



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

**Η Επίδραση των Διαφορετικών Πολιτικών Λειτουργίας στα
Μεγέθη ενός Μικροδικτύου με Αυξημένη Διείσδυση
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργία Θ. Πιερή

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

Ανέστης Αναστασιάδης
Υ.Δ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012



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

Η Επίδραση των Διαφορετικών Πολιτικών Λειτουργίας στα Μεγέθη ενός Μικροδικτύου με Αυξημένη Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργία Θ. Πιερή

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

Ανέστης Αναστασιάδης
Υ.Δ. Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16^η Ιουλίου 2012.

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

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

.....
Π. Γεωργιάκης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....
Γεωργία Θ. Πιερή

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

Copyright © Γεωργία Θ. Πιερή, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

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

Αντικείμενο της εργασίας είναι η βελτιστοποίηση ενός μικροδικτύου υπό την επίδραση διαφορετικών πολιτικών και η μελέτη των διαφόρων χαρακτηριστικών του, με την αύξηση της διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής και συγκεκριμένα των Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας.

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

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

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Γεωργία Θ. Πιερή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός μικροδικτύου υπό την επίδραση διαφορετικών πολιτικών λειτουργίας και οι επιπτώσεις που αυτές έχουν στα διάφορα μεγέθη λειτουργίας του, όταν αυξάνεται η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Συγκεκριμένα, μελετάται ένα δίκτυο χαμηλής τάσης 17 ζυγών, το οποίο περιλαμβάνει μια πληθώρα μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (μία μικροτουρμπίνα, μία κυψέλη καυσίμου, δύο σειρές φωτοβολταϊκών, μία ανεμογεννήτρια και δύο ενεργειακούς διανομείς με μία μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας και ένα boiler ο καθένας). Το δίκτυο εξετάζεται ως προς τρία διαφορετικά σενάρια λειτουργίας (απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ανεξάρτητη λειτουργία με παρουσία μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας και μικροδίκτυο), έτσι ώστε να υπάρχει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα των πλεονεκτημάτων που παρέχει το μικροδίκτυο. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του προγράμματος MATLAB και η βελτιστοποίηση που απαιτείται, από το εκάστοτε σενάριο και πολιτική, γίνεται με τη μέθοδο Lagrange, μέσω της συνάρτησης 'fmincon' του αντίστοιχου προγράμματος.

Σε κάθε σενάριο εξετάζεται το κόστος λειτουργίας του δικτύου, η έγχυση ισχύος από το ανάντη δίκτυο, η παραγωγή των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής, οι απώλειες ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής θα πρέπει να αγοράζουν το σύνολο των δικαιωμάτων των εκπομπών τους, μελετάται επίσης το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, ως άθροισμα του λειτουργικού κόστους και του κόστους αγοράς των δικαιωμάτων εκπομπών. Για την Πολιτική του Ιδανικού Πολίτη, μελετώνται επιπλέον, το κέρδος του διαχειριστή και οι οικονομικοί δείκτες (Καθαρή Παρούσα Αξία και Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής). Όλα τα μεγέθη εξετάζονται για διάφορα επίπεδα διείσδυσης ΑΠΕ.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με αναλυτικά και συγκριτικά διαγράμματα στο Κεφάλαιο 7 και αναδεικνύονται οι πιο συμφέρουσες πολιτικές ανάλογα με το βαρύνον κριτήριο. Να αναφέρουμε ότι στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε λογισμικό με γραφικό περιβάλλον (GUI) σε περιβάλλον MATLAB, για πιο φιλική χρήση προς το χρήστη.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Μικροδίκτυο, Πολιτική του Καλού Πολίτη, Πολιτική του Ιδανικού Πολίτη, ανεξάρτητη λειτουργία, διεσπαρμένη παραγωγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια, κυψέλη καυσίμου, μικροτουρμπίνα, Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας, ενεργειακοί διανομείς, οικονομική βελτιστοποίηση, περιβαλλοντική βελτιστοποίηση, Οικονομική Κατανομή, κόστος λειτουργίας, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, απώλειες, έγχυση ισχύος, συνολικό κόστος, Καθαρή Παρούσα Αξία, Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής.

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.

In each scenario, the following features of the grid are studied: its operational cost, the power injection from the upstream grid, the DGs' and CHPs' production, losses and carbon dioxide emissions. Since all electricity production units will have to buy all of their emissions allowances, the total cost of each scenario can be calculated as the sum of the operational cost and the emissions allowances cost. As far as the Policy of the Ideal Citizen is concerned, some extra parameters are studied, such as the profit of the microgrid's manager and the financial variables (Net Present Value and Discounted Payback Period). All the features are examined for different levels Renewable Energy Sources penetration.

The results are presented in the seventh (7th) 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, Policy of the Good Citizen, Policy of the Ideal Citizen, independent operation, distributed generation, Renewable Energy Sources, photovoltaics, windturbine, fuel cell, microturbine, combined heat and power (CHP), hubs, economic optimization, environmental optimization, economic dispatch, , operating cost, carbon dioxide emissions ,losses, power injection, total cost, Net Present Value, Discounted Payback Period.

Στην αδερφή μου Χριστίνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)	2
1.2.1	Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	4
1.3	Ενεργειακό σύστημα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	5
1.3.1	Ηλεκτροπαραγωγή	5
1.3.2	Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα	6
1.3.3	Διείσδυση των μονάδων ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα	8
1.4	Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας	9
1.4.1	Εισαγωγή	9
1.4.2	Παράγοντες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας	10
1.4.3	Απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας	16
1.4.3.1	Βασικές αρχές της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας	18
1.4.3.2	Διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς – Transmission System Operator (TSO)	18
1.4.3.3	Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ)	19
1.4.3.4	Οριακή τιμή του συστήματος – System Marginal Price (SMP)	20
1.5	Περιβαλλοντική πολιτική	22
1.5.1	Κλιματική αλλαγή	22
1.5.2	Φαινόμενο του θερμοκηπίου	22
1.5.3	Πρωτόκολλο του Κιότο	25
1.5.4	Συμφωνία της Κοπεγχάγης	26
1.5.5	Μηχανισμοί προώθησης έργων καθαρής ενέργειας	27
1.5.6	Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	28
1.6	Βιβλιογραφία	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

2.1	Εισαγωγή	31
2.2	Πλεονεκτήματα διεσπαρμένης παραγωγής	33
2.3	Μειονεκτήματα διεσπαρμένης παραγωγής	35
2.4	Τεχνολογίες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής	38
2.4.1	Μονάδες με συμβατικά καύσιμα	39

2.4.1.1	Συμβατικής τεχνολογίας	40
2.4.1.1.1	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	41
2.4.1.1.2	Αεροστρόβιλοι	42
2.4.1.2	Νέας τεχνολογίας	42
2.4.1.2.1	Μικροτουρμπίνες	43
2.4.1.2.2	Κυψέλες καυσίμου	46
2.4.2	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	49
2.4.2.1	Αιολική Ενέργεια	49
2.4.2.1.1	Ανεμογεννήτριες	50
2.4.2.1.2	Σύνδεση ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο	55
2.4.2.1.3	Αιολικό Πάρκο	56
2.4.2.2	Ηλιακή Ενέργεια	57
2.4.2.2.1	Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	59
2.4.2.2.2	Φωτοβολταϊκά Συστήματα	61
2.4.2.3	Μικρά Υδροηλεκτρικά	65
2.4.2.4	Λοιπές ΑΠΕ	66
2.4.2.4.1	Μονάδες παραγωγής ενέργειας από Βιομάζα	66
2.4.2.4.2	Μονάδες παραγωγής από Γεωθερμία	69
2.4.2.4.3	Μονάδες παραγωγής εκμεταλλευόμενες παλίρροια και κύματα	71
2.4.3	Συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας	72
2.4.3.1	Οφέλη Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	75
2.4.3.2	Τρόποι Λειτουργίας των Μονάδων Συμπαγωγής και Δείκτες Αποδοτικότητας	77
2.4.3.3	Τεχνολογίες Σταθμών Συμπαγωγής	78
2.4.4	Ενεργειακοί Διανομείς	80
2.5	Σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο	84
2.5.1	Σύνδεση στο δίκτυο ΧΤ	84
2.6	Διεσπαρμένη παραγωγή και περιβαλλοντικές επιπτώσεις	87
2.7	Οικονομικά ζητήματα σύνδεσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής	89
2.7.1	Τρέχουσες τιμολογήσεις δικτύων	89
2.7.2	Χρεώσεις συστήματος διανομής	92
2.8	Βιβλιογραφία	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

3.1	Εισαγωγή	97
-----	----------	----

3.2	Πλεονεκτήματα μικροδικτύων	100
3.3	Μειονεκτήματα μικροδικτύων	102
3.4	Ποιότητα Ισχύος και Αξιοπιστία μικροδικτύου	104
3.5	Δομή μικροδικτύου	107
3.6	Αρχιτεκτονική ελέγχου	111
	3.6.1 Πλήρως αποκεντρωμένος έλεγχος	112
	3.6.2 Κεντρικός έλεγχος – Αρμοδιότητες MGCC	115
	3.6.3 Εφαρμογές αποκεντρωμένου και Κεντρικού ελέγχου λειτουργίας μικροδικτύου	119
3.7	Πολιτικές συμμετοχής του μικροδικτύου σε ιδεατή αγορά ενέργειας	121
	3.7.1 Πολιτική 1 – Πολιτική του «καλού πολίτη»	122
	3.7.2 Πολιτική 2 – Πολιτική του «αδανικού πολίτη»	123
3.8	Λειτουργία αγοράς μικροδικτύου συμπεριλαμβάνοντας Προσφορές Καταναλωτών – Demand Side Bidding (DSB)	125
3.9	Λειτουργία με στόχο την περιβαλλοντική βελτιστοποίηση και συμμετοχή στο εμπόριο ρύπων	126
3.10	Χρήση συναρτήσεων οικονομικής λειτουργίας για το μικροδίκτυο	128
	3.10.1 Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)	128
	3.10.2 Οικονομική Κατανομή (Economic Dispatch)	131
3.11	Βιβλιογραφία	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

4.1	Εισαγωγή	135
4.2	Δίκτυα του σήμερα και του αύριο	137
4.3	Περιγραφή Έξυπνου Δικτύου	139
	4.3.1 Έξυπνοι μετρητές	141
	4.3.2 Αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης	142
4.4	Έξυπνα δίκτυα και ΑΠΕ	143
4.5	Βιβλιογραφία	145

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

5.1	Εισαγωγή	147
5.2	Η μελέτη των ροών φορτίων	147
	5.2.1 Μεταβλητές συστήματος	148
	5.2.2 Εξισώσεις ροών φορτίου	148
	5.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου	149

5.2.4	Υπολογισμός ροών ισχύος και απωλειών ισχύος	153
5.3	Βιβλιογραφία	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

6.1	Στοιχεία του συστήματος	157
6.1.1	Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής	159
6.1.2	Ενεργειακοί διανομείς	162
6.1.3	Φορτία ζήτησης	167
6.1.4	Ανάντη δίκτυο	167
6.2	Σενάρια λειτουργίας	168
6.3	Μεθοδολογία	170
6.4	Ανάπτυξη λογισμικού	179
6.4.1	Το επιστημονικό λογισμικό Matlab	179
6.4.2	Το γραφικό περιβάλλον (GUI) της Matlab	180
6.4.3	Λογισμικό για τον υπολογισμό των μεγεθών του δικτύου υπό την επίδραση διαφορετικών σεναρίων – Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής	184
6.5	Βιβλιογραφία	187

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

7.1	Εισαγωγή	189
7.2	Μελέτη των σεναρίων λειτουργίας του δικτύου	189
7.2.1	Κάλυψη φορτίου	190
7.2.2	Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου	197
7.2.3	Κόστος λειτουργίας του δικτύου	206
7.2.4	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα	210
7.2.5	Συνολικό κόστος λειτουργίας	212
7.2.6	Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου	217
7.3	Σύγκριση των σεναρίων λειτουργίας του δικτύου ως προς ένα επίπεδο DG διείσδυσης (88kW)	219
7.3.1	Κάλυψη φορτίου	219
7.3.2	Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου	220
7.3.3	Κόστος λειτουργίας του δικτύου	222
7.3.4	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα	223
7.3.5	Συνολικό κόστος λειτουργίας	224
7.3.6	Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου	225
7.4	Μελέτη μικροδικτύου για την πολιτική του ιδανικού πολίτη	226

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Συμπεράσματα

231

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ηλεκτρικός τομέας στο ξεκίνημά του το 1880 ήταν μια επικερδής οικονομική δραστηριότητα με την ανάπτυξη τοπικών συστημάτων παραγωγής, διανομής και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για τις τοπικές κοινωνίες. Μετέπειτα, αναπτύχθηκαν τα εθνικά διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα με αποκορύφωση, στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, τους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής για οικονομία κλίμακας και τα δίκτυα μεταφοράς, όπου σημαντικό ρόλο είχαν οι εθνικές κυβερνήσεις. Η έντονα αυξανόμενη ζήτηση στις ανεπτυγμένες οικονομίες ενίσχυσε την ιδέα για την ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερων κεντρικών σταθμών παραγωγής, υδροηλεκτρικών, θερμικών ή και πυρηνικών.

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του '70, η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη δεκαετία του '80, ο περιορισμός των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων καθώς και η επιρροή των αρχών του νεοφιλελευθερισμού, άρχισαν σταδιακά να αλλάζουν τις στρατηγικές στον ηλεκτρικό τομέα. Αποκεντρωμένες μονάδες με αποδοτικές τεχνολογίες όπως της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) και μονάδες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, άρχισαν να εντάσσονται στα ηλεκτρικά δίκτυα για παράλληλη λειτουργία με τους κεντρικούς σταθμούς. Η αλλαγή του ρυθμιστικού πλαισίου στον ηλεκτρικό τομέα και η σταδιακή απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που άρχισε στη δεκαετία του '90 δημιουργούν μια νέα δυναμική με την είσοδο του 21^{ου} αιώνα.

Ο ηλεκτρικός τομέας αποτελεί σήμερα την πιο κρίσιμη υποδομή των σύγχρονων κοινωνιών όπου η αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζει άμεσα τη λειτουργία σημαντικών άλλων τεχνολογικών υποδομών με αυξανόμενο το ενδιαφέρον και εξάρτηση στο μέλλον. Παράλληλα, οι απαιτήσεις για αδιάλειπτη και υψηλής ποιότητας παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές καθίστανται επιτακτικές. Μια μακρά και πολύ σημαντική για την οικονομία και την κοινωνία μεταβατική περίοδος στον ηλεκτρικό τομέα έχει αρχίσει. Αυτή χαρακτηρίζεται από νέους κανόνες και κρίσιμες αποφάσεις, νέες επιχειρηματικές προκλήσεις σε ένα ευρύτερο ανταγωνιστικό περιβάλλον και νέες τεχνολογίες με αναγκαίες επενδύσεις και προοπτικές για βιώσιμη ανάπτυξη. Σημαντικές ρυθμιστικές και τεχνολογικές εξελίξεις θα αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία των νέων ηλεκτρικών συστημάτων αξιόπιστης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ευρώπη, η στρατηγική της ΕΕ στην έρευνα χαράσσει το δρόμο για βιώσιμα ηλεκτρικά συστήματα.

Η διεσπαρμένη παραγωγή καλύπτει μεγάλο εύρος νέων τεχνολογιών με μικρές μονάδες εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση και θα παίζει σημαντικό ρόλο. Η μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών και άλλων νέων και αποδοτικών τεχνολογιών αποτελεί τη νέα πρόκληση στον ηλεκτρικό τομέα και θα απαιτηθούν ανάλογες επεμβάσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας, αιολικής ενέργειας, βιομάζας, μικρών υδροηλεκτρικών, συμπαραγωγής θερμότητας/ψύξης, και ηλεκτρικής ενέργειας, κυψελών καυσίμου, συστημάτων αποθήκευσης, τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT), καθώς και άλλων τεχνολογιών (ηλεκτρονικά ισχύος, υπεραγωγιμότητα, υδρογόνο κλπ), συμπεριλαμβάνονται στους μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους.

Η διείσδυση και συμμετοχή των διεσπαρμένων μονάδων στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2030 εκτιμάται για το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο 35% – 40%. Αυτό θεωρείται μεγάλη συμβολή στην ασφάλεια και στην αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στη βιώσιμη ανάπτυξη.

1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΕ)

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

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

- *Το σύστημα παραγωγής:*
Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του υπό υπερυψηλή και υψηλή τάση. Η σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεμελιωθεί στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών, αντίστοιχα.
- *Το σύστημα μεταφοράς:*
Διασυνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες ισχύος προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργεί στα μέγιστα δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υπερυψηλής και υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και

τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται.

- *Το σύστημα υπομεταφοράς:*
Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερες ποσότητες και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης, στην ίδια περιοχή μείζονος φορτίου. σημειώνεται ότι οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από το σύστημα υπομεταφοράς. Όσο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες γραμμές μεταφοράς υποβιβάζονται σε λειτουργία υπομεταφοράς, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.
- *Το σύστημα διανομής:*
Περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία υπάγονται και υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Με τα δίκτυα διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται σε μικρότερες περιοχές στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

Ένα σύστημα παραγωγής και μεταφοράς μπορεί να λειτουργεί μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα άλλα γειτονικά συστήματα. Η διασύνδεση γίνεται συνήθως σε επίπεδο εθνικών συστημάτων και προσφέρει ορισμένα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία του κάθε συστήματος.

Αξίζει, επιπλέον, να αναφερθεί πως τρία γενικά, αλλά βασικά, χαρακτηριστικά σχεδίασης και αναφοράς ενός ηλεκτρικού δικτύου είναι [1.2]:

- *Η τάση του δικτύου:*
Η μέγιστη τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών γραμμών.
- *Η ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου:*
Είναι η συμβατική ισχύς που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ, η οποία αποδίδεται στο δίκτυο σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος μέσα σε αυτό.
- *Η στάθμη μόνωσης του δικτύου:*
Αναφέρεται συνήθως στην τιμή της κρουστικής αντοχής του δικτύου, δηλαδή της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης του εξοπλισμού των υποσταθμών σε κρουστικές υπερτάσεις τυποποιημένης μορφής.

1.2.1 Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης. Τα δίκτυα διανομής είναι τριφασικά και φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά το μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, η οποία περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης.

Διακρίνονται δύο βαθμίδες διανομής, η διανομή μέσης τάσης ή αλλιώς πρωτεύουσα διανομή και η διανομή χαμηλής τάσης ή αλλιώς δευτερεύουσα διανομή. Τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης τροφοδοτούνται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, από υψηλή σε μέση, και τροφοδοτούν τους υποσταθμούς διανομής και τους καταναλωτές μέσης τάσης. Οι καταναλωτές μέσης τάσης είναι κατά κύριο λόγο βιομηχανικοί καταναλωτές με τριφασικές παροχές και οι γραμμές διανομής που τους τροφοδοτούν αποτελούνται από τρεις αγωγούς φάσεων. Τα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης έχουν σαν αφετηρία τους υποσταθμούς διανομής, όπου η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή μέσω μετασχηματιστών διανομής, που αποτελούν το βασικό εξοπλισμό των υποσταθμών. Στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής και εμπορικής χρήσης, που ενίοτε έχουν μονοφασικές παροχές, που δημιουργούν ασύμμετρες φορτίσεις. Οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης αποτελούνται από τρεις αγωγούς φάσεων και διαθέτουν, επιπλέον και ουδέτερο αγωγό.

Η μορφή των δικτύων διανομής είναι κατά κανόνα ακτινική ή βροχοειδής. Η ακτινική λειτουργία του δικτύου διανομής έγκειται στο γεγονός ότι όλα τα φορτία του δικτύου τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Έτσι, οι κλάδοι του δικτύου δεν συνδέονται μεταξύ τους, αλλά διαδίδονται ακτινικά από την κεντρική τροφοδοσία προς τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Αντίθετα, στη βροχοειδή λειτουργία, τα δίκτυα διανομής είναι κλειστά, μέσω των βρόχων που σχηματίζουν οι γραμμές. Η βροχοειδή μορφή επιτρέπει οικονομία των γραμμών για τον ίδιο βαθμό εξυπηρέτησης και προσφέρει εναλλακτική τροφοδότηση σε περίπτωση βλαβών, ενώ η ακτινική απλοποιεί και διευκολύνει ζητήματα διανομής προστασίας του δικτύου και ροής ενέργειας. Σημειώνεται, ότι πολλά δίκτυα διανομής έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να μετατρέπονται από ακτινικά σε βροχοειδή και αντίστροφα, με το χειρισμό κατάλληλων διακοπών ή αποζευκτών [1.3].

1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.3.1 Ηλεκτροπαραγωγή

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

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

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

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

Παρατηρώντας την εξέλιξη της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα, διαπιστώνουμε ότι [1.4]:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στον λιγνίτη, διότι είναι εγχώριο προϊόν και βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα.
- Το σταθερό, σχετικά μεγάλο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του, και αυτό κύρια λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσής τους.
- Το σταθερό ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες για την κατασκευή τους απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για δημιουργία φραγμάτων και υδατικών ταμιευτήρων.
- Την πρώτη εμφάνιση και τη σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του Φ/Α στη χώρα μας.
- Τη μικρή αλλά συνεχή αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων αιολικής ενέργειας και τη σηματοδότηση της νέας εποχής για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

1.3.2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

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

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

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

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

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

- Αντιστάθμιση άεργου ισχύος σε επίπεδο μέσης και υψηλής τάσεως στους Υποσταθμούς του συστήματος, της τάξεως των 1100MVar. Παράλληλα, εγκαταστάθηκε σημαντική αντιστάθμιση στα δίκτυα Διανομής, σε εγκαταστάσεις καταναλωτών και σε Δημόσια κτίρια.
- Βελτίωση της συνεκτικότητας μεταξύ συστήματος 400kV και του συστήματος 150kV με την εγκατάσταση 8 νέων αυτομετασχηματιστών 400/150kV συνολική ισχύος 2240MVA.
- Κατασκευή 450 περίπου km κυκλωμάτων μεταφοράς, πόντιση υποβρυχίων καλωδίων μήκους 20km, κατασκευή 9 νέων Υ/Σ και υλοποίηση σημαντικών ενισχύσεων σε πολλούς παλαιούς.
- Βέλτιστη ρύθμιση των αυτομετασχηματιστών του συστήματος και της άεργου παραγωγής των μονάδων με εφαρμογή και συστηματική χρήση προηγμένων εργαλείων λογισμικού.
- Εγκατάσταση ειδικού λογισμικού ανάλυσης ευστάθειας τάσης που σε πραγματικό χρόνο προσδιορίζει τα ασφαλή όρια λειτουργίας τους συστήματος, καθώς και ειδικών αυτόματων σχημάτων προστασίας, που επέτρεψαν την ασφαλή λειτουργία του συστήματος κοντά στα όριά του σε περιπτώσεις εκτάκτων περιστάσεων.

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

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

1.3.3 Διείσδυση των μονάδων ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΡΑΕ [1.6], η κυριότερη πηγή καυσίμου είναι ο εγχώριος λιγνίτης (70 εκατ. τόνοι) που για το 2008 κάλυψε το 50,5% του συνόλου των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πετρέλαιο το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων νησιωτικών συστημάτων μη συνδεδεμένων με την ηπειρωτική χώρα, συμμετείχε σε ποσοστό 13%. Το φυσικό αέριο προερχόμενο από εισαγωγές από τη Ρωσία και σε μορφή LNG από την Αλγερία κάλυψε το 22,5%. Το έτος 2008, η υδραυλική ενέργεια συμμετείχε με ποσοστό 6%. Τέλος, η αιολική ενέργεια, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, η βιομάζα και τα Φ/Β συμμετείχαν με ποσοστό 4,3%.

Η ηλεκτροπαραγωγή από τις κλασικές ΑΠΕ στην Ελλάδα (χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά) παρουσιάζει ανοδικό ρυθμό ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, τα 27MW εγκατεστημένων αιολικών πάρκων το 1997, έφθασαν τα 1022MW στο τέλος του 2008. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έφθασαν τα 158MW στο τέλος του 2008 από τα 43MW το 1997. Τέλος οι εγκαταστάσεις από βιοαέριο ΧΥΤΑ στην Θεσσαλονίκη, επεκτάθηκαν κατά 5MW και συμπαραγωγής από βιοαέριο λυμάτων στα Λιόσια κατά 9,7MW, ανεβάζοντας έτσι το σύνολο ηλεκτρικής ισχύος μαζί με την Ψυτάλλεια σε 29,5MW και 10,4MW αντίστοιχα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2008, έφθασε τις 6,6TWh περίπου και προήλθε κατά 63% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (4149GWh), κατά 34,1% από αιολικά πάρκα (2242GWh), κατά 2,6% (171GWh) από βιοαέριο, ενώ υπήρχε και μικρή παραγωγή της τάξης των 5GWh (ποσοστό 0,1%) από Φ/Β. Η ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας την ίδια χρονιά ήταν 63,7TWh [1.6].

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

1.4 ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.4.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια, υπό ένα οικονομικό πρίσμα, αντιμετωπίζεται σαν ένα αγαθό ικανό να πωλείται, να αγοράζεται και να είναι εμπορεύσιμη. Όπως σε κάθε οικονομία, όπου διακινούνται αγαθά και υπηρεσίες, έτσι και στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το σύστημα που επικρατεί, καθορίζεται και η τιμή της. 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.

Έως τώρα, η ηλεκτρική ενέργεια, ήταν ένα αγαθό που προσφερόταν από μία μόνο επιχείρηση, η οποία στις περισσότερες χώρες ήταν κρατική. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας να αποτελεί μονοπώλιο υπό δημόσιο έλεγχο με τη μοναδική επιχείρηση που παρήγαγε και εμπορευόταν ηλεκτρική ενέργεια να έχει τη δυνατότητα να καθορίζει τόσο την τιμή, μετά την έγκρισή της από το κράτος, όσο και την ποσότητα προσφοράς. 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.

Βασική διαφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τα άλλα αγαθά είναι ότι από τη φύση της είναι δύσκολο να αποθηκευτεί και πρέπει να είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή, καλύπτοντας τη ζήτηση. Ωστόσο, η ζήτηση μεταβάλλεται εντός ευρέων ορίων μέσα στον ημερήσιο κύκλο αλλά και εποχιακά μέσα στον ενιαύσιο κύκλο. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εφεδρείας ισχύος προκειμένου να καλύπτεται η ζήτηση. Επιπλέον, εκτός από την ανελαστικότητα της ζήτησης είναι δυνατόν και η προσφορά να εξαρτάται από απρόβλεπτους παράγοντες, όπως π.χ. οι καιρικές συνθήκες. Αυτό επηρεάζει κυρίως τους ηλεκτροπαραγωγούς που στηρίζονται στην υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή παραγωγή. Σημειώνεται, επίσης, ότι ο ηλεκτρισμός, ως αγαθό είναι ομογενές προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι όταν παρέχεται, μέσω ενός δικτύου, έχει τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (π.χ. τάσεως και συχνότητας) για όλους τους καταναλωτές ανεξάρτητα από ποιο παραγωγό προέρχεται η ενέργεια. Έτσι, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών περιορίζεται μόνο στο επίπεδο της τιμής του προϊόντος χωρίς να συνυπάρχουν κριτήρια ποιότητας. Οι αγορές ηλεκτρισμού μπορούν να εκτείνονται και εκτός εθνικών συνόρων, με τη διασύνδεση και ενοποίηση μεμονωμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Για να λειτουργήσει η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται, ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας, ο έμπορος, ο προμηθευτής και ο καταναλωτής, καθώς και κάποιοι βοηθοί, όπως ο διαχειριστής τους συστήματος μεταφοράς και διανομής [1.7].

1.4.2 Παράγοντες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

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 τέσσερα 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 ΑΔΜΗΕ, 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 διαλειτουργικότητα του Συστήματος και των παραπάνω συστημάτων και δικτύων.

- Παροχή στους Χρήστες του Συστήματος κάθε αναγκαίας πληροφορία για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής πρόσβασής τους στο Σύστημα.
- Παροχή των πάσης φύσεως υπηρεσιών του εφαρμόζοντας διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια, ώστε να αποτρέπεται κάθε διάκριση μεταξύ των Χρηστών ή των κατηγοριών Χρηστών του Συστήματος και ιδίως κάθε διάκριση υπέρ των συνδεδεμένων με αυτόν επιχειρήσεων.
- Είσπραξη των τελών πρόσβασης στο Σύστημα και διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς, σύμφωνα με το άρθρο 13 του Κανονισμού (ΕΚ) 714/2009.
- Χορήγηση και διαχείριση της πρόσβασης τρίτων στο Σύστημα και παροχή ειδικά αιτιολογημένων επεξηγήσεων σε περίπτωση άρνησης πρόσβασης.
- Συμμετοχή σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στον καταμερισμό και την εκχώρηση δικαιωμάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αντίστοιχων διασυνδέσεων, καθώς και στη διαχείριση των δικαιωμάτων αυτών για λογαριασμό των ως άνω διαχειριστών και ιδίως στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E).
- Εκπόνηση σε ετήσια βάση, κατόπιν διαβούλευσης με όλους τους υφιστάμενους και μελλοντικούς Χρήστες του ΕΣΜΗΕ, Δεκαετούς Προγράμματος Ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ
- Τήρηση των αναγκαίων διαχειριστικών λογιστικών λογαριασμών για την είσπραξη των εσόδων από τη διαχείριση συμφόρησης των διασυνδέσεων, ή άλλων χρεώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία και τη διαχείριση του ΕΣΜΗΕ
- Δημοσίευση στην ιστοσελίδα του καταλόγου όλων των εγκεκριμένων από τη ΡΑΕ τιμολογίων με τα οποία χρεώνει τους Χρήστες του Συστήματος.
- Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Αποκλίσεων.
- Εκκαθάριση των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης και διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο της διευθέτησης των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης σε συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ και το Διαχειριστή του ΕΔΔΗΕ.
- Σύναψη, κατόπιν διαγωνισμού, συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας, περιλαμβανομένων συμβάσεων διαχείρισης της ζήτησης, μόνον εφόσον αυτό απαιτείται για την παροχή των επικουρικών υπηρεσιών και για τις ανάγκες εξισορρόπησης των αποκλίσεων παραγωγής – ζήτησης κατά τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και στο πλαίσιο των ρυθμίσεων του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών και του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Προσφορά συμβουλευτικών υπηρεσιών τεχνικής φύσεως σε θέματα της αρμοδιότητάς του σε διαχειριστές ή κυρίους συστημάτων μεταφοράς έναντι αμοιβής, καθώς και συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα, καθώς και σε προγράμματα

χρηματοδοτούμενα από την Ε.Ε., εφόσον δεν 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 ασκούσαν 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.

1.4.3 Απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

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

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

Ο διαχειριστής του συστήματος και η διαχειρίστρια του συστήματος ΔΕΗ έχουν υποχρέωση να εξασφαλίζουν στους επιλεγέντες πελάτες, ύστερα από αίτησή τους, πρόσβαση μέσω ηλεκτρικών γραμμών ή εγκαταστάσεων ή και των δύο στο σύστημα και το δίκτυο. Οι οικιακοί και οι άλλοι καταναλωτές (τριτογενής τομέας, αγρότες κλπ) που αποτελούν τους Μη επιλεγέντες πελάτες, έχουν το δικαίωμα να επιλέξουν τον προμηθευτή τους από το 2005 και μετά. Ως τότε η ΔΕΗ υποχρεούνταν μετά την αίτηση του Μη Επιλεγέντα πελάτη, να του

προμηθεύει ηλεκτρική ενέργεια και να προβαίνει ως διαχειρίστρια του δικτύου σε σύνδεση με το δίκτυο, εφόσον ήταν αναγκαίο για την προμήθεια υπό τον όρο καταβολής του σχετικού τιμήματος.

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

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

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

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

1.4.3.1 Βασικές αρχές της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

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

- Του προβλήματος της κατανομής του φορτίου ανάμεσα στους συμμετέχοντες στην αγορά παραγωγούς.
- 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.

1.4.3.2 Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς – Transmission System Operator (TSO)

Κάθε σύστημα ηλεκτρισμού έχει έναν διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (TSO), ο οποίος παρακολουθεί και ελέγχει την κατάσταση του συστήματος μεταφοράς και εξασφαλίζει με κατάλληλους χειρισμούς και εντολές, την ακεραιότητα, την αξιοπιστία και την απρόσκοπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές. Η πιο σημαντική, όμως, δραστηριότητα του TSO είναι ότι βελτιστοποιεί την κατανομή του φορτίου, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Επιβάλλεται να είναι ανεξάρτητος από όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρισμού και συνεπώς, να είναι μια ανεξάρτητη Αρχή, που θα κατανέμει το φορτίο με τρόπο αμερόληπτο, αλλά και σαφή, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται ο

γενικότερος κοινωνικός στόχος ελαχιστοποίησης του μεταβλητού κόστους παραγωγής ολόκληρου του τομέα ηλεκτρισμού.

Ο 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 εννοικίασεως 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].

1.4.3.3 Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (HEΠ)

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

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 HEΠ 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.

1.4.3.4 Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ) – System Marginal Price (SMP)

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

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

Όλοι οι παραγωγοί, οι οποίοι συμμετέχουν τελικά στην αγορά ενέργειας, πληρώνονται με την ίδια τιμή, η οποία είναι η Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ), ανεξάρτητα από την ποσότητα ενέργειας που παρέχουν. Το κέρδος που προσκομίζουν από τη διαδικασία του ΗΕΠ ισούται με τη διαφορά της ΟΤΣ από την προσφορά έγχυσης που κατέθεσαν στον ΑΔΜΗΕ, στην αρχή της διαδικασίας. Όσοι προσέφεραν υψηλότερη τιμή από αυτήν της ΟΤΣ μένουν εκτός αγοράς και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι προμηθευτές αγοράζουν ενέργεια από το διαχειριστή, το κόστος της οποίας προκύπτει από την τιμή κλεισίματος της διαδικασίας του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, με μια προσαύξηση εξαιτίας των εξόδων μεταφοράς. Στη συνέχεια εισπράττουν από τους καταναλωτές το ήδη συμφωνημένο ποσό για την παροχή υπηρεσιών.

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

Οι 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.

1.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

1.5.1 Κλιματική Αλλαγή

Τα προβλήματα του περιβάλλοντος σήμερα που συνδέονται με την ενέργεια είναι η κλιματική αλλαγή, εξαιτίας των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση (αέριοι ρυπαντές, όξινη βροχή, φωτοχημικό νέφος) και οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν κατά τη θαλάσσια μεταφορά υδρογονανθράκων [1.13]. Συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια έχει καταγραφεί συνεχής άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της Γης, ως αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, δηλαδή της φυσικής κατά βάση διαδικασίας για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της Γης σε κατάλληλα για την ανάπτυξη ζωής επίπεδα. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (International Panel of Climate Change, IPCC), υπάρχουν 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.

1.5.2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

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

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

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

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

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου άρχισε να αποκτά αρνητική σημασία, όταν διαπιστώθηκε η διόγκωσή του εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα πρώτος ο Σουηδός 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:

- CO₂: διοξείδιο του άνθρακα
- CH₄: μεθάνιο
- N₂O: υποξείδιο του αζώτου
- HFCs: υδρογονοφθοράνθρακες
- PFCs: υπερφθοράνθρακες
- SF₆: εξαφθοριούχο θείο.

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

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

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

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

Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέχει την 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, αναδάσώσεις και δημιουργία νέων δασικών εκτάσεων, διότι η φωτοσύνθεση είναι ένας φυσικός μηχανισμός απορρόφησης ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα.

1.5.3 Πρωτόκολλο του Κιότο

Το πρωτόκολλο του Κιότο ορίζει διαφορετικές υποχρεώσεις για τα συμβαλλόμενα μέλη, 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 δεσμεύση 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 μέλη στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από το πρωτόκολλο του Κιότο θεσπίστηκαν τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί που συμβάλλουν στην υλοποίηση των στόχων των ανεπτυγμένων χωρών με οικονομικότερο τρόπο και στην άμβλυνση των αντιθέσεων μεταξύ των χωρών με διαφορετική οικονομική ανάπτυξη. Οι τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί που προβλέπονται είναι οι παρακάτω [1.13]:

- *Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (ΜΚΑ):*

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

- *Προγράμματα από Κοινού – ΠΚ:*

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

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

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

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

1.5.4 Συμφωνία της Κοπεγχάγης

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

Η Ε.Ε. επιβεβαιώνει τη δέσμευσή της να συμμετάσχει σε διαπραγματευτική διαδικασία για την επίτευξη του στρατηγικού στόχου να περιοριστεί η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη σε λιγότερο από 2°C, σε σχέση με τα προ βιομηχανικής εποχής επίπεδα. Η συμφωνία της Κοπεγχάγης αναγνωρίζει μεν την επιστημονική άποψη ότι πρέπει να συγκρατηθεί η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη σε λιγότερο από 2°C, προκειμένου να αποτραπεί επικίνδυνη κλιματική αλλαγή, δεν περιλαμβάνει όμως στόχους μείωσης των παγκόσμιων εκπομπών για την τήρηση του ορίου αυτού.

Σύμφωνα με τη θέση της Ε.Ε., για να συγκρατηθεί η άνοδος της θερμοκρασίας σε λιγότερο από 2°C, οι παγκόσμιες εκπομπές πρέπει να έχουν κορυφωθεί το αργότερο έως το 2020, να μειωθούν έως το 2050 στο 50% τουλάχιστον των επιπέδων του 1990 και να συνεχίσουν κατόπιν τη φθίνουσα πορεία τους. Επίσης, αναφέρει ότι για να επιτευχθεί αυτό σύμφωνα με τις διαπιστώσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), οι αναπτυσσόμενες 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].

1.5.5 Μηχανισμοί προώθησης έργων καθαρής ενέργειας

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

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

- *Απευθείας επιδοτήσεις:*
Ένα σταθερό ποσοστό του κόστους της επένδυσης έργου καθαρής ενέργειας επιδοτείται από τις αρχές μέσω ειδικών προγραμμάτων.
- *Φορολογικά κίνητρα:*
Μείωση φόρων για όσους επενδύουν σε έργα καθαρής ενέργειας
- *Σταθερά τιμολόγια αγοράς (Feed-in tariffs – FIT):*
Ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας θα καταβάλλει σταθερή τιμή για την αγορά ενέργειας από παραγωγό που χρησιμοποιεί ΑΠΕ.

- *Πράσινα τιμολόγια (Green tariffs):*
Οι καταναλωτές επιλέγουν αν αγοράσουν ηλεκτρική ενέργεια από έναν προμηθευτή «πράσινης ενέργειας» στα λεγόμενα «πράσινα τιμολόγια». Αυτή η τιμολόγηση ανά kWh είναι μεγαλύτερη από αυτή που πληρώνουν κανονικά οι καταναλωτές και τα επιπλέον έσοδα περνούν στους παραγωγούς ΑΠΕ προκειμένου να καλυφθούν τα επιπλέον έξοδά τους.
- *Εμπορεύσιμα Πράσινα Πιστοποιητικά (Tradable Green Certificates – TGC):*
Οι παραγωγοί/καταναλωτές υποχρεούνται να προμηθευθούν /καταναλώνουν ενέργεια της οποίας ένα ποσοστό προέρχεται από ΑΠΕ. Οι επενδυτές που επιθυμούν να μετάσχουν στην αγορά ενέργειας πρέπει αν διαθέτουν πράσινα πιστοποιητικά.
- *Περιβαλλοντολογικοί φόροι (Environmental taxes):*
Οι ΑΠΕ προωθούνται έμμεσα μέσω της επιβολής φόρων στους συμβατικούς παραγωγούς που εκπέμπουν ρύπους (κυρίως CO₂)

1.5.6 Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

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

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

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 ως το 2020.
- 20% διείσδυση των ΑΠΕ – εναλλακτικών καυσίμων στην τελική κατανάλωση ενέργειας ως το 2020.
- 20% εξοικονόμηση ενέργειας ως το 2020.
- 10% μερίδιο ΑΠΕ στα καύσιμα μεταφορών ως το 2020.

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

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

Επιπρόσθετα, σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας η Ελλάδα έχει ήδη καταρτίσει το 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.

1.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [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 Επιχείρηση 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/>

ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 υλοποιούταν 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 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

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

2.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

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.

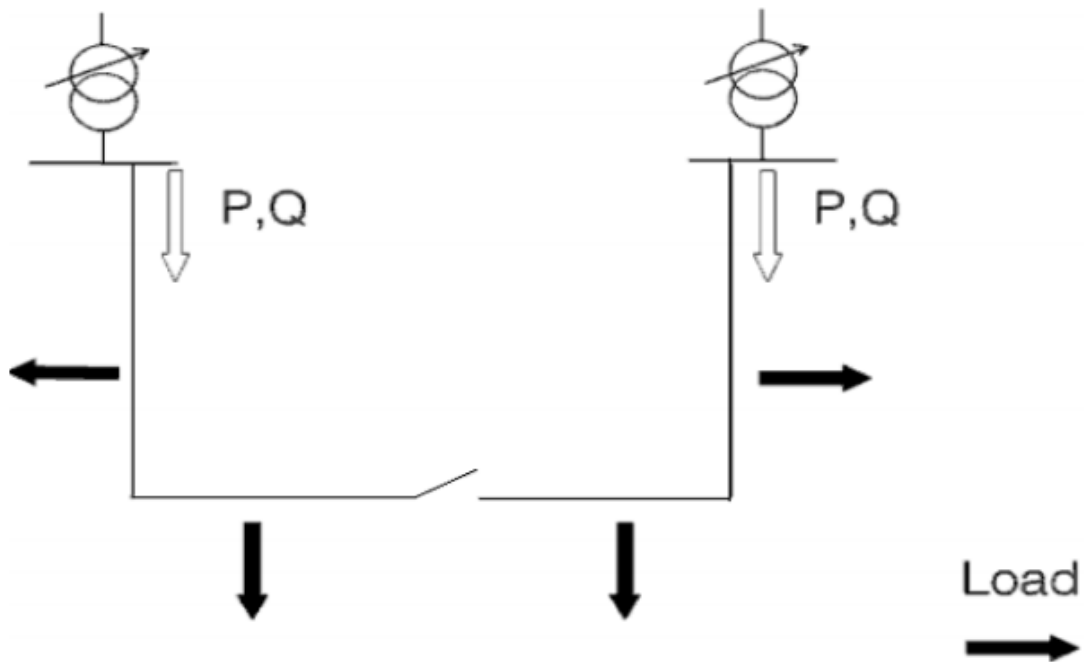
Πιο αναλυτικά, τα μειονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής είναι [2.6]:

- 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

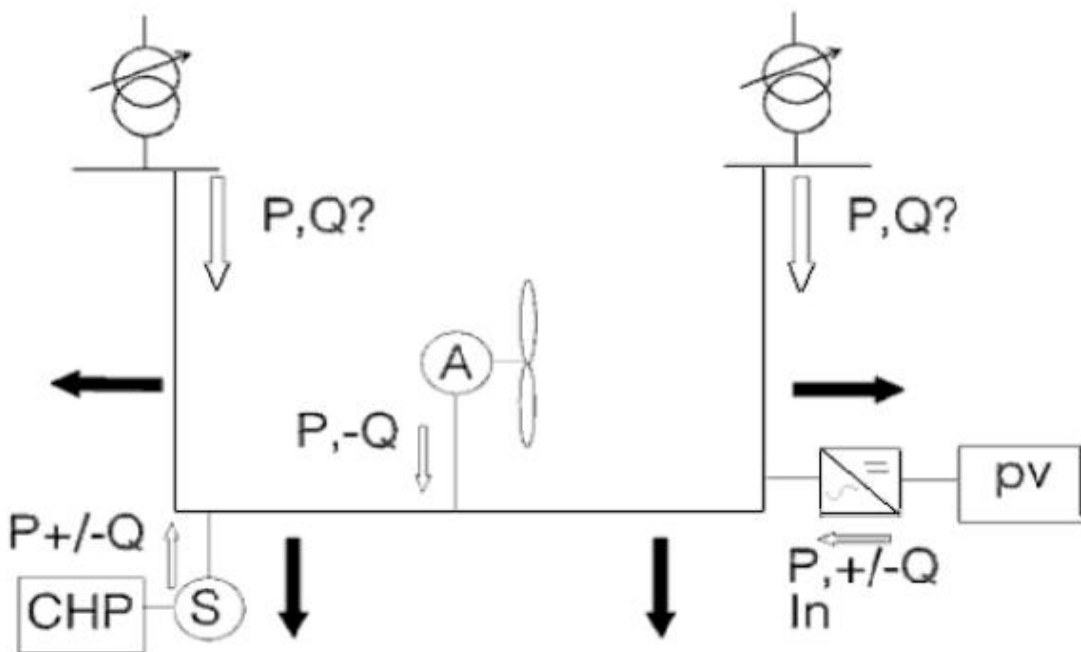
διαδικασία καθώς, για κάθε τεχνολογία παραγωγής υπάρχουν έμμεσες και άμεσες εκπομπές ρύπων. Οι έμμεσες εκπομπές είναι εκπομπές ρύπων κατά τη διαδικασία κατασκευής της μονάδας, αναζήτησης και μεταφοράς των πηγών ενέργειας. Κάποιοι πιστεύουν πως η μεγάλη διείσδυση και χρήση σταθμών καταναμημένης παραγωγής 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 επανάξευξη 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. Αυτό φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.1. Ωστόσο, με σημαντική διείσδυση 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. Αυτό δείχνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.2. Αυτή η αμφίδρομη ροή ισχύος απαιτεί διαφορετική προστασία στα δύο επίπεδα τάσης [2.7][2.8].



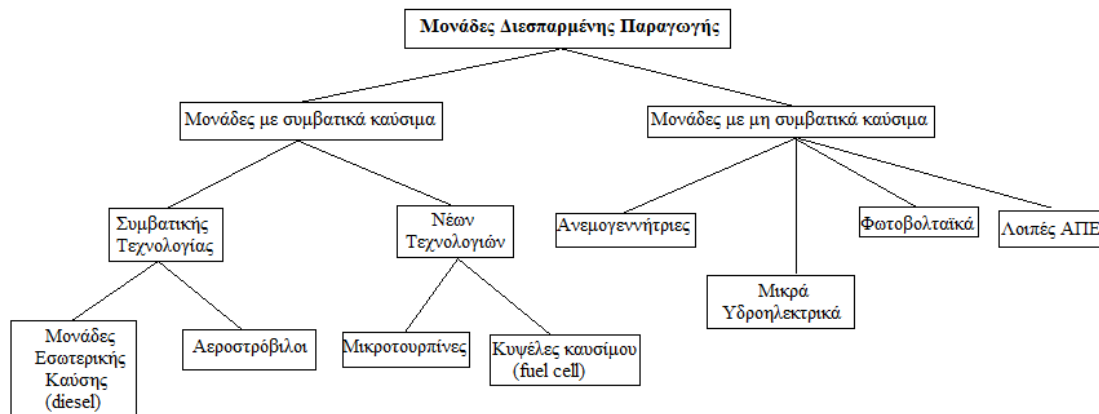
Σχήμα 2.1: Συμβατικό σύστημα διανομής [2.7]



Σχήμα 2.2: Σύστημα διανομής με Διεσπαρμένη Παραγωγή [2.7]

2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι κυριότερες τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δίνονται συνοπτικά στο Σχ. 2.3. Είναι φανερό ότι μπορεί να υπάρξει 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 διεξόδυση 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 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].

Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στη χώρα μας

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

Πίνακας 2.2: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδων ΑΠΕ στο ΕΔΣ

	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%

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 εμπίπτουν 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 Μονάδες με συμβατικά καύσιμα

Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται οι παλινδρομικές μηχανές με κύριο εκπρόσωπο τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, οι αεροστροβιλικές μονάδες, οι μικροτουρμπίνες, οι ατμολέβητες και οι κυψέλες καυσίμου. Μικροί ατμοστρόβιλοι κυρίως από τοπικές μονάδες συμπαραγωγής και μικροί αεριοστρόβιλοι επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά η διείσδυσή 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 (ψυχή/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 (ψυχή/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 Συμβατικής Τεχνολογίας

Σε αυτήν την κατηγορία θα μπορούσαμε να εντάξουμε τις μηχανές εσωτερικής καύσης και τις αεροστροβιλικές μονάδες, οι οποίες χρησιμοποιούν ως καύσιμο είτε κάποιο τύπο πετρελαίου ή αν είναι διαθέσιμο, φυσικό αέριο. Αυτές οι μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κατάλληλες μετατροπές σε μονάδες Συμπαράγωγής. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών τους.

2.4.1.1.1 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

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 αυτόνομα 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.

Πίνακας 2.3: Δυνατά και αδύνατα σημεία μηχανών εσωτερικής καύσης

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

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.

2.4.1.1.2 Αεροστρόβιλοι

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.

Πίνακας 2.4: Δυνατά και αδύνατα σημεία αεροστροβίλων

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%)

2.4.1.2 Νέες Τεχνολογίας

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε δύο τεχνολογίες:

- Μικροτουρμπίνες και
- 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.

2.4.1.2.1 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:

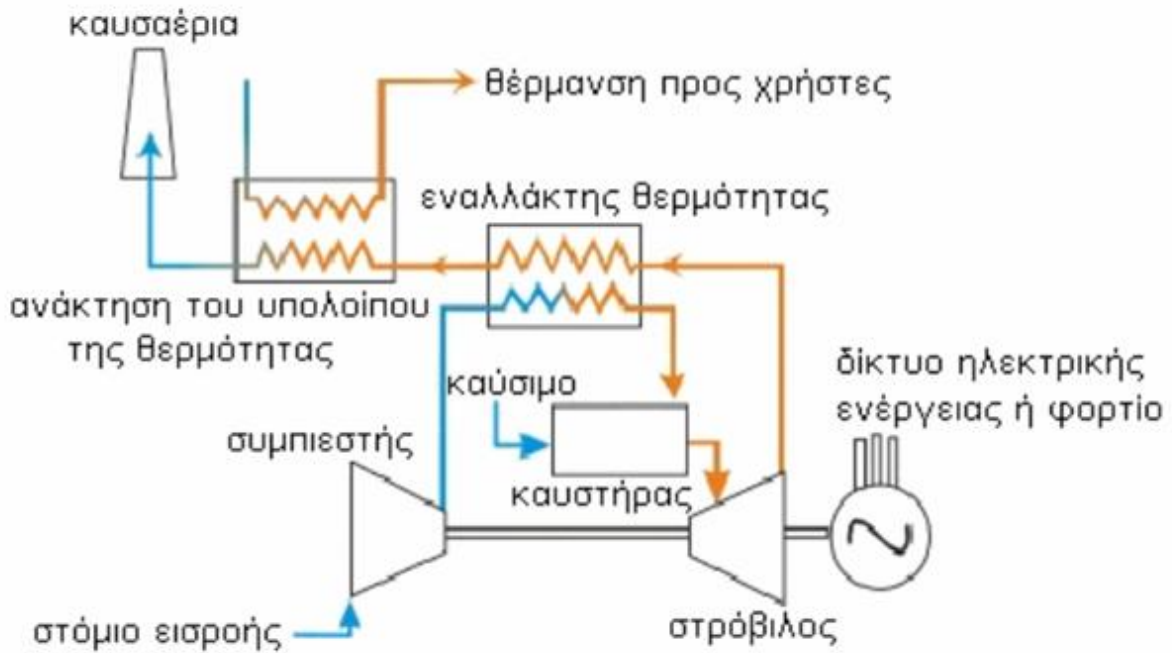
- Την τουρμπίνα αερίου (gas turbine),
- το συμπιεστή (compressor),
- τη γεννήτρια και
- τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεση τους στο δίκτυο.

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 2.4: Διάγραμμα λειτουργίας της μικροτουρμπίνας με τη μέθοδο ανάκτησης θερμότητας

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.

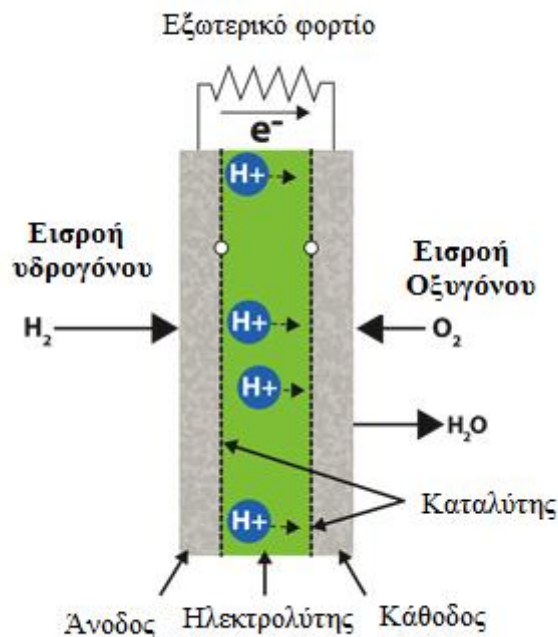
Πίνακας 2.5: *Επισκόπηση χαρακτηριστικών μικροτουρμπινών*

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
Ο&Μ Κόστος	0,005 – 0,016€/kW
Χρόνος μεταξύ συντηρήσεων	5000 – 8000hrs

2.4.1.2.2 Κυψέλες καυσίμου

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 2.5: 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)
- 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.

Πίνακας 2.6: Τυπικά χαρακτηριστικά κυψελών καυσίμου

	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλίου	Πολυμερές	Πολυμερές	Φωσφορικό οξύ	Μίγμα ανθρακικών αλκαλίων	Σταθεροποιημένο ζirkόνιο
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

2.4.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.4.2.1 Αιολική Ενέργεια

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 χρησιμοποιούνταν 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 επανέκαμψε. 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]:

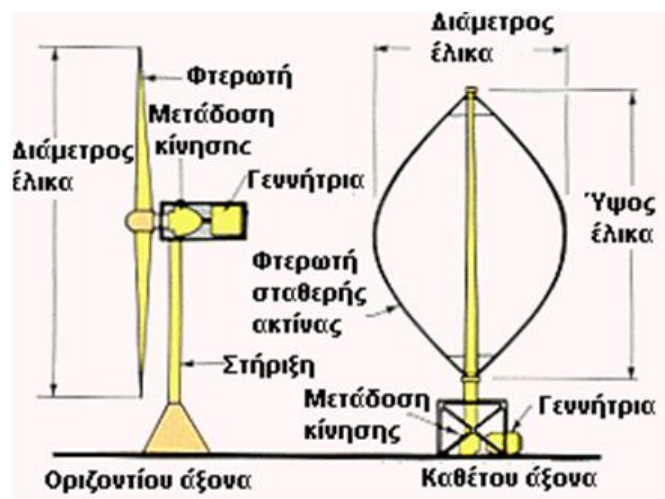
- Η αιολική ενέργεια πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους.
- Δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν.
- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα είναι σε απομακρυσμένες περιοχές.
- Υπάρχει προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τα πτερύγια του ηλεκτρικού κινητήρα (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 αεροδυναμική, 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.

2.4.2.1.1 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.



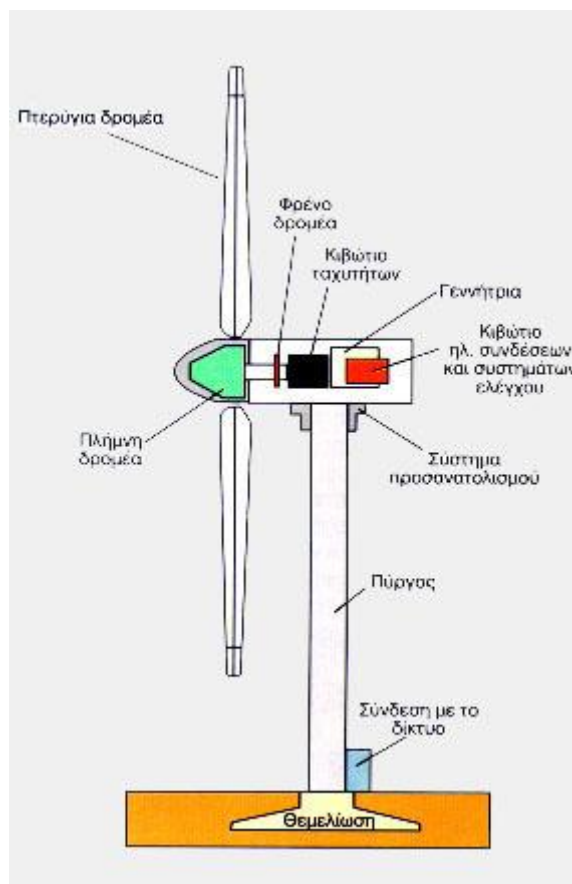
Σχήμα 2.6: Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια κοντά στο επίπεδο του εδάφους όπου το ρεύμα αέρα είναι τυρβώδες. Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με το ύψος και η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες. Υπάρχει επίσης και μια κατανομή της διεύθυνσης του ανέμου ανάλογα με το ύψος. Έτσι, κατά μήκος του ρότορα του ανεμοκινητήρα πνέουν άνεμοι με διαφορετικές κατανομές ταχύτητας και κατεύθυνσης.

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 2.7: 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 σχεδιάσή 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).

2.4.2.1.2 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 σχετικό 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 $v^{-\frac{1}{2}}$, όπου v ο αριθμός των ανεμογεννητριών.

2.4.2.1.3 Αιολικό Πάρκο

Ανάλογα με την τοποθεσία λειτουργίας του αιολικού πάρκου διακρίνουμε τρία είδη πάρκων [2.15]:

- Τα χερσαία (onshore)
- Τα θαλάσσια (offshore)
- Κοντά στην ακτή (nearshore)



Σχήμα 2.8: Αιολικά Πάρκα

Οι εγκαταστάσεις «Onshore» ανεμογεννητριών σε ορεινές περιοχές, συνήθως γίνονται σε κορυφογραμμές περίπου τριών χιλιομέτρων ή περισσότερο από την κοντινότερη ακτή. Αυτό συμβαίνει για να αποκλειστεί η τοπογραφική επιτάχυνση καθώς ο άνεμος

επιταχύνει πάνω από τις κορυφογραμμές. Οι πρόσθετες ταχύτητας του ανέμου που παρατηρούνται εκεί προκαλούν μία αξιοσημείωτη διαφορά στην ποσότητα ενέργειας που παράγεται. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στις ακριβείς θέσεις των ανεμογεννητριών, γιατί μια διαφορά 30m μπορεί κάποιες φορές να σημαίνει διπλασιασμό στην έξοδο.

Οι «Nearshore» εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων βρίσκονται σε ξηρά μέχρι 3km από την ακτή ή στη θάλασσα μέχρι 10km από τη ξηρά. Είναι μια καλή επιλογή περιοχής εγκατάστασης αιολικών πάρκων, εξαιτίας του ανέμου που παράγεται από τη μεταφορά λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Οι ταχύτητες του ανέμου σε αυτές τις ζώνες μοιράζονται τα χαρακτηριστικά των onshore και offshore ανέμων.

Οι «Offshore» εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων απέχουν από την ξηρά τουλάχιστον 10km και αυτή η μεγάλη απόσταση μετριάξει προβλήματα όπως ο θόρυβος που προκαλείται σε αιολικά πάρκα ξηράς. Επειδή το νερό έχει μεγαλύτερη ομοιομορφία στην επιφάνειά του από την ξηρά, η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι συνήθως πολύ υψηλότερη πάνω από την ανοιχτή θάλασσα. Η μεταφορά των μεγάλων τμημάτων ανεμογεννητριών γίνεται πιο εύκολα από θαλάσσης μέσω πλοίων παρά από την ξηρά μέσω φορτηγών. Οι offshore ανεμογεννήτριες θα συνεχίσουν να είναι οι μεγαλύτερες γεννήτριες σε λειτουργία, αφού τα υψηλά σταθερά κόστη εγκατάστασης μοιράζονται σε μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής, μειώνοντας το μέσο κόστος, ενώ ταυτόχρονα η μεταφορά τους είναι πολύ πιο εύκολη. Συνήθως τα offshore αιολικά πάρκα είναι πολύ μεγάλα και περιλαμβάνουν περίπου 100 ανεμογεννήτριες.

2.4.2.2 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.

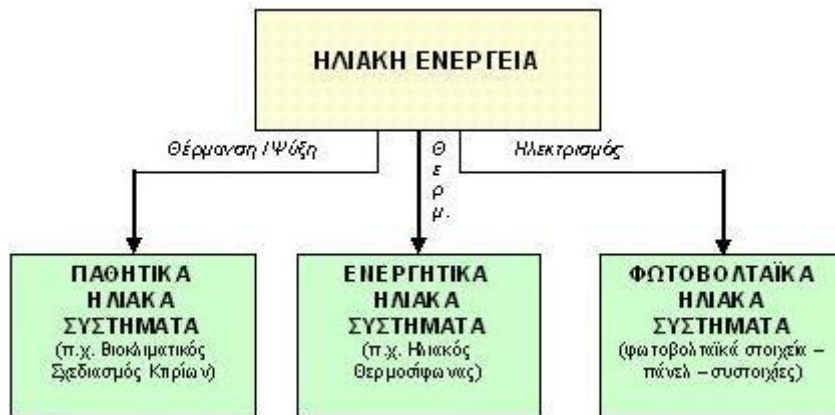
Η ηλιακή ενέργεια έχει θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε 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
- 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 2.9: 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.

2.4.2.2.1 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.

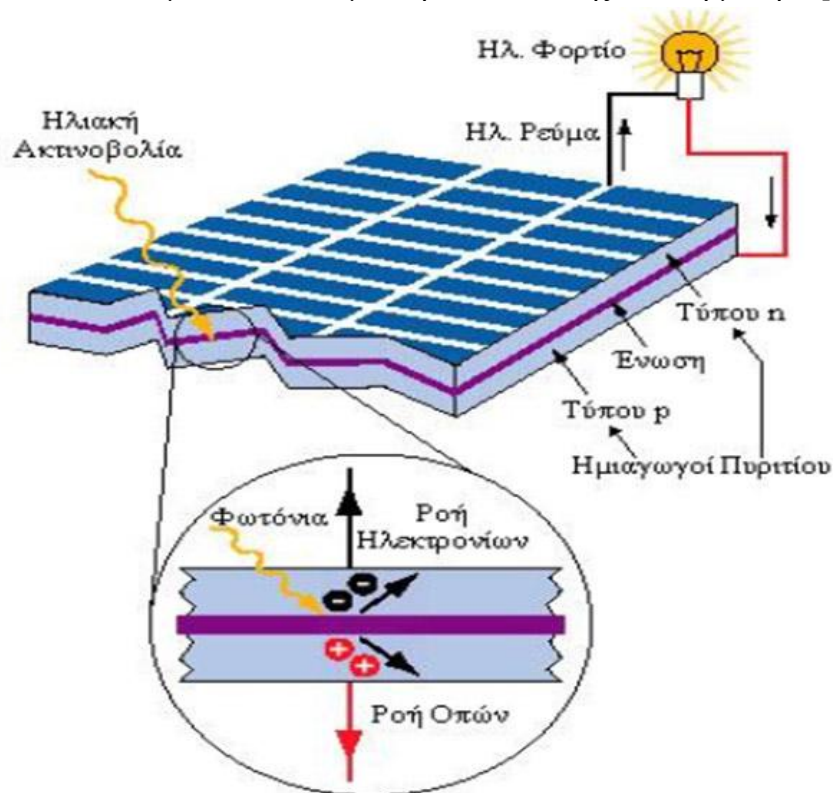
Τα ηλιακά στοιχεία (μια ένωση $p - n$) βασίζονται στη δημιουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανομημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά κατά την οποία προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια 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 2.10: 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)
 - Τελουριοϋχου καδμίου (CdTe)
 - Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

- Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία και άλλες τεχνολογίες (οργανικά/πολυμερή στοιχεία, ναοκρυσταλλικά 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).

2.4.2.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

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

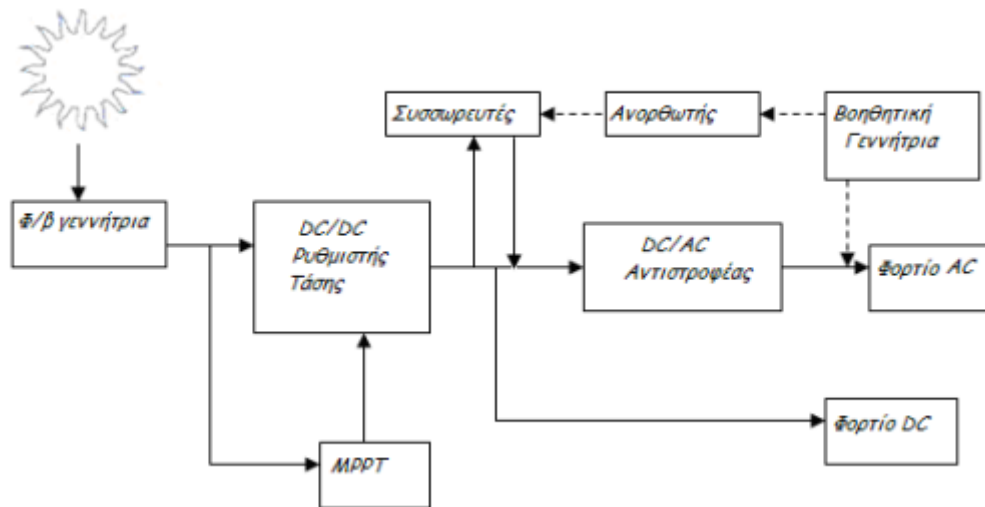
- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά 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 κατανεμημένα (Distributed).

Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα (Stand Alone):



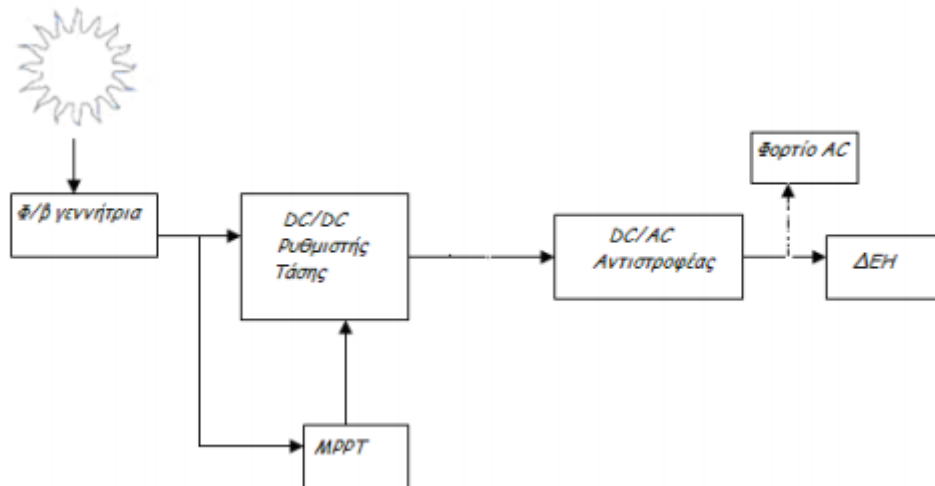
Σχήμα 2.11: Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου Φ/Β συστήματος

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 ελληνικό 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 2.11 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.

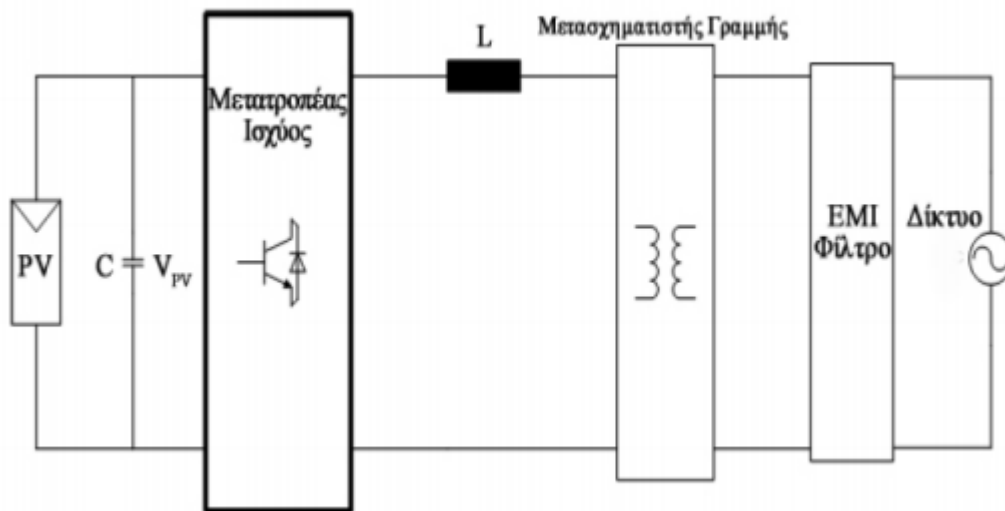
Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα (Grid – Connected):



Σχήμα 2.12: Απλοποιημένο διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

Μια διαφορετική προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Υπάρχουν δύο διαφορετικές υλοποιήσεις, ανάλογα με το αν τροφοδοτείται κάποιο φορτίο απευθείας από το σύστημα ή όχι (Σχήμα 2.12). Σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μια μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος, θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος, αφού το δίκτυο έχει πρακτικά απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης και επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται. Αντιθέτως, στις αυτόνομες εφαρμογές, οι συσσωρευτές θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένοι, όποτε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει με κάποιο τρόπο να αποβάλλεται.

Ακολούθως φαίνεται ένα τυπικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο.



Σχήμα 2.13: 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 2.13 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 περιελάμβαναν 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 αντιστροφέων. 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.

2.4.2.3 Μικρά Υδροηλεκτρικά

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.

Γι 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 ΥΗΣ 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.

2.4.2.4 Λοιπές ΑΠΕ

2.4.2.4.1 Μονάδες παραγωγής ενέργειας από Βιομάζα

Βιομάζα είναι η μάζα βιολογικών υλικών που προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και από βιολογικούς μετασχηματισμούς της ύλης. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναδημιουργείται. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων [2.16].

Η βιομάζα βρίσκει πολλές εφαρμογές όπως:

- Θέρμανση θερμοκηπίων: Σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες: Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου.
- Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες: Βιομάζα για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Εκκοκιστήρια, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους για την κάλυψη των θερμικών αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου: Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ.) χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για τη θέρμανση των κτιρίων.
- Τηλεθέρμανση: Είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ – μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.
- Παραγωγή ενέργειας: Σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιηθεί η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (π.χ. θέρμανση κτιρίων).

Οι αναπτυσσόμενες χώρες παράγουν περίπου το ένα τρίτο της ενέργειάς τους από βιομάζα. Περίπου 2,5 δις άνθρωποι ουσιαστικά εξαρτώνται από τη βιομάζα για την κάλυψη των αναγκών τους σε θέρμανση, φωτισμό και μαγείρεμα. Ο συνηθισμένος τρόπος αξιοποίησης βιομάζας είναι η καύση της είτε σε σόμπες είτε πλέον σε λέβητες όπως για παράδειγμα η κεντρική θέρμανση κατοικιών ή θερμοκηπίων στην Κρήτη με πυρηνόξυλο υπόλειμμα της επεξεργασίας του πυρηνελουργείου. Επίσης μία μορφή αξιοποίησης της βιομάζας είναι η παραγωγή βιοαερίου ή biodiesel και στη συνέχεια η καύση του σε μονάδες εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και σε μικροτουρμπίνες. Σημαντικό είναι το ενδιαφέρον για μονάδες βιοαερίου σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Τη βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας μπορούμε να τη κατατάξουμε σε διάφορες κατηγορίες όπως:

- Ευλώδης βιομάζα
- Μη Ευλώδης Βιομάζα
- Απόβλητα ζώων και Ανθρώπων και προϊόντα βιολογικού καθαρισμού.

Για την 1^η κατηγορία αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η χρήση της ξυλείας των δασών ή τα καλλιεργούμενα δάση για υλοτόμηση, είτε τα υπολείμματα από το κλάδεμα των δενδρωδών καλλιεργειών, (κληματίδες κτλ), αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για θερμική παραγωγή ενέργειας και σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού –θερμότητας.

Στην 2^η κατηγορία περιλαμβάνονται οι ενεργειακές φυτείες όπως π.χ το γλυκό σόργο ή υπολείμματα μη δενδρωδών αγροτικών φυτειών όπως το άχυρο. Στην ίδια κατηγορία θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε τα υπολείμματα βιομηχανικής επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πυρηνόξυλο που χρησιμοποιείται στις ελαιοπαραγωγικές περιοχές της χώρας ως καύσιμο για τους λέβητες αλλά και τα απόνερα των ελαιουργείων (κατσίγαροι) τα οποία είναι τοξικά αλλά έχουν προταθεί μέθοδοι για την ενεργειακή τους αξιοποίηση.

Στην 3^η κατηγορία ανήκει η βιομάζα η οποία παράγεται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) με τη μορφή βιοαερίου το οποίο είναι πλούσιο σε μεθάνιο, συνήθως 50% κ.ο., χωρίς όμως να αποκλείονται διακυμάνσεις από πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, 25% κ.ο μέχρι και εξαιρετικές, 60% κ.ο. Τέτοιες μονάδες στη χώρα μας έχουν εγκατασταθεί στους Βιολογικούς Καθαρισμούς Χανίων και Ηρακλείου αλλά και είναι υπό εγκατάσταση στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυτάλλειας από την ΕΥΔΑΠ. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στη χώρα μας από μονάδες βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι 37,8MW. Μεθάνιο εκλύεται επίσης και από εγκαταστάσεις εκτροφής ζώων, όπως χοίρων, βοοειδών και πουλερικών, στα σημεία απόθεσης των περιττωμάτων τους.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούν τη βιομάζα ως καύσιμο δεν χρειάζεται να έχουν κάποιο πρόγραμμα πρόβλεψης της εξόδου τους γιατί αυτή μπορεί να ρυθμιστεί. Όπως και οι συμβατικές μονάδες παραγωγής προβλέπεται να έχουν κάποια μορφή κατανάλωσης καυσίμου και άρα κάποιας μορφής συνάρτηση κόστους. Καθώς οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα είναι συχνά αμμοστροβιλικές θα χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή τεχνικού ελαχίστου συγκρινόμενες με την τιμή του τεχνικού τους μεγίστου αλλά και από σημαντικό χρόνο εκκίνησης.

Τα δίκτυα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή και σημαντική διείδυση σε βιομηχανικά δίκτυα αναμένεται να έχουν μονάδες οι οποίες στηρίζουν την παραγωγή τους στην επεξεργασία λυμάτων.

Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της βιομάζας είναι:

- Μπορεί να αποθηκευθεί η πρώτη ύλη και να χρησιμοποιηθεί με τη ζήτηση.
- Μπορεί να αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές, καθώς δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης ακαλλιέργητων εκτάσεων συμβάλλοντας σε μία ισορροπημένη ανάπτυξη της γεωργίας.
- Δυνατότητα αξιοποίησης παραπροϊόντων τα οποία σε διαφορετική περίπτωση θα απορρίπτονταν ρυπαίνοντας το περιβάλλον, πλέον μπορούν να συμβάλλουν αποφασιστικά στην παραγωγή ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους.

Το τελευταίο όμως χρονικό διάστημα υπάρχει σκεπτικισμός για την ευρύτερη διάδοση στα βιοκαύσιμα από το γεγονός ότι σε μερικές χώρες είτε αποψιλώνονται δάση προκειμένου να δώσουν τη θέση τους σε καλλιέργειες φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων, είτε αντικαθιστούν παραδοσιακές καλλιέργειες τροφίμων δημιουργώντας πληθωριστικές πιέσεις στην αγορά των τροφίμων.

2.4.2.4.2 Μονάδες παραγωγής από Γεωθερμία

Όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5000 °C στον πυρήνα. Η θερμότητα αυτή που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας [2.16].

Σε κάποιες περιοχές του πλανήτη η θερμοκρασιακή κλίση είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μέση κλίση των 25°C/km, με αποτέλεσμα να έχουν πολύ σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο. Οι γεωθερμικές πηγές διακρίνονται σε 4 τύπους:

- Υδροθερμικές με νερό
- Υδροθερμικές με ατμό
- Πετροθερμικές
- Γεωπιεστικές.

Αυτή η Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας έχει αξιοποιηθεί στις χώρες όπου είναι διαθέσιμη, κυρίως στις περιοχές των γεωτεκτονικών πλακών, π.χ Ισλανδία, Ιταλία, Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία κτλ για τη θέρμανση χώρων όπως και θερμοκηπίων ή για την αξιοποίηση της θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες.

Σε περιοχές όπου το περιεχόμενο της γεωθερμικής ενέργειας είναι υψηλό μπορεί να αξιοποιηθεί ο ατμός σε ατμοστροβιλικές μονάδες παραγωγής. Έτσι οι μονάδες παραγωγής από γεωθερμία είναι ουσιαστικά ατμοστρόβιλοι και λειτουργούν ως μονάδες βάσης. Οι εγκαταστάσεις γεωθερμίας χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος εγκατάστασης και από πολύ χαμηλό έως μηδενικό κόστος παραγωγής. Επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι μονάδες αυτές λειτουργούν στη μέγιστη δυνατή ισχύ τους αν αυτό είναι εφικτό αφού το μεταβλητό κόστος τους είναι πάρα πολύ χαμηλό συγκρινόμενο με τις νέες τεχνολογίες.

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 2.7:

Πίνακας 2.7: Εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας

Εφαρμογές		Θερμοκρασία (°C)
Ηλεκτροπαραγωγή		>90°C
Θέρμανση χώρων:	Με καλοριφέρ	>60°C
	Με αερόθερμα	>40°C
	Με ενδοδαπέδιο σύστημα	>25°C
Ψύξη και κλιματισμός:	Με αντλίες θερμότητας απορρόφησης	>60°C
	Με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας	<30°C
Θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφων		>25°C
Ιχθυοκαλλιέργειες		>15°C
Βιομηχανικές εφαρμογές:	Αφαλάτωση θαλασσινού νερού	>60°C
	Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	>60°C
Θερμά λουτρά		25 – 40°C

Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής οι οποίες αξιοποιούν την ενέργεια από τη γεωθερμία δεν αναμένεται να εγκατασταθούν ως μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής σε μικροδίκτυα Χαμηλής Τάσης. Παρ' όλα αυτά σε νησιωτικά δίκτυα έχουν ήδη εγκατασταθεί και λειτουργούν τέτοιες μονάδες, όπως για παράδειγμα στα συστήματα της Γουαδελούπης, 5MW, και 20 MW στο νησί S.Miguel στις Αζόρες. Στη χώρα μας είχε εγκατασταθεί ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 2MW στη Μήλο, αλλά λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων από τις γεωτρήσεις και το υψηλό θείο, υπολειπόμενα. Στη Λέσβο και το Νομό Σερρών έχουν γίνει γεωτρήσεις για τη θέρμανση θερμοκηπίων ενώ στην Κίμωλο λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με γεωθερμία. Επίσης έχει δοθεί άδεια εγκατάστασης 8 MW για την κατασκευή εργοστασίου της ΔΕΗ στην Λέσβο.

Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει την εκμετάλλευση της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση και κλιματισμό. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου τοποθετημένης εντός του εδάφους, είτε εντός γεωτρήσεων και η οποία αποτελεί τον υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας, σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας η οποία παρέχει θέρμανση ή ψύξη στο κτίριο. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το $\frac{1}{4}$ του ηλεκτρικού ρεύματος από μια ηλεκτρική αντίσταση και το $\frac{1}{2}$ από ένα κλιματιστικό. Εάν υπολογιστεί το κόστος ενέργειας καθόλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στοιχίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

Μελλοντικά, η εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας θα γίνεται από θερμά ξηρά πετρώματα, τα οποία βρίσκονται παντού σε βάθος από 3 – 5km, μέσω τεχνητής κυκλοφορίας νερού θερμοκρασίας έως 150°C.

2.4.2.4.3 Μονάδες παραγωγής εκμεταλλεόμενες παλίρροια και κύματα

Αυτού του τύπου οι μονάδες δεν αναμένεται να έχουν διείσδυση σε επίπεδο της τοπικής διανομής και απαιτούν συγκεκριμένες τοποθεσίες εγκατάστασης.

Η τεχνολογία που απαιτείται για να μετατραπεί παλιρροιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό μοιάζει πολύ με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε παραδοσιακά υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η μεν ενέργεια από την παλίρροια είναι προβλέψιμη στις τοποθεσίες στις οποίες υπάρχει αξιόλογο δυναμικό. Βασικό μειονέκτημά της είναι οι πολύ λίγες τέτοιες τοποθεσίες και το γεγονός ότι μέσα στη διάρκεια της ημέρας, το χρονικό διάστημα λειτουργίας δεν υπερβαίνει τις 10 ώρες. Αντιπροσωπευτικότερο έργο αυτής της κατηγορίας είναι το έργο των 240MW στην Βρετάνη της Γαλλίας (La Rance Tidal Barrage).

Τα συστήματα ενέργειας παραγωγής ενέργειας από κύματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες:

- Συσκευές στην Ακτή (Shoreline devices), με παράδειγμα την εγκατάσταση στο νησί islay στη Σκωτία, με πειραματική διάταξη ισχύος 75kW.
- Συσκευές κοντά στην Ακτή (Near Shore devices) σε μέτρια βάθη νερών (20 – 25 μέτρα), σε αποστάσεις μέχρι 500 μέτρα από την ακτή.
- Συσκευές σε απόσταση από την Ακτή (Offshore devices), εκμεταλλεύονται το δυναμικό των κυμάτων σε βαθιά νερά 25 μέτρα.

Για τις 2 τελευταίου τύπου συσκευές σημαντική πρόοδο αποτελεί το εργοστάσιο τύπου PELAMIS με αυξανόμενες εγκαταστάσεις στην Πορτογαλία και τη Σκωτία.

Η παραγωγή εξαρτάται από τη δύναμη των κυμάτων με αποτέλεσμα η παραγωγή ενέργειας να παρουσιάζει διακυμάνσεις από μέρα σε μέρα και από ώρα σε

ώρα. Η επιλογή των τοποθεσιών απαιτεί περιοχές με έντονο και επαναλαμβανόμενο κυματισμό, αρκετές φορές το έτος. Μείριμα πρέπει να λαμβάνεται για την αντοχή των κατασκευών στις ακραίες καιρικές συνθήκες.

2.4.3 Συστήματα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

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 σημαντικά 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]:

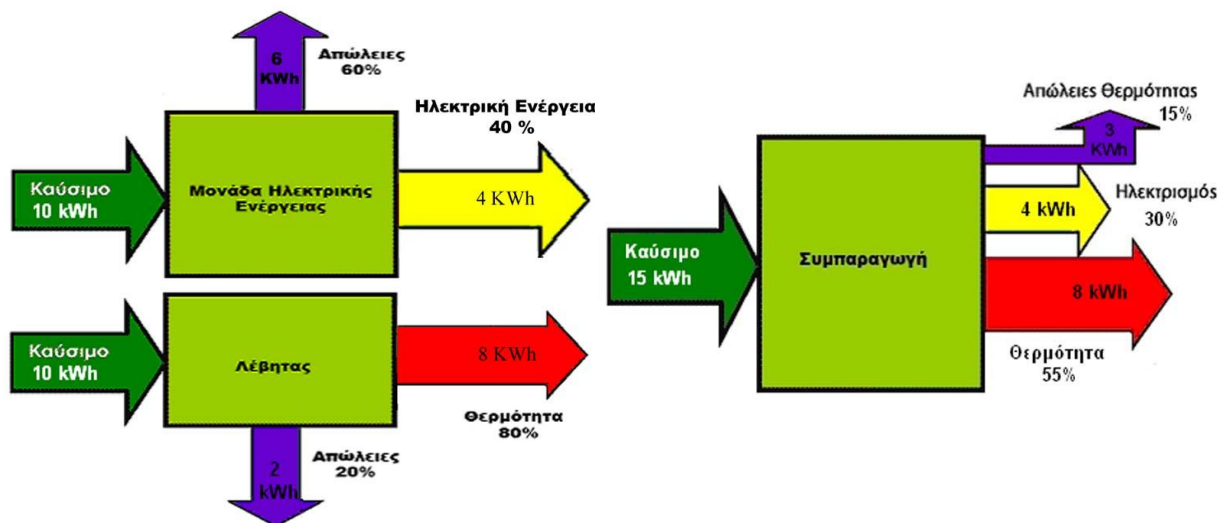
- Τον *κινητήρα* (prime mover), ο ρόλος του οποίου είναι να κινεί τη γεννήτρια και μπορεί να είναι ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένου κύκλου, κυψέλες καυσίμου, μηχανή Stirling ή microturbine.
- Το *σύστημα ανάκτησης θερμότητας*, το οποίο αποτελεί σύστημα 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 αυτοδιεγειρόμενη 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 πλεονέκτημα 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.

Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωμάτων ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κινητήρων Diesel, κ.λπ.) είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστροβίλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto, κ.λπ.). Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Έτσι, ενώ οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 30 – 45%, ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαραγωγής φθάνει το 80 – 90%. Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της συμπαραγωγής με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το Σχήμα 2.15.

Η συμπαραγωγή πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. γύρω στα 1890. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα – στρόβιλο, που λειτουργούσαν με άνθρακα. Πολλές από τις μονάδες αυτές βασίζονταν στη συμπαραγωγή.



Σχήμα 2.15: Χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού – θερμότητας και Συμπαραγωγή

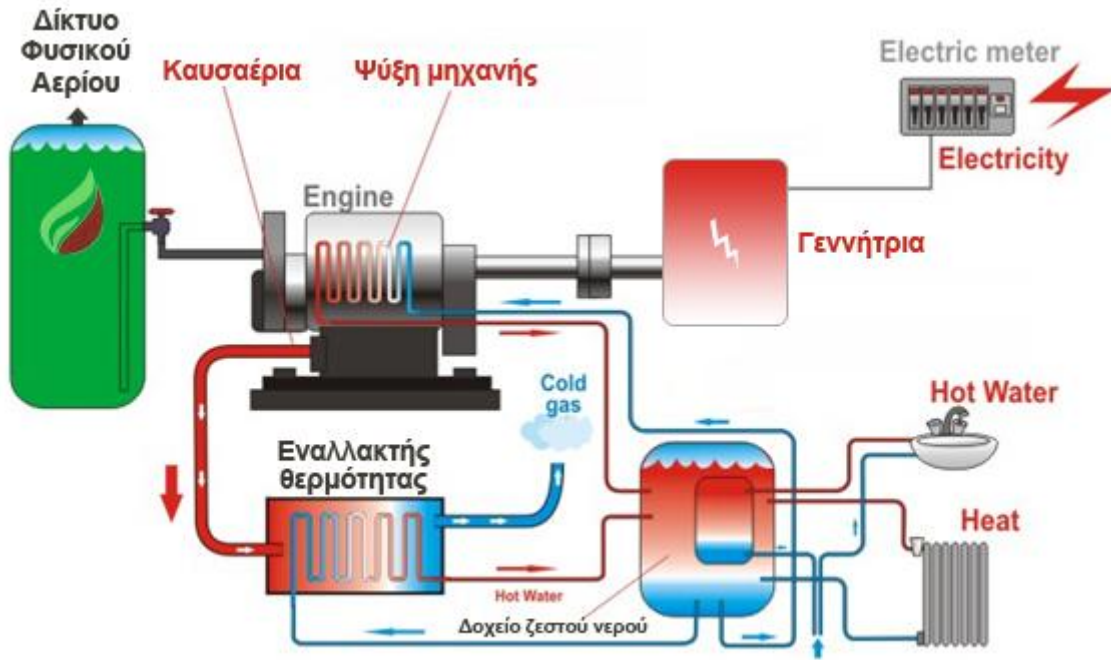
Η χρήση της συμπαραγωγής αναπτύχθηκε περισσότερο όταν οι μηχανικοί αντικατέστησαν τους βασικούς μηχανισμούς των ατμομηχανών με ηλεκτρικές μηχανές, κάνοντας το πέρασμα από τα συστήματα μηχανικής ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής παραγωγής προερχόταν από λέβητες καύσης άνθρακα και γεννήτριες ατμοστροβίλου, με τον αποβαλλόμενο ατμό να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές θέρμανσης βιομηχανιών. Στις αρχές του 1900, το 58% της συνολικής παραγωγής στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι προερχόταν από εφαρμογές συμπαραγωγής.

Κατόπιν, ακολούθησε κάμψη κυρίως για δύο λόγους:

- Ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φθηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια και
- Διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές, που έκανε τη λειτουργία λεβήτων οικονομικά συμφέρουσα.

Συνεχίζοντας με το παράδειγμα των Η.Π.Α., η βιομηχανική συμπαραγωγή μειώθηκε στο 15% του όλου δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 1950 και έπεσε στο 5% μέχρι το 1974. Η πορεία αυτή έχει πλέον αντιστραφεί όχι μόνον στις Η.Π.Α. αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, στην Ιαπωνία και στον Καναδά, γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στην απότομη αύξηση των τιμών των καυσίμων, από το 1973 και μετά, όταν ξεκίνησε η πετρελαϊκή κρίση. Η ανοδική πορεία στη διάδοση της συμπαραγωγής συνοδεύτηκε και από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνολογίες δοκιμάζονται, αλλά ήδη η συμπαραγωγή έχει φθάσει σε επίπεδα ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων, από πλευράς είδους, μεγέθους και λειτουργικών χαρακτηριστικών είναι πλέον διαθέσιμη.

Κάτω από προϋποθέσεις, η οικονομία που επιτυγχάνεται με την επιλογή της λύσης της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας στο συνολικό ενεργειακό κόστος, μπορεί να είναι ιδιαίτερα αξιόλογη στις περιπτώσεις εκείνες που απαιτούνται ταυτοχρόνως μεγάλες ποσότητες θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Η υψηλή ενεργειακή απόδοση των συστημάτων συμπαραγωγής έχει ως λογικό αποτέλεσμα την υψηλή οικονομική τους απόδοση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ενεργειακού κόστους έως και 40%, ενώ η περίοδος αποπληρωμής τους κυμαίνεται από 3 έως 5 έτη. Όταν λειτουργούν παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο, τα συστήματα συμπαραγωγής εξασφαλίζουν υψηλή αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλεονέκτημα αυτό ιδιάζουσας σημασίας για καταναλωτές με απαίτηση συνεχούς και απρόσκοπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι βιομηχανίες αλλά και κτιριακά συγκροτήματα όπως νοσοκομεία. Αν μάλιστα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο, τότε η συμπαραγωγή προκύπτει ως ένας από τους οικονομικότερους και αποδοτικότερους τρόπους μείωσης του ενεργειακού κόστους μιας διεργασίας.



Σχήμα 2.16: Σύστημα συμπαραγωγής με καύσιμη ύλη φυσικό αέριο

Ως ενεργειακή πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε καύσιμο. Σήμερα, ωστόσο, και στο πλαίσιο της προσπάθειας εξοικονόμησης ενέργειας, φυσικών πόρων και προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ΑΠΕ, κρίνεται αποδοτικότερη και συμφέρουσα η χρήση καυσίμων, όπως της βιομάζας και του φυσικού αερίου, που είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον. Το φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με άλλα καύσιμα, π.χ. το ελαφρύ και το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ), όπως η καθαρότητα και η ποιότητα του, που συντελούν στην πιο αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία της μονάδας, με ευνοϊκές επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής της και στις δαπάνες συντήρησης. Επιπλέον, με τη χρήση του φυσικού αερίου λύνονται τα προβλήματα προμήθειας και αποθήκευσης που παρουσιάζονται με τη χρησιμοποίηση άλλων καυσίμων, υγρών και στερεών, 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 CO_2 , NO_x και SO_x .

2.4.3.1 Οφέλη Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

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]:

- *Μειωμένη κατανάλωση καυσίμων:*

Όλα τα συστήματα συμπαραγωγής εξοικονομούν καύσιμο διότι έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Για παράδειγμα, ένα σύστημα συμπαραγωγής ατμοστροβίλου μειώνει την κατανάλωση καυσίμου κατά 15% περίπου σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού με μονάδα ατμοστροβίλου και θερμότητας με λέβητα. Ένα σύστημα συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel τη μειώνει κατά 25% σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού – με ντιζελοκίνητη ηλεκτρογεννήτρια – και θερμότητας – με λέβητα. Παρόλα αυτά, το κατά πόσον ένα σύστημα συμπαραγωγής εξοικονομεί ακριβό, εισαγόμενο και μη, καύσιμο εξαρτάται από το καύσιμο που το ίδιο το σύστημα συμπαραγωγής χρησιμοποιεί καθώς και τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Μια πρόσθετη βελτίωση του βαθμού εκμετάλλευσης των καυσίμων οφείλεται στο ότι τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκονται συνήθως πιο κοντά στους καταναλωτές από ότι οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Έτσι, περιορίζονται οι απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι της τάξεως του 8 – 10%. Η επιλογή των συστημάτων συμπαραγωγής και των καυσίμων, που αυτά χρησιμοποιούν, είναι σκόπιμο να εναρμονίζεται με μια γενικότερη εθνική ενεργειακή πολιτική (π.χ. μείωση του εισαγόμενου πετρελαίου, αύξηση της συμβολής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ορθολογική χρήση του φυσικού αερίου κλπ).

- *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.

2.4.3.2 Τρόποι Λειτουργίας των Μονάδων Συμπαραγωγής και Δείκτες Αποδοτικότητας

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.

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

- **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):**

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

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

2.4.3.3 Τεχνολογίες Σταθμών Συμπαγωγής

Τα περισσότερα συστήματα συμπαγωγής μπορούν να χαρακτηρισθούν:

- ως συστήματα «κορυφής» (topping systems) ή,
- ως συστήματα «βάσης» (bottoming systems).

Στα συστήματα «κορυφής», ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση χώρων) ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα «βάσης», παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ., σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων, εργοστασίων τσιμέντου κλπ) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα

ανακομιδής θερμότητας (recuperator), όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό, τα θερμά αέρια να διοχετευθούν σε αεριοστρόβιλο που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια, χωρίς την παρεμβολή λέβητα.

