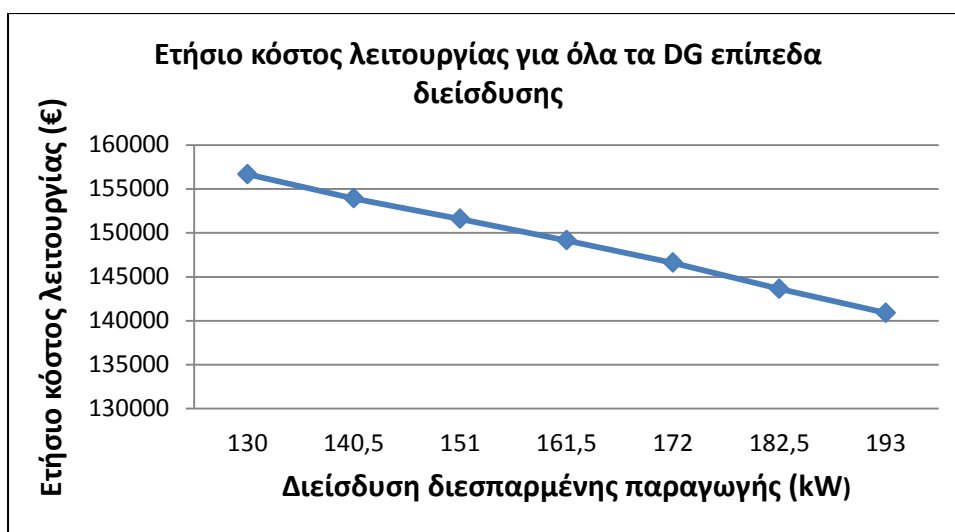
τους, τόσο μειώνεται η παραγωγή των υπόλοιπων μονάδων (μικροτουρμπίνες, κυψέλης καυσίμου και μονάδας CHP).



**Διάγραμμα 9.4:** Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας από τις μονάδες CHP μειώνεται, όπως ακριβώς και η καμπύλη της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της σχέσης που συνδέει την ηλεκτρική και θερμική ισχύ εξόδου της μονάδας CHP, όπως αναφέρθηκε και στην υποενότητα 8.1.2. Η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας, από τις μονάδες Boiler, αυξάνεται συμπληρωματικά με την μείωση της παραγωγής των μονάδων CHP.

### 9.2.1.3. Κόστος λειτουργίας του δικτύου



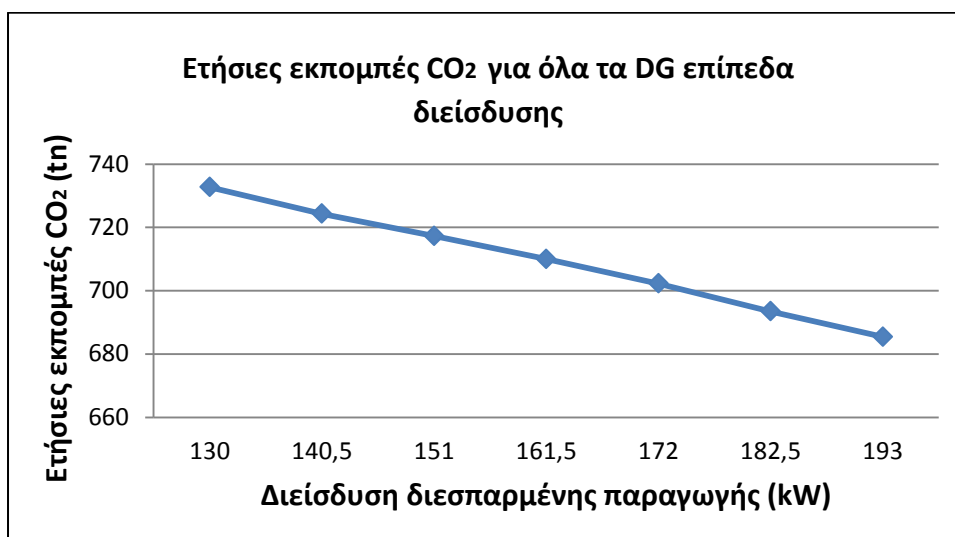
**Διάγραμμα 9.5:** Ετήσιο κόστος λειτουργίας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Όπως συμπεραίνουμε από το Διάγραμμα 9.5 το κόστος λειτουργίας στο μικροδίκτυο μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Η εξίσωση που προσεγγίζει το ετήσιο λειτουργικό κόστος στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$y = -2602,5x + 159331$$

Όπου  $y$  το λειτουργικό κόστος σε € και  $x$  το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής σε kW.

### 9.2.1.4. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



**Διάγραμμα 9.6:** Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

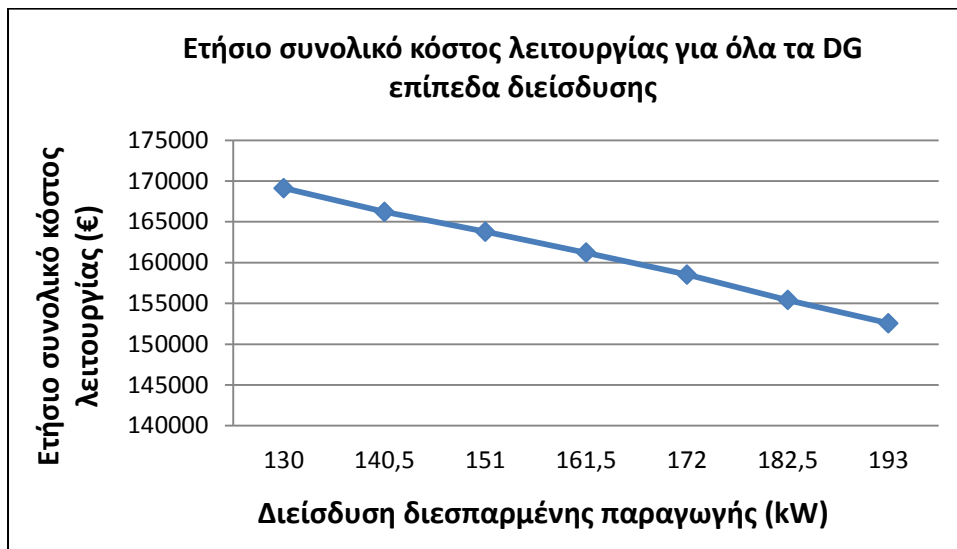
Όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα 9.6, οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Η εξίσωση που προσεγγίζει τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στη συγκεκριμένη πολιτική λειτουργίας του μικροδικτύου είναι:

$$y = -7,8095x + 740,6$$

Όπου y οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε tn και x το επίπεδο διεσπαρμένης παραγωγής σε kW.

#### 9.2.1.5. Συνολικό κόστος λειτουργίας

Για να είναι εφαρμόσιμη και φιλική προς το περιβάλλον η λειτουργία του δικτύου πρέπει να επιφορτιστεί και με τον έλεγχο των εκπεμπόμενων ρύπων. Αυτό είναι αναγκαίο, καθώς σε περίπτωση μη επίτευξης των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κιότο και της συνθήκης της Κοπεγχάγης, ενσωματώνεται ένα τέλος στο ενεργειακό κόστος. Στο συνολικό κόστος συμπεριλαμβάνονται και τα κόστη των εκπομπών.



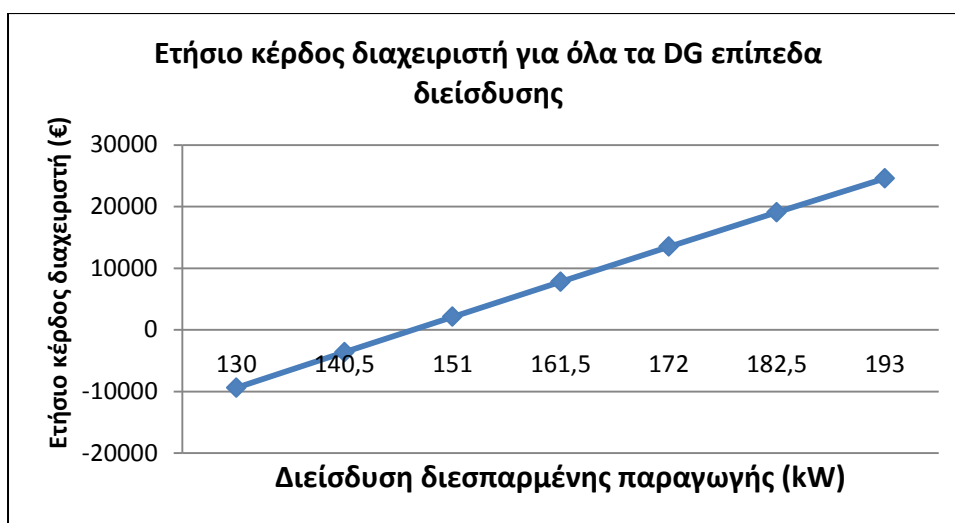
**Διάγραμμα 9.7:** Ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Η εξίσωση που προσεγγίζει το συνολικό κόστος λειτουργίας είναι η εξής:

$$y = -2735,2 + 171921$$

Όπου y το συνολικό λειτουργικό κόστος σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

#### 9.2.1.6. Κέρδος διαχειριστή



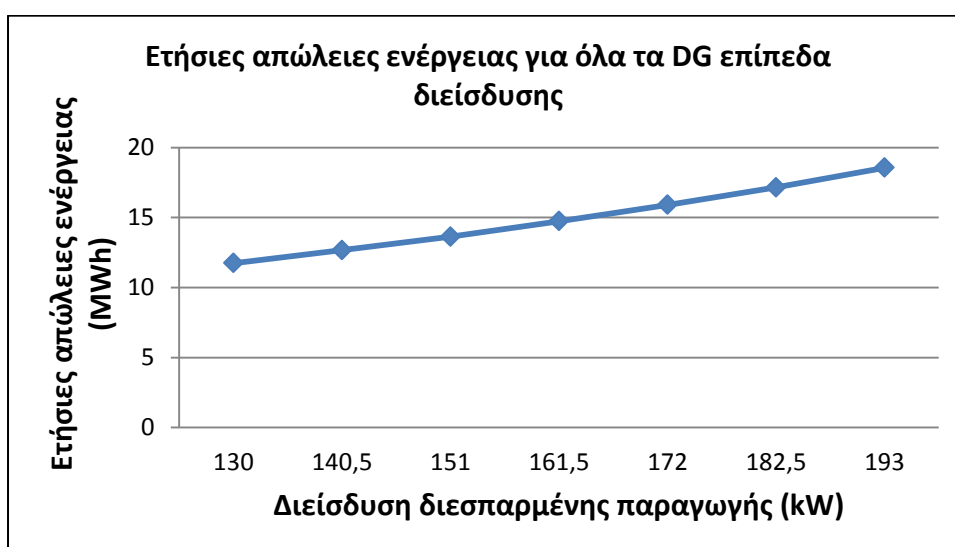
**Διάγραμμα 9.8:** Ετήσιο κέρδος διαχειριστή για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα το κέρδος του διαχειριστή αυξάνεται γραμμικά με τη διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής. Το κέρδος γίνεται θετικό για διείσδυση μεγαλύτερη από 151 kW. Τότε η πολιτική του ιδανικού πολίτη είναι συμφέρουσα για τον διαχειριστή του συστήματος. Η εξίσωση που περιγράφει το ετήσιο κέρδος του διαχειριστή για διάφορα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής είναι:

$$y = 5669 \cdot x - 14971$$

Όπου y το ετήσιο κέρδος του διαχειριστή σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

#### 9.2.1.7. Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου



**Διάγραμμα 9.9:** Ετήσιες απώλειες ενέργειας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Με την αύξηση των επιπέδων DG διείσδυσης αυξάνεται η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ και ταυτόχρονα παρατηρείται αύξηση των συνολικών απωλειών του δικτύου. Η εξίσωση των συνολικών απωλειών του δικτύου συναρτήσει της διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής είναι:

