



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

**Ποσοτικοποίηση των λειτουργικών οικονομικών και
περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων των
Μικροδικτύων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΙΑΝΘΗ ΕΒΕΡΤ

Επιβλέποντες: Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ανέστης Αναστασιάδης
Διδάκτωρ Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2015



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

**Ποσοτικοποίηση των λειτουργικών οικονομικών και
περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων των
Μικροδικτύων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΙΑΝΘΗ ΕΒΕΡΤ

Επιβλέποντες: Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13^η Ιουλίου 2015.

.....
.....

.....

Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Παπαθανασίου
Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Π.Γεωργιάκης
Επίκουρος ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2015

.....
Σταυριάνθη Έβερετ

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

Copyright © Σταυριάνθη Έβερετ, 2015.

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 2014-2015 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η ποσοτικοποίηση των λειτουργικών οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων λειτουργία των Μικροδικτύων καθώς και κατά την ανεξάρτητη λειτουργία του δικτύου με χρήση αλγορίθμων μέσω του προγράμματος MATLAB, όπως επίσης και η μελέτη της βιωσιμότητας τους.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Διδάκτορα κ. Α. Αναστασιάδη για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας καθώς και για την απρόσκοπτη πρόσβαση στο ερευνητικό του έργο (π.χ. υπολογιστικά προγράμματα, επιστημονικά κείμενα κ.τ.λ.). Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους γονείς μου για τη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2015

Σταυριάνθη Έβερετ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός δικτύου χαμηλής τάσης 17 ζυγών. Πιο συγκεκριμένα, αυτό το δίκτυο περιλαμβάνει μια πληθώρα μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, όπως μια μικροτουρμπίνα, μια κυψέλη καυσίμου, μια ανεμογεννήτρια, δύο σειρές φωτοβολταϊκών και δύο ενεργειακούς διανομείς με μια μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας και ένα boiler ο καθένας.

Αρχικά το δίκτυο μελετήθηκε ως προς πέντε διαφορετικά σενάρια κατά την ανεξάρτητη λειτουργία του. Έπειτα μελετήθηκαν έξι διαφορετικά σενάρια λειτουργίας μικροδικτύου. Όπου σε κάθε προσομοίωση παρατηρούσαμε κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως το συνολικό κόστος λειτουργίας, το λειτουργικό κόστος, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, τις απώλειες και τις παραγωγές των μονάδων παραγωγής. Έγιναν πολλές προσομοιώσεις με δύο διαφορετικές οριακές τιμές συστήματος, μια υψηλή (2008) και μια πιο χαμηλή (2014). Επίσης στις προσομοιώσεις άλλαζε το κόστος φυσικού αερίου καθώς και το κόστος εκπομπών του CO₂. Όλες αυτές οι αρχικές προσομοιώσεις έγιναν με την ευρέως διαδεδομένη μέθοδο Lagrange, μέσω της συνάρτησης `fmincon` της Matlab.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με αναλυτικά και συγκριτικά γραφήματα στο Κεφάλαιο 6 και αναδεικνύονται οι πιο συμφέρουσα σενάρια για υλοποίηση. Να αναφέρουμε ότι στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε λογισμικό περιβάλλον MATLAB.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Μικροδίκτυο, διεσπαρμένη παραγωγή, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικροτουρμπίνα, κυψέλη καυσίμου, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, διείσδυση, οριακή τιμή συστήματος, αναζήτησης, συνολικό κόστος λειτουργίας.

ABSTRACT

The main purpose of this diploma thesis is to study a microgrid under the influence of various operation scenarios and how these scenarios affect its important features, when the penetration of Renewable Energy Sources is increased.

More specifically, the study refers to 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). Three different operation scenarios were studied (absence of DG units, independent operation of the DG units with the presence of the CHPs and Microgrid), in order to point out the advantages of microgrid. The simulations were conducted using Matlab and the optimization needed by each operation scenario is done by Lagrange Method, via the '*fmincon*' function of Matlab.

The results are presented in the sixth (6th) chapter via analytical and comparative diagrams, and the most profitable scenario, depending on the criterion used, is highlighted. Also, it should be mentioned that software with graphical user interface (GUI) in MATLAB was developed, in order to be provide a friendlier environment for the users.

KEYWORDS

Microgrid, DG, MATLAB, independent operation, microgrid, Renewable Energy Sources, Lagrange Method, Renewable Energy Sources, profitable scenario.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Εισαγωγή στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)	15
1.1.1	Γενικά	15
1.1.2	Δομή	17
1.1.3	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	18
1.1.4	Μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	20
1.1.5	Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	21
1.2	Η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	22
1.2.1	Γενικά	22
1.2.2	Παράγοντες της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	23
1.2.3	Απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας	30
1.2.4	Βασικές αρχές της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας	31
1.2.5	Διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς – Transmission System Operator (TSO)	32
1.2.6	Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (HEΠ)	33
1.2.7	Οριακή τιμή του συστήματος – System Marginal Price (SMP)	35
1.3	Περιβαλλοντική πολιτική	36
1.3.1	Κλιματική αλλαγή	36
1.3.2	Φαινόμενο του θερμοκηπίου	37
1.3.3	Πρωτόκολλο του Κιότο	39
1.3.4	Συμφωνία της Κοπεγχάγης	41
1.3.5	Μηχανισμοί προώθησης έργων καθαρής ενέργειας	41
1.3.6	Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	42
1.4	Βιβλιογραφία	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 45

2.1	Εισαγωγή-Ορισμός	45
2.2	Χρήσεις διεσπαρμένης παραγωγής	46
2.3	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα διεσπαρμένης παραγωγής	47

2.3.1	Πλεονεκτήματα	47
2.3.2	Μειονεκτήματα	49
2.4	Τεχνολογίες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής	51
2.4.1	Μονάδες συμβατικής τεχνολογίας	53
2.4.1.1	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	55
2.4.1.2	Αεροστρόβιλοι	55
2.4.2	Νέας τεχνολογίας	56
2.4.2.1	Μικροτουρμπίνες	56
2.4.2.2	Κυψέλες καυσίμου	59
2.4.3	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	59
2.4.3.1	Αιολική Ενέργεια και ανεμογεννήτριες	61
2.4.3.2	Ηλιακή Ενέργεια και φωτοβολταϊκό φαινόμενο	68
2.4.3.3	Μικρά Υδροηλεκτρικά	75
2.4.4	Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας	77
2.4.4.1	Οφέλη και Τρόποι Λειτουργίας των Μονάδων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	80
2.4.5	Ενεργειακοί Διανομείς	81
2.5	Σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο	84
2.6	Διεσπαρμένη παραγωγή και περιβαλλοντικές επιπτώσεις	85
2.7	Οικονομικά ζητήματα σύνδεσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής	87
2.7.1	Τρέχουσες τιμολογήσεις δικτύων και Χρεώσεις συστήματος διανομής	87
2.8	Βιβλιογραφία	91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ 94

3.1	Μικροδίκτυα	94
3.1.1	Εισαγωγή	94
3.1.2	Πλεονεκτήματα μικροδικτύων	96
3.1.3	Μειονεκτήματα μικροδικτύων	98
3.1.4	Ποιότητα Ισχύος και Αξιοπιστία μικροδικτύου	100
3.1.5	Δομή μικροδικτύου	103
3.1.6	Αρχιτεκτονική ελέγχου	108

3.1.6.1	Πλήρως αποκεντρωμένος έλεγχος	110
3.1.6.2	Κεντρικός έλεγχος – Αρμοδιότητες MGCC	112
3.1.6.3	Εφαρμογές αποκεντρωμένου και Κεντρικού ελέγχου λειτουργίας μικροδικτύου	116
3.1.7	Πολιτικές συμμετοχής του μικροδικτύου σε ιδεατή αγορά ενέργειας	118
3.1.7.1	Πολιτική 1 – Πολιτική του «καλού πολίτη»	119
3.1.7.2	Πολιτική 2 – Πολιτική του «ιδανικού πολίτη»	121
3.1.8	Λειτουργία αγοράς μικροδικτύου συμπεριλαμβάνοντας Προσφορές Καταναλωτών – Demand Side Bidding (DSB)	122
3.1.9	Λειτουργία με στόχο την περιβαλλοντική βελτιστοποίηση και συμμετοχή στο εμπόριο ρύπων	124
3.1.10	Χρήση συναρτήσεων οικονομικής λειτουργίας για το μικροδίκτυο	126
3.1.10.1	Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)	126
3.1.10.2	Οικονομική Κατανομή (Economic Dispatch)	129
3.1.11	Βιβλιογραφία	131
3.2	Έξυπνα δίκτυα	132
3.2.1	Εισαγωγή-Ορισμός-Χαρακτηριστικά	132
3.2.2	Περιγραφή και δημιουργία Έξυπνου Δικτύου	134
3.2.3	Έξυπνα δίκτυα και ΑΠΕ	136
3.2.4	Βιβλιογραφία	138
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ		139
4.1	Εισαγωγή	139
4.2	Η μελέτη των ροών φορτίων	139
4.2.1	Μεταβλητές συστήματος	140
4.2.2	Εξισώσεις ροών φορτίου	141
4.2.3	Εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου	145
4.2.4	Υπολογισμός ροών ισχύος και απωλειών ισχύος	145
4.3	Βιβλιογραφία	147

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	148
5.1 Δεδομένα του συστήματος	148
5.1.1 Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής	150
5.1.2 Ενεργειακοί διανομείς	152
5.1.3 Φορτία ζήτησης	155
5.1.4 Ανάντη δίκτυο	157
5.2 Σενάρια λειτουργίας	157
5.3 Μεθοδολογία	162
5.5 Βιβλιογραφία	169
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	171
6.1 Εισαγωγή	171
6.2 Γραφήματα για την ανεξάρτητη λειτουργία	171
6.2.1 Σενάριο 1 ^ο (No – DG)	174
6.2.2 Σενάριο 2 ^ο (FC-MT-BOILER)	176
6.2.3 Σενάριο 3 ^ο (FC-MT-ΑΠΕ-BOILER)	179
6.2.4 Σενάριο 4 ^ο (FC-MT-CHP-BOILER)	189
6.2.5 Σενάριο 5 ^ο (FC-MT-ΑΠΕ-CHP-BOILER)	199
6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για την ανεξάρτητη λειτουργία	202
6.4 Γραφήματα για την λειτουργία μικροδικτύου	202
6.4.1 Σενάριο 1: FC,MT,Boiler	204
6.4.2 Σενάριο 2: FC,MT,ΑΠΕ,Boiler	206
6.4.3 Σενάριο 3: FC,MT,CHP	210
6.4.4 Σενάριο 4: FC,MT,ΑΠΕ,CHP	214
6.4.5 Σενάριο 5:FC,MT,Boiler,CHP	218
6.4.6 Σενάριο 6: FC,MT,ΑΠΕ,Boiler,CHP	222
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ	222
7.1 Οικονομική αξιολόγηση	222
7.1.1 Δημιουργίας μικροδικτύου και ανεξάρτητου δικτύου κατευθείαν από το ανάντη δίκτυο	226
7.1.2 Δημιουργίας μικροδικτύου από I-dg δίκτυο	226
7.2 Καθαρή Παρούσα Αξία και Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης	227

7.2.1	Δημιουργίας μικροδικτύου και ανεξάρτητου δικτύου κατευθείαν από το ανάντη δίκτυο	228
7.2.2	Δημιουργίας μικροδικτύου από το δίκτυο ανεξάρτητης λειτουργίας	231
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		234
8.1	Συμπεράσματα	234

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα πρώτα 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 χρησιμοποίησαν 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 ταχύτητα 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 της 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 είχα 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.

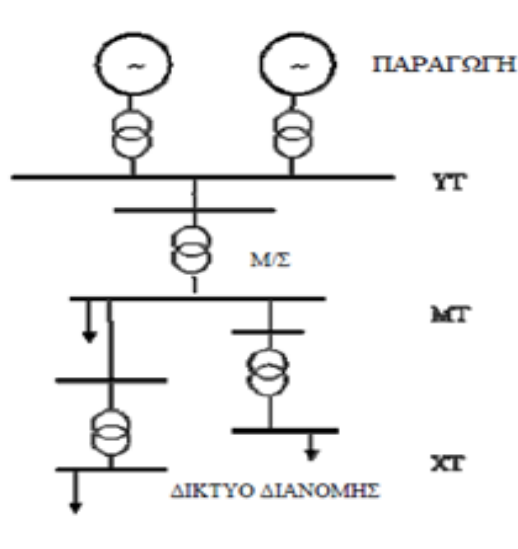
Για αποστάσεις μεγαλύτερες από 500 km για εναέρια δίκτυα και 50 km για υπόγεια και υποβρύχια καλώδια η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με συνεχές ρεύμα από υψηλή τάση γίνεται ελκυστική. Η πρώτη γραμμή συνεχούς ρεύματος λειτούργησε στη Σουηδία το 1954 με τη διασύνδεση της νήσου Gotland με το υπόλοιπο σύστημα. Η εξέλιξη των μετατροπέων 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 καταναμημένη παραγωγή. Αυτό επιβεβαιώνεται από την IEA (International Energy Agency, 2003) που παραθέτει τους πέντε βασικούς λόγους που συνετέλεσαν σ' αυτό:

- Ανάπτυξη των τεχνολογιών καταναμημένης 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.

Η δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πήρε τελικά τη μορφή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1 Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1.2 ΔΟΜΗ

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο προορισμός ενός τέτοιου συστήματος είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή τάση, σταθερή συχνότητα και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δε μπορεί να αποθηκευτεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής ενώ η μεταφορά της σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής στις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής (έως 220 KV) και υπερύψηλης (έως 500 kV) τάσεως, οι οποίες μεταφέρουν την 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 380/220 V.

Αν και το μέγεθος των Σ.Η.Ε. διαφέρουν, υπάρχουν μεταξύ τους χαρακτηριστικά που είναι κοινά για τα περισσότερα από αυτά. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60 Hz, χρησιμοποιούνται όμως σε ειδικές περιπτώσεις και συστήματα συνεχούς ρεύματος για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας παραμένει σταθερή. Οι γραμμές μεταφοράς μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων. Τα τριφασικά συστήματα ρευμάτων είναι συμμετρικά, με ίσα τα μεγέθη των τριών φάσεων και γωνιακές τους αποκλίσεις 120° μεταξύ τους. Η ροή είναι συνεχής και κάνει την λειτουργία τους πολύ

πιο ομαλή και αποδοτική. Πρέπει να εξασφαλίζονται και να ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας :

- Πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση.
- Η ζήτηση πραγματικής και άεργου ισχύος μεταβάλλεται με τον χρόνο, και το σύστημα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί αυτή τη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση.
- Η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας. Τρεις βασικοί παράγοντες συνιστούν την ποιότητα αυτή:
 1. Σταθερή συχνότητα
 2. Σταθερή τάση
 3. Υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως.
- Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.

Δεδομένου ότι η εξυπηρέτηση των καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τις διακεκριμένες φάσεις της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής, σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατόν να διακριθούν τα ακόλουθα συστήματα:

- Σύστημα Παραγωγής
- Σύστημα Διασυνδέσεως και Μεταφοράς
- Σύστημα Υπομεταφοράς
- Σύστημα Διανομής

1.1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα ,ανάλογά με τους διαθέσιμους εγχώριους Ενεργειακούς Πόρους, την Ενεργειακή Πολιτική της χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Οι πηγές παραγωγής ενέργειας διακρίνονται στις συμβατικές που βασίζονται σε ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας (λιθάνθρακας και λιγνίτης), το φυσικό αέριο ,στην πυρηνική ενέργεια και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που χρησιμοποιούν ανεξάρτητες πηγές(άνεμος, ήλιος, νερό κλπ) και δεν καταναλώνουν τα περιορισμένα ενεργειακά ορυκτά αποθέματα.

Πιο αναλυτικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση ορυκτών καυσίμων, τη γεωθερμία και τη βιομάζα πραγματοποιείται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με τη χρησιμοποίηση ατμοηλεκτρικών και νηξελοηλεκτρικών σταθμών (εμβολοφόρες νηξελογεννήτριες και αεριοστρόβιλοι).

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τον ατμό ως μέσον για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω αμοστροβίλων, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών.

Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι και αυτοί ατμοηλεκτρικοί σταθμοί που όμως ο λέβητας έχει αντικατασταθεί από τον πυρηνικό αντιδραστήρα. Αντίθετα, οι ντηζελοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας.

Επίσης θερμική παραγωγή πραγματοποιείται σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου όπου έχουμε συνδυασμό λειτουργίας αεροστροβίλου και αμοστροβίλου και τα θερμικά απόβλητα (καυσαέρια) του αεροστροβίλου χρησιμοποιούνται στο ατμοηλεκτρικό μέρος του σταθμού.

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς η κινητική και η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των υδροστροβίλων και των γεννητριών. Διακρίνονται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς φυσικής ροής και ρυθμιζόμενης ροής, όπου είναι απαραίτητη η δημιουργία τεχνητών λιμνών. Στους αντλητικούς σταθμούς οι υδροστροβίλοι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως αντλίες και οι γεννήτριες ως κινητήρες προκειμένου να αξιοποιούν χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου, για να αποταμιεύσουν νερό που θα χρησιμοποιηθεί σε ώρες αιχμής για την παραγωγή ενέργειας με υψηλό εναλλακτικό κόστος παραγωγής από άλλες πηγές. Ως μικρά υδροηλεκτρικά έργα χαρακτηρίζονται οι σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 10 MW ενώ ως υδροηλεκτρικά έργα πολλαπλού σκοπού οι σταθμοί οι οποίοι παράλληλα καλύπτουν και άλλες χρήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, κ.ά. [6].

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, οι πιο διαδεδομένες μορφές στα σημερινά ΣΗΕ είναι τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών που συνδέονται σε κάποιον ζυγό του δικτύου. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο μέσω ενός ανεμοκινητήρα και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται σε δίκτυα που περιλαμβάνουν σταθμούς με υψηλό λειτουργικό κόστος και σε θέσεις με υψηλό αιολικό δυναμικό.

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των ηλιακών κυψελών. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στόχος της εξέλιξης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών είναι η μείωση του κόστους κατασκευής των ηλιακών κυψελών, η αύξηση της διάρκειας ζωής και η αύξηση του βαθμού απόδοσης ο οποίος σήμερα φτάνει το 15%. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί εγκαθίστανται συνήθως για την τροφοδότηση απομονωμένων καταναλώσεων.

1.1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης απ' όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης (που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και δικά τους εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης) και είναι κυρίως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 10 MW.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς. Το σύστημα μεταφοράς θα πρέπει να παρέχει σταθερή (ή σχεδόν σταθερή) τάση και οι τάσεις των τριών φάσεων να βρίσκονται σε ισορροπία. Το κύμα της τάσης θα πρέπει να έχει ημιτονοειδή μορφή και η συχνότητα να είναι σταθερή. Η αποδοτικότητα θα πρέπει να πλησιάζει την τιμή η οποία συνεπάγεται ελάχιστο ετήσιο κόστος μεταφοράς. Η επίδραση του συστήματος μεταφοράς στις εγκαταστάσεις άλλων κοινωφελών επιχειρήσεων (πχ τηλεφωνικών ή ραδιοφωνικών) θα πρέπει να περιορίζεται μεταξύ παραδεκτών ορίων.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με υψηλή τάση, διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς ανάλογα με την απόσταση και την ποσότητα της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Η μορφή των δικτύων μεταφοράς μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική, ανάλογα με τη σχετική θέση των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα κατανάλωσης. Η διάταξη των δικτύων μεταφοράς είναι κατά κανόνα βροχοειδής σε αντίθεση με την ακτινική δομή των δικτύων διανομής.

Η ισχύς η οποία μπορεί να μεταφερθεί από μια γραμμή μεταφοράς είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης γι' αυτό χρησιμοποιούνται υπερυψηλές τάσεις για την επίτευξη μεγάλων ισχύων μεταφοράς. Επιπλέον οι μειωμένες απώλειες τις οποίες απώλειες τις οποίες συνεπάγεται η μεταφορά με υπερυψηλές τάσεις καθιστούν οικονομικότερη τη λειτουργία με τις τάσεις αυτές.

Το κόστος μεταφοράς αποτελεί τη συνισταμένη του κόστους εγκατάστασης, του κόστους απωλειών και του κόστους συντήρησης της γραμμής. Κριτήριο για την επιλογή μιας τάσης μεταφοράς είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Αυτό σημαίνει ότι η εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας από μια περαιτέρω αύξηση της τάσης που επιλέγεται αντισταθμίζεται από τις αναγκαίες επιπρόσθετες επενδύσεις στη γραμμή και στο λοιπό εξοπλισμό. Το κόστος του εξοπλισμού αυξάνει τόσο γρήγορα στις υψηλές τάσεις ώστε να υπάρχει κάποια μέγιστη τιμή τάσης πάνω από την οποία γίνεται αντιοικονομική η μεταφορά.

Τα υλικά που γενικά χρησιμοποιούνται στους αγωγούς των γραμμών μεταφοράς είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Οι κύριες απαιτήσεις για τα αγώγιμα

υλικά είναι η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η υψηλή μηχανική αντοχή, το μικρό ειδικό βάρος, η χαμηλή οξειδωση στον αέρα και η ευχέρεια σύνδεσης των αγωγών.

Η απαιτούμενη διατομή ενός αγωγού καθορίζεται από το ρεύμα που τον διαρρέει, αφού η ωμική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του αγωγού. Ο αγωγός της γραμμής μεταφοράς θερμαίνεται από τις ωμικές απώλειες και η θερμότητα αυτή ακτινοβολείται στον αέρα, αναπτύσσοντας μια θερμοκρασία ισορροπίας στον αγωγό. Σε υψηλές θερμοκρασίες η μηχανική αντοχή του αγωγού μειώνεται και έτσι η θερμοκρασία ισορροπίας του δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, συνήθως τους 100 °C. Το αντίστοιχο ρεύμα αποτελεί το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο φόρτισης του αγωγού και ονομάζεται ικανότητα μεταφοράς ρεύματος του αγωγού.

Οι αγωγοί υψηλής τάσης των εναέριων γραμμών μεταφοράς αναρτώνται από τους πυλώνες της γραμμής δια μέσου σειράς μονωτήρων. Η αύξηση της μόνωσης για υψηλότερες τάσεις μεταφοράς αντιμετωπίζεται με την προσθήκη περισσότερων δίσκων στους αλυσσοειδείς μονωτήρες. Η μόνωση μεταξύ αγωγών, όπως και μεταξύ αγωγών και γης, στις εναέριες γραμμές αποτελείται από τον αέρα που υπάρχει μεταξύ τους.

1.1.5 ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες λειτουργίας και ελέγχου που απαιτούνται ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να διανεμηθεί στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των οποίων αυτή φτάνει ως τους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς. Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά το μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης.

Η διάκριση μεταξύ των δικτύων μεταφοράς και διανομής διαφέρει από χώρα σε χώρα. Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και η παράλληλη τεχνολογική εξέλιξη των υλικών οδήγησαν στη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων τάσεων για τη διανομή, με αποτέλεσμα δίκτυα που παλαιότερα έπαιζαν το ρόλο μεταφοράς να χαρακτηρίζονται τώρα ως δίκτυα υπομεταφοράς και να αποτελούν μέρος της διανομής.

Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας η αξία των εγκαταστάσεων διανομής κυμαίνεται γύρω στο 30% του συνόλου των εγκαταστάσεων, ενώ ακόμα μεγαλύτερη είναι η ποσοστιαία συμμετοχή στις δαπάνες εκμετάλλευσης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διανομής είναι το πλήθος των στοιχείων που την αποτελούν. Επιπλέον, οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες απ' ό,τι στο επίπεδο της μεταφοράς [1].

Η κατασκευαστική διαμόρφωση των δικτύων διανομής συνδέεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόμησης των πόλεων και γενικότερα του τρόπου χωροταξικής διαμόρφωσης κάθε χώρας. Αυτό διαπιστώνεται και από το γεγονός ότι

τα δίκτυα διανομής κάθε χώρας έχουν κατά γενικό κανόνα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταφοράς που είναι διεθνώς όμοια. Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δίκτυα υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης. Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και υπόγεια. Τα εναέρια είναι λιγότερο δαπανηρά και σε αυτά η αποκατάσταση των βλαβών είναι ταχύτερη σε σχέση με τα υπόγεια. Ωστόσο στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων τα δίκτυα διανομής κατασκευάζονται συνήθως υπόγεια, διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος, ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτίρια, αλλά και για λόγους αισθητικής.

1.2 Η ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί βασικό αγαθό στον σύγχρονο κόσμο, χρησιμοποιούμενο ένα πολύ μεγάλο αριθμό καταναλωτών σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, χωρίς να είναι άμεσα αποκαταστάσιμο. Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνεται σαν ένα σύστημα, όπου η ηλεκτρική ενέργεια σαν προϊόν μπορεί να αγοραστεί, να πωληθεί και εν γένει να εμπορευθεί. Μια αγορά μπορεί να λειτουργεί υπό μονοπωλιακό καθεστώς, υπό καθεστώς πλήρους ανταγωνισμού ή σε ολιγοπωλιακό περιβάλλον. Θεωρητικά αυτό μπορεί να συμβεί και για την ηλεκτρική ενέργεια.

Η ηλεκτρική ενέργεια κατά κύριο προσφερόταν από μόνο μια επιχείρηση σε κάθε χώρα, η οποία ήταν κρατική. Αυτή η πλήρως καθετοποιημένη δημόσια επιχείρηση είχε την δυνατότητα να διαμορφώνει τόσο τις τιμές όσο και την ποσότητα της προσφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια η αγορά μετατρέπεται βαθμιαία σε ολιγοπωλιακή, καθώς το ισχύον θεσμικό πλαίσιο επιτρέπει την είσοδο και άλλων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτήν. Έτσι, δημιουργείται σταδιακά μια απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια όπως αναφέραμε πιο πάνω είναι ένα αγαθό, το οποίο διαφέρει διότι είναι δύσκολο στην αποθήκευση του. Έτσι πρέπει να είναι διαθέσιμο ανα πάσα στιγμή, για την κάλυψη της ζήτησης. 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.

1.2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

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 τρία θεσμικά όργανα, όπου διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) [1.6]:**

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/ΕΚ και 2003/55/ΕΚ για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο.

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, ο ΔΕΣΜΗΕ, 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 Αρχή 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^ο 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.

▪ **Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ)**
[1.8]:

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:

- 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 δια λειτουργικότητα 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 παρακωλύεται η άρτια εκτέλεση των καθηκόντων του.

▪ **Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) [1.9]:**

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).

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.

- **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) [1.10]:**

Από την 1.1.2001 η ΔΕΗ λειτουργεί σαν ανώνυμη εταιρεία. Λειτουργεί πλέον ως μια πλήρως καθετοποιημένη επιχείρηση με διάφορους τομείς δραστηριότητας (Ορυχείων, Παραγωγής, Μεταφοράς, Εμπορίας και Διανομής). Η ΔΕΗ κατέχει περίπου το 89% της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος στην Ελλάδα, η οποία προέρχεται από λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές μονάδες, μονάδες φυσικού αερίου καθώς και από αιολικά και ηλιακά πάρκα. Επίσης, αποτελεί τον αποκλειστικό ιδιοκτήτη του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς και του Δικτύου Διανομής. Σύμφωνα με το καταστατικό της, σκοπός της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού είναι:

- Η εμπορική και βιομηχανική δραστηριοποίηση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Στη δραστηριότητα αυτή συμπεριλαμβάνονται η κατασκευή, η εκμετάλλευση και η συντήρηση εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δικτύων μεταφοράς και διανομής, η προμήθεια και η πώληση ηλεκτρικής ισχύος και η εξόρυξη, η παραγωγή και η προμήθεια ενεργειακών πρώτων υλών.
- Η εμπορική και βιομηχανική δραστηριοποίηση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, η παροχή υπηρεσιών οργάνωσης και πληροφορικής προς τρίτες επιχειρήσεις, καθώς και η εκμετάλλευση των περιουσιακών στοιχείων που βρίσκονται στην κατοχή της επιχείρησης.
- Η ίδρυση εταιρειών, η συμμετοχή σε κοινοπραξίες καθώς και η απόκτηση μετοχών άλλων εταιρειών, των οποίων η δραστηριότητα συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με τους σκοπούς της εταιρείας.

Η ΔΕΗ είναι επίσης ο Διαχειριστής του δικτύου μεταφοράς και διανομής στα μικρά μη διασυνδεδεμένα νησιά. Υποχρεούται να απορροφά την ενέργεια η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές καθώς επίσης και το πλεόνασμα της ενέργειας που παράγουν οι μικροί αυτοπαραγωγοί, στην περίπτωση που αυτό προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ή από συμπαραγωγή. Τέλος, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού αποτελεί τον αποκλειστικό προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας των μη επιλεγέντων πελατών, δηλαδή όσων καταναλωτών είναι συνδεδεμένοι στη χαμηλή τάση. Σύμφωνα με το νέο κώδικα, ιδρύονται οι εξής δύο αγορές ηλεκτρικής ενέργειας:

- Η χονδρεμπορική αγορά του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (Η.Ε.Π.).
- Η αγορά μακροχρόνιας επάρκειας ισχύος ή αγορά εξασφάλισης ισχύος.

1.2.3 ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΜΕΝΗ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώθηκε από τις 19/02/01 οπότε και με εξαίρεση τα μη διασυνδεδεμένα νησιά υφίσταται πλέον το δικαίωμα ελεύθερης διαπραγματεύσεως 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 κίνδυνους 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.

1.2.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΜΕΝΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

. 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.
- 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 εγγέουν 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.

1.2.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (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 τομέας ηλεκτρισμού.

Ο TSO 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 πως 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].

1.2.6 ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ(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 αντιπαράβολής 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 12^η 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.

1.2.7 ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (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. Ακολούθως, 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 εγχέοντες (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 εγχέοντων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εγχέοντες 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 εγχέοντες στο σύστημα παραγωγοί και εισαγωγείς.

1.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

1.3.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

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 ολοένα 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.

1.3.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

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 Arrhenius 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_2 : διοξείδιο του άνθρακα
- CH_4 : μεθάνιο
- N_2O : υποξείδιο του αζώτου
- HFCs: υδρογονοφθοράνθρακες
- PFCs: υπερφθοράνθρακες
- SF_6 : 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 $\sim 0,25^{\circ}\text{C}$. 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 3^η 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:

Εξέυρεση 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, αναδάσωση και δημιουργία νέων δασικών εκτάσεων, διότι η φωτοσύνθεση είναι ένας φυσικός μηχανισμός απορρόφησης ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα.

1.3.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ

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 (MME) 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.

1.3.4 ΣΥΜΦΩΝΙΑ ΤΗΣ ΚΟΠΕΓΧΑΓΗΣ

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].

1.3.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΚΑΘΑΡΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

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 CO₂)

1.3.6 ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

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 1^ο 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.

1.4 Βιβλιογραφία

- [1.1] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2001.
- [1.2] Β.Κ. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμος Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας”, Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985.
- [1.3] Μ.Π. Παπαδόπουλος, “Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμος Γ”, Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1994.
- [1.4] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.ypeka.gr/>
- [1.5] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.desmie.gr/>
- [1.6] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.rae.gr>
- [1.7] The Global Community for Sustainable Energy Professionals (Leonardo Energy) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.leonardo-energy.org/>
- [1.8] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.admie.gr/>
- [1.9] Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.lagie.gr/>

- [1.10] Δημόσια Επιχειρήση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <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 (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- [1.15] Κ. Δέρβος, “Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2009.
- [1.16] GREENPEACE (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.greenpeace.org/greece/el/>
- [1.17] EUROPA, “Μια ενιαία ενεργειακή πολιτική για την Ευρώπη”, (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://europa.eu/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ

Ως διεσπαρμένη παραγωγή (DG – Distributed Generation) ορίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας, με τιμές που κυμαίνονται από 1kW μέχρι 100MW. Η πηγή διεσπαρμένης παραγωγής συνδέεται απευθείας στο δίκτυο διανομής ή στο ακραίο τμήμα αυτού στην πλευρά του καταναλωτή [2.1].

Αν και σήμερα η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί μια σχετικά καινούρια τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η ιδέα πίσω από αυτό συναντάται στο ξεκίνημα του ηλεκτρικού τομέα και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πρώτες εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος παρείχαν ενέργεια μόνο σε καταναλωτές της γειτονικής τους περιοχής. Τα πρώτα δίκτυα ήταν βασισμένα σε DC τάση (συνεχή τάση) και έτσι η παροχή της ήταν περιορισμένη, όπως περιορισμένη ήταν και η απόσταση ανάμεσα στον παραγωγό και τον καταναλωτή. Η εξισορρόπηση ζήτησης και προμήθειας υλοποιούνταν μερικώς με τη χρήση τοπικής αποθήκευσης ενέργειας, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσσωρευτών οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα άμεσης ηλεκτρικής σύνδεσης με το DC δίκτυο ισχύος. Παράλληλα, με τη μικρής κλίμακας παραγωγή, επιστρέφουν στο προσκήνιο και οι μονάδες τοπικής αποθήκευσης [2.2].

Με το πέρασμα του χρόνου, τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η εμφάνιση των δικτύων ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος (Alternate Current, AC), έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του τομέα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την μεταφορά του ηλεκτρισμού σε μεγάλες πλέον αποστάσεις. Επιπλέον, οι οικονομίες κλίμακας στην παραγωγή ηλεκτρισμού οδήγησαν σε μια αύξηση της παραγόμενης ισχύος των εργοστασίων, καθώς και στη μείωση του κόστους ανά μονάδα. Κατασκευάστηκαν μαζικά ηλεκτρικά συστήματα, που συνίστατο από τεράστια δίκτυα μεταφοράς και διανομής, καθώς και μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης επιτεύχθηκε από τη μέση επίδραση του συνδυασμού μεγάλων ποσοτήτων ακαριαία μεταβαλλόμενων φορτίων. Η ασφάλεια της παροχής αυξήθηκε αφού, η μερική ή πλήρης ανεπάρκεια κάποιας μονάδας παραγωγής σε ένα χρονικό διάστημα αντισταθμίστηκε από τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής εντός του διασυνδεδεμένου συστήματος. Στην πραγματικότητα, αυτή η διασύνδεση του συστήματος υψηλής τάσης είχε ως αποτέλεσμα να γίνει εφικτή η οικονομία κλίμακας.

Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και στο ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο τη διεσπαρμένη παραγωγή. Οι κυριότεροι λόγοι που συντέλεσαν σε αυτό (σύμφωνα με το International Energy Agency, IEA, 2003) είναι:

- Η ανάπτυξη στις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής.
- Οι περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι αυξημένες απαιτήσεις των καταναλωτών για αξιοπιστία στην παροχή ενέργειας.
- Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι ανησυχίες για τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, που εκφράστηκε κατά κύριο λόγο μέσω του πρωτοκόλλου του Κιότο και προβλέπει μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η διείσδυση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής 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 γενεάς κλιμακώνει, 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, 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 [2.3].

2.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι τυπικές χρήσεις [26] της διεσπαρμένης παραγωγής είναι οι εξής:

- Οικιακή (ηλεκτρισμός και θέρμανση)
- Εμπορική (ηλεκτρισμός και θέρμανση)
- Θερμοκήπια
- Βιομηχανική (ηλεκτρισμός και ατμός)
- Περιφερειακή θέρμανση
- Ισχύς δικτύου (μόνο ηλεκτρισμός που παρέχεται στο δίκτυο)

2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι κυρίως τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά. Συγκεκριμένα [2.4]:

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 (SO_x , 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 [2.5]:

- 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 υπάρχοντων 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.

2.3.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

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 [2.6]:

- 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 μετέχοντες σε αυτήν.

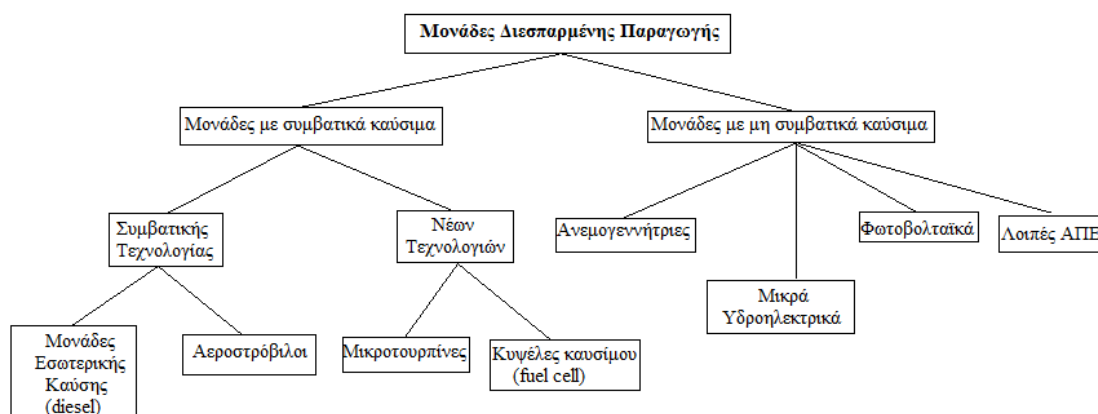
- Όσον αφορά στις επιπτώσεις της διανεμημένης παραγωγής στο περιβάλλον γενικά οι τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής περιγράφονται ως περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τεχνολογίες ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση όμως των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι 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.

- Η ροή τόσο ενεργού όσο και άεργου ισχύος στα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται πάντα από την υψηλή στη χαμηλή τάση του δικτύου. Ωστόσο, με σημαντική διείδυση διεσπαρμένης παραγωγής οι ροές ισχύος μπορεί να αντιστραφούν και το δίκτυο διανομής να μην είναι πλέον ένα παθητικό κύκλωμα που παρέχει ισχύ στα φορτία, αλλά ένα ενεργό σύστημα με ροές ισχύος και τάσεις που προσδιορίζονται από την παραγωγή και τα φορτία. Αυτή η αμφίδρομη ροή ισχύος απαιτεί διαφορετική προστασία στα δύο επίπεδα τάσης [2.7][2.8].

2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι κυριότερες τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δίνονται συνοπτικά στο Σχ. 2.3. Είναι φανερό ότι μπορεί να υπάρχει διαφοροποίηση σε δύο μεγάλες ομάδες. Στις μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά και μη ανανεώσιμα καύσιμα και στις μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμα καύσιμα π.χ βιομάζα ή απλά μετατρέπουν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια [2.9].



Σχήμα 2.3: Τεχνολογίες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο, μια αυξανόμενη τάση ανάπτυξης των ΑΠΕ. Η διείδυση των ΑΠΕ, γίνεται με γοργούς ρυθμούς, καθώς νέου τύπου ανεμογεννήτριες εγκαθίσταται βελτιώνοντας αισθητά την απόδοση των αιολικών πάρκων και μειώνοντας τα προβλήματα διασύνδεσής τους με το δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα γνωρίζουν μία εντυπωσιακή άνοδο με αισθητή μείωση του κόστους επένδυσης, τα υδροηλεκτρικά παραμένουν μία σταθερή αξία στην ανανεώσιμη ηλεκτροπαραγωγή, η βιοενέργεια παρέχει λύσεις για θέρμανση, ισχύ και καύσιμα μεταφορών, και τέλος η δε γεωθερμία χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές θέρμανσης και ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με εκτίμησης της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (IEA), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη αναμένεται να αυξάνεται κατά μέσο ετήσιο επίπεδο κατά 1.4% μέχρι το 2030, αλλά

το μερίδιο των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό ισοζύγιο θα διπλασιαστεί από 13% σε 26% μέχρι το 2030.

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν την εγκατεστημένη ισχύ στη χώρα μας ανά τύπο ΑΠΕ, Πίνακας 2.1 καθώς και την ετήσια παραγωγή από τις μονάδες αυτές στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα, Πίνακας 2.2 [2.10].

	Αιολικά (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρικά (MW)	Βιοαέριο Βιομάζα (MW)	Φ/Β (MW)
ΕΔΣ	1.363,04	205,33	44,5	439,11

Πίνακας 2.1: *Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στη χώρα μας*

	Αιολικά (GWh)	Μικρά Υδροηλεκτρικά (GWh)	Βιοαέριο Βιομάζα (GWh)	Φ/Β (GWh)	Σύνολο (GWh)	Διείσδυση (GWh)
2010	2.061	753	194	132	3.140	4,37%
2011	2.596	581	199	442	3.818	5,21%

Πίνακας 2.2: *Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδων ΑΠΕ στο ΕΔΣ*

Για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής με συμβατικά καύσιμα το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το φυσικό αέριο όπου είναι διαθέσιμο ή πετρέλαιο diesel. Για διαφορετικό καύσιμο, άνθρακα, λιγνίτη ή πυρηνική ενέργεια τα μεγέθη εγκατάστασης είναι πολύ μεγαλύτερα, επομένως τέτοιου είδους μονάδες δεν εκκρίνουν στην διεσπαρμένη παραγωγή. Στις μονάδες Νέων τεχνολογιών, που χαρακτηρίζονται έτσι επειδή χρησιμοποιούνται την τελευταία δεκαετία, το καύσιμο είναι στις περισσότερες περιπτώσεις το φυσικό αέριο. Για τις κυψέλες καυσίμου το υδρογόνο προέρχεται από κατάλληλη επεξεργασία του φυσικού αερίου (Reforming) ή από ηλεκτρόλυση του νερού. Αν το υδρογόνο παράγεται από διαδικασίες παραγωγής με τη βοήθεια ΑΠΕ τότε μπορούμε αυτές τις πηγές να τις κατατάξουμε ακόμη και στις ΑΠΕ. Αν στις Μικροτουρμπίνες χρησιμοποιείται ως καύσιμο το βιοαέριο, τότε επίσης μπορούμε να τις κατατάξουμε στις μονάδες ΑΠΕ [2.9].

2.4.1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται οι παλινδρομικές μηχανές με κύριο εκπρόσωπο τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, οι αεροστροβιλικές μονάδες, οι

μικροτουρμπίνες, οι ατμολέβητες και οι κυσέλες καυσίμου. Μικροί ατμοστρόβιλοι κυρίως από τοπικές μονάδες συμπαραγωγής και μικροί αεριοστρόβιλοι επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά η διεύθυνσή τους αναμένεται να είναι σημαντικά μικρότερη. Οι μονάδες που καταναλώνουν συμβατικά καύσιμα μπορούν να διακριθούν σε Συμβατικής Τεχνολογίας και Νέων τεχνολογιών.

Για να εξαχθούν συμπεράσματα για το πόσο οικονομική είναι μια τέτοια μονάδα κατά τη λειτουργία της σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται τα εξής χαρακτηριστικά δεδομένα:

- Τύπος καυσίμου
- Κόστος καυσίμου (χρηματικές μονάδες/kg)
- Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου (kg/h), η οποία συνήθως ακολουθεί την παρακάτω τετραγωνική μορφή:

$$Fuel_con = a \cdot P^2 + b \cdot P + c$$

Όπου:

- a : Τετραγωνική παράμετρος κόστους (kg/kWh²)
- b : Γραμμική παράμετρος κόστους (kg/kWh)
- c : Σταθερός όρος κόστους (kg/h)
- P : Παραγόμενη ισχύς από τη μονάδα (kW)

Προκειμένου να εξαχθεί η καμπύλη κόστους καυσίμου, αν δεν είναι απευθείας διαθέσιμη, απαιτούνται τουλάχιστον δεδομένα από την ειδική κατανάλωση της μονάδας για διαφορετικά σημεία λειτουργίας, ώστε με μαθηματικές μεθόδους να υπολογιστούν οι σχετικές παράμετροι. Οι παράμετροι κόστους που ενδιαφέρουν είναι:

- Τύπος χρησιμοποιούμενου καυσίμου κατά την εκκίνηση, ο οποίος μπορεί να είναι διαφορετικός από εκείνο της λειτουργίας.
- Κατανάλωση καυσίμου κατά την εκκίνηση (ψυχρή/θερμή) (lt).
- Κατανάλωση νερού κατά την εκκίνηση (m³).
- Τύπος χρησιμοποιούμενου καυσίμου κατά την σβέση, ο οποίος μπορεί να είναι διαφορετικός από εκείνο της λειτουργίας.
- Κατανάλωση καυσίμου κατά την σβέση (ψυχρή/θερμή) (lt).

Για περισσότερο μακροχρόνιες περιόδους μελέτης, π.χ. ενός έτους, είναι χρήσιμο να είναι γνωστός ο τυπικός χρόνος σε ώρες/έτος κατά τις οποίες η εξεταζόμενη μονάδα είναι εκτός λειτουργίας εξαιτίας συντήρησης ή βλάβης.

2.4.1.1 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Αυτές οι μηχανές στηρίζουν τη λειτουργία τους στην παραγωγή μηχανικού έργου από την κίνηση εμβόλων μέσα σε κυλίνδρους. Διατίθενται σε πληθώρα μεγεθών από μερικές εκατοντάδες W, έως μερικές δεκάδες MW, ενώ πάρα πολλοί κατασκευαστές ανά τον κόσμο ασχολούνται με την κατασκευή τους, την εξέλιξη των τεχνικών τους χαρακτηριστικών, αλλά και τη μείωση της όχλησης που προκαλεί η λειτουργία τους. Οι περισσότερες μηχανές χρησιμοποιούν κλάσματα της απόσταξης του πετρελαίου, από βενζίνη για τις μικρότερες, πετρέλαιο diesel για τις λίγο μεγαλύτερες, έως και μαζούτ για μεγέθη που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή σε αυτόνομά νησιά. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες μετατροπής αυτών των μηχανών για να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ή προπάνιο ως καύσιμο προκειμένου να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι και κυρίως σωματιδιακού χαρακτήρα ρύποι. Αρνητική επίπτωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έχει και η ανάγκη λίπανσης του κινητήρα, λόγω της πρόσμειξης της πιθανής ανάμιξης λιπαντικών με το καύσιμο. Τα δυνατά και αδύνατα σημεία αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνονται στον Πίνακα 2.3.

Δυνατά σημεία	Αδύνατα σημεία
Μικρό κόστος επένδυσης	Υψηλές ατμοσφαιρικές εκπομπές
Πολύ καλή ηλεκτρική απόδοση (μέχρι και 45%)	Θορυβώδεις
Γρήγορη εκκίνηση	Μεγάλο κόστος συντήρησης
Ευελιξία καυσίμου	Μεγάλος λόγος PHR που σε χαμηλή τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί προβλήματα οικονομικής βιωσιμότητας
Υψηλή αξιοπιστία	Μικρή απόδοση συμπαραγωγής

Πίνακας 2.3: Δυνατά και αδύνατα σημεία μηχανών εσωτερικής καύσης

Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης ως:

- Εφεδρική (Stand by, back up unit)
- Κύρια (Prime) και
- Εν δυνάμει κύρια (Continuous).

Ως εφεδρική χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις απώλειας δικτύου για την κάλυψη των φορτίων ανάγκης και έχει μονοπωλήσει το ενδιαφέρον της αγοράς από καταναλωτές που επιθυμούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία τους τοπικά, λόγω της ευκολίας προμήθειας και του χαμηλού αρχικού κόστους. Για την παράλληλη λειτουργία με το δίκτυο απαιτείται εξοπλισμός ο οποίος έχει κάποιο κόστος, και

σύμφωνα με τον Κώδικας Διαχείρισης Συστήματος Μεταφοράς στη χώρα μας οι κάτοχοι μονάδων μικρότερων των 2MW, δεν υποχρεούνται στην παροχή επικουρικών υπηρεσιών.

2.4.1.2 ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Αυτού του τύπου μονάδες χρησιμοποιούνται από τις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρισμού ειδικά για την παροχή ισχύος αιχμής εξαιτίας της χαμηλής σχετικά ηλεκτρικής απόδοσης και του μικρού χρόνου εκκίνησης και μεταβολής του φορτίου. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί μείγμα έντονα συμπιεσμένου αέρα με καύσιμο προκειμένου με την εκτόνωση του σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας να παραχθεί μηχανικό έργο και να κινήσει κάποια γεννήτρια. Λόγω της βελτιωμένης δυνατότητας συμπαραγωγής με μειωμένο βαθμό όχλησης σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, υπάρχει και αναμένεται να αυξηθεί η διείσδυση αυτού του τύπου της μονάδας σε βιοτεχνικές – βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες απαιτούν σημαντικότερες ποσότητες θερμότητας από ότι ένα συγκρότημα κατοικιών. Συνήθως χρησιμοποιείται φυσικό αέριο αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελαφρά κλάσματα πετρελαίου. Ο παρακάτω Πίνακας 2.4 συνοψίζει τα δυνατά και αδύνατα σημεία αυτής της τεχνολογίας.

Δυνατά σημεία	Αδύνατα σημεία
Μικρό βάρος και μέγεθος	Πιο περίπλοκες εργασίες συντήρηση από μηχανές εσωτερικής καύσης
Γρήγορες μεταβολές φορτίου και γρηγορότερη εκκίνηση από άλλου τύπου μηχανές	
Ευελιξία καυσίμου, συνήθως μπορούν να χρησιμοποιήσουν διπλό καύσιμο	Ευαισθησία απόδοσης στις κλιματολογικές συνθήκες, σημαντική μείωση με την αύξηση της θερμοκρασίας
Δυνατότητα χρήσης για συμπαραγωγή ή για χρήση σε συνδυασμένο κύκλο	
Χαμηλότερα επίπεδα θορύβου	Χαμηλή απόδοση παραγωγής ηλεκτρισμού (28 – 33%)

Πίνακας 2.4: Δυνατά και αδύνατα σημεία αεροστροβίλων

2.4.2 ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε δύο τεχνολογίες: τις Μικροτουρμπίνες και τις Κυψέλες Καυσίμου. Όπου αποτελούν εμπορικά αναδυόμενες τεχνολογίες. Σε αυτές τις

μονάδες δίνεται επίσης η δυνατότητα της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας (ΣΗΘ ή CHP) με την μέθοδο της ανάκτησης θερμότητας.