Τα σύγχρονα συστήματα ΣΗΘ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Συστήματα ατμοστρόβιλου
- Συστήματα αεριοστρόβιλου
- Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.)
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
- Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά
- Μικρές μονάδες συμπαραγωγής (μικρού «πακέτου»)
- Μικροτουρμπίνες (ή μικροστρόβιλοι, microturbines)
- Κυψέλες καυσίμου
- Μηχανές Stirling

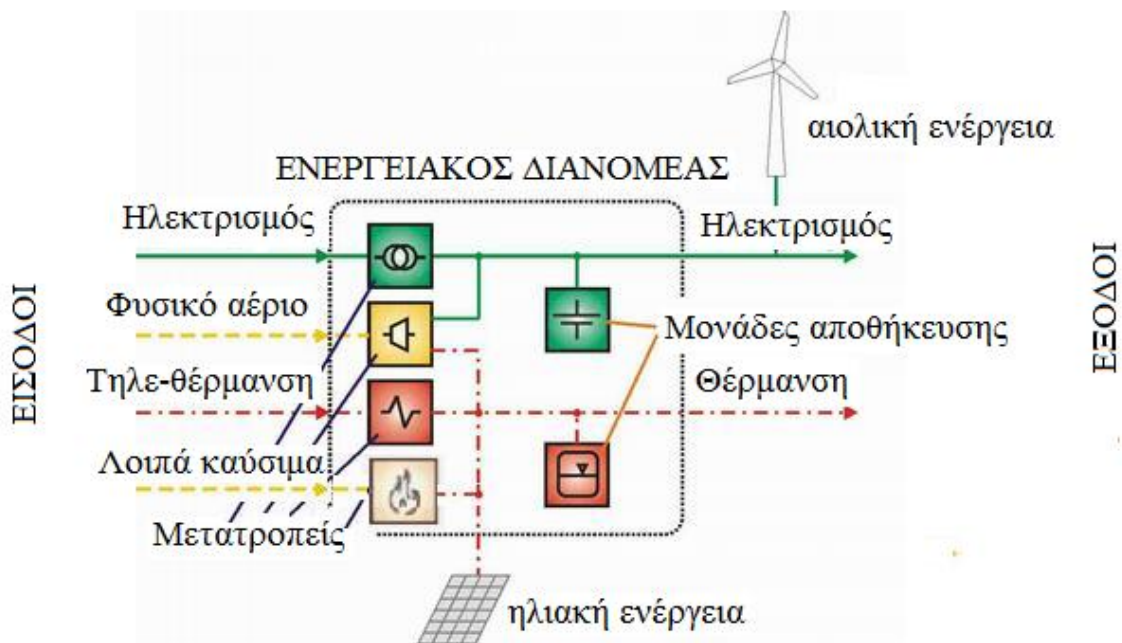
Τα συστήματα ΣΗΘ παρέχουν μεγάλη δυναμική στην άρση της ενεργειακής σπατάλης, ειδικά όταν συγχρόνως παράγουν θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό για χρήση. Διάφορα συστήματα ΣΗΘ σχεδιάζονται με προσομοίωση στους υπολογιστές με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της πρωτογενούς ενέργειας. Στον Πίνακα 2.8 δίνονται τα χαρακτηριστικά των βασικότερων συστημάτων συμπαραγωγής.

Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικά συστημάτων συμπαραγωγής

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

2.4.4 Ενεργειακοί Διανομείς

Ο ενεργειακός διανομέας ορίζεται ως μια διασύνδεση μεταξύ των ενεργειακών παραγωγών, των καταναλωτών και της υποδομής μεταφοράς ενέργειας. Ένας ενεργειακός διανομέας από τη σκοπιά του συστήματος, μπορεί να θεωρηθεί ως η μονάδα που παρέχει τα βασικά χαρακτηριστικά της εισόδου και της εξόδου, της μετατροπής και της αποθήκευσης των πολλαπλών ενεργειακών φορέων. Μπορεί να λειτουργήσει ως σύνδεση μεταξύ των υποδομών του δικτύου και των διάφορων συμμετεχόντων, δηλαδή των καταναλωτών και των παραγωγών, συνδυάζοντας για παράδειγμα συστήματα ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου χωρίς να συνδέονται οι πάροχοι και τα φορτία. Συνεπώς, ο ενεργειακός διανομέας αποτελεί μια γενίκευση ή επέκταση ενός κόμβου σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Το σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός ενεργειακού διανομέα [2.21].



Σχήμα 2.17: 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 μετασηματοποιημένη) 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 μετασηματοποιούνται 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 καμιά 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 μετασηματοποιείται 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, μετασηματοποιητές, ηλεκτρονικά ισχύος, φίλτρα, εναλλάκτες θερμότητας, αντίστοιχα. Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τις κυριότερες μετατροπές ενέργειας και μέσω ποιών δομών μπορούν να επιτευχθούν.

Πίνακας 2.9: Πιθανές μετατροπές

	ΕΞΟΔΟΣ		
ΕΙΣΟΔΟΣ	Ηλεκτρική ενέργεια	Χημική ενέργεια	Θερμική ενέργεια
Ηλεκτρική ενέργεια	Ηλεκτρική γραμμή Μετασχηματιστής Ηλεκτρονικά ισχύος	Ηλεκτρόλυση Αναστρέψιμα FC	Κυκλοφορητής
Χημική ενέργεια	Αεριοστρόβιλος FC CHP	Σωλήνωση Συμπιεστής	Αεριοστρόβιλος FC CHP
Θερμική ενέργεια	Ατμοστρόβιλος	Θερμόλυση	Μετατροπέας Εναλλάκτης

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, υπεραγώγιμες 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.

- *Αυξημένη αξιοπιστία:*
Πολλαπλές εισοδοί 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 αεριοστρόβιλου. 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

Η λειτουργία ενός ηλεκτρονικού δικτύου ελέγχεται από συσκευές προστασίας και ρύθμισης της τάσης που έχουν σκοπό την παροχή προς τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αποδεκτής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των σφαλμάτων και προσφέροντας υψηλό επίπεδο ασφάλειας. Η σύνδεση στο δίκτυο μονάδων παραγωγής πρέπει να συμβαδίζει με αυτές τις γενικές αρχές ώστε αφενός να μην προκαλούνται ενοχλήσεις στους λοιπούς καταναλωτές και αφετέρου να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του δικτύου διανομής και των εγκαταστάσεων των παραγωγών.

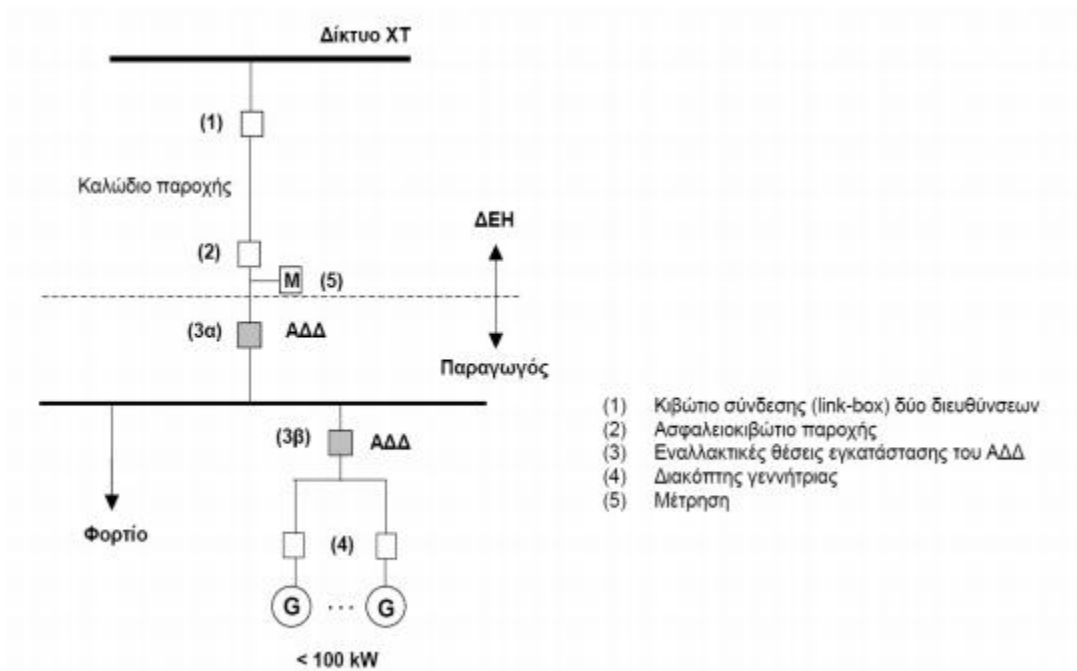
Ο τρόπος σύνδεσης μιας δεδομένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της. Δηλαδή σταθμοί παραγωγής ίδιας ισχύος μπορεί να συνδέονται στο δίκτυο κατά τελείως διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα ειδικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, την κατά περίπτωση υφιστάμενη κατάσταση 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 XT.
- Εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 20 MW δεν μπορούν να συνδεθούν με δίκτυο MT.

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).

2.5.1 Σύνδεση στο δίκτυο XT

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



Σχήμα 2.18: Τυπική διάταξη σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΧΤ

Στο Σχήμα 2.18 φαίνεται μια τυπική διάταξη σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΧΤ. Βασική απαίτηση, για λόγους ασφάλειας είναι η ύπαρξη μέσω διακοπής (με ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου) και ορατής απόζευξης, προσιτών ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό της ΔΕΗ, ώστε να εξασφαλίζεται η απομόνωση του παραγωγού από το δίκτυο όταν αυτό απαιτείται από τη ΔΕΗ. Η απαίτηση ορατής απόζευξης ικανοποιείται τόσο από το κιβώτιο σύνδεσης (1) όσο και από τις ασφάλειες της παροχής (2). Για εγκαταστάσεις μικρής ισχύος τα μέσα αυτά μπορούν, σε έκτακτες περιπτώσεις, να χρησιμοποιηθούν και για τη διακοπή της εγκατάστασης.

Σε εγκαταστάσεις μεγαλύτερης ισχύος είναι αναγκαία η ύπαρξη διακόπτη φορτίου ή ισχύος. Το μέσο διακοπής (3) είναι ο αυτόματος διακόπτης μιας διασύνδεσης (ΑΔΔ). Μπορεί να τοποθετηθεί εναλλακτικά σε δυο θέσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 25, ανάλογα με την επιθυμία του παραγωγού. Εάν επιλεγεί η θέση (3^α) τότε είναι εφικτή η απομονωμένη λειτουργία της συνολικής εγκατάστασης (εγκατάσταση παραγωγής και φορτία). Ο παραγωγός θα πρέπει να παρέχει πρόσβαση στον ΑΔΔ και στο σχετικό σύστημα προστασίας στο αρμόδιο προσωπικό της ΔΕΗ. Είναι γενικά αποδεκτό, αλλά απαιτεί προηγούμενη συμφωνία με τη ΔΕΗ, οι λειτουργίες του ΑΔΔ να πραγματοποιούνται από το διακόπτη και το σύστημα προστασίας των γεννητριών, όταν δεν προβλέπεται η απομονωμένη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Το είδος και ο αριθμός των απαιτούμενων μετρητικών διατάξεων και συσκευών ρύθμισης καθορίζονται σύμφωνα με τους όρους της σύμβασης ΔΕΗ – Παραγωγού. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, χρησιμοποιούνται μετρητικές διατάξεις χωρίς δυνατότητα αντίθετης περιστροφής και πραγματοποιείται ανεξάρτητη μέτρηση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας στις εγκαταστάσεις του παραγωγού.

Εάν η παραγωγή είναι τριφασική, ο μετρητής της παρεχόμενης στο δίκτυο ενέργειας πρέπει να είναι τριφασικός. Αυτό ισχύει ακόμη και για μονοφασικές εγκαταστάσεις παραγωγής.

- *Συνθήκες ζεύξης*

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής με αντιστροφείς AC/DC, η ζεύξη πρέπει να γίνεται στην πλευρά ΕΡ του μετατροπέα χωρίς τάση.

- *Προστασία απόζευξης*

Η εγκατάσταση παραγωγής πρέπει να διαθέτει προστασία έναντι βραχυκυκλώματος, έναντι υπερφόρτισης και έναντι άμεσης και έμμεσης επαφής. Επιπλέον, για την προστασία της ίδιας της εγκατάστασης, αλλά και των άλλων εγκαταστάσεων του δικτύου, απαιτείται η ύπαρξη συστήματος προστασίας απόζευξης το οποίο επενεργεί στον ΑΔΔ και εξασφαλίζει την αποσύνδεση της εγκατάστασης από το δίκτυο όταν εμφανιστούν αποκλίσεις τάσεις ή/και συχνότητας άνω των προβλεπόμενων ορίων. Σε εγκαταστάσεις παραγωγής με αντιστροφείς AC/DC η επιτήρηση συχνότητας μπορεί να απουσιάζει, εάν ο αντιστροφέας δεν διαθέτει τη δυνατότητα αυτή. Αντίθετα, η επιτήρηση της τάσης (προστασίες υπότασης και υπέρτασης) είναι πάντοτε αναγκαία, η δε συνιστώμενη ρύθμιση για τη προστασία υπέρτασης είναι $1,1 \cdot U_n$ (όπου U_n η ονομαστική τάση).

- *Επιπτώσεις στην τάση του δικτύου*

Η σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής σε κάποιο σημείο του δικτύου ΧΤ είναι δυνατή, υπό την προϋπόθεση ότι η λειτουργία τους δεν προκαλεί υπέρβαση της επιτρεπόμενης στάθμης διαταραχών για δημόσια δίκτυα ΧΤ και άρα δεν παρενοχλεί άλλες εγκαταστάσεις και συσκευές του δικτύου. Διαταραχές οι οποίες εξετάζονται είναι οι προκαλούμενες μεταβολές της τάσης στο σημείο κοινής σύνδεσης, το flicker και η αρμονική παραμόρφωση της τάσης εξαιτίας της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Η λειτουργία μιας εγκατάστασης είναι αποδεκτή όταν δεν γίνεται υπέρβαση των ορίων που καθορίζονται από τα θεσπισμένα.

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.

Πίνακας 2.10: Τυπικές τιμές εκπεμπόμενων ρύπων από τις τοπικές μονάδες παραγωγής

Μονάδα Ρυπαντές (gr/kWh)	Μικροτουρμπίνα	Κυψέλη Καυσίμου	Αεριοστρόβιλος	Μονάδα Εσωτερικής Καύσης
CO₂	724,6	489,4	678,2	650
NO_x	0,2	0,014	0,512	2,13
SO₂	0,004	0,003	0,004	0,206
Ιπτάμενα σωματίδια PM10	0,041	0,001	0,039	0,354

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 Τρέχουσες τιμολογήσεις δικτύων

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, ανακύπτουν δύο βασικά ερωτήματα:

- 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 κατανάλωσης 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.

2.7.2 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 – Khattam 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 ταμειυτήρα 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 Συμπαγωγής 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 DI3 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.

ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

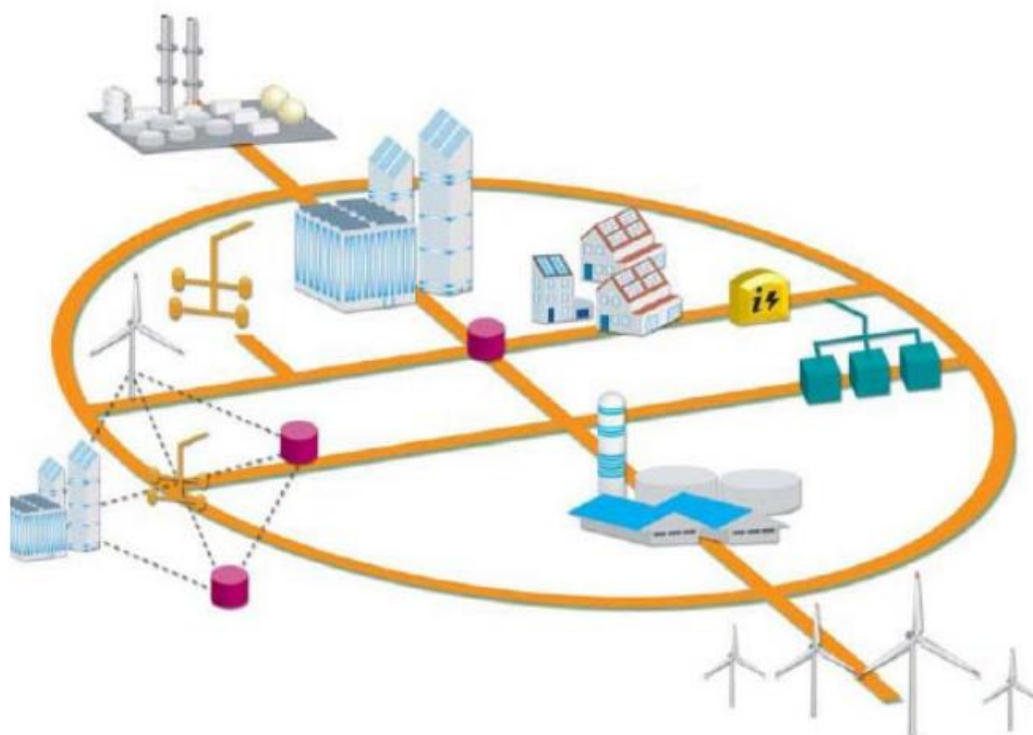
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 ελεγχίμα 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].

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 [3.2].

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.



Σχήμα 3.1: Τυπικό μικροδίκτυο

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, δυνητικά, «ρίχνουν»

τις τιμές του αποθέματος ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι, ενώ υπό ομαλές συνθήκες λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, μπορεί αυτόματα να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου. Συνεπώς ένα μικροδίκτυο για το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυό του αντιμετωπίζεται, τόσο από άποψης 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 [3.3].

Κάποιες από τις μεταβλητές που επηρεάζουν τις δυνατότητες ενός μικροδικτύου, από οικονομικής και τεχνικής απόψεως, είναι [3.4][3.5]:

- Ο τύπος του φορτίου (οικιακό, βιομηχανικό, εμπορικό ή συνδυασμός τους).
- Ο αριθμός των καταναλωτών.
- Ο τύπος των πηγών διανεμημένης παραγωγής (φωτοβολταϊκές πηγές, αιολική ενέργεια, κυψέλη καυσίμου/fuel cell κτλ.).
- Το μέγεθος και ο αριθμός των μονάδων παραγωγής.
- Το επίπεδο της αξιοπιστίας του συστήματος. Ένας τρόπος μέτρησης του συγκεκριμένου μεγέθους μπορεί να είναι το ποσοστό ανεπάρκειας τροφοδοσίας των προβλεπόμενων φορτίων.

3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Τα πλεονεκτήματα που μπορεί να παρέχει στη λειτουργία του συστήματος ένα μικροδίκτυο συμπεριλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα περιοχών, όπως [3.6]:

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 διεσπαρμένης παραγωγής, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να μην παράγεται αποκλειστικά από λίγες μεγάλες μονάδες.
- Ενεργός διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων), διαδικασία η οποία είναι σε θέση να βοηθά σημαντικά στην ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.
- Από την πλευρά του χειριστή του Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης ή της Επιχείρησης Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου από το μικροδίκτυο προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Η δυνατότητα αναβολής επενδύσεων προς ενίσχυση του δικτύου και των κεντρικών σταθμών παραγωγής καθώς επίσης και η μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα κατά τον χειρισμό των συμφορήσεων και την επαναφορά του συστήματος μετά από σβέση, είναι μερικά από αυτά.

Οικονομικά:

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

3.3 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 άεργου 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.

3.4 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 [3.7]:

- 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 αρισιότητα 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 εξέλιξής 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 [3.8][3.9].

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.

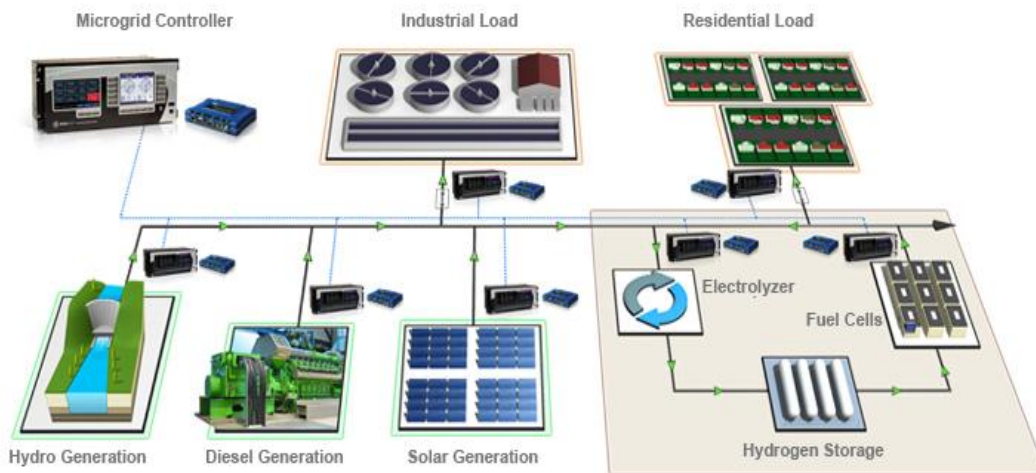
Σε γενικές γραμμές, τρεις άξονες είναι οδηγοί στην ανάπτυξη της αξιόπιστης διεσπαρμένης παραγωγής:

- 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 συγκεντρωποιημένου 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.

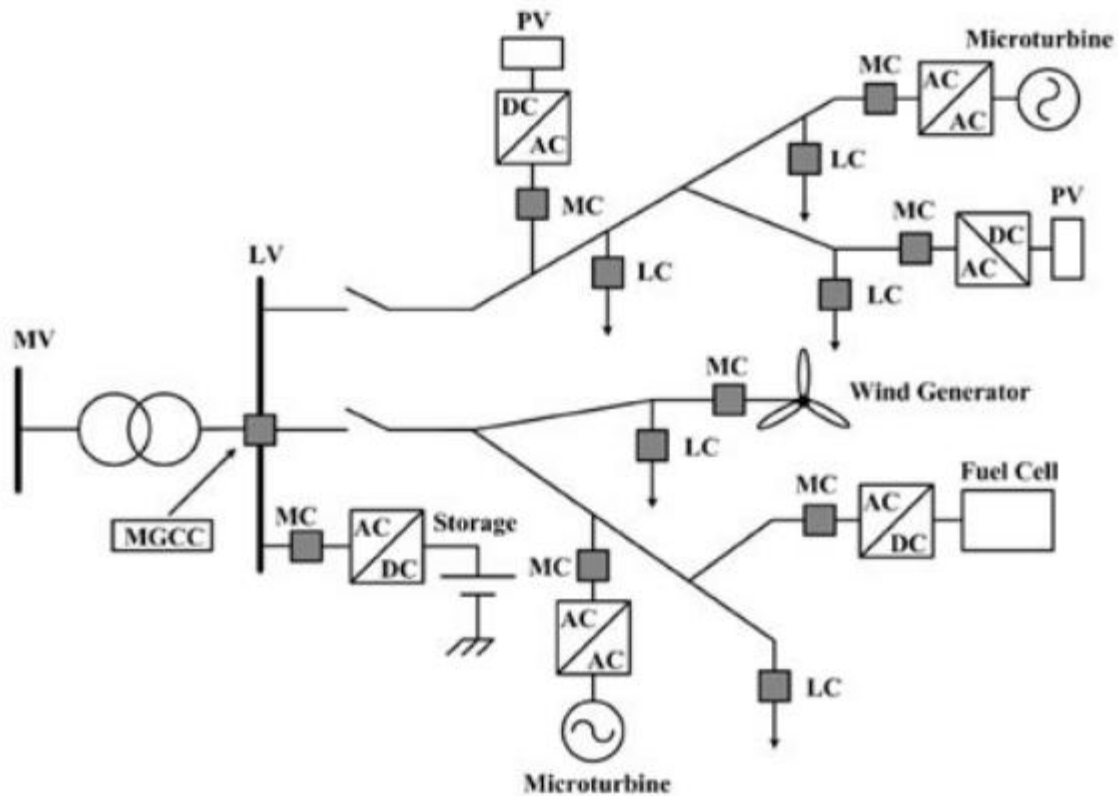


Σχήμα 3.2: Συντονισμένη λειτουργία μικροδικτύου

3.5 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 [3.10].



Σχήμα 3.3: 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 όγλησης 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 [3.11]:

- 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 [3.12].

Πίνακας 3.1: Τεχνολογίες αποθήκευσης, βασικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα

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 – αγωγή υλικά	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, μεγάλο κόστος παραγωγής

▪ *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.

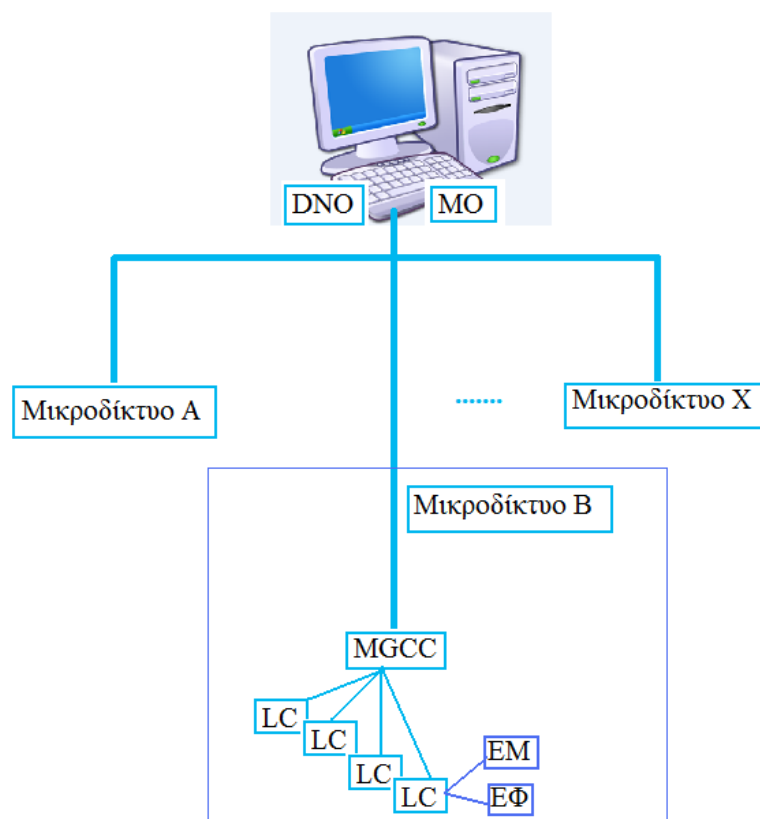
Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη, το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει τα ακόλουθα :

- 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.

3.6 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 [3.13]:

- 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 3.4: 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 [3.13].

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 MT, 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 [3.13].

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 (EF). 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 MT 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.

3.6.1 Πλήρως αποκεντρωμένος έλεγχος

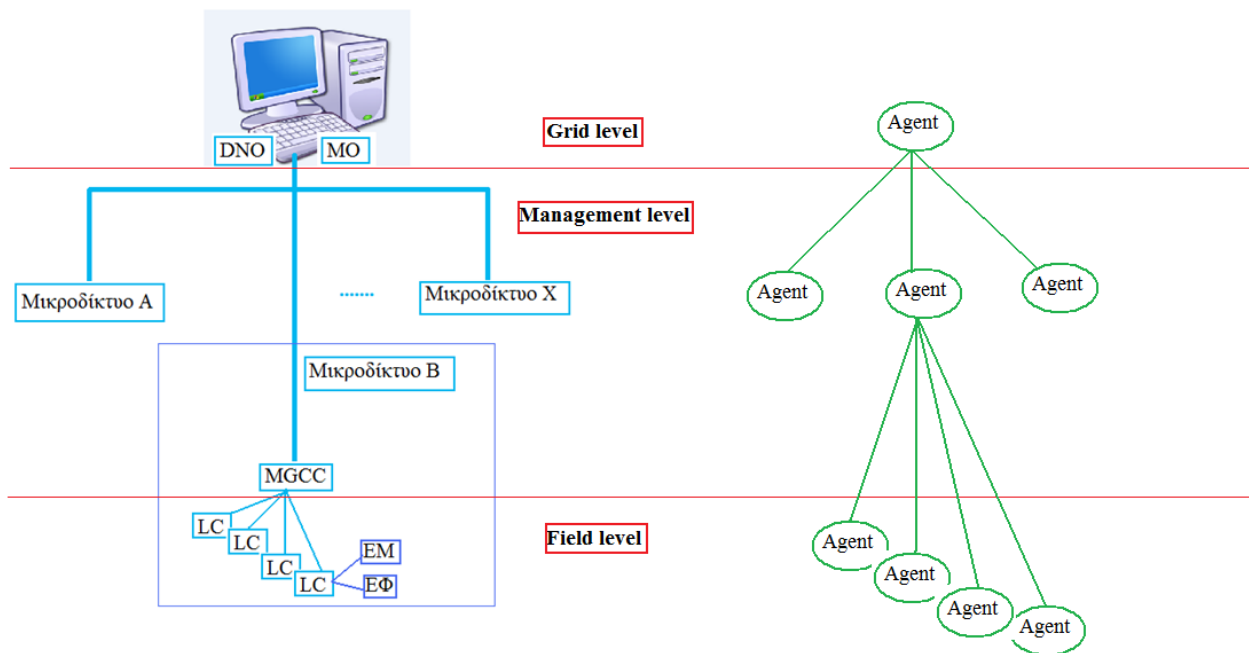
Η ιδέα είναι η απλοποίηση ενός πολύ σύνθετου προβλήματος με μεγάλο αριθμό μεταβλητών, όπως η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός ΣΗΕ με πολλές μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, σε πολλά επί μέρους προβλήματα τα οποία μπορούν να επιλυθούν το κάθε ένα ξεχωριστά, αξιοποιώντας την κατανεμημένη ευφυΐα που υπάρχει 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 ΜΤ 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 [3.13].



Σχήμα 3.5: Αντιστοιχισή 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 [3.13]:

Πίνακας 3.2: Εργασίες πρακτόρων σε κάθε επίπεδο

Επίπεδο Εφαρμογής (Field Level)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Έλεγχος ενεργού άεργου 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

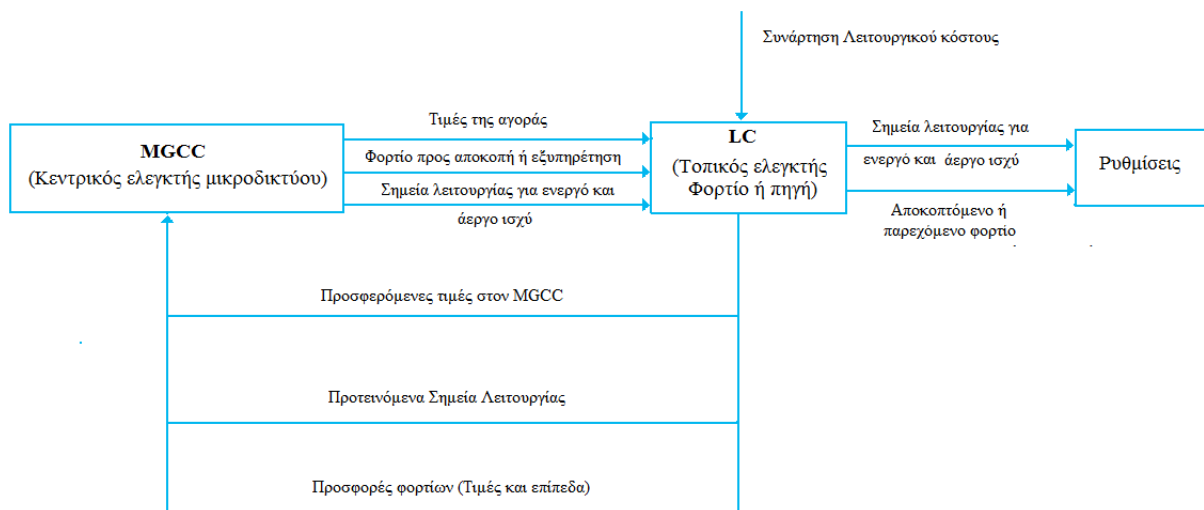
Επιπρόσθετες απαιτήσεις για την ανάπτυξη αυτής της αρχιτεκτονικής, είναι να μην απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στο λογισμικό ελέγχου εξαιτίας της αλλαγής προτεραιοτήτων και λειτουργιών στο μικροδίκτυο ή από την προσθήκη νέων συμμετεχόντων σε αυτό. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει οι πράκτορες να μπορούν 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.

3.6.2 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 άεργου 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.

Το προτεινόμενο σχήμα ροής πληροφορίας μεταξύ του MGCC και των τοπικών ελεγκτών σε ένα μικροδίκτυο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6 [3.13]:



Σχήμα 3.6: Η ροή πληροφορίας μεταξύ του κεντρικού ελεγκτή και των τοπικών ελεγκτών σε ένα μικροδίκτυο

Πιο συγκεκριμένα 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, φερέσυχων 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.

3.6.3 Εφαρμογές αποκεντρωμένου και Κεντρικού ελέγχου λειτουργίας μικροδικτύου

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 αλλάξει 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 ευφών 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 [3.13].

Πίνακας 3.3: Σύνοψη ιδιοτήτων Κεντρικού και Αποκεντρωμένου ελέγχου μικροδικτύων

	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 κρίσιμότερες αποφάσεις ως τμήμα γενικού μοντέλου ελέγχου	Εφικτή	Μη εφικτή προς το παρόν

3.7 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ 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.

3.7.1 Πολιτική 1 – Πολιτική του «καλού πολίτη»

Σύμφωνα με αυτήν την πολιτική ο στόχος της λειτουργίας του MGCC είναι η μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του μικροδικτύου με τον περιορισμό ότι δεν θα εξάγει ενέργεια στο ανάντη δίκτυο. Η πολιτική αυτή αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως «Good Citizen Policy» – «πολιτική του καλού πολίτη» και η αιτιολόγηση είναι ότι το μικροδίκτυο σε περιόδους αιχμής για το δίκτυο, άρα και υψηλών τιμών αφού οι τιμές στο δίκτυο αντανakλούν την κατάσταση του, μειώνει την επιβάρυνση του δικτύου μειώνοντας τη «φαινόμενη» ζήτησή του [3.14][3.13].

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.

3.7.2 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 υποενοότητα. 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 [3.13].

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της παρακάτω παράστασης:

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

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

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

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

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

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

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

Υπάρχει αλλαγή στο ισοζύγιο ισχύος σε σχέση με την αντίστοιχη εξίσωση της υποενότητας 3.7.1 διότι πλέον μπορεί να ανταλλάσσεται ισχύς με το δίκτυο, αρά μπορεί η παραγωγή των μικροπηγών να υπερβαίνει τη ζήτηση του μικροδικτύου. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να ικανοποιείται ο περιορισμός που περιγράφεται από τη σχέση:

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

Σε καμία περίπτωση όμως η παραγόμενη ισχύς από το μικροδίκτυο δεν πρέπει να παραβιάζει ούτε τη συμβολαιοποιημένη ούτε την τεχνικά εφικτή ισχύ που εγγέεται στο ανάντη δίκτυο, ανισότητα. Οι λοιποί περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται είναι ίδιοι με εκείνους της υποενότητας 3.7.1.

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

3.8 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 €/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 [3.15].

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.

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

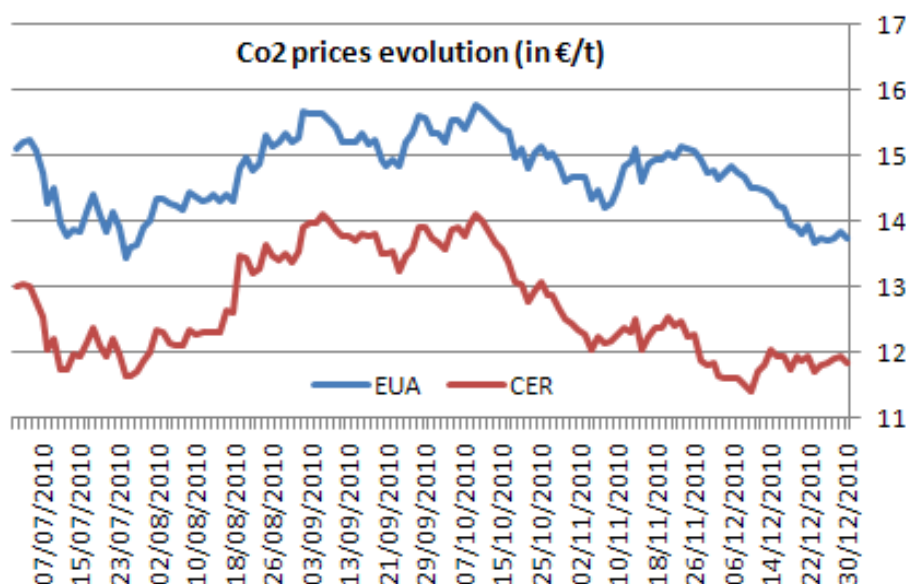
Η δυνατότητα της λειτουργίας του μικροδικτύου με οργανωμένο τρόπο δίνει τη δυνατότητα στους τελικούς του χρήστες να επιδιώκουν την ελαχιστοποίηση των συνολικών ρύπων που εκπέμπονται από το σύστημα και το μικροδίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση η αντικειμενική συνάρτηση είναι η συνάρτηση ελαχιστοποίησης του 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 [3.13].

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 [3.16]. 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 παραγωγών 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: Διακύμανση τιμών Δικαιωμάτων Εκπομπής CO₂ (€/tn) για το 2010

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

$$marginal_cost = operational_cost - Emissions_avoided_param \cdot Emission_cost$$

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.

3.10 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 [3.13].

3.10.1 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:

$$marginal_cost = operational_cost - Emissions_avoided_param \cdot Emission_cost$$

3.10.2 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 $\alpha > 0$, τότε τέτοιου είδους μέθοδοι εγγυώνται την ύπαρξη ολικού βέλτιστου.

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

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

3.11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] Paulo Moises Costa, Manuel A. Matos, J.A. Pecas Lopes, “Regulation of microgeneration and microgrids”, *Energy Policy* 36, 2008.
- [3.2] 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.
- [3.3] Nikos Hatziaargyriou, “MIGROGRIDS – Large Scale Integration of Micro – Generation to Low Voltage Grids”, NTUA, School of Electrical and Computer Engineering, 2000.
- [3.4] D. Pudjiant, G. Strbac, V.O. Frank, A.I.S. Androuso, L. Zigor, J.T. Saraiva, “Investigation of regulatory, commercial, economic and environmental issues in mGrids”, *International Conference on Future Power Systems*, 2005.
- [3.5] M. Philippe, A.F. Dominique, L. Marie – Laure, “Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy”, *Energy Policy* 31, 2003.
- [3.6] Α. Βαβαλάκη, “Επίδραση της τιμολόγησης των ΑΠΕ στα Μικροδίκτυα”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Απρίλιος 2010.
- [3.7] 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.
- [3.8] 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.
- [3.9] Β.Κ. Παπαδιάς, Κ. Βουρνάς, “Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και έλεγχος συχνότητας και τάσεως”, εκδόσεις Συμμετρία, 1991.
- [3.10] Β.Μ. Αργυροπούλου, “Οικονομικά οφέλη Μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής – Στοχαστική προσέγγιση”, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα, Νοέμβριος 2011.
- [3.11] Μ. Παπαδόπουλος, “Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές”, Ε.Μ.Π, Αθήνα 1997.
- [3.12] Electricity Storage Association (ESA)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.electricitystorage.org/>
- [3.13] 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.
- [3.14] 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.

- [3.15] P.S. Rao, “Combined heat and power economic dispatch: a direct solution”, *Elect. Power Components Syst.* 34, 2006.
- [3.16] European Energy Exchange (EEX) (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.eex.com>

ΕΞΥΠΙΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 ευφύως 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.

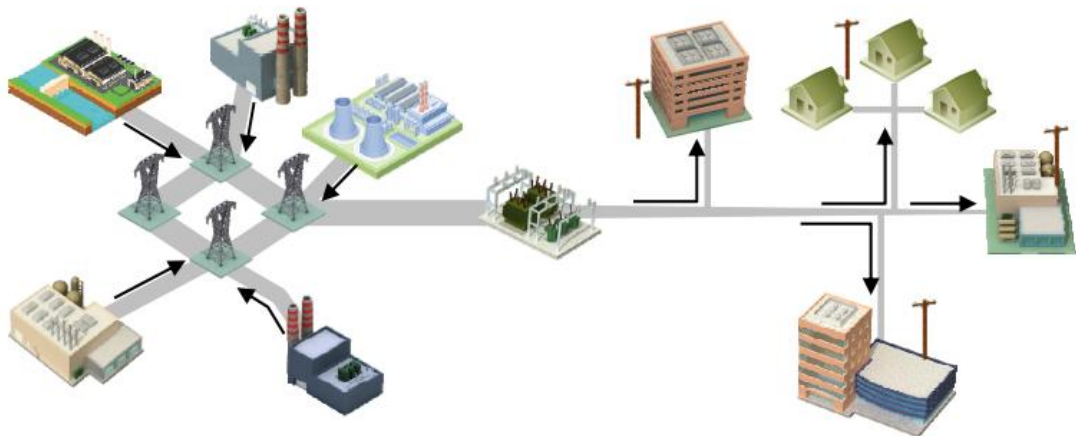
Τα έξυπνα ή ευφυή δίκτυα έχουν ως κύριους άξονες την:

- 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.

4.2 ΔΙΚΤΥΑ ΤΟΥ ΣΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΥΡΙΟ

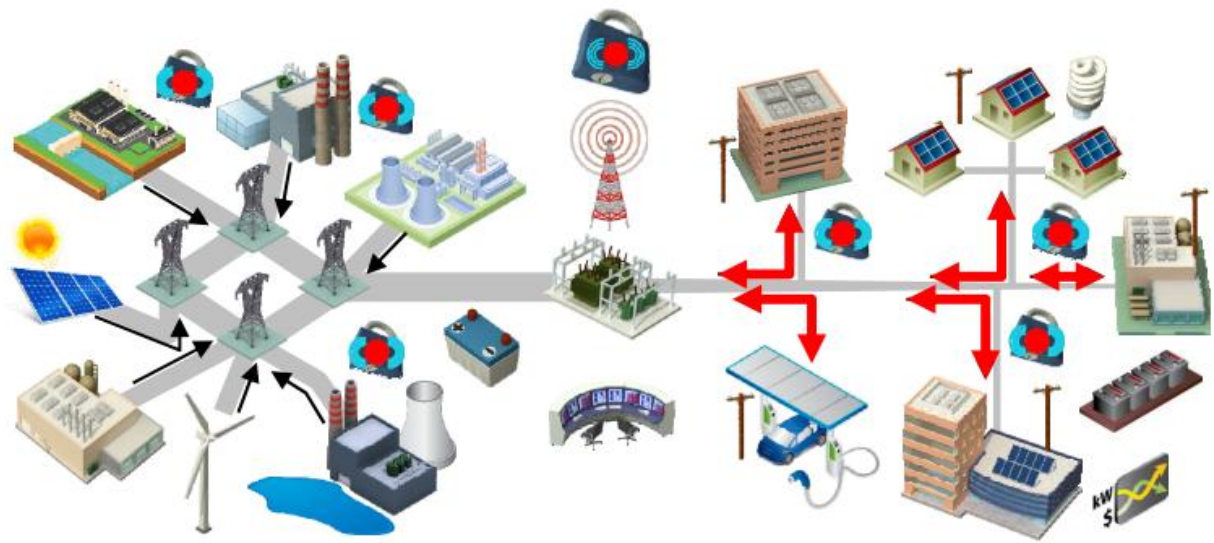
Τα υπάρχοντα δίκτυα στηρίζονται σε μεγάλους κυρίως κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, που συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης. Τα συστήματα μεταφοράς με τη σειρά τους συνδέονται με δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης. Η διανομή και μεταφορά της ενέργειας γίνεται κατά κύριο λόγο μονοπωλιακά από δημόσιους φορείς. Αντιθέτως, όμως, η παραγωγή ενέργειας γίνεται από πολλούς φορείς, που την καθιστούν πλήρως ανταγωνιστική.

Η παροχή ισχύος και ο έλεγχος του δικτύου στα σημερινά δίκτυα, γίνεται από κεντρικές εγκαταστάσεις, με λίγη έως καθόλου συμμετοχή του καταναλωτή. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται υπάρχουν σχεδόν για ένα αιώνα και τα δίκτυα έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν βέλτιστα για τοπική κάλυψη. Τα Ευρωπαϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν πλέον σε ένα μοντέλο αγοράς στο οποίο οι μονάδες παραγωγής διανέμονται σύμφωνα με τις δυνατότητες της κάθε αγοράς και το κέντρο ελέγχου του δικτύου αναλαμβάνει ένα γενικό ρόλο εποπτείας. Οι διασυνδέσεις αναπτύχθηκαν κυρίως για αμοιβαία υποστήριξη μεταξύ χωρών και περιφερειών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ωστόσο, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για εμπορικούς λόγους. Τα δίκτυα διανομής τείνουν να είναι ακτινικά με ροή ισχύος προς μία κατεύθυνση και έχοντας παθητική λειτουργία. Ο κύριος ρόλος τους είναι η παροχή ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές. Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το δίκτυο του σήμερα [4.1].



Σχήμα 4.1: Δίκτυο του σήμερα

Τα μελλοντικά δίκτυα ενδέχεται να έχουν ενεργητικό ρόλο και να εξασφαλίζουν αμφίδρομη ροή ισχύος, καθώς θα επιτρέπουν την ενεργό συμμετοχή του καταναλωτή στην παροχή ηλεκτρισμού. Μεγάλη ποσότητα ηλεκτρισμού, που παράγεται από μεγάλους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, θα προέρχεται από διεσπαρμένη παραγωγή και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ενώ ταυτόχρονα θα πραγματοποιείται ηλεκτρική αποθήκευση για διαχείριση της ζήτησης ενέργειας. Επιβάλλεται λοιπόν η ανανέωση του πεπαλαιωμένου εξοπλισμού και η ενσωμάτωση τεχνολογικών εξελίξεων στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το δίκτυο του αύριο [4.1].



Σχήμα 4.2: Δίκτυο του αύριο

Όπως βλέπουμε και από το παραπάνω σχήμα, στόχος των έξυπνων δικτύων είναι η αειφόρος ανάπτυξη με τη δημιουργία ενός αποδοτικού δικτύου διανομής δίνοντας έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στη διεσπαρμένη παραγωγή. Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί αν ενσωματώσει ευφυώς τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των χρηστών (παραγωγών και καταναλωτών) με σκοπό να διασφαλιστεί αποτελεσματικά η σταθερότητα, η οικονομία και η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Περιλαμβάνει συνδυασμό λογισμικού και υλικού – επιτρέποντας αποτελεσματικότερη ροή ισχύος και δίνοντας την δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν τη ζήτηση ενέργειας .