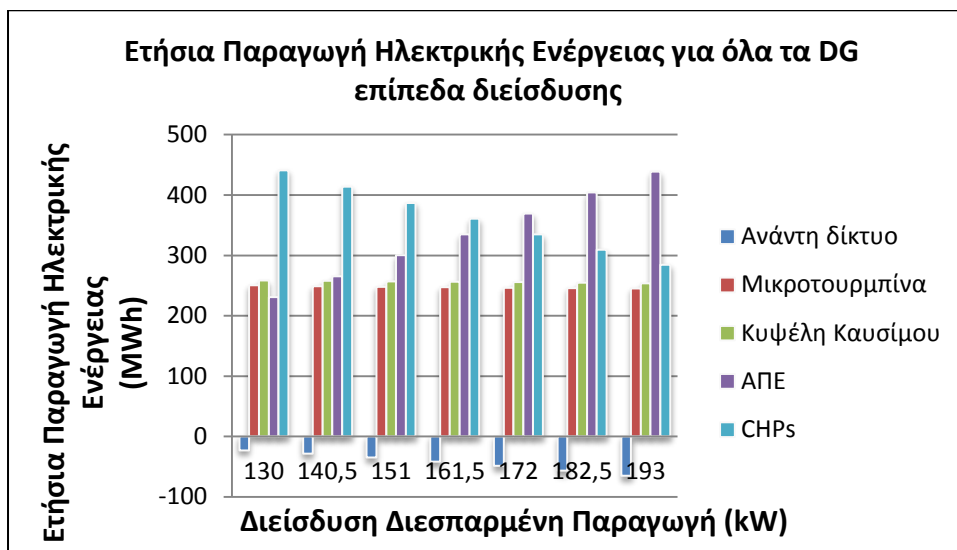
$$y = 1,1317 \cdot x + 10.386$$

Όπου y οι ετήσιες απώλειες ενέργειας σε MWh και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

### 9.2.2. Μελέτη μικροδικτύου ως προς την πολιτική του ιδανικού πολίτη κατόπιν σύνδεσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

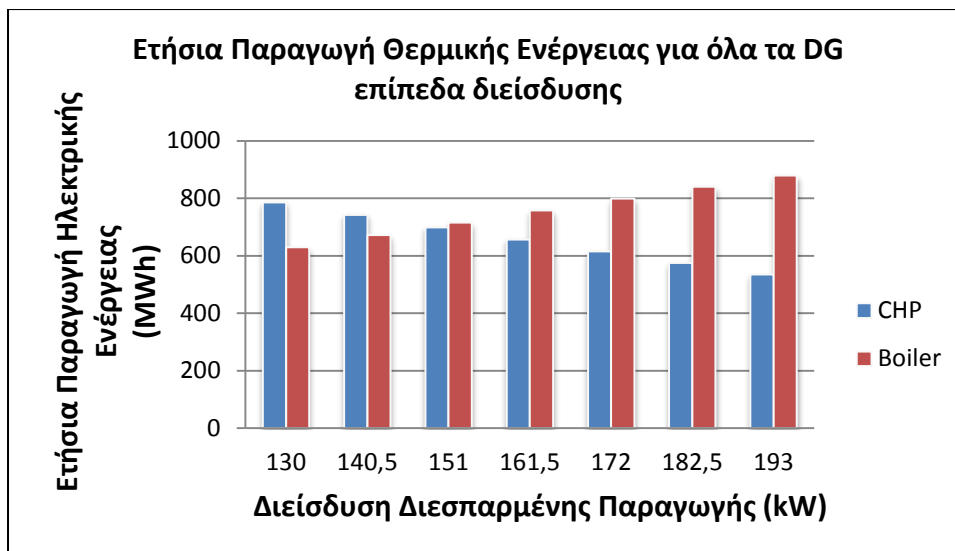
Όπως αναφέρθηκε και στην υποενότητα 8.1.4., στο μικροδίκτυο συνδέονται 12 ηλεκτρικά αυτοκίνητα που φορτίζονται σε 12 διαφορετικές θέσεις διασκορπισμένες μέσα σε αυτό. Η φόρτιση γίνεται από τις 12 το βράδυ μέχρι τις 7πμ. Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε πώς επηρεάζει η φόρτιση των αυτοκινήτων τα διάφορα μεγέθη του μικροδικτύου.

#### 9.2.2.1. Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου



**Διάγραμμα 9.10:** Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

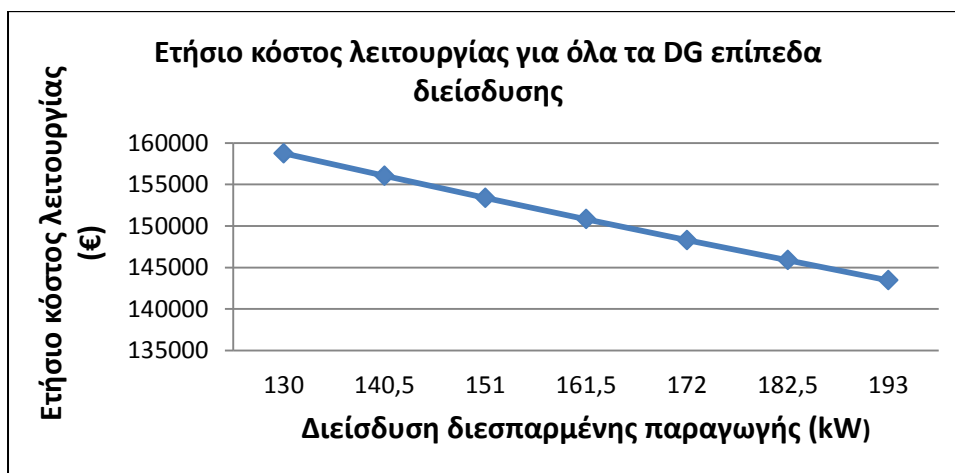
Παρατηρούμε ότι η έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας του ανάντη δικτύου παίρνει αρνητικές τιμές γιατί έχει φορά προς το μικροδίκτυο. Επιπλέον με αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ παρατηρείται αύξηση της ενέργειας που εγχέεται προς το δίκτυο, η οποία φτάνει στις 65MWh για διείσδυση ΑΠΕ 193kW. Καθώς αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ μειώνεται αντίστοιχα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα CHP.



**Διάγραμμα 9.11:** Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Λόγω της σχέσης που συνδέει τη θερμική με την ηλεκτρική ισχύ εξόδου παρατηρούμε ότι η καμπύλη της θερμικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των CHP μειώνεται όπως και η καμπύλη της ηλεκτρικής.

#### 9.2.2.2. Κόστος λειτουργίας του δικτύου



**Διάγραμμα 9.12:** Ετήσιο κόστος λειτουργίας για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

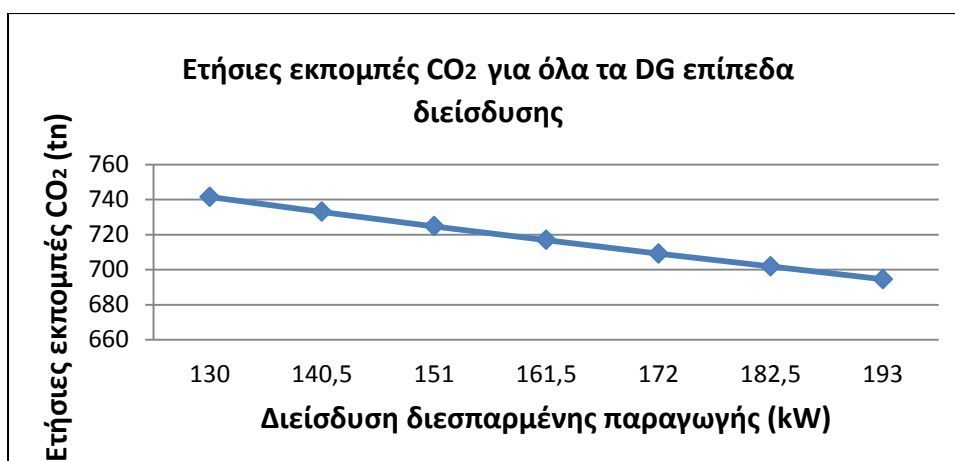
Όπως συμπεραίνουμε από το Διάγραμμα 9.12, το κόστος λειτουργίας στο μικροδίκτυο μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Η εξίσωση που προσεγγίζει το ετήσιο λειτουργικό κόστος στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$y = -2547x + 161131$$

Όπου  $y$  το λειτουργικό κόστος σε € και  $x$  το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής σε kW.



### 9.2.2.3. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



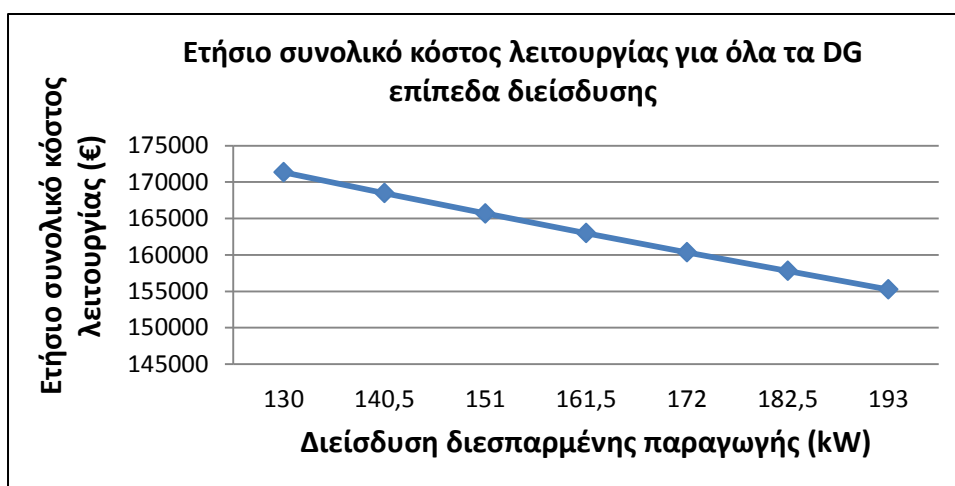
**Διάγραμμα 9.13:** Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα 9.13, οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Η εξίσωση που προσεγγίζει τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στη συγκεκριμένη πολιτική λειτουργίας του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων είναι:

$$y = -7,8152x + 748,63$$

Όπου y οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε tn και x το επίπεδο διεσπαρμένης παραγωγής σε kW.

### 9.2.2.4. Συνολικό κόστος λειτουργίας



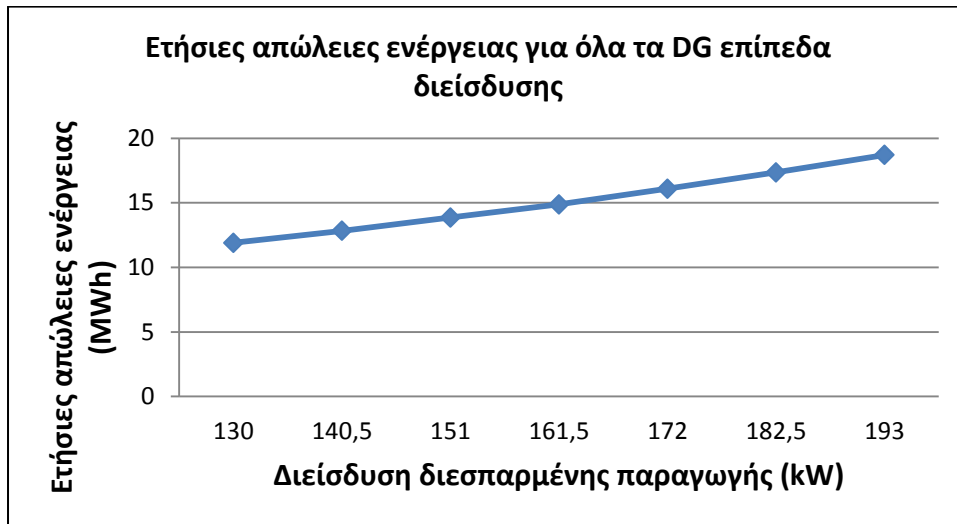
**Διάγραμμα 9.14:** Ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Η εξίσωση που προσεγγίζει το συνολικό κόστος λειτουργίας είναι η εξής:

$$y = -2679,9x + 173858$$

Όπου y το συνολικό λειτουργικό κόστος σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