2.4.2.1 Μικροτουρμπίνες

Οι γεννήτριες μικροτουρμπίνων αερίου (MTGs) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία και θεωρείται πολύ σημαντική για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος υψηλής πυκνότητας. Οι μονάδες αυτές είναι μικρού μεγέθους, πολύ υψηλής ταχύτητας και συνήθως συμπεριλαμβάνουν: Την τουρμπίνα αερίου (gas turbine), το συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεση τους στο δίκτυο.

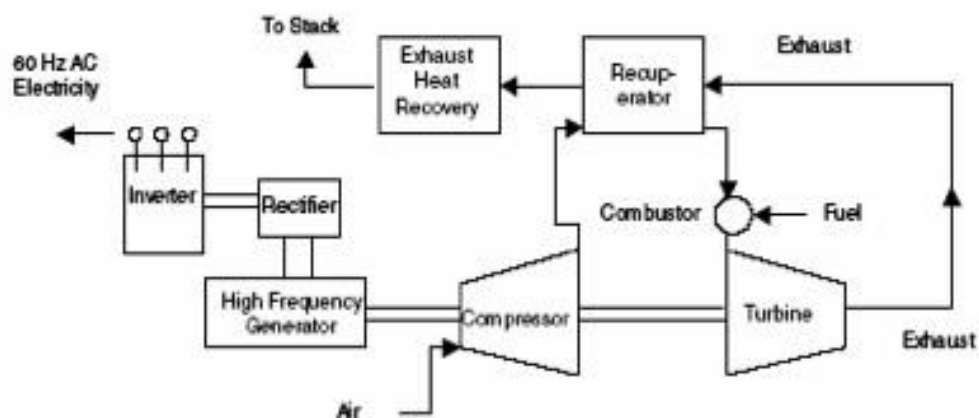
Τυπικά, λειτουργούν με φυσικό αέριο, αλλά δέχονται για τη λειτουργία τους και πολλά άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, diesel και κηροζίνη. Είναι επίσης ικανές να παράγουν ανανεώσιμη ενέργεια όταν τροφοδοτούνται με βιοαέριο.

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. Οι μικροτουρμπίνες 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.

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 αναμιγνύεται 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.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα λειτουργίας της μικροτουρμπίνας

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.

Τα πλεονεκτήματα των μικροτουρμπίνων είναι πολλά. Έχουν σχεδόν αθόρυβη λειτουργία με λίγες δονήσεις, έχουν σχετικά μικρό κόστος αρχικής εγκατάστασης, χαμηλά επίπεδα εκπομπής καυσαερίων, θερμικές αποδοτικότητες κυμαινόμενες στο 5 – 30%, βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης της τάξης του 28 – 30%, υψηλές ταχύτητες της τάξης των 60.000rpm, μικρές ανάγκες συντήρησης και ταυτόχρονα υψηλή αξιοπιστία. Σε περιπτώσεις όπου τα τιμολόγια του αερίου είναι χαμηλά – που είναι και το σύνηθες – ενώ η ηλεκτρική ενέργεια σχετικά ακριβή, καθίσταται πιο οικονομική η χρησιμοποίηση μονάδων μικροτουρμπίνων αντί της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου. Αντίθετα από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, οι μικροτουρμπίνες μπορούν να χρησιμοποιούνται από ιδιώτες αφού εγκαθίστανται εύκολα, έχουν χαμηλές εκπομπές ρύπων και βρίσκονται ακριβώς δίπλα στη ζήτηση της ενέργειας – οικία ή επιχείρηση. Καταλαμβάνουν όγκο όχι μεγαλύτερο από έναν τηλεφωνικό θάλαμο και παράγουν ισχύ εύρους συνήθως από 25 ως 300kW. Έχοντας ως μέτρο σύγκρισης τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι ολόκληρα κτίρια με παραγόμενη ισχύ από 600MW ως 1.000MW, το μικρό μέγεθος των μικροτουρμπίνων είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα, που επιτρέπει την τοποθέτησή τους ακριβώς δίπλα στο φορτίο. Το γεγονός αυτό αποβάλλει τις ενεργειακές απώλειες που εμφανίζονται συνήθως κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία της ζήτησης. Αυτές οι απώλειες μεταφοράς είναι αρκετά σημαντικές και ανέρχονται συχνά στο 7% της παραγόμενης ισχύος.

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.

Οι μικροτουρμπίνες έχουν περίπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα, τα οποία τους επιτρέπουν να παρέχουν ασφαλή και αποδοτική λειτουργία με διαρκή έλεγχο της κατάστασής τους.

Όταν το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί είναι αέριο όπως φυσικό αέριο, προπάνιο ή αέριο αναερόβιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων πρέπει να συμπιεστεί. Η συνήθης συμπίεση ανέρχεται στο ύψος των 5 με 6,0bar. Η ανάγκη συμπίεσης του αερίου καυσίμου αποτελεί το μεγαλύτερο παρασιτικό φορτίο αυτής της μονάδας. Μονάδες μικροτουρμπινών έχουν εγκατασταθεί σε εφαρμογές σε βιολογικούς καθαρισμούς και σε μία τέτοια περίπτωση μπορούν να θεωρηθούν μονάδες ΑΠΕ.

Στον Πίνακα 2.5 που ακολουθεί συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά μιας μικροτουρμπίνας ως προς την λειτουργία και το κόστος της.

Χαρακτηριστικά Μικροτουρμπίνας	
Εύρος ισχύος	25 – 50 kW
Καύσιμα	Φυσικό αέριο, υδρογόνο, LPG, diesel
Ηλεκτρική απόδοση	20 – 30% (με προθέρμανση)
Απόδοση συμπαραγωγής	Μέχρι και 90%
Περιβαλλοντική επίδοση	Χαμηλές εκπομπές (<9 – 50ppm) NO _x
Ποιότητα παραγόμενης θερμότητας	Παραγωγή ζεστού νερού προς υψηλή θερμοκρασία (50 – 80°C)
Εμπορική διαθεσιμότητα	Διαθέσιμες και σε μικρά μεγέθη συμπαραγωγής, σχετικά όμως περιορισμένη
Κόστος Μικροτουρμπίνας	
Κόστος επένδυσης (μόνο μηχανής)	700 – 1100€/kW
O&M Κόστος	0,005 – 0,016€/kW

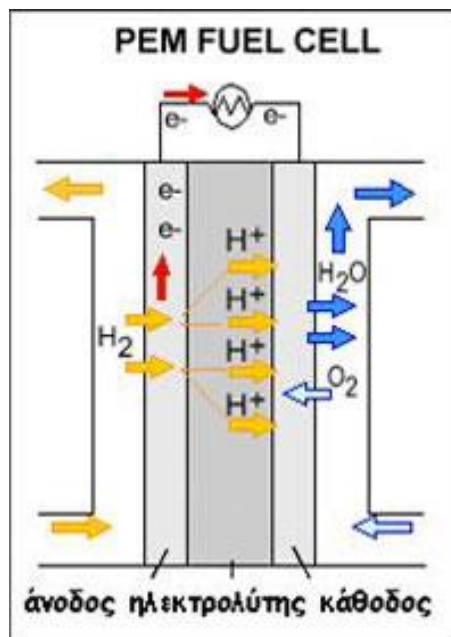
Χρόνος μεταξύ συντηρήσεων	5000 – 8000hrs
---------------------------	----------------

Πίνακας 2.5: Επισκόπηση χαρακτηριστικών μικροτουρμπίνων

2.4.2.2 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η κυψέλη καυσίμου (fuel cell – FC) είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που καταναλώνει υδρογόνο και οξυγόνο και παράγει ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο), τα οποία διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη, ο οποίος λέγεται αλλιώς και μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (Proton Exchange Membrane, PEM). Ο ηλεκτρολύτης είναι από πολυμερές ή άλλο υλικό, το οποίο επιτρέπει την διέλευση ιόντων, αλλά όχι τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Ένα καύσιμο που περιέχει υδρογόνο (π.χ. φυσικό αέριο) εισάγεται από την πλευρά της ανόδου, όπου τα ηλεκτρόνια του υδρογόνου ελευθερώνονται και κινούνται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα δίδοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη και φτάνουν στην κάθοδο, όπου ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο, παράγοντας νερό. Αυτό αποδεικνύεται από τις ακόλουθες χημικές αντιδράσεις, οι οποίες και χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου:

- Άνοδος: $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$
- Κάθοδος: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
- Αντίδραση πλέγματος: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$



Σχήμα 2.2: Λειτουργία κυψέλης καυσίμου υδρογόνου

Για να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου χρησιμοποιείται ένας καταλύτης υψηλής αγωγιμότητας στα ηλεκτρόδια (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.

Η απόδοση των συστημάτων των κυψελών καυσίμου είναι συνάρτηση του τύπου της κυψέλης και της δυναμικότητάς της. Η ηλεκτρική απόδοση μιας κυψέλης, καθορίζεται από τις αντίστοιχες αποδόσεις των επί μέρους υποσυστημάτων που τη συνθέτουν. Γενικά, παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης κατά 1/6 έως 1/3 από τις μονάδες εσωτερικής καύσης (ηλεκτρική απόδοση μέχρι και 45% αλλά μικρή απόδοση συμπαραγωγής) με σαφώς μικρότερες εκπομπές ρύπων και πιο αθόρυβη λειτουργία. Η επισκευή τους όμως απαιτεί περισσότερο εξειδικευμένο προσωπικό από εκείνο των παραδοσιακών τεχνολογιών και υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην ποιότητα καυσίμου.

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) και 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. Τα γενικά τυπικά χαρακτηριστικά αυτών των μονάδων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.6.

	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλίου	Πολυμερές	Πολυμερές	Φωσφορικό οξύ	Μίγμα ανθρακικών αλκαλίων	Σταθεροποιημένο ζιρκόνιο
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	60 – 90	70 – 100	90	150 – 220	600 – 700	650 – 1000
Θερμότητα από συμπαραγωγή	Καθόλου	Χαμηλής ποιότητας	Καθόλου	Αποδεκτή για πολλές εφαρμογές	Υψηλή	Υψηλή

Βαθμός απόδοσης	50 – 70%	40 – 50%	25 – 40%	40 – 45%	50 – 60%	50 – 60%
Καύσιμο	H ₂ Απαραίτητη η απομάκρυνση του CO ₂ από τα αέρια της ανόδου και της καθόδου.	H ₂ Αν αυτό προέρχεται από αναμόρφωση, η περιεκτικότητα σε CO να είναι CO<10ppm.	Διάλυμα νερού/ μεθανόλης	H ₂ Και από αναμόρφωση.	H ₂ ,CO, φυσικό αέριο	H ₂ ,CO, φυσικό αέριο
Ισχύς	Μέχρι 20kW	Μέχρι 250kW	<10kW	>50kW	>1MW	>200kW
Εφαρμογές	Μικρές μονάδες. Χρήση σε διαστημικές εφαρμογές.	Οικιακή και εμπορική παραγωγή. Συστήματα κίνηση οχημάτων.	Φορητές συσκευές.	Εμπορική παραγωγή. Μεγάλα οχήματα (λεωφορεία)	Εμπορική και βιομηχανική παραγωγή. Μονάδες μεγάλης ισχύος (MW).	Οικιακή, εμπορική και βιομηχανική παραγωγή (μεγάλη ισχύς).
Χρόνος εκκίνηση (h)	<0,1	<0,1	<0,2	1 – 4	>10	5 – 10

Πίνακας 2.6: Τυπικά χαρακτηριστικά κυψελών καυσίμου

2.4.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.4.3.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Η αιολική ενέργεια είναι από τις μορφές εκείνες που ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε πριν χιλιάδες χρόνια. Μέχρι και τις αρχές του 20ου αιώνα, το αιολικό δυναμικό χρησιμοποιούταν στους αλευρόμυλους και για άντληση νερού. Με τη βιομηχανοποίηση, η ευμετάβλητη αιολική ενέργεια, παραχώρησε τη θέση της στις μηχανές που λειτουργούσαν με ορυκτά καύσιμα και στο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο παρήγαγε πιο σταθερή ισχύ.

Στις αρχές του 1970, με τη πρώτη πετρελαϊκή κρίση, η αιολική ενέργεια επανάκαμψε. Αυτή τη φορά όμως, η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στράφηκε αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πρώτες ανεμογεννήτριες είχαν ήδη αναπτυχθεί στις αρχές του 20ου αιώνα, και σταδιακά μέχρι τη δεκαετία του 1970 η τεχνολογία είχε κάνει άλματα προόδου. Από τη δεκαετία του 1990 και έπειτα, η αιολική ενέργεια ήταν η σημαντικότερη από τις αειφόρες ενεργειακές πηγές. Από τότε, η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διπλασιάζεται κάθε τρία χρόνια. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας έπεσε στο 1/6 από τις αρχές του 1980 και πιστεύεται ότι θα συνεχίσει με παρόμοιους ρυθμούς.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι περισσότερο από το 79% της παγκόσμιας παραγωγής αιολικής ενέργειας, προέρχεται από πέντε κράτη: Γερμανία, Ισπανία ΗΠΑ, Δανία και Ινδία. Μαζί με άλλες πέντε χώρες (Ιταλία, Ολλανδία, Μ. Βρετανία, Ιαπωνία

και Κίνα), το ποσοστό ξεπερνάει το 89,8% της παγκόσμιας παραγωγής. Συνάγεται έτσι το συμπέρασμα, ότι οι γνώσεις στο συγκεκριμένο γνωστικό ζήτημα προέρχονται κυρίως από τις παραπάνω περιοχές [2.11].

Στη χώρα μας οι επικρατούσες συνθήκες στο Αιγαίο, στο Κρητικό και στο Καρπάθιο πέλαγος, στις ανατολικές ακτές της κεντρικής και νότιας Χώρας, στη Βόρεια Κρήτη και στα Δωδεκάνησα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ευνοούν την εμφάνιση ανέμων σημαντικής εντάσεως, ικανής να διατηρεί σε λειτουργία ανεμογεννήτριες για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Έτσι, ευνοείται η εγκατάσταση αιολικών πάρκων που συνήθως συνδέονται σε δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ τους. Παρόμοιες συνθήκες ισχύουν και στο εσωτερικό της χώρας και ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές. Οι συνθήκες στις περιοχές αυτές είναι αρκετά ευνοϊκές διότι υπάρχει συνεχής πνοή καλής ποιότητας ανέμου, ελάχιστες μέρες άπνοιας και ανυπαρξία τυφώνων.

Τα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού συνοπτικά είναι [2.12]: Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου. Η τεχνολογία που αναπτύσσεται είναι μια από τις πιο οικονομικές στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (χαμηλό κόστος ανά kWh). Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να στηθούν σε αγροκτήματα ή ράντσα, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις καλύτερες τοποθεσίες από την άποψη του ανέμου.

Τα μειονεκτήματα αντίστοιχα είναι [2.12]:

- Η αιολική ενέργεια πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους.
- Δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν.
- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα είναι σε απομακρυσμένες περιοχές.
- Υπάρχει προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τα πτερύγια του ηλεκτρικού κινητήρα (ρότορα), και τις δυσμενείς επιδράσεις στο οικοσύστημα της περιοχής (πολλές φορές έχουν σκοτωθεί πουλιά που πετούσαν κοντά στις ανεμογεννήτριες).

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών απαιτεί ένα μεγάλο πεδίο επιστημονικής βάσης που στηρίζεται κυρίως στην αεροδυναμικής, τη δυναμική κατασκευών, τη μηχανολογία και την ηλεκτρολογία [2.13]. Επομένως, δεδομένου ότι ξεφεύγει από το σκοπό της παρούσας εργασίας η αναλυτική τεχνική περιγραφή, θα γίνει προσπάθεια μιας σύντομης επισκόπησης της παρούσας κατάστασης στον τεχνολογικό, περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό τομέα.

Ανεμογεννήτριες

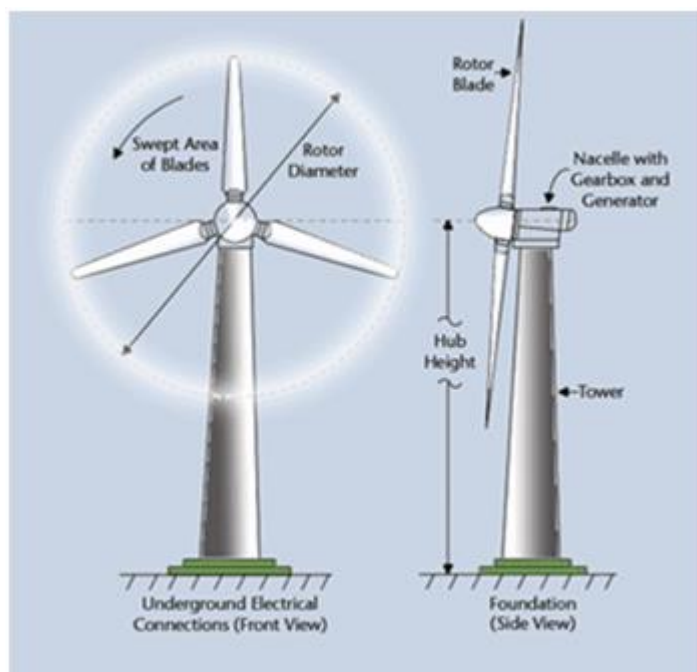
Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες [2.13]:

- Οριζόντιου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου του εδάφους.
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

Οι ανεμογεννήτριες αγγίζουν τη μέγιστη απόδοση σε ταχύτητες ανέμου 12 – 16m/s. Στις ταχύτητες αυτές, η παραγωγή ενέργειας προσεγγίζει την ονομαστική τιμή. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες η παραγόμενη ισχύς του δρομέα είναι αναγκαίο να περιοριστεί.

Κάθε ανεμογεννήτρια αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα [2.13]:

- 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



Σχήμα 2.3: Δομή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

Πύργος:

Ο πύργος της ανεμογεννήτριας στηρίζει την έλικα και την άτρακτο η οποία περιέχει το μηχανικό φρένο, το κιβώτιο ταχυτήτων, τη γεννήτρια και το μηχανισμό

περιστροφής. Το ύψος του πύργου κατά το παρελθόν κυμαινόταν στο εύρος των 25 – 55m. Την τελευταία δεκαετία όμως το ύψος αυτό έχει φτάσει να ανέρχεται ακόμα και στα 115m. Για ανεμογεννήτριες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, ο πύργος είναι ελαφρά ψηλότερος από τη διάμετρο της έλικας. Για ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους όμως ο πύργος είναι λίγες φορές μεγαλύτερος από τη διάμετρο της έλικας, για να αποφεύγεται το φτωχό αιολικό περιεχόμενο σε μικρά ύψη πάνω από το έδαφος. Οι πύργοι που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας είναι είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε μεταλλικοί. Η κατασκευή τους είναι συνηθέστερα σωληνωτή και πιο σπάνια δικτυωτή.

Το κύριο μέλημα στην κατασκευή του πύργου είναι η δυναμική του συμπεριφορά. Οι ταλαντώσεις του και οι περιοδικές καταπονήσεις του, που προέρχονται από τις διακυμάνσεις του ανέμου, πρέπει όσο το δυνατό να ελαχιστοποιούνται κατά τη σχεδίασή του. Βασικής σημασίας για την επιλογή του πύργου είναι ο προβλεπόμενος τρόπος μεταφοράς και εγκατάστασής του σε συνδυασμό με την όλη συναρμολόγηση και της ανεμογεννήτριας.

Έλικα και πτερύγια:

Ο δρομέας (ή έλικα) αποτελείται στους σύγχρονους ανεμοκινητήρες από 2 ή 3 πτερύγια τα οποία έχουν την αεροδυναμική μορφή των ελίκων αεροπλάνων με αρκετή συστροφή και συνεχή μείωση της διατομής τους από την βάση προς τα άκρα. Η σταθερή μηχανική καταπόνηση που οφείλεται στις φυγόκεντρες δυνάμεις καθώς και αυτή που οφείλεται στις ταλαντώσεις των πτερυγίων, κάνουν το σχεδιασμό των πτερυγίων τον πιο αδύναμο μηχανικό σύνδεσμο του συστήματος.

Η στήριξη των πτερυγίων της έλικας στον άξονα του δρομέα μπορεί να είναι σταθερή (πτερύγιο σταθερού βήματος) ή μεταβλητή δηλαδή να είναι δυνατή η περιστροφή του στο σημείο εδράσεως (πτερύγιο μεταβλητού βήματος). Επίσης, το πτερύγιο μπορεί να αποτελείται από δύο τμήματα, ένα τμήμα σταθερό στηριζόμενο στον άξονα και ένα επιπλέον ρυθμιζόμενο ακροπτερύγιο. Οι παραπάνω παραλλαγές είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο ισχύος – ταχύτητας περιστροφής του ανεμοκινητήρα καθώς και για την ασφάλεια της λειτουργίας του.

Η τεχνολογία κατασκευής των πτερυγίων βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη και πολλά είδη υλικών έχουν χρησιμοποιηθεί. Για τους μικρούς ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, για τους μεσαίου μεγέθους υαλονήματα σε πολλαπλές στρώσεις και εναλλαγή κατευθύνσεων και για τους μεγάλους ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται τεχνολογίες ελίκων αεροπλάνων (ανθρακονήματα κλπ).

Μηχανισμός περιστροφής και προσανατολισμού:

Ο μηχανισμός περιστροφής και προσανατολισμού, συνεχώς στρέφει την έλικα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Θεωρητικές μελέτες υπαγορεύουν τον ελεύθερο ρυθμό περιστροφής της έλικας, όσο το δυνατό περισσότερο. Από την άλλη μεριά όμως, τα στρεφόμενα πτερύγια έχοντας μεγάλες σταθερές αδράνειας παράγουν υψηλές γυροσκοπικές ροπές κατά τη διάρκεια του προσανατολισμού, που συχνά έχουν ως αποτέλεσμα υψηλό θόρυβο. Πολύ γρήγορος προσανατολισμός, μπορεί να προκαλέσει θόρυβο που υπερβαίνει τα τοπικά αποδεκτά όρια. Συνεπώς, απαιτείται ένας ελεγχόμενος ρυθμός προσανατολισμού.

Έλεγχος ταχύτητας:

Η ταχύτητα του δρομέα πρέπει να ελέγχεται για τρεις λόγους:

- Μέγιστη απόληψη ισχύος από τον άνεμο
- Προστασία του δρομέα, της γεννήτριας και των ηλεκτρονικών ισχύος από υπερφόρτιση σε συνθήκες υψηλού ανέμου
- Προστασία του δρομέα από υπερταχύτητα κατά τη διάρκεια αποσύνδεσης ή άλλου φαινομένου

Μπορούν να διακριθούν οι εξής περιοχές για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου [2.13]:

- Την ταχύτητα σύνδεσης της ανεμογεννήτριας (cut – in speed), στην οποία αρχίζει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ.
- Την περιοχή βέλτιστου αεροδυναμικού συντελεστή (constant maximum C_p region), όπου η ταχύτητα περιστροφής μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου έτσι ώστε η απόληψη ισχύος από τον άνεμο να βελτιστοποιείται.
- Την περιοχή σταθερής ισχύος εξόδου (constant power output region).
- Την ταχύτητα αποσύνδεσης (cut – out speed).

Τα υποσυστήματα μιας ανεμογεννήτριας είναι τα εξής: το μηχανικό, το ηλεκτρικό και το σύστημα ελέγχου

Μηχανικό σύστημα:

Το μηχανικό σύστημα περιλαμβάνει κυρίως τον ανεμοκινητήρα και αποτελεί το σύστημα μετατροπής της ενέργειας του ανέμου σε μηχανική. Συνήθως, μεταξύ του ανεμοκινητήρα και της γεννήτριας μεσολαβεί μία διάταξη μεταφοράς της κίνησης, η οποία περιλαμβάνει τον πολλαπλασιαστή στροφών και τους συνδέσμους προς τον ανεμοκινητήρα ή την γεννήτρια.

Ηλεκτρικό σύστημα:

Το ηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει τη γεννήτρια και ενδεχομένως ένα μετατροπέα ισχύος, που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου ή του

φορτίου, όπως π.χ. ένα μετατροπέα AC-DC-AC για τον έλεγχο της ροής ισχύος. Η γεννήτρια μπορεί να είναι σύγχρονη, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης είναι ακριβώς ανάλογη των στροφών, ή ασύγχρονη, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης δεν είναι μεν ακριβώς ανάλογη των στροφών αλλά αυξάνεται πολύ λίγο με το φορτίο (μέχρι 3%) ώστε και πάλι να μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή. Μία εναλλακτική επιλογή είναι η χρησιμοποίηση γεννήτριας συνεχούς ρεύματος με παρεμβολή αντιστροφέα.

Οι συνηθέστεροι τύποι ανεμογεννητριών με τη διαμόρφωση του ηλεκτρικού μέρους είναι:

- Σταθερών στροφών, με ασύγχρονη γεννήτρια κλωβού, απ' ευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο (πολύ σπάνια).
- Μεταβλητών στροφών, με ασύγχρονη γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα, μεταβλητής αντίστασης, απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο.
- Μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης.
- Μεταβλητών στροφών με σύγχρονη γεννήτρια με τύλιγμα διεγέρσεως ή μόνιμο μαγνήτη.

Σύστημα ελέγχου:

Το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας είναι το συνολικό σύστημα εποπτείας (supervision management) και περιλαμβάνει και επιμέρους συστήματα ελέγχου, όπως της κλίσης των πτερυγίων (pitch control), των μετατροπέων ισχύος, της γεννήτριας και της περιστροφής της ατράκτου (yaw control). Το σύστημα ελέγχου προσαρμόζει τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας στις εκάστοτε συνθήκες ανέμου, επιτηρεί την ασφάλεια και μεγιστοποιεί την απόδοσή της. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου παρουσιάζει συνεχή αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια και αποτελεί βασικό κριτήριο εξέλιξης των ανεμογεννητριών.

Οι βασικές λειτουργίες ελέγχου είναι οι ακόλουθες [2.14]:

- Οι λειτουργίες που αφορούν στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας, όταν η ταχύτητα του ανέμου σταθεροποιηθεί πάνω από ένα όριο και αντίστοιχα το σταμάτημά της όταν η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί κάτω από ένα όριο.
- Οι λειτουργίες ελέγχου που αποσκοπούν στον προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας ώστε το επίπεδο περιστροφής της έλικας να βρίσκεται συνεχώς κάθετα προς την διεύθυνση του ανέμου. Ο έλεγχος αυτός δεν αφορά τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, οι οποίες δεν απαιτούν οποιοδήποτε σύστημα προσανατολισμού πράγμα που αποτελεί και ένα από τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.
- Οι λειτουργίες και τα αντίστοιχα τμήματα ασφάλειας με τα οποία επιτυγχάνεται το σταμάτημα της περιστροφής (πέδηση) της ανεμογεννήτριας και η στροφή των πτερυγίων της έλικας, ώστε να

παρουσιάζουν την ελάχιστη αντίσταση όταν η ταχύτητα του ανέμου φτάσει το όριο αντοχής της σε μηχανική καταπόνηση.

- Τις λειτουργίες ελέγχου στροφών της ανεμογεννήτριας, όταν πρόκειται για ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών.
- Οι λειτουργίες ελέγχου για την μη υπέρβαση της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί μία ορισμένη τιμή. Ο έλεγχος αυτός γίνεται συνήθως στον ανεμοκινητήρα (pitch control, stall control).

Σύνδεση ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο

Με την αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, η διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες καθώς και η επιρροή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί ένα σοβαρό θέμα καθώς κάθε δίκτυο διανομής είναι σχεδιασμένο με ένα μοναδικό τρόπο. Η ηλεκτρική παραγωγή από τις ανεμογεννήτριες, παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις στο πεδίο του χρόνου, εξαιτίας της αστάθειας της ταχύτητας του ανέμου.

Οι διαταραχές που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες είναι ανάλογες εκείνων που προκαλούνται από τα συνήθη φορτία και αναφέρονται στο σημείο σύνδεσής τους στο δίκτυο διανομής (XT ή MT). Ανεξάρτητα, ωστόσο, από το σημείο σύνδεσής τους, οι διαταραχές αυτές διακρίνονται [2.14]:

- Στις διαταραχές που συμβαίνουν κατά την κανονική λειτουργία και έχουν επίπτωση στην σταθερότητα της τάσης του δικτύου και διακρίνονται στις:
 - Αργές μεταβολές της τάσης, οι οποίες προκαλούνται λόγω της αλλαγής στη ροή των φορτίων κατά τη λειτουργία των ανεμογεννητριών.
 - Ταχείες μεταβολές της τάσης, οι οποίες διατηρούνται για πολύ μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.
 - Διακυμάνσεις της τάσης, λόγω των συνεχών ταχέων μεταβολών της παραγόμενης ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις αντίστοιχες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου ή και σε συνεχείς ταλαντώσεις.
- Στις επιπτώσεις που έχει η ύπαρξη των ανεμογεννητριών κατά τη διάρκεια μη ομαλής λειτουργίας του δικτύου, οπότε η ύπαρξή τους είναι ενδεχομένως να προκαλέσει:
 - Ανωμαλίες στην ορθή λειτουργία των προστασιών του δικτύου.
 - Απαράδεκτες καταπονήσεις λόγω «απομονωμένης λειτουργίας» τμήματος του δικτύου, το οποίο απομονώνεται από την τροφοδότησή του, αλλά παραμένει τροφοδοτούμενο από τις ανεμογεννήτριες με τάση και συχνότητα που μπορεί να απέχουν σημαντικά από τις ονομαστικές τους τιμές.

Οι διακυμάνσεις που προκαλούνται από τις απότομες ριπές των ανέμων, προκαλούν αλυσιδωτά και διακυμάνσεις στο προφίλ της παραγόμενης τάσης εξόδου, που με τη σειρά της προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μερικώς με τη χρησιμοποίηση γεννητριών μεταβαλλόμενης ταχύτητας, καταφέροντας μια ομαλότερη ισχύ εξόδου.

Υπάρχουν βέβαια και άλλες τεχνικές απόσβεσης τέτοιων φαινομένων. Μια από αυτές είναι η εγκατάσταση σε ένα αιολικό πάρκο αρκετών ανεμογεννητριών. Η συνολική ισχύς εξόδου είναι εξομαλυσμένη καθώς οι ριπές ανέμου δε προσπίπτουν σε όλες τις ανεμογεννήτριες. Κατ' αυτό τον τρόπο και κάτω από ιδανικές συνθήκες οι διακυμάνσεις της παραγόμενης ισχύος μειώνονται κατά ένα συντελεστή $\nu^{-\frac{1}{2}}$, όπου ν ο αριθμός των ανεμογεννητριών.

2.4.3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

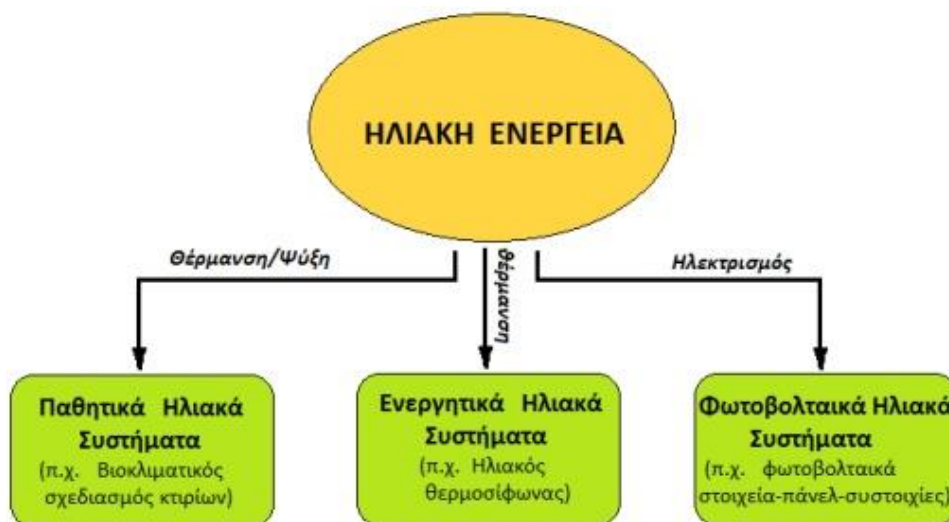
Ηλιακή Ενέργεια

Ο ήλιος είναι η πιο πλούσια και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ωστόσο, το πλειοψηφικό ποσοστό της παραμένει ανεκμετάλλευτο. Με απτά αριθμητικά δεδομένα εκτιμάται ότι το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης σε μια ημέρα είναι 10000 με 15000 φορές περισσότερο από τη συνολική παγκόσμια κατανάλωση. Μέσα σε μια ώρα η γη λαμβάνει αρκετή ηλιακή ενέργεια ώστε να καλύψει συνολικά τις ενεργειακές της ανάγκες για ένα περίπου έτος. Η ηλιακή ενέργεια που πέφτει πάνω σε ένα τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο ισοδυναμεί ενεργειακά με ένα βαρέλι πετρέλαιο, που εν αντιθέσει με τον ήλιο αποτελεί ρυπογόνα και συμβατική πηγή ενέργεια με αποθέματα που διαρκώς μειώνονται.

Η ηλιακή ενέργεια έχει θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Τα διαθέσιμα ενεργειακά αποθέματα του ήλιου είναι τόσο μεγάλα που δημιουργούν αξιόλογες δυνατότητες και προοπτικές αξιοποίησης για την παραγωγή «καθαρής» ηλεκτρικής ενέργειας με φθηνότερο κόστος συντήρησης και λειτουργίας και περιβαλλοντικά συμβατές διαδικασίες παραγωγής, που θα επιχειρήσουν να θέσουν κάποια αναχώματα στην αλόγιστη καταστροφή του περιβάλλοντος και την κατασπατάληση των υπαρχόντων αποθεμάτων συμβατικής ενέργειας.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες [2.16]: Παθητικά Ηλιακά Συστήματα και Ενεργά Ηλιακά Συστήματα

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών καταστάσεων και στη δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας ή χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό σε κίνηση. Στα ενεργά ηλιακά συστήματα συγκαταλέγονται αυτά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (Θερμοσιφωνικά Συστήματα) και αυτά που μετατρέπουν το ηλιακό φως απ' ευθείας σε ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκά Συστήματα).



Σχήμα 2.4: Ηλιακά Συστήματα

Στα θερμοσιφωνικά συστήματα περιλαμβάνονται τα κοινής χρήσεως θερμοσιφωνικά συστήματα, δηλαδή, οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και οι λιγότερο διαδεδομένοι (τουλάχιστον στη χώρα μας) παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες. Μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία προκειμένου να θερμάνουν το θερμικό ρευστό μιας θερμικής μηχανής, είναι τα ηλιακά θερμικά εργοστάσια.

Ένας διαφορετικός τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, ο οποίος αναπτύχθηκε μέσα στο δεύτερο ήμισυ του 20^{ου} αιώνα, είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος.

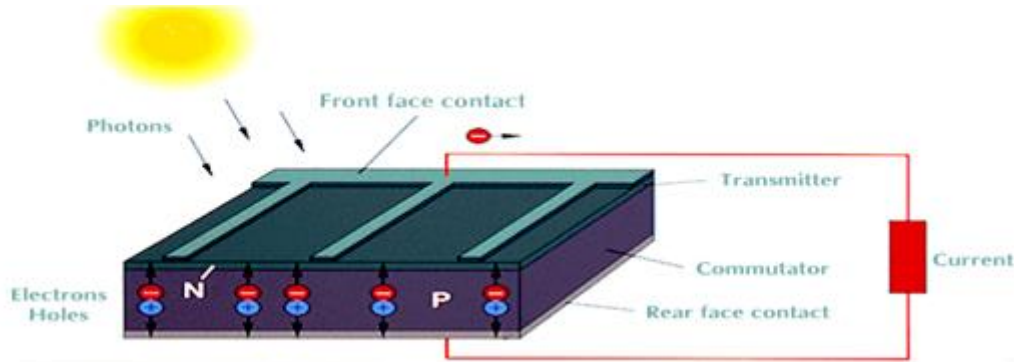
Τα ηλιακά στοιχεία (μια ένωση $p - n$) βασίζουν τη δημιουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανεμημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά κατά την οποία προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργειας μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί από ένα χημικό δεσμό και να δημιουργήσει ένα ζεύγος ελεύθερων φορέων, δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας και μία οπή στη ζώνη σθένους. Οι φορείς αυτοί καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης $p - n$ οπότε θα δεχτούν την επίδραση του ενσωματωμένου της ηλεκτροστατικού πεδίου [2.17].

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p , με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Για την κατανόηση του μηχανισμού μπορεί να θεωρηθεί ότι τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν σφαίρες μάζας m_e που κυλούν πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο ενώ οι οπές συμπεριφέρονται σαν φυσαλίδες που αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό. Στο μοντέλο αυτό το ηλεκτρόνιο ελαχιστοποιεί τη δυναμική του ενέργεια κινούμενο προς τα κάτω ενώ η φυσαλίδα ελαχιστοποιεί τη δυναμική της ενέργεια κινούμενη προς τα πάνω σε ένα διάγραμμα δυναμικής ενέργειας [2.17].

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μίας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων ειδών, πχ. από διόδους ετεροενώσεων $p - n$ διαφορετικών ημιαγωγών ή από διόδους Schottky που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο [2.17].

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνειά τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Στην συνέχεια από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του

ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειάς τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται σαν κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα [2.17].



Σχήμα 2.5: Μηχανισμός εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες [2.17]:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα πυριτίου «μεγάλου πάχους»:
 - Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
 - Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
 - Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου
- Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film:
 - Άμορφου πυριτίου
 - Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe_2 ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
 - Τελουριούχου καδμίου (CdTe)
 - Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)
- Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία και άλλες τεχνολογίες (οργανικά/πολυμερή στοιχεία, νανοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου, nc – Si).

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, λοιπόν, περιλαμβάνουν πολλά ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα καθώς επίσης και διατάξεις ελέγχου και προστασίας ή και μετατροπής του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) σε εναλλασσόμενο (ΕΡ).

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι [2.16]:

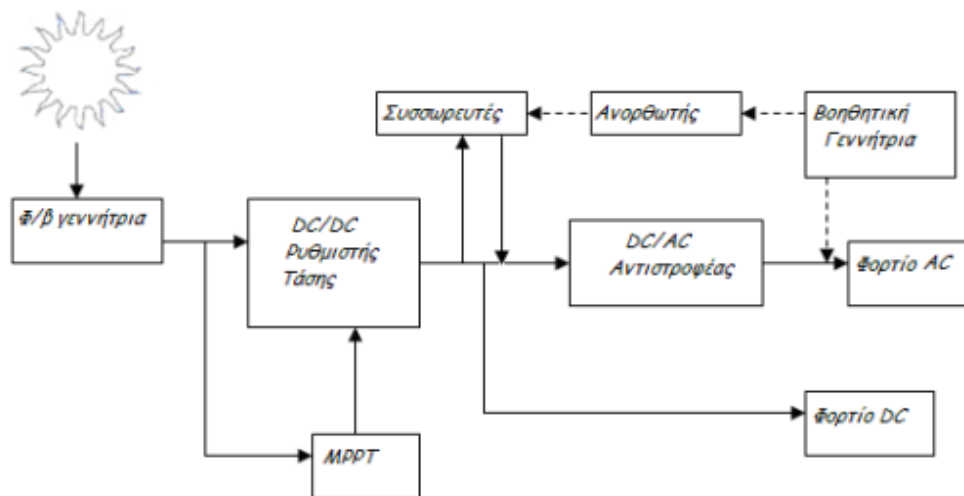
- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλαδή μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.

Τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τα απομονωμένα (Stand-alone) ή εκτός δικτύου (Off grid) συστήματα και
- Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid connected).

Τα απομονωμένα Φ/Β συστήματα διακρίνονται επίσης σε αυτόνομα και υβριδικά. Όσο αφορά στη λειτουργία τους, τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε συστήματα με αποθήκευση και χωρίς αποθήκευση. Τέλος, χωρίζονται σε διάσπαρτα ή αποκεντρωμένα (Decentralized), κεντρικού σταθμού (Centralized) και καταναμημένα (Distributed).

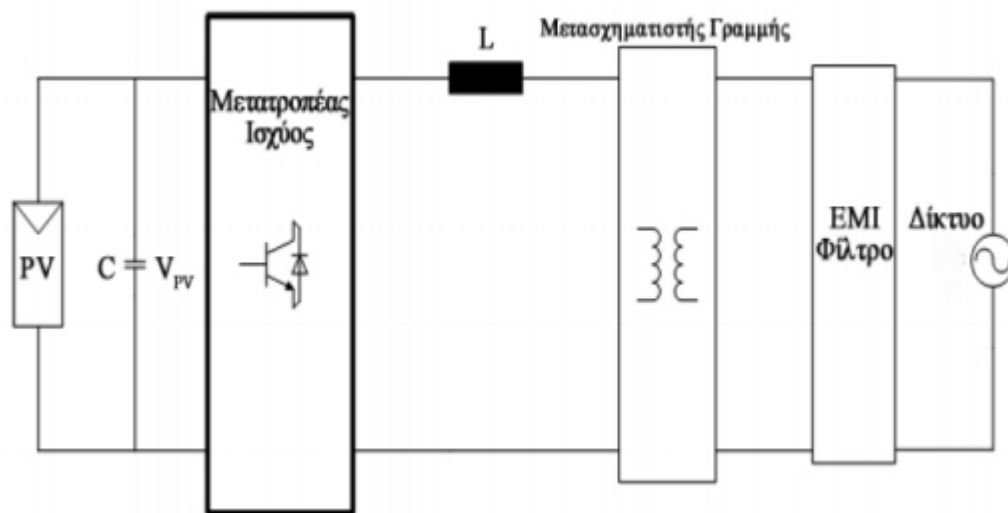
Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα (Stand Alone):



Σχήμα 2.6: Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Οι αυτόνομες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν τις συνηθέστερες εφαρμογές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούν την ιδανικότερη λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο και στις οποίες η διασύνδεσή τους με αυτό θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια. Ειδικότερα για τον ελλαδικό χώρο, ο οποίος έχει πολυάριθμα μικρά νησιά και μικρούς οικισμούς, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν βρει πολλές εφαρμογές, ενώ υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες ανάπτυξης.

Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος. Αποτελείται καταρχήν από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία είναι και το βασικότερο συστατικό του συστήματος, αφού εκεί γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έπειτα περιλαμβάνει συσσωρευτές για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, σε περιόδους όπου η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζει περίσσεια και για τη χρησιμοποίησή της όταν η παραγωγή είναι ανεπαρκής. Όπως είναι κατανοητό, η χωρητικότητα των μπαταριών είναι δεδομένη και υπάρχει το ενδεχόμενο να μην καλύπτουν τις ανάγκες του φορτίου σε παρατεταμένες περιόδους συννεφιάς ή σε περίπτωση βλάβης του συστήματος. Από την άλλη, η επιλογή συσσωρευτών πολύ μεγάλης χωρητικότητας κρίνεται οικονομικά ασύμφορη. Η ιδανικότερη λύση είναι μια βοηθητική γεννήτρια, συνήθως ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που λειτουργεί με καύση βενζίνης ή πετρελαίου diesel, η οποία τίθεται σε λειτουργία όταν είναι αναγκαίο. Συχνά τα συστήματα αυτά καλούνται υβριδικά Φ/Β συστήματα και μπορεί να περιέχουν και άλλες βοηθητικές πηγές ενέργειας (π.χ. ανεμογεννήτριες). Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης. Τέλος αναπόσπαστα συστατικά ενός αυτόνομου συστήματος είναι οι διατάξεις για τη μετατροπή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των Φ/Β στοιχείων σε κατάλληλη μορφή για την τροφοδότηση των φορτίων, οι οποίες περιέχουν έναν DC/DC μετατροπέα σε συνδυασμό με έναν ανιχνευτή μεγίστου (MPPT) και έναν DC/AC αντιστροφέα. Ακολούθως φαίνεται ένα τυπικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο.



Σχήμα 2.7: Τυπικό μοντέλο Φ/Β συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο

Το συνδεδεμένο στο δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται βασικά από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια (σύνολο πλαισίων) «PV» και μια μονάδα μετατροπής ισχύος (αντιστροφέας). Το παραπάνω Σχήμα 2.7 παρουσιάζει ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει έναν πυκνωτή C , ένα πηνίο L , έναν μετασχηματιστή, ένα φίλτρο EMI και το δίκτυο.

Μετά τον αντιστροφέα παρατηρείται το πηνίο γραμμής L, που απαιτείται για τον έλεγχο του ρεύματος που εγχέεται στο δίκτυο.

Ο αντιστροφέας περιλαμβάνει επίσης το μετασχηματιστή και το φίλτρο EMI. Τα πρώτα Φ/Β συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για οικιακή χρήση περιλάμβαναν έναν μονοφασικό αντιστροφέα με έναν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (Low Frequency - LF) που τοποθετείται μεταξύ του αντιστροφέα και του δικτύου. Αυτός ο μετασχηματιστής απαιτείται από όλους σχεδόν τους εθνικούς κανονισμούς και εγγυάται τη γαλβανική απομόνωση μεταξύ του δικτύου και των φωτοβολταϊκών συστημάτων, παρέχοντας προστασία. Επιπλέον, παρέχει απομόνωση μεταξύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και του εδάφους. Επίσης, εξασφαλίζει δεν εγχέεται συνεχές ρεύμα στο δίκτυο, γεγονός που θα μπορούσε να προκαλέσει κορεσμό στον μετασχηματιστή διανομής. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της τάσης εξόδου των αντιστροφεών. Εντούτοις, οι μετασχηματιστές LF αυξάνουν το βάρος, το μέγεθος και το κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος και μειώνουν την απόδοσή του.

Η εναλλακτική λύση είναι να αντικατασταθούν οι LF μετασχηματιστές με υψηλής συχνότητας (High Frequency – HF) μετασχηματιστές τοποθετημένους στο συνεχές τμήμα του αντιστροφέα. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται πάλι

γαλβανική απομόνωση μεταξύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του δικτύου. Οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας έχουν μικρότερο βάρος, μέγεθος και κόστος. Εντούτοις, είναι πιο πολύπλοκοι και καμιά ουσιαστική βελτίωση δεν παρατηρείται στη γενική απόδοση του συστήματος.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει πιθανό να παραληφθεί ο μετασχηματιστής χωρίς αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά των συστημάτων όσον αφορά την ασφάλεια. Μερικές χώρες, όπως η Γερμανία, επιτρέπουν τη χρήση αντιστροφών χωρίς μετασχηματιστή (transformerless) και άλλες σκέφτονται σοβαρά να αλλάξουν τους κανονισμούς προς αυτή την κατεύθυνση. Επομένως, είναι αρκετά πιθανό ότι πολλά από τα μελλοντικά φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο να μην περιλαμβάνουν μετασχηματιστή.

Τέλος, παρατηρείται το EMI φίλτρο, το οποίο μειώνει την ανισορροπία μεταξύ των παρασιτικών χωρητικότητων του συστήματος, την ανισορροπία μεταξύ των τιμών των σύνθετων αντιστάσεων γραμμής, την έλλειψη συγχρονισμού στη διακοπτική λειτουργία των δύο σκελών της γέφυρας πλήρους κύματος του αντιστροφέα, την ανισορροπία στη συμπεριφορά των διακοπών και τις καθυστερήσεις στους οδηγούς διακοπών. Τα φαινόμενα αυτά κάνουν απαραίτητη τη χρήση φίλτρου EMI. Στην πραγματικότητα θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στο φάσμα υψηλής συχνότητας.

2.4.3.3 ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ

Η χρήση της ενέργειας των υδατοπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι γνωστή εδώ και αρκετά χρόνια και σημαντικός αριθμός υδροηλεκτρικών έργων έχουν κατασκευαστεί τόσο στη χώρα μας όσο και στις υπόλοιπες χώρες. Για να περιοριστούν οι επιδράσεις στο περιβάλλον από την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων τα προγράμματα επιχορηγήσεων καθώς και οι νόμοι για τις ΑΠΕ, ορίζουν ένα μέγιστο μέγεθος για τα όρια της Μικρής Υδροηλεκτρικής παραγωγής. Για τη χώρα μας όπως και για την Ευρωπαϊκή επιτροπή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ESHA) το όριο αυτό είναι 10 – 15MW. Ειδικά οι ΥΗΣ με ονομαστική ισχύ μικρότερη από 1 MW χαρακτηρίζονται ως Mini ΥΗΣ [2.9].

Τα έργα αυτά είτε λειτουργούν με τη φυσική ροή του ρεύματος ενός ποταμού είτε απαιτούν φράγματα μικρής χωρητικότητας οπότε περιορίζεται η επίδραση στο φυσικό περιβάλλον. Ο ανάντη ταμιευτήρας περιορίζεται σε μία δεξαμενή που εξυπηρετεί τις ανάγκες υδροληψίας του και μόνο και διαθέτουν και συνήθως έναν υπερχειλιστή.

Για αυτό και σε αντίθεση με μεγάλα Υδροηλεκτρικά μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρότερο χρονικό διάστημα και με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένας μεγάλος ΥΗΣ συνήθως υπερδιαστασιολογείται, με σκοπό τη

μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη των αιχμών ζήτησης, γεγονός που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και μικρότερες τιμές του συντελεστή φορτίου. Αποτέλεσμα αυτού είναι η διόγκωση των έργων του πολιτικού μηχανικού και επομένως σημαντική επιβάρυνση του κόστους του έργου. Αντιθέτως, ένα μικρό ΥΗΕ δε δύναται να ανακουφίζει τις αιχμές ισχύος και για το λόγο αυτό η διαστασιολόγησή του γίνεται με βάση την οικονομική βιωσιμότητα.