4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ 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 «έξυπνάδα» στα δίκτυα χρειάζονται ανεξάρτητοι μικροεπεξεργαστές σε κάθε συσκευή του δικτύου. Τα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν εξελιγμένους αισθητήρες (sensors) και ενεργοποιητές (actuators) καθώς και κατανεμημένους υπολογιστές για να βελτιώνουν την απόδοση, την αξιοπιστία και την ασφάλεια τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή. Οι υποβοηθητικές τεχνολογίες των ευφών αυτών δικτύων είναι τα συστήματα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών για τη Διαχείριση της Ζήτησης (DSM/DR – Demand Side Management/Demand Response), οι υπηρεσίες on – line, οι έξυπνοι μετρητές (smart meters), τα ηλεκτρονικά ισχύος και οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Το ηλεκτρικό δίκτυο, ενδέχεται στο μέλλον να πάρει τις διαστάσεις του διαδικτύου (Internet) και μέχρι το 2020 οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας να επιτρέπουν σε όλους πρόσβαση στις υπηρεσίες τους [4.2].

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 υπεραγωγίων γραμμών μεταφοράς για λιγότερες απώλειες. Τα ανεπτυγμένα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών και των κινητήρων σε μεταβλητές στροφές ώστε να αυξάνεται η απόδοση και η ποιότητα της παροχής ισχύος. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι φθηνότερη, ένα έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να ενεργοποιεί συγκεκριμένες οικιακές συσκευές, όπως για παράδειγμα τα πλυντήρια ή ακόμη και ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες, ενώ σε ώρες αιχμής θα μπορούσε να κλείνει επιλεγμένες συσκευές για να μειώσει τη ζήτηση [4.3]. 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 [4.3]:

- 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.

4.3.1 Έξυπνοι μετρητές

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

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

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

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

4.3.2 Αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης

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

Εκτός από την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας το AMR σύστημα παρέχει ένα σύνολο ολοκληρωμένων υπηρεσιών. Μπορεί να απεικονίσει την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (real – time) καθώς οι μετρήσεις λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι μπορεί ο πελάτης να ξέρει ακριβώς τι καταναλώνει και τι πληρώνει και επιπλέον μπορεί να δημιουργηθεί ένα ενεργειακό προφίλ του πελάτη (κτιρίου). Το προφίλ αυτό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πιστοποιητικό που του δίνει αγοραστική δύναμη απέναντι σε μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Το προφίλ αυτό δείχνει τι καταναλώνει ο πελάτης και ποια χρονική στιγμή, συνεπώς αυτό βοηθάει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, τόσο με εντοπισμό «άχρηστων» φορτίων όσο και από αποφυγή ποινών λόγω υψηλών αιχμών στην κατανάλωση. Επιπλέον μπορεί να προσφέρει ακόμα δυνατότητες χειρισμού φορτίου, ανίχνευσης σφαλμάτων στο δίκτυο και έγκαιρης ενημέρωσης του συστήματος αλλά και αξιοπιστία στις μετρήσεις.

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

4.4 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 [4.4].

Οι διασυννοριακές 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.

4.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [4.1] Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid, EPRI, Palo Alto, CA: March 2011. 1022519.
- [4.2] Νίκος Χατζηαργυρίου, Ευφυή δίκτυα διανομής και αυξημένη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής. Αθήνα: ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΕΒΕΑ – εφημερίδα ΑΠΟΓΕΥΜΑΤΙΝΗ ‘ΕΝΕΡΓΕΙΑ και ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ’, 18 Απριλίου 2007.
- [4.3] Wikipedia (ηλεκτρονική διεύθυνση) http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid
- [4.4] GREENPEACE (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.greenpeace.org/greece/el/>

ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

5.1 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 [5.1].

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.

5.2 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 [5.2].

5.2.1 Μεταβλητές συστήματος

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

- Παραγόμενη ενεργός ισχύς, P_G
- Παραγόμενη άεργος ισχύς, Q_G
- Ενεργός ισχύς φορτίου, P_D
- Άεργος ισχύς φορτίου, Q_D
- Μέτρο της τάσης, V
- Φασική γωνία της τάσης, 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 ισχείς 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:

$$P = P_G - P_D \quad (5.1)$$

$$Q = Q_G - Q_D \quad (5.2)$$

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 [5.1]

5.2.2 Εξισώσεις ροών φορτίου

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

$$[\tilde{I}] = [Y] \cdot [\tilde{V}] \Rightarrow \begin{bmatrix} \tilde{I}_1 \\ \tilde{I}_2 \\ \dots \\ \tilde{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_1 \\ \tilde{V}_2 \\ \dots \\ \tilde{V}_n \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Όπου:

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

Η εξίσωση (5.3) 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:

$$\tilde{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\tilde{V}_i^*} \quad (5.4)$$

Για τους διάφορους τύπους ζυγών οι σχέσεις μεταξύ των μεγεθών που περιγράφονται στην εξίσωση (5.4) 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.

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

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

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

$$\tilde{S}_i = P_i + jQ_i = \tilde{V}_i \cdot \tilde{I}_i^* \quad (5.5)$$

Τα εγγεόμενα ρεύματα στο ζυγό i , σύμφωνα με την (5.3), είναι:

$$\tilde{I}_i = \sum_{m=1}^N Y_{im} \cdot \tilde{V}_m \quad (5.6)$$

Με αντικατάσταση της σχέσης (5.6) στη σχέση (5.5), προκύπτει:

$$P_i + jQ_i = \tilde{V}_i \cdot \sum_{m=1}^N Y_{im} \cdot \tilde{V}_m^* = \tilde{V}_i \cdot \sum_{m=1}^N (G_{im} - jB_{im}) \cdot \tilde{V}_m^* \quad (5.7)$$

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

$$\begin{aligned} \tilde{V}_i \cdot \tilde{V}_m^* &= (V_i \cdot e^{j\theta_i}) \cdot (V_m \cdot e^{-j\theta_m}) = V_i \cdot V_m \cdot e^{j(\theta_i - \theta_m)} \\ &= V_i \cdot V_m \cdot [\cos(\theta_i - \theta_m) + j \sin(\theta_i - \theta_m)] \\ &= V_i \cdot V_m \cdot [\cos(\theta_{im}) + j \sin(\theta_{im})] \end{aligned} \quad (5.8)$$

Οπότε, αντικαθιστώντας την (5.8) στη σχέση (5.7) και χωρίζοντας το πραγματικό από το φανταστικό μέρος, οι εξισώσεις για την ενεργό και άεργο ισχύ του ζυγού i διαμορφώνονται ως εξής:

$$P_i = V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \quad (5.9)$$

$$Q_i = V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) \quad (5.10)$$

Οπότε, η ενεργός και η άεργος ισχύς στους ζυγούς είναι συναρτήσεις που εξαρτώνται από τα μέτρα και τις γωνίες όλων των ζυγών. Οι εξισώσεις (5.9) και (5.10) συνιστούν ένα σύστημα από μη γραμμικές εξισώσεις. Η εξίσωση (5.9) εφαρμόζεται τόσο στους ζυγούς φορτίου, όσο και στους ζυγούς παραγωγής, ενώ η (5.10) 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

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - \left(V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \right) \quad (5.11)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - \left(V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) \right) \quad (5.12)$$

Ζυγός i : Ζυγός παραγωγής

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - \left(V_i \cdot \sum_{m=1}^N G_{im} \cdot V_m \cdot \cos(\theta_{im}) + B_{im} \cdot V_m \cdot \sin(\theta_{im}) \right) \quad (5.13)$$

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

Αν 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 βοήθει του αναπτύγματος Taylor και αγνοώντας τους όρους δεύτερης τάξης και άνω, προκύπτουν οι ακόλουθες γραμμικές εξισώσεις:

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Delta Q_{f+1} \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_n} \\ \vdots & (H) & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \theta_n} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial V_n} \\ \vdots & (N) & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial \theta_n} \\ \vdots & (J) & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_n} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial Q_{f+1}}{\partial V_n} \\ \vdots & (L) & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial V_{f+1}} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_2 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Delta V_{f+1} \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

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:

$$H_{ii} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_i} = V_i \cdot \sum_{m \neq i} (G_{im} \sin \theta_{im} - B_{im} \cos \theta_{im}) \cdot V_m \quad (5.16)$$

$$H_{im} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_m} = -V_i \cdot (G_{im} \sin \theta_{im} - B_{im} \cos \theta_{im}) \cdot V_m \quad (5.17)$$

$$J_{ii} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_i} = V_i \cdot \sum_{m \neq i} (G_{im} \cos \theta_{im} + B_{im} \sin \theta_{im}) \cdot V_m = -P_i^{sp} + V_i^2 \cdot G_{im} \quad (5.18)$$

$$J_{im} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_m} = V_i \cdot (G_{im} \cos \theta_{im} + B_{im} \sin \theta_{im}) \cdot V_m \quad (5.19)$$

$$N_{ii} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_i} = -P_i^{sp} - V_i^2 \cdot G_{ii} \quad (5.20)$$

$$N_{im} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_m} = -J_{ii} \quad (5.21)$$

$$L_{ii} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_i} = -Q_i^{sp} + V_i^2 \cdot B_{ii} \quad (5.22)$$

$$L_{im} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_m} = H_{im} \quad (5.23)$$

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:

$$\theta_i^{(k+1)} = \theta_i^{(k)} + \Delta \theta_i^{(k)} \quad (5.24)$$

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \Delta V_i^{(k)} \quad (5.25)$$

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

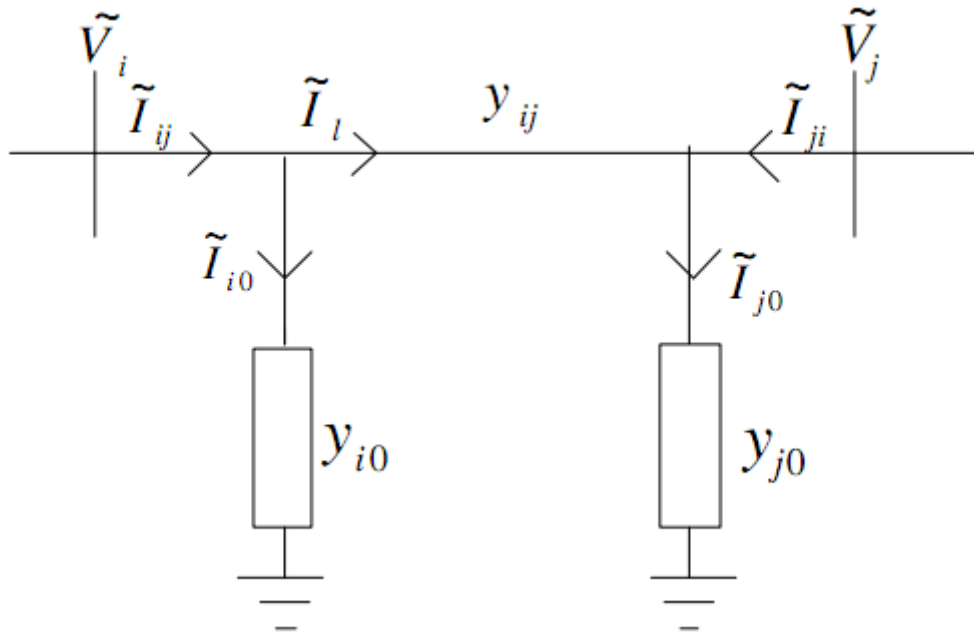
- Για τους ζυγούς φορτίου, όπου οι ισχείς P_i^{sp} και Q_i^{sp} είναι γνωστές, το μέτρο των τάσεων και οι γωνίες των φάσεων τίθενται ίσες με τις τιμές των ζυγών αναφοράς ή 1.0 και 0 αντίστοιχα, δηλαδή $V_i^{(0)} = 1.0$ και $\theta_i^{(0)} = 0$. Για τους ζυγούς PV, όπου τα V_i και P_i^{sp} είναι γνωστά, 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 (5.9) και (5.13) αντίστοιχα.
- Τα στοιχεία του Ιακωβιανού πίνακα (H, N, J, L) υπολογίζονται από τις (5.16) – (5.23).
- Η γραμμική εξίσωση (5.14) λύνεται απευθείας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης και απαλοιφής Gauss.
- Τα νέα μέτρα των τάσεων και οι νέες γωνίες φάσεων υπολογίζονται από τις (5.24) και (5.25).
- 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 [5.3].

5.2.3 Υπολογισμός ροών ισχύος και απωλειών ισχύος

Μετά τη σύγκλιση της προσεγγιστικής μεθόδου επίλυσης του προβλήματος ροής φορτίο, είναι γνωστές οι τιμές των τάσεων κατά μέτρο και γωνία σε όλους τους ζυγούς του συστήματος. Οπότε, πλέον, είναι εφικτό να υπολογιστούν οι ροές ισχύος και οι απώλειες ισχύος σε όλες τις γραμμές του συστήματος. Έστω μια τυπική γραμμή του συστήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 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 Kirckhoff ως εξής:

$$\tilde{I}_{ij} = \tilde{I}_i + \tilde{I}_{i0} = y_{ij} \cdot (\tilde{V}_i - \tilde{V}_j) + y_{i0} \cdot \tilde{V}_i \quad (5.27)$$

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

$$\tilde{I}_{ji} = -\tilde{I}_l + \tilde{I}_{i0} = y_{ij} \cdot (\tilde{V}_j - \tilde{V}_i) + y_{i0} \cdot \tilde{V}_j \quad (5.28)$$

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:

$$\tilde{S}_{ij} = \tilde{V}_i \cdot \tilde{I}_{ij}^* \quad (5.29)$$

$$\tilde{S}_{ji} = \tilde{V}_j \cdot \tilde{I}_{ji}^* \quad (5.30)$$

Οι απώλειες ισχύος της γραμμής υπολογίζονται από το αλγεβρικό άθροισμα των ροών μιγαδικής ισχύος των σχέσεων (5.29) και (5.30) και είναι:

$$\tilde{S}_{Lij} = \tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji} \quad (5.31)$$

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.

$$\tilde{P}_{Ltotal} = \sum Re(\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}) \quad (5.32)$$

$$\tilde{Q}_{Ltotal} = \sum Im(\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}) \quad (5.33)$$

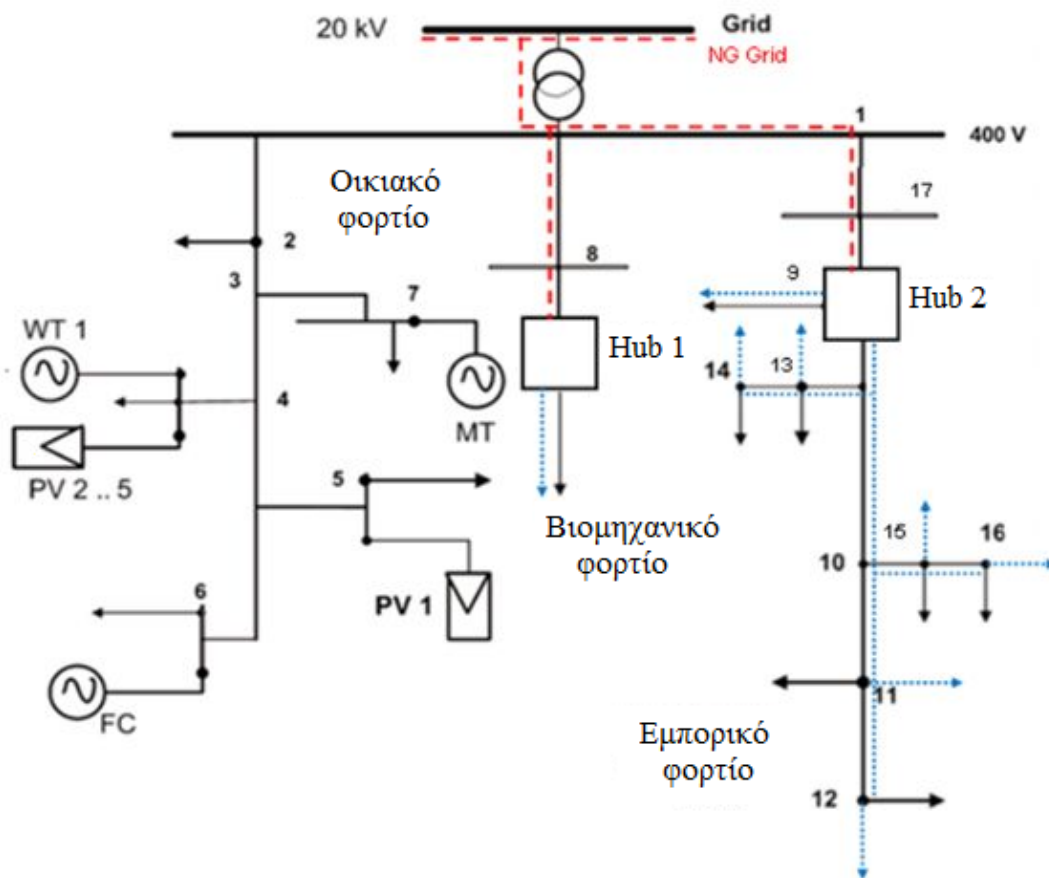
5.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

6.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το δίκτυο του παρακάτω Σχήματος 6.1:



Σχήμα 6.1: 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 τυπικό δίκτυο χαμηλής τάσης, το οποίο αποτελείται από τρεις κλάδους. Κάθε κλάδος εξυπηρετεί διαφορετικό φορτίο και αποτελείται από ένα πλήθος διακλαδώσεων. Συγκεκριμένα, ο πρώτος κλάδος τροφοδοτεί μια αστική περιοχή, ο δεύτερος ένα βιομηχανικό καταναλωτή και η ο τρίτος μια αστική – εμπορική περιοχή.

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

Το δίκτυο φυσικού αερίου είναι ένα συνηθισμένο αστικό δίκτυο, περιορισμένης όμως έκτασης. Παρέχει φυσικό αέριο στους ενεργειακούς διανομείς, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν οι μονάδες συμπαραγωγής και τα Boiler για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των φορτίων. Οι θερμικές ανάγκες του βιομηχανικού φορτίου καλύπτονται απευθείας από τον αντίστοιχο διανομέα (Hub 1), ενώ του εμπορικού φορτίου θεωρήσαμε πως υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα τηλεθέρμανσης. Το δίκτυο τηλεθέρμανσης μεταφέρει την παραγόμενη θερμότητα από το δεύτερο ενεργειακό διανομέα (Hub 2) στα διάφορα απομακρυσμένα φορτία της εμπορικής περιοχής.

Στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί, αναγράφονται τα δεδομένα των γραμμών του δικτύου. Συγκεκριμένα:

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

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

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικές τιμές του δικτύου

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

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

6.1.1 Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής

Στο υπό μελέτη δίκτυο, έχουν εγκατασταθεί στον κλάδο του αστικού φορτίου ποικίλες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, όπως:

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

Η ανεμογεννήτρια είναι της τάξης των 3504kWh/kW εγκατεστημένης ισχύος, με συντελεστή φόρτισης περίπου ίσο με 40%. Η ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι περίπου 15kW και η καμπύλη παραγωγής ισχύος της, προσεγγίζεται από πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού, με τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου να προκύπτουν από μετρήσεις από το νησί της Κρήτης [6.1].

Για τα φωτοβολταϊκά η ετήσια παραγωγή είναι της τάξης των 1500 – 1800 kWh/kWp. Για την παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιήθηκαν κανονικοποιημένες χρονοσειρές από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών ισχύος 1,1kW που είναι εγκατεστημένες στο χώρο του ΕΜΠ στη Ζωγράφου [6.4].

Η διαθεσιμότητα της μικροτουρμπίνας είναι 95% και η απόδοσή της 26%, ενώ η διαθεσιμότητά της κυψέλης καυσίμου είναι 90% και αντίστοιχα η απόδοσή της 45%. Τόσο η μικροτουρμπίνα όσο και η κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιούν ως καύσιμο φυσικό αέριο, του οποίου η θερμογόνο δύναμη είναι 11,15kWh/N·m³ και η τιμή 0,62€/m³ [6.2][6.3].

Θεωρούμε πως όλες οι προαναφερθείσες πηγές παρέχουν στο σύστημα και ενεργό και άεργο ισχύ, οπότε ο συντελεστής ισχύος τους δεν ισούται με τη μονάδα, αλλά δίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 6.2:

Πίνακας 6.2: Συντελεστής ισχύος των μικροπηγών

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

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 κάθε ένα 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 ζυγών, πριν τη ροή φορτίου.

Η συνάρτηση προσφοράς για την παραγωγή και πώληση ενεργού ισχύος από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

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

Όπου:

- P_i : η ενεργός παραγωγή της κάθε μικροπηγής.
- a_i, b_i : το μεταβλητό κόστος παραγωγής των μονάδων.
- c_i : σταθερός όρος για την κατανάλωση καυσίμου.

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.

Συγκεντρωτικά τα δεδομένα (ελάχιστη και μέγιστη παραγόμενη ισχύς και συντελεστές κόστους) για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και οι τιμές κόστους κεφαλαίου και ο χρόνος ζωής των μονάδων του συστήματος δίνονται στους παρακάτω Πίνακες 6.3 και 6.4:

Πίνακας 6.3: Δεδομένα των DG μονάδων και συντελεστές συνάρτησης λειτουργικού κόστους

Μονάδα	Ελάχιστη παραγόμενη ισχύς kW	Μέγιστη παραγόμενη ισχύς kW	c_i €/ct/h	b_i €/ct/kWh	a_i €/ct/kWh ²
MT	6	30	0,01	4,37	0,01
FC	3	30	0,8415	2,41	0,33
WT	0,001	15	0	0	0
PV1	0,001	3	0	0	0
PV2...PV5	0,001	2,5	0	0	0

Πίνακας 6.4: Κόστος κεφαλαίου και χρόνος ζωής μικροπηγών

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

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

$$Emissions_i = Emission_param_i \cdot P_i$$

Όπου:

P_i : η ενεργός παραγωγή της κάθε μικροπηγής.

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

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα καθώς οι εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων είναι αμελητέες σε σύγκριση με το CO₂. Στον πιο κάτω Πίνακα 6.5 δίνονται πληροφορίες για τις εκπομπές του διοξειδίου του

άνθρακα των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής που χρησιμοποιούνται στο προς μελέτη δίκτυο:

Πίνακας 6.5: Τυπικές τιμές εκπεμπόμενων ρύπων από τις τοπικές μονάδες παραγωγής

Μονάδα Ρυπαντές (tn/MWh)	Μικροτουρμπίνα	Κυψέλη Καυσίμου
CO ₂	0,7246	0,4894

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

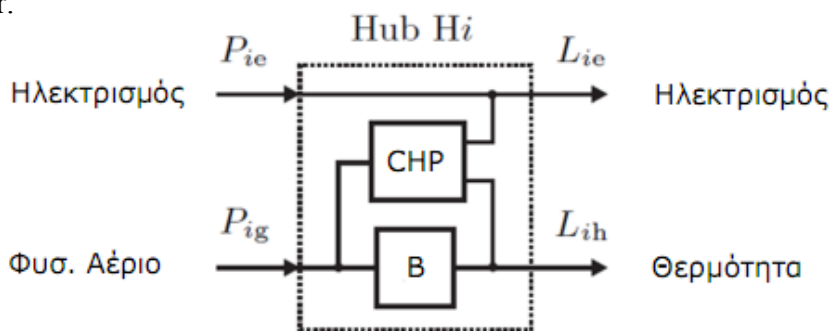
$$Total_cost = active_bid(P_i) + Emissions_i \cdot emissions_cost$$

Όπου:

emissions_cost: είναι η τιμή εμπορίας ρύπων για τον ρύπο ως προς τον οποίο επιδιώκεται η συμμετοχή στο εμπόριο του. Προς το παρόν αφορά μόνο το CO₂ και υπολογίζεται πως είναι 17€/tn CO₂.

6.1.2 Ενεργειακοί διανομείς

Οι δύο ενεργειακοί διανομείς (Hub 1, Hub 2) είναι όμοιοι και απεικονίζονται στο Σχήμα 6.2. Θεωρούμε πως κάθε ενεργειακός διανομέας είναι εφοδιασμένος με μία ηλεκτρική γραμμή μικρού μήκους η οποία συνδέει άμεσα την ηλεκτρική είσοδο με την ηλεκτρική έξοδο, με μία μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), με την οποία επιτυγχάνεται σύζευξη μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου φυσικού αερίου και με ένα Boiler.



Σχήμα 6.2: Ενεργειακοί διανομείς που χρησιμοποιήθηκαν

Για την μοντελοποίηση των μονάδων CHP χρησιμοποιήθηκε η υπάρχουσα μονάδα στο κτίριο των Γ.Ε. του ΕΜΠ, η οποία καταναλώνει φυσικό αέριο. Για να αυξήσουμε κατά το δυνατόν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις που θα ακολουθήσουν, θεωρήσαμε μεταβλητό ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης. Όσον αφορά τα Boiler, χρησιμοποιήσαμε μονάδες του εμπορίου [6.5]. Οι ικανότητές του επιλέχθηκαν έτσι ώστε σε

περίπτωση προβλήματος στα CHP να επαρκούν για την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών της βιομηχανικής και της εμπορικής περιοχής. Η συνάρτηση του λειτουργικού κόστους, καθώς και η συνάρτηση εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα των CHP αλλά 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:

$P_i^{εισόδου}$: η είσοδος φυσικού αερίου στην μονάδα.

P_i : η θερμική ή ηλεκτρική ισχύς εξόδου της μονάδας.

ο θερμικός ή ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, αντίστοιχα με την παραγόμενη ισχύ

n : εξόδου.

Οι συντελεστές κόστους έχουν ληφθεί από τη ΔΕΠΑ για όλο το 2008 [6.6]. Τα χαρακτηριστικά των μονάδων των διανομέων εμφανίζονται στους Πίνακες 6.6, 6.7, 6.8 και 6.9 που ακολουθούν.

Πίνακας 6.6: Χαρακτηριστικά των μονάδων των ενεργειακών διανομέων

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	10	286	Βλ. Πίνακα 6.7	10	3,738	0
Boiler	0	400	80%	0,001	5,098	0

Πίνακας 6.7: Δεδομένα για τους βαθμούς απόδοσης των CHP

Είσοδος Φυσ. Αερίου P_g kW	n_e	n_h
10	0,09	0,43
50	0,14	0,44
100	0,21	0,45
150	0,25	0,45
200	0,25	0,425
250	0,27	0,45
286	0,28	0,47

Πίνακας 6.8: Κόστος κεφαλαίου και χρόνος ζωής των ενεργειακών διανομέων

	Κόστος κεφαλαίου €/kWe	Χρόνος ζωής
Συστήματα συμπαραγωγής	1300	15

Πίνακας 6.9: Τυπικές τιμές εκπεμπόμενων ρύπων από τις τοπικές μονάδες παραγωγής

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

Σημείωση: Από τις τιμές εισόδου του φυσικού αερίου και τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς και θερμικούς βαθμούς απόδοσης, μπορούμε να υπολογίσουμε το μεταβλητό ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης. Αρχικά, υπολογίζουμε τις τιμές εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας. Έπειτα, χρησιμοποιώντας το λογισμικό της MATLAB φτιάχνουμε τη σχέση που συνδέει την έξοδο ηλεκτρισμού με τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης του CHP, τη σχέση που συνδέει τη έξοδο θερμότητας με το θερμικό βαθμό απόδοσης και την σχέση που συνδέει την έξοδο ηλεκτρισμού με την έξοδο θερμότητας του CHP. Πιο αναλυτικά:

Βήμα 1^ο: Υπολογισμός των τιμών εξόδου ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Είσοδος Φυσ. Αερίου P _g kW	n _e	n _h	P _{out_el} (kW)	P _{out_h} (kW)
10	0,09	0,43	0,9	4,3
50	0,14	0,44	7	22
100	0,21	0,45	21	45
150	0,25	0,45	37,5	67,5
200	0,25	0,425	50	85
250	0,27	0,45	67,5	112,5
286	0,28	0,47	80,08	134,42

Βήμα 2^ο: Υλοποίηση κώδικα για εξαγωγή αποτελεσμάτων από το λογισμικό πρόγραμμα της MATLAB.

```

P_gas_in = [10 50 100 150 200 250 286]/1000; % Είσοδες δεδομένων
nge = [0.09 0.14 0.21 0.25 0.25 0.27 0.28]; % Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης
ngh = [0.43 0.44 0.45 0.45 0.425 0.45 0.47]; % Θερμικός βαθμός απόδοσης
CV = 0.01115; % Θερμογόνος δύναμη φυσικού αερίου σε MWh/N.m^3
timi_aeriu = 0.62; % Τιμή καυσίμου φυσικού αερίου σε ευρο/m^3
cost_MWh_eisodou = timi_aeriu/CV; % Υπολογισμός κόστους εισόδου φυσικού αερίου σε ευρο/MWh
for k=1:1:7
Pe_out(k) = P_gas_in(k) * nge(k); % σε MW
Ph_out(k) = P_gas_in(k) * ngh(k); % σε MW
end;
cE1 = polyfit(Ph_out,ngh,5); % Υπολογισμός συντελεστών του
% n_e=cE1_1*P_i^5+ cE1_2*P_i^4+ cE1_3*P_i^3+ cE1_4*P_i^2+ cE1_5*P_i
+cE1_6 n_e
cE2 = polyfit(Ph_out,ngh,3); % Υπολογισμός συντελεστών του
% n_h=cE2_1*P_i^3+ cE2_2*P_i^2+ cE2_3*P_i+cE2_4 n_h
cElect=polyfit(Ph_out,Pe_out,5); % Υπολογισμός συντελεστών του
% P_out_h=cElect_1*P_i^5+ cElect_2*P_i^4+ cElect_3*P_i^3+ cElect_4*P_i^2+
cElect_5*P_i+cElect_6 P_out_e

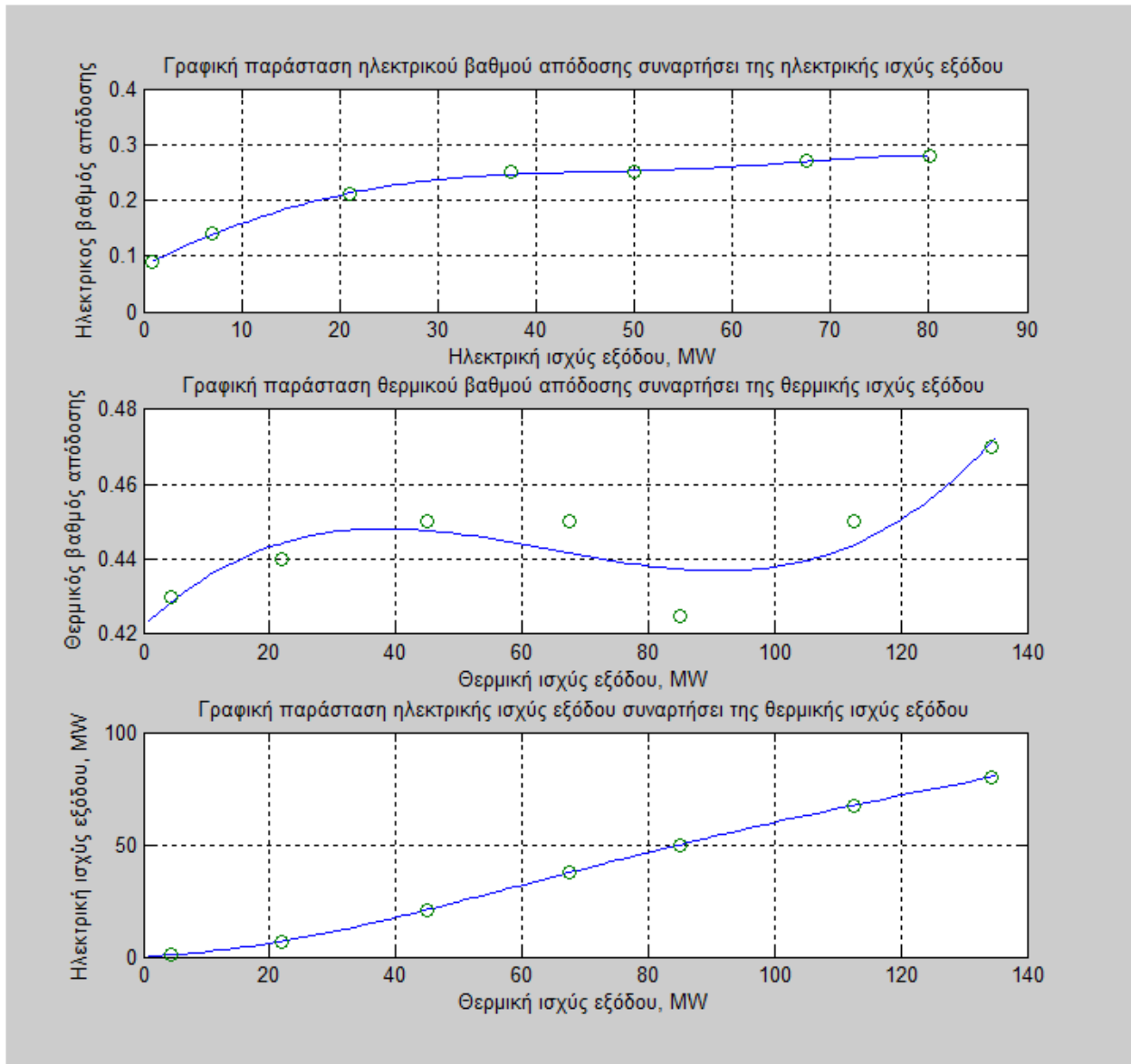
```

Βήμα 3: Εξαγωγή γραφικής αναπαράστασης αποτελεσμάτων.

```

x=linspace(1,80) % Διαμερίζουμε ομοιόμορφα το διάστημα
[1MW, 80MW] της ηλεκτρικής ισχύς εξόδου,
t=linspace(1,135) % Διαμερίζουμε ομοιόμορφα το διάστημα
[1MW, 135MW] της θερμικής ισχύς εξόδου
ne = polyval(cE1,x) % Υπολογισμός του βαθμού απόδοσης, n_e , για
τις διάφορες τιμές της ηλεκτρικής ισχύς εξόδου
nh = polyval(cE2,t) % Υπολογισμός του βαθμού απόδοσης, n_h , για
τις διάφορες τιμές της ηλεκτρικής ισχύς εξόδου
Elect=polyval(cElect,t); % Υπολογισμός της ηλεκτρικής ισχύς εξόδου,
για τις διάφορες τιμές της θερμικής ισχύς
εξόδου
subplot(3,1,1); plot(x,ne, Pe_out,nge, '*') % Κατασκευή γραφήματος f(x)=ne
subplot(3,1,2); plot(t,nh, Ph_out,ngh, '*') % Κατασκευή γραφήματος f(x)=nh
subplot(3,1,3); plot(t,Elect, Ph_out,Pe_out, '*') % Κατασκευή γραφήματος f(x)=Elect

```



6.1.3 Φορτία ζήτησης

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

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

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

Όπου:

TL_{th} : Το συνολικό θερμικό φορτίο

TL_{el} : Το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο

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

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

και

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

Όπου:

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

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

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

6.1.4 Ανάντη δίκτυο

Στην περίπτωση που η παραγόμενη ισχύς από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν επαρκεί για την κάλυψη των φορτίων, θα πρέπει να εισάγουμε ισχύ από το δίκτυο. Για να έχουμε πιο ρεαλιστική απεικόνιση της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας στην οποία λειτουργεί το δίκτυο ΧΤ, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες Οριακές Τιμές του ελληνικού Συστήματος (ΟΤΣ), όπως δίνονται από το ΔΕΣΜΗΕ και αναφέρονται σε όλο το 2008 [6.7].

6.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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

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

Λειτουργία του δικτύου χωρίς διανεμημένη παραγωγή, όλη δηλαδή η ζήτηση ικανοποιείται από το ανάντη δίκτυο. Επιπλέον, οι ενεργειακοί διανομείς έχουν σε λειτουργία μόνο τη μονάδα Boiler, ενώ η μονάδα CHP είναι εκτός. Το σενάριο αυτό θα αποτελέσει τη βάση σύγκρισης για όλα τα υπόλοιπα σενάρια τα οποία θα εξεταστούν.

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

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

Το σενάριο αυτό μελετήθηκε υπό τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας των ενεργειακών διανομέων:

- I. Βέλτιστη λειτουργία του ενεργειακού διανομέα, χωρίς δυνατότητα απόρριψης ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Ο κάθε διανομέας ικανοποιεί με βέλτιστο οικονομικά τρόπο τις ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες στον κλάδο στον οποίο βρίσκεται (*Local_optimization*).
- II. Κάλυψη του θερμικού φορτίου από τον σταθμό συμπαραγωγής. Αν το θερμικό φορτίο ξεπερνά τη δυναμικότητα της μονάδας CHP, τότε συμπληρώνεται από την μονάδα παραγωγής του Boiler. Αφού καθοριστεί η θερμική παραγωγή της μονάδας συμπαραγωγής, υπολογίζεται η ηλεκτρική παραγωγή, όπως εξεζητήθηκε στην υποενότητα 6.1.2. Εάν πάλι απαιτείται περισσότερη ηλεκτρική ισχύς, τότε αυτή εισάγεται από το ανάντη δίκτυο. Σε περίπτωση που η ηλεκτρική παραγωγή της μονάδας CHP ξεπερνά την ζήτηση του κλάδου, τότε η περίσσεια απορρίπτεται (*Heat_Match*).
- III. Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου από τον σταθμό συμπαραγωγής. Αν το ηλεκτρικό φορτίο ξεπερνά τη δυναμικότητα της μονάδας CHP, τότε εισάγεται

ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Ακολούθως, υπολογίζεται η θερμική παραγωγή της μονάδας συμπαραγωγής. Εάν απαιτείται περισσότερη θερμική ισχύς, τότε αυτή δίνεται από την μονάδα του Boiler. Εάν πάλι η θερμική παραγωγή ξεπερνά την ζήτηση του κλάδου, τότε η περίσσεια απορρίπτεται (*Electricity_Match*).

▪ **Σενάριο 3: Λειτουργία μικροδικτύου.**(*Microgrid scenario*)

Λειτουργία μικροδικτύου με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου. Όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι παρούσες, αλλά αυτή τη φορά λειτουργούν συντονισμένα και κατά βέλτιστο τρόπο. Οι ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν συντονισμένα, εξυπηρετώντας τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία.

Το σενάριο αυτό μελετήθηκε υπό ποικίλους τρόπους λειτουργίας και διάφορες πολιτικές συμφερόντων. Συγκεκριμένα μελετήθηκε σύμφωνα με:

- I. Την πολιτική του καλού πολίτη. Σύμφωνα με την πολιτική αυτή, στόχος της λειτουργίας του μικροδικτύου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής με τον περιορισμό ότι δεν θα εξάγει ενέργεια στο ανάντη δίκτυο (*Good Citizen Policy*).
- II. Την ελαχιστοποίηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή την υιοθέτηση περιβαλλοντικής πολιτικής και πάλι με τον περιορισμό ότι δεν θα εξάγεται ενέργεια στο ανάντη δίκτυο (*CO₂ emissions*).
- III. Την ελαχιστοποίηση του ολικού κόστους, δηλαδή του αθροίσματος του κόστους λειτουργίας και του κόστους των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (*Total_cost*).
- IV. Την πολιτική του ιδανικού πολίτη. Σε αυτήν την πολιτική υπάρχει ένας πάροχος ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Service Provider) ο οποίος διαχειρίζεται το μικροδίκτυο προσπαθώντας να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του ανταλλάσσοντας ενέργεια με το δίκτυο και χρεώνοντας τους καταναλωτές μέσα στο μικροδίκτυο με τις τιμές της αγοράς. 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*).

Σημείωση: Στο σενάριο 3, όπου έχουμε λειτουργία μικροδικτύου, οι μονάδες ανανεώσιμης παραγωγής ενέργειας (ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά) χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα και δεν υπόκεινται σε περιορισμό, με άλλα λόγια τροφοδοτούν τα φορτία με όση ισχύ έχουν διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή και έπειτα μελετώνται οι υπόλοιπες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

Τα σενάρια 2 και 3 μελετήθηκαν για διάφορα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής και συγκεκριμένα για εγκατεστημένη ισχύ από 88kW έως 151kW. Συγκεκριμένα σε κάθε βήμα διείσδυσης προστίθενται 5kW αιολικής παραγωγής, 3kW φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ζυγό 5 και 2,5kW φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ζυγό 4. Επομένως, σε κάθε βήμα διείσδυσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ αυξάνεται με βήμα 10,5kW. Το Σενάριο 3 – IV μελετήθηκε για ακόμη μεγαλύτερη διείσδυση εγκατεστημένης ισχύς, από 88kW – 234kW.

6.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια υλοποιήθηκαν διαφορετικά προβλήματα, τα οποία αναπτύχθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Στη συνέχεια περιγράφεται και εξηγείται 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: DG + CHP scenario

Στο *DG + CHP scenario* όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής είναι παρούσες και λειτουργούν ανεξάρτητα, καλύπτοντας τις ανάγκες των φορτίων τοπικά. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Εισάγονται αρχικά τα στοιχεία των γραμμών (linedata) του εξεταζόμενου συστήματος, η ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων (P_{Load}) και η οριακή τιμή του συστήματος (ΟΤΣ), ανά ώρα για όλο το έτος.
- Εισάγεται η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (P_{GPV} , P_{GWT}) (φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριας).
- Καθορίζεται το βήμα διείσδυσης (10,5kW) των ΑΠΕ (28kW, 38,5kW, 49kW, 59,5kW, 70kW, 80,5kW, 91kW) και υπολογίζεται εκ νέου η μέγιστη παραγωγή τους.
- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών (TL_{th}), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε στην υποενότητα 6.1.3.
- Υπολογίζεται η άεργος ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων (Q_{Load}).
- Υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τοπικά από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των ζητούμενων φορτίων του αστικού κλάδου. Αν το ζητούμενο φορτίο είναι μεγαλύτερο από το τεχνικό μέγιστο της μονάδας, τότε η μονάδα τίθεται σε μέγιστη λειτουργία και η υπόλοιπη ζήτηση καλύπτεται από το ανάντη δίκτυο. Αν το ζητούμενο φορτίο είναι μικρότερο από το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας, τότε η μονάδα τίθεται σε ελάχιστη λειτουργία και η ενέργεια που δεν καταναλώνεται από το τοπικό φορτίο, χάνεται στο σύστημα.
- Υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που παράγονται από τους ενεργειακούς διανομείς στον βιομηχανικό και εμπορικό κλάδο. Κάθε ενεργειακός διανομέας καλύπτει τα φορτία του κλάδου στον οποίο συνδέεται. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του ενεργειακού διανομέα και της μονάδας συμπαραγωγής, *Local_Optimization*, *Heat_Match* ή *Electricity_Match* υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική παραγωγή. Συγκεκριμένα για:

– ***Local_Optimization***

Πραγματοποιείται βελτιστοποίηση των μονάδων CHP και Boiler, των ενεργειακών διανομέων, για οικονομικότερη κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων των ζυγών. Η οικονομική βελτιστοποίηση υλοποιείται μέσα από 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.

Σενάριο 3: Microgrid scenario

Στο *Microgrid scenario* όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και οι ενεργειακοί διανομείς λειτουργούν συντονισμένα και κατά βέλτιστο τρόπο. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Εισάγονται αρχικά τα στοιχεία των γραμμών (linedata) του εξεταζόμενου συστήματος, η ζήτηση των ηλεκτρικών φορτίων (P_{Load}) και η οριακή τιμή του συστήματος (ΟΤΣ), ανά ώρα για όλο το έτος.
- Εισάγεται η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (P_{GPV} , P_{GWT}) (φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριας).
- Καθορίζεται το βήμα διείσδυσης (10,5kW) των ΑΠΕ (28kW, 38,5kW, 49kW, 59,5kW, 70kW, 80,5kW, 91kW) και υπολογίζεται εκ νέου η παραγωγή τους.
- Υπολογίζεται το θερμικό φορτίο των ζυγών (TL_{th}), ανά ώρα, για όλο το έτος, όπως καθορίστηκε στην υποενότητα 6.1.3.
- 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:

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

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

$$Tεχνικό_ελάχιστο \leq x_i \leq Tεχνικό_μέγιστο$$

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

– *CO₂_emissions*

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$f(x) = CO_{2emissions} = \sum_{i=1}^N Emissions_i + EX = \sum_{i=1}^N (Emission_param_i \cdot x_i) + EX$$

Όπου:

x_i : η παραγωγή ενέργειας από την i μικροπηγή σε MWh.

$Emission_param_i$: τυπική τιμή των εκπομπών CO₂ της i μικροπηγής σε tn/MWh.

X : η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο σε MWh.

E : τυπική τιμή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από λιγνιτική μονάδα σε tn/MWh.

Περιορισμοί:

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

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

$$Tεχνικό_ελάχιστο \leq x_i \leq Tεχνικό_μέγιστο$$

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

– *Total_cost*

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$f(x) = Total_{cost} = cost + emissions_{cost} \cdot CO_{2emissions}$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i) + AX + emissions_{cost} \cdot \left[\sum_{i=1}^N (Emission_param_i \cdot x_i) + EX \right]$$

Όπου:

$emissions_{cost}$: είναι η τιμή εμπορίας ρύπων για τον ρύπο ως προς τον οποίο επιδιώκεται η συμμετοχή στο εμπόριο του. Προς το παρόν αφορά μόνο το CO₂ και υπολογίζεται πως είναι 17€/tn CO₂.

x_i : η παραγωγή ενέργειας από την i μικροπηγή 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.

X : η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο σε MWh.

A : είναι οι τιμές αγοράς ενέργειας σε €.

$Emission_param_i$: τυπική τιμή των εκπομπών CO₂ της i μικροπηγής σε tn/MWh.

E : τυπική τιμή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από λιγνιτική μονάδα σε tn/MWh.

Περιορισμοί:

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

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

$$T_{εχνικό_ελάχιστο} \leq x_i \leq T_{εχνικό_μέγιστο}$$

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

– *Ideal Citizen Policy*

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$f(x) = Revenues = A \left[\sum_{i=1}^N x_{i_ηλεκτρική} + P_{PV} + P_{WT} \right] - \sum_{i=1}^N active_bid(x_i)$$

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:

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

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

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

$$T_{\text{τεχνικό_ελάχιστο}} \leq x_i \leq T_{\text{τεχνικό_μέγιστο}}$$

$$X \Rightarrow \text{επιτρέπεται η αμφίδρομη ροή ισχύος}$$

- Από την επίλυση της Οικονομικής Κατανομής, για κάθε ένα από τα σενάρια του μικροδικτύου, υπολογίζονται η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που πρέπει να εγχέεται στο μικροδίκτυο από την κάθε μονάδα.
- Κατασκευάζονται ο πίνακας των στοιχείων των ζυγών (busdata) και η μήτρα αγωγιμοτήτων ([Y]), τα οποία είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson.
- Από την εφαρμογή της μεθόδου Newton – Raphson για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου, υπολογίζονται οι απώλειες ενεργού ισχύος (Losses) στις γραμμές μεταφοράς.

- Υπολογίζονται οι εκλυόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (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.
- Για το σενάριο *Ideal Citizen Policy* υπολογίζεται το κέρδος (Revenues) του παρόχου ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Service Provider), η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και η έντοκος περίοδος αποπληρωμής (DPB).