#### 9.2.2.5. Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου



**Διάγραμμα 9.15:** Ετήσιες απώλειες ενέργειας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Με την αύξηση των επιπέδων DG διείσδυσης αυξάνεται η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ και ταυτόχρονα παρατηρείται αύξηση των συνολικών απωλειών του δικτύου. Η εξίσωση των συνολικών απωλειών του δικτύου συναρτήσει της διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής είναι:

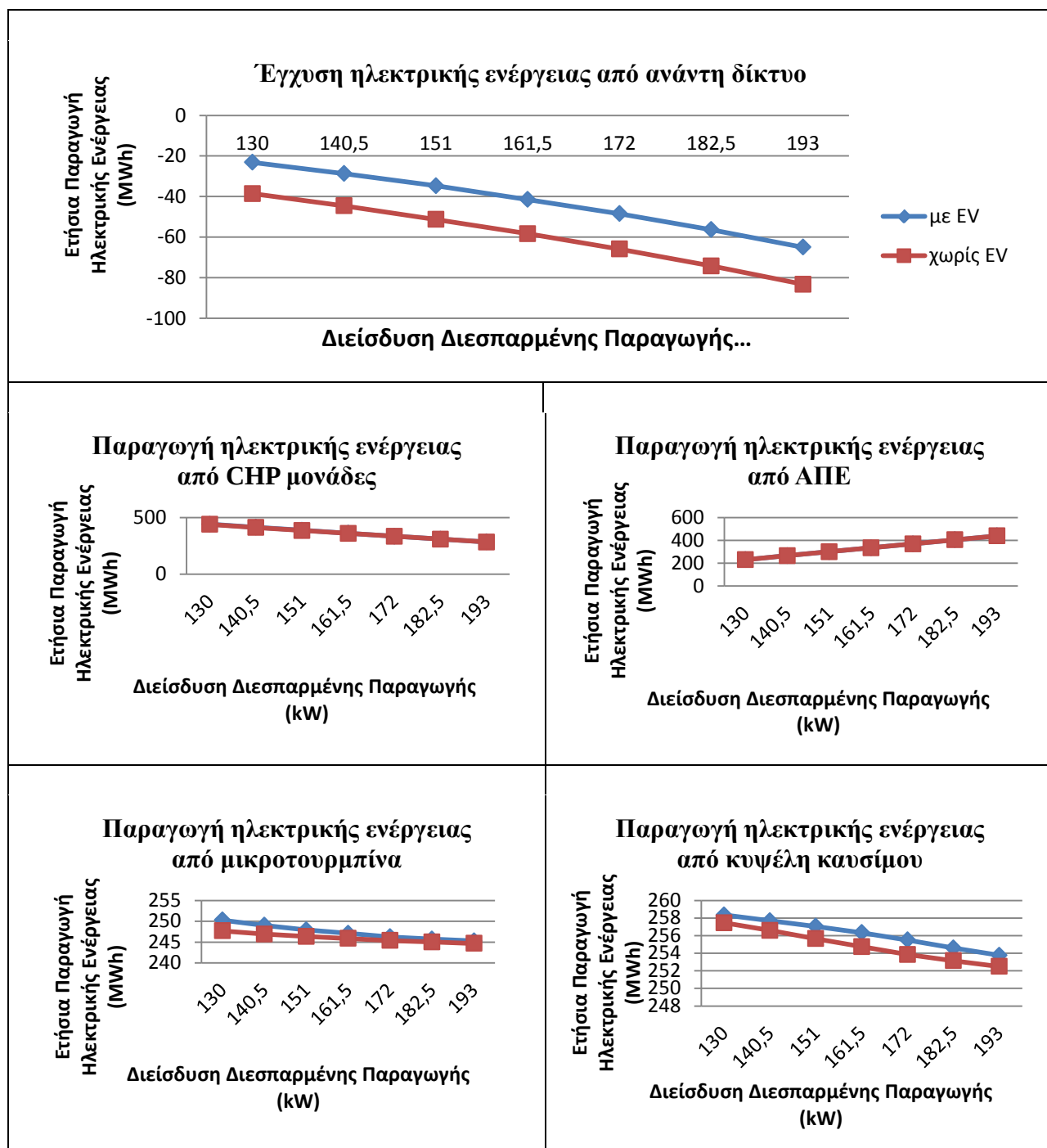
$$y = 1,1328 \cdot x + 10,558$$

Όπου y οι ετήσιες απώλειες ενέργειας σε MWh και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

#### 9.2.3. Συγκριτική μελέτη των διαφόρων μεγεθών του μικροδικτύου παρουσία ή μη ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Παρακάτω ακολουθεί σύγκριση των τιμών των διαφόρων μεγεθών του μικροδικτύου σε περιπτώσεις που αυτό διαθέτει 12 σταθμούς φόρτισης και όταν απουσιάζουν τα ηλεκτρικά οχήματα.

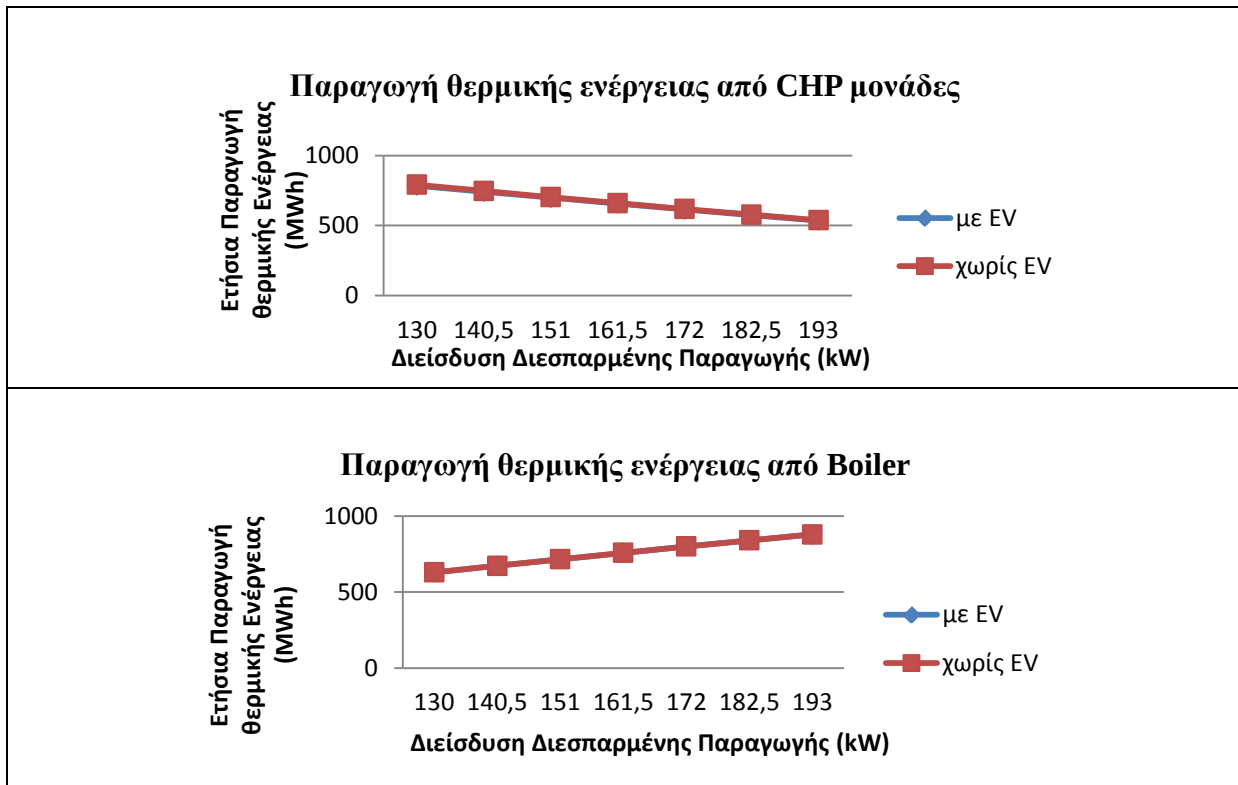
### 9.2.3.1 Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου



**Διάγραμμα 9.16:** Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα, η αύξηση του φορτίου με την προσθήκη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είχε ως συνέπεια την μείωση της εγχέομενης ενέργειας στο ανάντη δίκτυο, καθώς παρέχεται για κάλυψη των επιπλέον ενεργειακών αναγκών του μικροδικτύου. Αυτό είναι λογικό, καθώς τις βραδινές ώρες, που γίνεται φόρτιση των αυτοκινήτων, η οριακή τιμή του συστήματος είναι χαμηλή. Η παραγωγή των μικροτουρμπίνων και των κυψελών καυσίμου αυξάνεται για την κάλυψη του επιπλέον

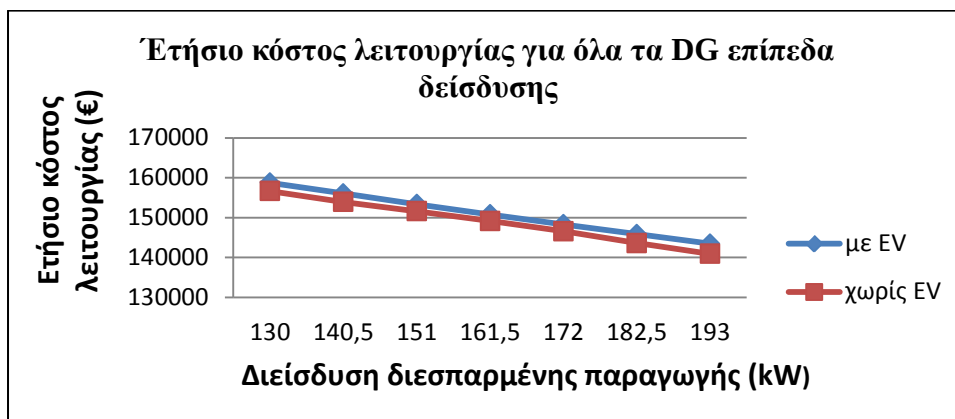
φορτίου. Η παραγωγή των CHP και των ΑΠΕ είναι ίδια με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



**Διάγραμμα 9.17:** Σύγκριση παραγωγής θερμικής ενέργειας από CHP μονάδες και Boiler για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Δεν παρατηρείται καμιά αλλαγή στην παραγωγή θερμικής ενέργειας, καθώς έχουμε αλλαγή μόνο του ηλεκτρικού και όχι του θερμικού φορτίου.

#### 9.2.3.1. Κόστος λειτουργίας του δικτύου



**Διάγραμμα 9.18:** Σύγκριση ετήσιου κόστους λειτουργίας για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

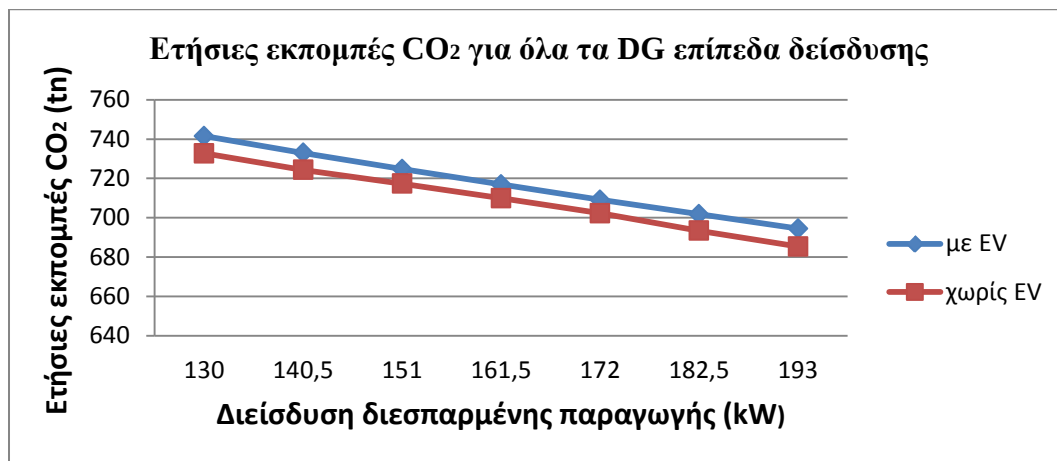
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα, με την παρουσία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνεται το κόστος λειτουργίας του δικτύου. Οι εξισώσεις που προσεγγίζουν το ετήσιο λειτουργικό κόστος για τις δύο περιπτώσεις είναι:

$$\text{με EV: } y = -2547x + 161131$$

$$\text{χωρίς EV: } y = -2602,5x + 159331$$

Όπου  $y$  το ετήσιο λειτουργικό κόστος και  $x$  η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής. Και στις δύο περιπτώσεις το ετήσιο λειτουργικό κόστος μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Για τα επίπεδα διείσδυσης που μελετήσαμε, τη μέγιστη αύξηση στο ετήσιο λειτουργικό κόστος την παρατηρούμε στα 193kW και ανέρχεται στα 2541,84€.