Γενικά πλεονεκτήματα των ΥΗΣ είναι ότι:

- Η τεχνολογία τους είναι γνωστή και δοκιμασμένη από την αρχή του προηγούμενου αιώνα, με τους συντελεστές απόδοσης των στροβίλων σήμερα να ξεπερνούν το 90%.
- Δυνατότητα άμεσης σύνδεσης – απόζευξης στο δίκτυο.
- Αυτόνομη λειτουργία.
- Παραγωγή ενέργειας άριστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις.
- Τα διάφορα έργα υποστήριξης του σταθμού έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα φράγματα δύναται να λειτουργήσουν περισσότερο από 100 χρόνια με ελάχιστη μόνο συντήρηση.
- Φιλικότητα προς το περιβάλλον με μηδενικές εκπομπές ρύπων και περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευση, κτλ.).

Και τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Η έλλειψη επαρκών υδρολογικών στοιχείων ή η το υψηλό κόστος απόκτησής τους.
- Οι πολλές αλληλοσυγκρουόμενες χρήσεις του νερού και η εμπλοκή σε νομικής φύσεως θέματα όσον αφορά την κατασκευή και εκμετάλλευση του έργου.

Λόγω της έλλειψης μεγάλων φραγμάτων η παροχή νερού αναμένεται να έχει περισσότερες διακυμάνσεις από ότι τα Μεγαλύτερα Υδροηλεκτρικά έργα στην ημερήσια παραγωγή τους. Έτσι, όταν η φυσική εισροή κυμαίνεται μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής για ομαλή λειτουργία του υδροστροβίλου (αυτή εξαρτάται από τον τύπο και από το μέγεθος του υδροστροβίλου) τότε η μονάδα λειτουργεί και παράγει ενέργεια. Στην περίπτωση που η παροχή είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη, ο υδροστροβίλος εργάζεται στη μέγιστη παροχή και η περίσσεια του νερού διαφεύγει αναξιοποίητη. Όταν η παροχή του υδατορεύματος είναι μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπόμενη για τη λειτουργία του υδροστροβίλου, η μονάδα παραμένει κλειστή και η παροχή υπερχειλίζει τον εκχειλιστή και διαφεύγει ανεκμετάλλευτη.

Η χρήση έστω λίγο μεγαλύτερου ταμιευτήρα μπορεί να συμβάλλει στην εξομάλυνση της παραγωγής ειδικότερα μέσα στη διάρκεια ενός έτους, καθώς έχει

παρατηρηθεί ότι σε μικρά ποτάμια στη Νότια Ευρώπη το 80% του όγκου νερού διοχετεύεται κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου [2.18].

Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές είναι σύγχρονες συνήθως με έκτυπους πόλους και χαμηλή ταχύτητα περιστροφής αν και σε εγκαταστάσεις μικρότερης ισχύος χρησιμοποιούνται και ασύγχρονες.

2.4.4 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

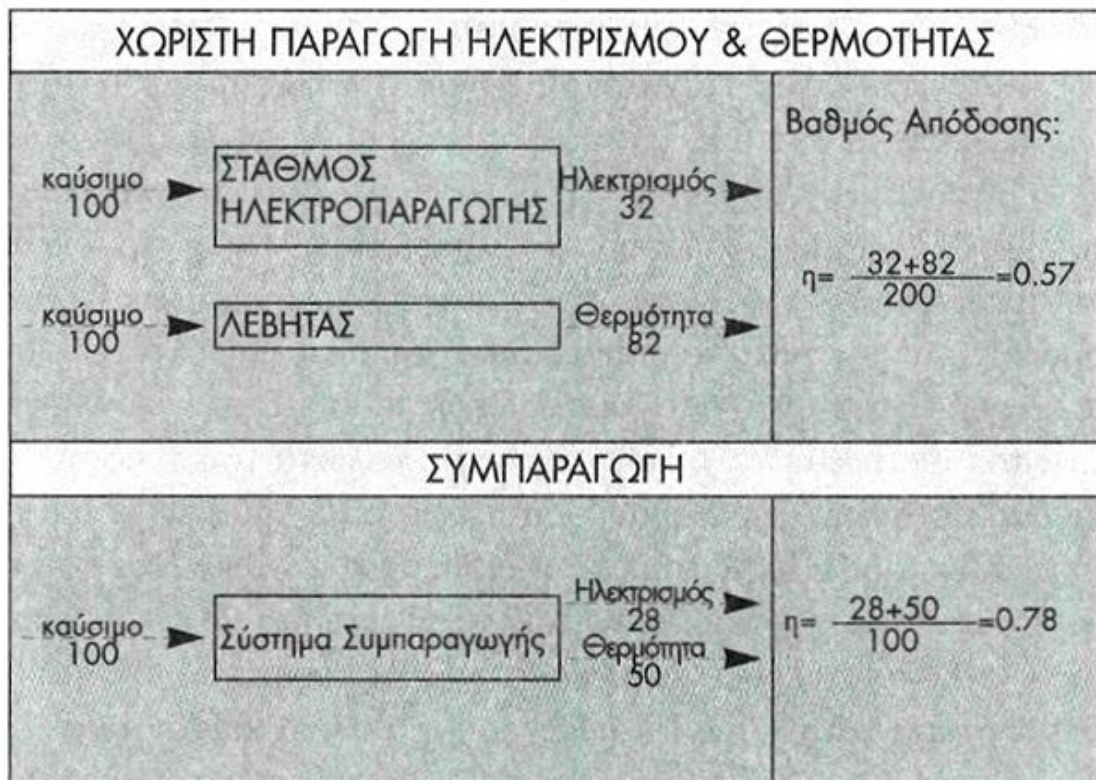
Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου σε λέβητες ή κλιβάνους για την παραγωγή θερμότητας. Όμως, η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντική εάν εφαρμοσθεί η Συμπαραγωγή ή Συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας ή εν συντομία ΣΗΘ (στα αγγλικά Cogeneration ή Combined Heat and Power, CHP).

Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τέσσερα στοιχεία [2.19]:

- 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.

Τα εργοστάσια ΣΗΘ, είναι εργοστάσια ισχύος, όπου η θερμότητα είναι το αρχικό προϊόν και ο ηλεκτρισμός παράγεται ως υποπροϊόν ή εναλλακτικά, ο ηλεκτρισμός είναι το αρχικό προϊόν και η συσσωρευμένη θερμότητα ξαναχρησιμοποιείται ως υποπροϊόν για χρήση όπως, θέρμανση περιοχής. Τα συστήματα παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την κοινή πρακτική, όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε ένα κεντρικό σταθμό, ενώ χρησιμοποιείται επιτόπιος εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης για την κάλυψη των αναγκών σε μη ηλεκτρική ενέργεια. Επειδή η ΣΗΘ εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν κατά τη συμβατική διακριτή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, η συνολική απόδοση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων. Ένα

επιπλέον πλεονέκτημά που προσφέρουν οι τεχνολογίες ΣΗΘ είναι, ότι οι μονάδες μπορούν να εγκατασταθούν στο σημείο που είναι αναγκαία η παροχή ενέργειας (on – site). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς. Επίσης, η ΣΗΘ είναι ευπροσάρμοστη και μπορεί να συνδυαστεί με υπάρχουσες ή καινούργιες τεχνολογίες στον βιομηχανικό, εμπορικό, και οικιστικό τομέα. Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της συμπαραγωγής με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8: Χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού – θερμότητας και Συμπαραγωγή

Πρέπει να αναφέρουμε τον υπολογισμό των βαθμών απόδοσης:

- **Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:**

$$n_{el} = \frac{Q_E}{W_F}$$

Όπου:

Q_E : Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (kW)

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

- **Θερμικός βαθμός απόδοσης:**

$$n_{th} = \frac{Q_{th}}{W_F}$$

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):

$$EUF = \frac{Q_E + Q_{th}}{W_F}$$

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

$$HPR = \frac{Q_{th}}{Q_E}$$

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, καθόσον 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 CO₂, NO_x και SO_x.

2.4.4.1 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μετά από έρευνα που έγινε σε 300 εργοστάσια, φάνηκε ότι η ΣΗΘ είναι η πιο αποδοτική ενεργειακά και οικονομικά λύση. Συγκεκριμένα, η απόδοσή της ξεπερνά το 80%. Επιπλέον, η πηγή ενέργειας είναι συχνά η αποβαλλόμενη θερμότητα με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι πρόσθετες εκπομπές στην περιοχή. Στα εργοστάσια, οι συνολικές οικονομίες ξεπέρασαν το ένα εκατομμύριο KWh/έτος και αυτό

οφείλεται αποκλειστικά στα συστήματα ΣΗΘ. Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διάδοση της συμπαραγωγής είναι τα εξής [2.19]:

- Οφέλη στο σύστημα ηλεκτρισμού και την οικονομία:
Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η μελλοντική αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, απαιτείται η κατασκευή νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η διάδοση της συμπαραγωγής αυξάνει το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής και περιορίζει τις ανάγκες κατασκευής νέων κεντρικών σταθμών, προσφέροντας έτσι σημαντική χρηματική εξοικονόμηση. Καθώς τα συστήματα συμπαραγωγής έχουν μικρότερο μέγεθος και βραχύτερο χρόνο εγκατάστασης από τους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς, προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε απρόβλεπτες μελλοντικές μεταβολές της ζήτησης ηλεκτρισμού. Ο μικρός χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής συντελεί επίσης σε περιορισμό του χρηματοοικονομικού κόστους, που συμβάλλει με τη σειρά του στη μείωση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί συμπαραγωγής σχεδιάζονται για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, μειωμένες απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία του συστήματος. Επιπλέον, η απελευθερωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιδράσει θετικά στην οικονομία τόσο των χωρών, όσο και των εταιρειών.
- Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη:
Χάρη στην αποδοτικότερη εκμετάλλευση του καυσίμου, η συμπαραγωγή συντελεί σε άμεση μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων με την προϋπόθεση ότι το καύσιμο που χρησιμοποιείται δεν είναι κατώτερης ποιότητας από εκείνο της χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου συνοδεύεται επίσης από μια έμμεση μείωση ρύπων από τον υπόλοιπο κύκλο καυσίμου: εξόρυξη, επεξεργασία, μεταφορά, αποθήκευση. Η ποσοτικοποίηση του κόστους αυτού είναι δύσκολη και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες: τεχνολογία, καύσιμο, τοπικές συνθήκες κλπ.

Επίσης οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, δηλαδή οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή, είναι οι ακόλουθοι [2.20]:

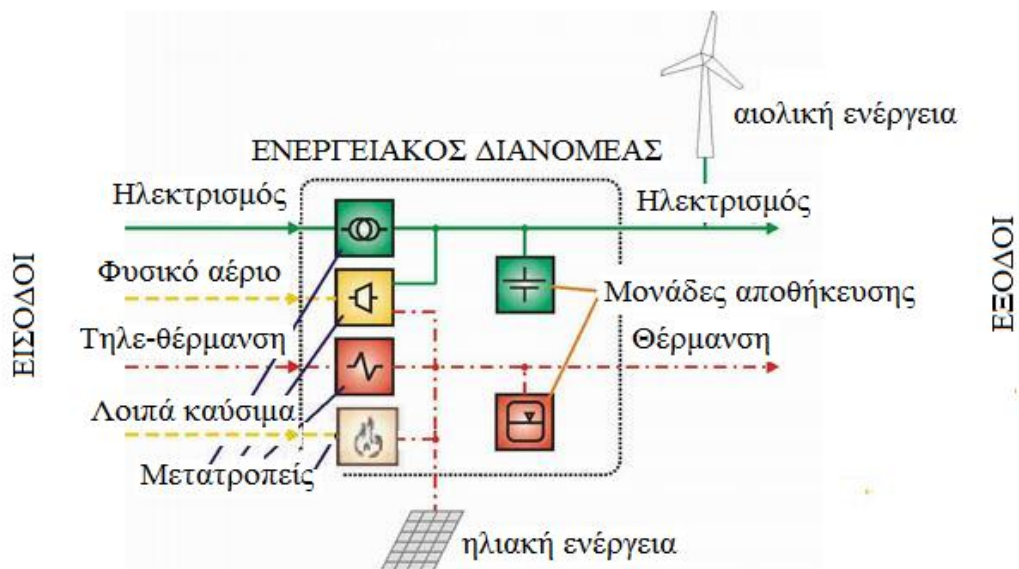
- Παραγωγή θερμότητας ίση με το θερμικό φορτίο (Heat Match):
Εάν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια περισσότερη από το φορτίο, η περίσσεια πωλείται στο εθνικό δίκτυο.

- 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:
Παρακολούθηση 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.

2.4.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΔΙΑΝΟΜΕΙΣ

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 [2.21].



Σχήμα 2.9: Τυπικός ενεργειακός διανομέας

Το παραπάνω σχήμα περιγράφει μια απλή μοντελοποίηση ενός ενεργειακού διανομέα. Πέραν όμως από αυτό το απλό παράδειγμα, αρκετές πραγματικές εγκαταστάσεις μπορεί να μοντελοποιηθούν ως ενεργειακοί διανομείς, λόγω χάριν:

- βιομηχανικές εγκαταστάσεις (χαλυβουργεία, εργοστάσια χαρτικών, διυλιστήρια),
- μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας,
- μεγάλα κτήρια (αεροδρόμια, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα),
- αγροτικές και αστικές περιοχές, χωριά, πόλεις, και
- μεμονωμένα ηλεκτρικά συστήματα (τρένα, σκάφη, αεροσκάφη).

Ένας ενεργειακός διανομέας ανταλλάσσει την ενέργεια με τα γειτονικά συστήματα διαμέσου υβριδικών θυρών, οι οποίες αποτελούνται στην πραγματικότητα από ξεχωριστές και με έναν μόνο ενεργειακό φορέα θύρες. Για παράδειγμα, ο διανομέας που παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα έχει δύο υβριδικές θύρες. Στην θύρα εισόδου, η ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο, η θέρμανση καλύπτονται από τις αντίστοιχες υποδομές. Η θύρα εξόδου παρέχει (τη μετασχηματισμένη) ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση. Γενικά, όλοι οι τύποι αέριων, υγρών, και στερεών καυσίμων καθώς επίσης και άλλες μορφές ενέργειας μπορούν να αποτελούν είσοδο (και έξοδο).

Χαρακτηριστικά, ο διανομέας τροφοδοτείται από κοινούς συνδεδεμένους ενεργειακούς φορείς όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο και η θέρμανση, οι οποίοι μετασχηματίζονται στο εσωτερικό του διανομέα. Διαφορετικές μορφές ενέργειας παρέχονται επίσης στις θύρες εξόδου. Στη βασική κατάσταση όλοι οι προαναφερόμενοι φορείς εισόδου μπορούν να διαβιβαστούν στην έξοδο χωρίς να μετατραπούν σε άλλη μορφή. Επιπλέον, η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί με σκοπό την

ψύξη, την παραγωγή συμπιεσμένου αέρα ή ατμού. Εκτός από τους προαναφερθέντες ενεργειακούς φορείς θα μπορούσαμε επίσης να εξετάσουμε την είσοδο και έξοδο των χημικών αντιδραστηρίων και προϊόντων όπως το νερό, ο αέρας (οξυγόνο), τις εκπομπές, τα λιπαντικά και τα απόβλητα.

Η προσέγγιση του ενεργειακού διανομέα σε καμία περίπτωση δεν περιορίζεται σε σχέση με το μέγεθος του συστήματος που μοντελοποιείται, αλλά παρέχει μεγάλη ευελιξία στη μοντελοποίηση των συστημάτων, καθώς επιτρέπει την εισαγωγή αυθαίρετου αριθμού ενεργειακών φορέων και προϊόντων.

Από τεχνολογική άποψη, οι ενεργειακοί διανομείς περιλαμβάνουν τρία βασικά στοιχεία [2.22]: άμεσες συνδέσεις, μετατροπείς και αποθήκευση.

Οι άμεσες συνδέσεις χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν έναν ενεργειακό φορέα από την είσοδο στην έξοδο, χωρίς να υπεισέρχεται καμία μετατροπή σε μια άλλη μορφή ή σημαντική αλλαγή της ποιότητάς του (π.χ. τάσης, υδραυλική πίεσης). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα ηλεκτρικά καλώδια, οι εναέριες γραμμές και οι σωληνώσεις.

Πέρα από αυτό, τα στοιχεία των μετατροπέων χρησιμοποιούνται για να μετασχηματιστεί η ενέργεια σε άλλες μορφές. Για παράδειγμα, για την μετατροπή και τον περιορισμό της ενέργειας στην επιθυμητή ποσότητα και ποιότητα που θα καταναλωθεί από τα φορτία χρησιμοποιούνται αμοστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι, μηχανές εσωτερικής καύσεως, κινητήρες Stirling, ηλεκτρικές μηχανές, κυψέλες καυσίμων, κ.λπ. και από την άλλη πλευρά συμπιεστές, αντλίες, συσκευές ελέγχου της πίεσης, μετασχηματιστές, ηλεκτρονικά ισχύος, φίλτρα, εναλλάκτες θερμότητας, αντίστοιχα. Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τις κυριότερες μετατροπές ενέργειας και μέσω ποιών δομών μπορούν να επιτευχθούν.

Ο τρίτος τύπος στοιχείου του ενεργειακού διανομέα, η ενεργειακή αποθήκευση, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών. Στερεοί, οι υγροί, και οι αέριοι ενεργειακοί φορείς μπορούν να αποθηκευτούν σε δεξαμενές, υιοθετώντας μια σχετικά απλή τεχνολογία. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί άμεσα (π.χ. supercaps, υπεραγωγίμες συσκευές) ή έμμεσα (π.χ. μπαταρίες, υβριδικές δεξαμενές, σφόνδυλοι, αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα, αντιστρέψιμες κυψέλες καυσίμων). Οι αέριοι ενεργειακοί φορείς μπορούν να αποθηκευτούν στο ίδιο δίκτυο, απλώς αυξάνοντας την πίεση.

Από την άποψη του συστήματος, ο ενεργειακός διανομέας παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με την παραδοσιακή, συμβατική, αποσυνδεδεμένη τροφοδότηση.

- ο Αυξημένη αξιοπιστία:

Πολλαπλές είσοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν για την κάλυψη της ζήτησης, επομένως ο διανομέας αυξάνει την αξιοπιστία

τροφοδότησης του φορτίου, αφού αυτή δεν εξαρτάται πλέον από μια και μόνο δομή.

- Αυξημένη ευελιξία στην τροφοδότηση του φορτίου:
Τα διαφορετικά μονοπάτια στο εσωτερικό του διανομέα, αυξάνουν τους βαθμούς ελευθερίας στην τροφοδότηση των φορτίων. Η ζήτηση, έτσι, μπορεί να ικανοποιηθεί είτε με κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας άμεσα από την αντίστοιχη είσοδο είτε από την έξοδο ενός αεριοστροβίλου. Έτσι, το φορτίο είναι πιο ελαστικό σε θέματα τροφοδότησης, παρόλο που η συνολική έξοδος του διανομέα πρέπει να παραμένει σταθερή.
- Δυνατότητα βελτιστοποίησης:
Το γεγονός ότι διαφορετικές εισοδοί και διαφορετικοί συνδυασμοί αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη της ζήτησης θέτει το θέμα της βέλτιστης τροφοδότησης. Οι διαφορετικές εισοδοί χαρακτηρίζονται από διαφορετικό κόστος, διαφορετικές εκπομπές, διαθεσιμότητα, και άλλα κριτήρια. Με βάση αυτά τα κριτήρια η είσοδος του διανομέα μπορεί να βελτιστοποιηθεί, χρησιμοποιώντας τον πρόσθετο βαθμό ελευθερίας που καθιερώνεται από τις συνδέσεις.
- Πλεονεκτήματα συνέργειας:
Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταφοράς και αποθήκευσης των εισόδων του διανομέα μπορούν να συνδυαστούν συνεργατικά. Η ηλεκτρική ενέργεια για παράδειγμα, μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις με συγκριτικά μικρές απώλειες. Οι χημικοί μεταφορείς μπορούν να αποθηκευτούν κάνοντας χρήση σχετικά απλής και φθηνής τεχνολογίας.

2.5 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ο τρόπος σύνδεσης μιας δεδομένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της. Δηλαδή σταθμοί παραγωγής ίδιας ισχύος μπορεί να συνδέονται στο δίκτυο κατά τελείως διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα ειδικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, την κατά περίπτωση υφιστάμενη κατάσταση δικτύων και την προβλεπόμενη ανάπτυξή τους. Παρόλα αυτά, υπάρχουν οι ακόλουθοι δύο περιορισμοί ως προς το επίπεδο τάσης στο οποίο μπορεί να συνδεθεί μια εγκατάσταση παραγωγής οι οποίοι εφαρμόζονται κατά την εξέταση, ασχέτως των λοιπών τεχνικών κριτηρίων [2.14].

Εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 100 KW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο ΧΤ. Εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 20 MW δεν μπορούν να συνδεθούν με δίκτυο ΜΤ.

Γενικά η επιλογή του τρόπου σύνδεσης αποτελεί αντικείμενο τεχνικοοικονομικής εξέτασης, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ).

Σύνδεση στο δίκτυο ΧΤ:

Η σύνδεση παραγωγών στο δίκτυο ΧΤ επιτρέπεται για εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος μέχρι 100 KW. Ανάλογα με την ισχύ των γεννητριών που θα συνδεθούν στο δίκτυο ΧΤ, εξετάζεται αν είναι δυνατή η σύνδεση χωρίς επαύξηση της παροχής του παραγωγού. Αν απαιτείται επαύξηση της παροχής γίνεται μελέτη επάρκειας του δικτύου [2.14].

2.6 ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η ευρωπαϊκή ένωση προκειμένου να συμβάλλει στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων αλλά και στην ασφάλεια εφοδιασμού ενέργειας έχει εκδώσει σχετικές οδηγίες κι έχει χρηματοδοτήσει και αρκετά ερευνητικά έργα [2.23]. Σημαντική ισχύς από ΑΠΕ έχει εγκατασταθεί και συνεχίζει να εγκαθίσταται στις χώρες της Ευρώπης [2.24]. Συνάμα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον για τη συμπαραγωγή σε πολύ τοπικό επίπεδο ακόμη και σε οικιακό επίπεδο [2.25].

Η εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής πολύ κοντά στα φορτία μειώνει τη ροή ισχύος στο Σύστημα Μεταφοράς και το Δίκτυο Διανομής και επομένως τις ηλεκτρικές απώλειες που οδηγούν στην επιπλέον παραγωγή των κεντρικών μονάδων παραγωγής για να τις ικανοποιήσουν. Υπάρχουν μελέτες οι οποίες εκτιμούν ότι μείωση των απωλειών στο σύστημα μεταφοράς στο Ηνωμένο Βασίλειο (Η.Β) κατά 1%, μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 2 εκατομμύρια τόνους ετησίως [2.26].

Η αυξημένη αποδοτικότητα λόγω της οικιακής αξιοποίησης του φυσικού αερίου για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση εκπομπών CO₂. Η εγκατάσταση 60 εκατομμυρίων μονάδων οικιακής ΣΗΘ σε Πανευρωπαϊκό επίπεδο μπορεί να συμβάλλει ώστε να μειωθούν κατά 65 εκατομμύρια τόνους ετησίως οι εκπομπές CO₂. Αυτές οι ενδεικτικές μελέτες δείχνουν τη σημασία που μπορεί να έχει η διεσπαρμένη παραγωγή στη μείωση των ρύπων του ανάντη συστήματος [2.27].

Η αποφυγή των ρύπων σε ένα ΣΗΕ λόγω της διεσπαρμένης παραγωγής υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Emissions_avoided = Emissions_electr + Emissions_Heat - Emission_DG$$

Όπου:

Emissions_avoided: οι συνολικοί ρύποι που αποφεύγονται.

Emissions_electr: δίνουν τους ρύπους που αποφεύγονται στο ηλεκτρικό δίκτυο από τη μείωση της παραγωγής των μονάδων.

Emissions_Heat: είναι οι ρύποι που αποφεύγονται λόγω του θερμικού σκέλους παραγωγής της διεσπαρμένης παραγωγής.

Emission_DG: αν κάποιες από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής στο υπό εξέταση σύστημα είναι μονάδες ΣΗΘ, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και οι ρύποι που εκπέμπονται από τη διεσπαρμένη παραγωγή και να αφαιρεθούν από αυτό το ισοζύγιο.

Στον πιο κάτω πίνακα δίνονται πληροφορίες για τους εκπεμπόμενους ρύπους των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Μονάδα Ρυπαντές (gr/kWh)	Μικροτουρμπίνα	Κυψέλη Καυσίμου	Αεριοστρόβιλος	Μονάδα Εσωτερικής Καύσης
CO ₂	724,6	489,4	678,2	650
NO _x	0,2	0,014	0,512	2,13
SO ₂	0,004	0,003	0,004	0,206
Ιπτάμενα σωματίδια PM10	0,041	0,001	0,039	0,354

Πίνακας 2.7: Τυπικές τιμές εκπεμπόμενων ρύπων από τις τοπικές μονάδες παραγωγής

Για τον υπολογισμό των ρύπων από το σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, κάποιες εταιρίες ηλεκτρισμού, δίνουν πληροφορίες ακόμη και σε μηναίο επίπεδο για τους εκπεμπόμενους ρύπους και ειδικά για το CO₂. Οι διεθνείς οργανισμοί όπως το IEA [2.29] παρέχουν πληροφορίες για την εκπομπή ρύπων για τις διάφορες μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται στην κεντρική παραγωγή. Μάλιστα το Environmental Protection Agency (EPA) στις ΗΠΑ έχει δημιουργήσει μία βάση δεδομένων για τους εκπεμπόμενους ρύπους διαφόρων μονάδων στις ΗΠΑ η οποία είναι διαθέσιμη στο κοινό [2.30].

2.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Για να διευκολυνθεί ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών, κεντρικών ή διεσπαρμένων, πρέπει να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες συνδέσεις και να τίθενται οι κατάλληλες χρεώσεις (tariffs) για την μετάδοση και την διανομή. Λόγω της θέσης τους, οι εγκαταστάσεις διεσπαρμένης παραγωγής όχι μόνο λειτουργούν ως μία εναλλακτική πηγή τροφοδότησης αλλά μπορεί να λειτουργήσουν και σε αντικατάσταση των εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής στην υψηλή τάση και επίσης να μειώσουν τις απώλειες του δικτύου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο χονδρικό εμπόριο στην αγορά ηλεκτρισμού στην Ευρώπη είναι κατά μέσο όρο 20 έως 30 δολάρια ανά MWh ενώ η τιμή λιανικής είναι περίπου 60 με 100 δολάρια ανά MWh. Τα συστήματα μεταφοράς και διανομής αλλά και οι παραγωγοί είναι υπεύθυνοι για αυτή την διαφορά μεταξύ των τιμών χονδρικής και λιανικής. Αυτό καταδεικνύει ότι μία κιλοβατώρα παραγόμενη από μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής έχει μεγαλύτερη τιμή από μία κιλοβατώρα παραγόμενη στο επίπεδο μετάδοσης. Προκειμένου να υπάρχει δίκαιος ανταγωνισμός στην πλήρως απελευθερωμένη αγορά ενέργειας, όπου οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής ανταγωνίζονται τις κεντρικές μονάδες παραγωγής, πρέπει να γίνει προσεκτική τιμολόγηση όλων των υπηρεσιών των δικτύων [2.31].

2.7.1 ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η νομοθεσία απαιτεί από τις επιχειρήσεις διανομής να παρέχουν τον ηλεκτρισμό που ζητείται. Προκειμένου να καλύψει την απαίτηση αυτή, μία επιχείρηση διανομής ενδέχεται να θέσει στους παραγωγούς χρεώσεις σύνδεσης ώστε να καλύψει τυχόν κόστη επισκευών, κόστη επέκτασης ή και ενίσχυσης του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου και κάποιου επιτοκίου για την απόσβεση του κεφαλαίου. Από την πλευρά της διεσπαρμένης παραγωγής έχουμε δύο βασικά ερωτήματα:

- ο Το επίπεδο της τάσης στο οποίο πρέπει να συνδεθεί ο παραγωγός καθότι αυτό επηρεάζει άμεσα την βιωσιμότητα ή μη των διαφόρων σεναρίων παραγωγής ενέργειας. Δεύτερον εάν η πολιτική σύνδεσης θα πρέπει να βασιστεί σε 'ρηχές' ('shallow' charges) ή 'βαθιές' χρεώσεις ('deep' charges).

Τα κόστη σύνδεσης ενδέχεται να επηρεάσουν σημαντικά το κόστος κεφαλαίου μίας εγκατάστασης διεσπαρμένης παραγωγής. Μάλιστα, το κόστος σύνδεσης της μονάδας εξαρτάται από το επίπεδο τάσης στο οποίο αυτή συνδέεται – όσο υψηλότερη η τάση, τόσο υψηλότερα και τα κόστη σύνδεσης. Γενικά, οι επενδυτές και οι χειριστές των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής θα προτιμούσαν την σύνδεση τους στην όσο το δυνατόν μικρότερη τάση, ώστε το κόστος της σύνδεσης να είναι μικρότερο και άρα

να διασφαλίζεται περισσότερο η οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Από την άλλη όμως, όσο υψηλότερη είναι η τάση στην οποία συνδέεται η μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής, τόσο μικρότερη είναι και η επίδραση της στο τοπικό δίκτυο, οπότε οι διαχειριστές του δικτύου προτιμούν αυτή την λύση. Αυτοί οι αντικρουόμενοι στόχοι πρέπει να μελετηθούν και να σταθμιστούν κατάλληλα, προς το οποίο θα απαιτηθούν όχι μόνο εις βάθος τεχνική και οικονομική ανάλυση αλλά και κατάλληλη πολιτική τιμολόγησης.

Ο καθορισμός του επιπέδου της τάσης στην οποία θα πρέπει να συνδεθεί ένας παραγωγός εξαρτάται τελικά από την επίδρασή του στην τάση του τοπικού δικτύου. Στην πλειοψηφία των Ευρωπαϊκών χωρών, τα αποδεκτά όρια μεταβολών της τάσης είναι αυστηρότερα από τα όρια που θέτει το EN50160. Κρίσιμο μέγεθος είναι λοιπόν από αυτή την άποψη η ανύψωση της τάσης που μπορεί να προκαλέσει μία γεννήτρια συνδεδεμένη σε ένα αδύναμο δίκτυο. Ο έλεγχος της ενεργού και της άεργου ισχύος μπορεί να ελέγξει και την αύξηση της τάσης. Το εμπορικό πλαίσιο όμως για την ρύθμιση της τάσης μέσω του ελέγχου της ενεργού και άεργου ισχύος δεν είναι ακόμη πλήρως ανεπτυγμένο. Για παράδειγμα ο έλεγχος της άεργου ισχύος ως τρόπος μείωσης των διακυμάνσεων της τάσης στα δίκτυα διανομής δεν έχει κατάλληλους μηχανισμούς τιμολόγησης. Αντίθετα οι περισσότεροι διανομείς ενέργειας χρεώνουν έμμεσα την κατανάλωση άεργου ισχύος χρεώνοντας την κατανάλωση φαινόμενης ισχύος βάσει των μέγιστων kVA ή θέτουν ποινή χρέωσης για την κατανάλωση άεργου ισχύος πέραν ενός ορίου. Η έγχυση άεργου ισχύος, όμως, δεν θεωρείται χρήσιμη.

Στα σημερινά δίκτυα, η πολιτική τιμολόγησης για την άεργο ισχύ είναι ότι οι γεννήτριες που απορροφούν φαινόμενη ισχύ χρεώνονται βάσει της ενεργού ισχύος που απορροφά η εγκατάσταση. Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την κοστολόγηση της άεργου ισχύος. Η πλειοψηφία των εταιριών διανομής ενέργειας χρεώνουν την άεργο ισχύ όταν αυτή υπερβαίνει το 40 – 50% της ολικής καταναλισκόμενης ισχύος από την μονάδα. Άλλες εταιρίες χρεώνουν για την μέγιστη άεργο ισχύ εάν αυτή υπερβαίνει το γινόμενο της μέγιστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του μήνα επί 0.4. Άλλες πάλι εταιρίες βασίζουν τις χρεώσεις χρήσεις του δικτύου στην κατανάλωση της εγκατάστασης σε kVA, αποθαρρύνοντας ουσιαστικά την κατανάλωση άεργου ισχύος.

Η απορρόφηση άεργου ισχύος μπορεί να είναι πολύ βοηθητική στον έλεγχο της αύξησης της τάσης σε αδύναμα συστήματα με διανεμημένη παραγωγή. Ενώ αυτό οδηγεί σε αύξηση των απωλειών του δικτύου, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν έχουν την δυνατότητα να σταθμίσουν και να συγκρίνουν τα κόστη σύνδεσης κατά την σύνδεση με υψηλά επίπεδα τάσης έναντι του κόστους των απωλειών κατά την σύνδεση σε χαμηλά επίπεδα τάσης και να διαλέξουν το πιο συμφέρον για αυτές. Είναι λοιπόν αντιληπτό ότι η τρέχουσα πολιτική χρεώσεων αποθαρρύνει τους διεσπαρμένους παραγωγούς από την ρύθμιση της τάσης τους, αφού δεν δέχονται κάποιο κίνητρο για να συμμετέχουν σε αυτό. Οι χρεώσεις της

άεργου ισχύος είναι κατάλοιπο των παλαιότερων δικτύων διανομής και δεν έχουν λογική θέση σε ένα δίκτυο διανομής με διανεμημένη παραγωγή.

Ο μηχανισμός αυτός λοιπόν δεν ενθαρρύνει όμως τον έλεγχο της άεργου ισχύος ως μέσου σταθεροποίησης της τάσης. Έτσι, οι παραγωγοί μπορεί να αναγκάζονται αδίκως να συνδέονται σε υψηλότερα επίπεδα τάσης και να πληρώνουν αντίστοιχα υψηλότερα κόστη σύνδεσης.

Το αντεπιχείρημα στην μέθοδο της μείωσης των διακυμάνσεων της τάσης μέσω της απορρόφησης άεργης ισχύος και ο λόγος που αυτή δεν χρησιμοποιείται είναι το ότι θα αυξάνει τις απώλειες ενεργού ισχύος. Οι ως τώρα χρησιμοποιούμενοι συντελεστές απωλειών βασίζονται στην ενεργό ισχύ και δεν συμπεριλαμβάνουν την επίδραση της απορρόφησης άεργης ισχύος. Παρομοίως, άλλη μέθοδος για τον περιορισμό της αύξησης της τάσης είναι η θέση εκτός λειτουργίας μέρους της εγκατάστασης διεσπαρμένης παραγωγής. Αυτό θα επέτρεπε στον παραγωγό να συνδεθεί σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης και θα εισέπραττε το όφελος των χαμηλότερων χρεώσεων. Αυτή η δυνατότητα δεν προσφέρεται προς το παρόν στους παραγωγούς.

Αυτή η αδυναμία του τρέχοντος συστήματος τιμολόγησης της άεργου ισχύος να υποστηρίξει τον έλεγχο της τάσης, ίσως οδηγήσει όπως προαναφέρθηκε τους παραγωγούς να συνδέονται σε ανώτερα επίπεδα τάσης και να πληρώνουν περισσότερα για την σύνδεσή τους σε αυτά. Η περαιτέρω εξέλιξη των μηχανισμών της αγοράς και των πολιτικών τιμολόγησης θα οδηγήσουν σε ένα δίκτυο με δυνατότητα ελέγχου της τάσης και στο οποίο θα είναι δυνατό οι παραγωγοί να επιλέγουν τα επίπεδα σύνδεσής τους. Αυτή η περιοχή έρευνας έχει αρχίσει να μελετάται πρόσφατα και αναμένεται να εξελιχθεί στο άμεσο μέλλον και μέσω αυτής της εξέλιξής της να δώσει την δυνατότητα στην διεσπαρμένη παραγωγή να συμμετέχει ανταγωνιστικά στην αγορά ενέργειας.

Ένα άλλο θέμα που επηρεάζει σημαντικά την οικονομική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων παραγωγής είναι το αν οι χρεώσεις σύνδεσης θα πρέπει να περιλαμβάνουν μόνο τα κόστη που σχετίζονται με την δημιουργία της νέας σύνδεσης ή αν θα πρέπει να περιλαμβάνουν και άλλα έμμεσα κόστη που αφορούν την ενίσχυση του δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση οι χρεώσεις σύνδεσης ονομάζονται ρηχές και στην δεύτερη βαθιές. Εάν παραδείγματος χάριν μία εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής συνδεθεί στο δίκτυο μέσω αποκλειστικής γραμμής, τότε ο παραγωγός αυτός θα πληρώνει όλα τα έξοδα τα σχετικά με την γραμμή αφού είναι ο μόνος που την χρησιμοποιεί. Εάν η εταιρία διανομής κατέχει την γραμμή, ο παραγωγός πληρώνει περιοδικά για την γραμμή. Υπάρχει βέβαια και το ενδεχόμενο ο παραγωγός να πληρώνει ένα εφ' άπαξ ποσό και να γίνεται ιδιοκτήτης της γραμμής. Ένα πλεονέκτημα της ρηχής τιμολόγησης είναι η απλότητα της. Από την άλλη, δεν ανταποκρίνεται πάντα στην πραγματικότητα, αφού ναί μεν είναι απλό να βρεθεί το κόστος μίας γραμμής σύνδεσης, αλλά η σύνδεση αυτή μπορεί να επιβάλει την

ενίσχυση του δικτύου, ακόμη και σε άλλο σημείο μακριά από το σημείο σύνδεσης. Οι περισσότεροι διαχειριστές δικτύων χρεώνουν στους παραγωγούς τόσο το κόστος της ίδιας της γραμμής σύνδεσης όσο και για τις ενισχύσεις του δικτύου που οφείλονται στην εν λόγω σύνδεση. Μπορεί παραδείγματος χάριν να απαιτείται λόγω της σύνδεσης η αντικατάσταση ενός διακόπτη. Όταν η διεσπαρμένη παραγωγή καλείται να πληρώσει για την αντικατάσταση αυτή, τότε εφαρμόζεται η επονομαζόμενη βαθιά τιμολόγηση.

Η αντικατάσταση του διακόπτη που χρησιμοποιείται ως παράδειγμα κατάστασης βαθιάς τιμολόγησης, οφείλεται τελικά σε όλους τους παραγωγούς, κεντρικούς και διανεμημένους και κανονικά η τελευταία εγκατάσταση που συνδέθηκε και αποτέλεσε την ‘αφορμή’ για την αντικατάσταση δεν θα έπρεπε να πληρώσει όλο το κόστος αντικατάστασης. Θα έπρεπε να υπολογιστεί η συνεισφορά όλων των παραγωγών και να μοιραστεί αντίστοιχα το κόστος αντικατάστασης. Ουσιαστικά λοιπόν τα κόστη αντικατάστασης θα έπρεπε να υπάγονται στα κόστη χρήσης του δικτύου και όχι στα κόστη σύνδεσης. Εάν συνέβαινε αυτό, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής θα πλήρωναν το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους αντικατάστασης. Στην πραγματικότητα σήμερα, οι κεντρικοί παραγωγοί δεν χρεώνονται τα κόστη αντικατάστασης.

Χρεώσεις συστήματος διανομής

Οι χρεώσεις για την χρήση του συστήματος διανομής είναι τέτοιες ώστε να καλύπτεται το κόστος της κάλυψης της ζήτησης των καταναλωτών αλλά και να διευκολύνει τον ανταγωνισμό των παρόχων και των παραγωγών. Οι στόχοι κατά τον ορισμό των χρεώσεων αυτών είναι:

Απόσβεση:

Οι χρεώσεις θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να καλύπτονται τα κόστη λειτουργίας και τα κόστη κεφαλαίου αλλά και να ενθαρρύνονται οι σχετικές επενδύσεις και να αποθαρρύνονται οι υπερεπενδύσεις.

Οικονομική αποδοτικότητα:

Οι χρεώσεις θα πρέπει να ακολουθούν τα κόστη και θα πρέπει να στέλνουν τα κατάλληλα μηνύματα στους χρήστες του δικτύου.

Ενώ οι στόχοι είναι ευνόητοι και καθαροί, η εύρεση ενός τέτοιου κατάλληλου μοτίβου χρεώσεων είναι δύσκολη λόγω των τεχνικών λεπτομερειών και περιορισμών, και λόγω των αντικρουόμενων κατευθύνσεων της διαδικασίας, δηλαδή της απλότητας από την μία και της δικαιοσύνης από την άλλη. Μόνο και μόνο ο στόχος της οικονομικής αποδοτικότητας, οδηγεί σε πολύπλοκες διαδικασίες, αφού θεωρητικά ο κάθε κόμβος του δικτύου θα έχει διαφορετικές χρεώσεις κάθε ώρα και διαφορετικές χρεώσεις από τους άλλους κόμβους. Επίσης οι χρεώσεις πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να παρέχεται ένα πλαίσιο στο οποίο οι ρυθμιστικές αρχές του δικτύου

μπορούν να μελετήσουν την αποδοτικότητα και την βιωσιμότητά του. Γενικά πριν υιοθετηθεί το όποιο προτεινόμενο μοτίβο τιμολόγησης πρέπει να μελετηθούν και να σταθμιστούν τα μειονεκτήματα και τα οφέλη του.

Οι οικονομικές επιδράσεις της διεσπαρμένης παραγωγής δεν είναι πάντοτε όμοιες. Δηλαδή, εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά τόσο της εγκατάστασης παραγωγής όσο και του υπόλοιπου δικτύου, του φορτίου αλλά και της σχέσης μεταξύ αυτών (πχ. απόσταση από το φορτίο). Έτσι, οι έως τώρα χρησιμοποιούμενες απλοϊκές χρεώσεις, που ουσιαστικά επιμερίζουν τα κόστη στα συμμετέχοντα μέρη, δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατάσταση και τις τοπικές και χρονικές μεταβολές του κόστους.

Βασικός παράγοντας της επίδρασης της διεσπαρμένης παραγωγής στα κόστη κεφαλαίου και λειτουργίας είναι η θέση τους στο δίκτυο. Έτσι, ρεαλιστικές είναι μόνο οι μέθοδοι χρέωσης που λαμβάνουν υπόψη τον παράγοντα αυτό της θέσης. Επίσης, τα κόστη λειτουργίας επηρεάζονται όπως είναι αντιληπτό και με την κοινή λογική από την χρονική μεταβολή της ζήτησης και της παραγωγής. Αυτό λοιπόν είναι άλλη μία απαίτηση που πρέπει να θεωρείται από την υποψήφια προς εφαρμογή πολιτική τιμολόγησης.

2.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] T. Ackermann, G. Andersson and L. Soder, “Distributed generation: a definition”, Electric Power Systems Research, 2001.
- [2.2] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans and W.D’ haeseleer, “Distributed generation: definition, benefits, issues”, Energy Policy, April 2005.
- [2.3] P. Dondi, D. Bayoumi, C. Haederli, D. Julian, M. Suter, “Network integration of distributed power generation”, Journal of Power Sources, 2002.
- [2.4] W. El – Khatam and M. M. A. Salama, “Distributed generation technologies, definitions and benefits”, Electric Power Systems Research, 2004.
- [2.5] 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.
- [2.6] J. A. P. Lopes, “Integration of dispersed generation on distribution networks – impact studies”, in Proc. 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, January 2002.
- [2.7] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen and G. Strbac, “Embedded generation”, London: The Institution of Electrical Engineers (IEE), 2000.

- [2.8] K. Purchala, R. Belmans, L. Exarchakos and A.D. Hawkes, “Distributed generation and the grid integration issues”, K.U. Leuven – Energy Institute, August 2003.
- [2.9] 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.
- [2.10] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.desmie.gr/>
- [2.11] European Wind Energy Association (EWEA) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.ewea.org/>
- [2.12] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.ypeka.gr/>
- [2.13] Μ. Παπαδόπουλος, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές”, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997.
- [2.14] Σ. Παπαθανασίου, “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2008.
- [2.15] Wikipedia. (ηλεκτρονική διεύθυνση) http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm
- [2.16] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.cres.gr/>
- [2.17] Κ. Δέρβος, “Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2009.
- [2.18] Χ. Αλεβίζος, “Η επίδραση ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας στην απόδοση μικρών ΥΗΕ”, Διπλωματική Εργασία. Ε.Μ.Π, Αθήνα, Ιούνιος 2001.
- [2.19] 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.
- [2.20] Ε. Π. Νταβέλου “Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Οικιστικού Συγκροτήματος με Μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2009.
- [2.21] Κ. Πιέρρος, “Συστήματα υβριδικών ενεργειακών διανομέων”, Διπλωματική Εργασία. Ε.Μ.Π, Αθήνα, Οκτώβριος 2009.
- [2.22] Martin Geidl, “Integrated Modeling and Optimization of Multi – Carrier Energy Systems”, 2007, Diss. ETH No. 17141.
- [2.23] Renewable Energy Technologies - Long Term Research in the 6th Framework Programme 2002 – 2006.
(ηλεκτρονική διεύθυνση) http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/synopses_res_en.pdf
- [2.24] EREC (European Renewable Energy Council), 2006.
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.erec-renewables.org/>
- [2.25] Bauen A, Hawkes A, “Decentralised Generation – Technologies and Market Perspectives, Presentation at the IEA Workshop, Decentralised generation: Key issues, challenges, roles for its integration into main power systems”, Paris, 1st March 2004

- (ηλεκτρονική διεύθυνση) www.iea.org
- [2.26] Microgrids project. Deliverable D13 Report on Socio-Economic Evaluation of MicroGrids. Benefits of MicroGrids, 2005.
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>
- [2.27] Pudjianto, D, Strbac, G, “Investigation of Regulatory, Commercial, Economic and Environmental Issues in MicroGrids”. Int J. of Distributed Energy Resources. Vol 2, Number 3, 245-259, 2006.
- [2.28] Εκπομπές ρύπων μονάδων Διεσπαρμένης παραγωγής. (ηλεκτρονική διεύθυνση)
<http://www.epa.gov/globalwarming/greenhouse/greenhouse18/distributed.html>
- [2.29] International Energy Association (IEA)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.iea.org/>
- [2.30] Environmental Protection Agency (EPA)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.epa.gov/>
- [2.31] Ε. Ντάκου, “Οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη των Μικροδικτύων με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία. Ε.Μ.Π, Αθήνα, Ιούλιος 2011.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

3.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μικροδίκτυα (Microgrids – μGrids) είναι ένα είδος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Ένα μικροδίκτυο προσδιορίζεται ως ένα εν δυνάμει ηλεκτρικά απομονωμένο σύνολο γεννητριών που τροφοδοτούν κατ' αποκλειστικότητα όλη τη ζήτηση ενός συνόλου καταναλωτών. Συμπεριλαμβάνουν πηγές διεσπαρμένης παραγωγής ισχύος από λίγα kW μέχρι 1 – 2MW, συσκευές αποθήκευσης – όπως πυκνωτές, μπαταρίες, σφονδύλους – και ελέγχιμα φορτία.

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 [3.1.1].

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 διασύνδεσής του με άλλα μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στην μέση ή στην χαμηλή τάση. Είναι προφανές ότι η διασύνδεση στη μέση τάση απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ [3.1.2].

Βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος τους, ώστε τελικά να εμφανίζονται στο ανάντη δίκτυο ως μία 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 βασικό, όσο και πρωτοποριακό, γνώρισμα των μικροδικτύων είναι η δυνατότητα 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 ποιότητα 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 σαν 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, δυναμικά, «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 δίκτυό του αντιμετωπίζεται, τόσο από άποψη αγοράς, όσο και από τεχνική άποψη σαν ένα ενιαίο φορτίο ή σαν μία 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 [3.1.3].

3.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Τα πλεονεκτήματα που μπορεί να παρέχει στη λειτουργία του συστήματος ένα μικροδίκτυο συμπεριλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα περιοχών, όπως [3.1.6]:

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 CO₂.

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 δεσπαρμένης 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.

3.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

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.

3.1.4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Η ποιότητα ισχύος και η αξιοπιστία που προσφέρουν τα μικροδίκτυα έχει ως κύρια διάσταση τη διαθεσιμότητα ισχύος αλλά περιλαμβάνει και δευτερεύουσες πτυχές, όπως είναι ο έλεγχος ευστάθειας τάσης, ο περιορισμός των αρμονικών κτλ.

Ο τοπικός έλεγχος στην ποιότητα και αξιοπιστία ισχύος που τροφοδοτεί τα φορτία, εντός μικροδικτύου, είναι ένα πεδίο το οποίο τίθεται συνεχώς υπό διερεύνηση. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα έχει δύο διαστάσεις [3.1.7]:

- Πρώτον, ένα μικροδίκτυο έχει τη δυνατότητα ελεγχόμενης νησιδοποιημένης λειτουργίας το οποίο μεταφράζεται σε αυξημένη διαθεσιμότητα ισχύος και επομένως αξιοπιστία για όλα τα φορτία εντός αυτού.
- Δεύτερον, προσφέρει εν γένει «ετερογενή» ποιότητα και αξιοπιστία ισχύος στις διαφορετικές τελικές καταναλώσεις ανταποκρινόμενο κατ' αυτόν τον τρόπο στην υψηλή ιδιομορφία των απαιτήσεων ποιότητας και αξιοπιστίας ορισμένων φορτίων.