Σημείωση: Η καθαρή παρούσα αξία (NPV) είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένα συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας της επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται από την εξίσωση:

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

$$KTP_t = E\Sigma_t - E\Xi_t = Revenues$$

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

$E\Xi_t$: 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.

Η έντοκος περίοδος αποπληρωμής (DPB), είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης. Προσδιορίζεται από τη λύση της αρχικής εξίσωσης $NPV(N = DPB) = 0$, ως προς N, που τελικά είναι:

$$DPB = \frac{\ln\left(-\frac{KTP - k \cdot YA_N}{k \cdot K_0 - KTP}\right)}{\ln(1+k)}$$

Η επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη όταν η τιμή DPB ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς το χρόνο αποπληρωμής.

6.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του λογισμικού που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των μεγεθών του δικτύου υπό την επίδραση των διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας. Το λογισμικό υλοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού της Matlab, ενώ για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε γραφικό περιβάλλον (GUIDE - Graphical User Interface Design Environment).

6.4.1 Το επιστημονικό λογισμικό Matlab

Η Matlab είναι ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο μαθηματικό λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιείται σε πανεπιστημιακά μαθήματα αλλά και σε ερευνητικές και άλλες εφαρμογές με επιστημονικούς υπολογισμούς. Το όνομά της προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων MATrix LABoratory, καθώς αποθηκεύει και κάνει τις πράξεις με βάση την άλγεβρα πινάκων. Η Matlab είναι ένα διαδραστικό πρόγραμμα για αριθμητικούς υπολογισμούς με δυνατότητες προγραμματισμού, που το καθιστούν ένα ισχυρό και χρήσιμο εργαλείο στις μαθηματικές φυσικές επιστήμες.

Όπως υποδηλώνει και το όνομά της, η Matlab είναι ειδικά σχεδιασμένη για υπολογισμούς με πίνακες, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κ.α. Επιπλέον το πακέτο αυτό είναι εφοδιασμένο με πολλές επιλογές για την κατασκευή γραφικών παραστάσεων και περιλαμβάνει προγράμματα γραμμένα στη δική του γλώσσα προγραμματισμού για την επίλυση άλλων προβλημάτων όπως η εύρεση των ριζών μη γραμμικής εξίσωσης, η επίλυση μη γραμμικών συστημάτων, η επίλυση προβλημάτων αρχικών τιμών με συνήθεις διαφορικές εξισώσεις κ.α.

Η γλώσσα προγραμματισμού της Matlab δίνει την ευχέρεια στο χρήστη να το επεκτείνει με δικά του προγράμματα. Αξίζει να σημειωθεί πως η Matlab είναι σχεδιασμένη για την αριθμητική πεπερασμένης ακρίβειας (finite – precision arithmetic), δηλαδή δεν βρίσκει την ακριβή αλλά μια προσεγγιστική λύση του προβλήματος. Αυτή είναι και η βασική της διαφορά από τα συστήματα συμβολικών υπολογισμών όπως Maple και το Mathematica [6.8].

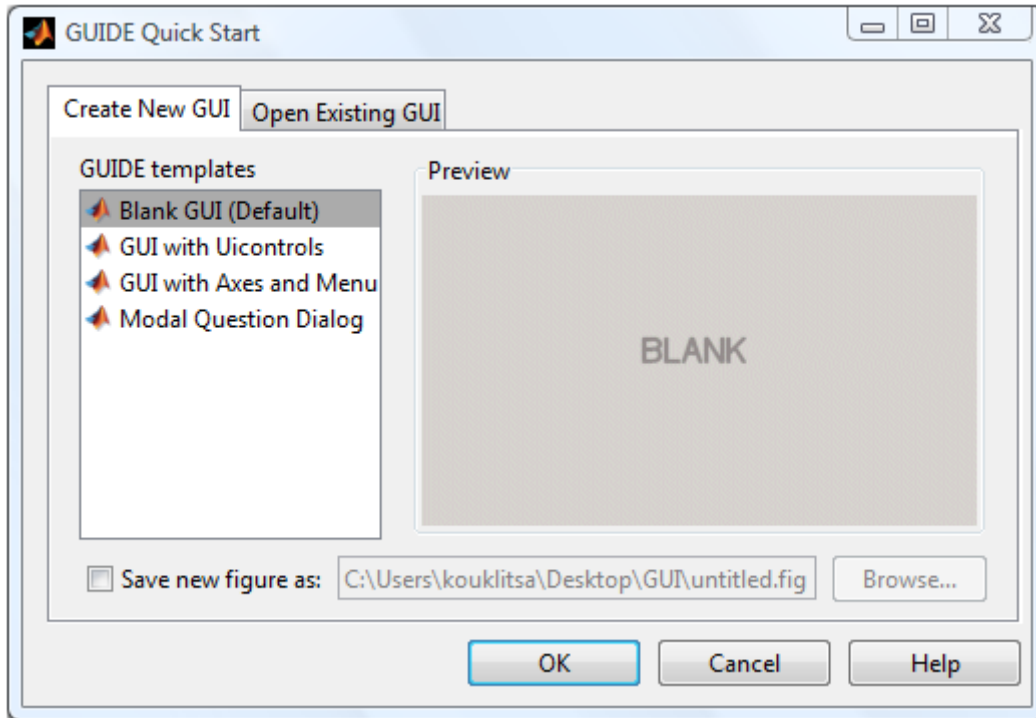
Μερικά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά της Matlab είναι τα εξής [6.9]:

- Προγραμματισμός σε γλώσσα scripting που μοιάζει πολύ με τη γλώσσα C. Τα αρχεία script έχουν την κατάληξη *.m.

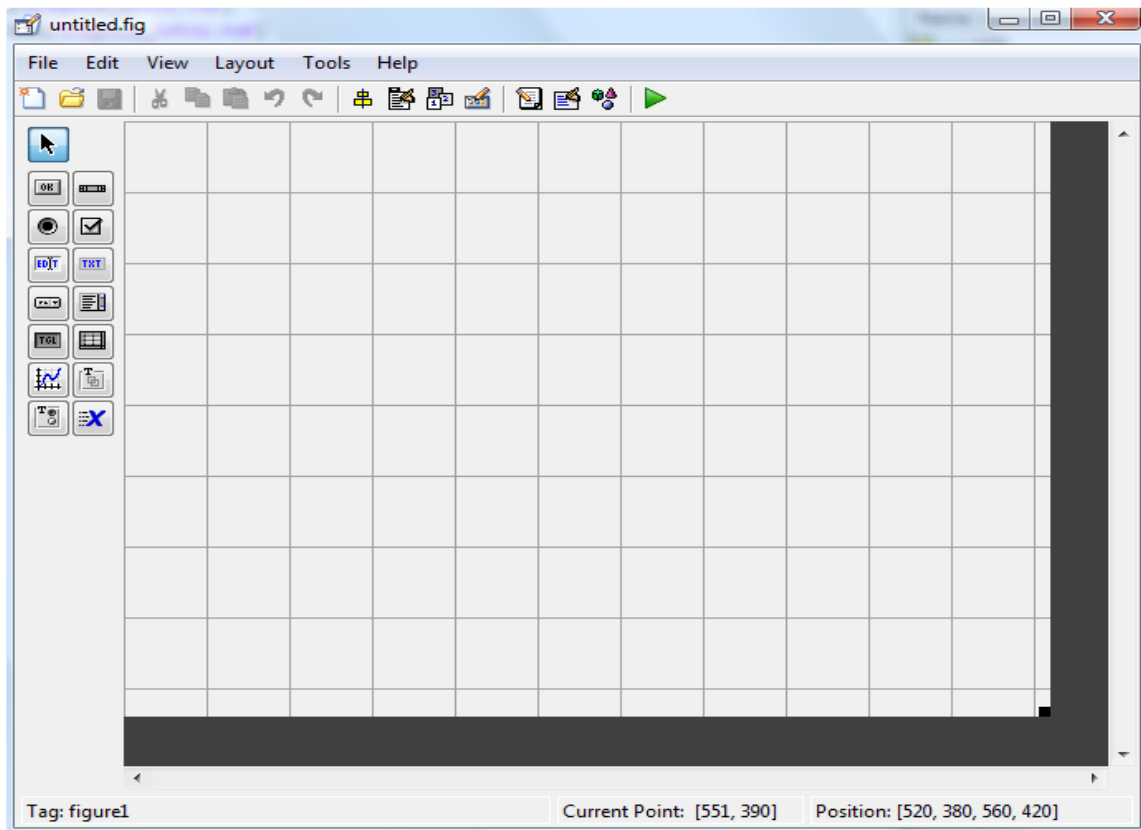
- Δυνατότητα δημιουργίας αρχείων exe με χρήση compiler.
- Εύκολη διαχείριση πινάκων (matrices) και διανυσμάτων (vectors).
- Ολοκληρωμένο περιβάλλον editor/debugger (medit.exe). Καλείται από το κεντρικό παράθυρο της Matlab όταν ανοίγεται ή δημιουργείται ένα νέο αρχείο, μπορεί όμως να εκτελεστεί και ως ανεξάρτητο πρόγραμμα.
- Ποικίλες δυνατότητες δημιουργίας γραφικών παραστάσεων 2 και 3 διαστάσεων εύκολα και γρήγορα. Προχωρημένες δυνατότητες όπως 3D φωτισμός, αλλαγή οπτικής γωνίας, δημιουργία εικονοσειρών κ.α.
- Γραφικός προγραμματισμός. Δυνατότητα σχεδιασμού παραθύρων, κουμπιών, γραφικών μενού κ.α. Πλήρης γκάμα επιλογών για σχεδιασμό γραφικών διεπιφανειών χρήστη (Graphical User Interfaces).
- Εξαιρετικό εργαλείο βοήθειας Help. Το εργαλείο Help της Matlab είναι πλήρες, λεπτομερές, εύχρηστο και εύκολο στην αναζήτηση της πληροφορίας που χρειάζεται ο χρήστης, ενώ περιέχει παραδείγματα και demos.

6.4.2 Το γραφικό περιβάλλον (GUI) της Matlab

Η Matlab δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάσει δικές του γραφικές διεπιφάνειες (Graphical User Interfaces). Η χρησιμοποίηση αυτής της λειτουργίας είναι μεγάλη, επειδή τα προγράμματα – εφαρμογές που περιέχουν γραφική διεπιφάνεια γίνονται φιλικά στον τελικό χρήστη. Η Matlab διαθέτει μια ικανοποιητική εργαλειοθήκη, η οποία διευκολύνει πολύ τη δημιουργία μιας γραφικής διεπιφάνειας χρήστη. Αυτή η εργαλειοθήκη ή αλλιώς GUIDE, περιέχει μια πληθώρα χρήσιμων εργαλείων ελέγχου, όπως κουμπιά και πλαίσια. Η εκκίνηση του GUIDE γίνεται εύκολα με δύο τρόπους. Πρώτον, με την κλήση της ομώνυμης συνάρτησης από το παράθυρο εντολών της Matlab (`>>guide`). Δεύτερον, επιλέγοντας από τη γραμμή μενού `File→New→GUI`. Στη συνέχεια, ο οδηγός ρωτάει το χρήστη αν θέλει να δημιουργήσει ένα κενό παράθυρο (Blank GUI), ένα παράθυρο βασισμένο σε κάποια πρότυπα ή να ανοίξει ένα έτοιμο παράθυρο (Σχήμα 6.3). Στη συνέχεια, αν ο χρήστης αφήσει την προεπιλεγμένη επιλογή “Blank GUI”, θα ανοίξει ένα άδειο παράθυρο, στο οποίο μπορεί να δημιουργήσει το δικό του GUI (Σχήμα 6.4).

















Σχήμα 6.3: Διαθέσιμες επιλογές για τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος






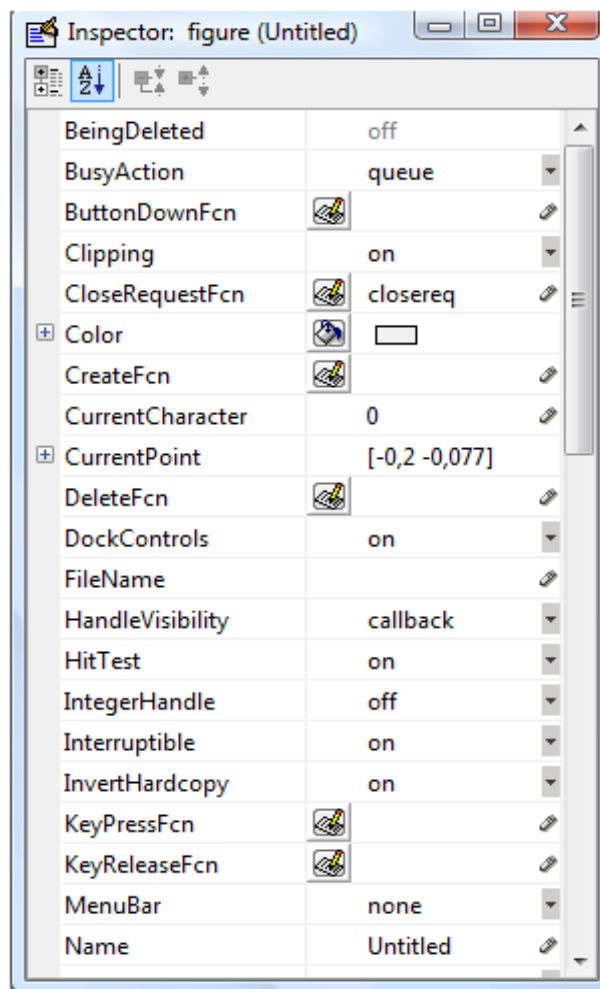
Σχήμα 6.4: Περιβάλλον και εργαλεία για τη δημιουργία GUI

Ακολουθώς, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.4, ο χρήστης μπορεί να δει ότι το περιβάλλον δημιουργίας του παραθύρου αποτελείται από μία κεντρική γραμμή επιλογών, μια γραμμή εργαλείων και μία κάθετη εργαλειοθήκη στα αριστερά. Η γκριζα περιοχή με το πλέγμα είναι το φόντο του παραθύρου. Η κάθετη εργαλειοθήκη περιέχει 14 αντικείμενα (objects) με τα οποία μπορεί να εμπλουτίσει το γραφικό του περιβάλλον:

1. *Push button*  : ορθογώνιο κουμπί, αφού πατηθεί εκτελεί μια επιθυμητή λειτουργία.
2. *Slider*  : δίνει τη δυνατότητα να μεταβάλει ο χρήστης κάποια μεταβλητή με τη βοήθεια μιας μπάρας μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής. Συνοδεύει κάποιο κείμενο ή γράφημα. Η μπάρα μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κάθετη.
3. *Radio Button*  : στρογγυλό κουμπί με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μόνο μια επιλογή από ένα πλήθος επιλογών. Διαλέγοντας μια, αναιρείται κάποια άλλη.
4. *Check Box*  : δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να διαλέξει μια ή περισσότερες επιλογές.
5. *Edit Text*  : είναι ένα πεδίο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να μορφοποιήσει αλφαριθμητικά δεδομένα. Μπορεί να γίνει εισαγωγή κειμένου μονής ή πολλαπλής γραμμής.
6. *Static Text*  : προβάλλει στην οθόνη μια γραμμή κειμένου. Το κείμενο αυτό δε μπορεί να το επεξεργαστεί ο χρήστης του λογισμικού.
7. *Pop-up Menu*  : παρέχει στο χρήστη μια λίστα επιλογών που ανοίγει όταν πατηθεί με το ποντίκι.
8. *List Box*  : παρέχει στο χρήστη μια λίστα ενός ή περισσότερων επιλογών που παραμένει ανοιχτή. Όταν υπάρχουν πολλές επιλογές εμφανίζεται αυτόματα μια μπάρα.
9. *Toggle Button*  : δίνει τη δυνατότητα επιλογής ή όχι μιας λειτουργίας.
10. *Table*  : παρέχει στο χρήστη επιλογές σε μορφή πίνακα.
11. *Axes*  : δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει μια γραφική παράσταση στο παράθυρο.
12. *Panel*  : χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση πολλών στοιχείων ελέγχου.
13. *Button Group*  : είναι σαν το panel αλλά επιδρά αυτόματα στην ομαδοποίηση των radio buttons και toggle buttons.
14. *ActiveX control*  : αντικείμενο ελέγχου ActiveX

Η εισαγωγή των παραπάνω αντικειμένων στο παράθυρο είναι απλή και γίνεται με απλό σύρσιμο (drag and drop). Ειδικά τα αντικείμενα push button, radio button, slider, edit

text, static text, list box, pop-up menu, check box και toggle button ανήκουν στην κατηγορία των στοιχείων ελέγχου (uicontrols). Ο χρήστης μπορεί να εισάγει όσες φορές θέλει το κάθε αντικείμενο στο παράθυρο. Μέσω του object browser  βλέπει πόσα και ποια αντικείμενα υπάρχουν στο συγκεκριμένο παράθυρο της εφαρμογής του και επιλέγοντάς τα βλέπει τη θέση τους. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να στοιχίσει κάθετα ή οριζόντια όποια στοιχεία ελέγχου επιθυμεί μέσω του εικονιδίου align objects . Χρησιμοποιώντας τον property inspector (Σχήμα 6.5) μέσω του εικονιδίου  ή με διπλό κλικ ή δεξί κλικ πάνω στο αντικείμενο, μπορεί να καθορίσει ιδιότητες των κουμπιών, όπως το χρώμα του φόντου, τη γραμματοσειρά, το είδος των γραμμάτων, αν είναι ορατό, ενεργό ή όχι ένα στοιχείο, τη θέση του, την ετικέτα του (tag) ή το κείμενο (string) που θα είναι πάνω του κ.α. Αυτές είναι κάποιες από τις κοινές ιδιότητες σε όλα τα στοιχεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται περισσότερο [6.10].



Σχήμα 6.5: Property Inspector


Αφού σχεδιαστεί η μορφή του γραφικού περιβάλλοντος, αποθηκεύεται το αρχείο με μορφή *.fig ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται ένα *.m αρχείο, στο οποίο γίνεται ο προγραμματισμός όλων των αντικειμένων που εισήγαγε ο χρήστης στο GUI. Για κάθε

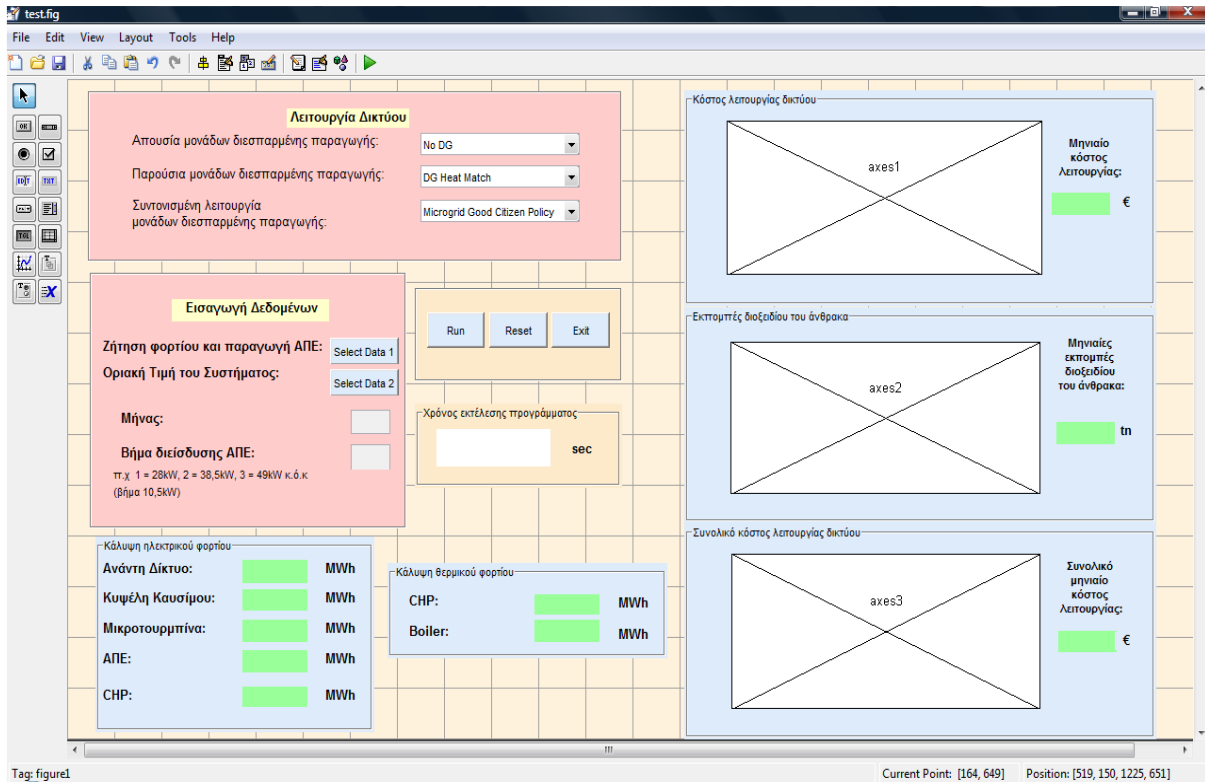
στοιχείο GUI δημιουργείται μια συνάρτηση την οποία καλεί το πρόγραμμα με την επιλογή του κατάλληλου κουμπιού (callback). Κάτω από κάθε συνάρτηση τοποθετείται ο κώδικας που προγραμματίζει τη λειτουργία που ακολουθεί το GUI με την επιλογή του αντίστοιχου κουμπιού και που μπορεί να περιλαμβάνει m-αρχεία που αναπτύχθηκαν ξεχωριστά από το γραφικό περιβάλλον. Οποιαδήποτε στιγμή επιθυμεί ο χρήστης να προσθέσει ή να αφαιρέσει κουμπιά και να επαναπρογραμματίσει το γραφικό περιβάλλον, έχει τη δυνατότητα να το κάνει [6.11].

6.4.3 Λογισμικό για τον υπολογισμό των μεγεθών του δικτύου υπό την επίδραση διαφορετικών σεναρίων – Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής

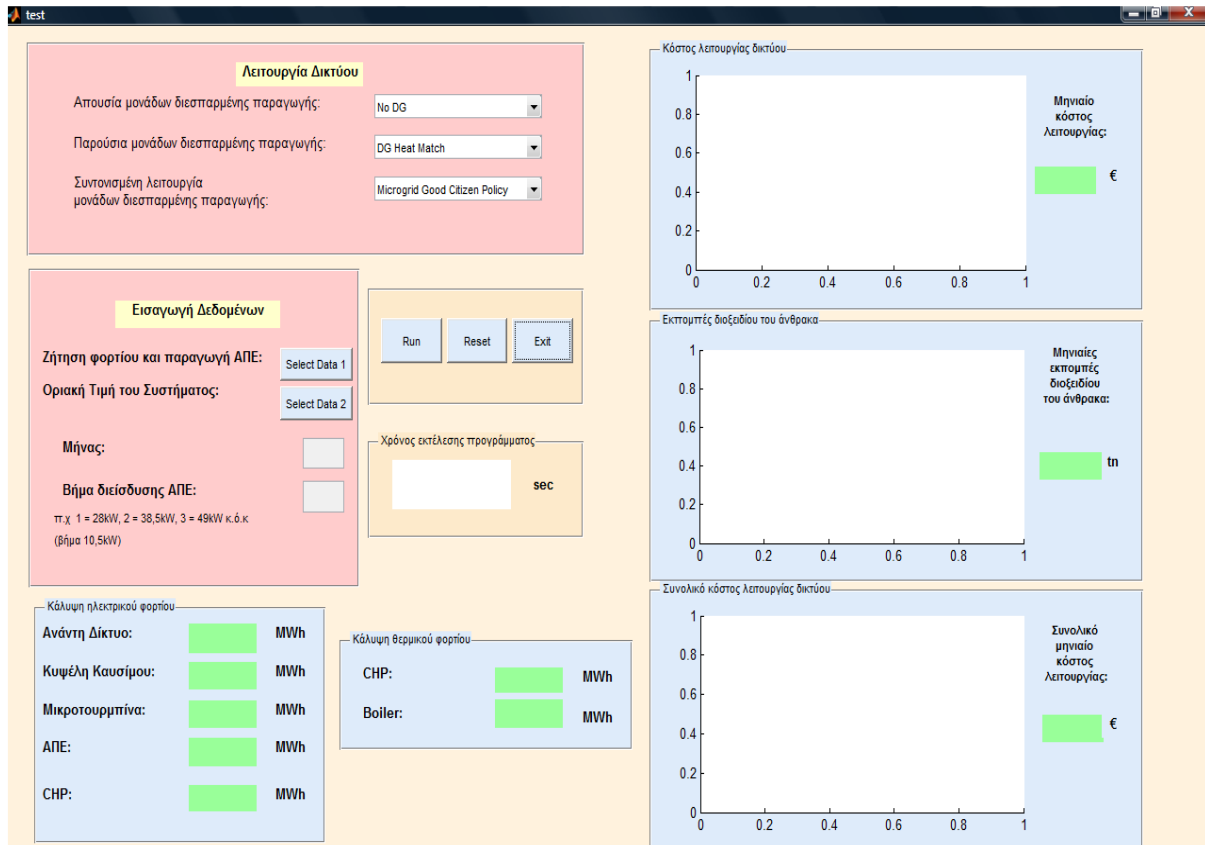
Το λογισμικό που αναπτύχθηκε προσδιορίζει τα μεγέθη του δικτύου, ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο λειτουργίας, όπως περιγράφηκε στην υποενότητα 6.3. Το γραφικό περιβάλλον που δημιουργήθηκε, στα πλαίσια της εφαρμογής, αποτελείται από:

- 5 push buttons για την εκτέλεση υπολογισμών, καθαρισμό δεδομένων και έξοδο από το πρόγραμμα.
- 41 static texts για εισαγωγή τίτλων και αποτελεσμάτων.
- 2 edit texts για εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη
- 9 panels τα οποία δεν επηρεάζουν το πρόγραμμα, αλλά χρησιμοποιήθηκαν για αισθητικούς λόγους.
- 3 pop – up menus όπου ο χρήστης επιλέγει αρχικά 1 από τα 3 σενάρια λειτουργίας του δικτύου και ακολούθως ένα από τα υποσενάρια της εκάστοτε λειτουργίας.
- 3 axes για παρουσίαση των αποτελεσμάτων γραφικά.

Μετά την εκκίνηση του GUIDE, αφού ο χρήστης επιλέξει να ανοίξει το γραφικό περιβάλλον, εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 6.7. Πατώντας το κουμπί “Run” , ο χρήστης μπορεί να τρέξει την εφαρμογή (Σχήμα 6.8). Έπειτα, έχει τις ακόλουθες επιλογές: να επιλέξει σενάριο λειτουργίας, να καθαρίσει την οθόνη ή να φύγει από το πρόγραμμα. Οι υπόλοιπες λειτουργίες εκτελούνται αφού ο χρήστης επιλέξει κάποιο σενάριο λειτουργίας. Συγκεκριμένα, μόλις ο χρήστης επιλέξει σενάριο λειτουργίας, καλείται να εισάγει τη ζήτηση του φορτίου και την παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ, την Οριακή Τιμή του Συστήματος, τον μήνα κατά τον οποίο επιθυμεί να μελετήσει τα μεγέθη του δικτύου και το επίπεδο διείσδυσης των μονάδων ΑΠΕ. Ακολούθως, ενεργοποιείται το κουμπί “Run” και με την επιλογή του εξάγονται τα αποτελέσματα και εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις. Επιπλέον, υπολογίζεται ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.9. Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να αλλάξει την επιλογή του, τότε θα πρέπει να πατήσει το κουμπί “Reset”, για να γίνει επανεκκίνηση της εφαρμογής και να εισάγει τα νέα δεδομένα. Με την επιλογή του κουμπιού “Exit”, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου όπου ο χρήστης ρωτάτε αν επιθυμεί να εγκαταλείψει την εφαρμογή (Σχήμα 6.10).



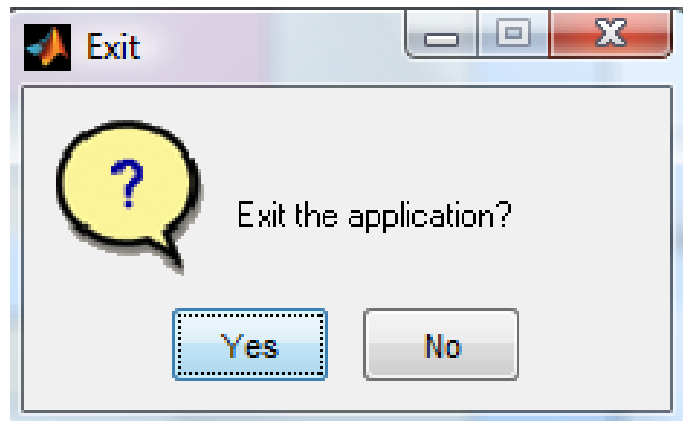
Σχήμα 6.7: Εισαγωγή όλων των αντικειμένων του GUI για την υλοποίηση της εφαρμογής



Σχήμα 6.8: Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής κατά την εκκίνηση



Σχήμα 6.9: Παράδειγμα εμφάνισης αποτελεσμάτων, σύμφωνα με την επιλογή του χρήστη



Σχήμα 6.10: Παράθυρο διαλόγου για έξοδο από την εφαρμογή

6.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [6.1] A. Tsikalakis, N. Hatziargyriou, “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.
- [6.2] A. Tsikalakis, N. Hatziargyriou, “Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation”, IEEE Trans on Energy Conversation, Vol. 23, No 1, March 2008, pp 241 – 248.
- [6.3] HOTWORK Combustion Technology
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.hotworkct.com/engineering/alcoa.htm>.
- [6.4] 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.
- [6.5] Buderus (ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.buderus.co.uk/>
- [6.6] Δημόσια Επιχείρηση Αερίου Α.Ε (ΔΕΠΑ)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.depa.gr/>
- [6.7] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ)
(ηλεκτρονική διεύθυνση) <http://www.desmie.gr/>
- [6.8] Γ. Γεωργίου, Χ. Ξενοφώντος, “Εισαγωγή στη Matlab”, Λευκωσία, 2007.
- [6.9] Α. Αρβανιτίδης, Χ. Σαραγιώτης “Εισαγωγή στο Matlab”, Σέρρες, 2006.
- [6.10] Mathworks – “Matlab Creating Graphical User Interfaces”.
- [6.11] Δ. Βαρσάμης, “Matlab – Graphical User Interfaces”.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι εφαρμογές του λογισμικού που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 6. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της μελέτης, υπό μορφή διαγραμμάτων, σε ετήσιο επίπεδο. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από διαδοχική άθροιση των ωριαίων, των ημερήσιων και των μηνιαίων τιμών – οι οποίες ήταν η έξοδος του προγράμματος που ήδη έχει περιγραφεί στην ενότητα 6.3.

Τα σενάρια εξετάστηκαν ανεξάρτητα αλλά και συγκριτικά μεταξύ τους, για διάφορα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής και ως προς ποικίλα μεγέθη. Το Σενάριο 3 – IV, *Microgrid – Ideal Citizen Policy*, μελετήθηκε εκτενέστερα, καθώς εισάχθηκε για πρώτη φορά στην μελέτη του εκάστοτε δικτύου εφαρμογής.

7.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

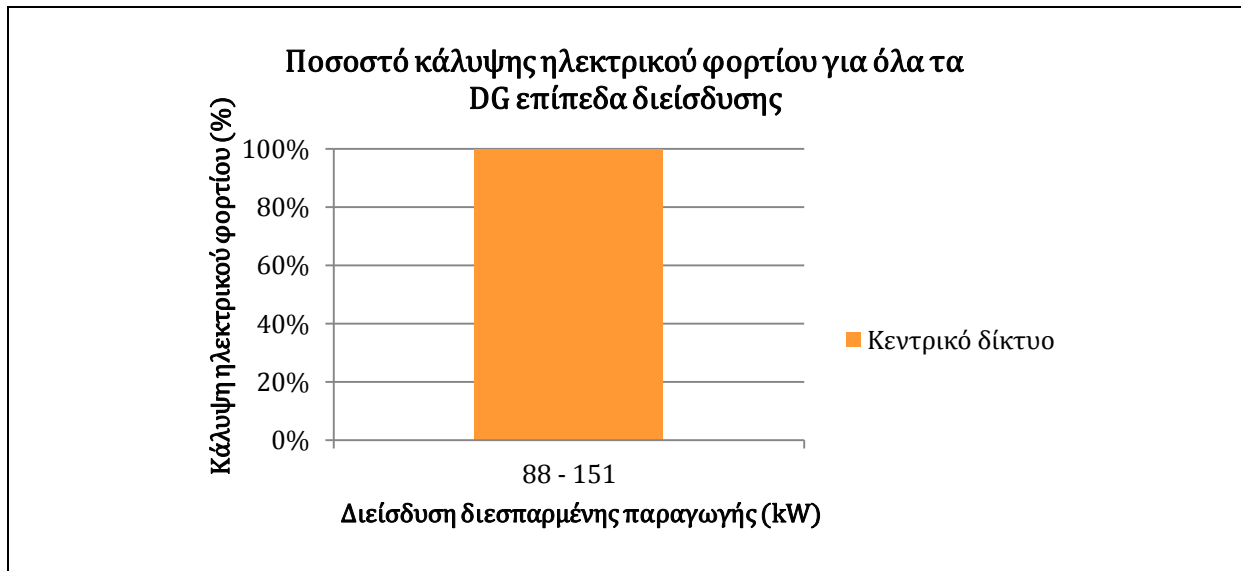
Στην ενότητα αυτή εξετάζονται αναλυτικά τα σενάρια λειτουργίας του δικτύου και συγκρίνονται με το κλασικό σενάριο της απλής διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο. Το Σενάριο 1 περιλαμβάνει τις χειρότερες δυνατές συνθήκες για το δίκτυο και για αυτό το χρησιμοποιούμε ως βάση για να ελέγξουμε τη βελτίωση που επιτυγχάνουν τα υπόλοιπα σενάρια, αναφορικά με τις σημαντικότερες παραμέτρους. Τα σενάρια μελετήθηκαν ως προς όλα τα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής (88 – 151kW) και ως προς τα μεγέθη:

- Κάλυψη φορτίου
- Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου
- Κόστος λειτουργίας του δικτύου
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα
- Συνολικό κόστος λειτουργίας
- Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου

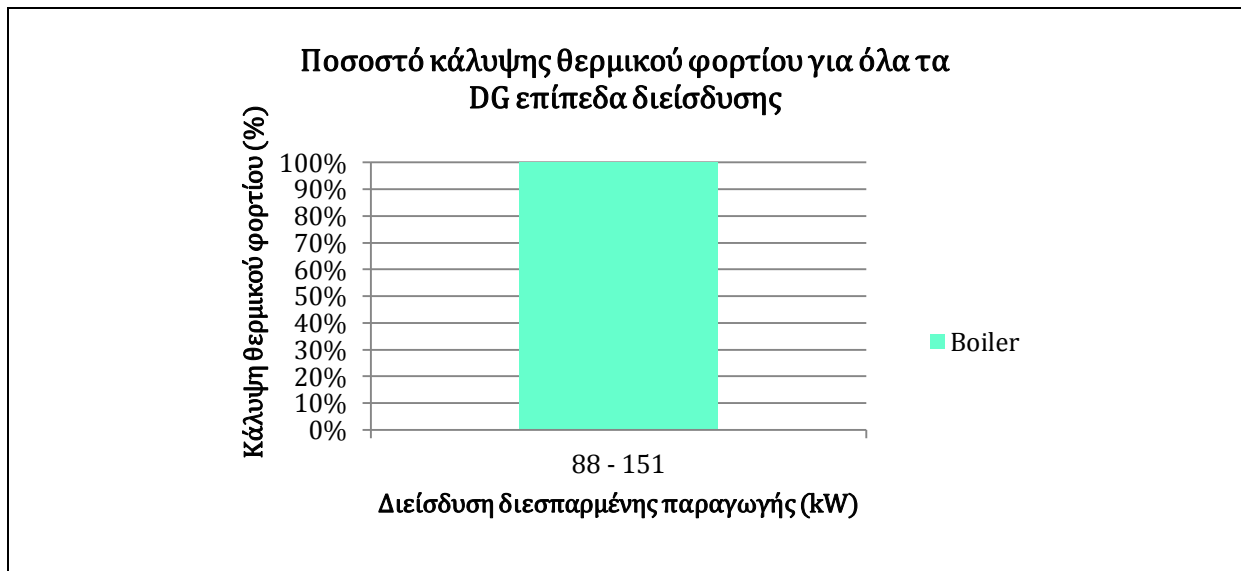
7.2.1 Κάλυψη φορτίου

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται η κάλυψη του ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου των ζυγών από τις μονάδες διανεμημένης παραγωγής και συμπαραγωγής καθώς και από το κεντρικό δίκτυο σε μορφή ποσοστού.

- **Σενάριο 1: No – DG**



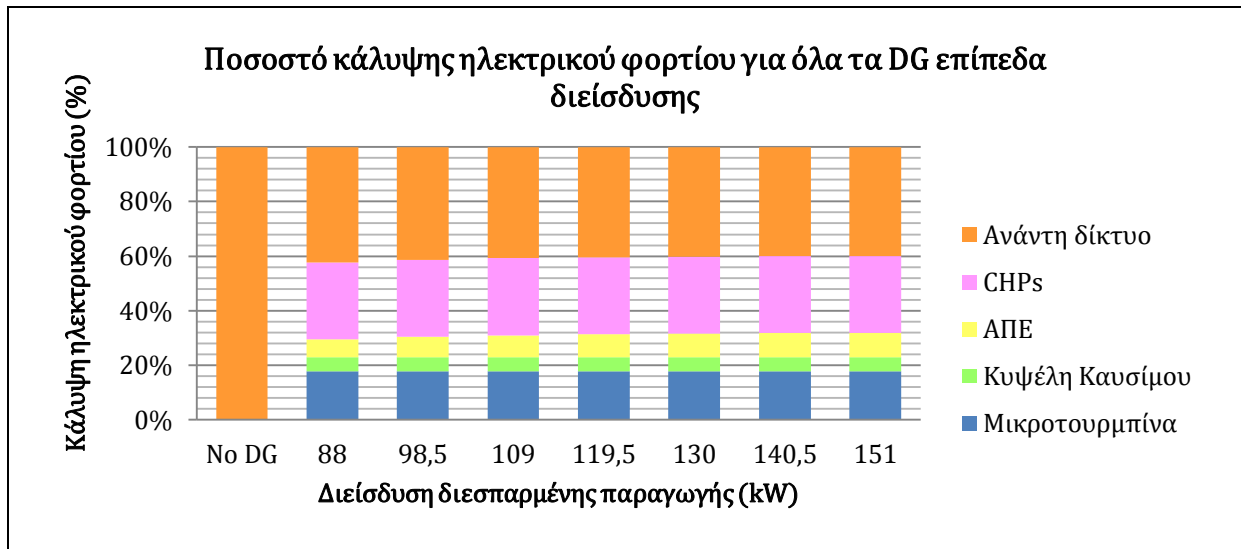
Διάγραμμα 7.1: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



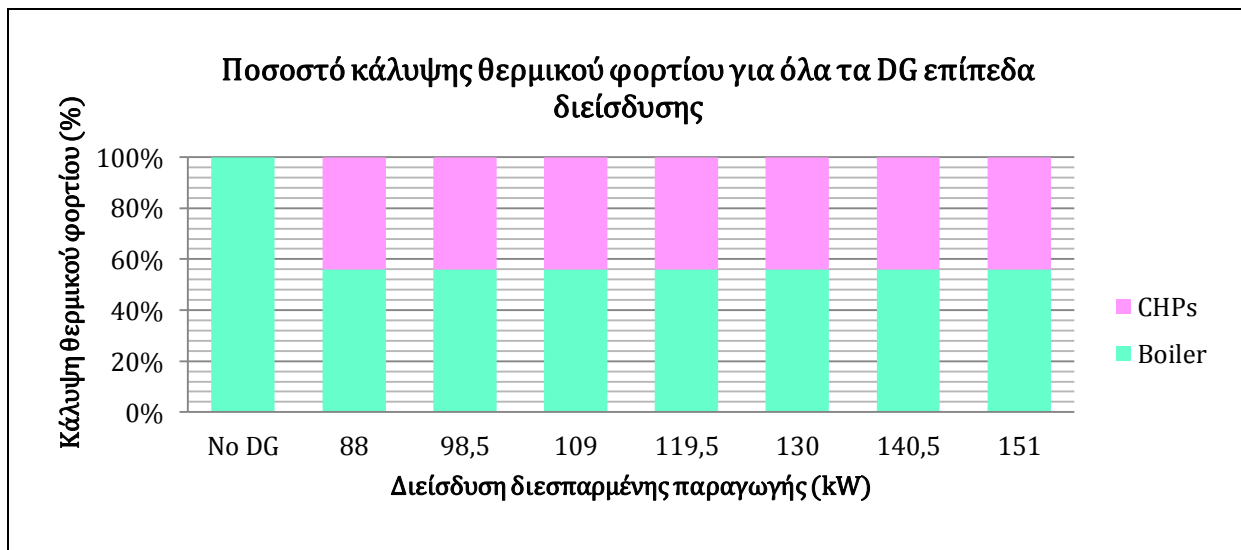
Διάγραμμα 7.2: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

▪ **Σενάριο 2: DG + CHP**

– *Local_Optimization*



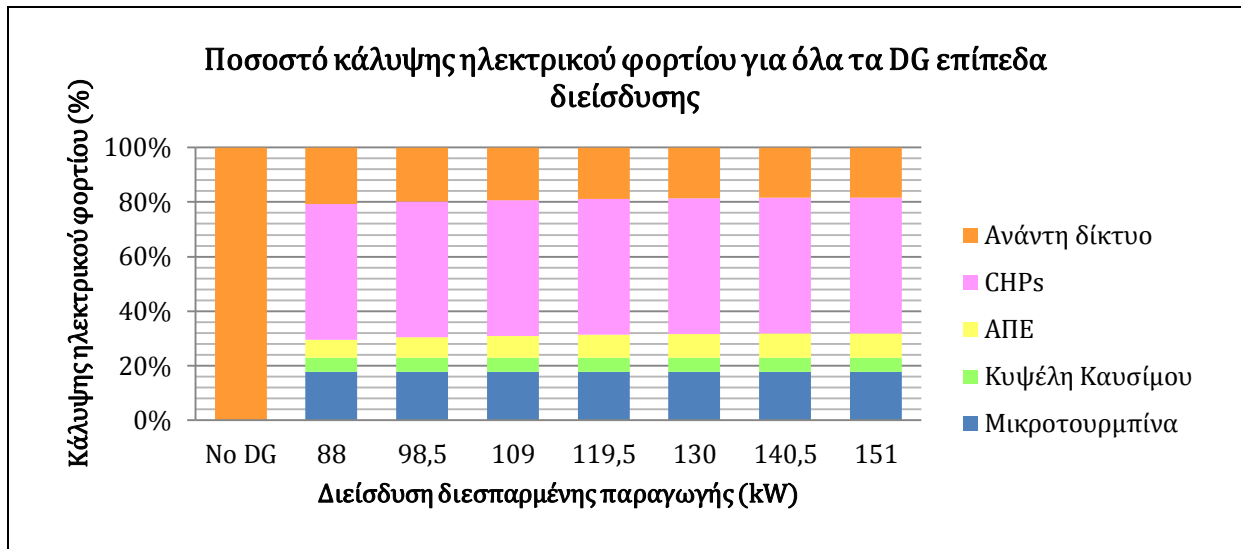
Διάγραμμα 7.3: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 2 – I για όλα τα επίπεδα DG διεξόδου



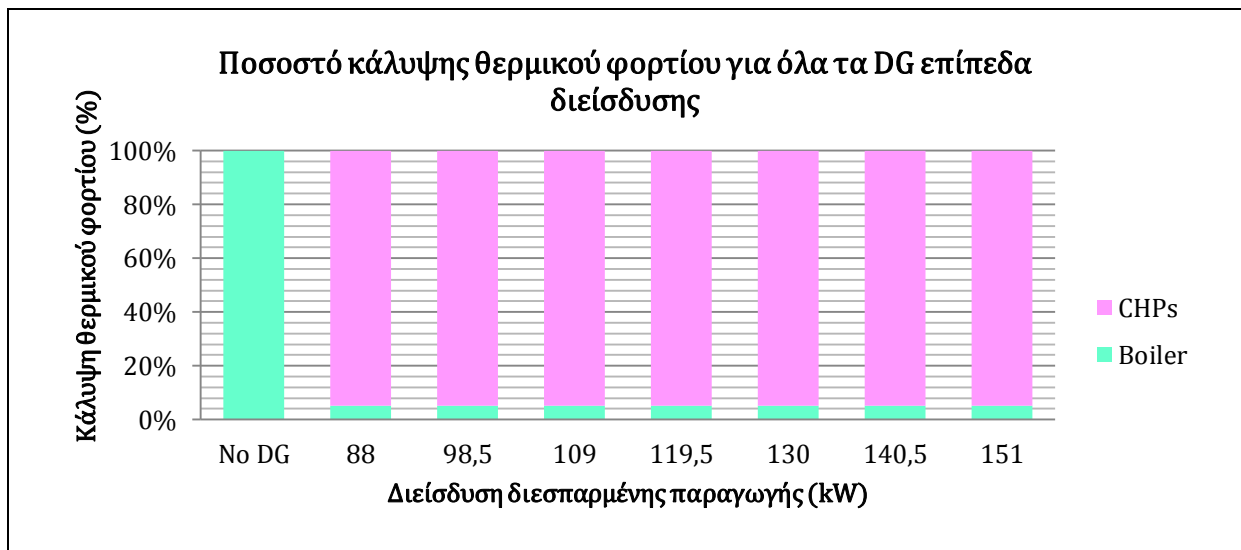
Διάγραμμα 7.4: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 2 - I για όλα τα επίπεδα DG διεξόδου

Παρατηρούμε πως με την ένταξη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής, το ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάπτυξη δίκτυο μειώνεται σημαντικά, συγκεκριμένα μειώνεται κατά 57,7% – 60%, ακολουθώντας μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση ως προς το επίπεδο διεξόδου των ΑΠΕ. Το ίδιο ισχύει και για την κάλυψη του θερμικού φορτίου από τις μονάδες Boiler.