### 9.2.3.2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



**Διάγραμμα 9.19:** Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> για την πολιτική του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

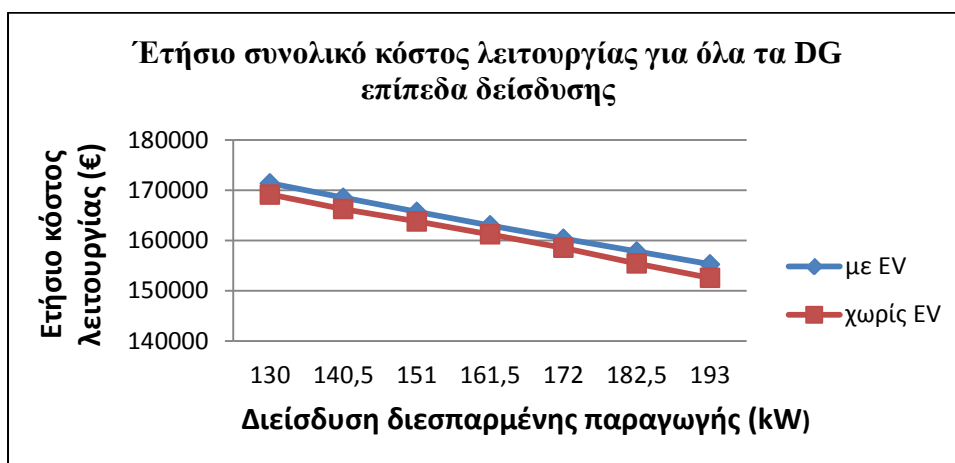
Όπως παρατηρούμε στο Διάγραμμα 9.19, αυξάνεται η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην περίπτωση παρουσίας των ηλεκτρικών οχημάτων στο μικροδίκτυο. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη λειτουργία των μικροτουρμπινών και της κυψέλης καυσίμου για την κάλυψη του επιπλέον ηλεκτρικού φορτίου. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη μεταβολή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στις δύο περιπτώσεις είναι:

$$\text{με EV: } y = -7,8152x + 748,63$$

$$\text{χωρίς EV: } y = -7,8095x + 740,6$$

Όπου  $y$  οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε tn και  $x$  το επίπεδο διεσπαρμένης παραγωγής σε kW. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε γραμμική μείωση των τόνων του διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται σε σχέση με την διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής.

### 9.2.3.3. Συνολικό κόστος λειτουργίας



**Διάγραμμα 9.20:** Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους λειτουργίας για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

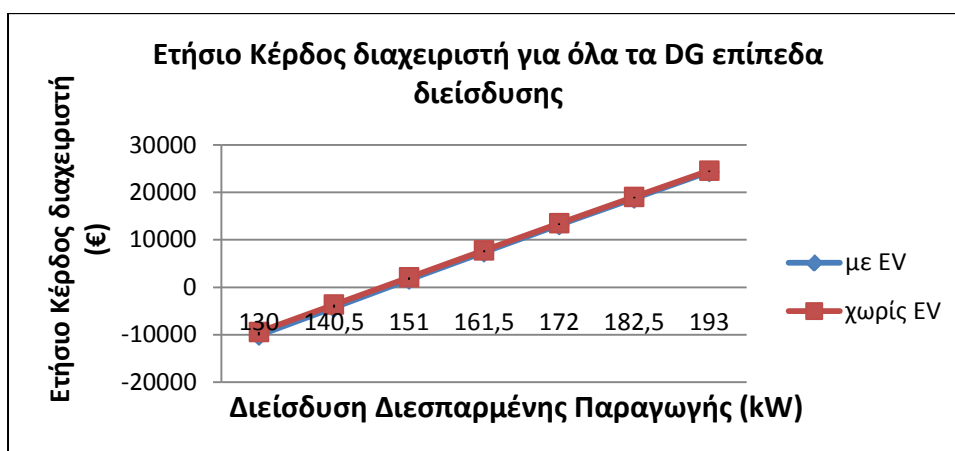
Στην περίπτωση ύπαρξης και των ηλεκτρικών οχημάτων στο μικροδίκτυο αυξάνεται το συνολικό κόστος λειτουργίας, καθώς παρατηρείται τόσο μικρή αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, όσο και του κόστους λειτουργίας. Οι εξισώσεις που περιγράφουν το συνολικό ετήσιο κόστος με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων στο μικροδίκτυο είναι οι παρακάτω:

$$\text{με EV: } y = -2679,9x + 173858$$

$$\text{χωρίς EV: } y = -2733,2x + 171921$$

Όπου  $y$  το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος και  $x$  η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής. Και στις δύο περιπτώσεις το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής.

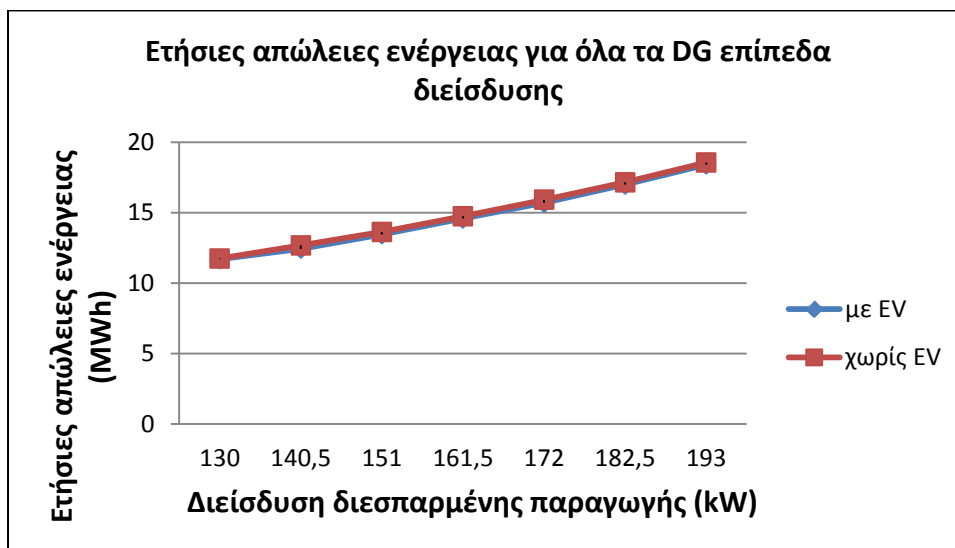
### 9.2.3.4. Κέρδος διαχειριστή



**Διάγραμμα 9.21:** Σύγκριση συνολικού ετήσιου κέρδους διαχειριστή για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω διάγραμμα η προσθήκη των σταθμών φόρτισης στο μικροδίκτυο προκαλεί πολύ μικρή μείωση των κερδών του διαχειριστή, η οποία είναι της τάξης των 730€ για διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 130kW. Με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ μειώνεται η διαφορά στα κέρδη του διαχειριστή παρουσία ή μη ηλεκτρικών οχημάτων.

### 9.2.3.5 Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου



**Διάγραμμα 9.22:** Σύγκριση απωλειών ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου για πολιτική ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν προκαλούν μεγάλη μεταβολή των απωλειών ενέργειας στις γραμμές. Προκαλούν μια πολύ μικρή μείωση των απωλειών, καθώς ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας δε μεταφέρεται πια στο ανάντη δίκτυο, αλλά χρησιμοποιείται τοπικά για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

### 9.3. Προβλήματα τάσεων

Για τον έλεγχο της πτώσης και ανύψωσης τάσης ( $\pm 3\%$ ), κατά την προσομοίωση της πολιτικής του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου, δημιουργούνται δύο πίνακες με όνομα *below\_V* και *over\_V*. Είναι πίνακες τεσσάρων διαστάσεων 12x30x24x17 (12 μήνες, 30 ημέρες, 24 ώρες, 17 ζυγοί στο δίκτυο), στους οποίους καταχωρούνται όλοι οι ζυγοί οι οποίοι υπερβαίνουν το κριτήριο της τάσης, είτε έχοντας τιμή μεγαλύτερη του 1,03 είτε μικρότερη του 0,97.

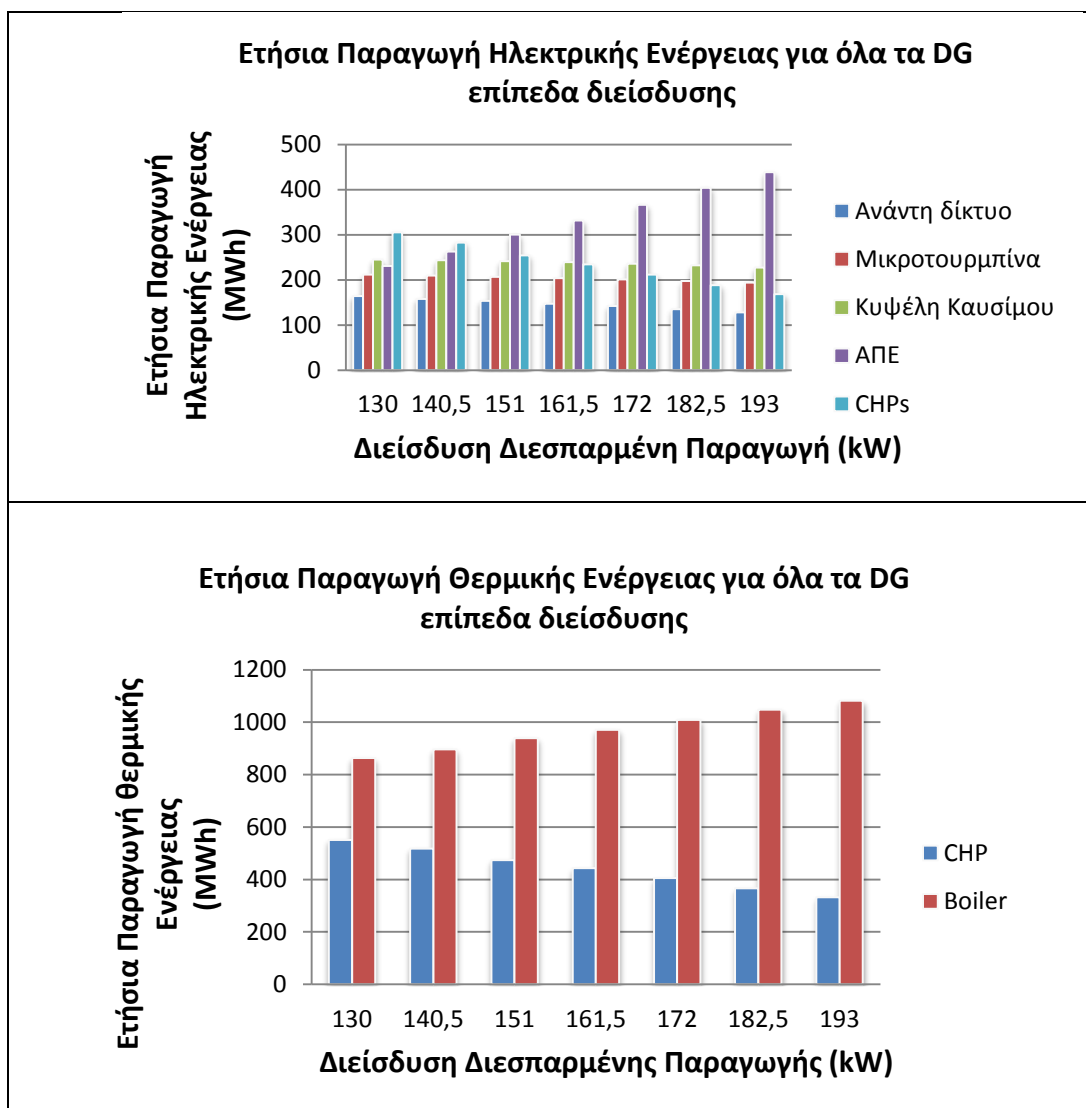
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι κανένας ζυγός δεν ξεπέρασε το όριο της τάσης προς τα πάνω. Μεγαλύτερη πτώση τάσης από 3% έχουμε στο ζυγό 8, του οποίου η τάση φτάνει ως και το 0,94 αμ στις προσομοιώσεις με μεγαλύτερες διεισδύσεις διεσπαρμένης παραγωγής. Η πτώση τάσης αυτή δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα, καθώς δεν αποκλίνει πολύ από την επιθυμητή.