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα στις ανεπτυγμένες οικονομίες παγκοσμίως, έχει εγκαθιδρυθεί ένα ενιαίο σύστημα τροφοδότησης ηλεκτρικής ισχύος. Χρονολογείται συγκεκριμένα από την εμφάνιση των πολυφασικών συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε γενικές γραμμές, το κυρίαρχο πρότυπο ενεργειακού συστήματος βασίζεται σε μεγάλης κλίμακας κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, στη μεταφορά μεγάλου όγκου ηλεκτρικής ισχύος για μεγάλες αποστάσεις μέσω βρογχοειδών κεντρικά ελεγχόμενων δικτύων υψηλής τάσης και στη τοπική διανομή σε χαμηλότερες τάσεις μέσω ακτινικών, εν μέρει τοπικά ελεγχόμενων, γραμμών μονής διεύθυνσης. Βασικό και αρχαικό χαρακτηριστικό της προαναφερθείσας δομής είναι ότι η παροχή ηλεκτρικής ισχύος συντελείται παγκοσμίως σε ένα σταθερό και συνεπές επίπεδο ποιότητας και αξιοπιστίας για τις περισσότερες τουλάχιστον περιοχές. Αυτή η αργιστή προβλεψιμότητα δημιουργεί τεράστιο οικονομικό όφελος στο βαθμό που όλα τα είδη ηλεκτρικού εξοπλισμού μπορούν να κατασκευαστούν βάσει παγκοσμίως ομοιογενών προτύπων. Το συγκεκριμένο παραδοσιακό πρότυπο «ομοιογενούς» ποιότητας ισχύος και αξιοπιστίας έχει ωφελήσει τις ανεπτυγμένες οικονομίες του πλανήτη για μεγάλες χρονικές περιόδους κατά τις οποίες οι ανάγκες κατανάλωσης ηλεκτρισμού αυξάνονταν υπερβολικά έως και εκρηκτικά.

Οι σταδιακές μεταβολές στις προσδοκίες όσον αφορά το ενεργειακό σύστημα, τόσο από την πλευρά της παραγωγής όσο και από την πλευρά της κατανάλωσης, οδηγούν σε ένα σημείο καμπής στην πορεία της εξέλιξης του και πολύ πιθανά σε ένα νέο πρότυπο. Βέβαια, η βελτίωση του παραδοσιακού ενεργειακού συστήματος παγκοσμίως, σε σημείο τέτοιο ώστε να εκπληρώνει τις απαιτήσεις των ευαίσθητων ή των σύγχρονων ψηφιακών φορτίων, μπορεί να αποβεί αναντίστοιχα και αναίτια ακριβή.

Οι μεταβολές στην πλευρά της κατανάλωσης προκύπτουν από την απaráμιλλη ανάγκη για ηλεκτρισμό στη αναδυόμενη ψηφιακή εποχή γεγονός το οποίο μοιραία συνεπάγεται αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας ισχύος (PQR) για ορισμένες τουλάχιστον εφαρμογές. Παράλληλα, από την πλευρά της παραγωγής, η αυξημένη διείσδυση διακοπτόμενων πηγών ενέργειας, οι περιορισμοί στην επέκταση του συστήματος και η αβεβαιότητα των ευμετάβλητων αγορών ενέργειας, δεδομένης της βραχυπρόθεσμης εξάντλησης των αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων, αμφισβητούν τη δυνατότητα διατήρησης των σημερινών προτύπων ποιότητας – αξιοπιστίας ισχύος [3.1.8][3.1.9].

Σε πλήρη διάσταση με το σημερινό πρότυπο «ομοιογενούς ποιότητας» παρεχόμενου ρεύματος, οι πραγματικές απαιτήσεις PQR των τελικών καταναλώσεων είναι εξαιρετικά ετερογενείς. Για παράδειγμα, η άντληση νερού έχει χαμηλές PQR απαιτήσεις. Αντίθετα, κρίσιμα φορτία ή φορτία που αφορούν ιατρική υποστήριξη είναι υψηλής ευαισθησίας και συνεπώς υψηλών απαιτήσεων ως προς την ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία παροχής.

Μέχρι στιγμής δεν είναι ξεκάθαρο εάν τα φορτία χαμηλών απαιτήσεων ξεπερνούν κατά πολύ τα κρίσιμα που έχουν αυξημένες απαιτήσεις PQR. Παρόλα αυτά τα μικροδίκτυα, δεδομένου ότι συμπεριφέρονται με έναν οικονομικά λογικό τρόπο, θα προσπαθήσουν να τα διαμορφώσουν με ανάλογο τρόπο. Ο λόγος είναι ότι τα φορτία χαμηλών απαιτήσεων είναι φθηνότερα ενώ τα αντίστοιχα υψηλών απαιτήσεων είναι ακριβά.

Η λειτουργία των μικροδικτύων προσανατολίζεται στην κατηγοριοποίηση του συνολικού φορτίου με χαμηλές απαιτήσεις PQR, όσο κάτι τέτοιο είναι δυνατό. Για παράδειγμα, ένα είδος εξοπλισμού που θεωρείται ευαίσθητο φορτίο αντιστοιχεί συνήθως σε ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας που του είναι απαραίτητο (π.χ. για την εκτέλεση των ελέγχων, ενώ μεγάλο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται θα μπορούσε να είναι σχετικά χαμηλής ποιότητας). Σε τέτοιες περιπτώσεις, δύο διαφορετικές ποιότητες τροφοδοσίας εξυπηρετούν τα αντίστοιχα τμήματα του εκάστοτε εξοπλισμού. Η ανάλυση των PQR απαιτήσεων σε μορφή πυραμίδας θα μπορούσε πιθανά να οδηγήσει στη συλλογή των φορτίων ομοειδών απαιτήσεων σε συγκεκριμένα κυκλώματα και στην ακόλουθη τροφοδότησή τους με την κατάλληλη ποιότητα ισχύος. Αντίστοιχα θα μπορούσε να οδηγήσει στον διαχωρισμό μερικών φορτίων στα συστατικά του τμήματα που διαφέρουν ως προς τις PQR απαιτήσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η παροχή ισχύος υψηλής ποιότητας και αξιοπιστίας τοπικά σε ευαίσθητα φορτία μπορεί να συνεπάγεται πιθανή μείωση του κοινωνικού βέλτιστου εξυπηρέτησης του δικτύου.

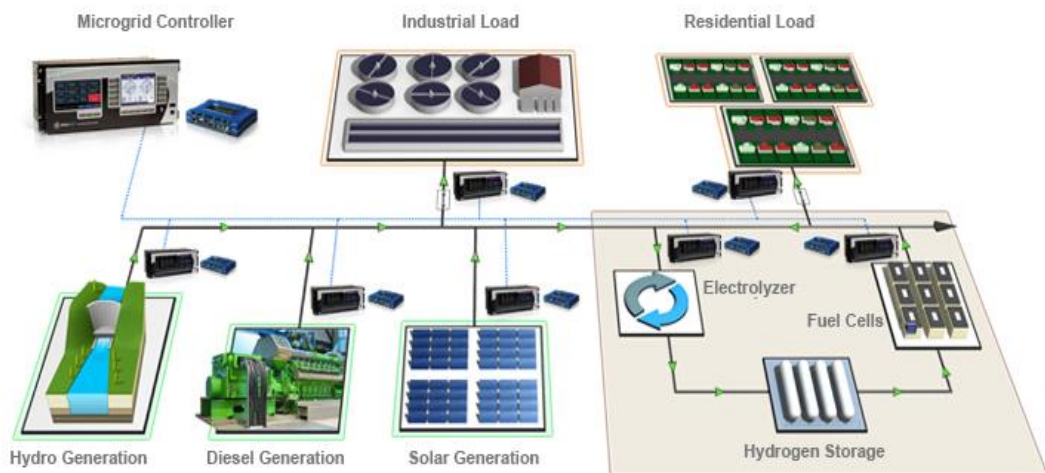
Σε γενικές γραμμές, τρεις άξονες είναι οδηγοί στην ανάπτυξη της αξιόπιστης διεσπαρμένης παραγωγής:

- Ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω συμπαραγωγής
- Μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα
- Βελτιωμένη ποιότητα και αξιοπιστία ισχύος

Παρόλα αυτά, πολλά άλλα πλεονεκτήματα προκύπτουν από την εκμετάλλευσή τους, όπως, μειωμένες απώλειες γραμμών και κοινωνικά χρηστή επέκταση του δικτύου.

Ενώ η εφαρμογή διεσπαρμένης αξιόπιστης παραγωγής είναι δυνητικά σε θέση να μειώσει την ανάγκη για επέκταση του παραδοσιακού συγκεντρωμένου συστήματος, ο έλεγχος ενός τεράστιου αριθμού διεσπαρμένων πηγών αποτελεί πρόκληση μπορεί εν μέρει να αντιμετωπιστεί από την τεχνολογία του δικτύου. Αυτή η πρόκληση μπορεί από την τεχνολογία των μικροδικτύων, τα οποία συνίστανται σε οντότητες που συντονίζουν τις εκάστοτε πηγές ενέργειας σε ένα σταθερά πιο αποκεντρωμένο πλαίσιο. Η προδιαγραφείσα αυτή λειτουργία μειώνει το «βάρος» ελέγχου σχετικά με το δίκτυο και επιτρέπει στις μικροπηγές να αποδώσουν τα οφέλη τους στο μέγιστο.

Για το λόγο αυτό τα μικροδίκτυα θεωρούνται βασικό χαρακτηριστικό των μελλοντικών ενεργών δικτύων διανομής αφού είναι σε θέση, αν συντονίζονται και λειτουργούν αποτελεσματικά, να εκμεταλλεύονται στο έπακρο τη διεσπαρμένη παραγωγή ελαχιστοποιώντας, σε βαθμό εξάλειψης, ενδεχόμενους κινδύνους από τη λειτουργίας τους.

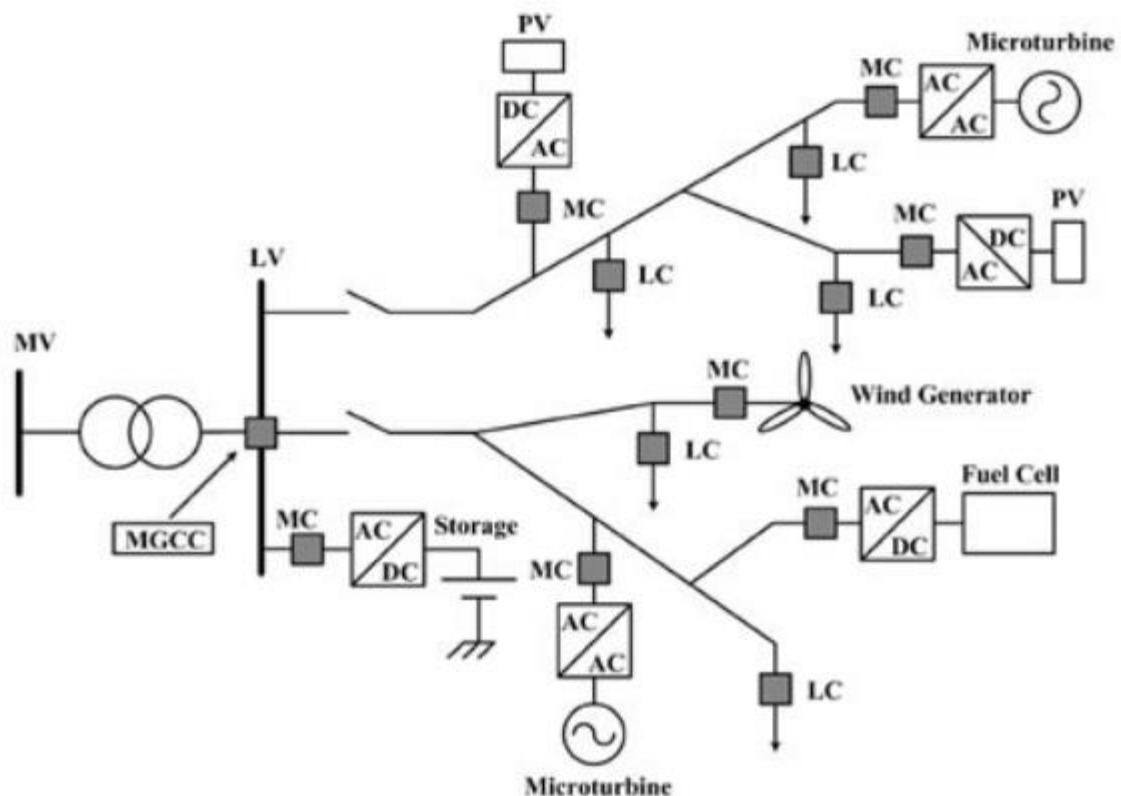


Σχήμα 3.1: Συντονισμένη λειτουργία μικροδικτύου

3.1.5 ΔΟΜΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή τα μικροδίκτυα αποτελούνται από μονάδες παραγωγής και ελεγχόμενα φορτία συνδεδεμένα στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Ουσιαστικά, τα μικροδίκτυα είναι μικρογραφίες των μεγάλων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες μικροπηγές συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω μετατροπέων 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 [3.1.10].



Σχήμα 3.2: 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 [3.1.11]:
 - 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.

Στον παρακάτω Πίνακα 3.1 φαίνονται όλες οι τεχνολογίες αποθήκευσης καθώς και τα βασικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματά τους [3.1.12].

Τεχνολογία αποθήκευσης	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μπαταρίες ροής	Μεγάλη χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ενέργειας – ισχύος	Μικρή ενεργειακή πυκνότητα
Μολύβδου οξέως	Χαμηλό αρχικό κόστος	Μικρός χρόνος ζωής για βαθιές εκφορτίσεις
Νικελίου – Καδμίου	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση	«Φαινόμενο μνήμης», χρειάζονται μεγάλο ρεύμα για να φορτιστούν πλήρως
Θειϊκού Νατρίου	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση	Κόστος παραγωγής, θέματα ασφάλειας κατά την παραγωγή τους
Λιθίου – Ιόντος	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση	Κόστος παραγωγής, απαιτούν ειδικό κύκλωμα φόρτισης
Αντλησιοταμίευση	Μεγάλη χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Εύρεση χώρου για την εγκατάσταση
Συστήματα συμπιεσμένου αέρα	Μεγάλη χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Εύρεση χώρου για την εγκατάσταση, χρειάζεται αέριο καύσιμο
Υπερ – πυκνωτές	Μεγάλη διάρκεια ζωής, υψηλή απόδοση	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
Σφόνδυλοι	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
Υπερ – αγώγιμα υλικά	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, μεγάλο κόστος παραγωγής

Πίνακας 3.1: Τεχνολογίες αποθήκευσης, βασικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα

- 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.

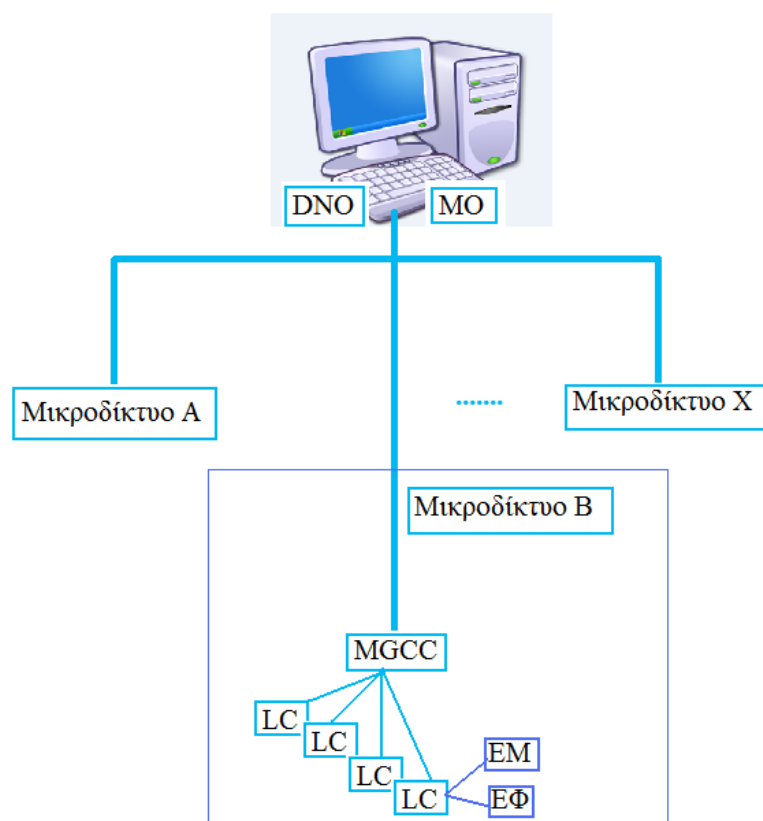
Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη, το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει τα ακόλουθα :

- 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.

3.1.6 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ένα μικροδίκτυο θεωρείται ότι λειτουργεί ως τμήμα του δικτύου διανομής και διακρίνεται σε τρία ιεραρχικά επίπεδα ελέγχου, όπως δείχνει το Σχήμα 3.4 [3.1.13]:

- Διαχειριστής δικτύου διανομής (DNO) και Διαχειριστής Αγοράς (MO).
- Κεντρικός ελεγκτής Μικροδικτύου (MGCC).
- Τοπικοί ελεγκτές (LC), οι οποίοι διακρίνονται σε ελεγκτές μικροπηγών (EM) και ελεγκτές φορτίου (ΕΦ).



Σχήμα 3.3: Τα επίπεδα ελέγχου ενός μικροδικτύου

Ο DNO είναι υπεύθυνος για την τεχνική λειτουργία του συστήματος στην χαμηλή και μέση τάση. Στο κομμάτι αυτό του δικτύου μπορεί να υπάρχουν περισσότερα του ενός μικροδίκτυα. Ο διαχειριστής της αγοράς (Market Operator – MO) είναι υπεύθυνος για την λειτουργία της αγοράς ενέργειας στην συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου διανομής. Είναι προφανές ότι, ανάλογα με το μοντέλο της αγοράς ενέργειας, μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός MO. Εντός ενός μικροδικτύου συνεπώς μπορεί να λειτουργεί μία αγορά και ένα σύνολο αρκετών μικρών τέτοιων αγορών θα διαπραγματεύονται με τον Διαχειριστή της αγοράς της περιοχής του [3.1.13].

Αυτές οι δύο οντότητες (DNO/MO) δεν ανήκουν στο μικροδίκτυο αλλά αποτελούν τους εκπροσώπους του δικτύου με τους οποίους επικοινωνεί το κάθε Μικροδίκτυο Α έως Χ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρά την αυτονομία του μικροδικτύου, εφόσον είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο ΜΤ, θα πρέπει να διατίθεται ένα ελάχιστο επίπεδο συντονισμού με τους DNO/MO ώστε αυτοί να το αντιλαμβάνονται ως ένα ενιαίο φορτίο. Με την αύξηση της διείσδυσης αυτής της δομής ηλεκτρικού δικτύου στα δίκτυα διανομής αυτή η απαίτηση θα γίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη. Οι DNO/MO επικοινωνούν με το μικροδίκτυο μέσω του Κεντρικού ελεγκτή (Microgrid Central Controller – MGCC. Οι λειτουργίες του κεντρικού ελεγκτή του Μικροδικτύου (MGCC) μπορούν να εκτείνονται από την απλή εποπτεία και καταγραφή της ενεργού και αέργου ισχύος που παρέχει κάθε διασπαρμένη πηγή έως την πλήρη ευθύνη για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του μικροδικτύου με την αποστολή σημάτων ελέγχου για την παραγωγή των μικροπηγών και των φορτίων. Λεπτομέρειες για την λειτουργία του MGCC και τις ακολουθούμενες πολιτικές διαχείρισης πηγών και φορτίων θα δοθούν στις ενότητες που ακολουθούν [3.1.13].

Στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου ανήκουν οι τοπικοί ελεγκτές – Local Controllers (LC). Οι τοπικοί ελεγκτές μπορούν να ελέγχουν μονάδες παραγωγής, Ελεγκτές Μονάδων (EM), συμπεριλαμβανομένων των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας αλλά και κάποιων από τα φορτία Ελεγκτές Φορτίου (ΕΦ). Ο (EM) εκμεταλλεύεται τις ολοένα και αυξανόμενες δυνατότητες των ηλεκτρονικών ισχύος της διασύνδεσης των μικροπηγών και μπορεί να εμπλουτιστεί με διάφορους βαθμούς ευφυΐας από την απλή ανταλλαγή πληροφοριών με τον κεντρικό ελεγκτή μέχρι την αυτόνομη λειτουργία κάθε μικροπηγής ειδικά εάν εφαρμόζεται αποκεντρωμένος έλεγχος, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Είναι σαφές ότι για να λειτουργήσει το μικροδίκτυο, είναι σημαντικό προκειμένου να εξισορροπηθούν με συντονισμένο τρόπο η προσφορά ισχύος από τις τοπικές διασπαρμένες μονάδες παραγωγής και από τη γραμμή διανομής ΜΤ με τη ζήτηση. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που μπορούν να εφαρμοστούν, κυμαινόμενες από μια πλήρως αποκεντρωμένη προσέγγιση προς ένα κεντρικό έλεγχο ανάλογα με τις λειτουργίες του MGCC και των LCs. Αφού γίνει μία επισκόπηση των διαδικασιών του πλήρως αποκεντρωμένου ελέγχου θα παρουσιαστεί η περισσότερο «κεντρική» προσέγγιση ελέγχου, στην οποία ο MGCC διαδραματίζει τον κύριο ρόλο όπως περιγράφεται στις ενότητες που ακολουθούν.

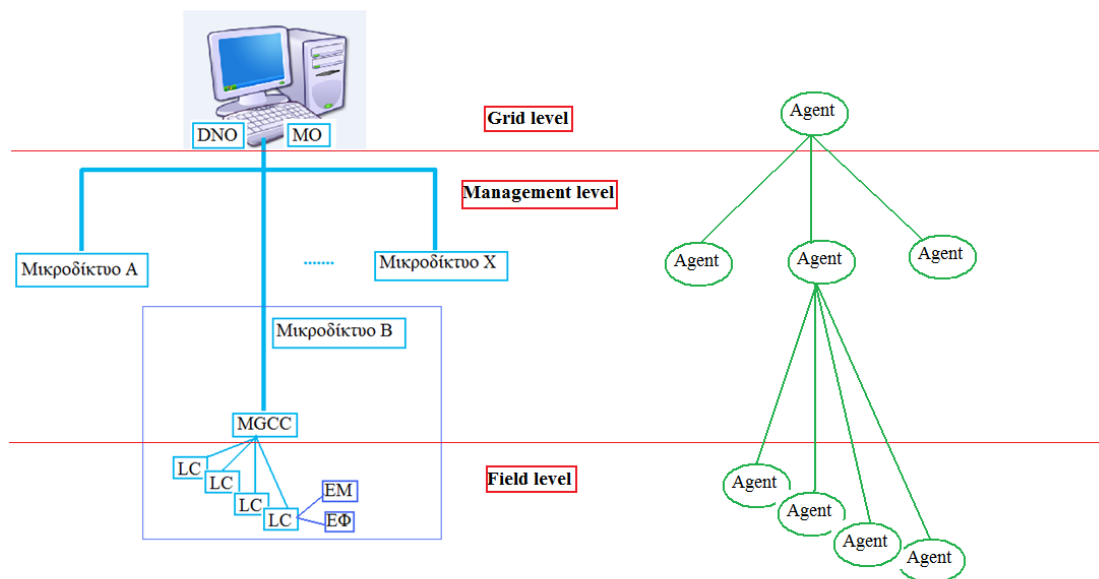
3.1.6.1 ΠΛΗΡΩΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Η ιδέα είναι η απλοποίηση ενός πολύ σύνθετου προβλήματος με μεγάλο αριθμό μεταβλητών, όπως η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός ΣΗΕ με πολλές μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, σε πολλά επί μέρους προβλήματα τα οποία μπορούν να επιλυθούν το κάθε ένα ξεχωριστά, αξιοποιώντας την κατανομημένη ευφυΐα που υπάρχει στις επί μέρους συνιστώσες ελέγχου.

Σε μία τέτοια μορφή ελέγχου επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή αυτονομία των επί μέρους συνιστωσών ελέγχου. Έτσι παράδειγμα, η κύρια ευθύνη για τον έλεγχο του μικροδικτύου, ανατίθεται στους τοπικούς ελεγκτές των μονάδων (EM), οι οποίοι συνεργάζονται ή ακόμη και ανταγωνίζονται για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή τους προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση και να εξάγουν πιθανώς το μέγιστο ποσό ενέργειας στο δίκτυο MT λαμβάνοντας υπ' όψη τις τρέχουσες τιμές αγοράς. Υπό τέτοιες συνθήκες απαιτείται όχι μόνο ευφυΐα από τον κάθε ένα ελεγκτή, αλλά και αυξημένες ικανότητες τοπικά, ώστε όλο το ελεγχόμενο δίκτυο να αποκτήσει ευφυΐα. Έτσι θα μπορεί να επιτευχθεί όχι μόνο η τοπική βελτιστοποίηση αλλά και σύγκλιση σε μία πολύ ικανοποιητική λύση δεδομένων και των αντικρουόμενων συμφερόντων που μπορούν να υπάρχουν σε ένα μικροδίκτυο.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά που επιζητάμε στον αποκεντρωμένο έλεγχο μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση ενός ευφυούς πολυπρακτορικού συστήματος (Multi Agent Systems – MAS). Η τεχνολογία MAS έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και χρησιμοποιεί υψηλού επιπέδου γλώσσα επικοινωνίας με συγκεκριμένη σημειολογία ώστε να ανταλλάσσονται όχι μόνο πληροφορίες αλλά και γνώση μεταξύ των πρακτόρων. Η ανταλλαγή των πληροφοριών και οι διαδικασίες μάθησης συμβάλλουν ώστε να επιτευχθεί ο τελικός στόχος: ο έλεγχος της διαδικασίας για την οποία χρησιμοποιούνται οι πράκτορες. Η ευφυΐα που αποκτά κάθε πράκτορας, τόσο από την βάση γνώσης που διαθέτει, τις τεχνικές μάθησης, π.χ ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning), και κυρίως από την επικοινωνία με τους γειτονικούς του πράκτορες, συμβάλλει στις μετέπειτα αποφάσεις του, που μπορούν να επηρεάζουν και όλο του το περιβάλλον. Μέσα από αυτή τη διαδικασία μάθησης και συνεχούς επικοινωνίας μπορεί να επιτευχθεί ένα σχεδόν βέλτιστο αποτέλεσμα ελέγχου.

Η αντιστοιχία μεταξύ της προσέγγισης των ευφυών πρακτόρων για τον έλεγχο του μικροδικτύου στα διάφορα επίπεδα ελέγχου και της αρχιτεκτονικής ελέγχου, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5 με τα τρία επίπεδα ελέγχου και την αντιστοιχισή τους με τα επίπεδα λειτουργίας του μικροδικτύου [3.1.13].



Σχήμα 3.4: Αντιστοίχιση επιπέδων ελέγχου για το μικροδίκτυο και προσέγγισης με σύστημα MAS

Στο ανώτερο επίπεδο ή επίπεδο δικτύου είναι το Δίκτυο MT και ο πράκτορας που χρησιμοποιείται είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ του μικροδικτύου και των DNO/MO, ανταλλάσσοντας μηνύματα για τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας.

Στο ενδιάμεσο επίπεδο, το επίπεδο διαχείρισης, οι πράκτορες που συμμετέχουν είναι υπεύθυνοι για την οργανωμένη λειτουργία των ελεγκτών μονάδων παραγωγής και φορτίου, την συμμετοχή του κάθε μικροδικτύου στην αγορά ενέργειας αλλά και την πιθανή συνεργασία του μικροδικτύου με άλλα γειτονικά μικροδίκτυα. Σε αυτό το επίπεδο ένας πράκτορας είναι επιφορτισμένος με το έργο των διαπραγματεύσεων με τον MO. Οι προσφορές όμως των φορτίων και των μονάδων παραγωγής είναι έργο των πρακτόρων που βρίσκονται στο αμέσως παρακάτω επίπεδο, το επίπεδο Εφαρμογής ή Field level, το οποίο είναι και η ψυχή του πολύ-πρακτορικού συστήματος ελέγχου. Οι πράκτορες αυτοί είναι οι τοπικοί ελεγκτές LCs. Η λειτουργία ενός τέτοιου ελεγκτή απαιτεί δύο τμήματα το εξωτερικό το οποίο παρέχει το περιβάλλον επικοινωνίας με το Μικροδίκτυο το οποίο ανταλλάσσει set points, προσφορές και εντολές. Αυτό το τμήμα είναι κοινό ώστε να είναι εφικτή η προτυποποίηση της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος και να υπάρχει κοινός κώδικας επικοινωνίας. Το εσωτερικό τμήμα είναι επιφορτισμένο με την μετάδοση των εντολών που λαμβάνει ο πράκτορας στην φυσική μονάδα που ελέγχεται, μονάδα παραγωγής ή φορτίο. Επίσης αυτοί οι πράκτορες θα πρέπει να είναι σε θέση να συνεργάζονται και να λαμβάνουν υπ' όψιν τους άλλους τοπικούς ελεγκτές και άλλα ευφυή τμήματα του μικροδικτύου.

Συνοπτικά οι χαρακτηριστικές εργασίες που θα πρέπει να μπορούν να επιτελούν οι πράκτορες σε κάθε επίπεδο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 [3.1.13]:

Επίπεδο Εφαρμογής (Field Level)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Έλεγχος ενεργού έργου ισχύος ▪ Διαχείριση μπαταριών ▪ Έλεγχος Τάσης ▪ Έλεγχος Συχνότητας ▪ Λειτουργίες διακοπών
Ενδιάμεσο επίπεδο (Management Level)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συμμετοχή στην αγορά ▪ Αποκοπή φορτίου, καταγραφή και παρακολούθηση ζητημάτων ασφαλείας και ποιότητας ισχύος ▪ Νησιδοποίηση και επανατροφοδότηση από το δίκτυο ▪ Εκκίνηση μετά από Black out
Επίπεδο δικτύου (Grid level)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συμμετοχή στην αγορά ▪ Αποφάσεις ζητημάτων ασφαλείας και ποιότητας ισχύος

Πίνακας 3.2: *Εργασίες πρακτόρων σε κάθε επίπεδο*

Επιπρόσθετες απαιτήσεις για την ανάπτυξη αυτής της αρχιτεκτονικής, είναι να μην απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στο λογισμικό ελέγχου εξαιτίας της αλλαγής προτεραιοτήτων και λειτουργιών στο μικροδίκτυο ή από την προσθήκη νέων συμμετεχόντων σε αυτό. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει οι πράκτορες να μπορούν να εκπαιδευτούν στα νέα αυτά μηνύματα που λαμβάνουν. Το έργο αυτό διευκολύνεται με την ανάπτυξη ελεγκτών στις τοπικές μονάδες παραγωγής με την μορφή «plug n' play» ώστε να επιτελούν πολυσύνθετες λειτουργίες με μεγαλύτερο βαθμό ευφυΐας από την απλή ανταλλαγή σημείων λειτουργίας. Ήδη η έρευνα κατευθύνεται στον τομέα της ανάπτυξης τέτοιων ελεγκτών και την ενσωμάτωση ευφών ελεγκτών στις μονάδες παραγωγής και φορτίου. Ο τελικός στόχος είναι ο έλεγχος να είναι ακόμη ευκολότερος ανεξάρτητα από τον προμηθευτή του τοπικού ελεγκτή της μονάδας παραγωγής και να προσαρμόζεται η συσκευή που προστίθεται άμεσα στο περιβάλλον λειτουργίας.

3.1.6.2 Κεντρικός έλεγχος – Αρμοδιότητες MGCC

Στον κεντρικό έλεγχο, οι LC ακολουθούν τις εντολές του MGCC, όταν το μικροδίκτυο συνδέεται με το κυρίως δίκτυο, και έχουν την αυτονομία να εκτελέσουν τοπική βελτιστοποίηση της ενεργού και έργου ισχύος κατά την απομονωμένη λειτουργία του Μικροδικτύου. Η κύρια ευθύνη για τη μεγιστοποίηση της αξίας του μικροδικτύου και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ανατίθεται στον MGCC[3.13].

Η λειτουργία του MGCC είναι η ακόλουθη: Κάθε m λεπτά, π.χ. 15 λεπτά, αποστέλλονται στον MGCC οι προσφορές κάθε μονάδας και κάθε φορτίου, αν

εφαρμόζεται τέτοια πολιτική, για την επόμενη ώρα σε διαστήματα m λεπτών. Αυτές οι προσφορές είναι βασισμένες στις τιμές ενέργειας στην ελεύθερη αγορά, την ανάγκη για παραγωγή θερμότητας παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρισμού, το κόστος παραγωγής της μονάδας, το επιδιωκόμενο ποσοστό κέρδους από τον ιδιοκτήτη της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής ή από την αξία του φορτίου όπως την αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής για το χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού επόμενο διάστημα. Οι προσφορές των φορτίων ακολουθούν τους ίδιους κανόνες με εκείνους των πηγών δηλαδή κάθε m λεπτά υποβάλλουν προσφορές για την επόμενη ώρα σε βήματα των m λεπτών.

Ο MGCC προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την οικονομική λειτουργία του μικροδικτύου βασιζόμενος στα ακόλουθα:

- Την ακολουθούμενη πολιτική αγοράς.
- Την ακολουθούμενη πολιτική προσφοράς φορτίων.
- Τις τιμές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα τεχνικά όρια των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής
- Πρόβλεψη φορτίου, αν αυτό απαιτείται.
- Εκτίμηση παραγωγής από ΑΠΕ.
- Πιθανούς περιορισμούς ασφαλείας του δικτύου, π.χ. η ικανότητα της γραμμής διασύνδεσης.
- Τις προσφορές των μονάδων του μικροδικτύου.
- Τις προσφορές των καταναλωτών.
- Τυχόν περιορισμούς περιβαλλοντικής πολιτικής.
- Όρια παραγωγής για Διατήρηση της τάσης.
- Εμπόριο Ρύπων.
- Τη λειτουργία σε διασυνδεδεμένη ή νησιδοποιημένη λειτουργία.

Το καθορισμένο ως βέλτιστο σενάριο λειτουργίας επιτυγχάνεται με τον έλεγχο των μικροπηγών και των ελέγξιμων φορτίων μέσα στο μικροδίκτυο με την αποστολή κατάλληλων σημάτων ελέγχου στους LCs τα οποία περιέχουν:

- Τις τιμές της αγοράς.
- Ποιες μονάδες θα λειτουργήσουν.
- Τα σημεία λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στις οποίες μπορεί να ελεγχθεί η έξοδός τους, π.χ. μικροτουρμπίνες,
- Τα φορτία που θα εξυπηρετηθούν ή θα αποκοπούν.

Η διαδικασία αυτή λειτουργεί επαναληπτικά κάθε m λεπτά και για την επόμενη ώρα. Ειδικά για τις τιμές της αγοράς αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους τοπικούς ελεγκτές προκειμένου να προετοιμαστούν πιο κατάλληλα οι προσφορές τους στον MGCC για τα επόμενα διαστήματα.

Για αυτού του είδους την επικοινωνία μεταξύ του MGCC και κάθε ενός από τους τοπικούς ελεγκτές, χρειάζεται αμφίδρομη επικοινωνία. Οι τοπικοί ελεγκτές στέλνουν την πληροφορία που απαιτείται από τον MGCC, σε μορφή *.txt και *.xml. Με όμοιο format αποστέλλεται η πληροφορία για τα σημεία λειτουργίας και για τις τιμές της αγοράς στους τοπικούς ελεγκτές. Η επικοινωνία μπορεί να γίνει είτε με την βοήθεια τηλεφωνικών γραμμών, φερέσυχνων ή και ασύρματης επικοινωνίας όπως τεχνολογίες GSM ή GPRS.

Για να μπορεί ο MGCC να επιτυγχάνει κατά το δυνατόν βέλτιστη λειτουργία του μικροδικτύου, οι συναρτήσεις οι οποίες πρέπει να υλοποιούνται σε ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου είναι σε γενικές γραμμές οι εξής:

- *Πρόβλεψη φορτίου:*
Καθώς ο ορίζοντας βελτιστοποίησης είναι μερικές ώρες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλές μέθοδοι όπως η persistent και η μέθοδος χρονοσειρών. Λόγω του μικρού αριθμών φορτίων το σφάλμα της πρόβλεψης αναμένεται να είναι σημαντικότερο από ότι στα μεγαλύτερα δίκτυα. Αν υπάρχουν προσφορές των φορτίων στον MGCC, τότε η ανάγκη για αλγορίθμους πρόβλεψης μειώνεται.
- *Πρόβλεψη παραγωγής από ΑΠΕ:*
Λόγω του υψηλού κόστους για την πρόβλεψή τους δεν αναμένεται να έχουμε αξιόπιστη μετεωρολογική πληροφορία σε τόσο τοπικό επίπεδο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρόμοιες μέθοδοι με την πρόβλεψη φορτίου λόγω του μικρού διαστήματος βελτιστοποίησης και τη διαρκή ανανέωση των μετρήσεων για την τρέχουσα παραγωγή. Μάλιστα μέθοδοι τύπου persistent, που θεωρούν ότι η παραγωγή στο επόμενο χρονικό διάστημα αναμένεται να είναι ίση με την παραγωγή της προηγούμενης χρονικής περιόδου, έχουν αρκετά ικανοποιητική επίδοση στις προβλέψεις ειδικά αιολικής παραγωγής για τόσο μικρά διαστήματα που εξετάζουμε.
- *Πρόβλεψη θερμικών αναγκών:*
Στη Βόρεια κυρίως Ευρώπη αναμένεται σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων ΣΗΘ. Επομένως, η θερμική ζήτηση αναμένεται να μεταβάλλει τις προσφορές των παραγωγών αλλά και να επηρεάζει τη λειτουργία των μικροδικτύων. Αν ο τοπικός ελεγκτής διαχειρίζεται συνολικά τις ενεργειακές ανάγκες του μικροδικτύου, τέτοιου είδους διαδικασίες είναι απαραίτητες για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Η μεθοδολογία πρόβλεψης απαιτεί να εκτιμηθούν παράγοντες όπως η θερμοκρασία και ειδικά ο βαθμός συσχέτισης θερμικής ζήτησης με τη θερμοκρασία, η υγρασία, η ώρα της ημέρας, και ο τύπος της (καθημερινή/σαββατοκύριακο), η εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αλλά και το είδους των θερμικών αναγκών της περιοχής.

- *Οικονομικής λειτουργίας:*
 Αυτές είναι απαραίτητες προκειμένου να επιλεγούν οι οικονομικότερες προσφορές τόσο από τα φορτία όσο κυρίως από τις μονάδες παραγωγής. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ρουτίνες επιλογής ένταξης των μονάδων παραγωγής – φορτίων (unit Commitment) και Οικονομικής κατανομής (Economic Dispatch). Η πρώτη κατηγορία επιλέγει ποιες μονάδες είναι οικονομικά συμφέρον να λειτουργήσουν σε σχέση με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ενώ η οικονομική κατανομή αποφασίζει τα σημεία λειτουργίας αυτών των μονάδων. Αν οι προσφορές των μονάδων είναι της μορφής AX, όπου X η παραγωγή της κάθε μονάδας, η απόφαση εκφυλίζεται στην σύγκριση της παραμέτρου A με την τιμή της αγοράς και τις υπόλοιπες προσφορές των μονάδων. Σε διαφορετική περίπτωση χρησιμοποιούνται και οι δύο συναρτήσεις.

- *Εκτίμησης ασφάλειας:*
 Η ειδοποιός διαφορά ενός μικροδικτύου από ένα σύνολο μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι η ικανότητα για την κατά το δυνατόν αδιατάρακτη μετάβαση από τη διασυνδεδεμένη στη νησιδοποιημένη λειτουργία σε περίπτωση βλάβης του ανάντη δικτύου. Οι συναρτήσεις ασφαλείας έχουν ως στόχο να καθορίσουν ποιες μονάδες θα πρέπει να λειτουργούν ή ποια φορτία πρέπει να αποκοπούν προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετηθούν τα κρίσιμα φορτία. Έτσι μπορούν να διακριθούν σε συναρτήσεις για την εκτίμηση της στατικής ασφάλειας του μικροδικτύου σε περίπτωση διαταραχής (steady state security) και σε συναρτήσεις on-line εκτίμησης της δυναμικής ασφάλειας. Οι τελευταίες με τη βοήθεια μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα και τα Δέντρα απόφασης συμβάλλουν στο να έχει δημιουργηθεί μία βάση γνώσης στον MGCC, ώστε να γνωρίζει τις ασφαλείς και ανασφαλείς καταστάσεις του μικροδικτύου στην περίπτωση της διακοπής της διασύνδεσης. Με τη βοήθεια προσομοιώσεων της δυναμικής συμπεριφοράς του μικροδικτύου, δημιουργείται η βάση γνώσης σχετικά με τη λειτουργία των τοπικών μονάδων παραγωγής, τη φόρτιση του δικτύου και τα δυναμικά χαρακτηριστικά των πηγών του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό κάποια ξαφνική αλλαγή στη λειτουργική κατάσταση του μικροδικτύου μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά και σύντομα ώστε να αποφευχθούν αποκλίσεις από την επιθυμητή συχνότητα και την τάση λειτουργίας.

- *Ειδικές Συναρτήσεις:*
 Αυτές οι συναρτήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για να:

- Εκτιμήσουν την πιθανότητα να παραβιάζονται οι τάσεις σε κάποιο κόμβο από τη λειτουργία του μικροδικτύου ή από την παραγωγή κάποιας τοπικής μονάδας παραγωγής.
- Μεταβάλλουν τη λειτουργία του μικροδικτύου ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολική ποσότητα των ρύπων που αποφεύγονται και ακόμη να συμμετέχει το μικροδίκτυο στο εμπόριο ρύπων.
- Βελτιστοποιήσουν τη λειτουργία σε επείγουσες καταστάσεις. Αυτές οι συναρτήσεις περιλαμβάνουν μεθόδους για την επίτευξη ελέγχου σε περιόδους όπου το δίκτυο λειτουργεί απομονωμένο από το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο ως ένα νησί. Σε αυτήν την ομάδα συναρτήσεων περιλαμβάνονται και οι συναρτήσεις black start του μικροδικτύου.

Ο βαθμός πολυπλοκότητας των επί μέρους συναρτήσεων για τον έλεγχο ενός μικροδικτύου είναι συνάρτηση του μεγέθους του και των αναμενόμενων κερδών που μπορούν να υπάρχουν από τη βελτίωση της επίδοσης των επί μέρους αλγόριθμων.

3.1.6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΚΕΝΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Και στις δύο προσεγγίσεις ελέγχου λειτουργίας του μικροδικτύου υπάρχει σημαντική αποκέντρωση συγκριτικά με το να δίνονται από κάποιο κεντρικό σημείο οδηγίες για κάθε μία από τις μονάδες Διεσπαρμένης παραγωγής του υπό μελέτη ΣΗΕ. Η διαφορά έγκειται στο βαθμό αποκέντρωσης που υπάρχει αλλά και στις δυνατότητες που επιθυμούμε να παρέχει ο MGCC.

Ο αποκεντρωμένος έλεγχος μπορεί να συμβάλλει ώστε όταν οι χρήστες του μικροδικτύου επιθυμούν να επιτύχουν τη βελτιστοποίηση των δικών τους πόρων ή πολύ περισσότερο όταν τα συμφέροντα του χρήστη Α έρχονται σε αντίθεση με τα συμφέροντα του χρήστη Β, να συγκλίνει ο έλεγχος σε μία εφικτή λύση που κατά το δυνατόν θα ικανοποιεί και τα συμφέροντα των δύο. Για παράδειγμα σε ένα δίκτυο με οικιακούς καταναλωτές ο ένας μπορεί να επιθυμεί να παράγει θερμότητα και να πουλήσει την περίσσεια ηλεκτρισμού ενώ κάποιος άλλος να έχει αυξημένες ανάγκες ηλεκτρισμού. Και οι δύο επιθυμούν να επιτύχουν το σκοπό τους με τον πλέον οικονομικό τρόπο, οπότε δε θα επιθυμούσαν να αλλάζει η παραγωγή τους από απομακρυσμένο σημείο και να μην μπορούν να πουλήσουν την περίσσεια της παραγωγής τους ή να αγοράσουν φθηνή ενέργεια. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας μπορεί να συμβάλλει, με την βοήθεια της αποκεντρωμένης ευφυΐας και την ενσωμάτωση ευφυών πρακτόρων σε μορφή «plug and play» συσκευών ο έλεγχος να έχει χαμηλότερο κόστος καθώς περισσότερες εταιρίες θα προσπαθούν να αναπτύξουν τέτοιου είδους προϊόντα.

Από την άλλη όταν ο στόχος των συμμετεχόντων είναι η μεταξύ τους συνεργασία ώστε να μειωθεί συνολικά το κόστος ικανοποίησης των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών τους, ο κεντρικός έλεγχος ο οποίος μπορεί να συμπεριλάβει και ειδικές συναρτήσεις, όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, παρουσιάζει πλεονεκτήματα. Τέτοιο παράδειγμα είναι ένα βιομηχανικό μικροδίκτυο. Επίσης ομάδες θερμοκηπιακών καλλιεργητών θα επιθυμούσαν να συνεργαστούν ώστε να επιτύχουν μείωση των δαπανών για τη θέρμανση και τον ηλεκτρισμό τους. Σε τέτοιο περιβάλλον λειτουργίας αναμένονται οι τελικοί χρήστες να επιλέξουν πιο «κεντρική» φιλοσοφία λειτουργίας. Επιπρόσθετα στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της αγοράς είναι μάλλον απίθανο κάθε ένας μικρός καταναλωτής και κάτοχος διεσπαρμένης παραγωγής να μπορέσει με μικρή ισχύ να επιτύχει σημαντικά οφέλη σε σχέση με την οργανωμένη παρουσία πολλών μικρών παραγωγών από διεσπαρμένη παραγωγή οι οποίοι θα παρουσιάζονται ως μία οντότητα στην αγορά και θα μπορούν να διαπραγματεύονται με ευνοϊκότερους όρους την ικανοποίηση των ενεργειακών τους αναγκών. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο εταιρίες που θα μπορούν να αναλάβουν τη λειτουργία αυτών των παραγωγών και θα έχουν και το κατάλληλο προσωπικό που θα δικαιολογούσαν «κεντρική» αντιμετώπιση του ελέγχου. Υπό τέτοιες συνθήκες οι τοπικοί ελεγκτές δε θα ήταν τίποτε άλλο από απλοί μεταβιβαστές εντολών χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη ευφυΐας όπως στον αποκεντρωμένο έλεγχο του μικροδικτύου.

Επειδή στον κεντρικό έλεγχο είναι εφικτό να υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες γνωστές στον τοπικό ελεγκτή, σε αντίθεση με το τι γνωρίζει κάθε τοπικός ελεγκτής, και επειδή υπάρχει μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύς, ο κεντρικός ελεγκτής μπορεί να υπολογίσει το βέλτιστο σετ αποφάσεων για την λειτουργία του μικροδικτύου. Η συνεργασία των τοπικών ελεγκτών μπορεί να επιτύχει αρκετά ικανοποιητικές λύσεις αλλά η λύση που επιτυγχάνεται είναι υπό βέλτιστη. Υπάρχουν όμως προϋποθέσεις, που η λύση που επιτυγχάνεται να είναι η βέλτιστη και σε αποκεντρωμένο τρόπο λειτουργίας. Οι παραπάνω παρατηρήσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 3.3 [3.1.13].

	Κεντρικός έλεγχος	Αποκεντρωμένος έλεγχος
Ιδιοκτησία διεσπαρμένης παραγωγής	Ένας ιδιοκτήτης ή συνεταιρισμένοι ιδιοκτήτες που φαίνονται ως οντότητα	Κατά κανόνα πολλοί ιδιοκτήτες
Στόχος ελέγχου	Βελτιστοποίηση λειτουργίας ικανοποιώντας διάφορους περιορισμούς	Αβεβαιότητα για τις επιδιώξεις του κάθε χρήστη εκείνη τη στιγμή
Διαθεσιμότητα προσωπικού για ειδικές εργασίες (π.χ. low level management)	Συνηθισμένη	Σπάνια

Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης	Μπορούν να υλοποιηθούν και εξεζητημένοι αλγόριθμοι	Χρήση απλών αλγορίθμων προκειμένου να μειωθεί το κόστος ελέγχου
Εγκατάσταση νέας μονάδας ή οντότητας	Χρήση προσωπικού για την εγκατάσταση επικοινωνιακών εφαρμογών και προσθήκη στον Κεντρικό Ελεγκτή	Η συσκευή αναμένεται να είναι «plug and play». Οι χρήστες θα προσαρμοστούν με διαδικασίες μάθησης στα νέα δεδομένα
Βέλτιστη λύση	Επιτυγχάνεται	Στην συντριπτική τους πλειοψηφία υπό – βέλτιστες λύσεις
Συμμετοχή στην αγορά	Συνεργασία όλων των μονάδων	Πολύ συχνά υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των μονάδων
Συμμετοχή μικροδικτύου σε κρισιμότερες αποφάσεις ως τμήμα γενικού μοντέλου ελέγχου	Εφικτή	Μη εφικτή προς το παρόν

Πίνακας 3.3: Σύνοψη ιδιοτήτων Κεντρικού και Αποκεντρωμένου ελέγχου μικροδικτύου

3.1.7 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ ΣΕ ΙΔΕΑΤΗ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

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 προκειμένου 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.

3.1.7.1 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 αντανακλούν την κατάσταση του, μειώνει την επιβάρυνση του δικτύου μειώνοντας τη «φαινόμενη» ζήτησή του [3.1.14][3.1.13].

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.

3.1.7.2 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 επωφελούνται οι καταναλωτές του μικροδικτύου, αλλά και οι γειτονικές του γραμμές αφού μειώνεται η συνολική ζήτηση στη συγκεκριμένη περιοχή [3.1.13].