– Heat_Match



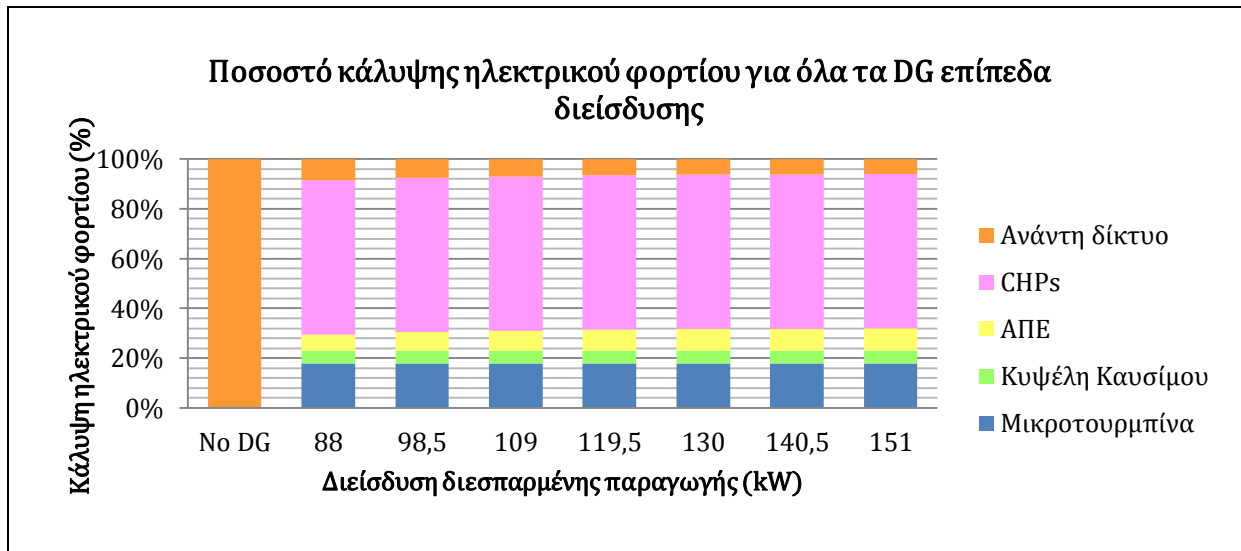
Διάγραμμα 7.5: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 2 – II για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



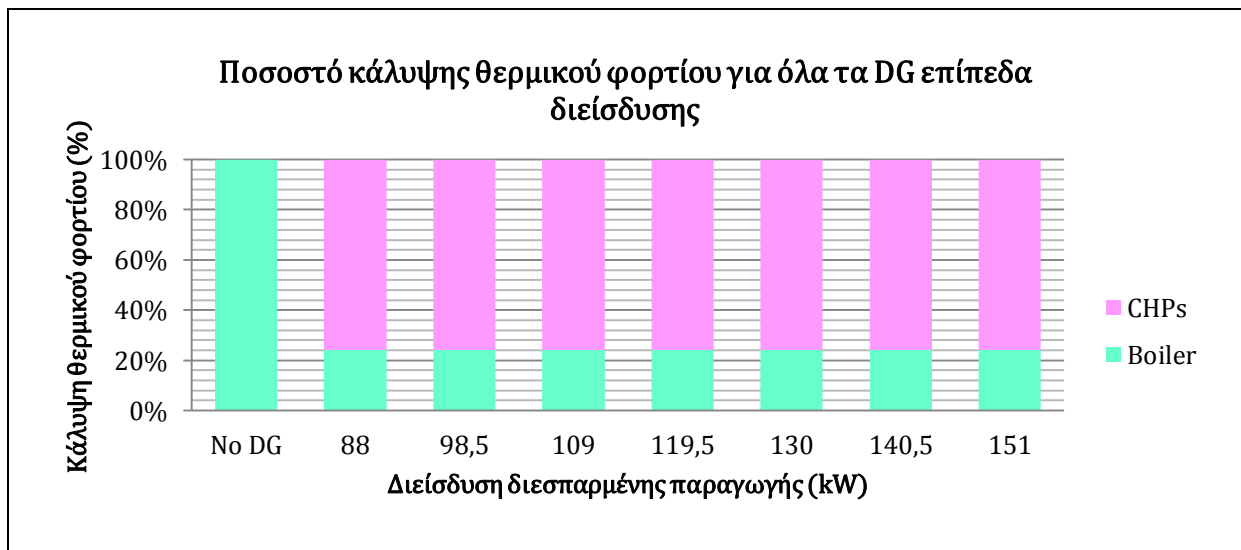
Διάγραμμα 7.6: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 2 - II για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από το Διάγραμμα 7.5 παρατηρούμε μια περαιτέρω μείωση της κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάντη δίκτυο. Συγκεκριμένα, για τα υπό μελέτη επίπεδα DG διείσδυσης, το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 20% έως 18,5%. Όσο αφορά το θερμικό φορτίο, όπως παρατηρείται και από το Διάγραμμα 7.6, το μεγαλύτερο ποσοστό (94,8%) καλύπτεται από τις μονάδες CHP χωρίς να επηρεάζεται από την αύξηση της DG διείσδυσης. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς έχουμε Heat_Match λειτουργία των μονάδων CHP.

– Electricity_Match



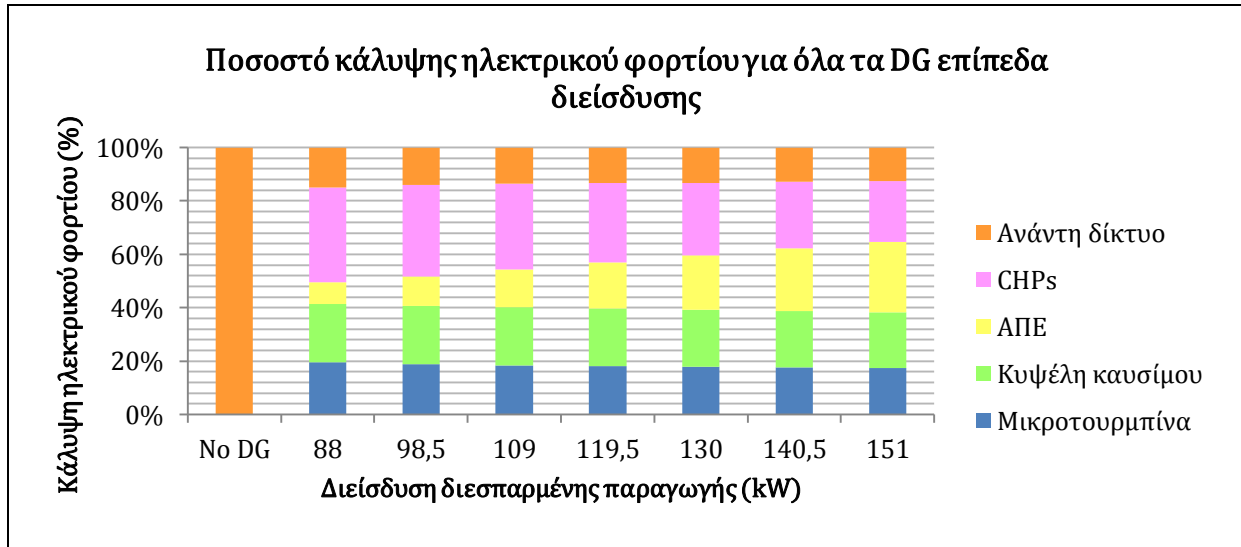
Διάγραμμα 7.7: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 2 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



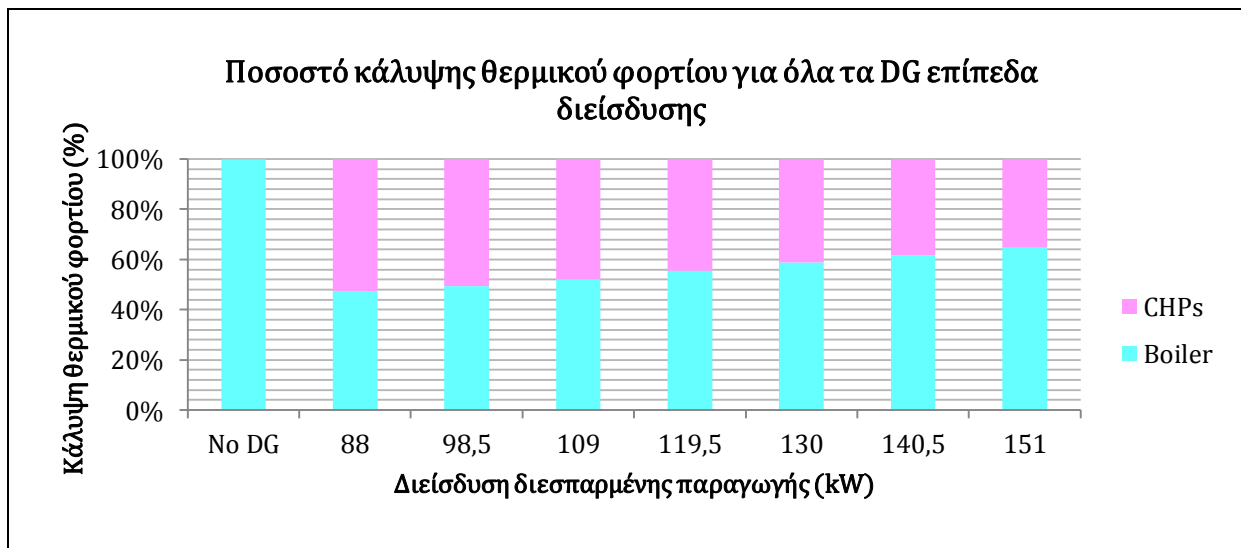
Διάγραμμα 7.8: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 2 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από το Διάγραμμα 7.7 παρατηρούμε πως το ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάντη δίκτυο μειώνεται ακόμη περισσότερο (κάλυψη 8,5% – 6,2%). Αυτό οφείλεται στην Electricity_Match λειτουργία των μονάδων CHP, που θέλει το ηλεκτρικό φορτίο, στον βιομηχανικό και εμπορικό κλάδο, να εξυπηρετείται ως επί τον πλείστον από τις μονάδες CHPs. Επιπλέον, από το Διάγραμμα 7.8, παρατηρούμε ότι το ποσοστό κάλυψης του θερμικού φορτίου, από τις μονάδες Boiler αυξάνεται στα 24%, καθώς δεν δίνεται προτεραιότητα στην κάλυψή του από τις μονάδες CHP.

- **Σενάριο 3: Microgrid**
 - *Good Citizen Policy*



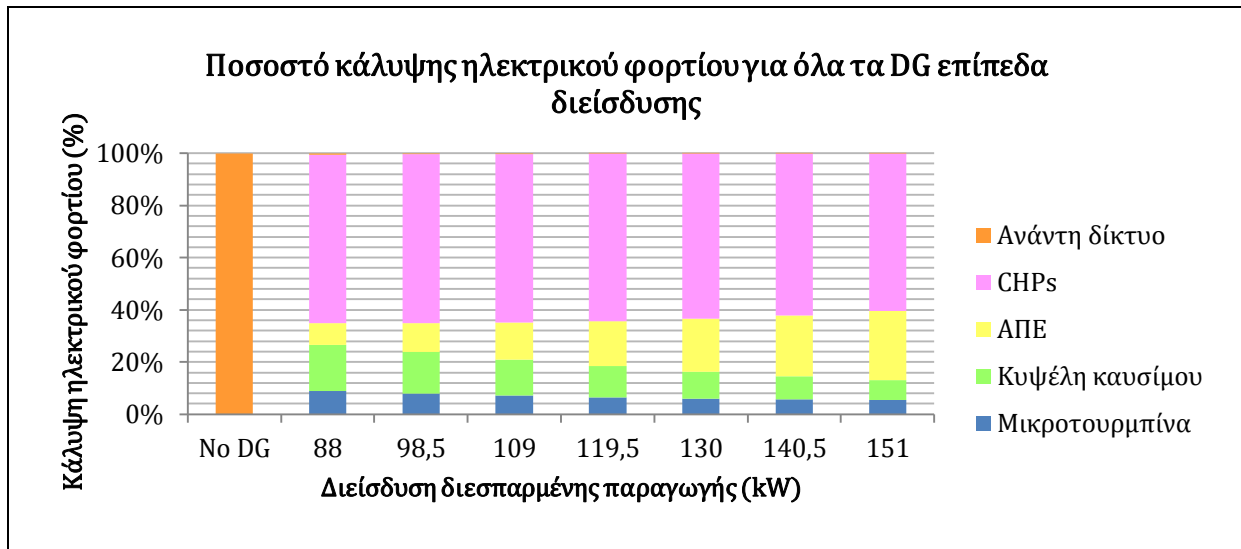
Διάγραμμα 7.9: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 3 – I για όλα τα επίπεδα DG διεύθυνσης



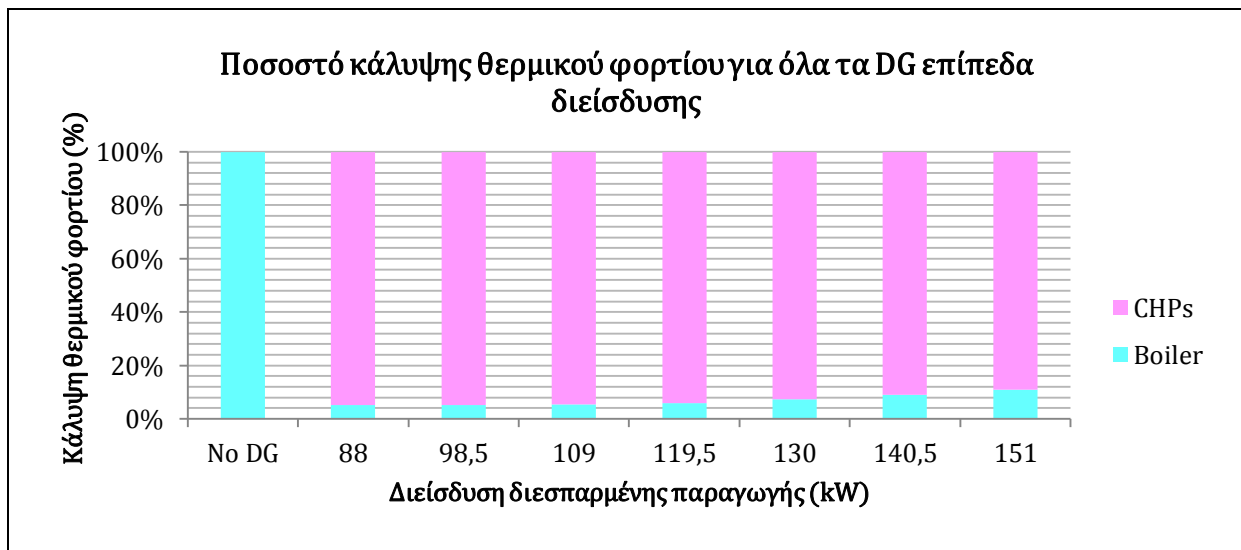
Διάγραμμα 7.10: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 3 – I για όλα τα επίπεδα DG διεύθυνσης

Από το Διάγραμμα 7.9 παρατηρούμε πως το ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάντη δίκτυο, κυμαίνεται από 15% – 12,7%. Επίσης, παρατηρούμε πως με την αύξηση της διεύθυνσης των ΑΠΕ, μειώνεται το ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού αλλά και θερμικού φορτίου από τις CHP μονάδες.

– Minimize CO₂ emissions



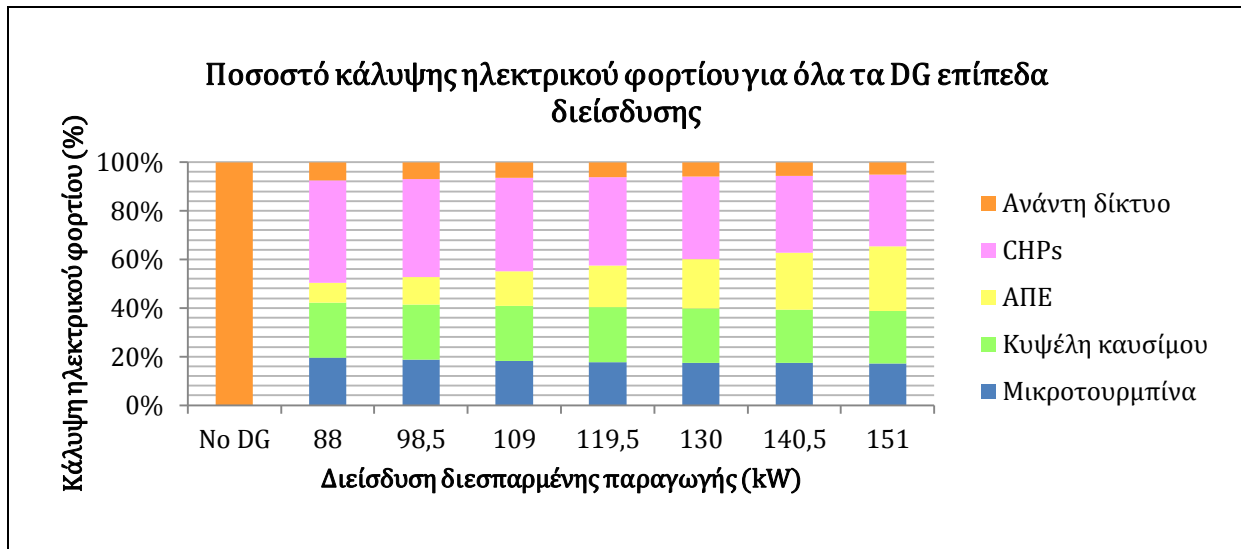
Διάγραμμα 7.11: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 3 – II για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



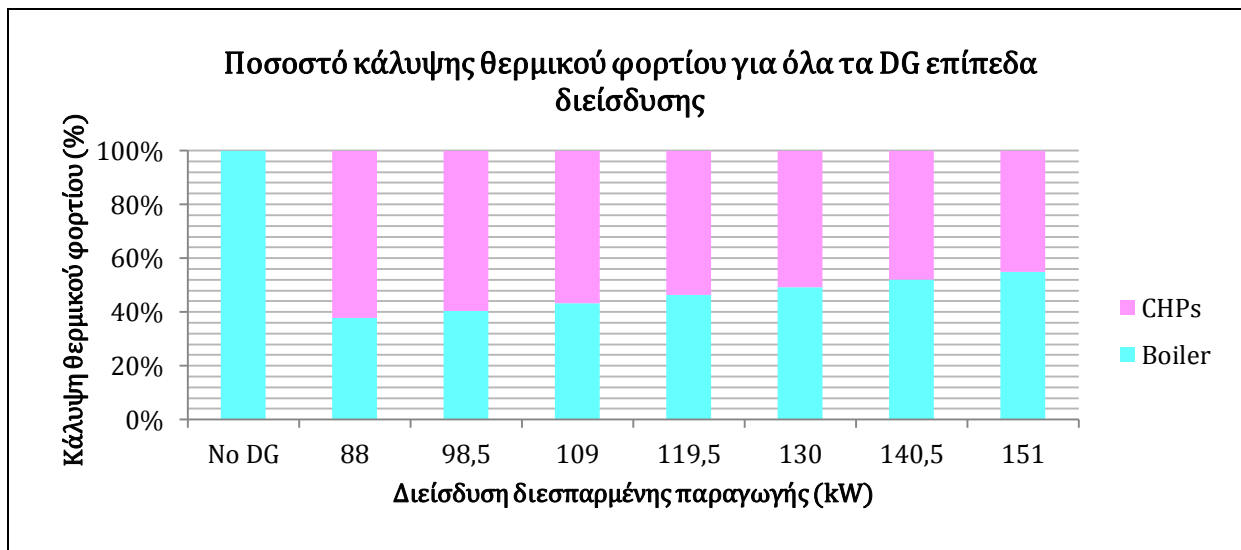
Διάγραμμα 7.12: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 3 – II για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από το Διάγραμμα 7.11 παρατηρούμε πως το ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάκτη δίκτυο είναι αρκετά μικρό, ενώ με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ μηδενίζεται εντελώς. Το θερμικό φορτίο εξυπηρετείται ως επί των πλείστων από τις μονάδες CHP, με ποσοστό 95% – 89%, για 88kW έως 151kW εγκατεστημένη διεσπαρμένη παραγωγή.

– Minimize Total_cost



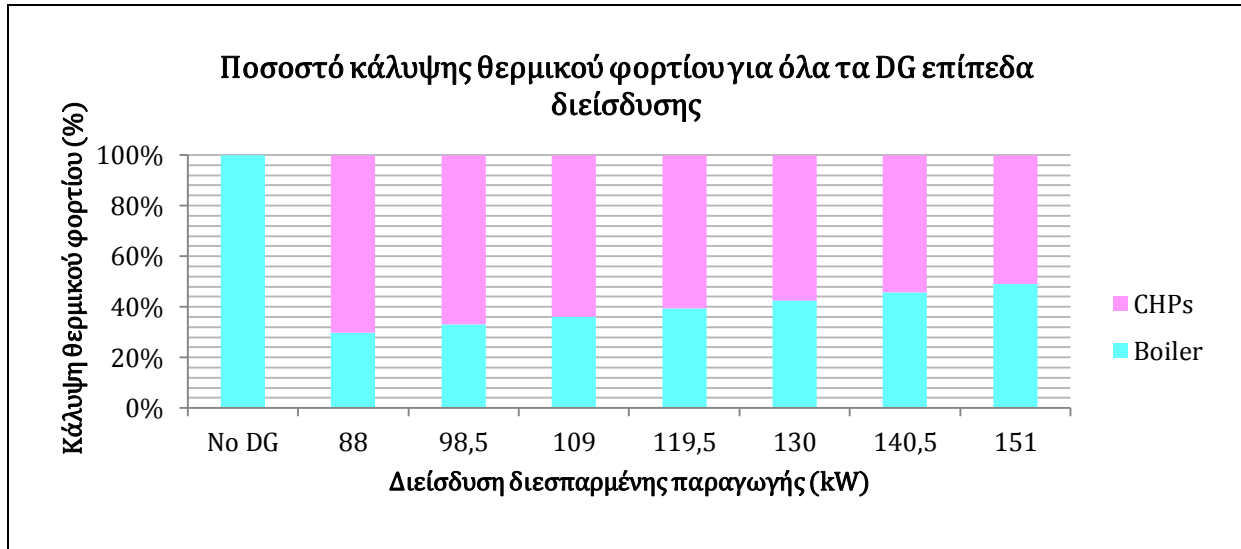
Διάγραμμα 7.13: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για το Σενάριο 3 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



Διάγραμμα 7.14: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 3 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Το ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάντη δίκτυο παρουσιάζεται και πάλι μειωμένο, με τιμές του να προσεγγίζουν το 7,5% – 5%. Με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, παρατηρούμε μείωση του ποσοστού κάλυψης του ηλεκτρικού αλλά και θερμικού φορτίου από τις CHP μονάδες.

– *Ideal Citizen Policy*

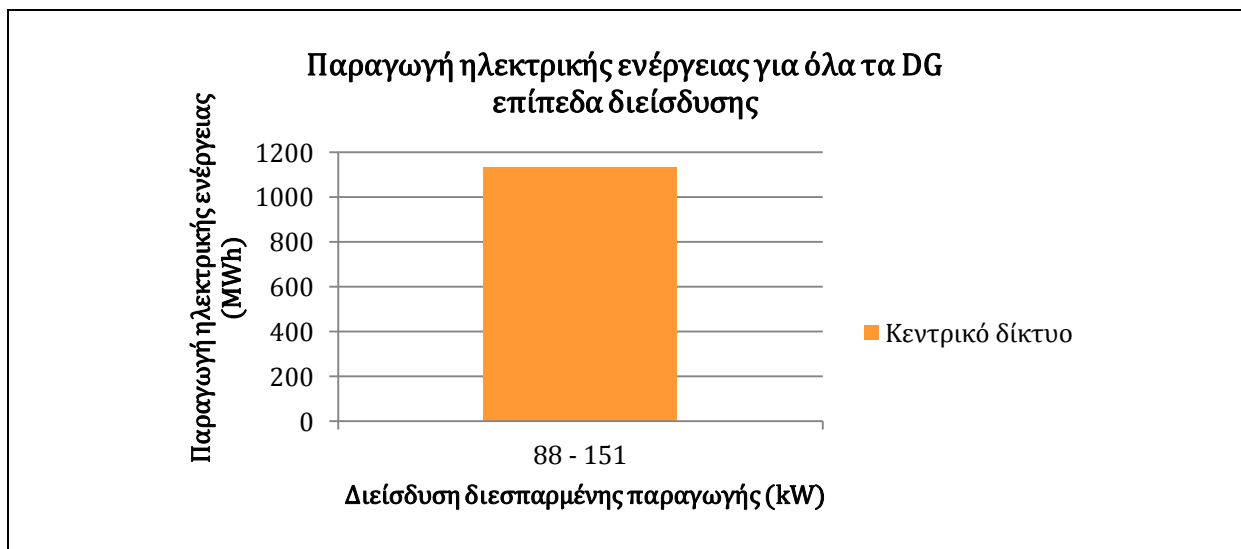


Διάγραμμα 7.15: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για το Σενάριο 3 – IV για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

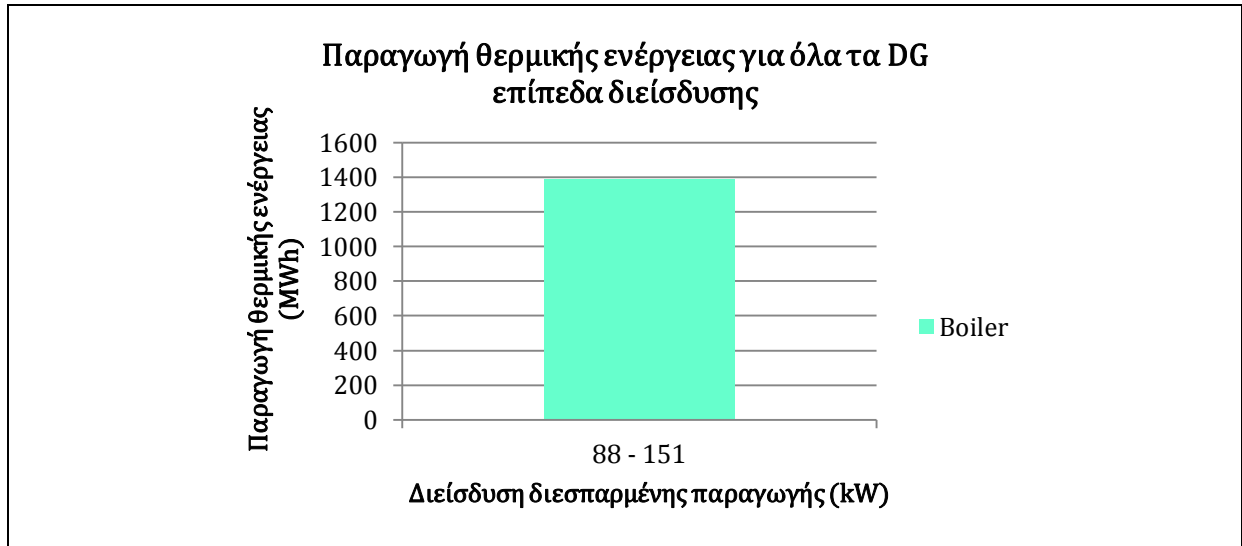
Στο υποσενάριο αυτό δεν παρουσιάζεται το διάγραμμα ποσοστού κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου, καθώς οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής εξυπηρετούν εκτός από το φορτίο του μικροδικτύου και το κεντρικό δίκτυο.

7.2.2 Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου

- **Σενάριο 1: No – DG**



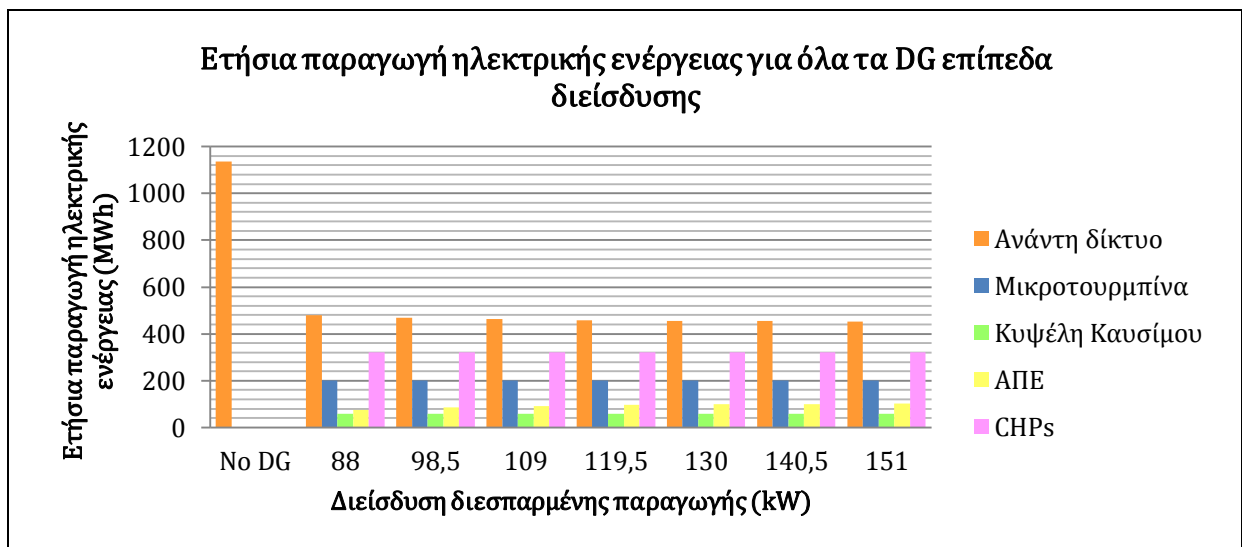
Διάγραμμα 7.16: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



Διάγραμμα 7.17: Παραγωγή θερμικής ενέργειας για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

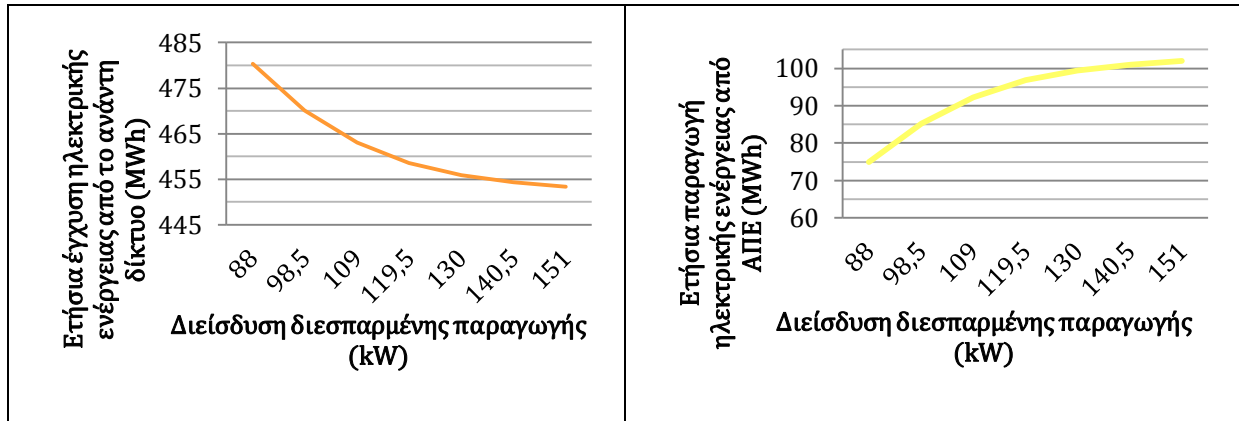
Όταν όλη η ζήτηση καλύπτεται από το ανάντη δίκτυο, τότε δεν υπάρχει σε λειτουργία καμία μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής, με αποτέλεσμα η εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το κεντρικό δίκτυο να είναι 1136,44MWh. Επιπλέον, όταν η κάλυψη του θερμικού φορτίου γίνεται αποκλειστικά από τις μονάδες Boiler των ενεργειακών διανομέων, η ετήσια παραγωγή τους σε θερμική ενέργεια ανέρχεται στις 1388,89MWh.

- **Σενάριο 2: DG + CHP**
 - *Local_Optimization*



Διάγραμμα 7.18: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το Σενάριο 2 – I για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα η παραγωγή των μονάδων διανεμημένης παραγωγής και συμπαραγωγής, με εξαίρεση τις μονάδες ΑΠΕ, είναι σταθερή και περιορίζεται στην εξυπηρέτηση του φορτίου στον τοπικό ζυγό. Έτσι, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την μικροτουρμπίνα είναι σταθερή στις 201,88MWh, από την κυψέλη καυσίμου στις 58,81MWh και από τις μονάδες συμπαραγωγής στις 320,41MWh.

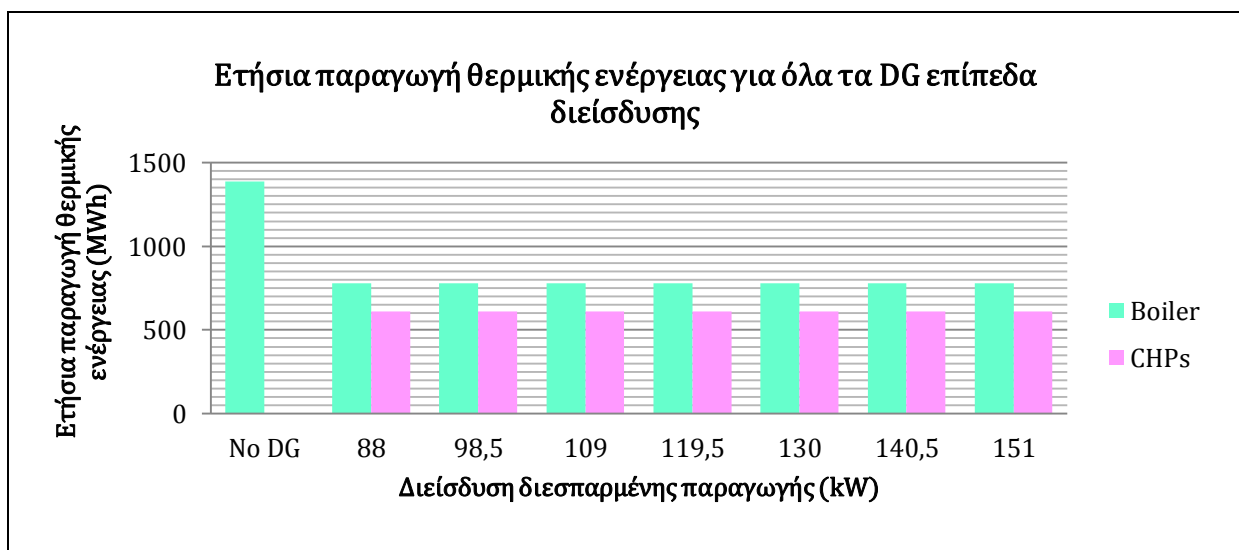


(α)

(β)

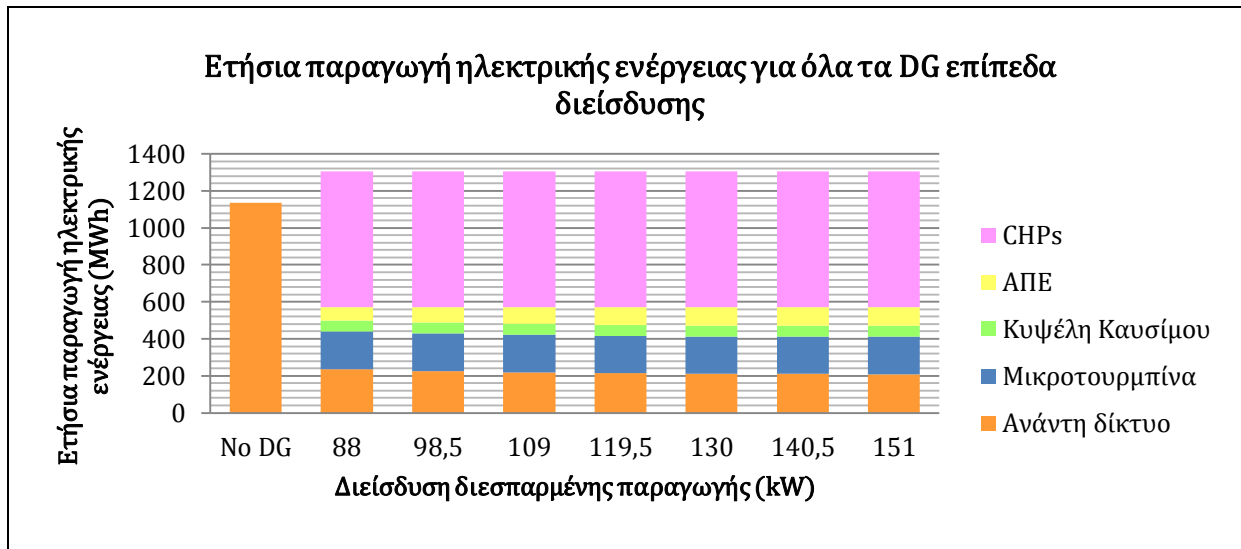
Διάγραμμα 7.19: (α) Καμπύλη ετήσιας έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο και (β) καμπύλη ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ, για το Σενάριο 2 – I για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από το Διάγραμμα 7.19(β), παρατηρούμε ότι η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες ΑΠΕ, αυξάνεται λογαριθμικά συναρτήσει του επιπέδου DG διείσδυσης, τείνοντας προς μια μέγιστη τιμή η οποία αντιστοιχεί στην ετήσια κάλυψη των αναγκών ζήτησης των τοπικών ζυγών και ανέρχεται στις 117,52MWh. Επιπλέον, όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 7.19(α), η ετήσια έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο, μειώνεται κατ' αντίστοιχο τρόπο, προσεγγίζοντας μια ελάχιστη τιμή (437,82MWh).



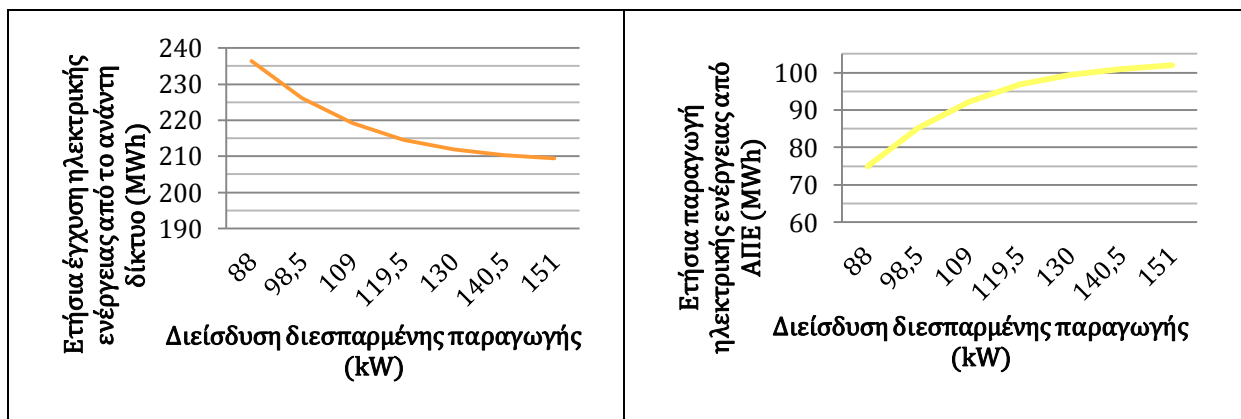
Διάγραμμα 7.20: Παραγωγή θερμικής ενέργειας για το Σενάριο 2 – I για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

– Heat_Match



Διάγραμμα 7.21: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το Σενάριο 2 – II για όλα τα επίπεδα DG διεύθυνσης

Από το Διάγραμμα 7.21 παρατηρούμε και πάλι ότι η παραγωγή των μονάδων διανεμημένης παραγωγής και συμπαραγωγής είναι σταθερή. Αυτό είναι λογικό, καθώς κατά την ανεξάρτητη λειτουργία δεν πραγματοποιείται καμία οικονομική ή περιβαλλοντική βελτιστοποίηση. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της μικροτουρμπίνας είναι σταθερή και ανέρχεται στις 201,88MWh, της κυψέλης καυσίμου στις 58,81MWh και των μονάδων συμπαραγωγής στις 733,65MWh. Επιπλέον, διαπιστώνουμε ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από τις μονάδες CHP, υπερβαίνει τη ζήτηση των τοπικών ζυγών, με αποτέλεσμα ένα ποσό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, περί της τάξης των 169,3MWh ετησίως, να απορρίπτεται. Αυτό οφείλεται στην Heat_Match λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής, η οποία δίνει προτεραιότητα στην κάλυψη του θερμικού φορτίου.

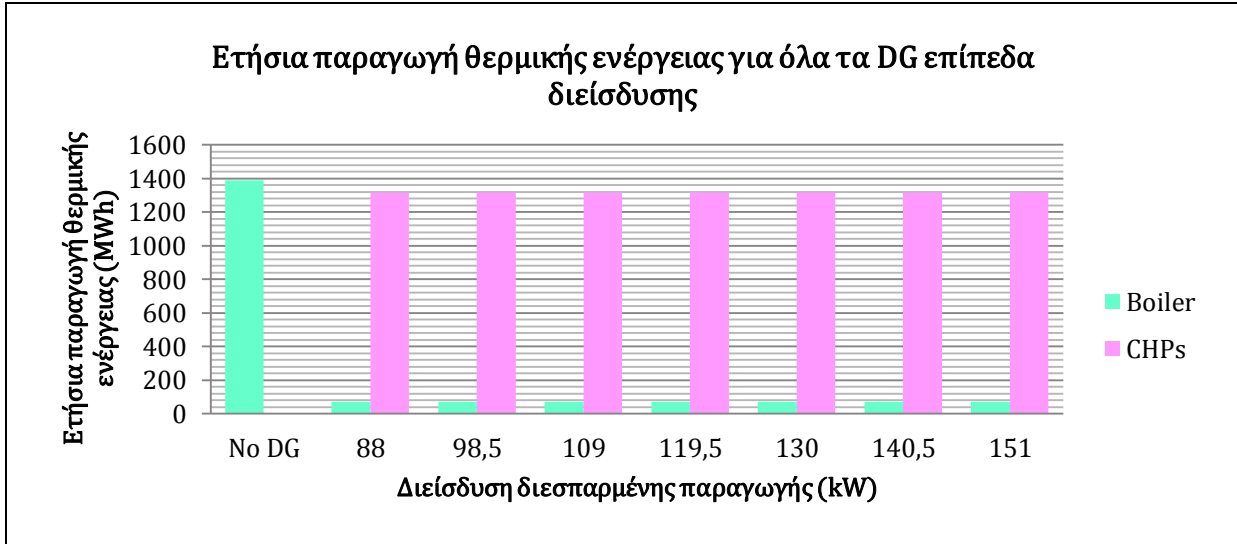


(α)

(β)

Διάγραμμα 7.22: (α) Καμπύλη ετήσιας έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο και (β) καμπύλη ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ, για το Σενάριο 2 – II για όλα τα επίπεδα DG διεύθυνσης

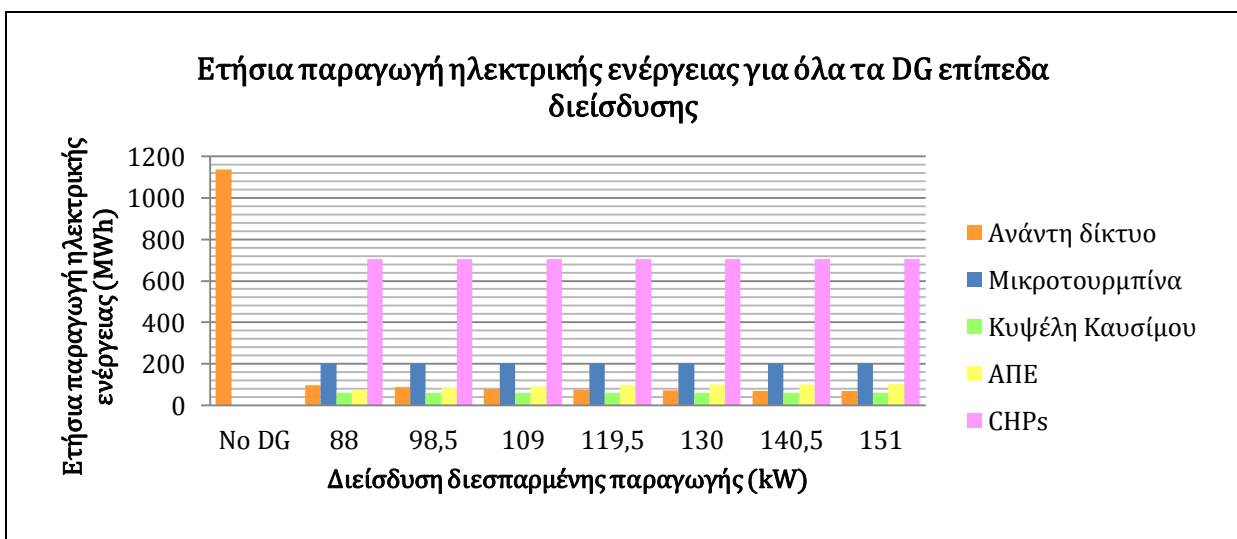
Όπως και στο προηγούμενο υποσενάριο ανεξάρτητης λειτουργίας, έτσι και σ' αυτό, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες ΑΠΕ, αυξάνεται λογαριθμικά προσεγγίζοντας μια μέγιστη τιμή περί των 117,52MWh. Ταυτόχρονα, η ετήσια έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο, μειώνεται προσεγγίζοντας μια ελάχιστη τιμή η οποία ανέρχεται στις 193,88MWh.



Διάγραμμα 7.23: Παραγωγή θερμικής ενέργειας για το Σενάριο 2 – II για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

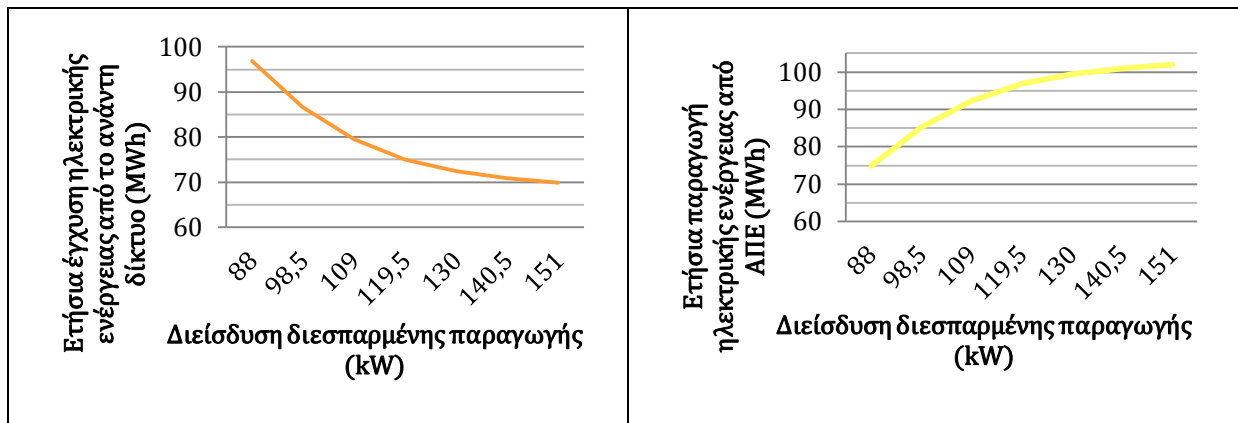
Όσο αφορά την ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας, όπως είναι λογικό, την περισσότερη ενέργεια παρέχουν οι μονάδες συμπαραγωγής (1317,32MWh). Οι μονάδες Boiler καλύπτουν μόνο ένα μικρό ποσοστό του συνολικού θερμικού φορτίου (71,66MWh).