#### 9.4. Μελέτη μικροδικτύου ως προς την πολιτική του καλού πολίτη κατόπιν σύνδεσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στόχος της πολιτικής του καλού πολίτη είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής υπό την προϋπόθεση ότι το μικροδίκτυο δε θα εξάγει ενέργεια στο ανάντη δίκτυο.

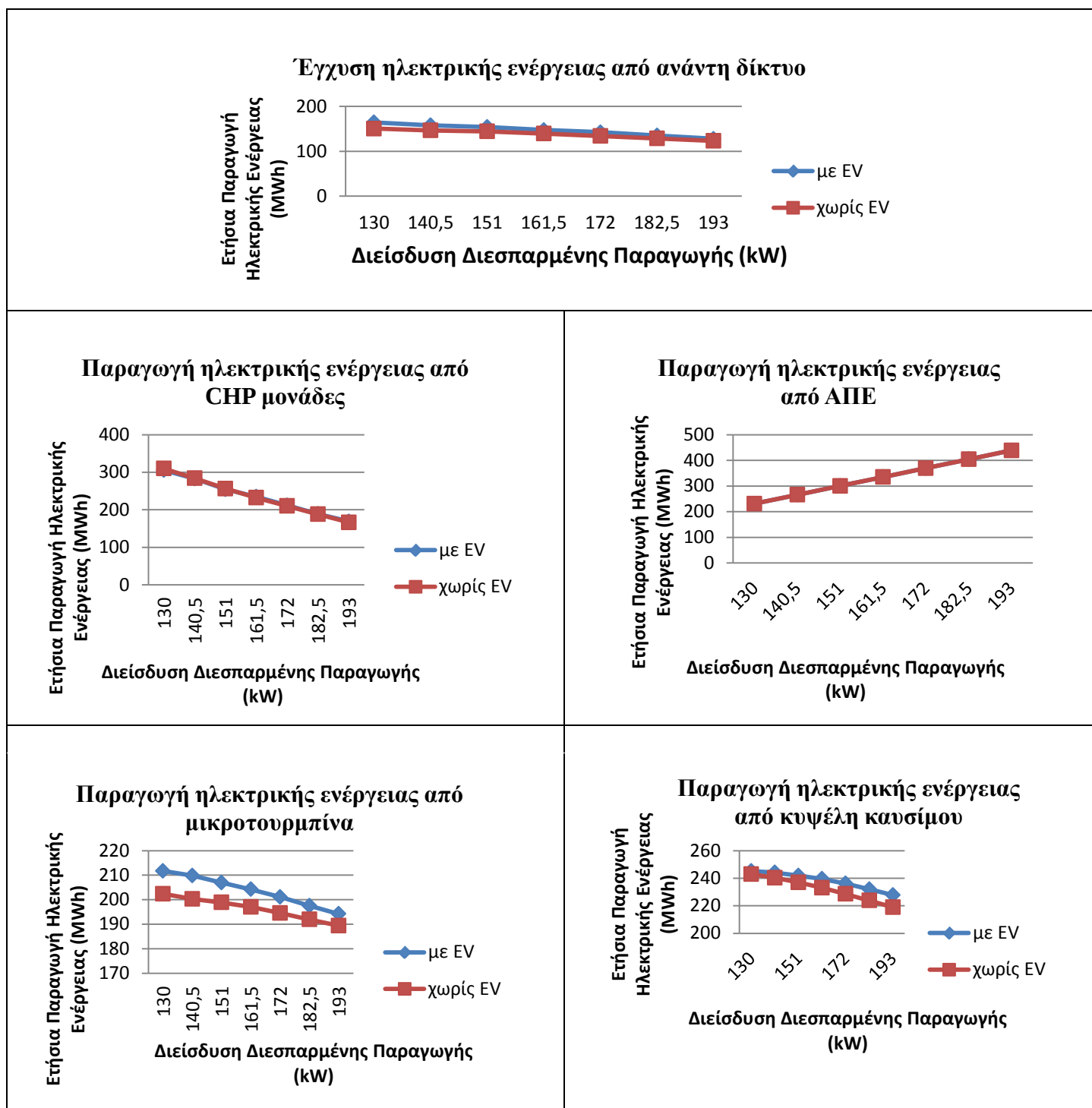
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα διάφορα μεγέθη του μικροδικτύου για την πολιτική του καλού πολίτη, όταν στο μικροδίκτυο γίνεται φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων και συγκρίνονται με τη περίπτωση που δεν υπάρχουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο δίκτυο.

##### 9.4.1. Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου



Διάγραμμα 9.23: Παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για πολιτική καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

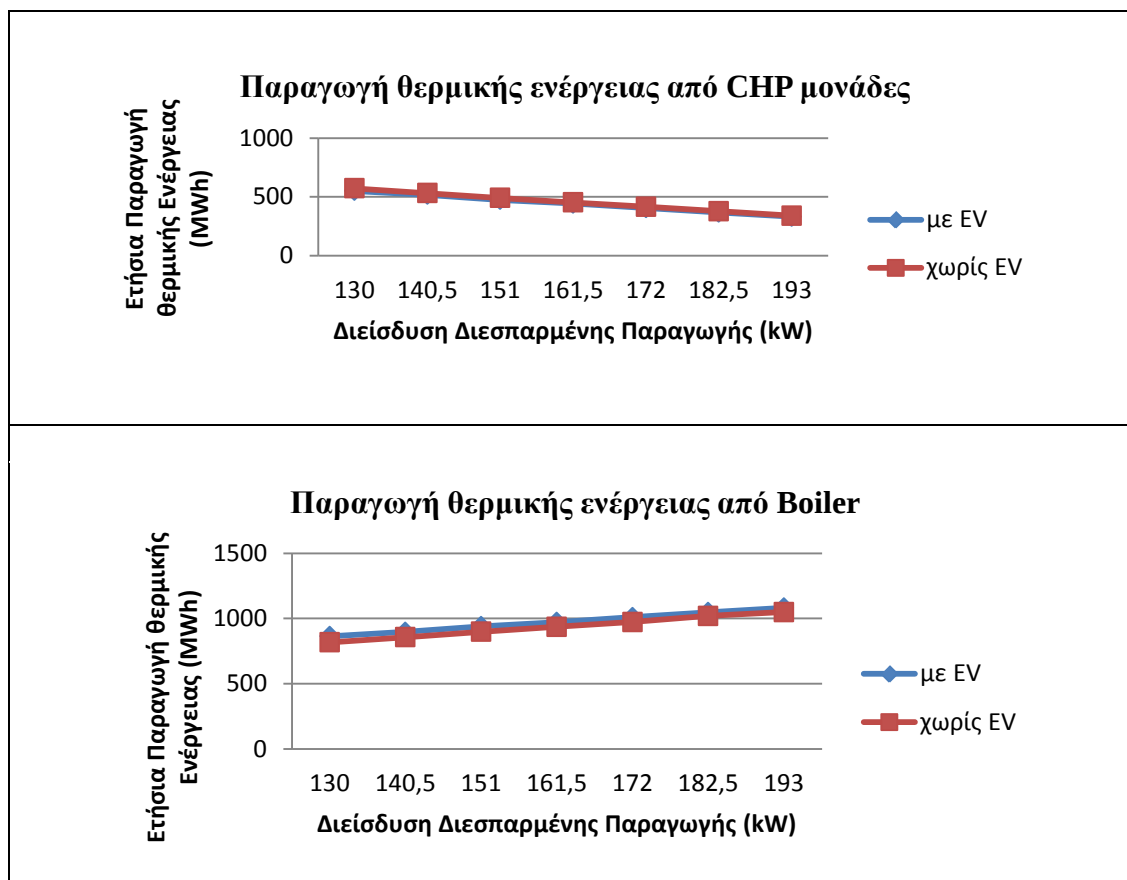




**Διάγραμμα 9.24:** Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα, στη συγκεκριμένη πολιτική λειτουργίας του μικροδικτύου η αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου, λόγω της φόρτισης των οχημάτων, δεν οδηγεί σε αύξηση της έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Αντίθετα είναι πιο συμφέρουσα η κάλυψη του επιπλέον φορτίου με αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη μικροτουρμπίνα και την κυψέλη καυσίμου. Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ παραμένει αμετάβλητη τόσο πριν όσο και μετά τη σύνδεση των

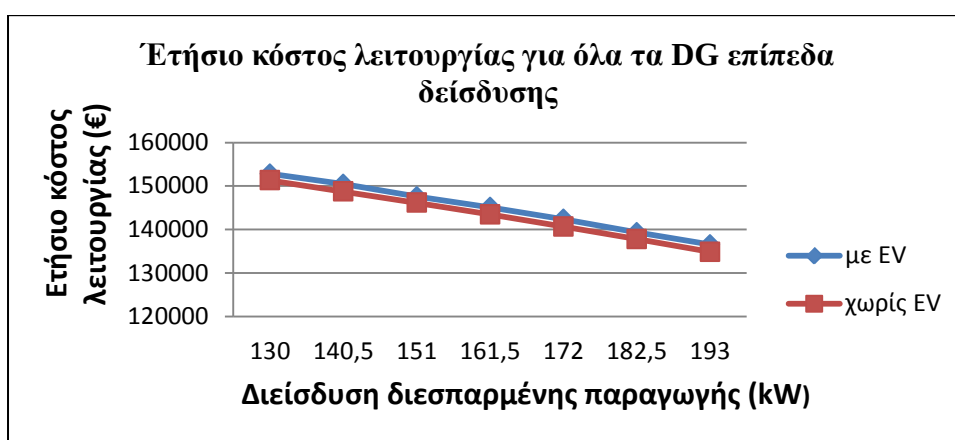
οχημάτων καθώς σε αυτή δίνεται πάντα προτεραιότητα. Αμετάβλητη μένει και η παραγωγή των CHP.



**Διάγραμμα 9.25:** Σύγκριση παραγωγής θερμικής ενέργειας για την πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η θερμική παραγωγή δεν μεταβάλλεται με τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς αυτά αυξάνουν το ηλεκτρικό και όχι το θερμικό φορτίο.