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 ΜΤ 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 3.7.1 διότι πλέον μπορεί να ανταλλάσσεται ισχύς με το δίκτυο, αλλά 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 εγχέεται στο ανάντη δίκτυο, ανισότητα. Οι λοιποί περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται είναι ίδιοι με εκείνους της υποενότητας 3.7.1.

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

3.1.8 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΠΡΟΣΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ – DEMAND SIDE BIDDING (DSB)

Η διαδικασία της προσφοράς κινήτρων ώστε οι καταναλωτές να αλλάξουν τη μορφή της ζήτησής τους με σκοπό τη μείωση της αιχμής ενός συστήματος, αποτελεί μια συνηθισμένη πρακτική για τη διαχείριση της ζήτησης. Για εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής ένα σχετικό πείραμα διαχείρισης της ζήτησης πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος DISPOWER στο οικολογικό συγκρότημα κατοικιών Stutense στο Mannheim με τίτλο ‘Washing with the sun’. Οι κάτοικοι ενημερώνονταν με SMS, για πλεόνασμα φωτοβολταϊκής παραγωγής, ώστε να προγραμματίσουν το πλύσιμο και άλλες ενεργοβόρες δραστηριότητες τους, τις ώρες εκείνες. Οι καταναλωτές που ανταποκρίνονταν λάμβαναν ένα υψηλό bonus της τάξης των 50 €ct/kWh. Με αυτόν τον τρόπο μειώθηκε σημαντικά η αιχμή και μετακινήθηκε η τυπική καμπύλη ζήτησης των κατοικιών από τη νυχτερινή αιχμή προς τις ώρες της ημέρας που υπήρχε ηλιοφάνεια.

Στο πλαίσιο του ελέγχου ενός μικροδικτύου, εξετάστηκε η περίπτωση εκτός από τους ιδιοκτήτες των μονάδων και οι καταναλωτές του μικροδικτύου να υποβάλλουν προσφορές στον MGCC για την ικανοποίηση της ζήτησής τους ή για τη μείωση της κατανάλωσης τους, απολαμβάνοντας κάποιο όφελος.

Κάθε καταναλωτής μπορεί να έχει «υψηλής» και «χαμηλής» προτεραιότητας φορτία, τα οποία θα ήθελε να τροφοδοτηθούν. Σε ομαλές συνθήκες ο καταναλωτής επιθυμεί να εξυπηρετήσει το σύνολο των φορτίων του. Σε περιόδους υψηλών τιμών, για να αποφύγει την υψηλή χρέωση, πιθανόν να επιθυμούσε κάποια φορτία να μεταθέσουν τη λειτουργία τους σε κάποια άλλη χρονική στιγμή (shift) ή να μην λειτουργήσουν καθόλου (curtailment). Όμοια σε περιόδους στις οποίες η το ανάντη δικτύου είναι ιδιαίτερα φορτισμένο ή αν το μικροδίκτυο προσπαθήσει να λειτουργεί απομονωμένο, τότε η μη εξυπηρέτηση κάποιων φορτίων μπορεί να συμβάλλει ή ακόμη να είναι και αναγκαία, ώστε η διαθέσιμη ισχύς από τις τοπικές μονάδες παραγωγής να επαρκεί για την ικανοποίηση των «υψηλής» προτεραιότητας φορτίων [3.1.15].

Δύο παραλλαγές για την μορφή προσφορών από φορτία:

- Τα φορτία ενημερώνουν για την ισχύ που θέλουν να εξυπηρετηθεί και την τιμή πάνω από την οποία θα ήθελαν να μην εξυπηρετηθεί η ισχύς που δηλώνουν.
- Τα φορτία ενημερώνουν για την ισχύ την οποία θα ήθελαν να αποκοπεί αν αποζημιώνονταν σε συγκεκριμένη τιμή που προτείνουν.

Ανεξάρτητα από την παραλλαγή για την προσφορά του φορτίου που ακολουθείται ο MGCC:

- Ενημερώνει τους καταναλωτές για τις τιμές ελεύθερης αγοράς.
- Δέχεται τις προσφορές από τους καταναλωτές.
- Στέλνει σήματα στους (ΕΦ) σύμφωνα με την έκβαση της ρουτίνας βελτιστοποίησης, για το ποια φορτία θα συνδεθούν ή ποια φορτία θα αποκοπούν.

Η γνώση των τιμών της αγοράς βοηθάει τους καταναλωτές στην προετοιμασία των προσφορών τους. Αυτές οι τιμές αν ακολουθείται η πολιτική του «καλού πολίτη» αντιστοιχούν στη μέγιστη τιμή που οι τελικοί χρήστες αναμένεται να χρεωθούν, αν αγνοήσουμε τυχόν περιορισμούς ασφαλείας.

3.1.9 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ ΡΥΠΩΝ

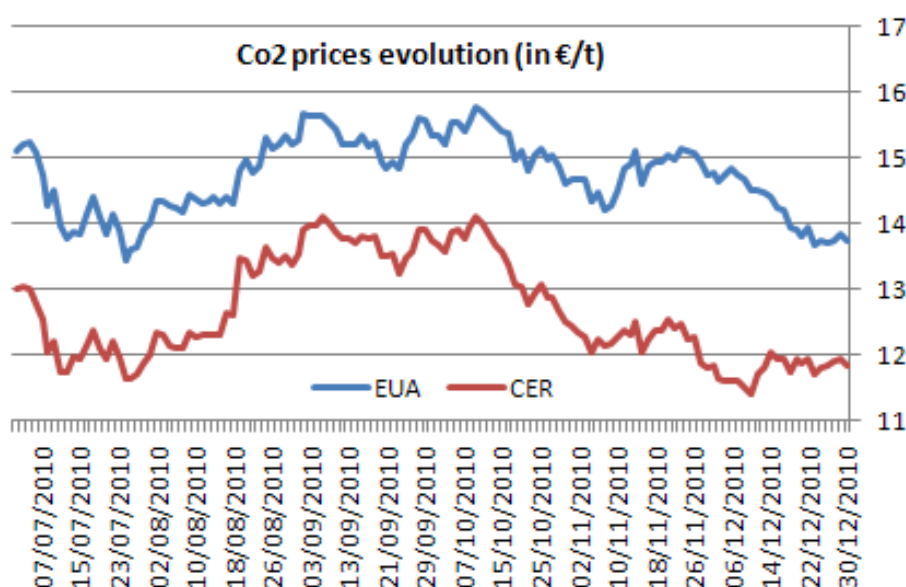
Η δυνατότητα της λειτουργίας του μικροδικτύου με οργανωμένο τρόπο δίνει τη δυνατότητα στους τελικούς του χρήστες να επιδιώκουν την ελαχιστοποίηση των συνολικών ρύπων που εκπέμπονται από το σύστημα και το μικροδίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση η αντικειμενική συνάρτηση είναι η συνάρτηση ελαχιστοποίησης του θεωρούμενου ρύπου, συνήθως το CO₂, και ανάλογα με το αν επιτρέπεται ή όχι πώληση ενέργειας προς το δίκτυο πρέπει να ικανοποιούνται οι αντίστοιχοι περιορισμοί όπως εξετάστηκαν στην ενότητα 3.7.

Μία σημαντική επιχειρηματική ευκαιρία για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής για να αυξήσουν τόσο τις ώρες λειτουργίας, όσο και να βελτιώσουν την αποπληρωμή της επένδυσής τους είναι να συμμετάσχουν στην αγορά ρύπων. Έτσι, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, εφ' όσον λάβουν την κατάλληλη αποζημίωση, μπορούν να προσφέρουν μείωση των ρύπων, κυρίως του CO₂, για τον οποίο υπάρχει οργανωμένο εμπόριο στο ανάντη δίκτυο και να λειτουργούν ακόμη και ώρες οι οποίες δεν είναι οικονομικά ωφέλιμες απλά για να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων. Τέτοιου είδους λειτουργία είναι σημαντικά ευκολότερο να επιτευχθεί αν η λειτουργία των μικροδικτύων είναι συντονισμένη με την βοήθεια του MGCC [3.1.13].

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 [3.1.16]. 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 CO₂ για το χρονικό διάστημα ενός έτους παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.1.



Γράφημα 3.1: Διακόμανση τιμών Δικαιωμάτων Εκπομπής CO₂ (€/tn) για το 2010

Υπάρχει η δυνατότητα ο MGCC να λαμβάνει υπ' οφιν 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 CO₂.

3.1.10 ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

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 [3.1.13].

3.1.10.1 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:

$$\begin{aligned} marginal_cost \\ &= operational_cost - Emissions_avoided_param \\ &\cdot Emission_cost \end{aligned}$$

3.1.10.2 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 $a > 0$, 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.

3.1.11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1.1] Paulo Moises Costa, Manuel A. Matos, J.A. Pecas Lopes, “Regulation of microgeneration and microgrids”, Energy Policy 36, 2008.
- [3.1.2] 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.
- [3.1.3] Nikos Hatziaargyriou, “MIGROGRIDS – Large Scale Integration of Micro – Generation to Low Voltage Grids”, NTUA, School of Electrical and Computer Engineering, 2000.
- [3.1.4] D. Pudjiant, G. Strbac, V.O. Frank, A.I.S. Androutso, L. Zigor, J.T. Saraiva, “Investigation of regulatory, commercial, economic and environmental issues in mGrids”, International Conference on Future Power Systems, 2005.
- [3.1.5] M. Philippe, A.F. Dominique, L. Marie – Laure, “Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy”, Energy Policy 31, 2003.
- [3.1.6] Α. Βαβαλάκη, “Επίδραση της τιμολόγησης των ΑΠΕ στα Μικροδίκτυα”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Απρίλιος 2010.
- [3.1.7] C. Marnay, J. Lai, M. Stadler and A. Siddiqui, “Added Value of Reliability to a Microgrid: Simulations of Three California Buildings”, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, April 2009.
- [3.1.8] Σ. Κασμάς, “Η επίδραση των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας και αποθήκευσης καθώς και φορολογίας άνθρακα σε ένα μικροδίκτυο βάσει του μοντέλου DER – CAM”, Ε.Μ.Π, Αθήνα, Ιούλιος 2009.
- [3.1.9] Β.Κ. Παπαδιάς, Κ. Βουρνάς, “Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και έλεγχος συχνότητας και τάσεως”, εκδόσεις Συμμετρία, 1991.
- [3.1.10] Β.Μ. Αργυροπούλου, “Οικονομικά οφέλη Μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής – Στοχαστική προσέγγιση”, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα, Νοέμβριος 2011.
- [3.1.11] Μ. Παπαδόπουλος, “Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 1997.
- [3.1.12] Electricity Storage Association (ESA)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.electricitystorage.org/>
- [3.1.13] 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.
- [3.1.14] 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.

[3.1.15] P.S. Rao, “Combined heat and power economic dispatch: a direct solution”, *Elect. Power Components Syst.* 34, 2006.

[3.1.16] European Energy Exchange (EEX) (ηλεκτρονική διεύθυνση)
<http://www.eex.com>

3.2 ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ-ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σε συνδυασμό με το όλο και αυξανόμενο ενδιαφέρον σε ενεργειακά θέματα καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις επιβάλλουν την αναθεώρηση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, οι εξελίξεις στον τομέα της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, της διαχείρισης φορτίου και της επικοινωνίας, καθώς και η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθιστούν επιτακτική ανάγκη την επένδυση στη δημιουργία νέων δικτύων.

Τα νέα αυτά δίκτυα πρέπει να είναι ασφαλή, φιλικά προς το περιβάλλον και να συμφέρουν οικονομικά. Οι παράγοντες που πρέπει να απασχολήσουν τα δίκτυα του μέλλοντος έχουν να κάνουν με:

- *Την Ευρωπαϊκή εσωτερική αγορά.*
Η εξέλιξη της αγοράς σε συνδυασμό με ένα αποδοτικό νομοθετικό πλαίσιο θα βοηθήσει στην οικονομική εξέλιξη της Ευρώπης. Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός θα οδηγήσει σε νέες τεχνολογικές εξελίξεις και καινοτομίες. Έτσι, η εσωτερική αγορά της Ευρώπης αναμένεται να παρέχει πολλά οφέλη στους Ευρωπαίους πολίτες όπως ένα μεγαλύτερο εύρος υπηρεσιών που θα οδηγήσει σε μείωση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας.
- *Την ασφάλεια και την ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.*
Η σύγχρονη κοινωνία εξαρτάται πολύ από την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας. Η παλαιότητα των δομών της μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας απειλούν την ασφάλεια, την ποιότητα και την αξιοπιστία της παροχής αυτής. Παράλληλα, η μειωμένη διαθεσιμότητα ορυκτών καυσίμων σε αρκετές χώρες είναι ένας ανησυχητικός παράγοντας.
- *Το περιβάλλον.*
Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των ορυκτών καυσίμων είναι ότι κατά την καύση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκλύουν τοξικά αέρια (διοξείδιο του άνθρακα και του θείου, νιτρικά οξείδια) βλαβερά για το περιβάλλον. Τα αέρια του θερμοκηπίου συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή η οποία είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις και απειλές που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη για έρευνα με στόχο την εύρεση αποδοτικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας που θα βοηθήσουν στην επίτευξη των στόχων για το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Η νέα φιλοδοξία είναι τα παγκόσμια δίκτυα ηλεκτρισμού να γίνουν «έξυπνα», βασισμένα στο Πρωτόκολλο του Ίντερνετ (IP), έτσι ώστε οι καταναλωτές να μπορούν στο μέλλον να παρακολουθούν και να ελέγχουν κατά βούληση την κατανάλωση ενέργειας, μια δυνατότητα που μεταξύ άλλων, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική

εξοικονόμηση καυσίμων, περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος.

Η αναβάθμιση του υπάρχοντος Ευρωπαϊκού δικτύου με εξυπνότερες τεχνολογίες είναι μία από τις βασικότερες προτεραιότητες ώστε να επιτευχθεί ο τριπλός στόχος που έχει τεθεί ως το 2020 – μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 20%, χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%. Σκοπός τη Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας υιοθετώντας τις δομές και τις διαδικασίες, λαμβάνοντας υπόψη την νέα προσέγγιση της αγοράς ενέργειας και τις νέες νομοθεσίες, δηλαδή ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα και αύξηση της απόδοσης μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα έξυπνα δίκτυα (smart grids) είναι το μέσο που θα συνδράμει στην επίτευξη του τριπλού στόχου του 2020. Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί να ενσωματώσει ευφυώς τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό, παραγωγών και καταναλωτών, με σκοπό να διασφαλιστεί αποτελεσματικά η σταθερότητα, η οικονομία και η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα έξυπνο δίκτυο, που περιλαμβάνει ένα συνδυασμό λογισμικού και υλικού επιτρέποντας αποτελεσματικότερη ροή ισχύος και δίνοντας τη δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν τη ζήτηση ενέργειας, είναι μια επίδοξη λύση για το μέλλον.

Τα έξυπνα ή ευφυή δίκτυα έχουν ως κύριους άξονες την:

- Ευφυή συνύπαρξη της κεντρικής και δεσπαρμένης παραγωγής με αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης άνθρακα και αποδοτικού χειρισμού της ζήτησης.
- Εμπορία ενέργειας και βελτιστοποίηση κόστους μέσω χρονομεταβλητών τιμολογίων και διαφόρων κινήτρων εξαρτώμενων από το μεταβαλλόμενο φορτίο.
- Ενεργό συμμετοχή του πελάτη με βάση την επικοινωνία σε δύο κατευθύνσεις και μεγάλη ροή πληροφορίας.

3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

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 «εξυπνάδα» 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 [3.2.2].

Το ευφές δίκτυο είναι μια αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών και αυτοματοποιημένου ελέγχου, αυτοματοποιημένες συσκευές μέτρησης και γενικότερα αξιοποιεί την τεχνολογία της πληροφορίας. Αυτή η ιδέα συνδυάζει τη βασική υποδομή του ενεργειακού συστήματος, την πληροφορία και τους κανόνες της αγοράς (τιμολογιακή πολιτική) σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία με σκοπό την καλύτερη παροχή, έλεγχο και γενικότερα διαχείριση της ενέργειας. 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 υπεραγώγιμων 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 [3.2.3]. 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.

Τα έξυπνα δίκτυα, για την επιτυχή ανάπτυξή τους, οφείλουν να έχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως [3.2.3]:

- Ικανότητα να αυτοδιορθώνονται (self healing).
- Να κινητοποιούν τους καταναλωτές ώστε να συμμετέχουν ενεργά στις λειτουργίες του δικτύου.
- Να αντέχουν σε εξωτερικές καταπονήσεις, ώστε οι υποδομές και ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί να μην χρειάζονται συχνή αντικατάσταση και να αντέχουν στον χρόνο.
- Να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της επάρκειας του εξειδικευμένου προσωπικού που θα βοηθήσει στην ανάπτυξη πρωτοποριακών τεχνολογιών.
- Να παρέχουν υψηλότερη ποιότητα, ώστε να μειώνεται το κόστος από πιθανή βλάβη.
- Να προσαρμόσουν όλες τους πιθανούς συνδυασμούς παραγωγής και αποθήκευσης.
- Να λειτουργούν πιο αποδοτικά και αξιόπιστα, διασφαλίζοντας και βελτιώνοντας την ασφάλεια και ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζοντας με τις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής.
- Να επιτρέπουν τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Να διευκολύνουν τη διασύνδεση περιοχών που έχουν διαφορετικές αλλά συμπληρωματικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Να γίνει εναρμόνιση της αγοράς ηλεκτρισμού, των τεχνικών προδιαγραφών και των νομοθετικών πλαισίων κάθε χώρας.

3.2.3 ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ 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 κατανεμημένων 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 κατανεμημένες 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 [3.2.4].

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.

3.2.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[3.2.1] Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid, EPRI, Palo Alto, CA: March 2011. 1022519.

[3.2.2] Νίκος Χατζηαργυρίου, Ευφυή δίκτυα διανομής και αυξημένη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής. Αθήνα: ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΕΒΕΑ – εφημερίδα ΑΠΟΓΕΥΜΑΤΙΝΗ ‘ΕΝΕΡΓΕΙΑ και ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ’, 18 Απριλίου 2007.

[3.2.3] Wikipedia (ηλεκτρονική διεύθυνση) http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid

[3.2.4] GREENPEACE (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.greenpeace.org/greece/el/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 [4.1].

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.

4.2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

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 [4.2].

4.2.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

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, θ

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 ισχύεις παραγωγής ή μεταβλητές ελέγχου (P_G, Q_G) και οι εξαρτημένες μεταβλητές ή μεταβλητές κατάστασης (V, θ). Σημειώνεται, ότι η εγχεόμενη ενεργός και άεργος ισχύς στο ζυγό εκφράζεται ως εξής:

$$P = P_G - P_D \quad (4.1)$$

$$Q = Q_G - Q_D \quad (4.2)$$

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 [4.1]

4.2.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

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:

$$[\tilde{I}] = [Y] \cdot [\tilde{V}] \Rightarrow \begin{bmatrix} \tilde{I}_1 \\ \tilde{I}_2 \\ \dots \\ \tilde{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_1 \\ \tilde{V}_2 \\ \dots \\ \tilde{V}_n \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

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
- Y_{ij} : Μη διαγώνιο στοιχείο του πίνακα αγωγιμοτήτων των ζυγών, που ισούται με την 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 : Εγγεόμενο ρεύμα στο ζυγό i

Η εξίσωση (4.3) θα ήταν γραμμική αν τα εγγεόμενα ρεύματα στους ζυγούς ήταν γνωστά. Πρακτικά, όμως, τα εγγεόμενα ρεύματα στους περισσότερους ζυγούς είναι άγνωστα. Το ρεύμα σε οποιοδήποτε ζυγό i σχετίζεται με την τάση και την ισχύ του ζυγού ως εξής:

$$\tilde{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\tilde{V}_i^*} \quad (4.4)$$

Για τους διάφορους τύπους ζυγών οι σχέσεις μεταξύ των μεγεθών που περιγράφονται στην εξίσωση (4.4) 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.

4.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NEWTON-RAPHSON ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΩΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

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:

$$\tilde{S}_i = P_i + jQ_i = \tilde{V}_i \cdot \tilde{I}_i^* \quad (4.5)$$

Τα εγχεόμενα ρεύματα στο ζυγό i , σύμφωνα με την (4.3), είναι:

$$\tilde{I}_i = \sum_{m=1}^N Y_{im} \cdot \tilde{V}_m \quad (4.6)$$

Με αντικατάσταση της σχέσης (4.6) στη σχέση (4.5), προκύπτει:

$$P_i + jQ_i = \tilde{V}_i \cdot \sum_{m=1}^N Y_{im} \cdot \tilde{V}_m^* = \tilde{V}_i \cdot \sum_{m=1}^N (G_{im} - jB_{im}) \cdot \tilde{V}_m^* \quad (4.7)$$

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

$$\begin{aligned} \tilde{V}_i \cdot \tilde{V}_m^* &= (V_i \cdot e^{j\theta_i}) \cdot (V_m \cdot e^{-j\theta_m}) = V_i \cdot V_m \cdot e^{j(\theta_i - \theta_m)} \\ &= V_i \cdot V_m \cdot [\cos(\theta_i - \theta_m) + j \sin(\theta_i - \theta_m)] \\ &= V_i \cdot V_m \cdot [\cos(\theta_{im}) + j \sin(\theta_{im})] \end{aligned} \quad (4.8)$$

Οπότε, αντικαθιστώντας την (4.8) στη σχέση (4.7) και χωρίζοντας το πραγματικό από το φανταστικό μέρος, οι εξισώσεις για την ενεργό και άεργο ισχύ του ζυγού i διαμορφώνονται ως εξής:

$$P_i = V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \quad (4.9)$$

$$Q_i = V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) \quad (4.10)$$

Οπότε, η ενεργός και η άεργος ισχύς στους ζυγούς είναι συναρτήσεις που εξαρτώνται από τα μέτρα και τις γωνίες όλων των ζυγών. Οι εξισώσεις (4.9) και (4.10) συνιστούν

ένα σύστημα από μη γραμμικές εξισώσεις. Η εξίσωση (4.9) εφαρμόζεται τόσο στους ζυγούς φορτίου, όσο και στους ζυγούς παραγωγής, ενώ η (4.10) 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

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - \left(V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \right) \quad (4.11)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - \left(V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) \right) \quad (4.12)$$

Ζυγός i : Ζυγός παραγωγής

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - \left(V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \right) \quad (4.13)$$

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

Αν ο υποτεθεί 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:

$$\begin{bmatrix} \left[\begin{array}{c} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{c} \Delta Q_{f+1} \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{array} \right] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\begin{array}{ccc} \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_n} \\ \vdots & (H) & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \theta_n} \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} \frac{\partial P_2}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial V_n} \\ \vdots & (N) & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial V_n} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{ccc} \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial \theta_n} \\ \vdots & (J) & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_n} \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial V_n} \\ \vdots & (L) & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial V_n} \end{array} \right] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \left[\begin{array}{c} \Delta \theta_2 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{c} \Delta V_{f+1} \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{array} \right] \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

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:

$$H_{ii} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_i} = V_i \cdot \sum_{m \neq i} (G_{im} \sin \theta_{im} - B_{im} \cos \theta_{im}) \cdot V_m \quad (4.16)$$

$$H_{im} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_m} = -V_i \cdot (G_{im} \sin \theta_{im} - B_{im} \cos \theta_{im}) \cdot V_m \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} J_{ii} &= \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_i} = V_i \cdot \sum_{m \neq i} (G_{im} \cos \theta_{im} + B_{im} \sin \theta_{im}) \cdot V_m \\ &= -P_i^{sp} + V_i^2 \cdot G_{im} \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$J_{im} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_m} = V_i \cdot (G_{im} \cos \theta_{im} + B_{im} \sin \theta_{im}) \cdot V_m \quad (4.19)$$

$$N_{ii} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_i} = -P_i^{sp} - V_i^2 \cdot G_{ii} \quad (4.20)$$

$$N_{im} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_m} = -J_{ii} \quad (4.21)$$

$$L_{ii} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_i} = -Q_i^{sp} + V_i^2 \cdot B_{ii} \quad (4.22)$$

$$L_{im} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_m} = H_{im} \quad (4.23)$$

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:

$$\theta_i^{(k+1)} = \theta_i^{(k)} + \Delta \theta_i^{(k)} \quad (4.24)$$

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \Delta V_i^{(k)} \quad (4.25)$$

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

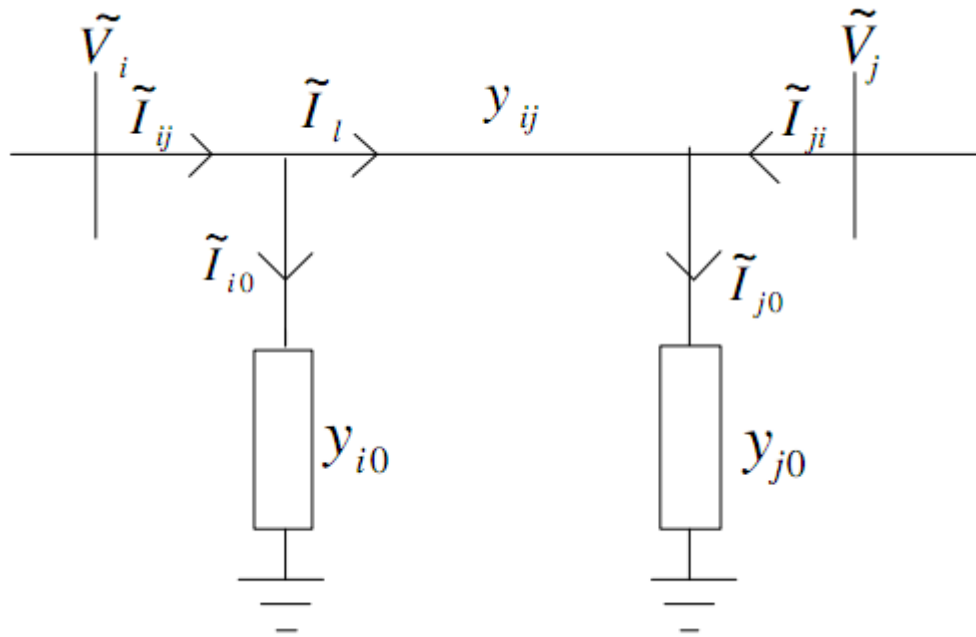
- Για τους ζυγούς φορτίου, όπου οι ισχείς P_i^{sp} και Q_i^{sp} είναι γνωστές, το μέτρο των τάσεων και οι γωνίες των φάσεων τίθενται ίσες με τις τιμές των ζυγών αναφοράς ή 1.0 και 0 αντίστοιχα, δηλαδή $V_i^{(0)} = 1.0$ και $\theta_i^{(0)} = 0$. Για τους ζυγούς PV, όπου τα V_i και P_i^{sp} είναι γνωστά, 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 (4.9) και (4.13) αντίστοιχα.
- Τα στοιχεία του Ιακωβιανού πίνακα (H, N, J, L) υπολογίζονται από τις (4.16) – (4.23).
- Η γραμμική εξίσωση (4.14) λύνεται απευθείας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης και απαλοιφής Gauss.
- Τα νέα μέτρα των τάσεων και οι νέες γωνίες φάσεων υπολογίζονται από τις (4.24) και (4.25).
- Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι οι ΔP_i και ΔQ_i να είναι μικρότερες από την προσδιορισμένη ακρίβεια, δηλαδή:

$$\begin{aligned} |\Delta P_i| &\leq \varepsilon \\ |\Delta Q_i| &\leq \varepsilon \end{aligned} \quad (5.26)$$

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 [4.3].

4.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

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 5.1. Με y_{ij} συμβολίζεται η αγωγιμότητα σειράς της γραμμής, ενώ με y_{i0} , y_{j0} οι εγκάρσιες αγωγιμότητες.



Σχήμα 5.1: 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:

$$\tilde{I}_{ij} = \tilde{I}_l + \tilde{I}_{i0} = y_{ij} \cdot (\tilde{V}_i - \tilde{V}_j) + y_{i0} \cdot \tilde{V}_i \quad (4.27)$$

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

$$\tilde{I}_{ji} = -\tilde{I}_l + \tilde{I}_{i0} = y_{ij} \cdot (\tilde{V}_j - \tilde{V}_i) + y_{i0} \cdot \tilde{V}_j \quad (4.28)$$

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:

$$\tilde{S}_{ij} = \tilde{V}_i \cdot \tilde{I}_{ij}^* \quad (4.29)$$

$$\tilde{S}_{ji} = \tilde{V}_j \cdot \tilde{I}_{ji}^* \quad (4.30)$$

Οι απώλειες ισχύος της γραμμής υπολογίζονται από το αλγεβρικό άθροισμα των ροών μιγαδικής ισχύος των σχέσεων (4.29) και (4.30) και είναι:

$$\tilde{S}_{Lij} = \tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji} \quad (4.31)$$

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.

$$\tilde{P}_{Ltotal} = \sum Re(\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}) \quad (4.32)$$

$$\tilde{Q}_{Ltotal} = \sum Im(\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}) \quad (4.33)$$

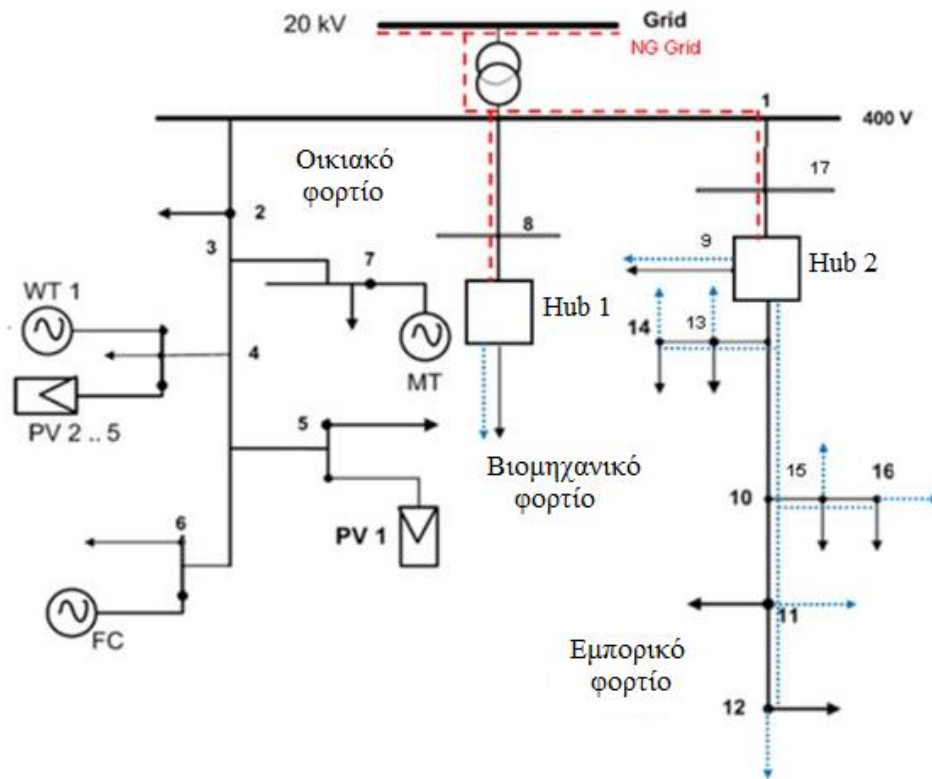
4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [4.1] Β. Κ. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμος Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985.
- [4.2] H. Saadat, “Power Systems Analysis, second edition”, New York: McGraw – Hill, 1999.
- [4.3] W. D. Stevenson, Jr., “Elements of Power System Analysis, third edition”, New York: McGraw – Hill, 1975.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

5.1 Δεδομένα του συστήματος

Το δίκτυο το οποίο μελετήθηκε παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 5.1: Το υπό μελέτη δίκτυο. Με μαύρο χρώμα το δίκτυο ηλεκτρισμού XT, με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή το δίκτυο φυσικού αερίου, με μπλε διακεκομμένη το δίκτυο τηλεθέρμανσης και με μπλε βέλη τα θερμικά φορτία.

Πρόκειται για ένα δίκτυο χαμηλής τάσης, το οποίο αποτελείται από τρεις κλάδους. Ο πρώτος κλάδος τροφοδοτεί μια αστική περιοχή, ο δεύτερος ένα βιομηχανικό φορτίο και ο τρίτος μια αστική-εμπορική περιοχή.

Οι ηλεκτρικές γραμμές οι οποίες χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι υπόγειες ή εναερίες. Υπόγεια καλώδια συναντώνται κυρίως σε αστικές περιοχές με μεγάλη πυκνότητα φορτίου και εναέρια καλώδια σε περιοχές όπως οι αγροτικές με μάλλον χαμηλή πυκνότητα. Στην περίπτωση μας στα υποδίκτυα που τροφοδοτούν το αστικό και το αστικό-εμπορικό φορτίο θεωρήσαμε εναερίες γραμμές, ενώ στο υποδίκτυο που αναφέρεται στο βιομηχανικό φορτίο μόνο υπόγεια καλώδια.

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. Τα μεμονωμένα φορτία δεν είναι

συνδεδεμένα με το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες του βιομηχανικού φορτίου καλύπτονται απευθείας από τον αντίστοιχο διανομέα, ενώ για την εξυπηρέτηση των θερμικών φορτίων στο αστικό-εμπορικό μικροδίκτυο θεωρήσαμε πως υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο τηλεθέρμανσης. Το δίκτυο τηλεθέρμανσης μεταφέρει την παραγόμενη θερμότητα από το δεύτερο ενεργειακό διανομέα στα διάφορα απομακρυσμένα φορτία της αστικής-εμπορική περιοχής.

Έπειτα ακολουθεί ένας πίνακας οποίος περιέχει τα δεδομένα των γραμμών του δικτύου. Ο πίνακας αυτός, μαζί με τα δεδομένα ζήτησης και παραγωγής των ζυγών, ήταν η είσοδος στο πρόγραμμα επίλυσης της ροής φορτίου. Πιο αναλυτικά στην πρώτη στήλη αναγράφονται οι συνδέσεις υπάρχουν μεταξύ των ζυγών του δικτύου. Οι στήλες 2, 3, και 4 περιέχουν την αντίσταση (R), την αντίδραση (X) και το ήμισυ της συνολικής εγκάρσιας επιδεκτικότητας της γραμμής ($\frac{1}{2} B$), το φανταστικό δηλαδή μέρος της σύνθετης αγωγιμότητας της γραμμής χρησιμοποιώντας ισοδύναμο μοντέλο-π. Η τελευταία στήλη αναφέρεται σε γραμμή με μετασχηματιστές που έχουν μεταβολή της σχέσης μετασχηματισμού. Συνήθως θεωρούνται ονομαστικές λήψεις με $t=1$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω τιμές είναι ανά μονάδα και ως βασική ισχύ επιλέξαμε τα 100 kVA και ως βασική τάση τα 400V της χαμηλής τάσης.

Συνδέσεις	R (p.u.)	X (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 5.1: Χαρακτηριστικές τιμές του δικτύου

5.1.1 Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής

Στο δίκτυο έχουν εγκατασταθεί στην τροφοδοσία της κατοικημένης περιοχής οι παρακάτω μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής:

- Μια μικροτουρμπίνα (Micro Turbine, MT)
- Μια κυψέλη καυσίμου (Fuel Cell, FC)
- Μια άμεσα συνδεδεμένη ανεμογεννήτρια (Wind Turbine, WT)
- Αρκετές συστοιχίες φωτοβολταϊκών (Photovoltaic, PV).

Η ανεμογεννήτρια είναι της τάξης 3.504 kWh/kW εγκατεστημένης ισχύος. Ο συντελεστής φόρτισής της θεωρήθηκε ίσος προς 40% είναι Η ισχύς της ανεμογεννήτριας θεωρήθηκε 15 kW και η καμπύλη παραγωγής ισχύος της προσεγγίζεται από πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού, με τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου να αντιπροσωπεύουν μετρήσεις για το νησί της Κρήτης. Για τα φωτοβολταϊκά η ετήσια παραγωγή είναι 1.300-1.400 kWh/kW_p[5.1]. Για την παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιήσαμε κανονικοποιημένες χρονοσειρές από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών ισχύος 1,1 kW που είναι εγκατεστημένες στο χώρο του ΕΜΠ στου Ζωγράφου. Η διαθεσιμότητα της μικροτουρμπίνας είναι 95% και η απόδοσή της θεωρήθηκε ίση με 26%. Η διαθεσιμότητα της κυψέλης καυσίμου είναι 90% και η απόδοσή της 45%. Τόσο η μικροτουρμπίνα όσο και η κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιούν ως καύσιμο φυσικό αέριο, του οποίου η απόδοση είναι 8,8 kWh/m³ και η τιμή 10 €/ct/m³[5.4].

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 παρακάτω πίνακα:

Μικροπηγή	Συντελεστής ισχύος
PV1	0,95
PV2..5	0,95
WT	0,95
MT	-0,9
FC	1
CHP	-0,8

Πίνακας 5.2: Συντελεστής ισχύος των μικροπηγών

Αν κάποια στιγμή η άεργος παραγωγή των ζυγών 4,5 και 7 γίνει μεγαλύτερη ή μικρότερη από τα όρια Q_{min} , Q_{max} που έχουν οριστεί για καθέναν από αυτούς τους τρεις ζυγούς, τότε προσαρμόζεται ο συντελεστής ισχύος και δημιουργούνται νέα όρια Q_{min} , Q_{max} οπότε κατ' επέκταση και μια νέα άεργος παραγωγή, η οποία θα προκύπτει από την ενεργό παραγωγή, που είναι ούτως ή άλλως καθορισμένη, και 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 γραμμών, πριν τη ροή φορτίου.

Το κόστος παραγωγής ενέργειας από τις μονάδες DG δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$\text{Active bid } (P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2$$

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.

Για τις ΑΠΕ συγκεκριμένα θεωρήσαμε πως τα κόστη λειτουργίας τους είναι μηδενικά (δηλαδή δωρεάν η πώληση της αιολικής και της φωτοβολταϊκής ενέργειας), καθώς σκοπός μας ήταν να ελαχιστοποιήσουμε τα έξοδα των καταναλωτών. Συγκεντρωτικά τα δεδομένα (ελάχιστη και μέγιστη παραγόμενη ισχύς, συντελεστές κόστους, χρόνος ζωής και κόστος κεφαλαίου) για τις μονάδες DG δίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Μονάδα	Ελάχιστη Παραγόμενη Ισχύς kW	Μέγιστη Παραγόμενη Ισχύς kW	a_i €/ct/h	b_i €/ct/kWh	c_i €/ct/kWh ²
MT	6	30	0,01	4,37	0,01
FC	3	30	0,84 15	2,41	0,03 3
WT	0,001	15	0	0	0
PV1	0,001	3	0	0	0
PV2...PV 5	0,001	2,5	0	0	0

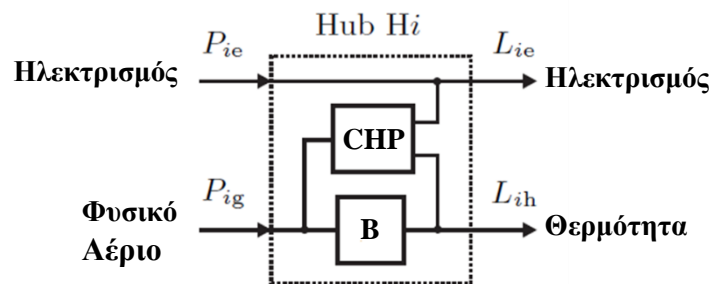
Πίνακας 5.3: Δεδομένα των DG μονάδων και συντελεστές συνάρτησης λειτουργικού κόστους

	Κόστος κεφαλαίου €/kWe	Χρόνος ζωής
Μικροτουρμπίνα	1500	15
Κυψέλη καυσίμου	2500	15
Φωτοβολταϊκά	2000	20
Ανεμογεννήτριες	1500	20

Πίνακας 5.4: Κόστος κεφαλαίου και χρόνος ζωής μικροπηγών

5.1.2 Ενεργειακοί διανομείς

Οι δύο ενεργειακοί διανομείς που έχουν εγκατασταθεί στον 2^ο και 3^ο κλάδο του συστήματος είναι όμοιοι και εικονίζονται στο σχήμα 6.2. Θεωρούμε πως καθένας τους είναι εφοδιασμένος με μία ηλεκτρική γραμμή μικρού μήκους η οποία συνδέει άμεσα την ηλεκτρική είσοδο με την ηλεκτρική έξοδο, με μία μονάδα συμπαράγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), με την οποία επιτυγχάνεται σύζευξη μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου φυσικού αερίου, και με ένα Boiler.



Σχήμα 5.2: Οι ενεργειακοί διανομείς

Για τη 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 στα Boiler, χρησιμοποιήσαμε μονάδες του εμπορίου. Οι ικανότητες τους επιλέχθηκαν έτσι ώστε σε περίπτωση προβλήματος στα CHP να επαρκούν για την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών της βιομηχανικής και της αστικής-εμπορικής περιοχής[5.5]. Η συνάρτηση κόστους και η συνάρτηση εκπομπών τόσο των CHP όσο και των Boiler είναι:

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

$$Emissions_i = Emission_param_i \cdot P_i^{εισόδου} = Emission_param_i \cdot \frac{P_i}{n}$$

Όπου:

P_i : η θερμική ή ηλεκτρική ισχύς εξόδου της μονάδας.

η : ο θερμικός ή ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, αντίστοιχα με την παραγόμενη ισχύ εξόδου.

$P_{i \text{ εισόδου}}$: η είσοδος φυσικού αερίου στην μονάδα[5.6].

Τα χαρακτηριστικά των μονάδων των διανομέων εμφανίζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Μονάδα	Ελάχιστη είσοδος Φυσ. Αερίου kW	Μέγιστη είσοδος Φυσ. Αερίου kW	Απόδοση	c_i €/ct/h	b_i €/ct /kWh	a_i €/ct /kWh ²
CHP	5	143	Πίνακας 5.6	10	3,738	0
Boiler	0	400	75%	0,001	5,098	0

Πίνακας 5.5: Χαρακτηριστικά των μονάδων των ενεργειακών διανομέων

Είσοδος Φυσ. Αερίου P_g kW	η_e	η_h
5	0,09	0,43
25	0,14	0,44
50	0,21	0,45
75	0,25	0,458
100	0,262	0,464
125	0,273	0,468
143	0,28	0,47

Πίνακας 5.6: Δεδομένα για τους βαθμούς απόδοσης των CHP

Είσοδος	Φυσικό αέριο
Ρυπαντές (tn/MWh)	
CO ₂	0,17

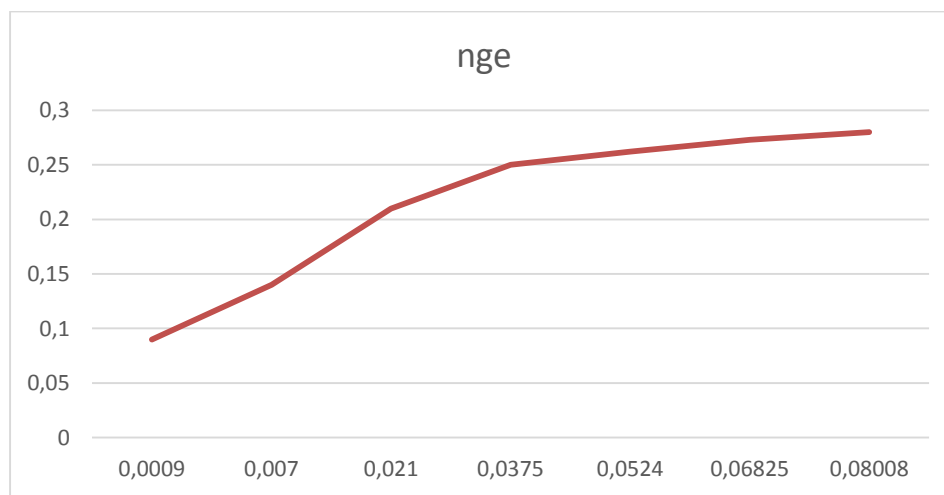
Πίνακας 5.7: Τυπικές τιμές εκπεμπόμενων ρύπων από τις τοπικές μονάδες παραγωγής

Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές του φυσικού αερίου με τις τιμές του ηλεκτρικού και θερμικού βαθμού απόδοσης προκύπτουν αντίστοιχα οι τιμές εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας όπως φαίνεται στον κάτω πίνακα.

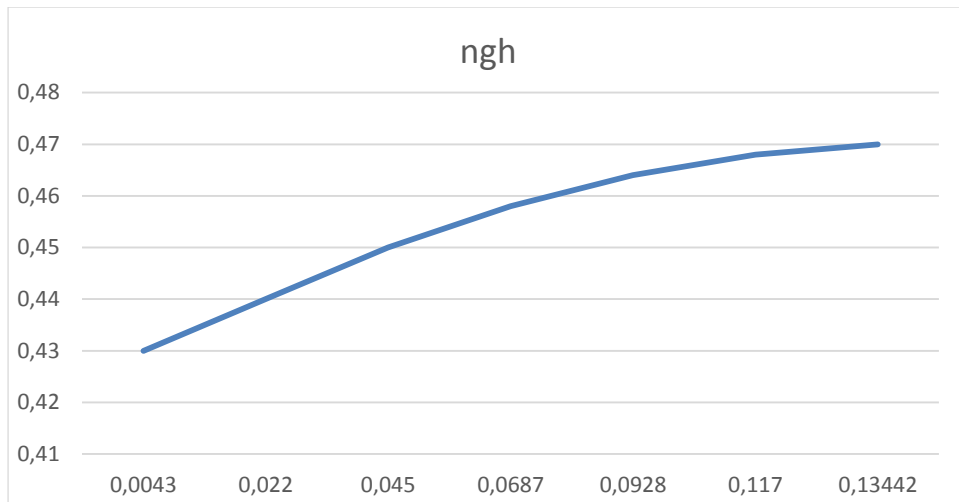
Είσοδος Φυσ. Αερίου P_g kW	η_e	η_h	P_{out_el} (kW)	P_{out_h} (kW)
5	0,09	0,43	0,45	2,15
25	0,14	0,44	3,5	11
50	0,21	0,45	10,5	22,5
75	0,25	0,458	18,75	34,35
100	0,262	0,464	26,2	46,4
125	0,273	0,468	34,125	58,5
143	0,28	0,47	40,04	67,21

Πίνακας 5.8: υπολογισμός τιμών εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Στη συνέχεια φτιάξαμε τις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις της έξοδο ηλεκτρισμού σε συνάρτηση με τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης και την έξοδο θερμότητας σε συνάρτηση με το θερμικό βαθμό απόδοσης.



Γράφημα 5.1 : Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης



Γράφημα 5.2 : Θερμικός βαθμός απόδοσης

Επίσης το δίκτυο μελετάται για 3 διαφορετικές τιμές κόστους φυσικό αερίου για την λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής :

- 0,6 €/m³
- 0,75 €/m³
- 0,9 €/m³

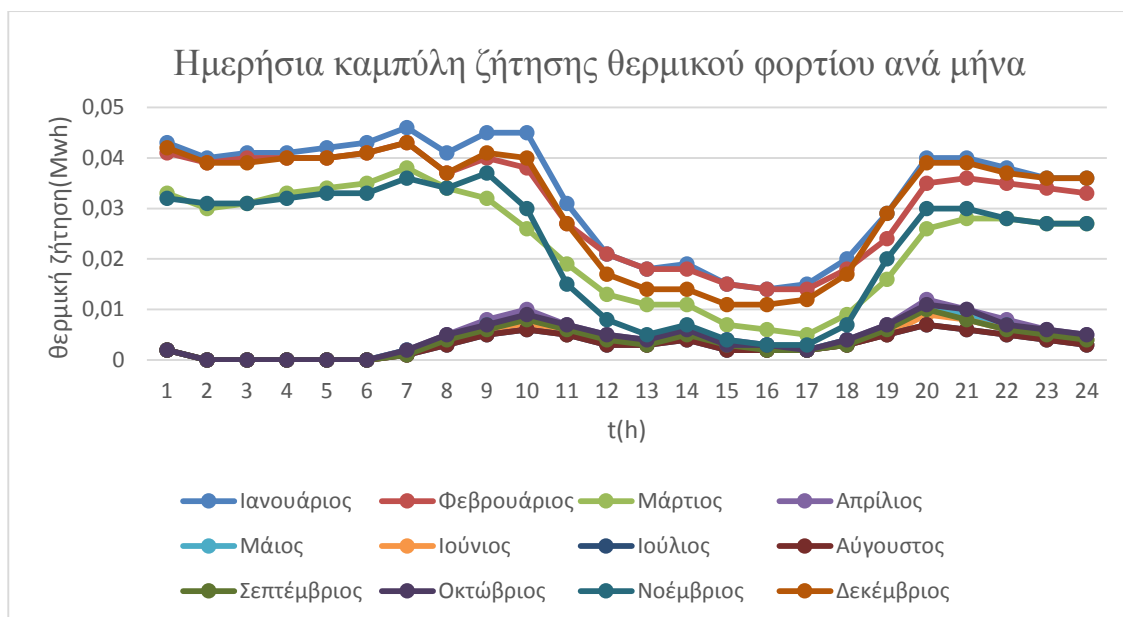
Για την εξέταση του συνολικού κόστους των εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν τρεις τιμές:

- 5 €/tn
- 15 €/tn
- 25 €/tn

5.1.3 Φορτία ζήτησης

Τα δεδομένα της ζήτησης προέκυψαν από το IEEE-Reliability Test System (IEEERTS) για μία τυπική ημέρα του κάθε μήνα και 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 στις βιομηχανικές και αστικές περιοχές χρησιμοποιήσαμε τις εικονιζόμενες καμπύλες ζήτησης(διαγράμμά 5.1) για μία τυπική μέρα του κάθε μήνα ,τις οποίες προσαρμόσαμε κατάλληλα στο σύστημά μας. Πιο αναλυτικά, θεωρήσαμε ότι το θερμικό φορτίο ακολουθεί ανά μήνα μια κανονική κατανομή ζήτησης ,με μέση τιμή κάθε ώρας την δοθείσα τιμή της τυπικής ημέρας του αντίστοιχου μήνα και με τυπική απόκλιση ίση με το 0,07% αυτής



Διάγραμμα 5.1: ημερήσια καμπύλη ζήτησης θερμικού φορτίου

Επομένως το συνολικό θερμικό φορτίο που έχουμε ανά μήνα και για όλο το έτος βρίσκεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΜΗΝΕΣ	Q(Mwh)
1ος	23,972
2ος	22,231
3ος	23,971
4ος	3,302
5ος	2,850
6ος	2,518
7ος	2,129
8ος	2,281
9ος	2,641
10ος	3,302
11ος	16,291
12ος	22,230
Συνολικά	127,72

Πίνακας 5.9: θερμικά φορτία ανά μήνα

Όπου $Q=127,72$ Mwh

Για την καλύτερη ανάλυση του δικτύου πήραμε 3 περιπτώσεις θερμικού φορτίου στον βιομηχανικό κλάδο και αστικό-εμπορικό κλάδο όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κλάδος Περίπτωση	Βιομηχανικός	Αστικό-εμπορικό
Q ₁	1*Q	2*Q
Q ₂	3*Q	5*Q
Q ₃	5*Q	7*Q

Πίνακας 5.10: περιπτώσεις θερμικού φορτίου

Επομένως για την πρώτη περίπτωση :

$$TL_{th,1} = 1 \cdot Q$$

και

$$TL_{th,2} = 2 \cdot Q$$

Όπου:

$TL_{th,1}$: Το θερμικό φορτίο του μεσαίου (βιομηχανικού) κλάδου

$TL_{th,2}$: Το θερμικό φορτίο του δεξί (εμπορικού) κλάδου

Με αντίστοιχο τρόπο και σύμφωνα με τον πίνακα () βρίσκουμε τα θερμικά φορτία στις άλλες δύο περιπτώσεις.