– Electricity_Match



Διάγραμμα 7.24: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το Σενάριο 2 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Όμοια με τις δύο προηγούμενες ανεξάρτητες λειτουργίες του δικτύου, η παραγωγή των τοπικών μονάδων δεν εξαρτάται από οικονομικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς, με αποτέλεσμα η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την μικροτουρμπίνα, την κυψέλη καυσίμου και τις μονάδες συμπαραγωγής να παραμένει σταθερή (201,32MWh, 58,81MWh και 703,91MWh αντίστοιχα), για όλα τα επίπεδα διείσδυσης των ΑΠΕ. Αντιθέτως, η συμβολή της κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από το ανάντη δίκτυο, είναι μειωμένη σε σχέση με τις προηγούμενες ανεξάρτητες λειτουργίες. Αυτό οφείλεται στην Electricity_Match λειτουργία των μονάδων CHP, που πρωταρχικό στόχο έχει την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου.

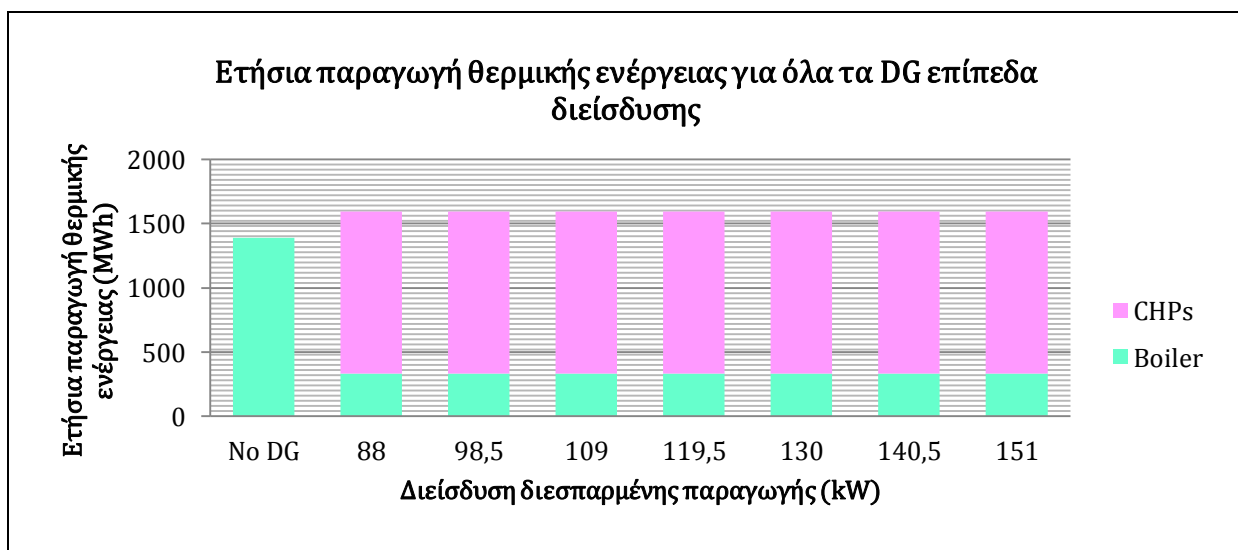


(α)

(β)

Διάγραμμα 7.25: (α) Καμπύλη ετήσιας έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο και (β) καμπύλη ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ, για το Σενάριο 2 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

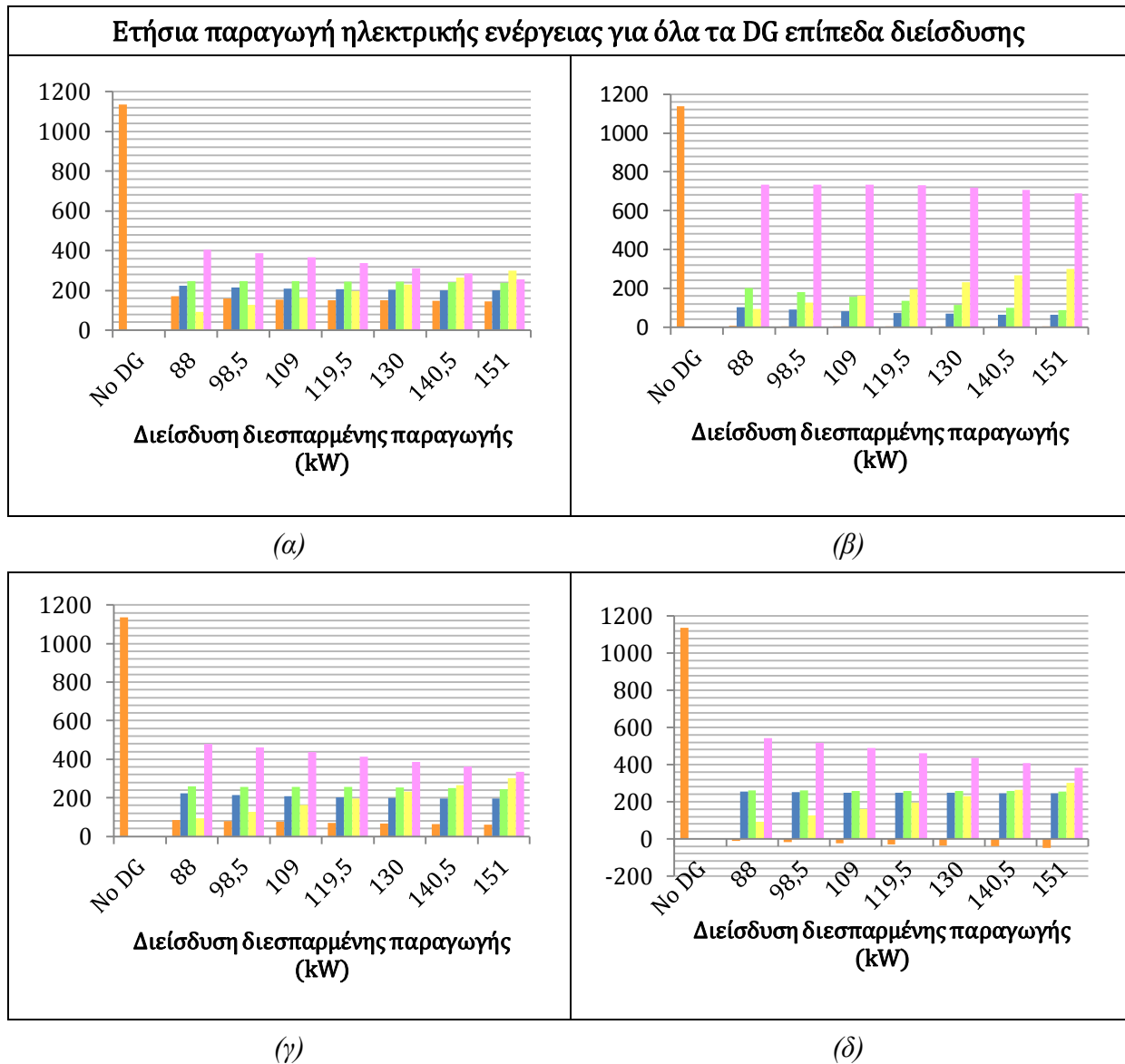
Η έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο, προσεγγίζει στη συγκεκριμένη ανεξάρτητη λειτουργία μια ακόμη πιο χαμηλή ελάχιστη τιμή, περί των 54,32MWh.



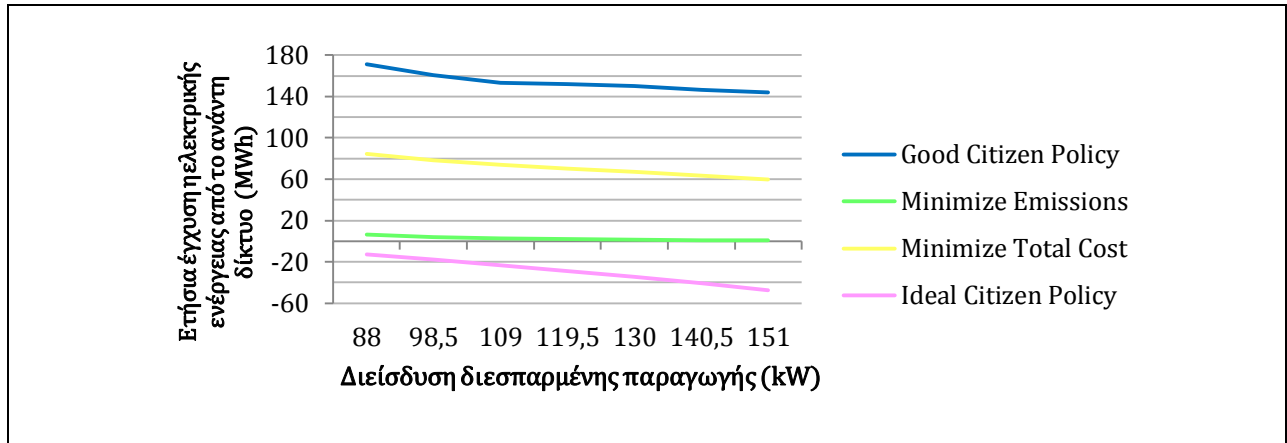
Διάγραμμα 7.26: Παραγωγή θερμικής ενέργειας για το Σενάριο 2 – III για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας ανέρχεται στις 1258,15MWh για την μονάδα CHP και στις 336,21MWh για την μονάδα Boiler. Παρατηρείται ότι, από την παραγωγή των μονάδων CHP, ένα ποσό θερμικής ενέργειας, γύρω στις 205,38MWh ετησίως, απορρίπτεται και δεν αξιοποιείται, καθώς υπερβαίνει τη ζήτηση των τοπικών ζυγών. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω, αυτό οφείλεται στην Electricity_Match λειτουργία των μονάδων CHP.

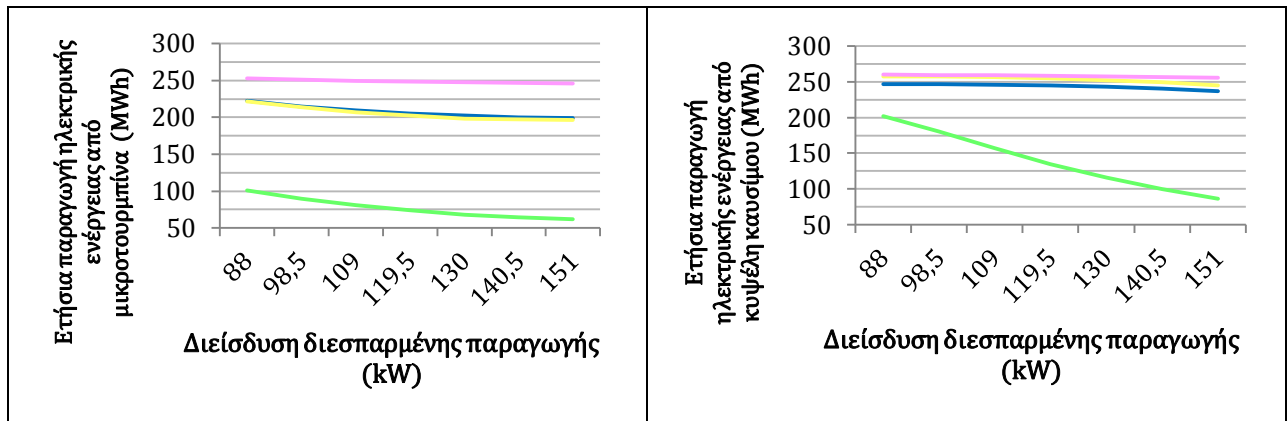
▪ **Σενάριο 3: Microgrid**



Διάγραμμα 7.27: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το Σενάριο 3 (α) για *Good Citizen Policy*, (β) για *Minimize CO₂ emissions*, (γ) για *Minimize Total cost* και (δ) για *Ideal Citizen Policy* για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

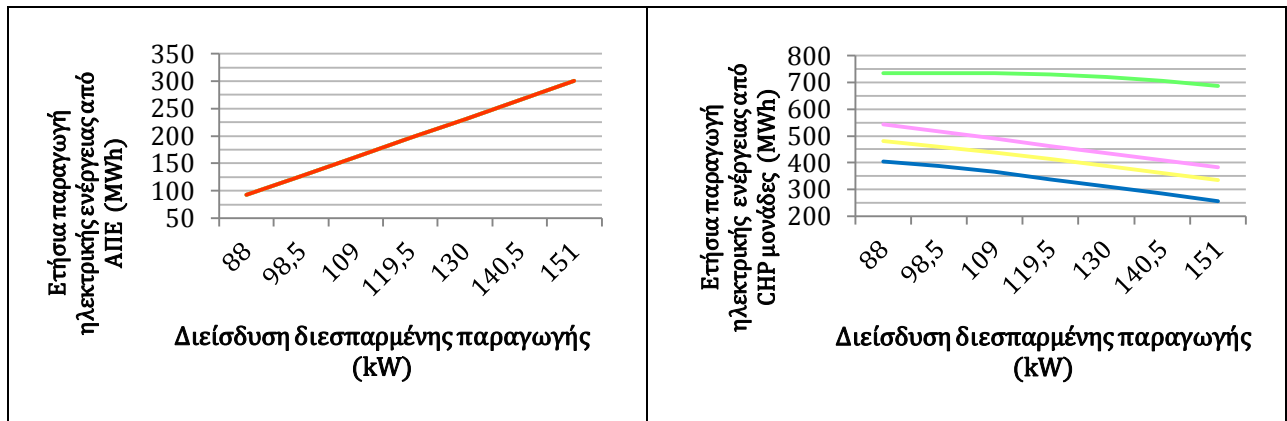


(α)



(β)

(γ)



(δ)

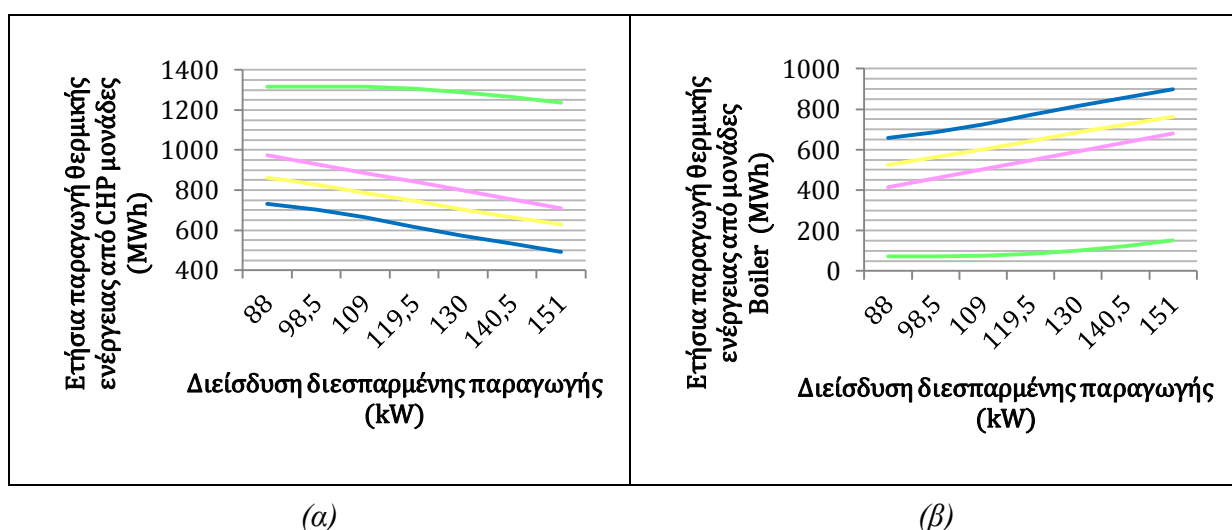
(ε)

Διάγραμμα 7.28: (α) Καμπύλη ετήσιας έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο και καμπύλη ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (β) από μικροτουρμπίνα, (γ) από κυψέλη καυσίμου (δ) από μονάδες ΑΙΠΕ (ε) μονάδες CHP για το Σενάριο 3 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Για λειτουργία μικροδικτύου, παρατηρείται γενικά μικρή έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Αυτό είναι λογικό, καθώς πραγματοποιείται οικονομική και περιβαλλοντική βελτιστοποίηση, με αποτέλεσμα η περισσότερη ενέργεια να παρέχεται από τις μονάδες συμπαραγωγής και διεσπαρμένης παραγωγής. Παρατηρούμε επίσης, πως όσο

αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ η εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια, από το ανάντη δίκτυο, μειώνεται. Μάλιστα, υπό λειτουργία Minimize CO₂ emissions, αγγίζει μέχρι και μηδενικά επίπεδα για μεγάλη εγκατεστημένη μικροδικτυακή παραγωγή (151kW και άνω). Όσο αφορά την Ideal Citizen Policy λειτουργία του μικροδικτύου, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 7.28(α), η έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας παίρνει αρνητικές τιμές. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα της λειτουργίας αυτής, να μπορεί να ανταλλάσει ενέργεια με το δίκτυο, καθώς επιτρέπεται η αμφίδρομη ροή ισχύος.

Όπως αναφέραμε στην ενότητα 6.2, κατά τη λειτουργία μικροδικτύου, οι μονάδες ΑΠΕ χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα και δεν υπόκεινται σε περιορισμό, με άλλα λόγια τροφοδοτούν τα φορτία με όση ισχύ έχουν διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή (Διάγραμμα 7.28(δ)). Για το λόγο αυτό, όσο αυξάνεται η διείσδυσή τους, τόσο μειώνεται η παραγωγή των υπόλοιπων μονάδων (μικροτουρμπίνας, κυψέλης καυσίμου και μονάδας CHP). Κατά την Minimize CO₂ emissions λειτουργία του μικροδικτύου, η μείωση της παραγωγής είναι εντονότερη για την κυψέλη καυσίμου και ομαλότερη για τις CHP μονάδες – εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα υποσενάρια.



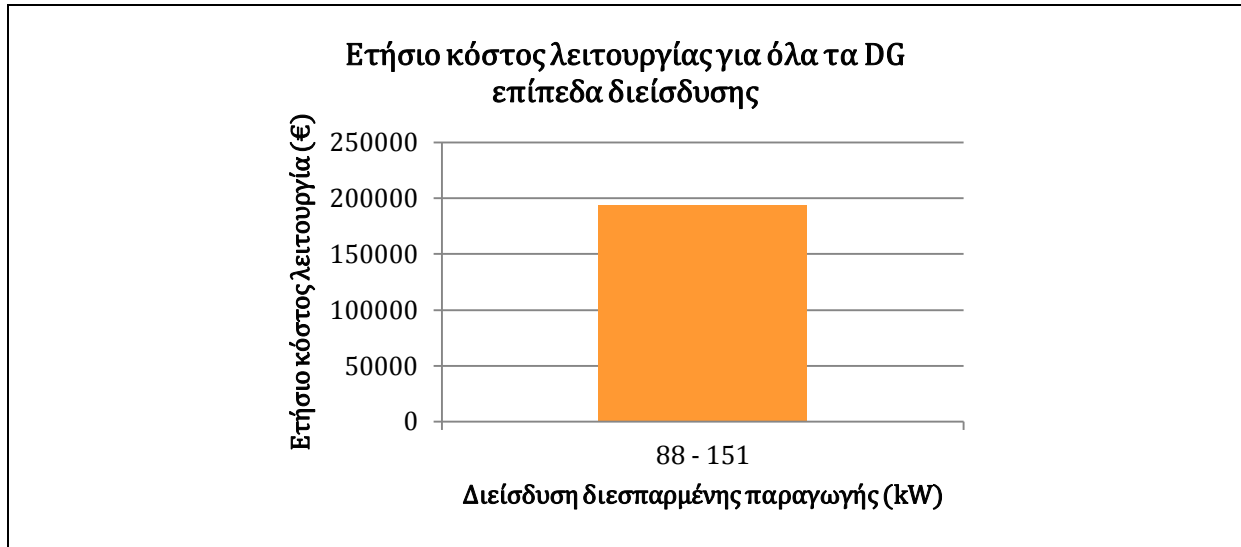
Διάγραμμα 7.29: Καμπύλη ετήσιας παραγωγής θερμική ενέργειας (α) από την CHP μονάδα και (β) από την μονάδα Boiler, για το Σενάριο 3 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από το Διάγραμμα 7.29(α), παρατηρούμε ότι, η καμπύλη της ετήσιας παραγωγής θερμικής ενέργειας από τις μονάδες CHP, είναι φθίνουσα, όπως ακριβώς και η καμπύλη της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.28(ε)). Αυτό είναι αναμενόμενο, λόγω της σχέσης που συνδέει την ηλεκτρική με την θερμική ισχύ εξόδου της μονάδας CHP, όπως εξηγήθηκε στην υποενότητα 6.1.2. Η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας, από τις μονάδες Boiler, όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα 7.29(β), αυξάνεται συμπληρωματικά με την μείωση των μονάδων CHP.

7.2.3 Κόστος λειτουργίας του δικτύου

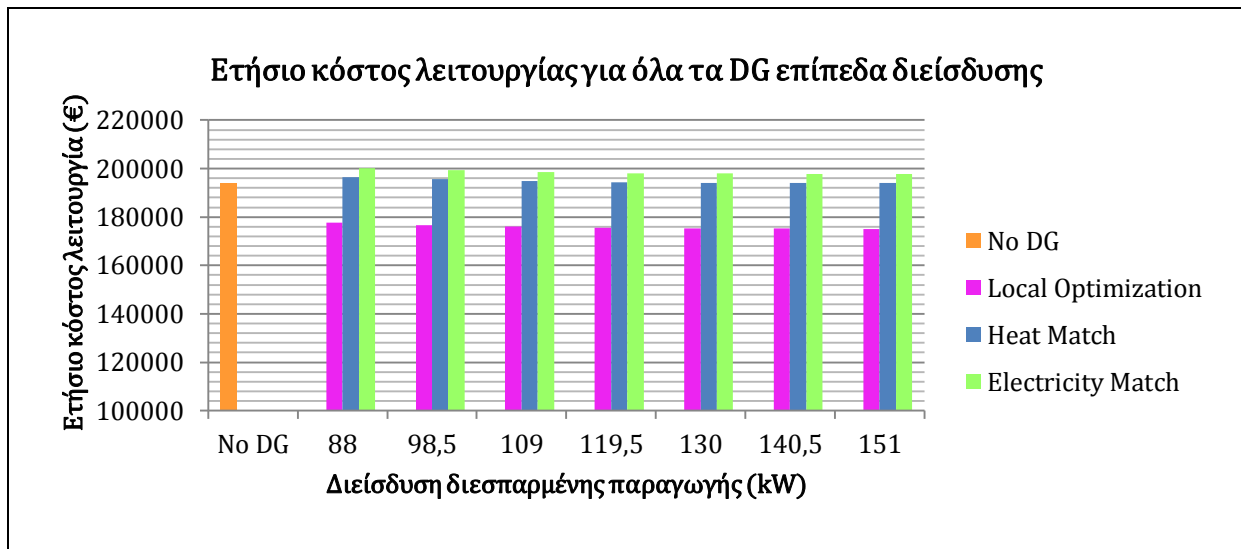
Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν το ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου για όλα τα υπό μελέτη σενάρια.

- **Σενάριο 1: No – DG**

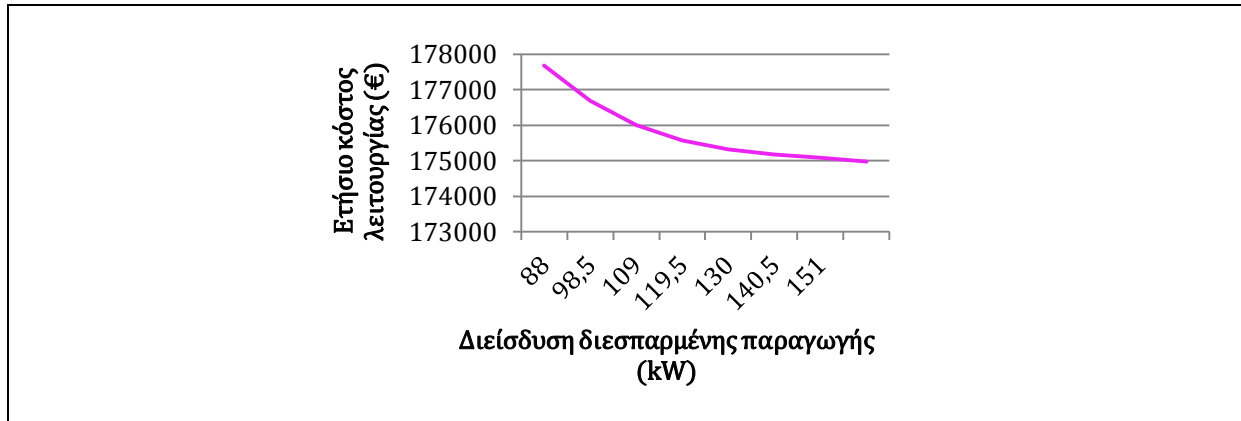


Διάγραμμα 7.30: Ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

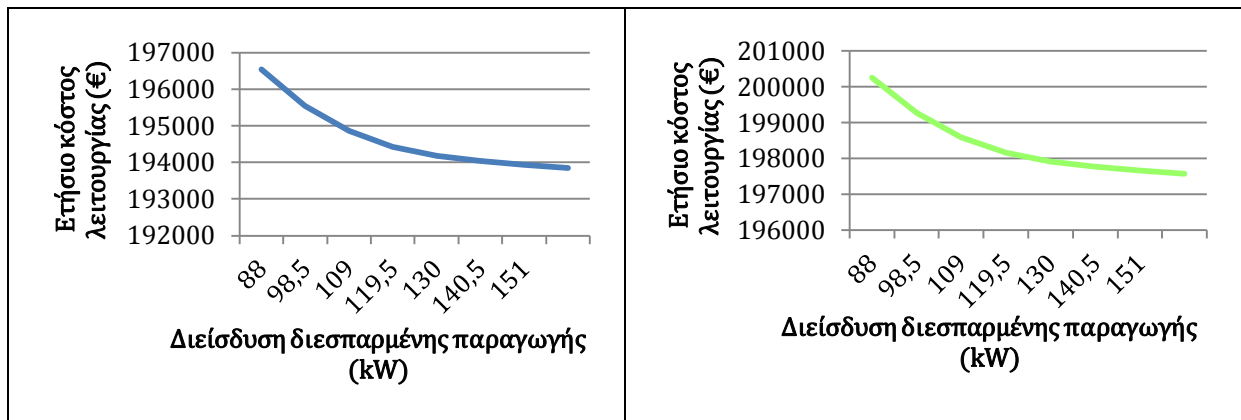
- **Σενάριο 2: DG + CHP**



Διάγραμμα 7.31: Ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου για το Σενάριο 2 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



(α)



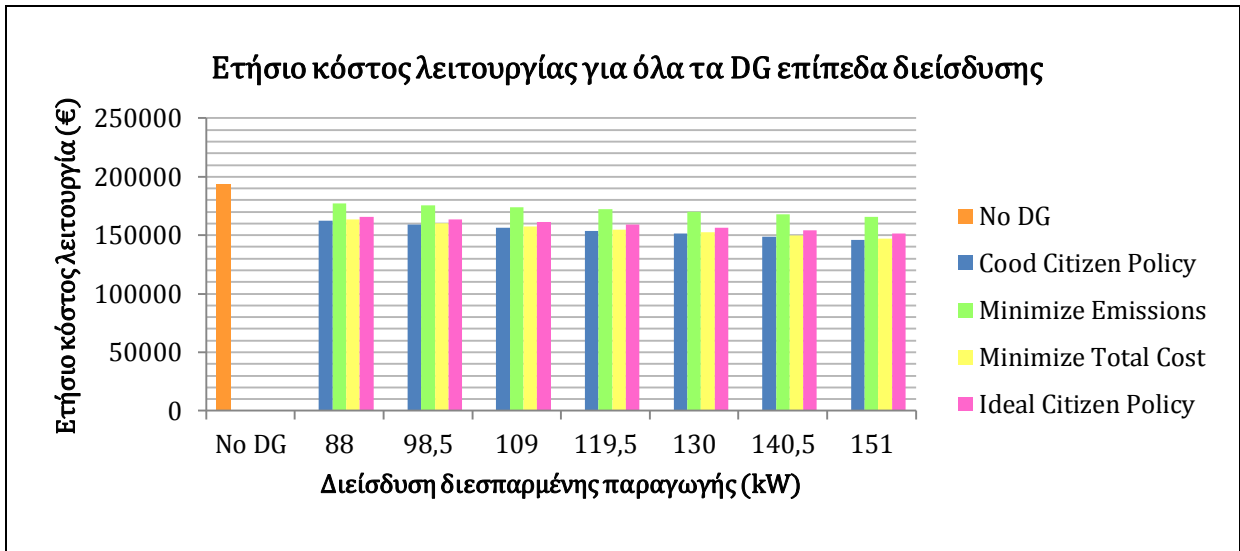
(β)

(γ)

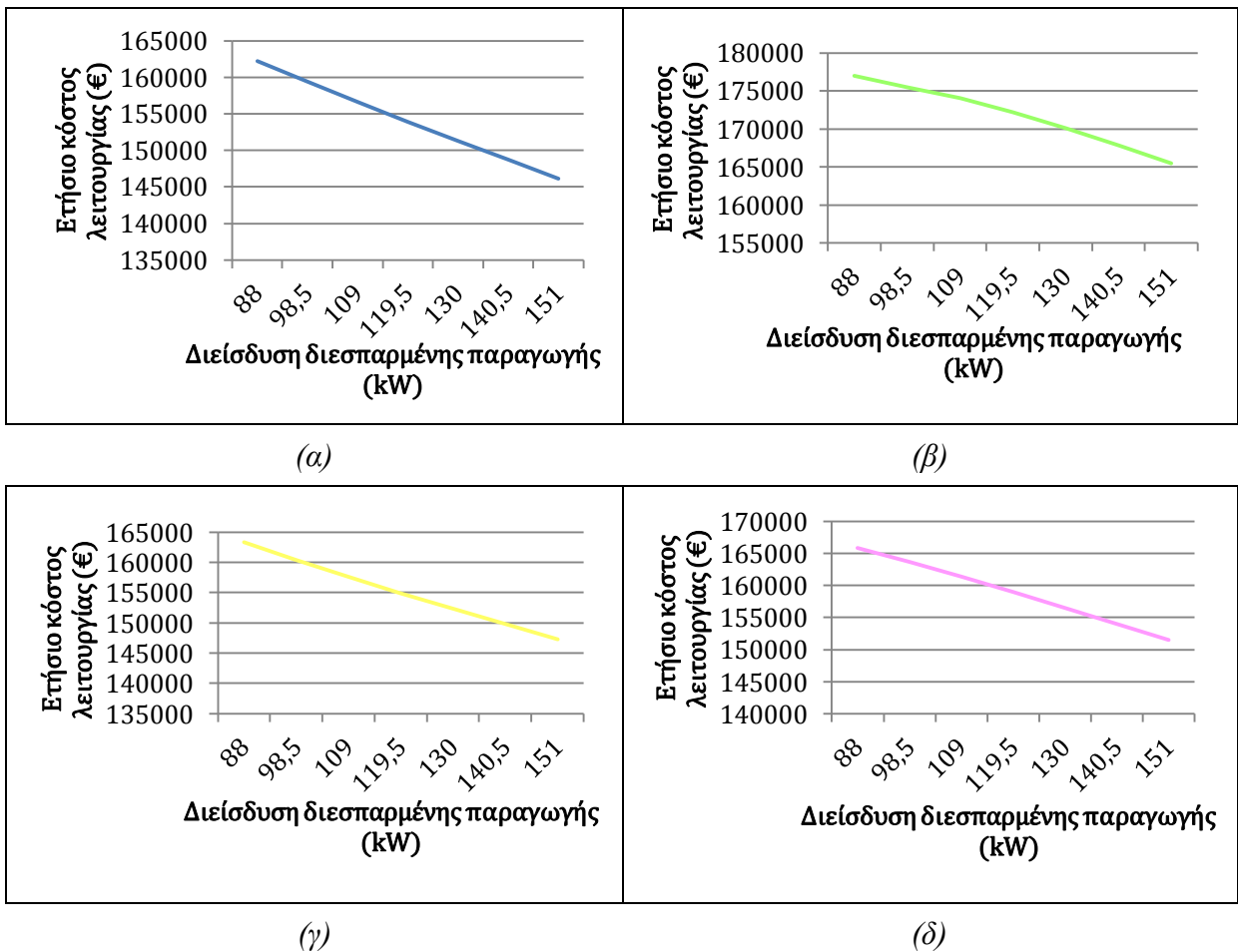
Διάγραμμα 7.32: Καμπύλη ετήσιου κόστους λειτουργίας για το Σενάριο 2 (α) για *Local_Optimization* λειτουργία (β) για *Heat_Match* λειτουργία και (γ) για *Electricity_Match* λειτουργία για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 7.30 το ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου, στην περίπτωση που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το κεντρικό δίκτυο, ανέρχεται στα 193.858€ και δεν μεταβάλλεται με την αλλαγή των DG μονάδων. Στο DG + CHP σενάριο, για *Local_Optimization* λειτουργία των HUBs, το αντίστοιχο κόστος είναι σημαντικά μικρότερο και μεταβάλλεται εκθετικά με το επίπεδο DG διείσδυσης, προσεγγίζοντας μια ελάχιστη τιμή (174.912€). Για *Heat_Match* και *Electricity_Match* λειτουργία των μονάδων CHP, το κόστος λειτουργίας είναι αυξημένο και παρόλο που μειώνεται με την διείσδυση των ΑΠΕ δεν μπορεί να αντισταθμίσει την διαφορά με το αρχικό σενάριο. Επομένως, η αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας δεν συμφέρει από πλευράς λειτουργικού κόστους, καθώς η απόρριψη ενέργειας αποδεικνύεται άκρως αντικοινωνική. Τα τρία αυτά υποσενάρια, βάσει του Διαγράμματος 7.31 παρουσιάζουν μια σταθερή διαφορά κόστους λειτουργίας που ανέρχεται αντίστοιχα στα 18.865€ (*Heat_Match* - *Local_Optimization*), 22.592€ (*Electricity_Match* - *Local_Optimization*) και 3.726€ (*Electricity_Match* - *Heat_Match*) ανά έτος και οφείλεται στη διαφορετική λειτουργία του ενεργειακού διανομέα και των μονάδων CHP. Όπως φαίνεται, η απόρριψη θερμικής ενέργειας, δηλαδή η *Electricity_Match* λειτουργία των μονάδων CHP, αποτελεί το χειρότερο σενάριο ανεξάρτητης λειτουργίας.

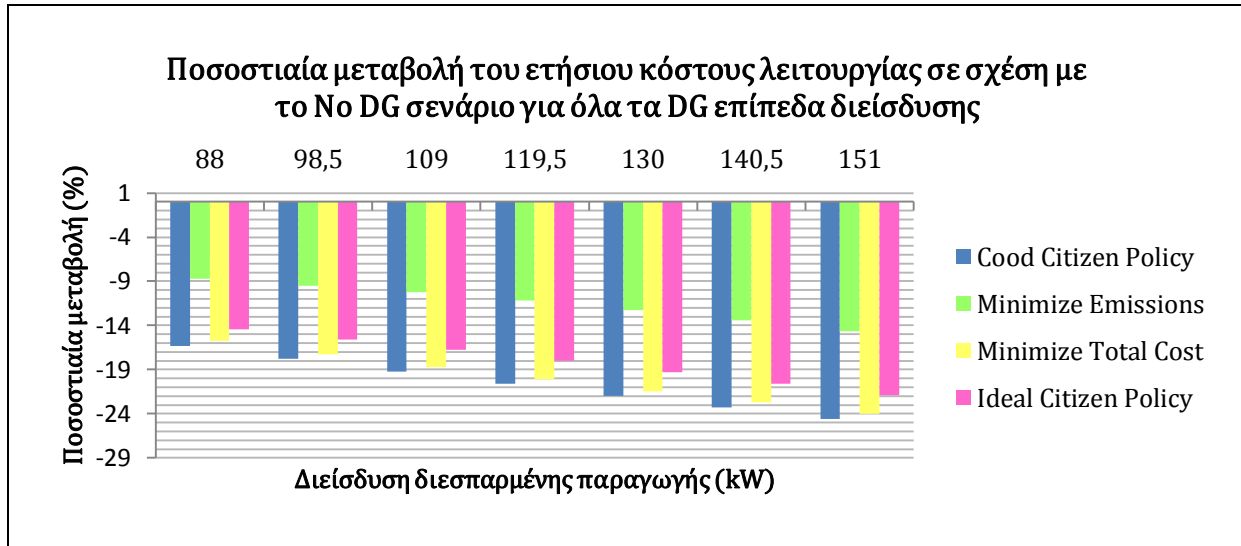
▪ Σενάριο 3: *Microgrid*



Διάγραμμα 7.33: Ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου για το Σενάριο 3 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



Διάγραμμα 7.34: Καμπύλη ετήσιου κόστους λειτουργίας για το Σενάριο 3 (α) για *Good Citizen Policy*, (β) για *Minimize CO₂ emissions*, (γ) για *Minimize Total cost* και (δ) για *Ideal Citizen Policy* για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



Διάγραμμα 7.35: Ποσοστιαία μεταβολή του ετήσιου κόστους λειτουργίας του Σεναρίου 3 σε σχέση με το No DG σενάριο για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως το μικροδίκτυο είναι μία συμφέρουσα επιλογή από οικονομικής άποψης, καθώς το ετήσιο κόστος λειτουργίας μειώνεται σημαντικά σε σχέση με τη λειτουργία του δικτύου χωρίς καθόλου διεσπαρμένη παραγωγή. Η μείωση αυτή, βάσει του Διαγράμματος 7.35, κυμαίνεται από 8,7% έως 24,6%. Όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 7.34, το κόστος λειτουργίας μεταβάλλεται γραμμικά με το επίπεδο DG διείσδυσης. Οι εξισώσεις που προσεγγίζουν το ετήσιο λειτουργικό κόστος για τα διάφορα υποσενάρια είναι οι εξής:

$$\text{Good Citizen Policy: } y = -2672,7x + 164735$$

$$\text{Minimize CO}_2\text{_emissions: } y = -1915,9x + 179392$$

$$\text{Minimize Total_cost: } y = -2664,9x + 165758$$

$$\text{Ideal Citizen Policy: } y = -2408,3x + 168447$$

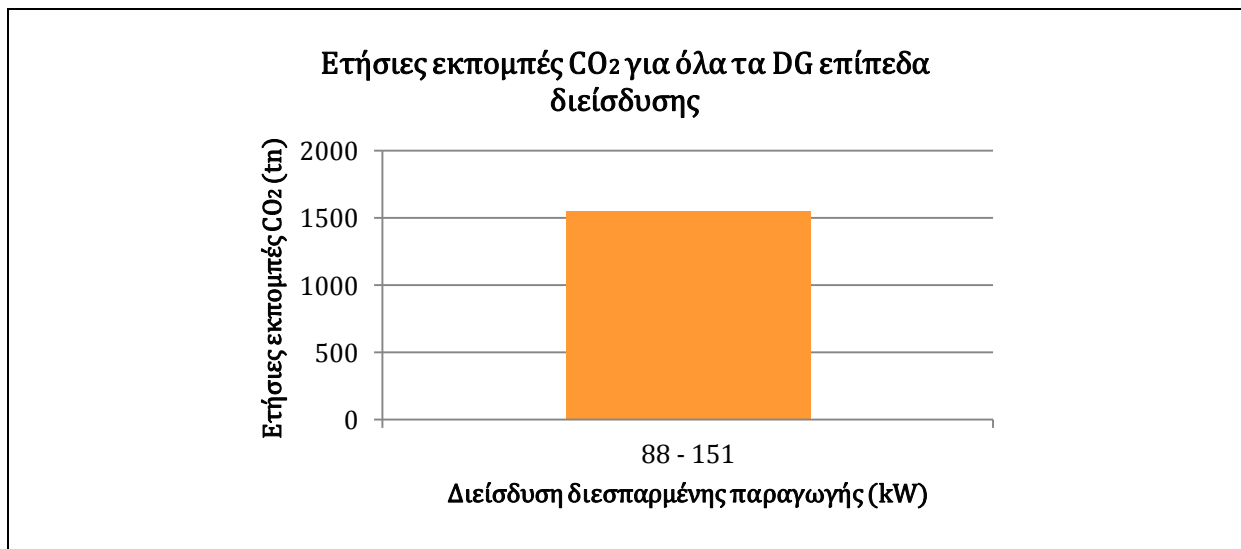
Όπου y το λειτουργικό κόστος σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW. Για τα τρία πρώτα υποσενάρια, αξίζει να αναφέρουμε ότι, με την περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, το κόστος λειτουργίας του δικτύου συνεχίζει να μειώνεται μέχρι ενός επιπέδου διείσδυσης και από εκεί και έπειτα αρχίζει να αυξάνεται, σημειώνοντας τοπικό ελάχιστο. Η μορφή της καμπύλης του ετήσιου κόστους λειτουργίας μετατρέπεται τότε σε παραβολή. Επομένως, η λειτουργία του δικτύου ως μικροδίκτυο, για τα τρία πρώτα υποσενάρια, είναι συμφέρουσα μόνο για χαμηλά επίπεδα διείσδυσης των ΑΠΕ, που είναι και τα πιο ρεαλιστικά, καθώς μια διείσδυση ΑΠΕ επιπέδου 298kW εγκατεστημένης ισχύος, δεν είναι λογική όταν η μέγιστη ζήτηση φορτίου μπορεί να είναι περίπου της τάξης των 230kW. Όλα αυτά, ωστόσο, δεν αφορούν το τέταρτο υποσενάριο, το οποίο και θα εξετάσουμε αναλυτικά σε επόμενη ενότητα.

Όπως αναμένεται, μεγαλύτερη μείωση του κόστους λειτουργίας παρατηρείται στο υποσενάριο Good Citizen Policy, καθώς όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής υπόκεινται σε οικονομικό έλεγχο και η συμμετοχή τους στην κάλυψη του φορτίου εξαρτάται από το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης του λειτουργικού κόστους. Η μείωση, για τα επίπεδα διείσδυσης 88kW – 151kW, κυμαίνεται από 16,3% – 24,6% σε σχέση με το No DG σενάριο και ανέρχεται στα 31.645€ – 47.715€ ανά έτος.

7.2.4 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Στα διαγράμματα που ακολουθούν εξετάζονται τα διάφορα σενάρια λειτουργίας του δικτύου από την περιβαλλοντική τους σκοπιά και μελετώνται οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα διάφορα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής.

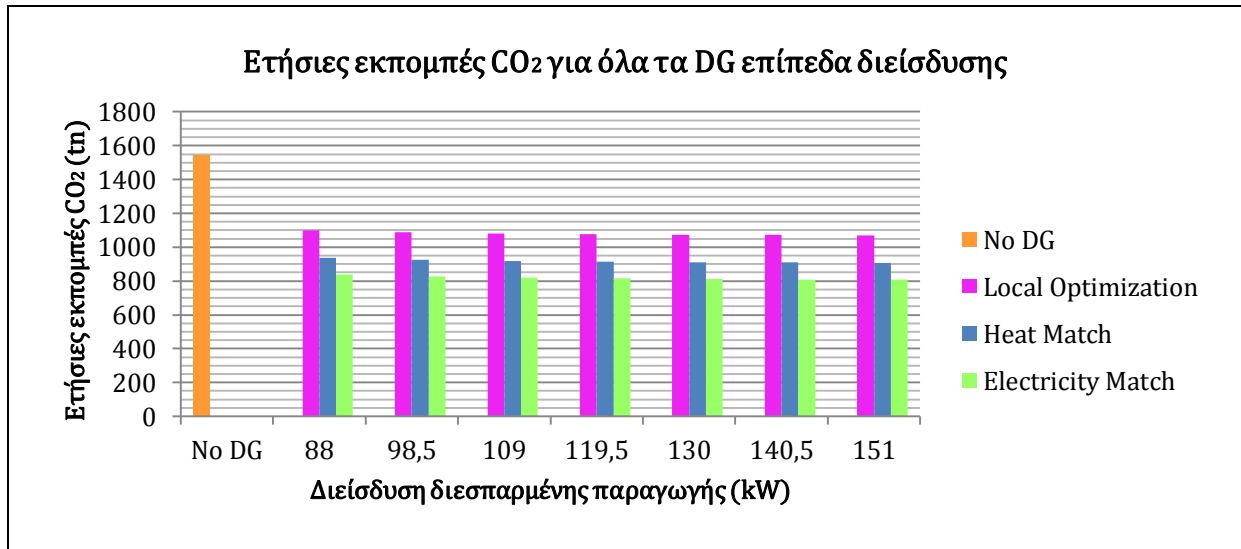
- **Σενάριο 1: No – DG**



Διάγραμμα 7.36: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι ετήσιες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, για κάλυψη του φορτίου εξολοκλήρου από το κεντρικό δίκτυο, ανέρχονται στους 1545tn ανά έτος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ανάντη δίκτυο έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή εκπομπών, αφού αποτελείται από λιγνιτικές μονάδες. Κατ' επέκταση, το σενάριο αυτό θεωρείται ως το πιο ρυπογόνο και μη φιλικό προς το περιβάλλον. Στα επόμενα σενάρια, όπου γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μονάδων φυσικού αερίου, αναμένεται να παρατηρήσουμε αυξημένη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

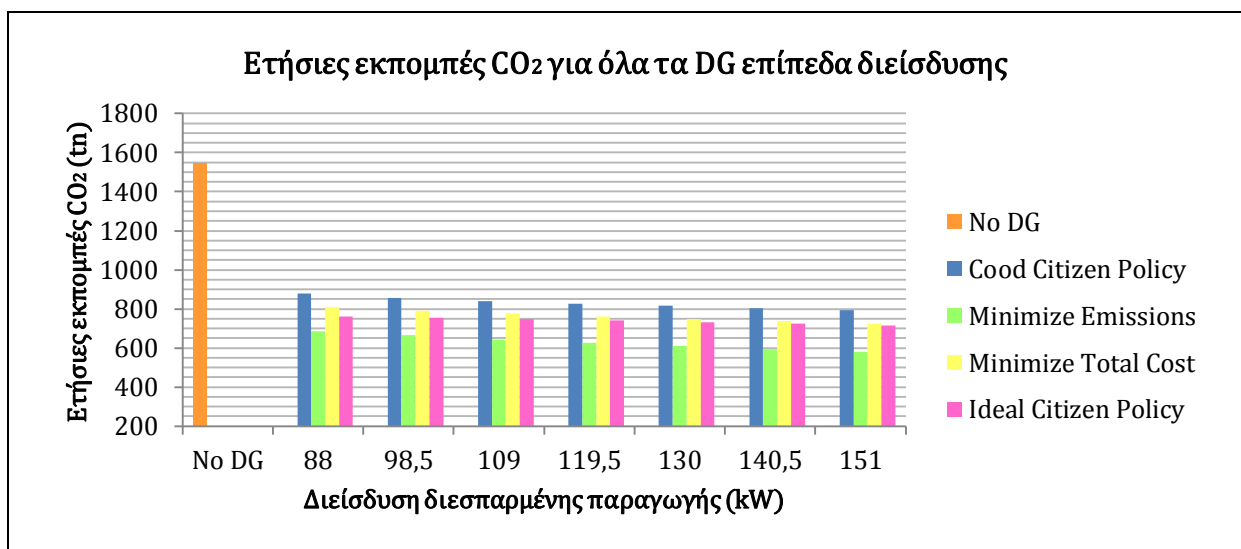
▪ **Σενάριο 2: DG + CHP**



Διάγραμμα 7.37: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το Σενάριο 2 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, σε σχέση με αρχικό σενάριο όπου απουσιάζουν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι σημαντική και κυμαίνεται περί των 444tn – 474tn ανά ετος για Local_Optimization λειτουργία των HUBs, περί των 607tn – 837tn για Heat_Match λειτουργία των μονάδων CHP και περί των 706tn – 736tn για Electricity_Match.