#### 9.4.2. Κόστος λειτουργίας του δικτύου



**Διάγραμμα 9.26:** Σύγκριση ετήσιου κόστους λειτουργίας για την πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

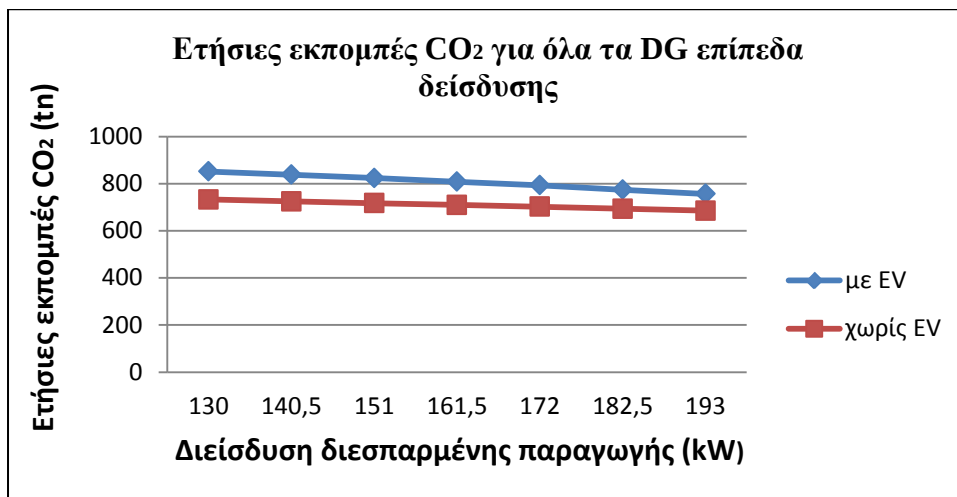
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα, με την παρουσία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνεται το κόστος λειτουργίας του δικτύου. Οι εξισώσεις που προσεγγίζουν το ετήσιο λειτουργικό κόστος για τις δύο περιπτώσεις είναι:

$$\text{με EV: } y = -2722,4x + 155794$$

$$\text{χωρίς EV: } y = -2739,5x + 154235$$

Όπου  $y$  το ετήσιο λειτουργικό κόστος και  $x$  η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής. Και στις δύο περιπτώσεις το ετήσιο λειτουργικό κόστος μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής. Για τα επίπεδα διείσδυσης που μελετήσαμε, τη μέγιστη αύξηση στο ετήσιο λειτουργικό κόστος την παρατηρούμε στα 172kW και ανέρχεται στα 5239€.

#### 9.4.3. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



**Διάγραμμα 9.27:** Σύγκριση ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

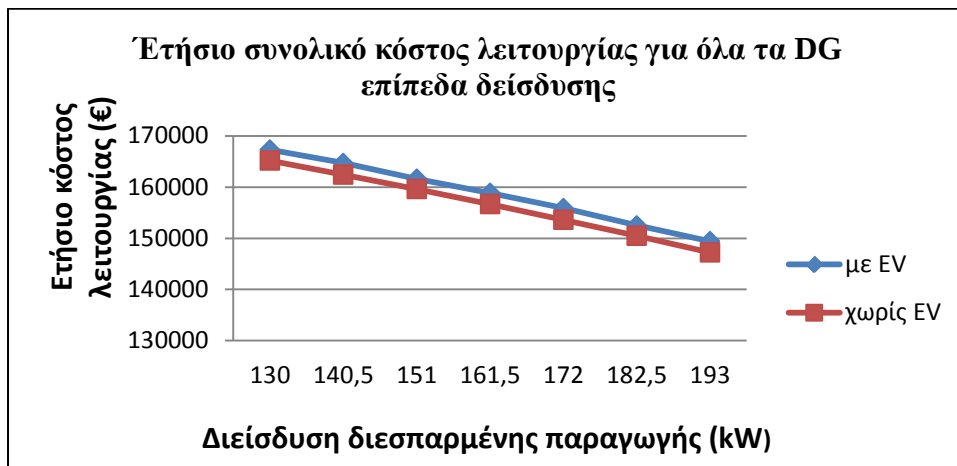
Λόγω της αυξημένης λειτουργίας των μικροτουρμπίνων και της κυψέλης καυσίμου για την κάλυψη του επιπλέον ηλεκτρικού φορτίου, παρατηρείται αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη μεταβολή των εκπομπών και στις δύο περιπτώσεις είναι:

$$\text{με EV: } y = -15,805x + 869,7$$

$$\text{χωρίς EV: } y = -7,8095x + 740,6$$

Όπου  $y$  οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε tn και  $x$  το επίπεδο διεσπαρμένης παραγωγής σε kW. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε γραμμική μείωση των τόνων του διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται σε σχέση με την διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής.

#### 9.4.4. Συνολικό κόστος λειτουργίας



**Διάγραμμα 9.28:** Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους λειτουργίας για την πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

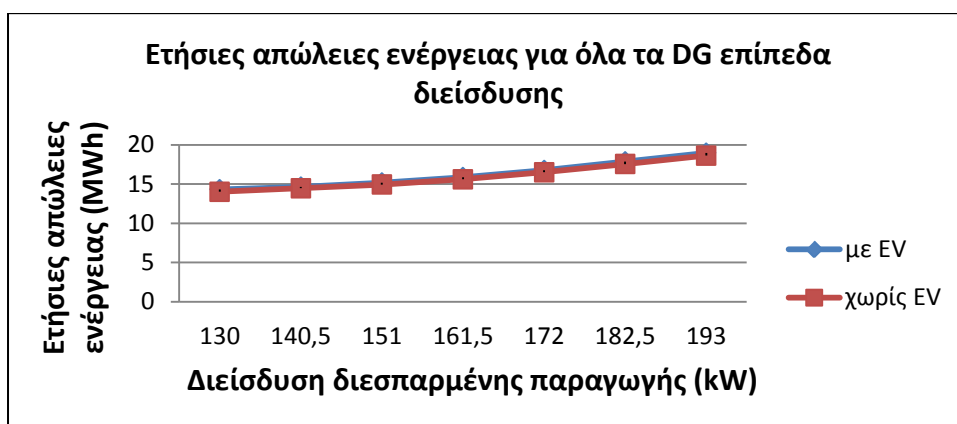
Στην περίπτωση ύπαρξης και των ηλεκτρικών οχημάτων στο μικροδίκτυο αυξάνεται το συνολικό κόστος λειτουργίας, καθώς παρατηρείται τόσο μικρή αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, όσο και του κόστους λειτουργίας. Οι εξισώσεις που περιγράφουν το συνολικό ετήσιο κόστος με ή χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων στο μικροδίκτυο είναι οι παρακάτω:

$$\text{με EV: } y = -299,1x + 170579$$

$$\text{χωρίς EV: } y = -2987,6x + 168409$$

Όπου  $y$  το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος και  $x$  η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής. Και στις δύο περιπτώσεις το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος μειώνεται γραμμικά με το επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής.

#### 9.3.5 Απώλειες ενεργού ισχύος



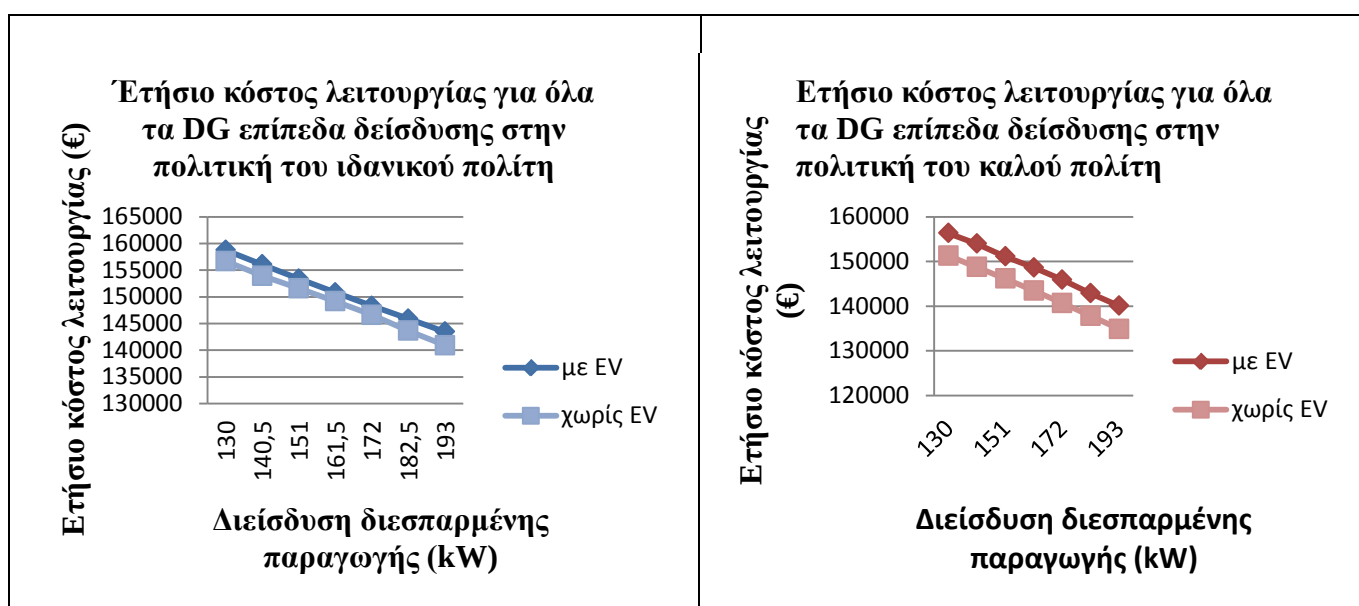
**Διάγραμμα 9.29:** Σύγκριση ετήσιων απωλειών ενέργειας για την πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου με και χωρίς την παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν προκαλούν μεταβολή των απωλειών ενέργειας στις γραμμές. Αυτό οφείλεται στο ότι αυτά βρίσκονται κοντά στη διεσπαρμένη παραγωγή.

### 9.5. Σύγκριση των δύο πολιτικών λειτουργίας του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Σε αυτή την υποενότητα θα μελετήσουμε συγκριτικά τις δύο πολιτικές του μικροδικτύου όταν σε αυτά γίνεται φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

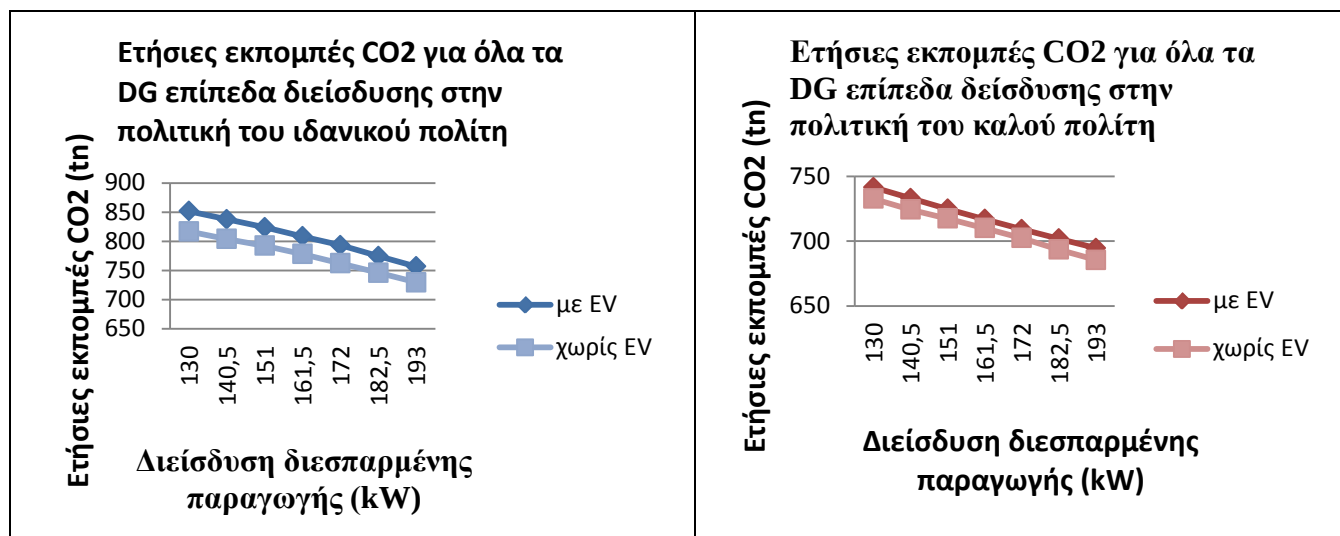
#### 9.5.1. Κόστος λειτουργίας



**Διάγραμμα 9.30:** Σύγκριση ετήσιου κόστους λειτουργίας για την πολιτική του καλού και του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα, τόσο στην πολιτική του καλού όσο και του ιδανικού πολίτη η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων προκαλεί αύξηση του κόστους λειτουργίας. Η πιο οικονομική πολιτική για το σενάριο του μικροδικτύου από πλευράς ετήσιου κόστους είναι η πολιτική του καλού πολίτη. Αυτό είναι λογικό καθώς στην πολιτική αυτή η βελτιστοποίηση γίνεται με στόχο την ελαχιστοποίηση του. Παρατηρούμε μάλιστα ότι στην πολιτική του καλού πολίτη η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι πιο συμφέρουσα σε σχέση με τη φόρτιση τους στην πολιτική του ιδανικού πολίτη. Στην πρώτη περίπτωση το κόστος αυξάνεται λιγότερο μετά τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η μέγιστη αύξηση του κόστους λόγω των ηλεκτρικών οχημάτων στην περίπτωση του ιδανικού πολίτη είναι 2541€, ενώ στην περίπτωση του καλού πολίτη είναι 1713€.