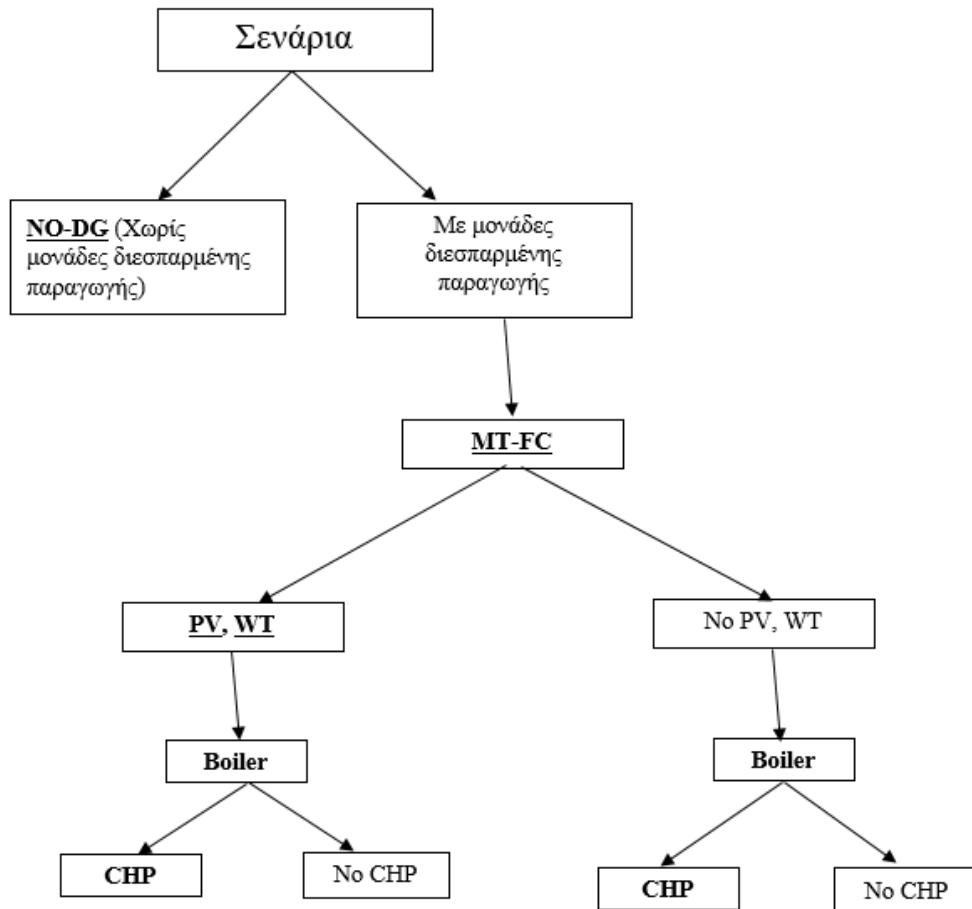
5.1.4 Ανάντη δίκτυο

Στην περίπτωση που η παραγόμενη ισχύς από τις μονάδες DG 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 διανομής (ΟΤΣ), όπως δίνονται από τον ΔΕΣΜΗΕ, και αναφέρονται σε όλο το 2008 και όλο το 2014. Χρησιμοποιήθηκαν δυο ΟΤΣ, μία υψηλή (αυτή του 2008) και μία χαμηλή (του 2014) για να παρατηρήσουμε τις διαφορές που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις στην τιμή της αντικειμενική συνάρτησης και στο κόστος.

5.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Για την κατάλληλη σύγκρισή των αποτελεσμάτων και εξέταση της συνδυασμένης θεώρησης των μικροδικτύων και των ενεργειακών διανομών χρησιμοποιήσαμε τα ακόλουθα σενάρια που παρουσιάζονται στο σχήμα 5.3

Τα Σενάρια που μελετήθηκαν για την ανεξάρτητη λειτουργία του δικτύου:



Σχήμα 5.3: τα σενάρια για την ανεξάρτητη λειτουργία

Τα σενάρια, τα οποία χρησιμοποιούν για την κάλυψη των θερμικών φορτίων CHP, μελετήθηκαν υπό τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών:

- ❖ 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*).
- ❖ 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. 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*).
- ❖ Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου από τον σταθμό συμπαραγωγής. Αν το ηλεκτρικό φορτίο ξεπερνά τη δυναμικότητα της μονάδας CHP, τότε εισάγεται ισχύς από το

ανάτη δίκτυο. Ακολουθως, 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 1 – Απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και μονάδων συμπαραγωγής:

Λειτουργία του δικτύου χωρίς διανεμημένη παραγωγή. Οι ενεργειακοί διανομείς έχουν σε λειτουργία μόνο τη μονάδα Boiler, ενώ η μονάδα CHP είναι εκτός. Στο σενάριο αυτό όλη η ηλεκτρική ισχύς εισάγεται από το σύστημα και έτσι αναμένεται να είναι το πιο επιζήμιο σενάριο για τους καταναλωτές. (No-DG scenario).

▪ Σενάριο 2 – Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT) χωρίς την επίδραση των ΑΠΕ, απουσία μονάδων συμπαραγωγής, ανεξάρτητη λειτουργία:

Στο σενάριο αυτό είναι παρούσες μόνο η μικροτουρμπίνα και η κυψέλη καυσίμου και λειτουργούν ανεξάρτητα. Ωστόσο, οι μονάδες CHP είναι απύσες και η κάλυψή του θερμικού φορτίου γίνεται μέσω των Boiler. Το δίκτυο δεν συντονίζει τη λειτουργία του και οι συμβατικές μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (FC, MT) απλώς καλύπτουν τις ανάγκες των φορτίων τοπικά. Αν δεν επαρκούν, απλά εισάγεται ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα. Σε αντίθετη περίπτωση η επιπλέον ισχύς θεωρείται ότι χάνεται και δεν αποθηκεύεται. (FC-MT,Boiler,No-ΑΠΕ ,No-CHP scenario)

▪ Σενάριο 3 – Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC,MT,ΑΠΕ), απουσία μονάδων συμπαραγωγής, ανεξάρτητη λειτουργία:

Στο σενάριο αυτό όλες οι μονάδες DG είναι παρούσες αλλά λειτουργούν ανεξάρτητα. Ωστόσο, οι μονάδες CHP είναι και πάλι απύσες και η κάλυψή του θερμικού φορτίου γίνεται μέσω των Boiler. Το δίκτυο δεν συντονίζει τη λειτουργία του και οι συμβατικές μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (FC, MT,ΑΠΕ) απλώς καλύπτουν τις ηλεκτρικές ανάγκες των φορτίων των ζυγών στους οποίους ανήκουν. Αν δεν επαρκούν, απλά εισάγεται ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα. Σε αντίθετη περίπτωση η επιπλέον ισχύς θεωρείται ότι χάνεται.

(FC-MT-ΑΠΕ,Boiler,No-CHP scenario)

▪ Σενάριο 4 – Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC,MT) και μονάδων συμπαραγωγής(CHP) χωρίς την επίδραση των ΑΠΕ, ανεξάρτητη λειτουργία:

Όπως και το Σενάριο 2 έτσι και στο σενάριο αυτό είναι παρούσες μόνο η μικροτουρμπίνα και η κυψέλη καυσίμου αλλά και οι μονάδες συμπαραγωγής CHP. Όπως και στο 3^ο Σενάριο η κάλυψη του θερμικού φορτίου γίνεται μέσω των Boiler. Οι ενεργειακοί διανομείς στην συγκεκριμένη περίπτωση τροφοδοτούν τα ηλεκτρικά φορτία τους, αλλά πάλι μόνο τοπικά. (FC-MT ,CHP, Boiler scenario)

- Σενάριο 5 – Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC,MT,ΑΠΕ) και μονάδων συμπαραγωγής, ανεξάρτητη λειτουργία:

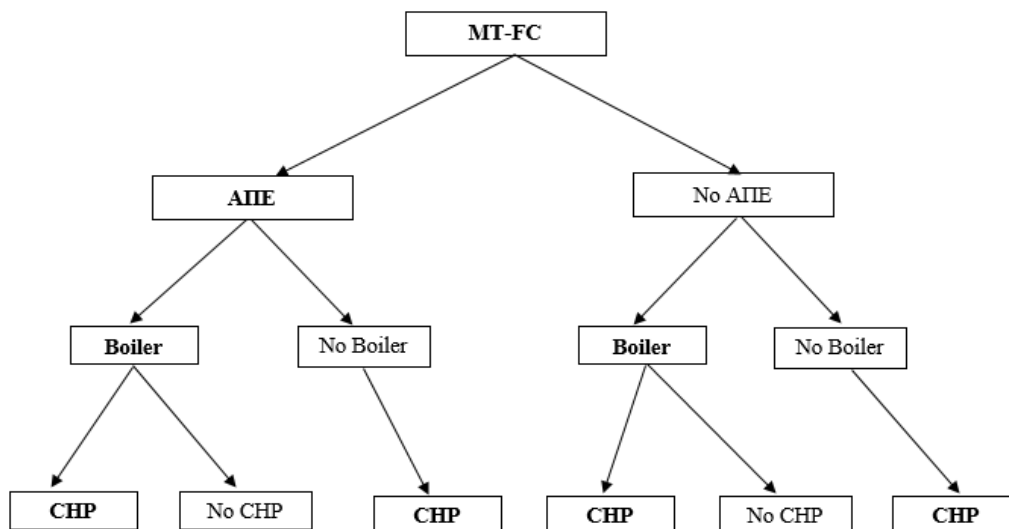
Στο τελευταίο σενάριο στο οποίο έχουμε την ανεξάρτητη λειτουργία οι ενεργειακοί διανομείς είναι πλήρεις και μπορούν να τροφοδοτούν τα ηλεκτρικά φορτία τους, αλλά μόνο τοπικά. (FC-MT-ΑΠΕ,CHP,Boiler scenario)

Επιπλέον πληροφορίες:

- Στην ανεξάρτητη λειτουργία αν η ζήτηση του ζυγού στον οποίο συνδέεται και η MT είναι ανάμεσα στα επιτρεπτά όρια λειτουργίας της τελευταίας, τότε αυτή παράγει όσο είναι και το ζητούμενο φορτίο. Αν το ζητούμενο φορτίο είναι μεγαλύτερο από το άνω όριο λειτουργίας της MT, αυτή τίθεται να λειτουργεί στο μέγιστό της και η υπόλοιπη ζήτηση καλύπτεται από το ανάντη δίκτυο. Τέλος, αν το ζητούμενο φορτίο είναι μικρότερο και από το κάτω όριο λειτουργίας της MT, αυτή τίθεται να λειτουργεί σε αυτό τα κάτω όριο και η επιπλέον ενέργεια που παράγει αλλά δεν καταναλώνεται από το φορτίο, χάνεται στο σύστημα.
- Ακριβώς ίδια λειτουργία με την MT έχει και το FC επίσης στην ανεξάρτητη λειτουργία.
- Οι ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά ό,τι παράγουν, το δίνουν στους ζυγούς στους οποίους συνδέονται.
- Η ανεξάρτητη λειτουργία στους ενεργειακούς διανομείς φαίνεται ως εξής: τοπικά ο κάθε ενεργειακός διανομέας φροντίζει να καλύπτει τα θερμικά φορτία που ζητούνται στον κλάδο στον οποίο συνδέεται. Αυτά τα θερμικά φορτία καλύπτονται με παράλληλη λειτουργία του boiler και του CHP του HUB. Συντονίζουν τις παραγωγές τους έτσι ώστε η θερμική έξοδος του boiler με τις εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας του CHP να ικανοποιούν όλες μαζί τους ισοτικούς και ανισοτικούς περιορισμούς που θα περιγραφούν παρακάτω

Τα σενάρια που μελετήθηκαν για την λειτουργία του δικτύου ως μικροδίκτυο:

Η λειτουργία του μικροδικτύου έχει ως σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου. Σε κάθε σενάριο λειτουργούν συντονισμένα μερικές ή όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής .Οι ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν επίσης συντονισμένα για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών του δικτύου. Τα σενάρια που πάρθηκαν φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4: τα σενάρια για την λειτουργία μικροδικτύου.

Όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν συμφωνά με δύο πολιτικές συμφερόντων. Συγκεκριμένα :

- ❖ 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*).
 - ❖ 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 μμέσα στο μικροδίκτυο με τις τιμές της αγοράς. Εκτός του ότι οργανώνει το μικροδίκτυο, κάνει και την επένδυση για την εγκατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τη βοήθεια βέβαια κρατικής επιδότησης. Αναγκαία προϋπόθεση είναι το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο να επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος (*Ideal Citizen Policy*).
- Σενάριο 1 – Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT) και Boiler χωρίς την επίδραση των ΑΠΕ και μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία μικροδικτύου (FC-MT-Boiler Microgrid scenario).

- Σενάριο 2– Παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT-ΑΠΕ) και Boiler χωρίς την επίδραση των μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία μικροδικτύου (FC-MT-ΑΠΕ-Boiler Microgrid scenario).
- Σενάριο 3– Παρουσία βασικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT) και μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία μικροδικτύου (FC-MT-CHP Microgrid scenario).
- Σενάριο 4– Παρουσία βασικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT), ΑΠΕ και μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία μικροδικτύου (FC-MT-ΑΠΕ-CHP Microgrid scenario).
- Σενάριο 5– Παρουσία βασικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT), Boiler και μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία μικροδικτύου (FC-MT-Boiler-CHP Microgrid scenario).
- Σενάριο 6– Παρουσία βασικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(FC-MT),ΑΠΕ, Boiler και μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία μικροδικτύου(FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler Microgrid scenario).

Σημείωση:

Στα σενάρια, 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.

Όλα τα σενάρια της ανεξάρτητης λειτουργίας αλλά και της λειτουργίας μικροδικτύου μελετήθηκαν σε ένα επίπεδο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής και συγκεκριμένα για 88kW. Από τα οποία τα 28kW είναι ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα τα 3kW είναι φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ζυγό 5 , τα 10kW(=4*2,5kW) είναι φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ζυγό 4 και τα 15kW είναι αιολικής παραγωγής στο ζυγό 4.

5.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1. ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια υλοποιήθηκαν διαφορετικά προβλήματα, τα οποία αναπτύχθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab. 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, η ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων (P_{Load}) και η οριακή τιμή του συστήματος (OTS), ανά ώρα για όλο το έτος.
- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών (TL_{th}), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε στην υποενότητα 6.1.3.
- 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 και 3:

Στο σενάριο *FC-MT* και *FC-MT-ΑΠΕ* είναι διαθέσιμες μερικές ή όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα, καλύπτοντας τις ανάγκες των φορτίων τοπικά. Οι μονάδες συμπαραγωγής δεν λειτουργούν. 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.
- 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,

- 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.
- 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 4 και 5:

Στο σενάριο *DG+CHP* και *FC,MT+CHP* είναι διαθέσιμες μερικές ή όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής οι οποίες 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 (P_{Load}) και η οριακή τιμή του συστήματος (OTS), 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.

- 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 την εντολή '*fmincon*', της οποίας η αναλυτική περιγραφή δίνεται στη συνέχεια.

– ***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.

2. ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Για όλα τα Σενάρια :

Όλε ή μερικές από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και τους ενεργειακούς διανομείς που χρησιμοποιούνται σε κάθε σενάριο , 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.
- Εισάγεται η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (P_{Gpv} , P_{GWT}) (φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριας).
- Καθορίζεται η διείσδυση των ΑΠΕ 28kW(σε όποιο σενάριο χρειάζεται).
- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών (TL_{th}), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε.
- Υπολογίζεται η άεργος ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων (Q_{Load}).
- Υλοποιείται η Οικονομική Κατανομή Φορτίου (Economic Dispatch, ED) μέσα από την εντολή '*fmincon*', η οποία εφαρμόζει την επαναληπτική μέθοδο μη γραμμικής βελτιστοποίησης Lagrange υπό περιορισμούς για να υπολογίσει τις ανεξάρτητες μεταβλητές x για τις οποίες μια βαθμωτή συνάρτηση $f(x)$, έχει την

ελάχιστη τιμή. Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος που επιλύει η *fmincon* είναι η εξής:

$$\min_x f(x) \text{ και } \max_x [-f(x)] \text{ υπό τους περιορισμούς}$$

$$\left. \begin{array}{l} A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq \end{array} \right\} \text{ Όπου οι περιορισμοί } A, Aeq, b, beq \text{ είναι πίνακες}$$

$$\left. \begin{array}{l} c(x) \leq 0 \\ ceq(x) = 0 \end{array} \right\} \text{ Όπου οι περιορισμοί } c, ceq \text{ είναι συναρτήσεις}$$

$$lb \leq x \leq ub \quad \text{Όπου οι περιορισμοί } lb, ub \text{ είναι αριθμητικά στοιχεία}$$

Στο σενάριο που εξετάζουμε οι περιορισμοί που υπεισέρχονται στην *fmincon* είναι μόνο οι *c* και *ceq* οι οποίοι περιλαμβάνουν αντίστοιχα τους περιορισμούς τεχνικών ελαχίστων και τεχνικών μεγίστων της τοπικής παραγωγής, τον περιορισμό σχετικά με τη ροή ισχύος ως προς το δίκτυο και το ισοζύγιο ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος στο μικροδίκτυο. Η αντικειμενική συνάρτηση, *f(x)*, ορίζεται ανάλογα με την βελτιστοποίηση που επιδιώκεται από το κάθε σενάριο λειτουργίας του μικροδικτύου. Συγκεκριμένα για κάθε ένα από τα σενάρια λειτουργίας του μικροδικτύου η *f(x)* και οι περιορισμοί *c* και *ceq* 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 €/MWh² 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:

$$X + \sum_{i=1}^N x_{i_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} = \sum P_{Load} = \text{ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i_θερμική} = TL_{th} = \text{ζήτηση θερμικής ενέργειας}$$

$$Tεχνικό_ελάχιστο \leq x_i \leq Tεχνικό_μέγιστο$$

$$0 \leq X \Rightarrow \text{δεν επιτρέπεται αμφίδρομη ροή ισχύος}$$

– *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 €/MWh² και €/MWh αντίστοιχα.

c_i : σταθερός όρος για την κατανάλωση καυσίμου σε €/h.

A : είναι οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σε €.

Περιορισμοί:

$$X + \sum_{i=1}^N x_{i_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} = \sum P_{Load} = \text{ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i_θερμική} = TL_{th} = \text{ζήτηση θερμικής ενέργειας}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} \geq \sum P_{Load}$$

$$Τεχνικό_ελάχιστο \leq x_i \leq Τεχνικό_μέγιστο$$

$X \Rightarrow$ 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 (CO₂emissions). 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.

5.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [5.1] 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.
- [5.2] A. Tsikalakis, N. Hatziaargyriou, “Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation”, IEEE Trans on Energy Conversation, Vol. 23, No 1, March 2008, pp 241 – 248.
- [5.3] HOTWORK Combustion Technology
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.hotworkct.com/engineering/alcoa.htm>.
- [5.4] 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.
- [5.5] Buderus (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.buderus.co.uk/>
- [5.6] Δημόσια Επιχείρηση Αερίου Α.Ε (ΔΕΠΑ)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.depa.gr/>

[5.7] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.desmie.gr/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

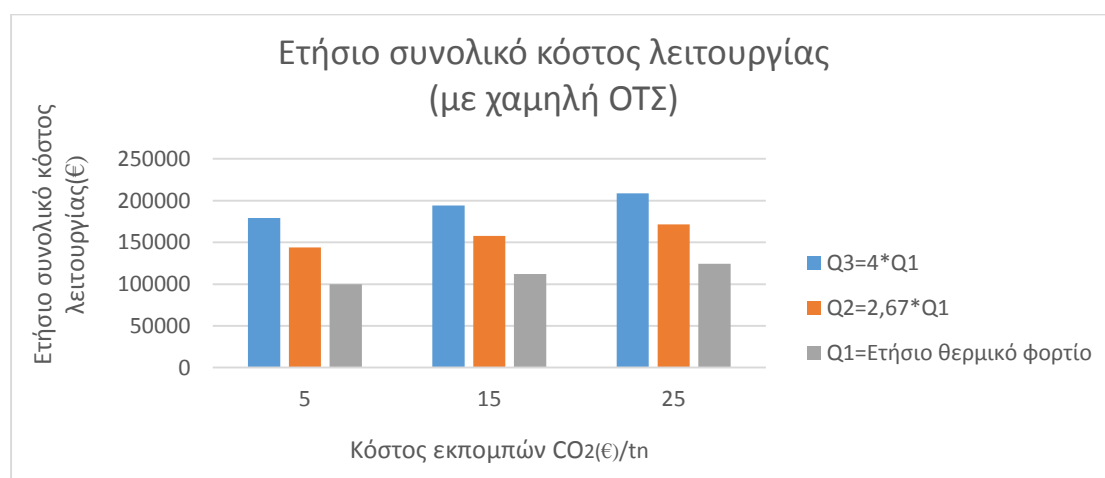
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 με το τέλος που ενσωματώνεται στο ενεργειακό κόστος, σε περίπτωση μη επίτευξης των στόχων που υπαγορεύει το Πρωτόκολλο του Κιότο και η Συνθήκη της Κοπεγχάγης, τα αποτελέσματα ενδέχεται να είναι διαφορετικά. Έτσι, το συνολικό κόστος λειτουργίας είναι ένας εύκολος και γρήγορος τρόπος εκτίμησης του κατά πόσο συμφέρει από οικονομική άποψη η υιοθέτηση ενός σεναρίου έναντι του κλασικού σεναρίου της απλής διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο και άρα της μη λειτουργίας των μικροπηγών. Ακολουθεί η μελέτη του ετήσιου συνολικού κόστους λειτουργίας για όλα τα σενάρια.

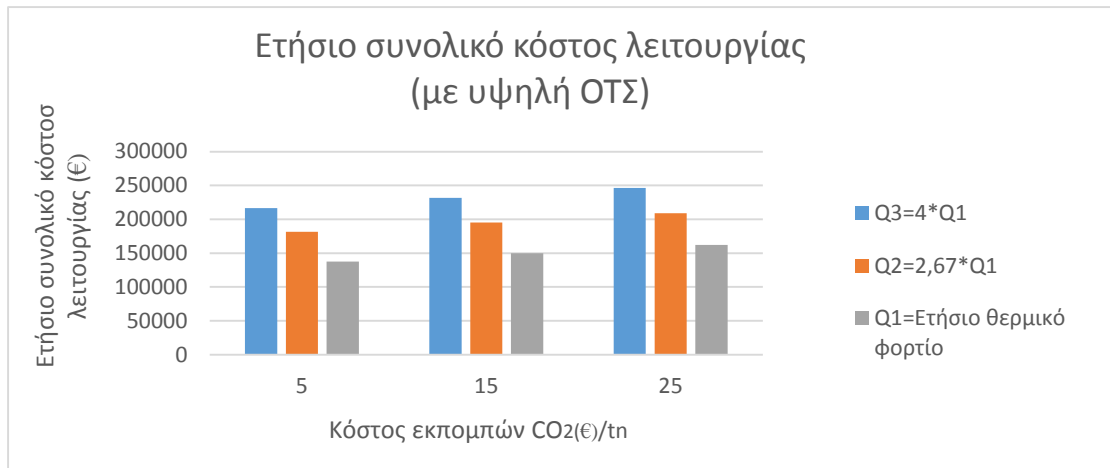
6.2 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

6.2.1 Σενάριο 1: No – DG

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

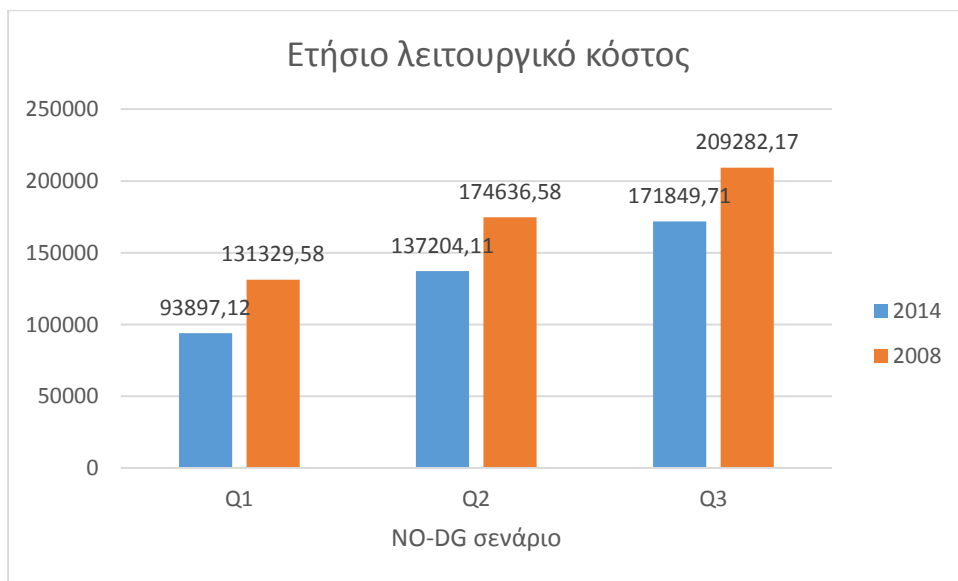


Γράφημα 6.1: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 1 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις τρεις τιμές κόστους εκπομπών CO₂ με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



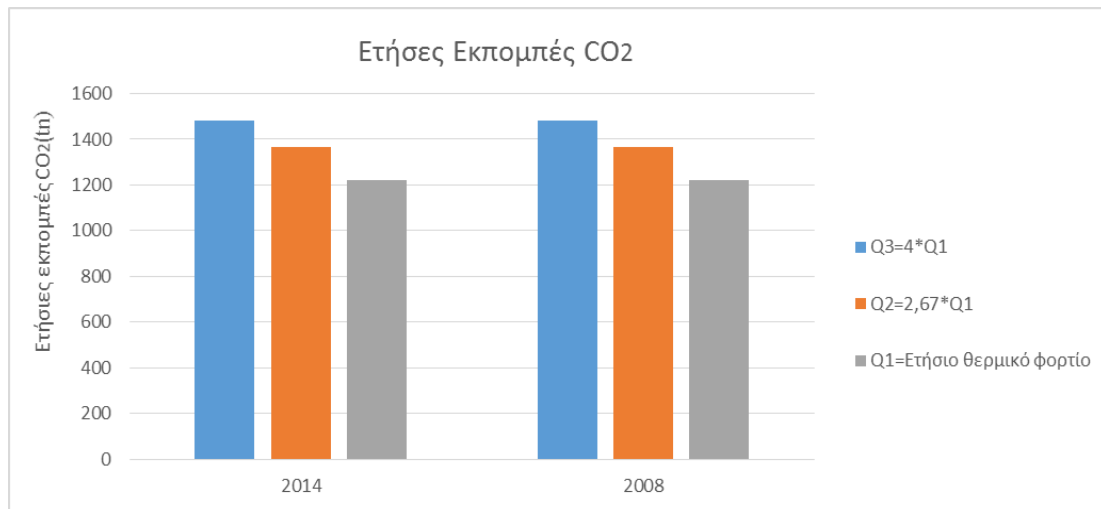
Γράφημα 6.2: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 1 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις τρεις τιμές κόστους εκπομπών CO₂ με οριακή τιμή συστήματος του 2008

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



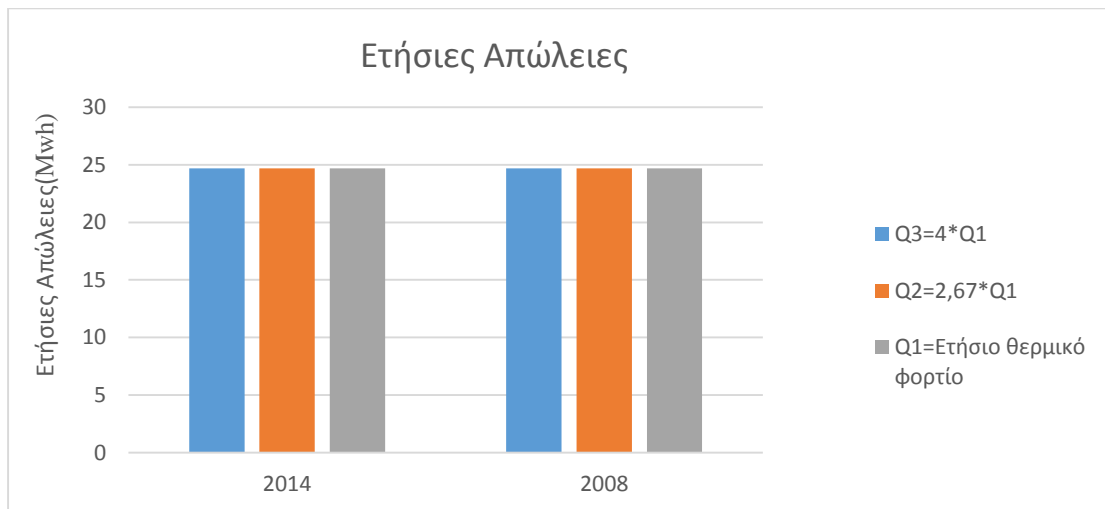
Γράφημα 6.3: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος με κόστος εκπομπών CO₂ 5€/tn

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.4: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το Σενάριο 1 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή–υψηλή).

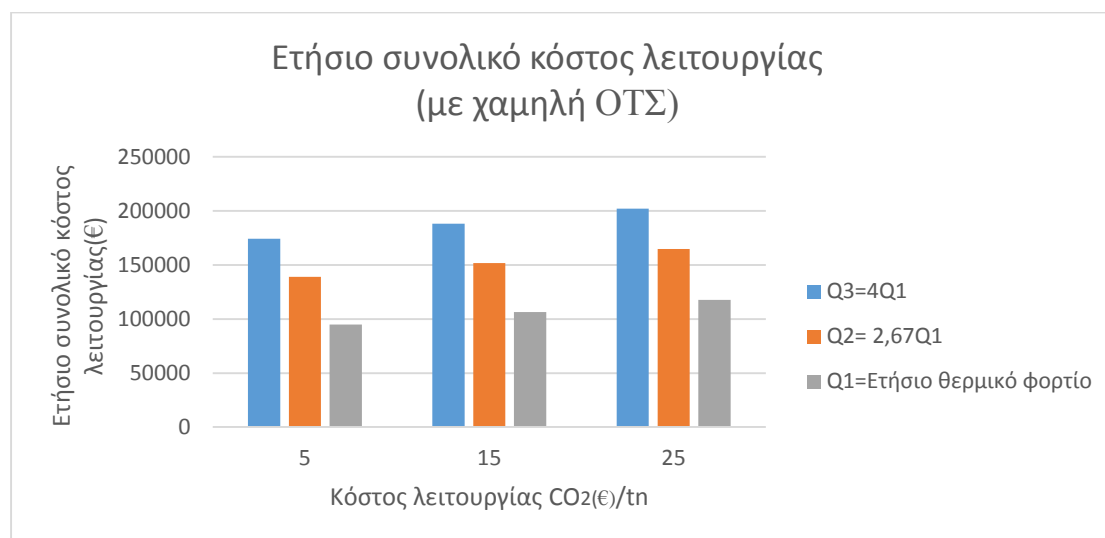
IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



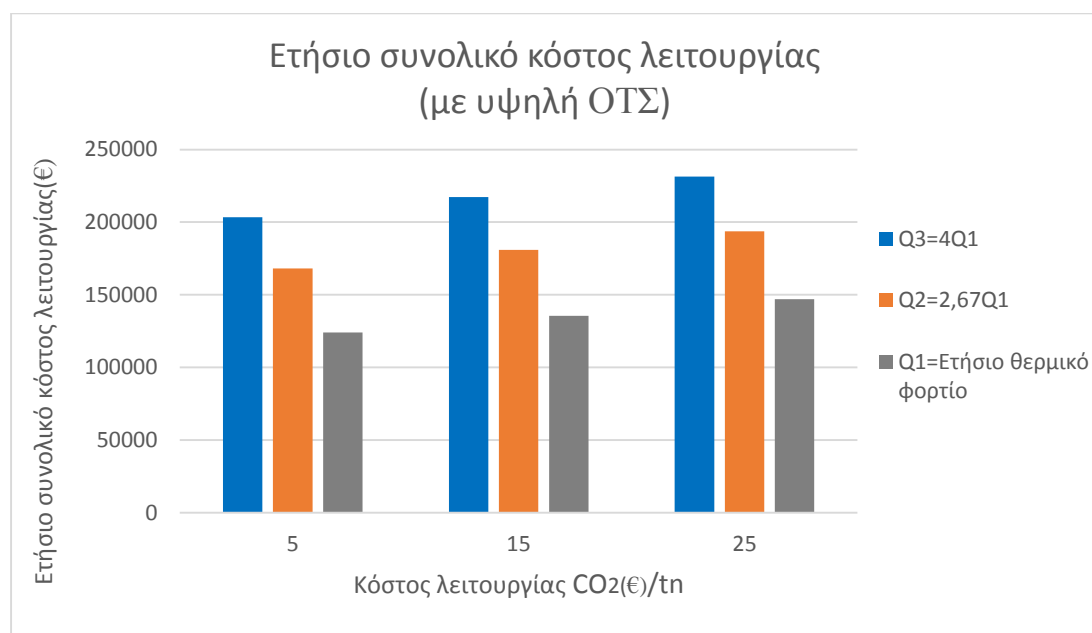
Γράφημα 6.5: Οι ετήσιες απώλειες για το Σενάριο 1 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή–υψηλή).

6.2.2 Σενάριο 2: FC-MT

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

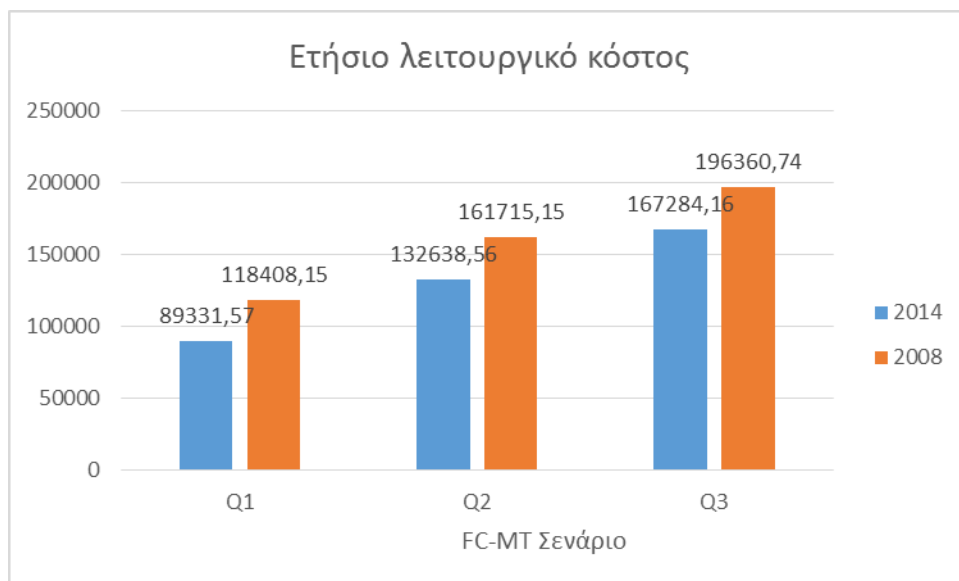


Γράφημα 6.6: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 2 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις τρεις τιμές κόστους εκπομπών CO₂ με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



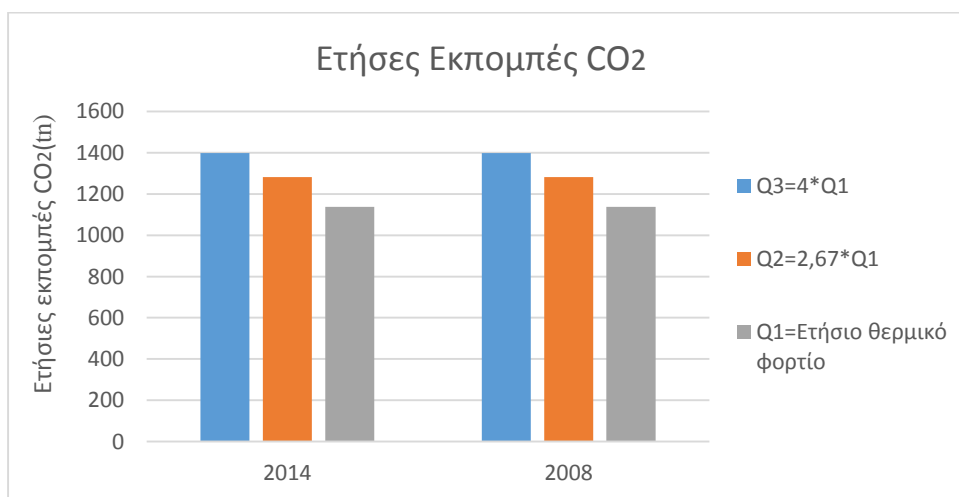
Γράφημα 6.7: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 2 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις τρεις τιμές κόστους εκπομπών CO₂ με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



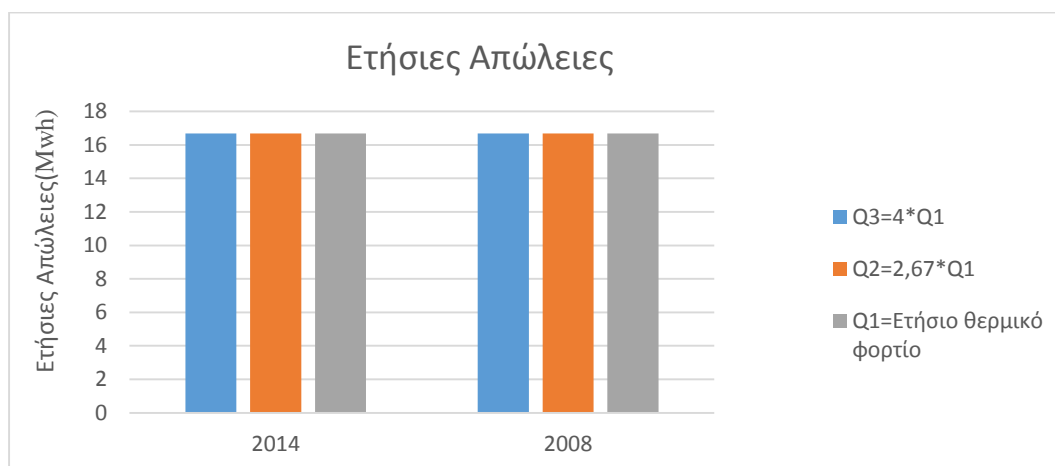
Γράφημα 6.8: Ετήσιο κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 2 για τα τρία θερμικά φορτία με κόστος εκπομπών CO₂ 5€/tn και με τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή–υψηλή).

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.9: Ετήσιο κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 2 για τα τρία θερμικά φορτία με κόστος εκπομπών CO₂ 5€/tn και με τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή–υψηλή).

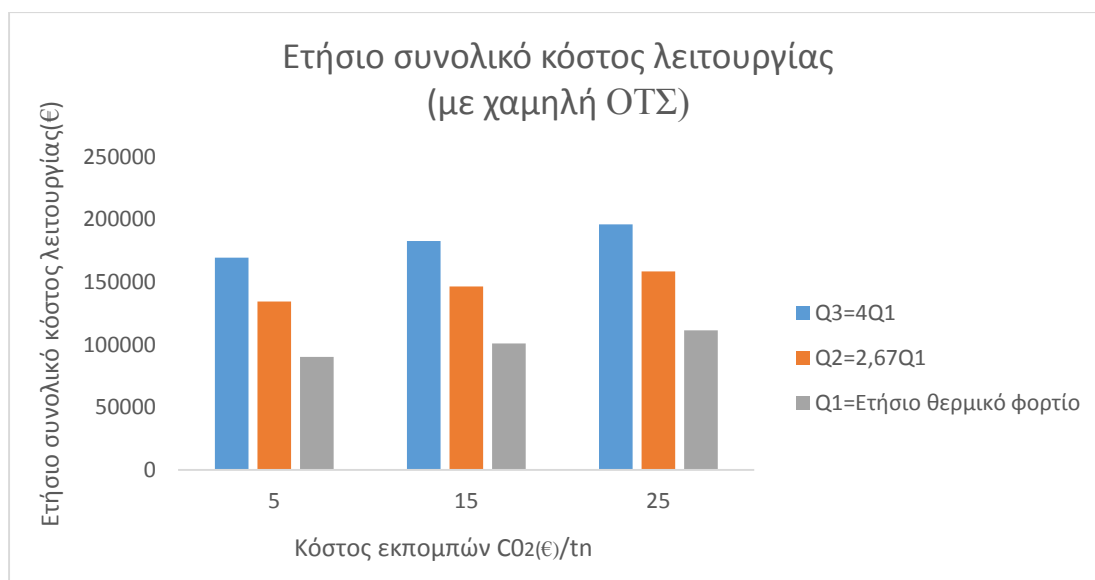
V. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



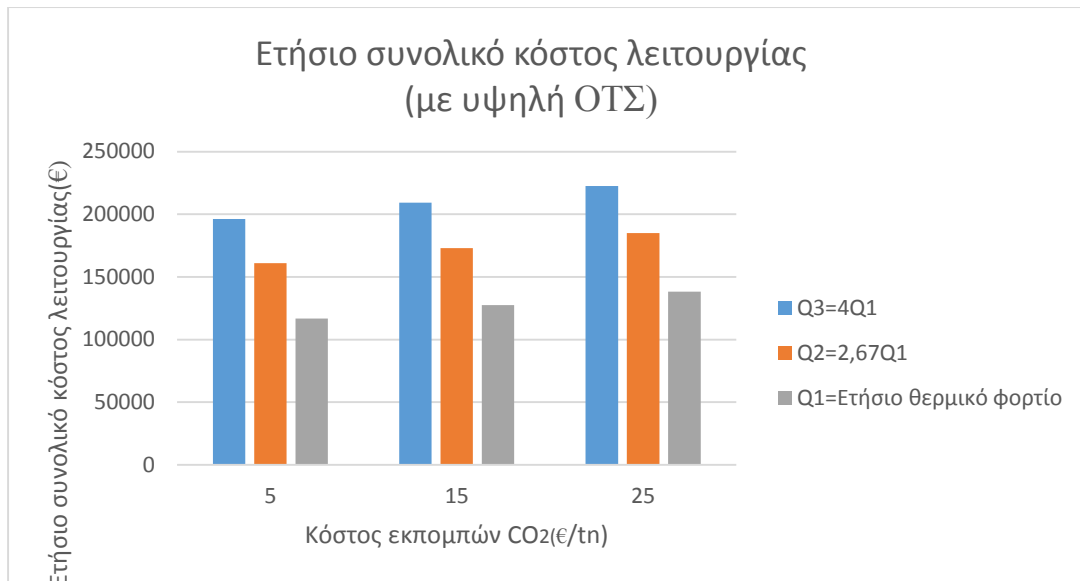
Γράφημα 6.10: Ετήσιες απώλειες για το Σενάριο 2 για τα τρία θερμικά φορτία με τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή-υψηλή).

6.2.3 Σενάριο 3: FC-MT-ΑΙΠΕ

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

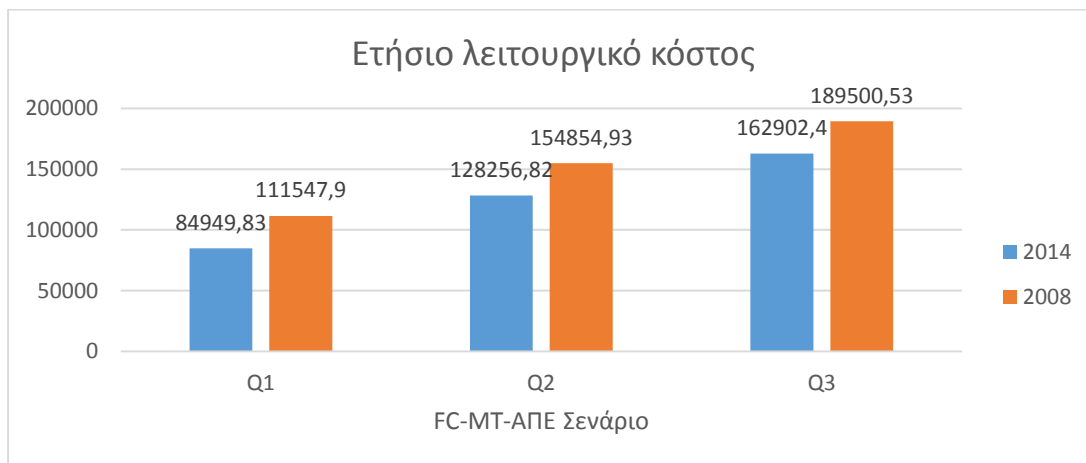


Γράφημα 6.11: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 3 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις τρεις τιμές κόστους εκπομπών CO₂ με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



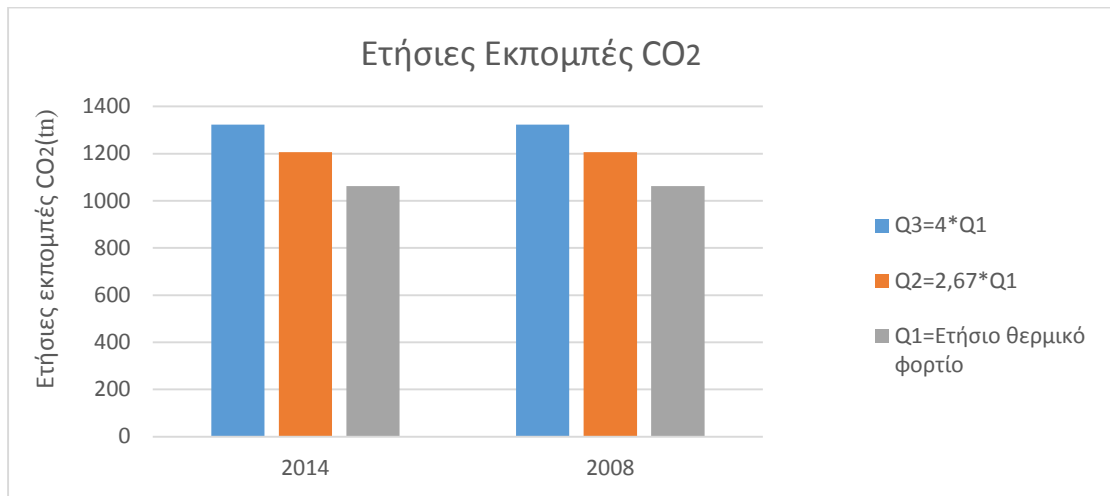
Γράφημα 6.12: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 3 για τα τρία θερμικά φορτία και για τις τρεις τιμές κόστους εκπομπών CO₂ με οριακή τιμή συστήματος του 2008

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.13: Ετήσιο κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 3 για τα τρία θερμικά φορτία με κόστος εκπομπών CO₂ 5€/tn και με τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή-υψηλή).

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.14: Ετήσιο κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 3 για τα τρία θερμικά φορτία με κόστος εκπομπών CO₂ 5€/tn και με τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή–υψηλή).

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



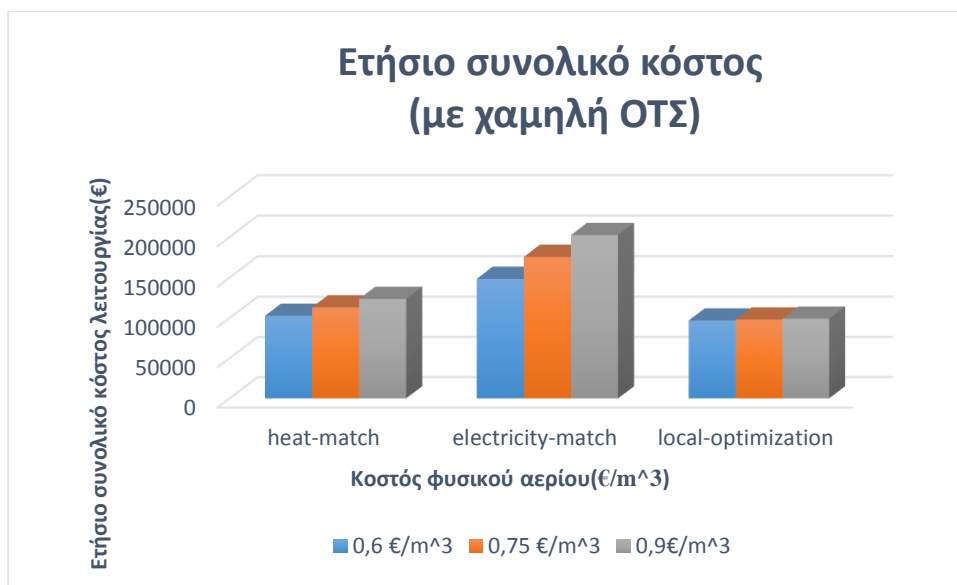
Γράφημα 6.15: Ετήσιες απώλειες για το Σενάριο 3 για τα τρία θερμικά φορτία με τις δυο οριακές τιμές συστήματος (χαμηλή–υψηλή).

6.2.4 Σενάριο 4: FC-MT-CHP

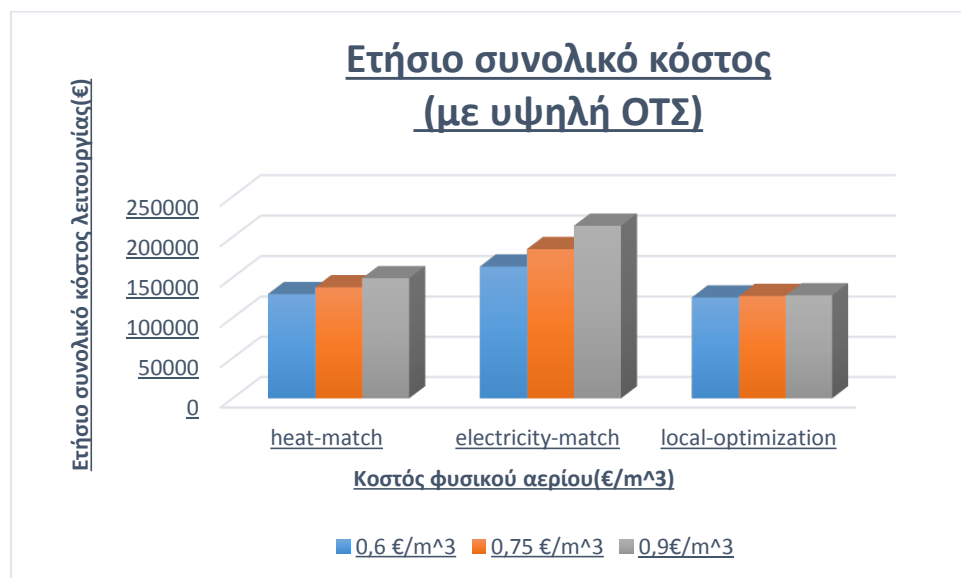
I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

Η ακόλουθες γραφικές παραστάσεις είναι για κόστος εκπομπών CO₂ 5 €/tn.

-Για ετήσιο θερμικό φορτίο Q₁:

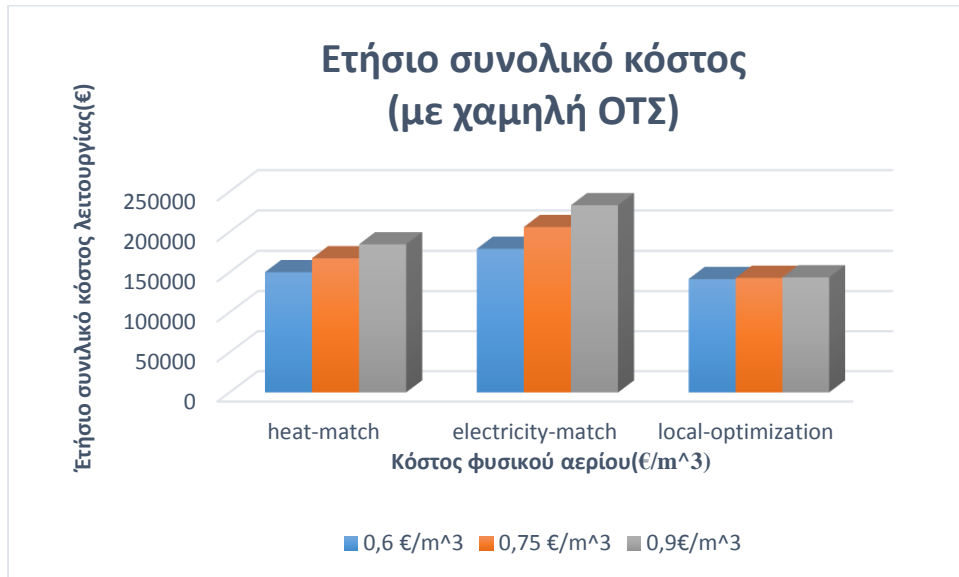


Γράφημα 6.16: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 4 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.

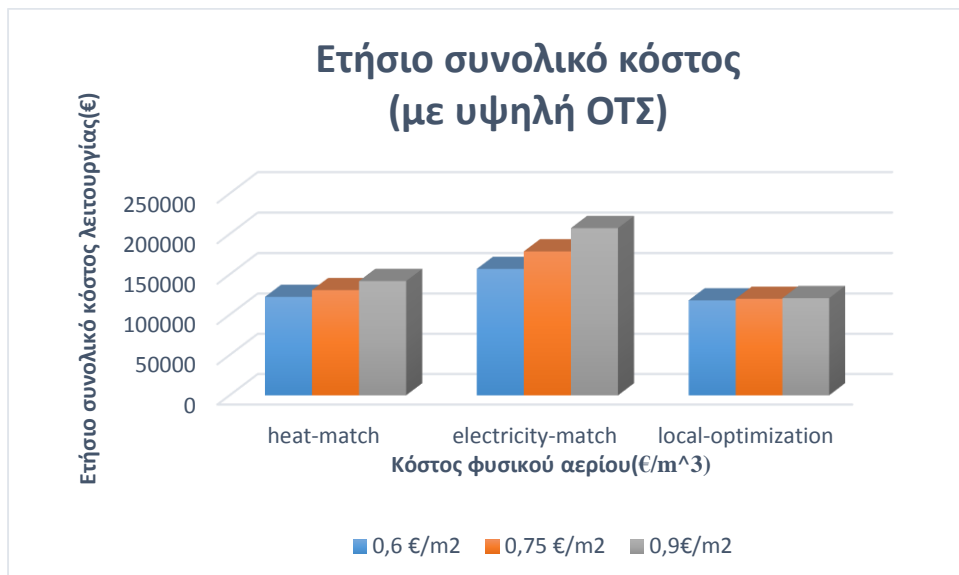


Γράφημα 6.17: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 4 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

-Για ετήσιο θερμικό φορτίο Q₂:

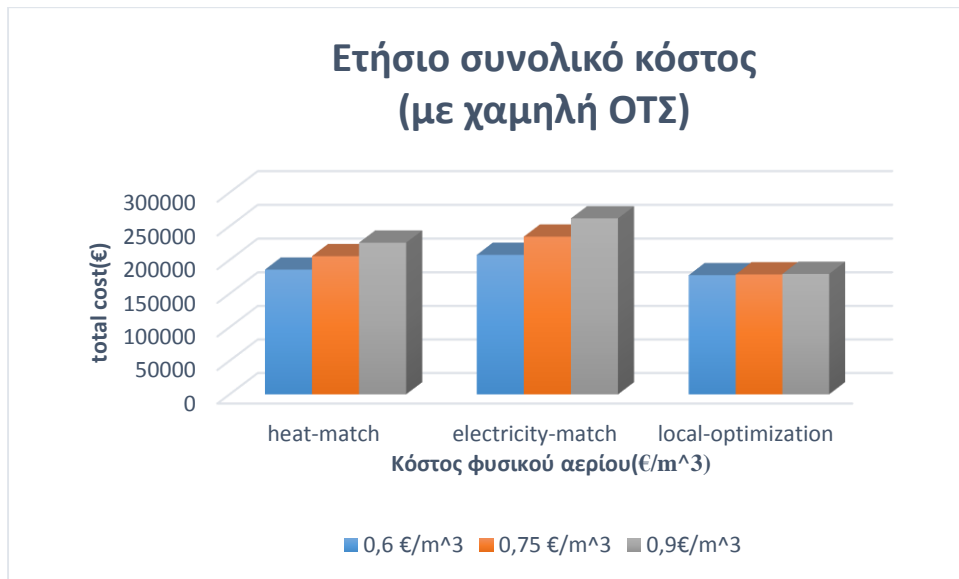


Γράφημα 6.18: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 4 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.

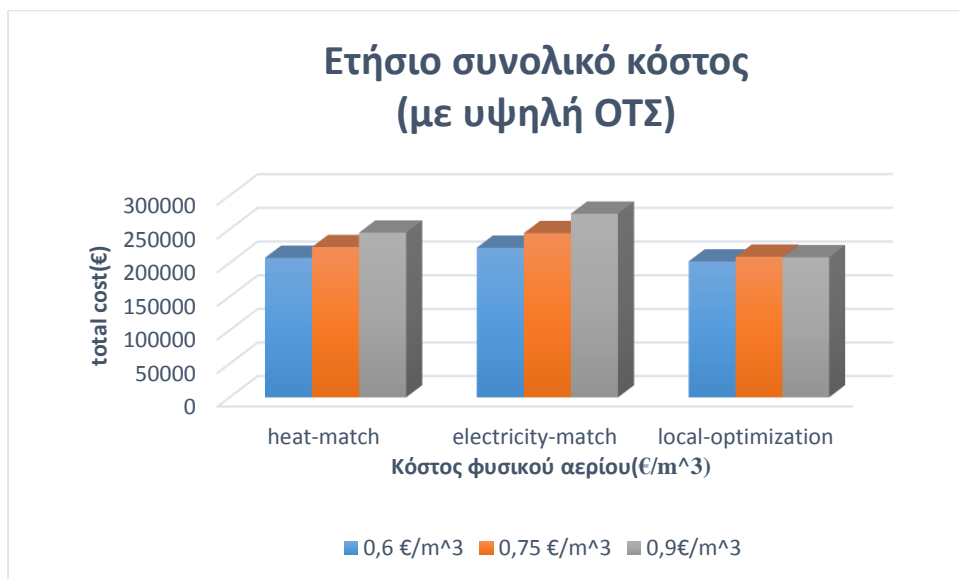


Γράφημα 6.19: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 4 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

Για ετήσιο θερμικό φορτίο Q_3 :

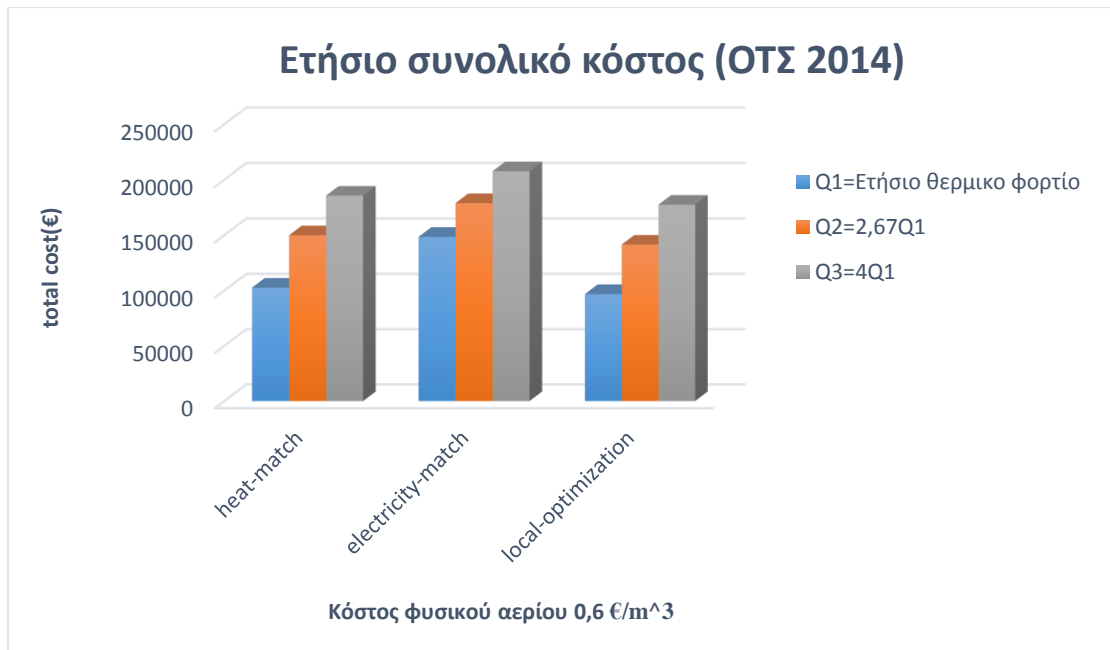


Γράφημα 6.20: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 4 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.

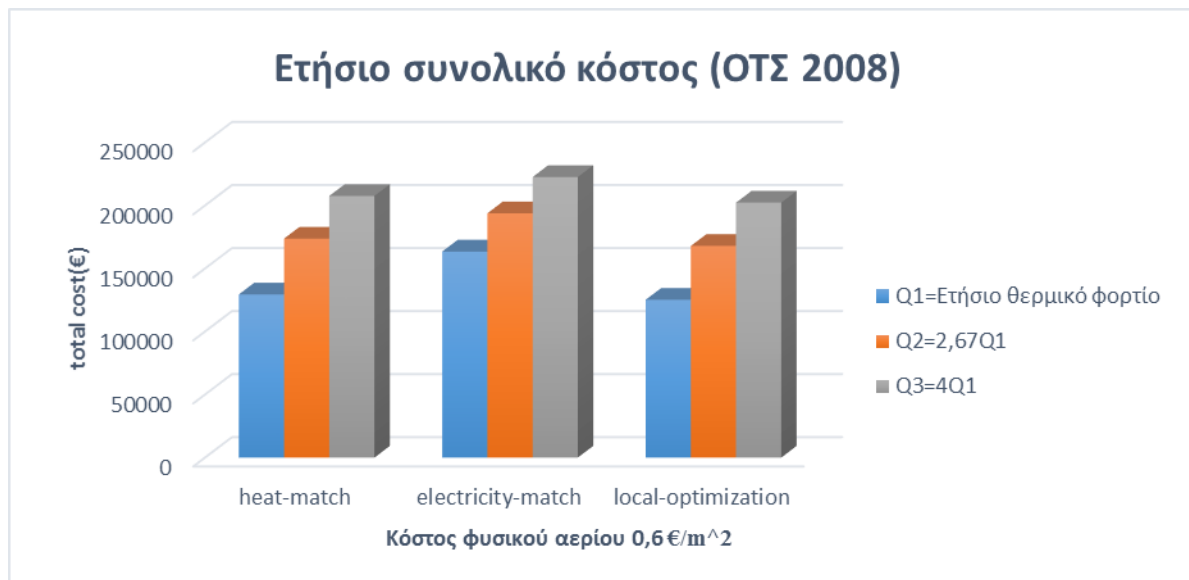


Γράφημα 6.21: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 4 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

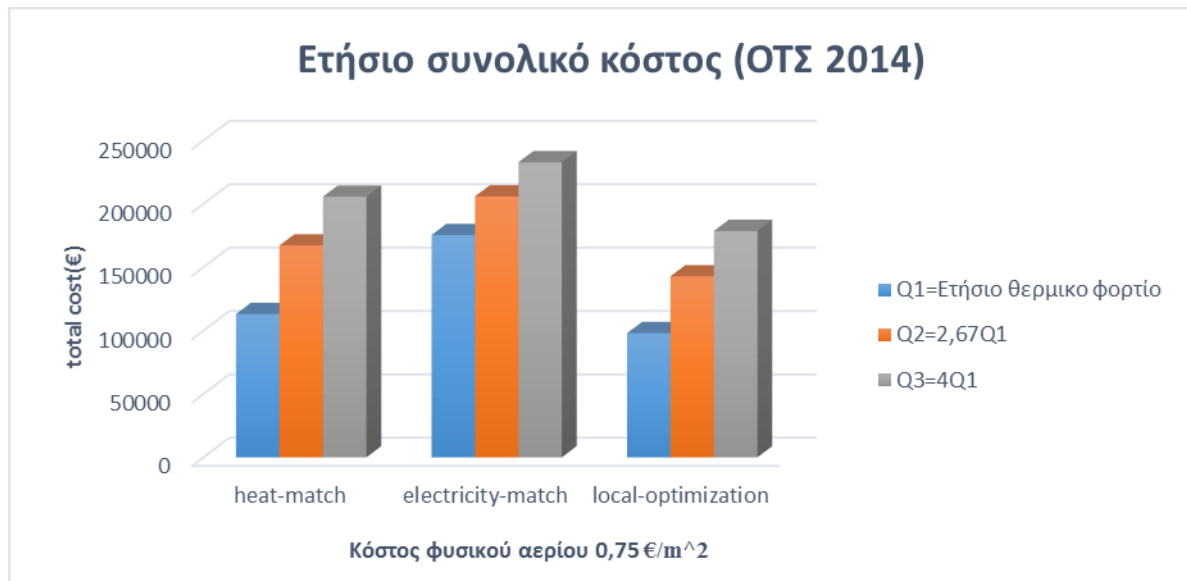
Συνδιασμός αποτελεσμάτων για το ετήσιο συνολικό κόστος του 4^{ου} σεναρίου:



Γράφημα 6.22: ετήσιο συνολικό κόστος με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος και με κόστος φυσικού αερίου 0,6€/m³.



Γράφημα 6.23: ετήσιο συνολικό κόστος με υψηλή οριακή τιμή συστήματος και με κόστος φυσικού αερίου 0,6€/m³.



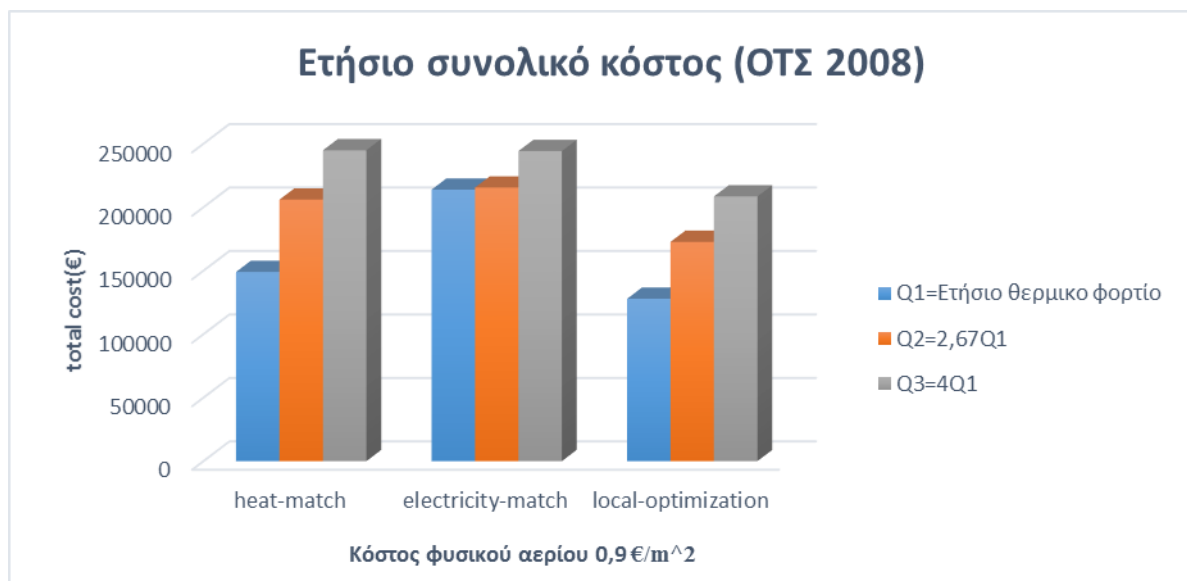
Γράφημα 6.24: ετήσιο συνολικό κόστος με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος και με κόστος φυσικού αερίου 0,75€/m³.



Γράφημα 6.25: ετήσιο συνολικό κόστος με υψηλή οριακή τιμή συστήματος και με κόστος φυσικού αερίου 0,75€/m³.



Γράφημα 6.26: ετήσιο συνολικό κόστος με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος με κόστος φυσικού αερίου 0,9€/m³.



Γράφημα 6.27: ετήσιο συνολικό κόστος με υψηλής οριακή τιμή συστήματος με κόστος φυσικού αερίου 0,9€/m³.

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.30: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 4 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *heat-match*.



Γράφημα 6.31: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 4 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *heat-match*.



Γράφημα 6.32: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 4 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *electricity-match*



Γράφημα 6.33: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 4 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *electricity-match*.



Γράφημα 6.34: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 4 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *local-optimization*.



Γράφημα 6.35: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 4 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *local-optimization*.

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.36: ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα τρία θερμικά φορτία και για τους τρεις τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



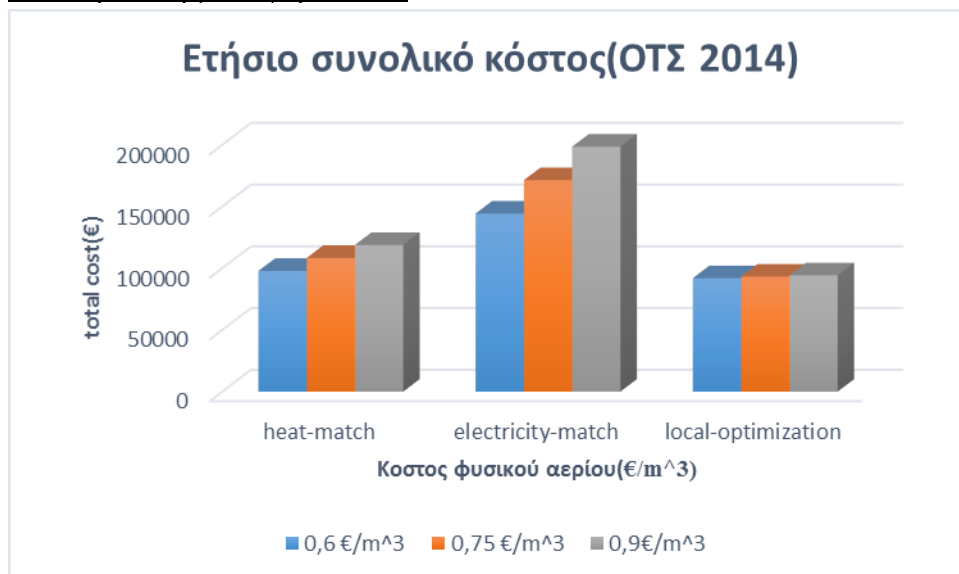
Γράφημα 6.37: οι συνολικές απώλειες του 4^{ου} Σεναρίου για τα τρία θερμικά φορτία και για τους τρεις τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών

6.2.5 Σενάριο 5: FC-MT-ΑΠΕ-CHP

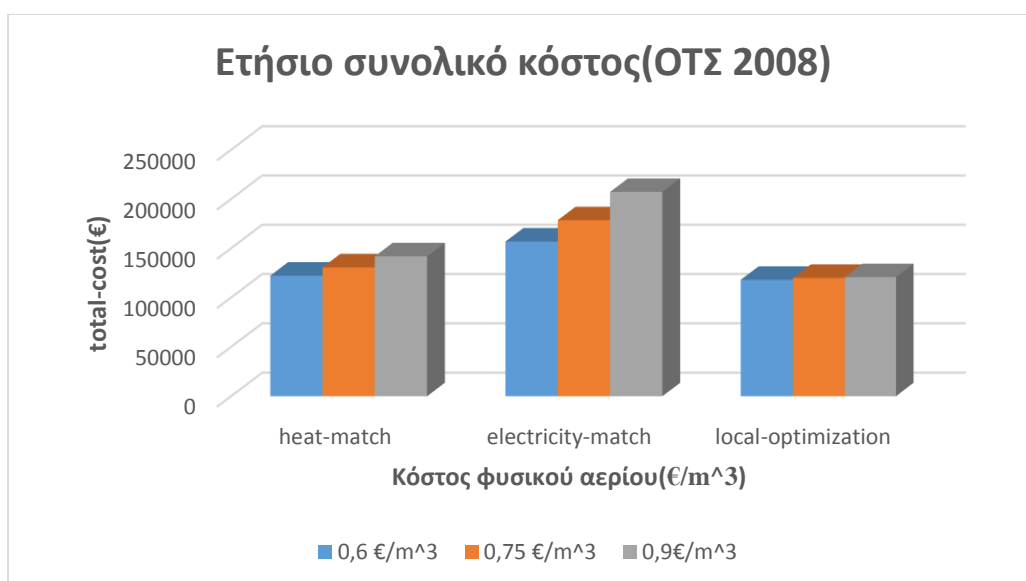
I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

Η ακόλουθες γραφικές παραστάσεις είναι για κόστος εκπομπών CO₂ 5 €/tn.

Για ετήσιο θερμικό φορτίο Q1:

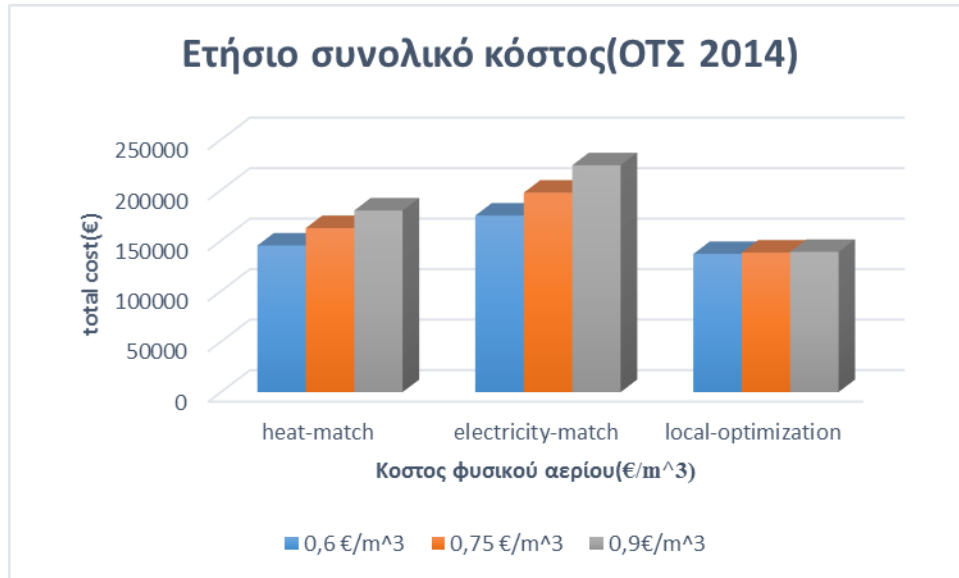


Γράφημα 6.38: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 5 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος.

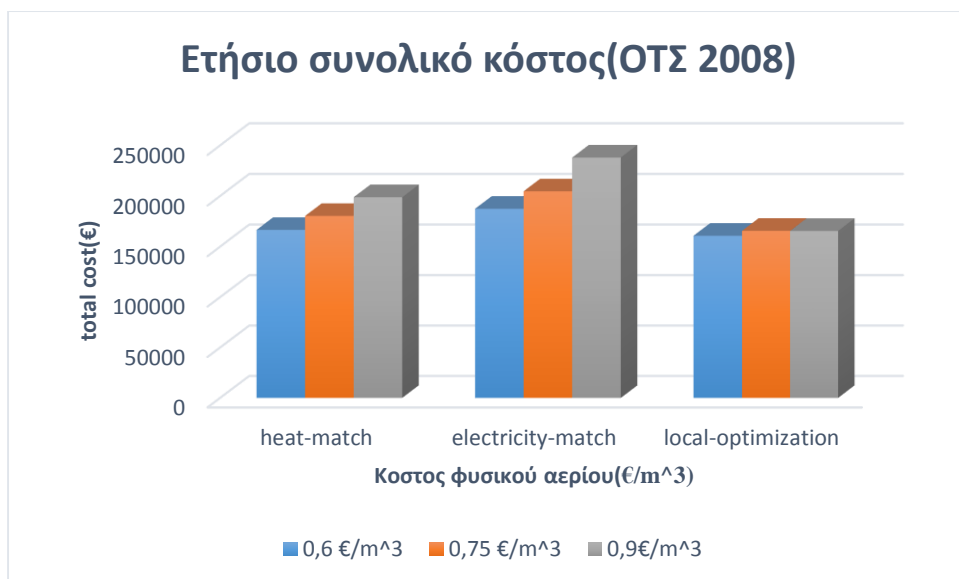


Γράφημα 6.39: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 5 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με υψηλή οριακή τιμή συστήματος.

Για ετήσιο θερμικό φορτίο Q2:

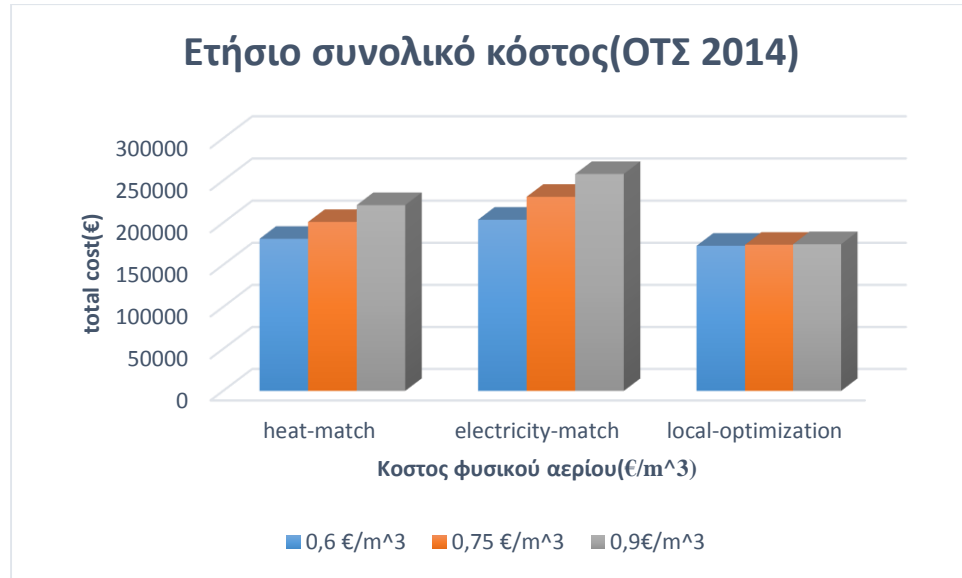


Γράφημα 6.40: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 5 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος.

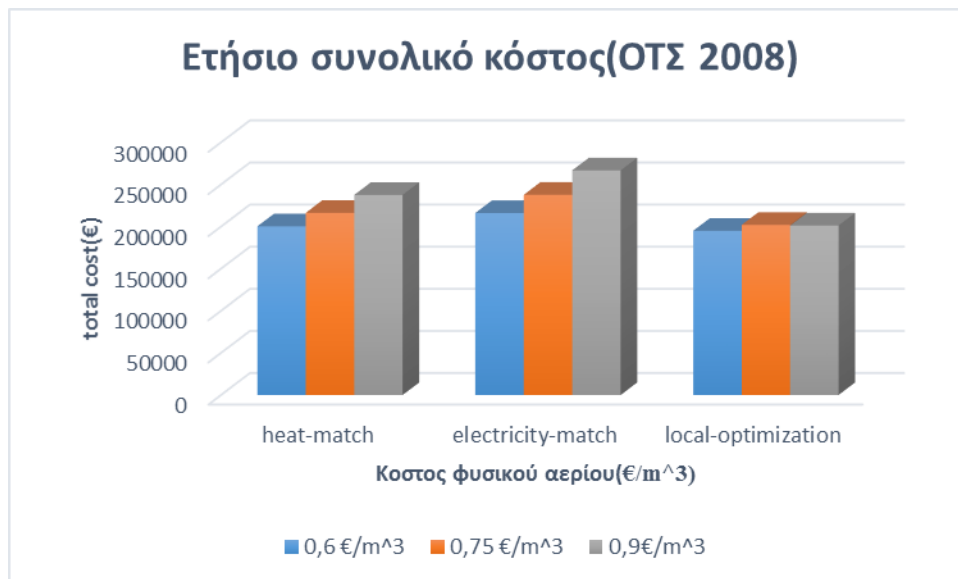


Γράφημα 6.41: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 5 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με υψηλή οριακή τιμή συστήματος.

Για ετήσιο θερμικό φορτίο Q3:

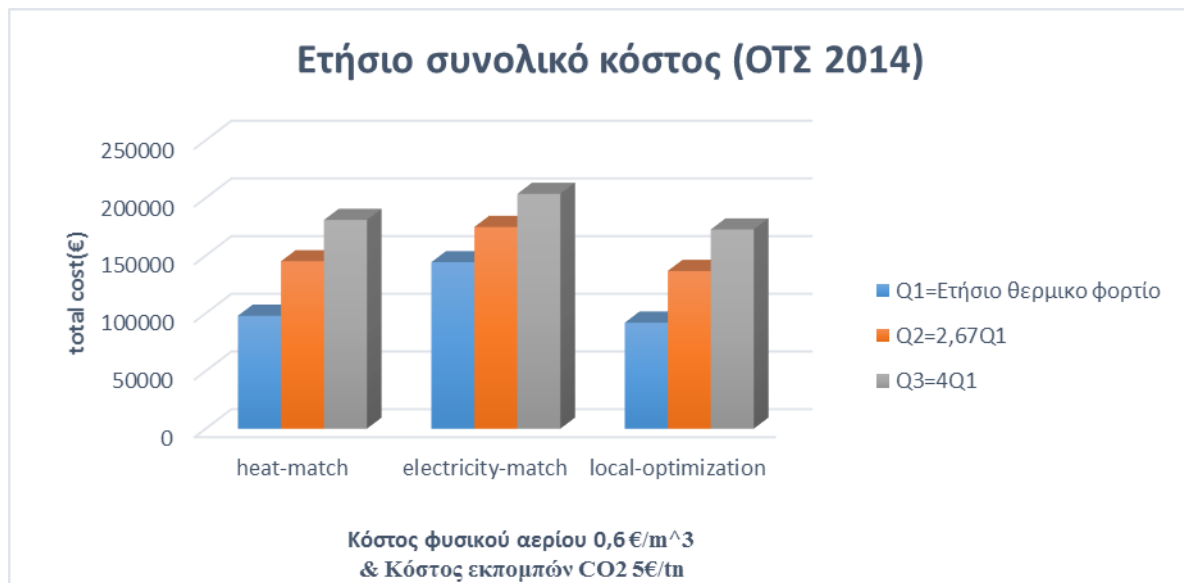


Γράφημα 6.42: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 5 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος.

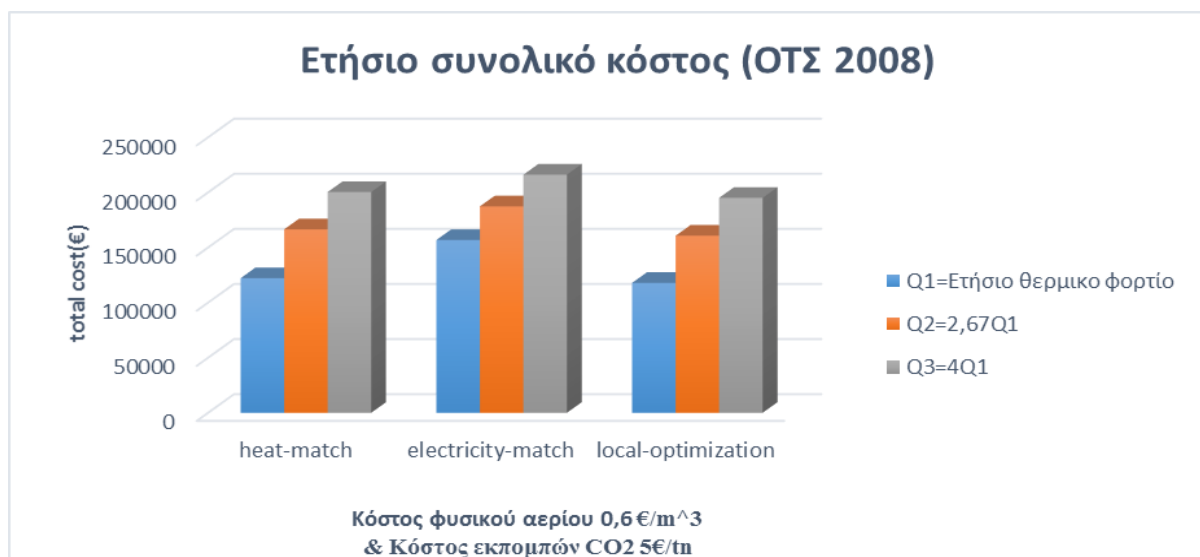


Γράφημα 6.43: Συνολικό κόστος λειτουργίας στο Σενάριο 5 για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με υψηλή οριακή τιμή συστήματος.

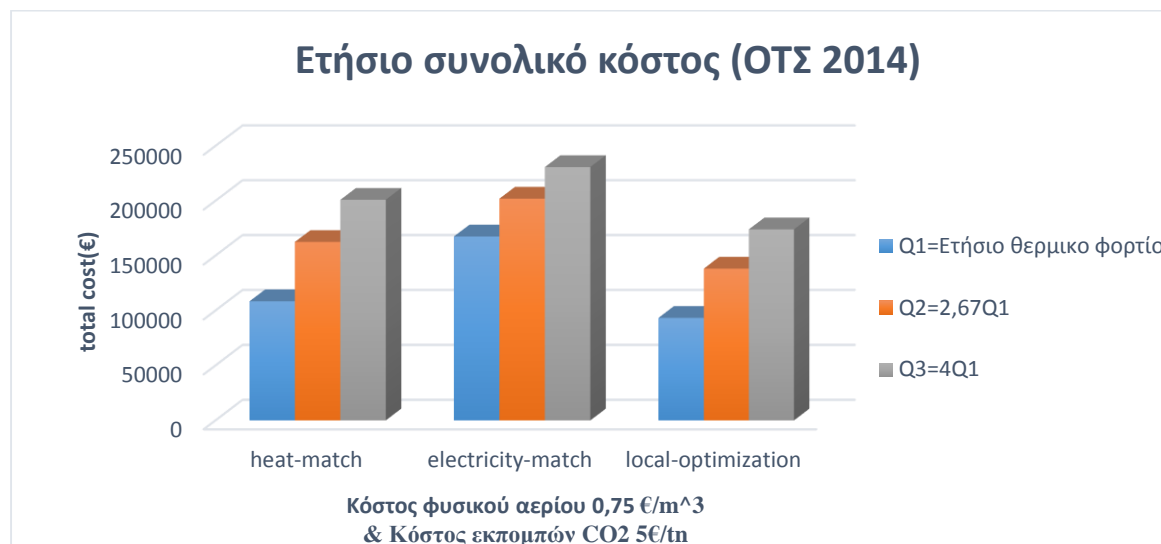
Συνδιασμός αποτελεσμάτων του 5^{ου} σεναρίου για το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας :



Γράφημα 6.44: Συνολικό κόστος λειτουργίας του 5^{ου} Σεναρίου για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και για κόστους φυσικού αερίου 0,6 €/m³ με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος.



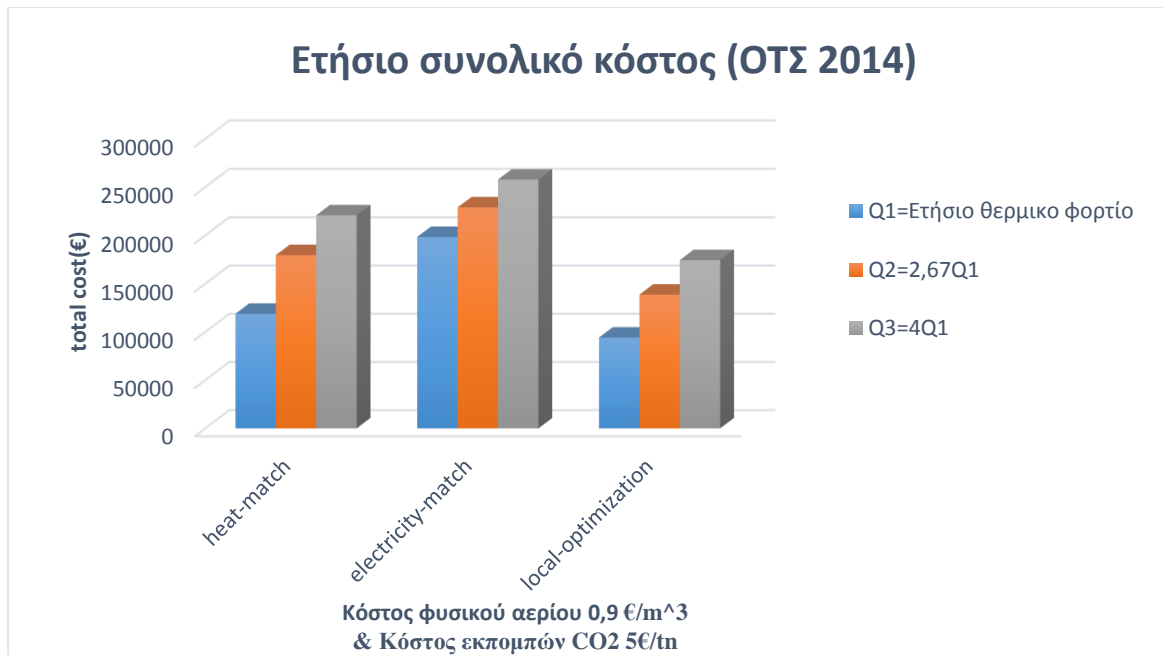
Γράφημα 6.45: : Συνολικό κόστος λειτουργίας του 5^{ου} Σεναρίου για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και για κόστους φυσικού αερίου 0,6 €/m³ με υψηλή οριακή τιμή συστήματος.



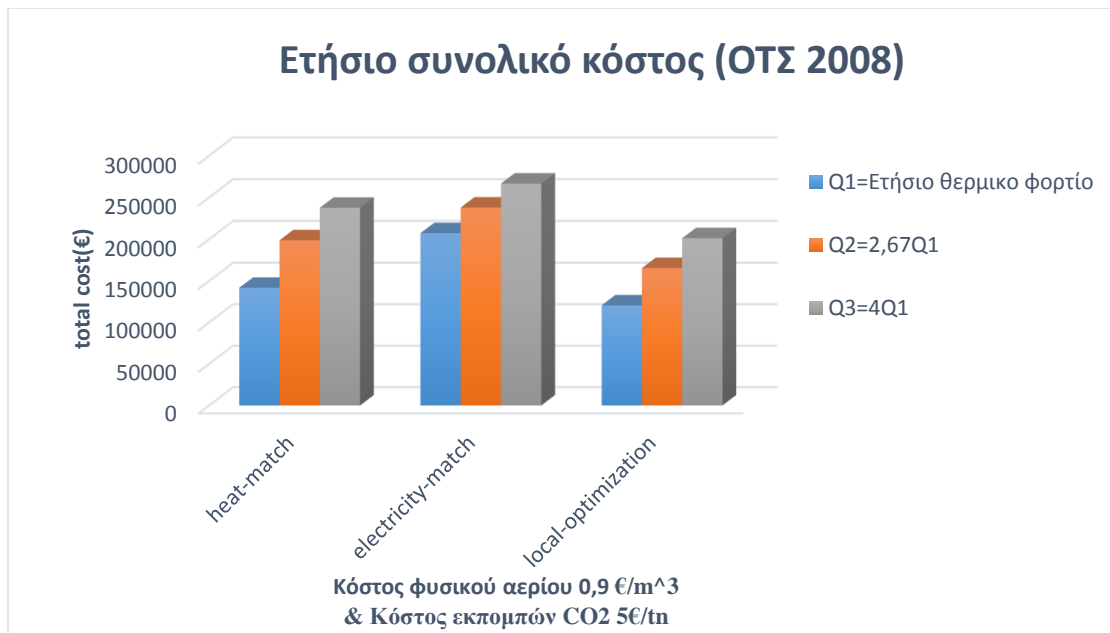
Γράφημα 6.46: Συνολικό κόστος λειτουργίας του 5^{ου} Σεναρίου για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και για κόστους φυσικού αερίου 0,75 €/m³ με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος.



Γράφημα 6.47: Συνολικό κόστος λειτουργίας του 5^{ου} Σεναρίου για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και για κόστους φυσικού αερίου 0,75 €/m³ με υψηλή οριακή τιμή συστήματος.



Γράφημα 6.48: Συνολικό κόστος λειτουργίας του 5^{ου} Σεναρίου για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και για κόστους φυσικού αερίου 0,9 €/m³ με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος.



Γράφημα 6.49: Συνολικό κόστος λειτουργίας του 5^{ου} Σεναρίου για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών και για κόστους φυσικού αερίου 0,9 €/m³ με υψηλή οριακή τιμή συστήματος.

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.50: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο heat-match.



Γράφημα 6.51: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο heat-match.



Γράφημα 6.52: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *electricity match*.



Γράφημα 6.53: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *electricity match*.



Γράφημα 6.54: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *local-optimization*.



Γράφημα 6.55: Συνολικό λειτουργικό κόστος στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά φορτία και τις τρεις τιμές κόστους φυσικού αερίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014. Στην περίπτωση όπου η ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν με τρόπο *local-optimization*.

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.56: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά και για τους τρεις τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών.

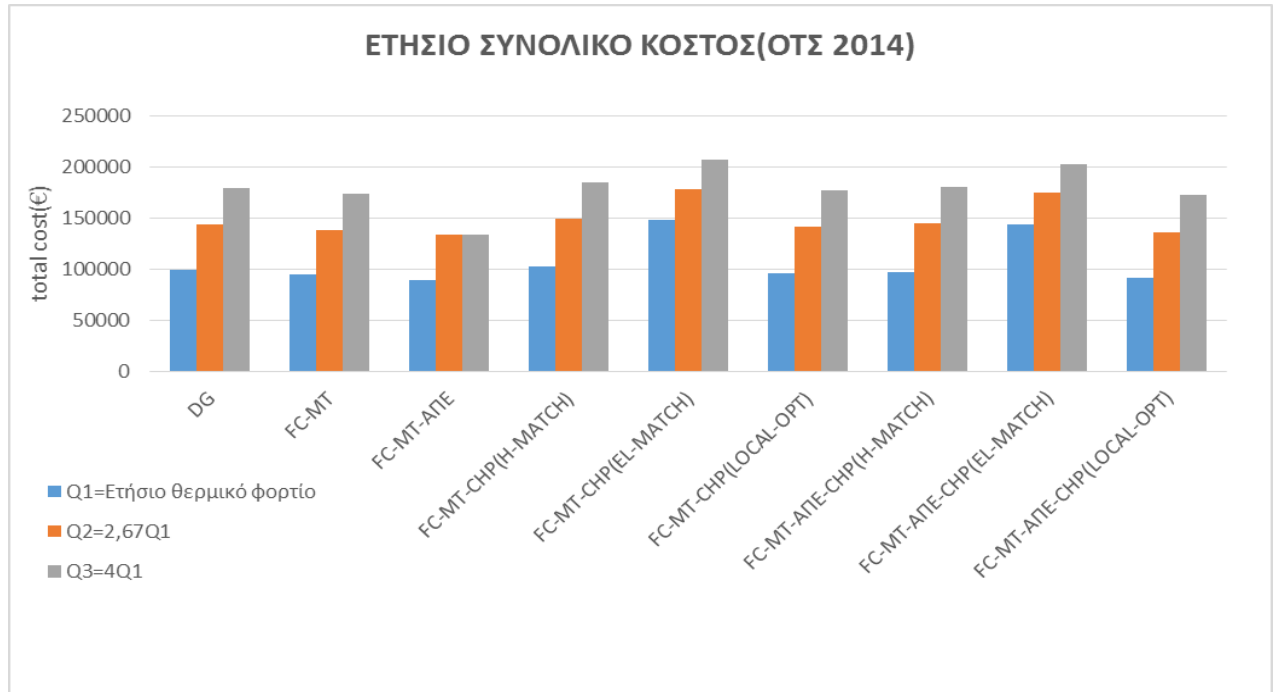
IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



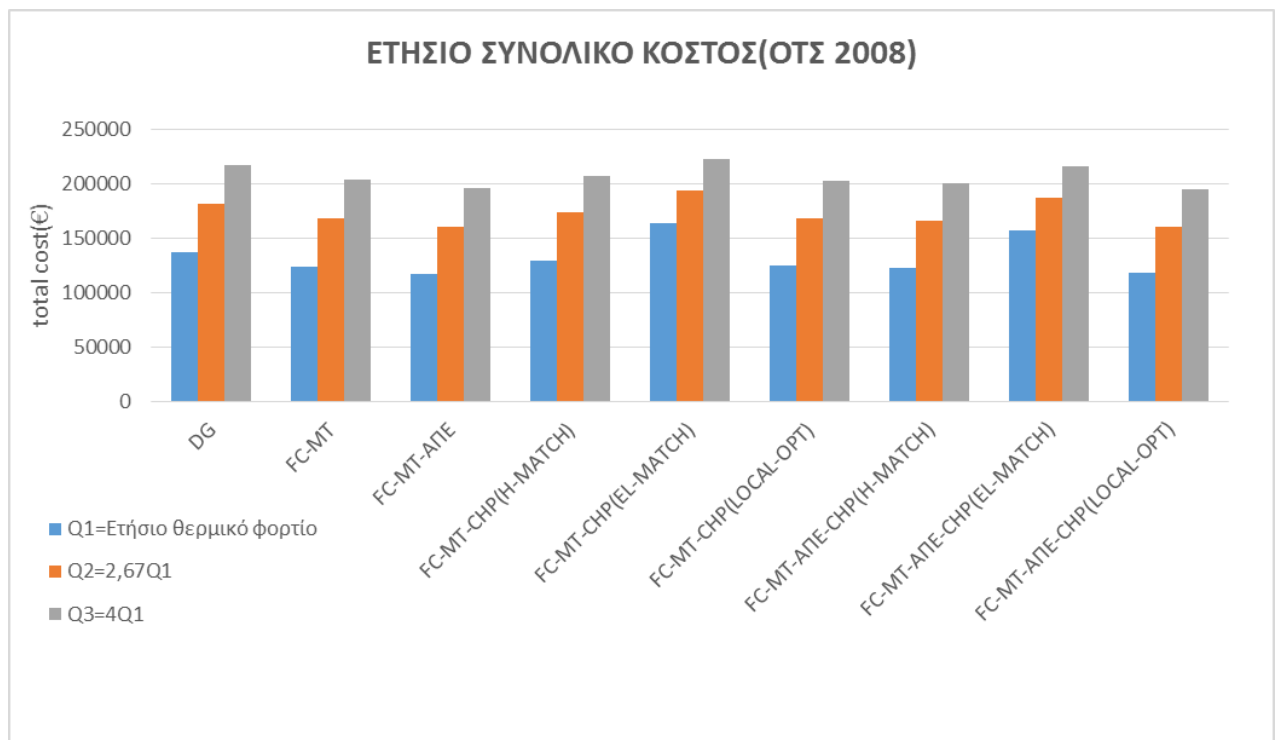
Γράφημα 6.57: Ετήσιες απώλειες στο Σενάριο 5 για τα τρία ετήσια θερμικά και για τους τρεις τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομών.