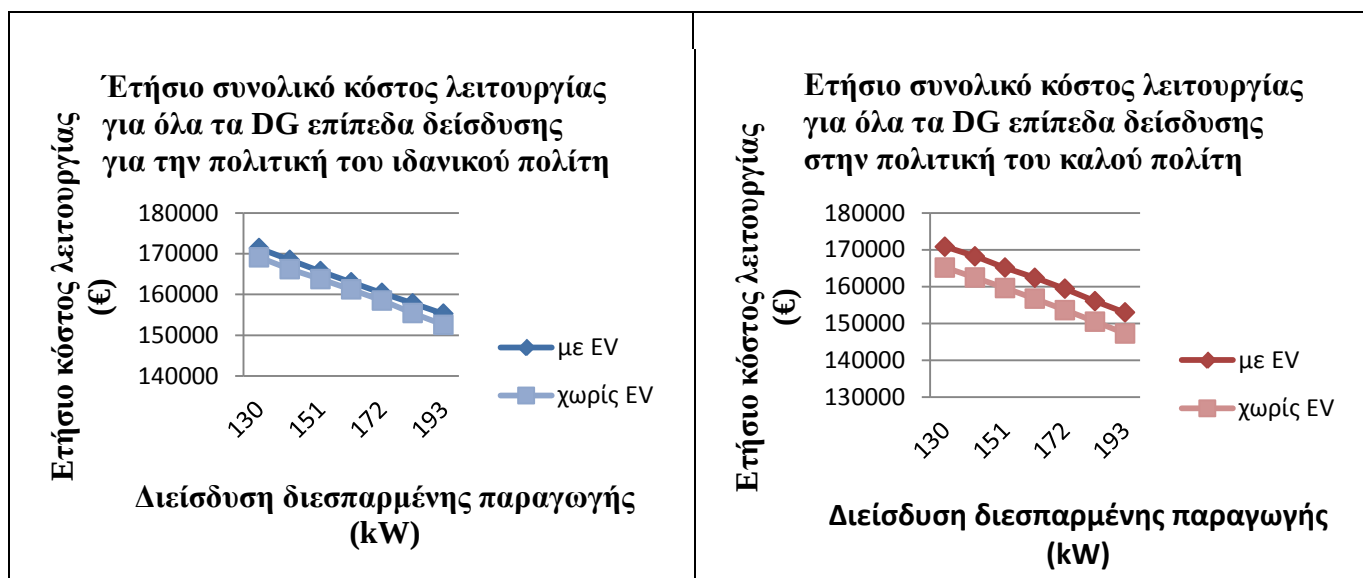
### 9.5.2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



**Διάγραμμα 9.31:** Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την πολιτική του καλού και του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Εξετάζοντας τις δύο πολιτικές από πλευράς εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τις περισσότερες εκπομπές τις έχουμε στην πολιτική του καλού πολίτη. Η διαφορά των δύο πολιτικών σε ό,τι αφορά το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ των 110tn και 62tn για διεισδύσεις διεσπαρμένης παραγωγής 130kW και 193kW αντίστοιχα.

### 9.5.3. Συνολικό κόστος λειτουργίας



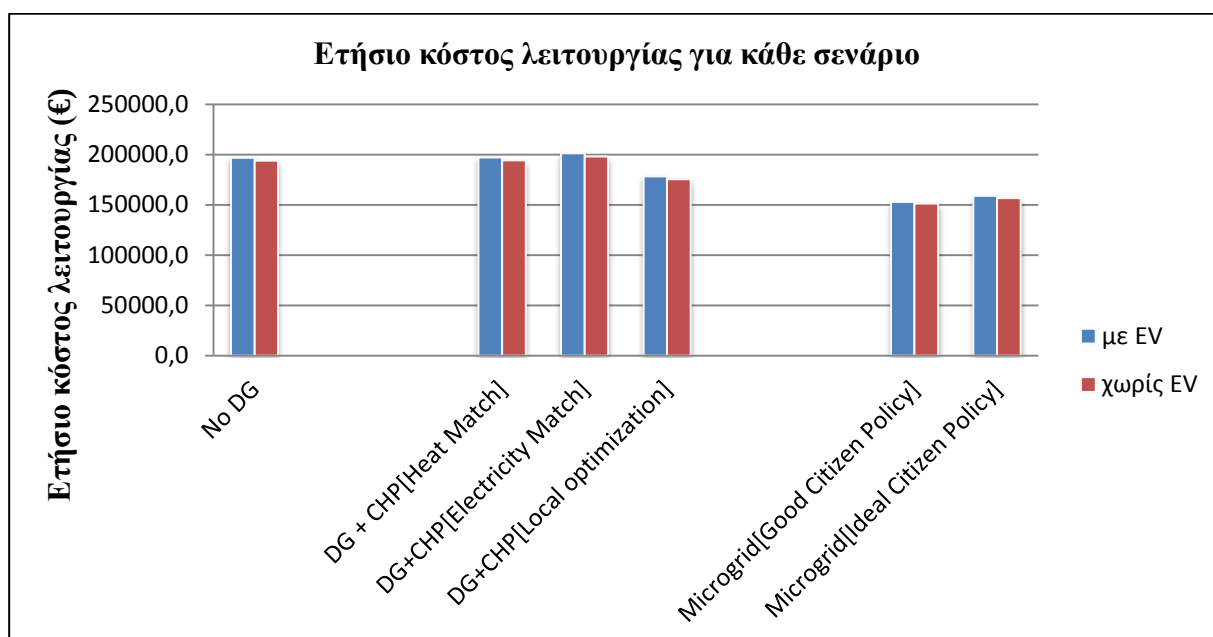
**Διάγραμμα 9.32:** Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την πολιτική του καλού και του ιδανικού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Για να βρεθεί η πιο αποδοτική οικονομικά πολιτική στο σενάριο του μικροδικτύου είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη μας και το τέλος για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό συνυπολογίζεται στο συνολικό κόστος λειτουργίας. Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε, ότι η οικονομικά πιο συμφέρουσα πολιτική είναι αυτή του καλού πολίτη. Αν μάλιστα λάβουμε υπόψη μας ότι το συνολικό λειτουργικό κόστος μειώνεται με την αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ, το μικρότερο συνολικό κόστος λειτουργίας του μικροδικτύου είναι 147246 €. Βλέπουμε ακόμη ότι στην περίπτωση του καλού πολίτη παρατηρείται μικρότερη αύξηση του συνολικού λειτουργικού κόστους λόγω της σύνδεσης των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με την πολιτική του ιδανικού πολίτη.

#### 9.6. Σύγκριση των σεναρίων λειτουργίας του δικτύου ως προς ένα επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής (130kW) παρουσία ή μη ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια συγκριτική μελέτη όλων των σεναρίων λειτουργίας του μικροδικτύου πριν και μετά τη σύνδεση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής των 130 kW. Εξετάζονται ξεχωριστά τα διάφορα μεγέθη του μικροδικτύου.

##### 9.6.1. Κόστος λειτουργίας

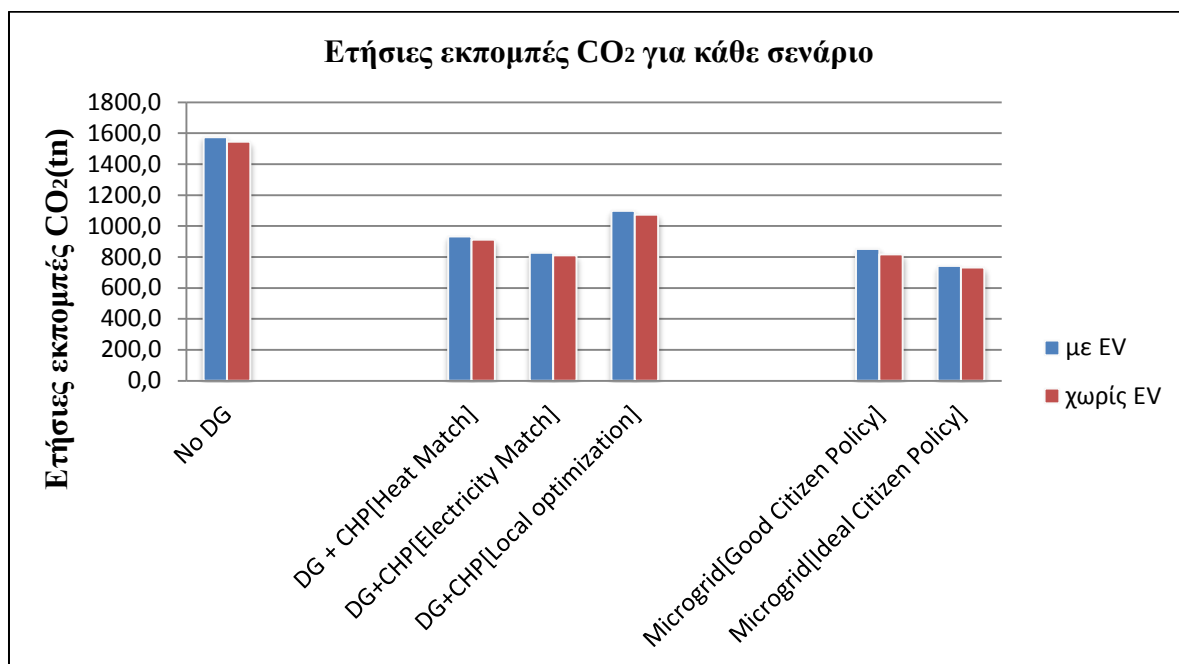


**Διάγραμμα 9.33:** Ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου για όλα τα σενάρια λειτουργίας και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 130 kW παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, στην περίπτωση που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το δίκτυο το ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανέρχεται στα 198185 €. Αυξάνεται δηλαδή κατά 4008 € (ποσοστό 1,54%) σε σχέση με τη λειτουργία του δικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Για το DG + CHP σενάριο παρατηρούμε ότι το κόστος διαφέρει ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας

των Hubs. Τόσο στην περίπτωση παρουσίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων όσο και όταν αυτά απουσιάζουν από το δίκτυο, οι περιπτώσεις των λειτουργιών Heat Match και Electricity Match είναι οι πιο αντιοικονομικές. Το κόστος λειτουργίας του δικτύου σε αυτές τις περιπτώσεις είναι μεγαλύτερο από τα υπόλοιπα σενάρια και ανέρχεται στα 197185 € και 201091 € αντίστοιχα, που αντιστοιχεί σε ποσοστό αύξησης 1,55% και 1,61% σε σχέση με την περίπτωση απουσίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αντίθετα, κατά τη λειτουργία Local optimization, στην οποία δε γίνεται απόρριψη ενέργειας, το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλότερο και από τις υπόλοιπες λειτουργίες του σεναρίου DG + CHP και από το σενάριο No DG. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση αυτή η αύξηση του κόστους λόγω της παρουσίας ηλεκτρικών οχημάτων ανέρχεται στα 2813 € και φτάνει στα 178126 €. Στο σενάριο του μικροδικτύου στην πολιτική του ιδανικού πολίτη το κόστος λειτουργίας του δικτύου παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανέρχεται στα 158747 €, από το κόστος αυτό 2076 € οφείλονται στη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τέλος, η πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου, σημειώνει την μικρότερη αύξηση κόστους για τη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (1,02%) συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια και είναι η πιο οικονομική πολιτική λειτουργίας του δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος λειτουργίας ανέρχεται στα 152827 €.