6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ :

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

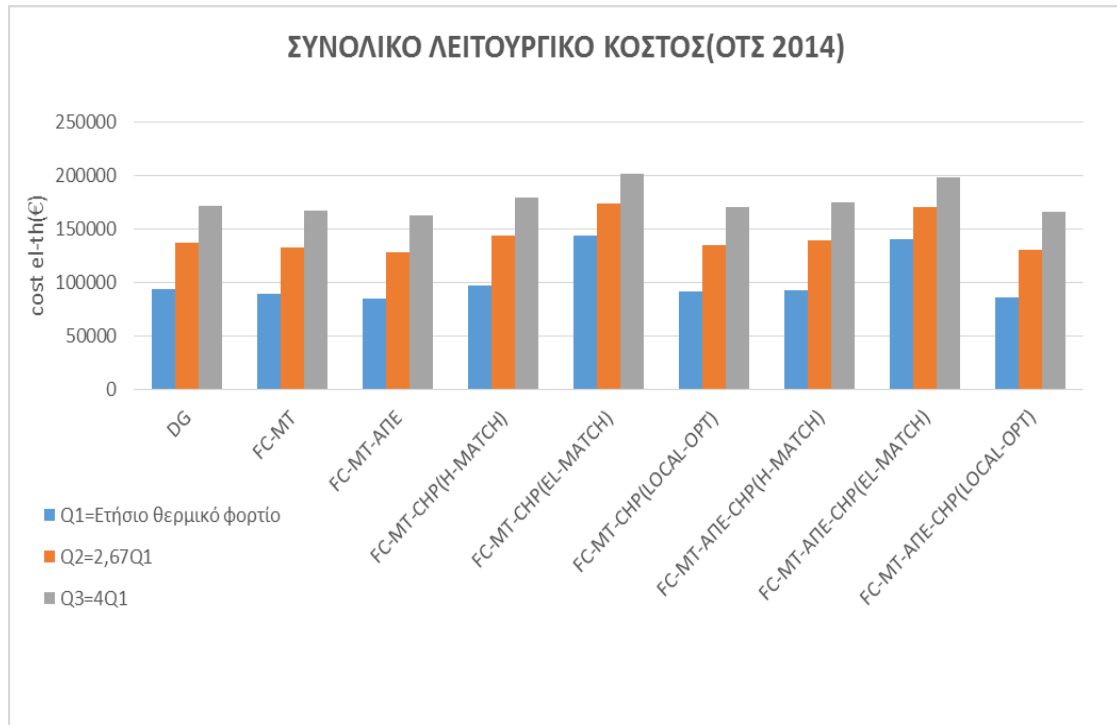


Γράφημα 6.58: το ετήσιο συνολικό κόστος με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος, κόστος φυσικού αερίου 0,6 €/m³ και κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

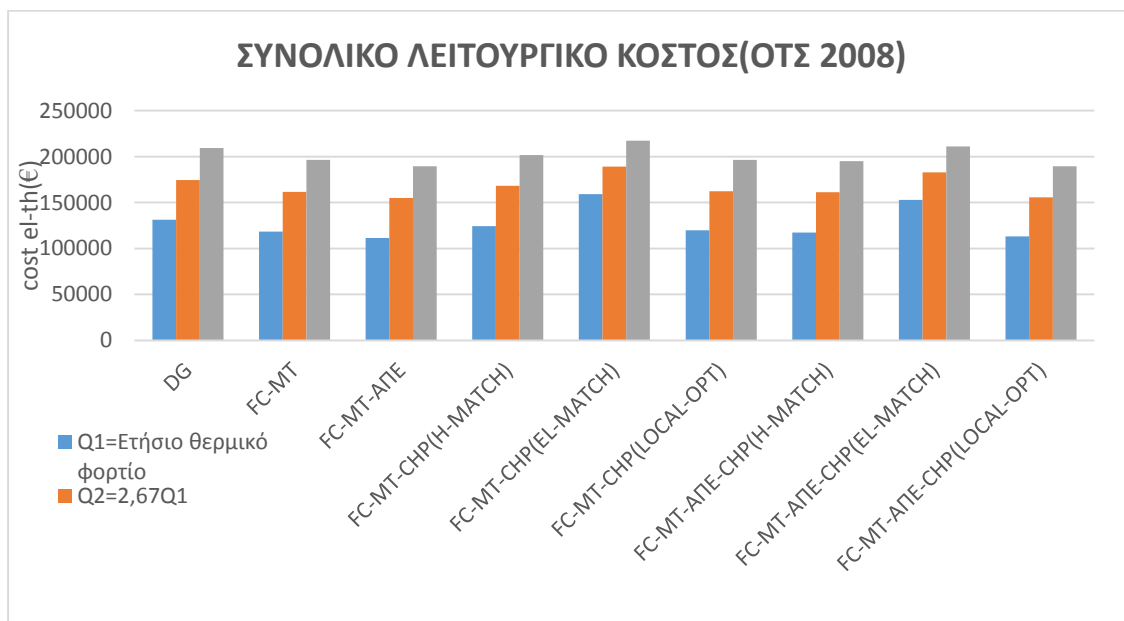


Γράφημα 6.59: το ετήσιο συνολικό κόστος με υψηλή οριακή τιμή συστήματος ,κόστος φυσικού αερίου 0,6 €/m³ και κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

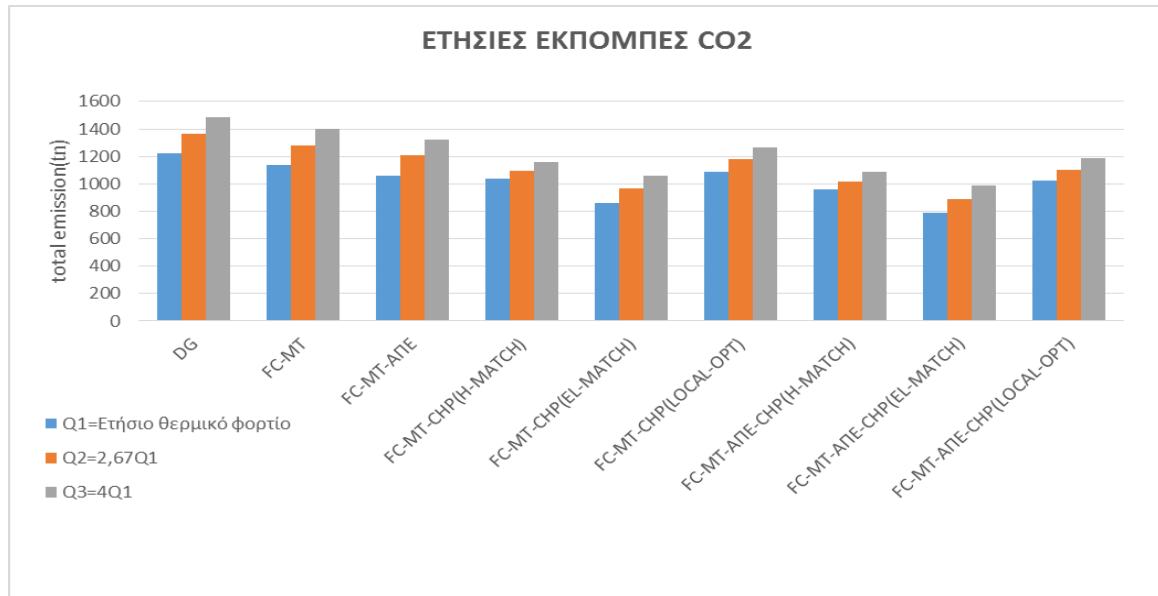


Γράφημα 6.60: το συνολικό λειτουργικό κόστος με χαμηλή οριακή τιμή συστήματος ,κόστος φυσικού αερίου 0,6 €/m³ και κόστος εκπομπών 0.5€/tn .



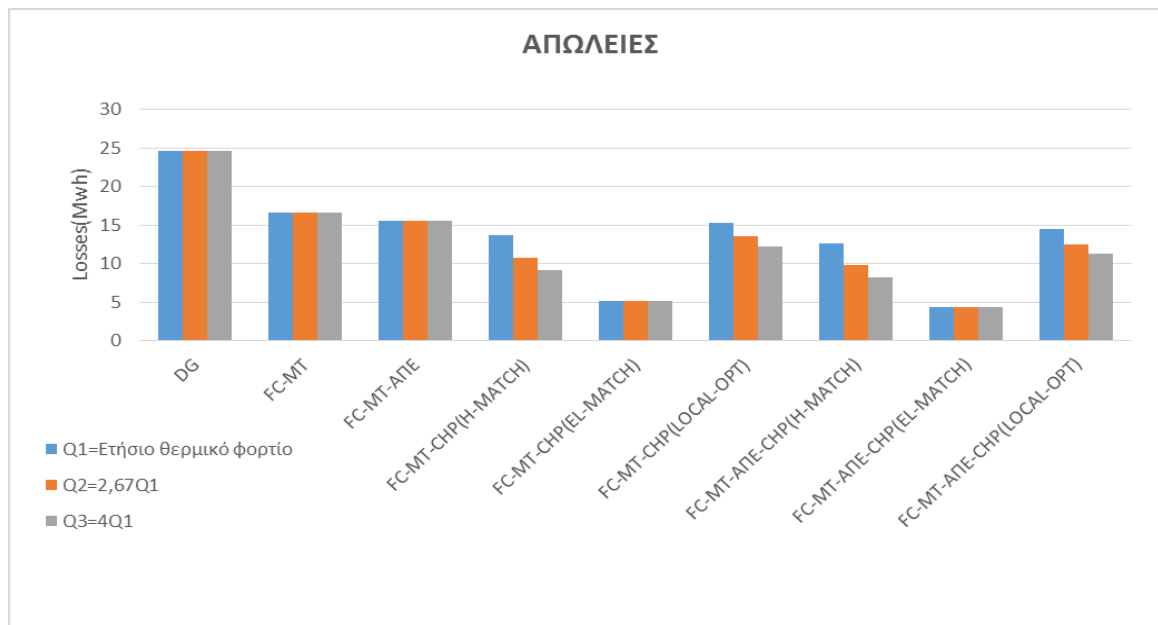
Γράφημα 6.61: το συνολικό λειτουργικό κόστος με υψηλή οριακή τιμή συστήματος ,κόστος φυσικού αερίου 0,6 €/m³ και κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2



Γράφημα 6.62: οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με κόστος φυσικού αερίου 0,6 €/m³ και κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.63: οι ετήσιες απώλειες με κόστος φυσικού αερίου 0,6 €/m³ και κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

6.4 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

6.4.1 Σενάριο 1: FC,MT,Boiler

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



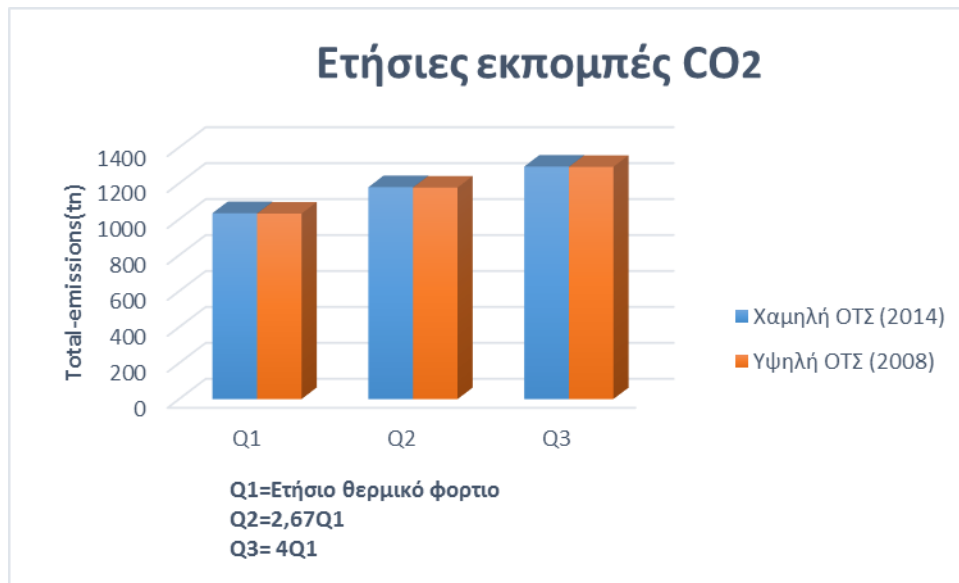
Γράφημα 6.64: : Το ετήσιο συνολικό κόστος του 1^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.65: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 1^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.66: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 1^{ου} Σεναρίου.

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.67: Οι ετήσιες απώλειες του 1^{ου} Σεναρίου.

6.4.2 Σενάριο 2: FC,MT,ΑΠΕ,Boiler

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.68: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 2^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.69: Το λειτουργικό συνολικό κόστος του 2^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.70: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 2^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.71: Οι ετήσιες απώλειες του 2^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn .

6.4.3 Σενάριο 3: FC,MT,CHP

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.72: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 3^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014



Γράφημα 6.73: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 3^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.74: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 3^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.75: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 3^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.76: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 3^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.77: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 3^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.78: Οι ετήσιες απώλειες του 3^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.79: Οι ετήσιες απώλειες του 3^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

6.4.4 Σενάριο 4: FC,MT,ΑΠΕ,CHP

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.80: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 4^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014



Γράφημα 6.81: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 4^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

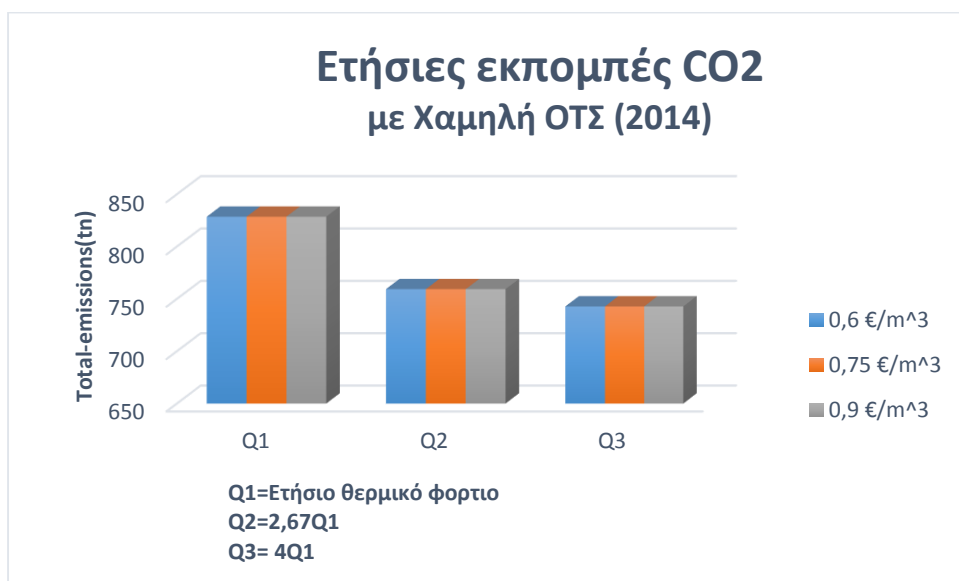


Γράφημα 6.82: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 4^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.83: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 4^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.84: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 4^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.85: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 4^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.86: Οι ετήσιες απώλειες του 4^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.87: : Οι ετήσιες απώλειες του 4^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

6.4.5 Σενάριο 5:FC,MT,Boiler,CHP

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.88: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 5^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.89: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 5^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.90: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 5^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014.

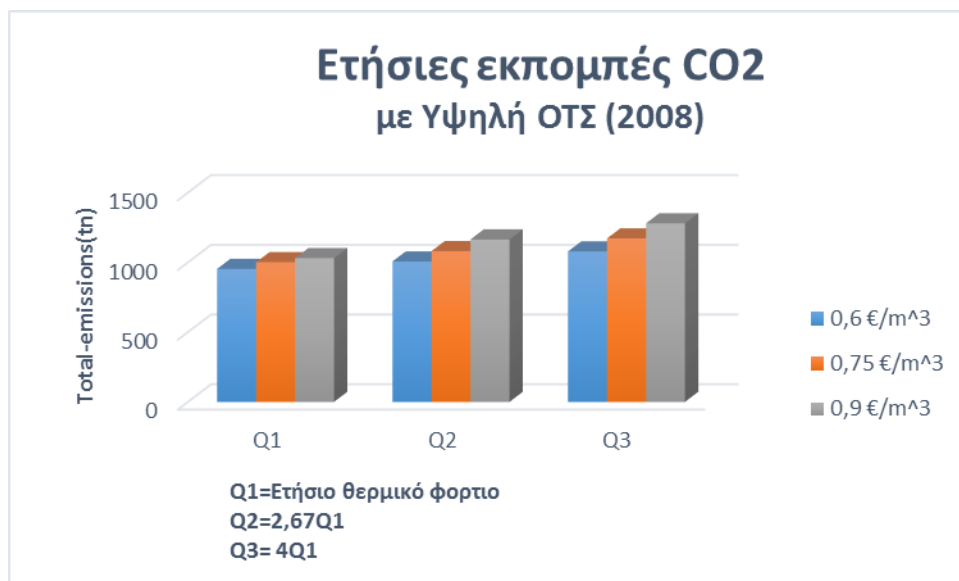


Γράφημα 6.91: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 5^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.92: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 5^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.93: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 5^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.94: Οι ετήσιες απώλειες του 5^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.95: Οι ετήσιες απώλειες του 5^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.

6.4.6 Σενάριο 6: FC,MT,ΑΠΕ,Boiler,CHP

I. ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.96: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 6^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.97: Το ετήσιο συνολικό κόστος του 6^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

II. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ



Γράφημα 6.100: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 6^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.101: Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του 6^{ου} Σεναρίου με κόστος εκπομπών 0.5€/tn και με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

III. ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂



Γράφημα 6.102: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 6^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.103: Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του 6^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

IV. ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Γράφημα 6.104: Οι ετήσιες απώλειες του 6^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2014.



Γράφημα 6.105: Οι ετήσιες απώλειες του 6^{ου} Σεναρίου με οριακή τιμή συστήματος του 2008.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

7.1 Οικονομική αξιολόγηση

7.1.1 Δημιουργίας μικροδικτύου και ανεξάρτητου δικτύου κατευθείαν από το no-DG :

Για την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης του κάθε σεναρίου στη περίπτωση μικροδικτύου και ανεξάρτητου δικτύου γίνεται μια σύγκριση των συνολικών ετήσιων κοστών του αναντη δικτύου με των ετήσιων συνολικών κοστών του μικροδικτύου και του ανεξάρτητου δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε το ετήσιο συνολικό κόστος που κερδίζουμε στο οποίο συμπεριλαμβάνεται το κόστος εγκατάστασης.

Οι οικονομικοί παράμετροι όλων των μονάδων κατανεμημένης παραγωγής φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 7.1, ο οποίος έχει συμπληρωθεί με βάση τα δεδομένα του 2015

Επιτόκιο αναγωγής = 7%						
a/a	PV	WT	MT	FC	CHP	BOILER
Εγκατεστημένη ισχύς (kW)	13	15	30	30	2x40	2x80
Κόστος εγκατάστασης (€/kW)	1700	1200	900	950	1200	50
Χρόνος ζωής (Year)	20					
Κόστος συντήρησης (€/kW-Year)	17	24	39	42	52	3
Συνολικό κόστος (€/kW-Year)	1717	1224	939	992	1252	53
Χρόνος απόσβεσής (Year)	8					
Κόστος απόσβεσής (€/kW-year)	288	205	157	166	210	9
Συνολικό κόστος απόσβεσης (€/year)	3744	3075	4710	4980	16800	1440

Πίνακας 7.1 οικονομικοί παράμετροι των DG μονάδων παραγωγής.

Πιο αναλυτικά ο υπολογισμός του κόστους συντήρησης ανά έτος για :

- Τα φωτοβολταϊκά είναι $1700 \text{ €/kW} = 0,01 * \text{Κόστος εγκατάστασης}$
- την ανεμογεννήτρια είναι $1200 \text{ €/kW} = 0,02 * \text{Κόστος εγκατάστασης}$
- την μικροτουρμπίνα είναι $39 \text{ €/kW} = 0,0044 \text{ €/kWh} * 8760 \text{ h}$
- την κυψέλη καυσίμου είναι $42 \text{ €/kW} = 0,0048 \text{ €/kWh} * 8760 \text{ h}$
- το σύστημα συμπαραγωγής είναι $52 \text{ €/kW} = 0,0062 \text{ €/kWh} * 8760 \text{ h}$
- το Boiler είναι $2 \text{ €/kW} = 0,04 * \text{Κόστος εγκατάστασης}$.

Για τον υπολογισμό του κόστους απόσβεσης που πρέπει να πληρώνουμε ανά χρόνο για όλες τις DER τεχνολογίες έχουμε θεωρήσει ότι ο χρόνος απόσβεσης είναι 8 χρόνια για την προεξόφληση του κόστους εγκατάστασης. Ο παράγοντας ανάκτησης κεφαλαίου θα είναι $CRF = \frac{k}{(1-(1+k)^{-n})} = \frac{0,07}{(1-(1+0,07)^{-8})} = 0,1675$ για όλες τις τεχνολογίες DER. Έτσι όλα τα κόστη θα τα ανάγουμε στον χρόνο απόσβεσης που έχουμε καθορίσει καθώς επίσης και στο επιτόκιο αναγωγής. Επομένως ο υπολογισμός του κόστους απόσβεσής ανά έτος για:

- Τα φωτοβολταικά είναι $288\text{€/kW} = 1717\text{€/kW*CRF}$
- την ανεμογεννήτρια είναι $205\text{ €/kW} = 1717\text{€/kW*CRF}$
- την μικροτουρμπίνα είναι $157\text{ €/kW} = 1717\text{€/kW*CRF}$
- την κυψέλη καυσίμου είναι $166\text{ €/kW} = 1717\text{€/kW*CRF}$
- το σύστημα συμπαραγωγής είναι $210\text{€/kW} = 1717\text{€/kW*CRF}$
- το Boiler είναι $9\text{€/kW} = 1717\text{€/kW*CRF}$

Ακολουθεί ο υπολογισμός του συνολικού κόστους απόσβεσης:

- 13KW PV έχουμε συνολικά $3744\text{ €/Year} = 13\text{kW} * \text{Amortization Cost (€/kW-year)}$
- 15KW WT έχουμε συνολικά $3075\text{ €/Year} = 15\text{kW} * \text{Amortization Cost (€/kW-year)}$
- 30KW MT έχουμε συνολικά $4710\text{ €/Year} = 30\text{kW} * \text{Amortization Cost (€/kW-year)}$
- 30KW FC έχουμε συνολικά $4980\text{ €/Year} = 30\text{kW} * \text{Amortization Cost (€/kW-year)}$
- 80KW CHP έχουμε συνολικά $16800\text{ €/Year} = 80\text{kW} * \text{Amortization Cost (€/kW-year)}$
- 160KW Boiler έχουμε συνολικά $1440\text{ €/Year} = 160\text{kW} * \text{Amortization Cost (€/kW-year)}$

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής τοποθετήσαμε στον παρακάτω πίνακα το ετήσιο συνολικό κόστος κάθε σεναρίου κατά την ανεξάρτητη λειτουργία του δικτύου αλλά και κατά την λειτουργία ως μικροδίκτυο.

Η πρώτη στήλη αναφέρεται στο ετήσιο συνολικό κόστος όταν έχουμε θερμικό φορτίο $Q1=383,16\text{Mwh}$,με χαμηλή οριακή τιμή(2014) και με κόστος εκπομπών 5€/tn επίσης για τα σεναρία που χρησιμοποιούν CHP έχουμε κόστος φυσικού αερίου $0,6\text{€/m}^3$.

Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στο ετήσιο συνολικό κόστος όταν έχουμε θερμικό φορτίο $Q3=1532,64\text{Mwh}$,με κόστος εκπομπών 25€/tn και με υψηλή οριακή τιμή(2008) επίσης για τα σεναρία που χρησιμοποιούν CHP έχουμε κόστος φυσικού αερίου $0,9\text{€/m}^3$.

ΣΕΝΑΡΙΑ		Ετήσιο συνολικό κόστος για θερμικό φορτίο Q1 (€)	Ετήσιο συνολικό κόστος για θερμικό φορτίο Q3 (€)
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	109591,54	284673,87
	FC-MT-Boiler	104597,87	269611,84
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	99841,39	260877,93
	FC-MT-CHP-Boiler	101865,48	257468,13
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	96938,46	248734,22
Λειτουργία μικροδίκτυο	FC-MT-Boiler	99557,03	255651,82
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	93819,05	245362,13
	FC-MT-CHP	96134,27	226569,23
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	90651,99	217381,97
	FC-MT-CHP-Boiler	97512,63	247133,24
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	91828,98	236762,04

Πίνακας 7.2: Ετήσιο συνολικό κόστος για τα δύο θερμικά φορτία Q1 και Q2

Υπολογίζουμε το κέρδος ανά έτος που έχουμε από την εγκατάσταση του I-DG και του μικροδικτύου αφαιρώντας από τα ετήσια συνολικά κόστη του no-DG τα ετήσια συνολικά κόστη του I-DG και του μικροδικτύου για το κάθε σενάριο όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 7.3.

ΣΕΝΑΡΙΑ		Ετήσιο συνολικό κέρδος για θερμικό φορτίο Q1 (€)	Ετήσιο συνολικό κέρδος για θερμικό φορτίο Q3 (€)
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	0	0
	FC-MT-Boiler	4993,67	15062,03
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	9750,15	23795,94
	FC-MT-CHP-Boiler	7726,06	27205,74
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	12653,08	35939,65
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	10034,51	29022,05
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	15772,49	39311,74
	FC-MT-CHP	13457,27	58104,64
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	18939,55	67291,9
	FC-MT-CHP-Boiler	12078,91	37540,63
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	17762,56	47911,83

Πίνακας 7.3: Ετήσιο συνολικό κέρδος για τα δύο θερμικά φορτία Q1 και Q2

Το συνολικό κόστος απόσβεσης είναι:

ΣΕΝΑΡΙΑ		Συνολικό κόστος απόσβεσης για DER τεχνολογία(€)
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	-
	FC-MT-Boiler	11130
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	17949
	FC-MT-CHP-Boiler	27930
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	34749
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	11130
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	17949
	FC-MT-CHP	26490
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	33309
	FC-MT-CHP-Boiler	27930
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	34749

Πίνακας 7.4: Συνολικό κόστος απόσβεσης.

Στον πίνακα 7.5 που ακολουθεί έχουμε αφαιρέσει από τα κέρδη το συνολικό κόστος απόσβεσης (πίνακας 7.4) για το κάθε σενάριο.

ΣΕΝΑΡΙΑ		Ετήσιο συνολικό κέρδος για θερμικό φορτίο Q1 (€)	Ετήσιο συνολικό κέρδος για θερμικό φορτίο Q3 (€)
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	0	0
	FC-MT-Boiler	-6136,33	3932,03
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	-8198,85	5846,94
	FC-MT-CHP-Boiler	-20203,94	-724,26
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	-22095,92	1190,65
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	-1095,49	17892,05
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	-2176,51	21362,74
	FC-MT-CHP	-13032,73	31614,64
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	-14369,45	33982,9
	FC-MT-CHP-Boiler	-15851,09	9610,63
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	-16986,44	13162,83

Πίνακας 7.5: Ετήσιο συνολικό κέρδος στο οποίο έχουμε αφαιρέσει το κόστος απόσβεσης

Στη λειτουργία μικροδικτύου έχουμε και ένα επιπλέον κόστος για τους έξυπνους μετρητές και τις τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Πιο αναλυτικά ένας έξυπνος μετρητής κοστίζει περίπου 150 € στην τιμή αυτή συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα εγκατάστασης. Επιπλέον οι τηλεπικοινωνιακές δαπάνες είναι 10 € το μήνα επομένως 120 € το ένα έτος. Στο δίκτυο έχουμε τοποθετήσει 17 έξυπνους μετρητές σε κάθε σημείο παραγωγής ή κατανάλωσης. Ακόμη για την MGCC θεωρείται ότι κοστίζει 5000€. Έτσι το συνολικό κόστος εγκατάστασης είναι 7550€ και το ετήσιο τηλεπικοινωνιακό κόστος είναι 2040€. Έχουμε και κάποια επιπλέον κόστη εγκατάστασης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Price per MB of data	0.2 €
Expected data exchange per month by each smart meter	50 MB
Smart meter (equipment and installation)	150 €
Number of Smart meters	17
MGCC	5000 €
LV circuit-breaker	1500€
Protection of MV Grid/Microgrid Interface	7000€
Load Controllers	4000€
Microgenerators Controllers	2000€

Πίνακας 7.6: Data for equipment

Επομένως το συνολικό ετήσιο κόστος εγκατάστασης είναι **24090€**.

Υπάρχουν περιπτώσεις να έχουμε και κάποιες επιπλέον δαπάνες που μπορεί να προκύψουν από πιθανές επενδυτικές ανάγκες προκυμμένου να ξεπεραστούν κάποια τεχνικά προβλήματα όπως ανισορροπία τάσης και υπερφόρτωσή.

Οπότε το επιπλέον κόστος απόσβεσης για τους έξυπνους μετρητές και τις τηλεπικοινωνιακές υποδομές θα είναι $24090\text{€} * 0,1675 = 4035,075\text{€}$ για απόσβεση σε 8 χρόνια με επιτόκιο αναγωγής 7%.

ΣΕΝΑΡΙΑ		Ετήσιο συνολικό όφελος για θερμικό φορτίο Q3 (€)
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	0
	FC-MT-Boiler	3932,03
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	5846,94
	FC-MT-CHP-Boiler	-724,26
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	1190,65
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	13856,975
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	17327,665
	FC-MT-CHP	27579,565
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	29947,825
	FC-MT-CHP-Boiler	5575,555
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	9127,755

Πίνακας 7.7: ετήσιο συνολικό όφελος για το θερμικό φορτίο Q3

7.1.2 Δημιουργίας μικροδικτύου από I-dg δίκτυο:

Είναι σημαντικό να εξετάσουμε την οικονομική αξιολόγηση της δημιουργίας μικροδικτύου από ήδη υπάρχον δίκτυο μικροπηγών το οποίο λειτουργεί ανεξάρτητα.

Στον πίνακα 7.8 παρατηρούμε το κέρδος που έχουμε για κάθε σενάριο από την δημιουργία μικροδικτύου. Το οποίο προέκυψε από την αφαίρεση των συνολικών κοστών μεταξύ των αντίστοιχών σεναρίων I-DG και microgrid.

ΣΕΝΑΡΙΑ		Ετήσιο συνολικό κέρδος για θερμικό φορτίο Q1 (€)	Ετήσιο συνολικό κέρδος για θερμικό φορτίο Q3 (€)
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	5040,84	13960,02
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	6022,34	15515,8
	FC-MT-CHP-Boiler	4352,85	10334,89
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	5109,48	11972,18

Πίνακας 7.8: Ετήσιο συνολικό κέρδος για τα θερμικά φορτία Q1 και Q3

Όπως υπολογίσαμε πιο πάνω για την δημιουργία μικροδικτύου έχουμε ένα επιπλέον κόστος από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και για τις τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Από τον πίνακα 7.6 υπολογίσαμε το συνολικό ετήσιο κόστος εγκατάστασης το οποίο θα είναι 24090€ . Για την προεξόφληση αυτού του κόστους σε 8 χρόνια θα πρέπει ανά έτος να έχουμε ένα κόστος $24090\text{€} * 0,1675 = 4035,075\text{€}$ το οποίο υπολογίστηκε με επιτόκιο αναγωγής 7%.

Προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας 7.9 μετά την αφαίρεση του $4035,075\text{€}$ από όλα τα σενάρια σύμφωνα με τον πίνακα 7.8. Από τον οποίο συμπεραίνουμε ότι μας συμφέρει η δημιουργία μικροδικτύου από I-DG δίκτυο όταν έχουμε υψηλό αλλά και χαμηλό θερμικό φορτίο.

ΣΕΝΑΡΙΑ		Ετήσιο συνολικό όφελος για θερμικό φορτίο Q1 (€)	Ετήσιο συνολικό όφελος για θερμικό φορτίο Q3 (€)
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	1005,765	9924,945
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	1987,265	11480,725
	FC-MT-CHP-Boiler	317,775	6299,815
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	1074,405	7937,105

Πίνακας 7.8: Ετήσιο συνολικό όφελος για τα θερμικά φορτία Q1 και Q3

7.2 Καθαρή Παρούσα Αξία και Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης

Επιπλέον για τον έλεγχο της βιωσιμότητας της επένδυσης χρησιμοποιήσαμε τους ακόλουθους δείκτες την Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV-ΚΠΑ) και τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (IRR- EBA). Πιο αναλυτικά :

- Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV-ΚΠΑ):** ορίζεται ως η διαφορά της παρούσας αξίας των ετήσιων εισοδημάτων μείον την παρούσα αξία των ετήσιων εξόδων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων. Στην πράξη η ΚΠΑ υπολογίζεται ως η διαφορά των χρηματικών εισροών (καθαρών ταμειακών ροών μετά φόρων) μείον το κόστος των επενδύσεων, όπως, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t} + \frac{YA_N}{(1+k)^N} \quad (\text{σχέση 1})$$

$$KTP_t = E\Sigma_t - EΞ_t = \text{Revenues}$$

Όπου:

- K_0 : Το κόστος της επένδυσης
- KTP_t : Η καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t
- k : Η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων του επενδύονται – επιτόκιο αναγωγής
- N : Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης σε έτη
- YA_N : Η υπολειμματική αξία της επένδυσης στο N – οστό έτος
- $E\Sigma_t$: Τα έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας
- $EΞ_t$: Τα έξοδα για την αποζημίωση των τοπικών παραγωγών

- Εάν $NPV > 0$, έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου.
- Εάν $NPV < 0$, έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου.
- Εάν $NPV = 0$ υπάρχει αδιαφορία του επενδυτή ως προς την αποδοχή ή την απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου.

- Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (IRR- EBA):** είναι η τιμή του επιτοκίου αναγωγής, που κάνει την NPV της επένδυσης, για τη διάρκεια της οικονομικής αξιολόγησης, ίση με το μηδέν. Ειδικότερα, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Συνεπώς, ο IRR της επένδυσης προσδιορίζεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (\text{σχεση2})$$

Όπου:

K_0 : Το κόστος της επένδυσης

KTP_t : Η καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t

IRR : Το επιτόκιο προεξόφλησης που καθιστά στη ΚΠΑ=0

N : Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης σε έτη

- Εάν $EBA >$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα.
- Εάν $EBA =$ με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή, εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση.
- Εάν $EBA <$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

7.2.1 Στην περίπτωση δημιουργίας μικροδικτύου και ανεξάρτητου δικτύου κατευθείαν από το no-DG :

Αρχικά υπολογίζουμε το κόστος της επένδυσης (K_0) για κάθε σενάριο σύμφωνα με τον πίνακα 7.1. και 7.9.

a/a	Εγκατεστημένη ισχύς (kW)	Κόστος εγκατάστασης (€/kW)	Κόστος επένδυσής (€)	Κόστος συντήρησης (€/kW-Year)	Συνολικό κόστος συντήρησης (€-Year)
pv	13	1700	22100	17	221
wt	15	1200	18000	24	360
mt	30	900	27000	39	1170
fc	30	950	28500	42	1260
chp	80	1200	96000	52	4160
boiler	160	50	8000	3	480
TOTAL			199600		7651

Πίνακας 7.9: Εγκατεστημένη ισχύ και κόστος επένδυσης

Για την κατασκευή του μικροδικτύου έχουμε το επιπλέον κόστος που έχουμε αναφέρει πιο πάνω το οποίο συνολικά είναι :

Κόστος εγκατάστασης μικροδικτύου (€)	21540
Τηλεπικοινωνιακό κόστος(€-year)	2550

Πίνακας 7.10

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης για το κάθε σενάριο είναι :

ΣΕΝΑΡΙΑ		Κόστος εγκατάστασης (€)
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	0
	FC-MT-Boiler	63500
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	103600
	FC-MT-CHP-Boiler	159500
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	199600
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	85040
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	125140
	FC-MT-CHP	173040
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	213140
	FC-MT-CHP-Boiler	181040
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	221140

Πίνακας 7.11: Κόστος εγκατάστασης

Στον επόμενο πίνακα 7.12 υπολογίζουμε την διαφορά του κόστους συντήρησής από το κέρδος που έχουμε ανά χρόνο για κάθε σενάριο.

		κέρδος για θερμικό φορτίο Q1 (€- Year)	κέρδος για θερμικό φορτίο Q3 (€- Year)	κόστος συντήρησης (€-Year)	Κέρδος- κόστος συντήρησης- (€-Year) Q1	Κέρδος- κόστος συντήρησης (€-Year) Q3
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	0	0	0	0	0
	FC-MT-Boiler	4993,67	15062,03	2910	2083,67	12152,03
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	9750,15	23795,94	3491	6259,15	20304,94
	FC-MT-CHP-Boiler	7726,06	27205,74	7070	656,06	20135,74
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP- Boiler	12653,08	35939,65	7651	5002,08	28288,65

Πίνακας 7.12: Κέρδος μείον το κόστος συντήρησης

Στον πίνακα 7.13 που ακολουθεί υπολογίζουμε την διαφορά του κόστους συντήρησής και τηλεπικοινωνιακού κόστους από το κέρδος ανά χρόνο για κάθε σενάριο.

		κέρδος για θερμικό φορτίο Q1 (€- Year)	κέρδος για θερμικό φορτίο Q3 (€- Year)	κόστος συντήρησης (€-Year)	Κέρδος-κόστος συντήρησης-τηλεπ.κόστος (€-Year) Q1	Κέρδος-κόστος συντήρησης-τηλεπ.κόστος (€-Year) Q3
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	10034,51	29022,05	2910	4574,51	23562,05
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	15772,49	39311,74	3491	9731,49	33270,74
	FC-MT-CHP	13457,27	58104,64	6590	4317,27	48964,64
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	18939,55	67291,9	7171	9218,55	57570,9
	FC-MT-CHP-Boiler	12078,91	37540,63	7070	2458,91	27920,63
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	17762,56	47911,83	7651	7561,56	37710,83

Πίνακας 7.13: Κέρδος μείον το κόστος συντήρησης μείον τηλεπικοινωνιακό κόστος

Από την σχέση 1 και 2 υπολογίσαμε το **ΚΠΑ και ΕΒΑ** για κάθε σενάριο με θερμικό φορτίο **Q1**, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 7.14:

ΣΕΝΑΡΙΑ		interest rate 3%		interest rate 5%		interest rate 7%		interest rate 9%	
		IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	-	-	-	-	-	-	-	-
	FC-MT-Boiler	-23%	-47.449,78 €	-23%	-47.650,28 €	-23%	-47.717,56 €	-23%	-47.676,39 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	-14%	-57.924,95 €	-14%	-60.138,84 €	-14%	-61.892,29 €	-14%	-63.263,06 €
	FC-MT-CHP-Boiler	-44%	-150.383,17€	-44%	-147.866,42€	-44%	-145.404,18€	-44%	-142.998,92€
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	-26%	-159.696,06€	-26%	-159.305,23€	-26%	-158.627,18€	-26%	-157.719,63€
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	-16%	-51.386,75 €	-16%	-52.832,35 €	-16%	-53.947,88 €	-16%	-54.789,83 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	-9%	-55.172,75 €	-9%	-59.279,34 €	-9%	-62.645,20 €	-9%	-65.392,63 €
	FC-MT-CHP	-26%	-138.576,79€	-26%	-138.225,30€	-26%	-137.626,44€	-26%	-136.829,99€
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	-19%	-144.105,45€	-19%	-146.246,24€	-19%	-147.750,73€	-19%	-148.731,1 €
	FC-MT-CHP-Boiler	-33%	-159.008,94€	-33%	-157.283,37€	-33%	-155.473,94€	-33%	-153.605,85€
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	-22%	-163.165,22€	-22%	-164.064,79€	-22%	-164.474,46€	-22%	-164.484,53€

Πίνακας 7.14: ΚΠΑ και ΕΒΑ για θερμικό φορτίο Q1

Από την σχέση 1 και 2 υπολογίσαμε το **ΚΠΑ και ΕΒΑ** για κάθε σενάριο με θερμικό φορτίο **Q3**, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 7.15:

ΣΕΝΑΡΙΑ		interest rate 3%		interest rate 5%		interest rate 7%		interest rate 9%	
		IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV
Ανεξάρτητη λειτουργία	No-DG	-	-	-	-	-	-	-	-
	FC-MT-Boiler	11%	21.168,46 €	11%	14.324,91 €	11%	8.470,47 €	11%	3.448,89 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	11%	37.800,42 €	11%	26.319,19 €	11%	16.492,39 €	11%	8.058,87 €
	FC-MT-CHP-Boiler	0%	-17.624,57 €	0%	-27.960,41 €	0%	-36.694,85 €	0%	-44.084,70 €
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP-Boiler	3%	-992,61 €	3%	-15.966,13 €	3%	-28.672,92 €	3%	-39.474,71 €
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	22%	78.017,80 €	22%	64.044,33 €	22%	52.014,99 €	22%	41.625,40 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	21%	105.252,77 €	21%	85.615,12 €	21%	68719,17763	21%	54135,34653
	FC-MT-CHP	23%	165705,5349	23%	136598,9391	23%	111535,0296	23%	89881,12424
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	25%	185427,1816	25%	151383,7861	25%	122086,9432	25%	96793,13557
	FC-MT-CHP-Boiler	5%	14518,66829	5%	0,50 €	5%	-13.380,92 €	5%	-24.315,93 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	7%	42309,14448	7%	21517,25488	7%	3778,152194	7%	-11.392,09 €

Πίνακας 7.15: ΚΠΑ και ΕΒΑ για θερμικό φορτίο Q3.

7.2.2 Στην περίπτωση δημιουργίας μικροδικτύου από το δίκτυο ανεξάρτητης λειτουργίας:

Το κόστος εγκατάστασης του μικροδικτύου σύμφωνα με προηγούμενους υπολογισμούς είναι:

ΣΕΝΑΡΙΑ		Κόστος εγκατάστασης (€)
Λειτουργία μικροδικτύου	FC-MT-Boiler	21540
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	21540
	FC-MT-CHP	21540
	FC-MT-ΑΠΕ-CHP	21540
	FC-MT-CHP-Boiler	21540
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	21540

Πίνακας 7.16: Κόστος εγκατάστασης μικροδικτύου

Στον ακόλουθο πίνακα 7.17 αφαιρείτε από το συνολικό κέρδος το τηλεπικοινωνιακό κόστος εγκατάστασης και στις δύο περιπτώσεις όπου έχουμε θερμικό φορτίο Q1 και Q3.

		κέρδος για θερμικό φορτίο Q1 (€- Year)	κέρδος για θερμικό φορτίο Q3 (€- Year)	κόστος συντήρησης (€-Year)	Κέρδος-τηλεπ.κόστος (€-Year) Q1	Κέρδος-τηλεπ.κόστος (€-Year) Q3
Λειτουργία μικροδίκτυο	FC-MT-Boiler	5040,84	13960,02	2550	2490,84	11410,02
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	6022,34	15515,8	2550	3472,34	12965,8
	FC-MT-CHP-Boiler	4352,85	10334,89	2550	1802,85	7784,89
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	5109,48	11972,18	2550	2559,48	9422,18

Πίνακας 7.17: Κέρδος μείον το τηλεπ.κόστος(€-Year) για θερμικό φορτίο Q1 και Q3

Από την σχέση 1 και 2 υπολογίσαμε το **ΚΠΑ και ΕΒΑ** για κάθε σενάριο με θερμικό φορτίο **Q1** ,τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 7.18:

ΣΕΝΑΡΙΑ		interest rate 3%		interest rate 5%		interest rate 7%		interest rate 9%	
		IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV
Λειτουργία μικροδίκτυο	FC-MT-Boiler	-2%	-3.936,96 €	-2%	-5.182,07 €	-2%	-6.230,33 €	-2%	-7.113,44 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	6%	2.752,19 €	6%	859,50 €	6%	-752,92 €	6%	-2.129,57 €
	FC-MT-CHP-Boiler	-8%	-8.625,77 €	-8%	-9.416,95 €	-8%	-10.069,76 €	-8%	-10.606,93 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	-1%	-3.469,16 €	-1%	-4.759,56 €	-1%	-5.847,27 €	-1%	-6.764,90 €

Πίνακας 7.18 :ΚΠΑ και ΕΒΑ για θερμικό φορτίο Q1.

Από την σχέση 1 και 2 υπολογίσαμε το **ΚΠΑ και ΕΒΑ** για κάθε σενάριο με θερμικό φορτίο **Q3**, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 7.15:

ΣΕΝΑΡΙΑ		interest rate 3%		interest rate 5%		interest rate 7%		interest rate 9%	
		<i>IRR</i>	<i>NPV</i>	<i>IRR</i>	<i>NPV</i>	<i>IRR</i>	<i>NPV</i>	<i>IRR</i>	<i>NPV</i>
Λειτουργία μικροδίκτυου	FC-MT-Boiler	51%	56.849,35 €	51%	49.719,42 €	51%	43.544,52 €	51%	38.176,51 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler	59%	67.452,35 €	59%	59.295,93 €	59%	52.226,79 €	59%	46.076,47 €
	FC-MT-CHP-Boiler	32%	32.143,23 €	32%	27.405,14 €	32%	23.313,93 €	32%	19.768,77 €
	FC-MT-ΑΠΕ-Boiler-CHP	41%	43.301,75 €	41%	37.483,38 €	41%	32.451,07 €	41%	28.082,63 €

Πίνακας 7.19 : ΚΠΑ και ΕΒΑ για θερμικό φορτίο Q3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Συμπεράσματα

Από την οικονομική αξιολόγηση του κάθε σεναρίου για το ανεξάρτητο δίκτυο καθώς και για το μικροδίκτυο παρατηρήσαμε ότι η επένδυση για την δημιουργία τους είναι βιώσιμη όταν έχει να καλύψει μεγάλο θερμικό φορτίο (Q3).

Πιο αναλυτικά στην πρώτη περίπτωση που έχουμε δημιουργία I-dg δικτύου, στο σενάριο 5 στο οποίο έχουμε FC, MT, ΑΠΕ, Boiler και CHP συμφωνά με την οικονομική ανάλυση που κάναμε βρήκαμε ότι ανά έτος έχουμε ένα όφελος 5846,94€. Η δεύτερη ανάλυση για τον έλεγχο της βιωσιμότητας ήταν από την σχέση της καθαρής παρούσας αξίας (NVP). Για το συγκεκριμένο σενάριο διαπιστώσαμε ότι το NVP είναι 16492,39 > 0 και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (EBA) είναι 11% . Το οποίο είναι μεγαλύτερο από το επιτόκιο αναγωγής ή προεξόφλησης (7%). Από τα αποτελέσματα που πήραμε αποδεικνύεται ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα.

Στην περίπτωση κατασκευής μικροδικτύου από po-dg δίκτυο διαπιστώσαμε ότι η εγκατάσταση είναι βιώσιμη για κάλυψη μεγάλου θερμικού φορτίου. Για παράδειγμα στο σενάριο όπου έχουμε FC, MT, ΑΠΕ και CHP από την οικονομική ανάλυση που κάναμε βρήκαμε ότι το ετήσιο όφελος είναι 29947,825€.

Επίσης παρατηρούμε ότι το NVP είναι 122086.9432€ > 0 και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσής είναι 25% πολύ μεγαλύτερο από το επιτόκιο αναγωγής. Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα.

Η τελευταία περίπτωση την οποία εξετάσαμε είναι η κατασκευή μικροδικτύου από υπάρχον ανεξάρτητο δίκτυο. Στα σενάρια που μελετήσαμε αυτής της περίπτωσης είδαμε πάλι ότι συμφέρουν αυτά που έχουν να καλύψουν μεγάλο θερμικό φορτίο (Q3).

Τέλος πρέπει να τονίσουμε ότι το 4^ο σενάριο (FC, MT, ΑΠΕ και CHP) στην λειτουργία μικροδικτύου έχει το λιγότερο ετήσιο κόστος καθώς και τις λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αλλά και σε σχέση με τα υπόλοιπα είναι πιο βιώσιμο. Επομένως καταλήξαμε ότι είναι επενδυτικά , οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά το καλύτερο σενάριο.