#### 9.6.2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



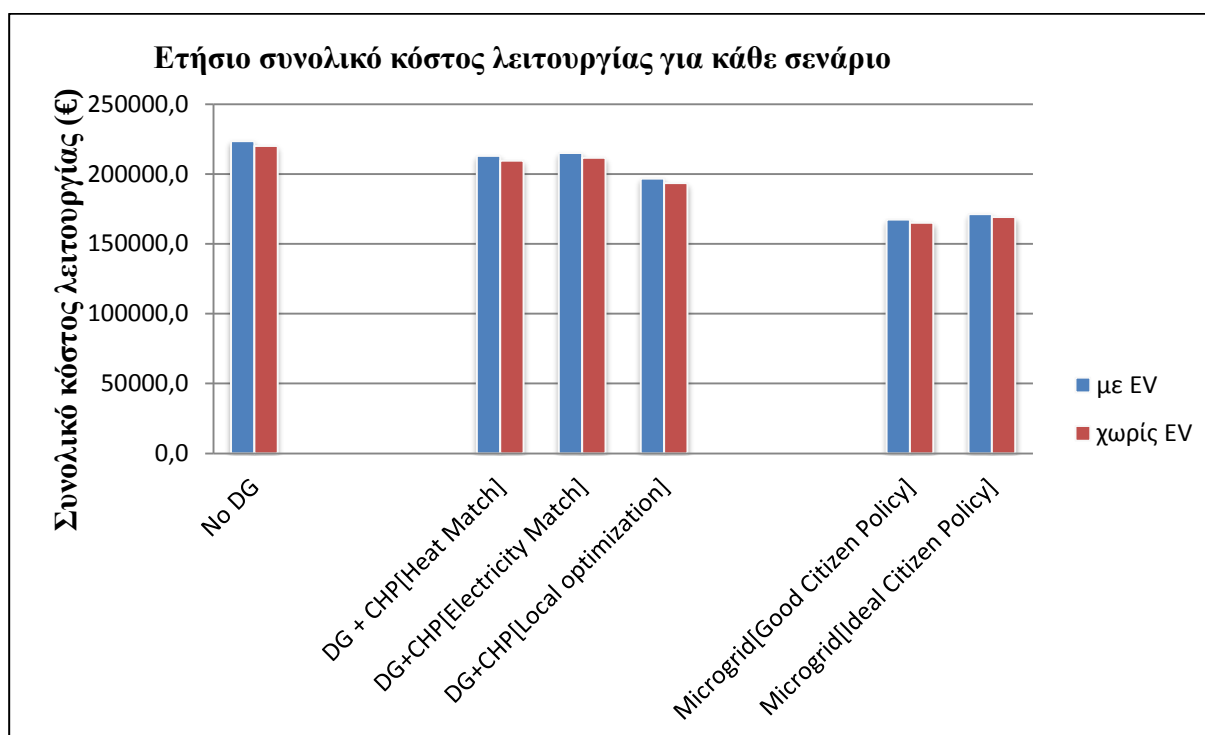
**Διάγραμμα 9.34:** Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για όλα τα σενάρια λειτουργίας και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 130 kW παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκαλεί σε όλα τα σενάρια λειτουργίας μια μικρή αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, στο No DG σενάριο η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται κατά 29tn και ανέρχεται συνολικά στους 1574tn. Αυτή η αύξηση των εκπομπών οφείλεται στην αυξημένη λειτουργία των λιγνιτικών μονάδων του δικτύου για την κάλυψη του επιπλέον φορτίου. Στα σενάρια DG + CHP και Microgrid,



παρατηρείται χαμηλότερη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα λόγω της ένταξης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο αναλυτικά, παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων για λειτουργία Heat Match στο σενάριο DG + CHP εκπέμπονται 933tn CO<sub>2</sub>, για Electricity Match λειτουργία στο ίδιο σενάριο οι εκπομπές είναι 826tn και τέλος στην περίπτωση της Local optimization εκλύονται 1098tn CO<sub>2</sub>. Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, λόγω φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αυξάνονται οι εκπομπές κατά 22tn, 15tn και 24tn αντίστοιχα. Στην περίπτωση του μικροδικτύου, για Good Citizen Policy εκπέμπονται 852tn CO<sub>2</sub>, ενώ για Ideal Citizen Policy 742 tn. Στην περίπτωση του ιδανικού πολίτη έχουμε τις μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και η αύξηση τους που οφείλεται ανέρχεται στους 9tn.

### 9.6.3. Συνολικό κόστος λειτουργίας

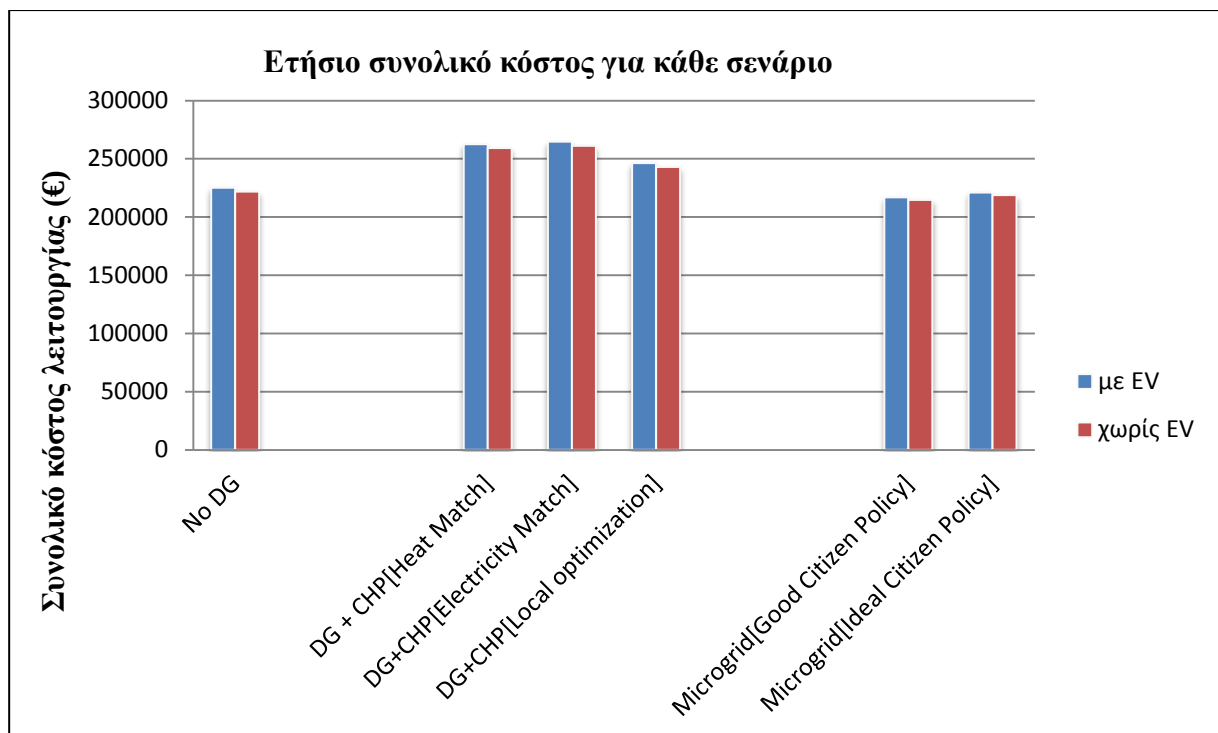


**Διάγραμμα 9.35:** Σύγκριση ετήσιου κόστους λειτουργίας του δικτύου για όλα τα σενάρια λειτουργίας και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 130 kW παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων και μη

Στο παραπάνω διάγραμμα γίνεται σύγκριση του συνολικού ετήσιου κόστους λειτουργίας του δικτύου στην περίπτωση που σε αυτό συνδέονται ηλεκτρικά αυτοκίνητα και απουσίας αυτών. Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε, η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων δεν προκαλεί μεγάλη αύξηση του κόστους συγκριτικά με το μέγεθος του συνολικού κόστους λειτουργίας. Το μικρότερο ποσοστό αύξησης παρατηρείται στην πολιτική του καλού πολίτη στο σενάριο του μικροδικτύου και ανέρχεται στο 1,02%, ενώ έχουμε τη μεγαλύτερη διαφορά στο No DG σενάριο που το συνολικό κόστος αυξάνεται κατά 1,58%. Η πολιτική του καλού πολίτη είναι η πιο συμφέρουσα οικονομικά και μετά τη σύνδεση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το συνολικό κόστος λειτουργίας του μικροδικτύου στην περίπτωση αυτή ανέρχεται στα 167303€, ενώ στην πολιτική του ιδανικού πολίτη το συνολικό κόστος είναι

171352€. Το μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας του μικροδικτύου παρατηρείται στο σενάριο που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το δίκτυο (No DG σενάριο) και ανέρχεται στα 223604€ παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων και στα 220127€ χωρίς αυτά. Στην ανεξάρτητη λειτουργία, η πιο συμφέρουσα πολιτική είναι αυτή της Local optimization που έχει συνολικό κόστος λειτουργίας 196790€ (αύξηση 3220 € σε σχέση με λειτουργία του δικτύου χωρίς ηλεκτρικά αυτοκίνητα). Η Heat Match και Electricity Match λειτουργίες είναι πιο αντιοικονομικές, καθώς απορρίπτουν ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια, με συνολικό κόστος παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων 213045€ και 215135€ αντίστοιχα.

#### 9.6.4. Συνολικό κόστος



**Διάγραμμα 9.36:** Σύγκριση ετήσιου κόστους του δικτύου για όλα τα σενάρια λειτουργίας και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 130 kW παρουσία ηλεκτρικών αυτοκινήτων και μη

Για την ολοκληρωμένη σύγκριση των σεναρίων, είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη μας το κεφαλαιουχικό κόστος των διαφόρων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και των CHPs και των Boilers. Το ετήσιο κεφαλαιουχικό κόστος ανέρχεται στα 49505€ και η διαδικασία υπολογισμού του περιγράφεται στην ενότητα 8.1.1. Παρατηρούμε ότι η ανεξάρτητη παραγωγή δεν είναι καθόλου συμφέρουσα οικονομικά. Συγκρίνοντας το σενάριο του μικροδικτύου και το σενάριο απουσίας διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής, παρατηρούμε ότι το συνολικό ετήσιο κόστος του μικροδικτύου είναι μόλις 7018 € πιο συμφέρον οικονομικά σε σχέση με το No DG σενάριο.

## 9.7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η επίδραση της παρουσίας ηλεκτρικών οχημάτων για τις διάφορες τάσεις των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, δίνοντας έμφαση στο σενάριο του μικροδικτύου.

Κρίνοντας σύμφωνα με οικονομικά κριτήρια, παρατηρούμε ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν προκαλούν σημαντική αύξηση του συνολικού κόστους λειτουργίας σε κανένα σενάριο λειτουργίας ενός δικτύου ηλεκτρισμού χαμηλής τάσης. Η πιο συμφέρουσα πολιτική τόσο από πλευράς συνολικού κόστους λειτουργίας, όσο και κόστους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η πολιτική του καλού πολίτη. Δε θα πρέπει βέβαια να αγνοηθεί ότι αν και το σενάριο του μικροδικτύου είναι συμφέρον οικονομικά από πλευρά λειτουργικού κόστους, το ετήσιο κεφαλαιουχικό κόστος του είναι υψηλό. Γι' αυτό το λόγο είναι το σενάριο λειτουργίας απουσία διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής και το σενάριο του μικροδικτύου συγκρίσιμα. Τέλος, παρατηρούμε ότι η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων προκαλεί πολύ μικρή μείωση των κερδών του διαχειριστή στην περίπτωση της πολιτικής του Ιδανικού Πολίτη.

Από περιβαλλοντική σκοπιά τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει τεθεί ο στόχος τα συμβατικά οχήματα να εκπέμπουν μέχρι 120gr CO<sub>2</sub> /km. Επίσης θεωρούμε ότι η μέση απόσταση που διανύει ένα αυτοκίνητο είναι περίπου 15000 km/έτος. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται από 12 συμβατικά αυτοκίνητα είναι 21,6tn το έτος. Αντίθετα, για τα 12 ηλεκτρικά αυτοκίνητα, με τις συνθήκες φόρτισης που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική, στην πολιτική του ιδανικού πολίτη με διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 193kW οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι μόλις 9tn.

Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα όχι μόνο συμφέρουν οικονομικά, αλλά προσφέρουν και πολλά περιβαλλοντικά οφέλη.