▪ **Σενάριο 3: Microgrid**



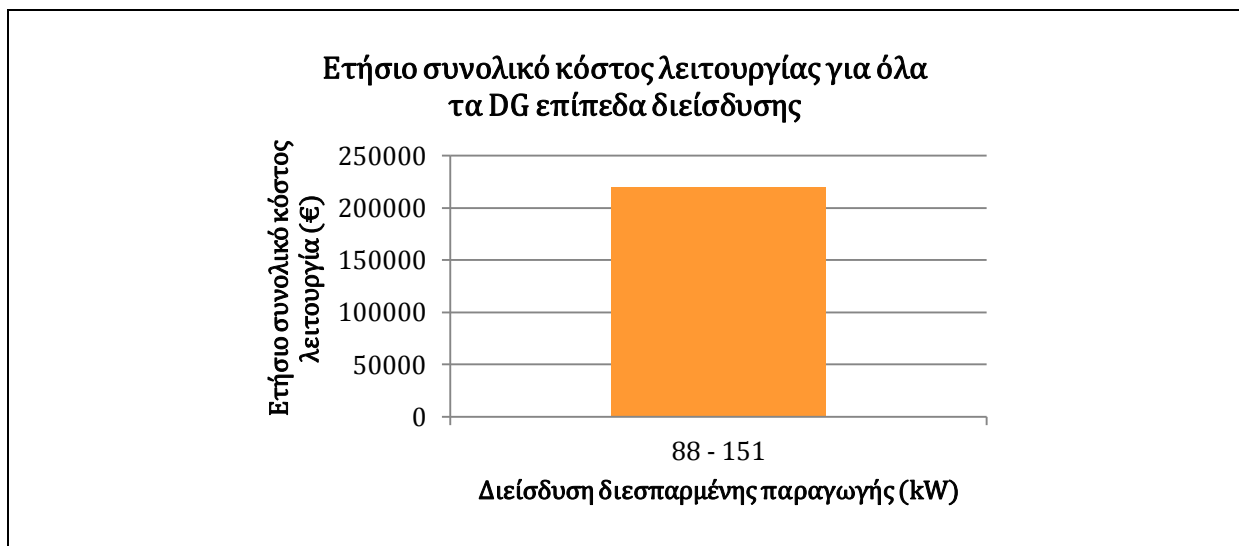
Διάγραμμα 7.38: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το Σενάριο 3 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Βάσει του Διαγράμματος 7.38, διαπιστώνουμε ότι η λειτουργία μικροδικτύου καθιστά το υπό μελέτη δίκτυο φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται μέχρι και 60%. Είναι εμφανές ότι το υποσενάριο Minimize CO₂ emissions είναι το κατεξοχήν πιο οικολογικό σενάριο. Αυτό είναι λογικό, καθώς η ένταξη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής, για την κάλυψη της ζήτησης, γίνεται στα πλαίσια περιβαλλοντικής βελτιστοποίησης. Οι ετήσιες εκπομπές του υποσεναρίου αυτού, παρουσιάζουν μείωση της τάξης των 860tn – 966tn (56% – 63%), για τα επίπεδα διείσδυσης 88kW – 151kW. Μια περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης των μονάδων ΑΠΕ, θα οδηγούσε σε ακόμη υψηλότερα ποσοστά μείωσης των εκπομπών, εν σύγκριση πάντοτε με το κλασικό σενάριο της μη λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

7.2.5 Συνολικό κόστος λειτουργίας

Για να είναι εφαρμόσιμη και φιλική προς το περιβάλλον η λειτουργία του δικτύου πρέπει να επιφορτιστεί και με τον έλεγχο των εκπεμπόμενων ρύπων. Αυτό είναι αναγκαίο, καθώς 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 και όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης.

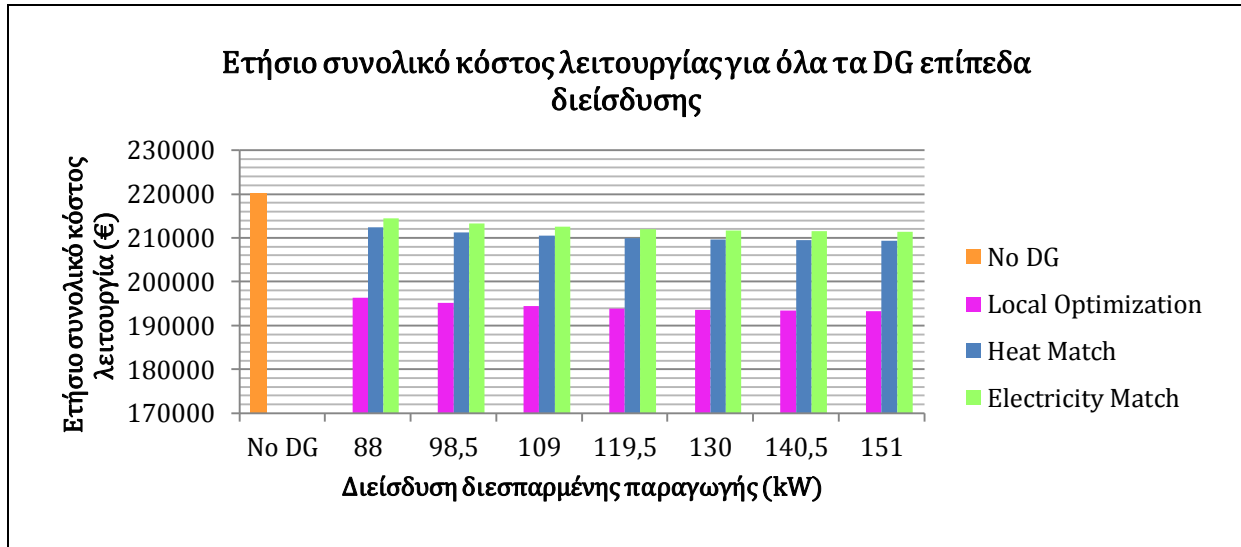
- **Σενάριο 1: No – DG**



Διάγραμμα 7.39: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 7.39 το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, στην περίπτωση που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το κεντρικό δίκτυο, ανέρχεται στα 220.127€ και δεν μεταβάλλεται με την αλλαγή των DG μονάδων. Διαπιστώνουμε επίσης, ότι υπερβαίνει το ετήσιο κόστος λειτουργίας κατά 26.269€.

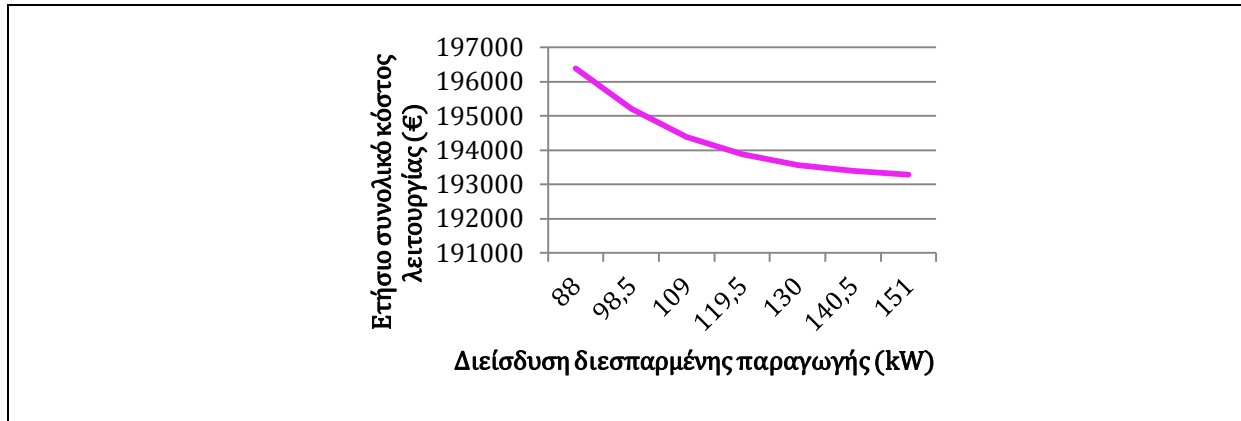
▪ **Σενάριο 2: DG + CHP**



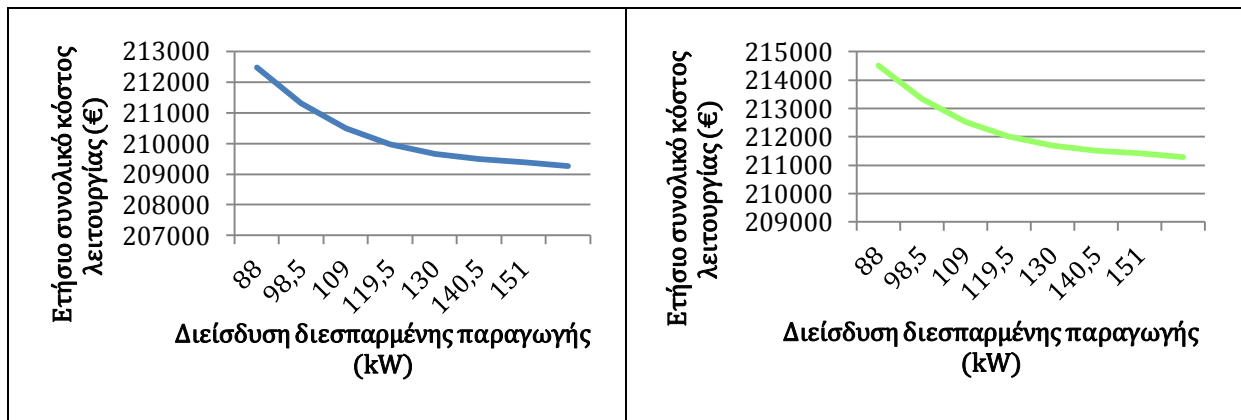
Διάγραμμα 7.40: Ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 2 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



Διάγραμμα 7.41: Ποσοστιαία μεταβολή του ετήσιου συνολικού κόστους λειτουργίας του Σεναρίου 2 σε σχέση με το No DG σενάριο για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



(α)



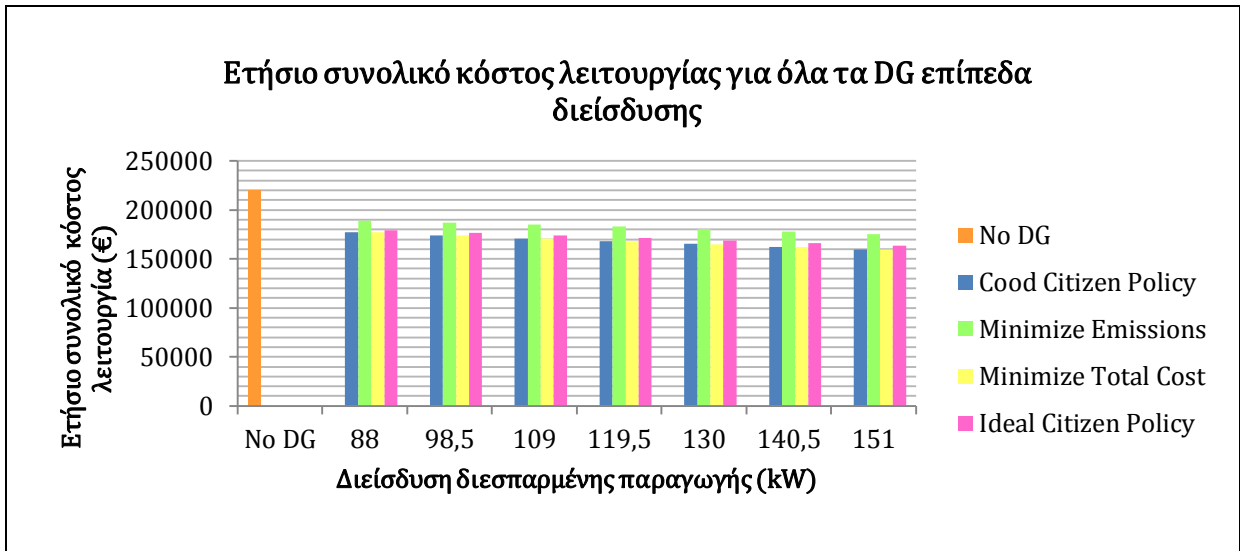
(β)

(γ)

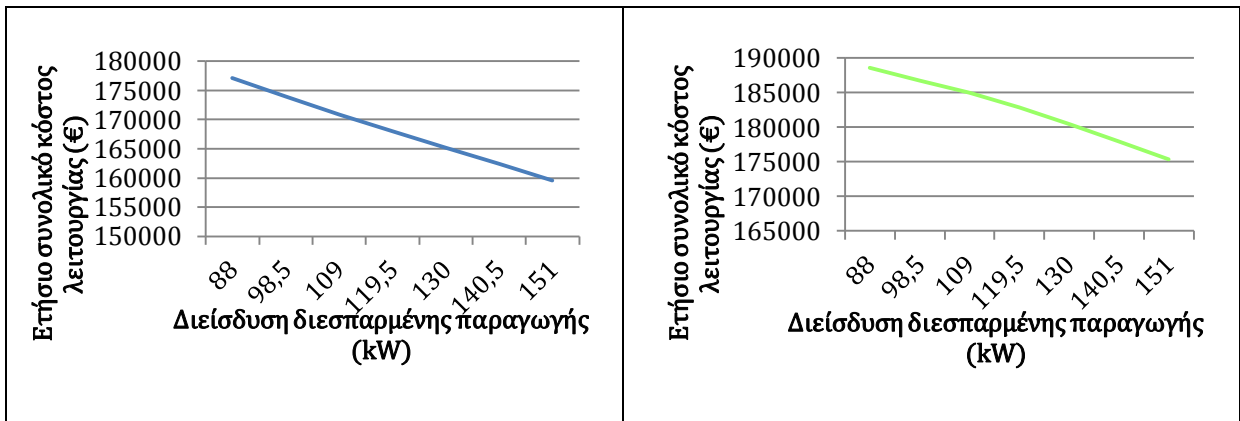
Διάγραμμα 7.42: Καμπύλη ετήσιου συνολικού κόστους λειτουργίας για το Σενάριο 2 (α) για Local_Optimization λειτουργία (β) για Heat_Match λειτουργία και (γ) για Electricity_Match λειτουργία για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Εν αντιθέση με το ετήσιο κόστος λειτουργίας, το συνολικό κόστος είναι μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος του No DG σεναρίου, για όλα τα υποσενάρια της ανεξάρτητης λειτουργίας. Όπως παρατηρείται από το Διάγραμμα 7.42, το συνολικό κόστος μεταβάλλεται με το επίπεδο DG διείσδυσης, προσεγγίζοντας μια ελάχιστη τιμή. Συγκεκριμένα, για Local_Optimization λειτουργία προσεγγίζει την τιμή των 193.094€, για Heat_Match λειτουργία την τιμή των 209.185€ και για Electricity_Match λειτουργία την τιμή των 211.219€. Η μείωση, για τα επίπεδα διείσδυσης 88kW – 151kW, κυμαίνεται από 10,8% – 12,2% (23.740€ – 26.839€) για Local_Optimization λειτουργία, από 3,5% – 4,9% (7.649€ – 10.748€) για Heat_Match λειτουργία και από 2,6% – 4% (5.615€ – 8.714€) για Electricity_Match λειτουργία, σε σχέση πάντοτε με το No DG σενάριο. Αποδεικνύεται λοιπόν, πως η ένταξη μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής επιφέρει οικονομικά πλεονεκτήματα, ακόμα και όταν δεν συντονίζονται τη λειτουργία τους, λειτουργώντας ανεξάρτητα. Η πιο αποδοτική ωστόσο επιλογή, από τα DG + CHP σεναρία, είναι αυτή της τοπικής βελτιστοποίησης των HUBs (Local_Optimization), όπου δεν απορρίπτεται ενέργεια, είτε υπό μορφή θερμότητας είτε υπό μορφή ηλεκτρισμού.

▪ Σενάριο 3: *Microgrid*

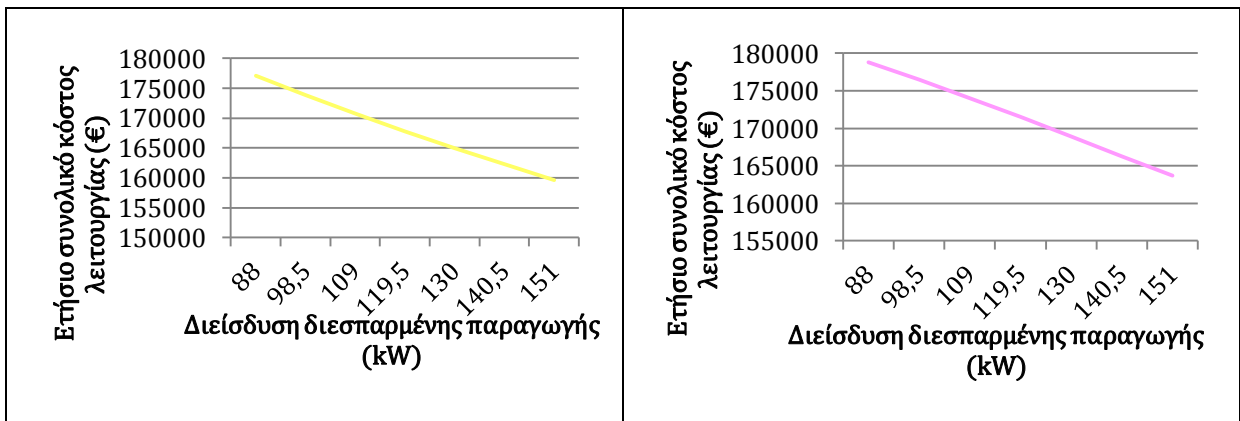


Διάγραμμα 7.43: Συνολικό κόστος λειτουργίας για το Σενάριο 3 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



(α)

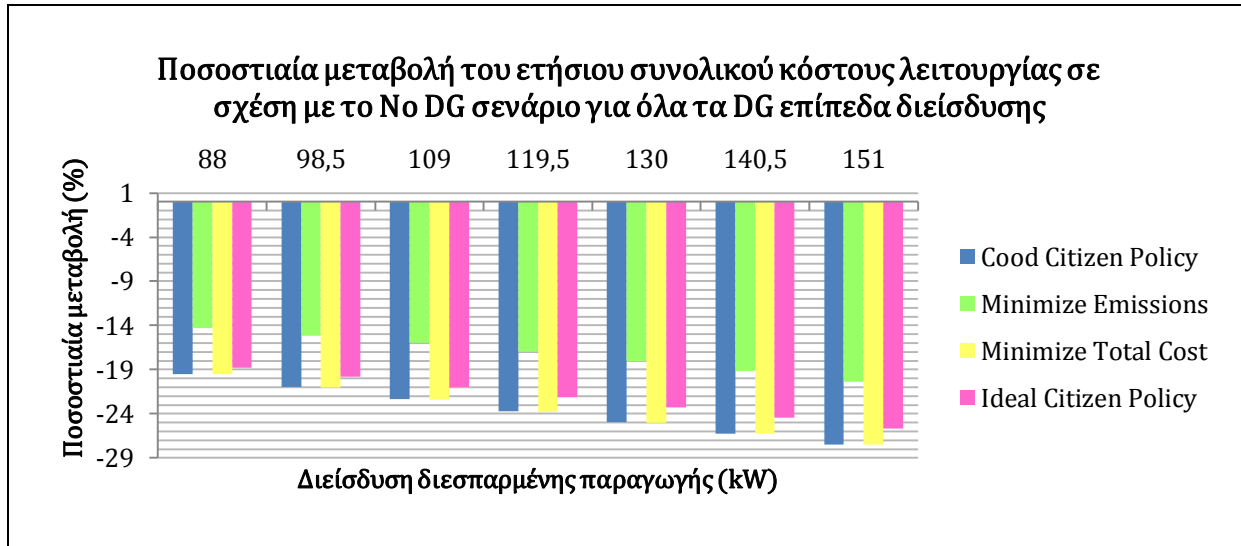
(β)



(γ)

(δ)

Διάγραμμα 7.44: Καμπύλη ετήσιου συνολικού κόστους λειτουργίας για το Σενάριο 3 (α) για *Good Citizen Policy*, (β) για *Minimize CO₂_emissions*, (γ) για *Minimize Total_cost* και (δ) για *Ideal Citizen Policy* για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης



Διάγραμμα 7.45: Ποσοστιαία μεταβολή του ετήσιου συνολικού κόστους λειτουργίας του Σεναρίου 3 σε σχέση με το No DG σενάριο για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να διαπιστώσουμε ποια λειτουργία του μικροδικτύου είναι η πιο αποδοτική από οικονομικής άποψης. Όλες οι παραλλαγές του μικροδικτύου παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερο ετήσιο συνολικό κόστος, σε σχέση με τη λειτουργία του δικτύου χωρίς καθόλου διεσπαρμένη παραγωγή. Όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 7.44, το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας, για όλα τα υποσενάρια, μεταβάλλεται γραμμικά με το επίπεδο DG διείσδυσης. Οι εξισώσεις που προσεγγίζουν το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας για τα διάφορα υποσενάρια είναι οι εξής:

$$\text{Good Citizen Policy: } y = -2909,7x + 179809$$

$$\text{Minimize CO}_2\text{_emissions: } y = -2216,5x + 191282$$

$$\text{Minimize Total_cost: } y = -2905,1x + 179709$$

$$\text{Ideal Citizen Policy: } y = -2536,8x + 181531$$

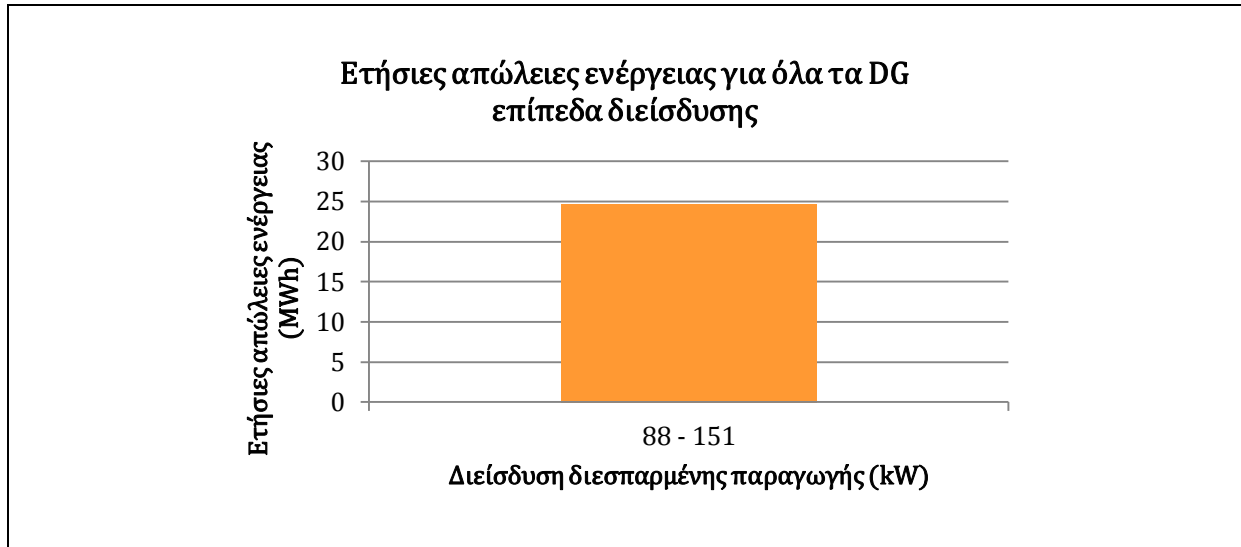
Όπου y το λειτουργικό κόστος σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

Όπως αναμένεται, η μεγαλύτερη μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας παρατηρείται στο υποσενάριο Minimize Total_cost, χωρίς βέβαια να διαφέρει πολύ από το υποσενάριο Good Citizen Policy. Όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής υπόκεινται τόσο σε οικονομικούς όσο σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Η μείωση, για τα επίπεδα διείσδυσης 88kW – 151kW, κυμαίνεται από 14,3% – 27,5% σε σχέση με το No DG σενάριο και ανέρχεται στα 31.490€ – 60.515€ ανά έτος.

7.2.6 Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου

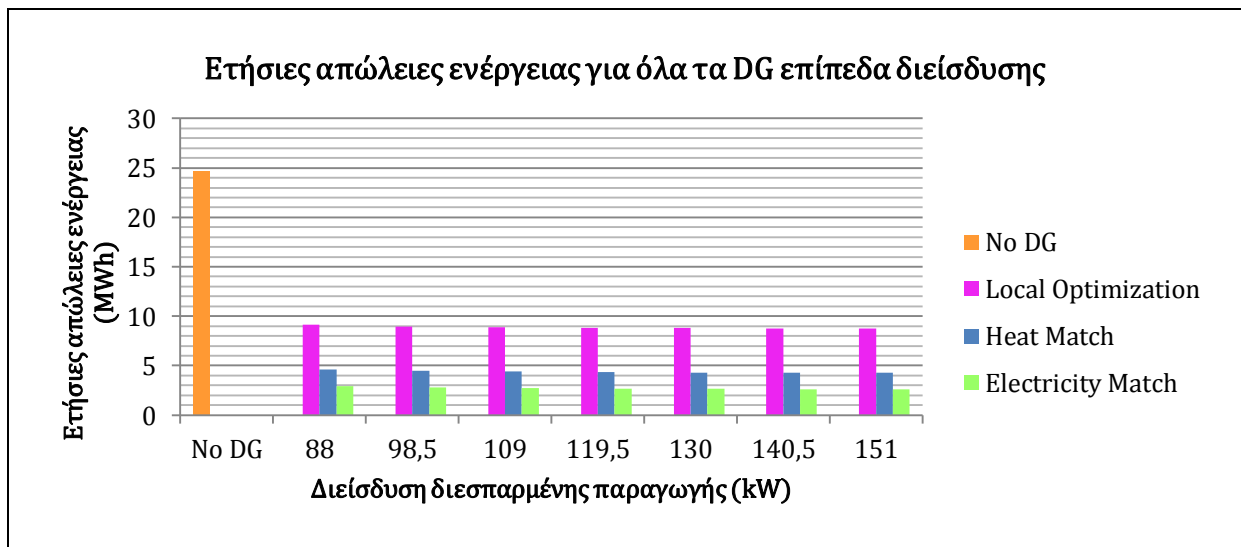
Ένα σημαντικό μέγεθος για κάθε σύστημα είναι οι απώλειες. Αυτές απεικονίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Να σημειώσουμε ότι οι συνολικές απώλειες στην ουσία ισούνται με τις απώλειες του ηλεκτρικού δικτύου, μιας και λόγω των υποθέσεών μας το δίκτυο φυσικού αερίου θεωρείται ιδανικό και δεν υπάρχουν απώλειες.

- **Σενάριο 1: No – DG**



Διάγραμμα 7.46: Συνολικές απώλειες ενέργειας για το Σενάριο 1 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

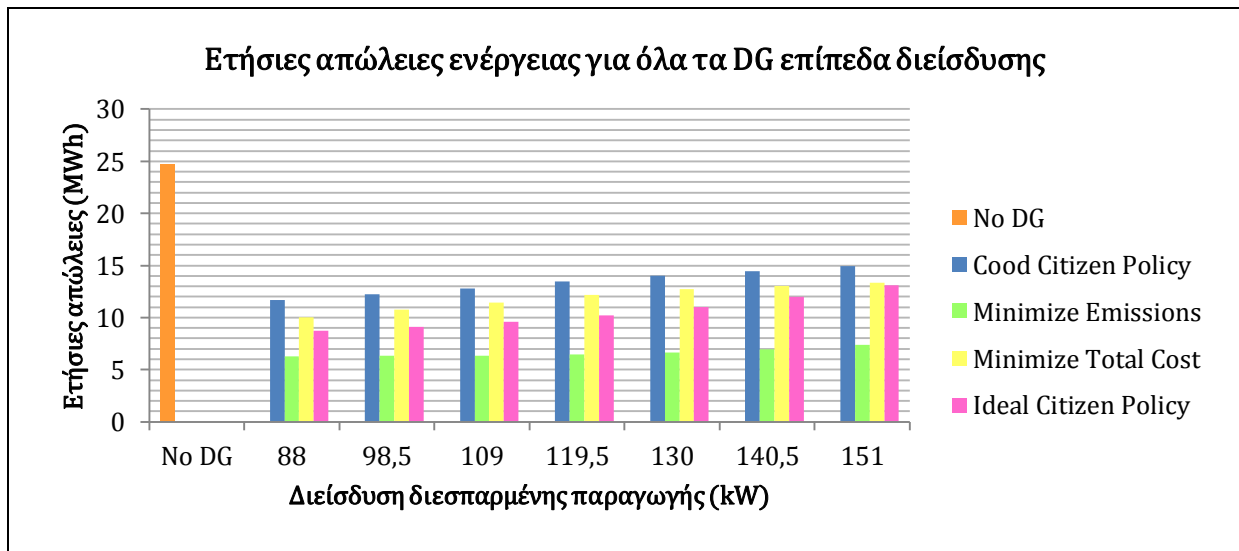
- **Σενάριο 2: DG + CHP**



Διάγραμμα 7.47: Συνολικές απώλειες ενέργειας για το Σενάριο 2 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Στην διανεμημένη παραγωγή παρατηρούνται μικρότερες απώλειες λόγω τοπικής κάλυψης του φορτίου. Η παραγωγή είναι δίπλα στην κατανάλωση και είναι φυσικό οι απώλειες να μειώνονται, σε σχέση με το κλασικό σενάριο όπου όλη η ενέργεια εισέρχεται από το ανάντη δίκτυο. Με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, οι απώλειες του δικτύου δεν αλλάζουν, παρά μόνο ελάχιστα. Επιπλέον, από το Διάγραμμα 7.47 παρατηρούμε πως κατά την Electricity_Match λειτουργία των μονάδων CHP, οι απώλειες είναι ελαφρώς μικρότερες (2,9MWh – 2,62MWh) σε σχέση με την Heat_Match λειτουργία (4,59MWh – 4,29MWh) και την Local_Optimization λειτουργία (9,11MWh – 8,75MWh), καθώς η έγχυση ισχύος από το ανάντη δίκτυο είναι σαφώς μικρότερη.

▪ **Σενάριο 3: Microgrid**



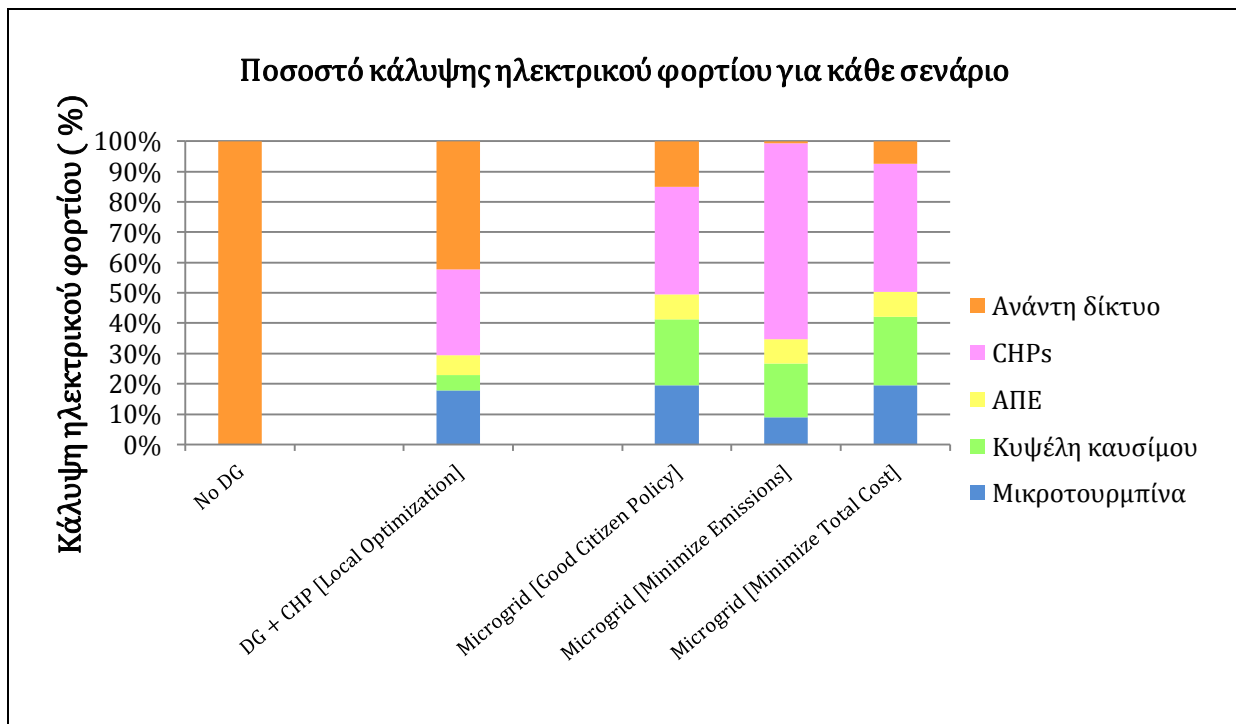
Διάγραμμα 7.48: Ετήσιες απώλειες ενέργειας για το Σενάριο 3 για όλα τα επίπεδα DG διείσδυσης

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.48 το μικροδίκτυο με λειτουργία Minimize CO₂_emissions έχει τις λιγότερες απώλειες (6,29MWh – 7,36MWh), ενώ το μικροδίκτυο με λειτουργία Good Citizen Policy τις μεγαλύτερες (11,66MWh – 14,94MWh). Η αξιοποίηση της παραγωγής των διαφόρων μονάδων, από την εκάστοτε τεχνική βελτιστοποίησης, αιτιολογεί το γεγονός αυτό. Με την αύξηση των επιπέδων DG διείσδυσης αυξάνεται η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ και παράλληλα αυξάνονται και οι συνολικές απώλειες του δικτύου, δεδομένου ότι πλέον οι μονάδες αυτές τροφοδοτούν ένα μεγαλύτερο κομμάτι του μικροδικτύου.

7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΟ DG ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (88kW)

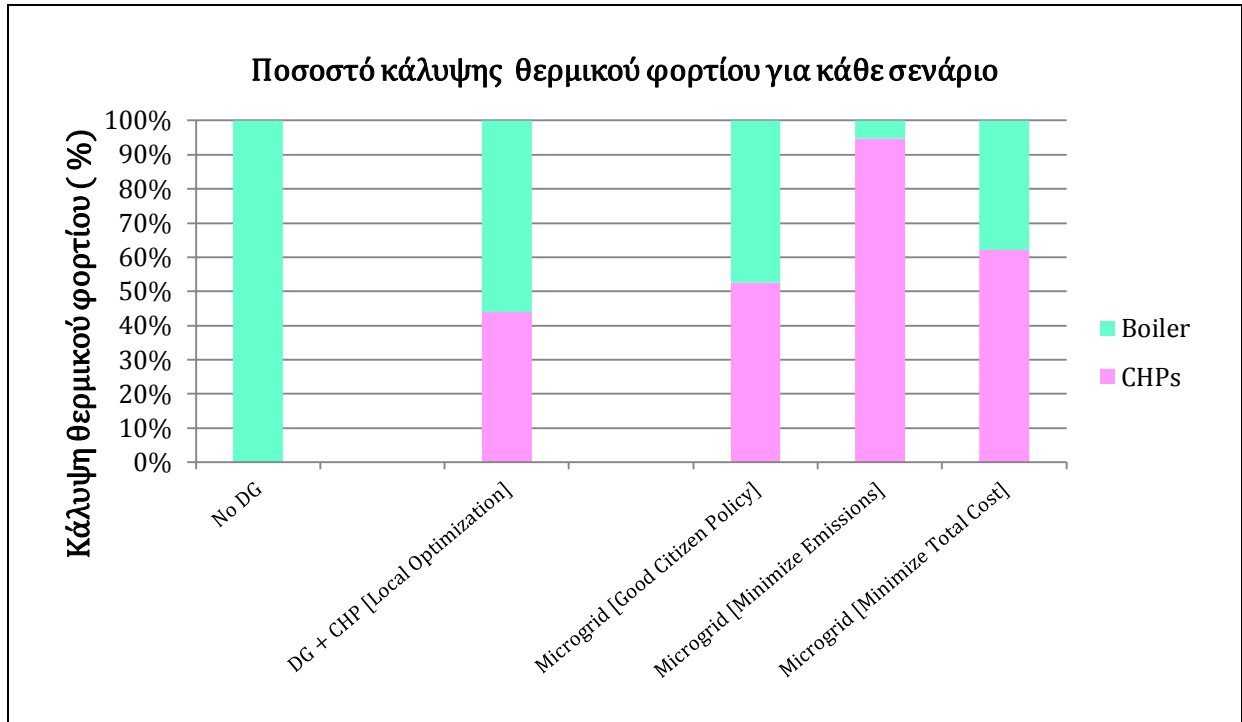
Έχοντας αναλύσει ξεχωριστά τα διάφορα μεγέθη για κάθε σενάριο λειτουργίας του δικτύου και για όλα τα επίπεδα διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής, συγκεντρώνουμε τώρα τα αποτελέσματα, μόνο για ένα επίπεδο διείσδυσης, αυτό της εγκατεστημένης ισχύος των 88kW, που είναι και η αρχική εγκατεστημένη ισχύς στο δίκτυο που μελετάμε. Παρακάτω παρουσιάζονται σε συγκριτικά διαγράμματα τα διάφορα μεγέθη του δικτύου για όλα τα σενάρια λειτουργίας. Να αναφέρουμε ότι, η σύγκριση με την ανεξάρτητη λειτουργία έγινε ως προς το υποσενάριο της βελτιστοποίησης του ενεργειακού διανομέα (*Local_Optimization*), έτσι ώστε να έχουμε πιο αξιόπιστη σύγκριση αποτελεσμάτων, καθώς σε κανένα άλλο σενάριο δεν επιτρέπεται η απόρριψη θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας.

7.3.1 Κάλυψη φορτίου



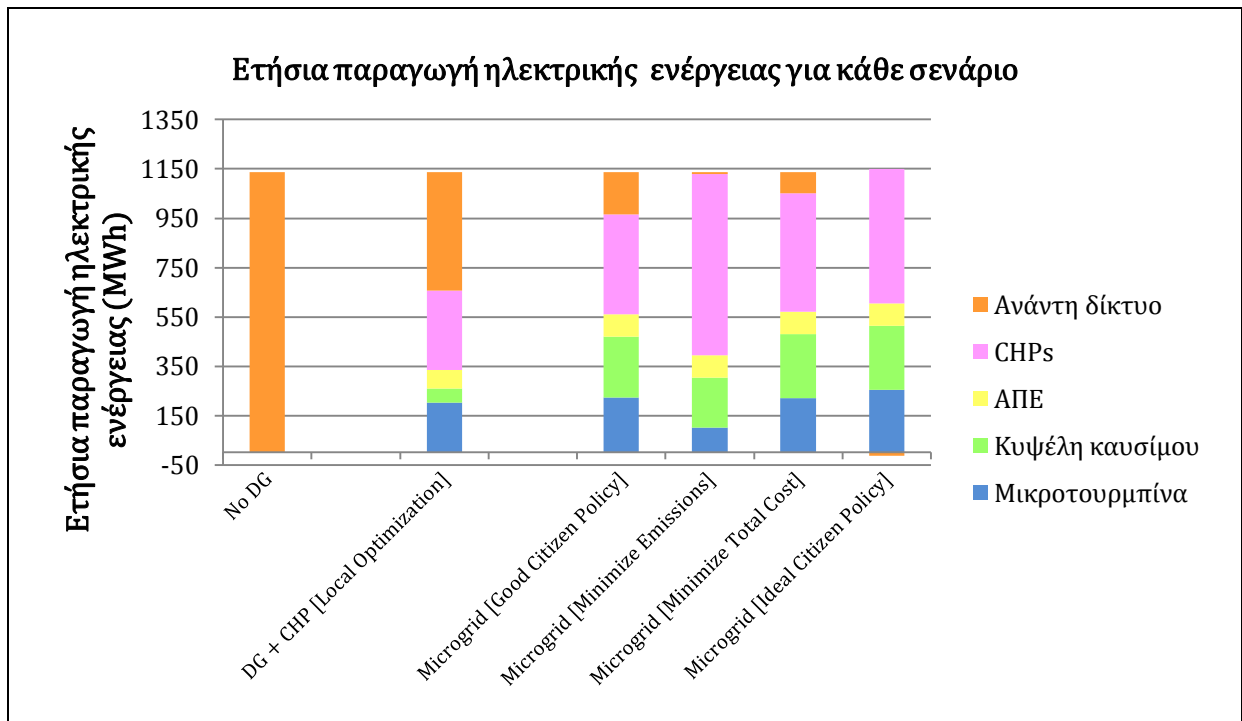
Διάγραμμα 7.49: Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου για όλα τα Σενάρια και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Όπως παρατηρείται, το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής, επιτυγχάνεται για λειτουργία μικροδικτύου και συγκεκριμένα για Minimize CO₂_emissions λειτουργία. Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου, στην περίπτωση αυτή, εξυπηρετείται από τις μονάδες CHP, με ποσοστό που φτάνει μέχρι και 64,7%. Ενώ, η εγγεόμενη ισχύς από το ανάντη δίκτυο, μειώνεται κατά 99,4% σε σχέση με το No DG σενάριο.



Διάγραμμα 7.50: Ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου για όλα τα Σενάρια και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

7.3.2 Παραγωγή ενέργειας από τις διάφορες μονάδες του δικτύου



Διάγραμμα 7.51: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλα τα Σενάρια και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κατά την Ideal Citizen Policy λειτουργία του μικροδικτύου, ξεπερνά τη ζήτηση, καθώς με την εφαρμογή της πολιτικής αυτής, δίνεται η δυνατότητα στο μικροδίκτυο να παρέχει ενέργεια τόσο στο τοπικό όσο και στο κεντρικό δίκτυο. Σ' αυτή την περίπτωση, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στις 1149,1MWh, με τις 12,66MWh να εξάγονται στο ανάντη δίκτυο.

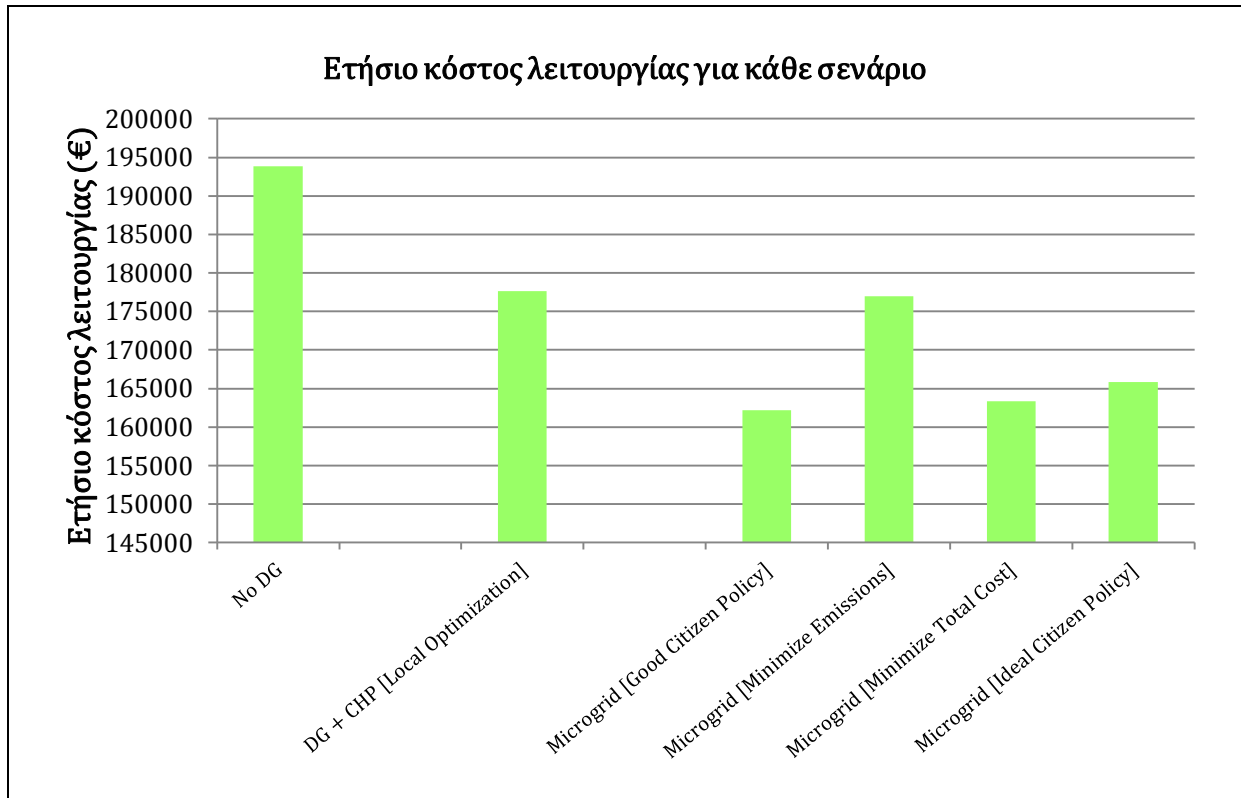
Στο Διάγραμμα 7.51 φαίνεται επίσης η διαφορετική συμπεριφορά της μικροτουρμπίνας και της κυψέλης καυσίμου για τα σενάρια DG + CHP και Microgrid. Συγκεκριμένα, όταν στον μικροδίκτυο πραγματοποιείται οικονομική βελτιστοποίηση, αξιοποιείται η αυξημένη δυνατότητα παραγωγής της μικροτουρμπίνας και της κυψέλης καυσίμου, γεγονός το οποίο συμβάλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους, αφού παράγουν φθηνότερη ενέργεια σε σχέση με την εγγεόμενη από το δίκτυο. Όταν όμως, πραγματοποιείται περιβαλλοντική βελτιστοποίηση αξιοποιείται περισσότερο η παραγωγή της κυψέλης καυσίμου, καθώς εκλύει λιγότερους ρύπους προς το περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.52: Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας για όλα τα Σενάρια και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 7.52 η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας, παύει να εξαρτάται αποκλειστικά από τις μονάδες Boiler, καθώς οι μονάδες CHP αναλαμβάνουν να εξυπηρετήσουν ένα μεγάλο μέρος του θερμικού φορτίου. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η θερμική παραγωγή των μονάδων CHP, αυξάνεται κατά τη λειτουργία μικροδικτύου εν συγκρίσει με την ανεξάρτητη λειτουργία. Συγκεκριμένα, η αύξηση αυτή κυμαίνεται από 119MWh – 704,87MWh για Good Citizen Policy και Minimize CO₂ emissions, αντίστοιχα.

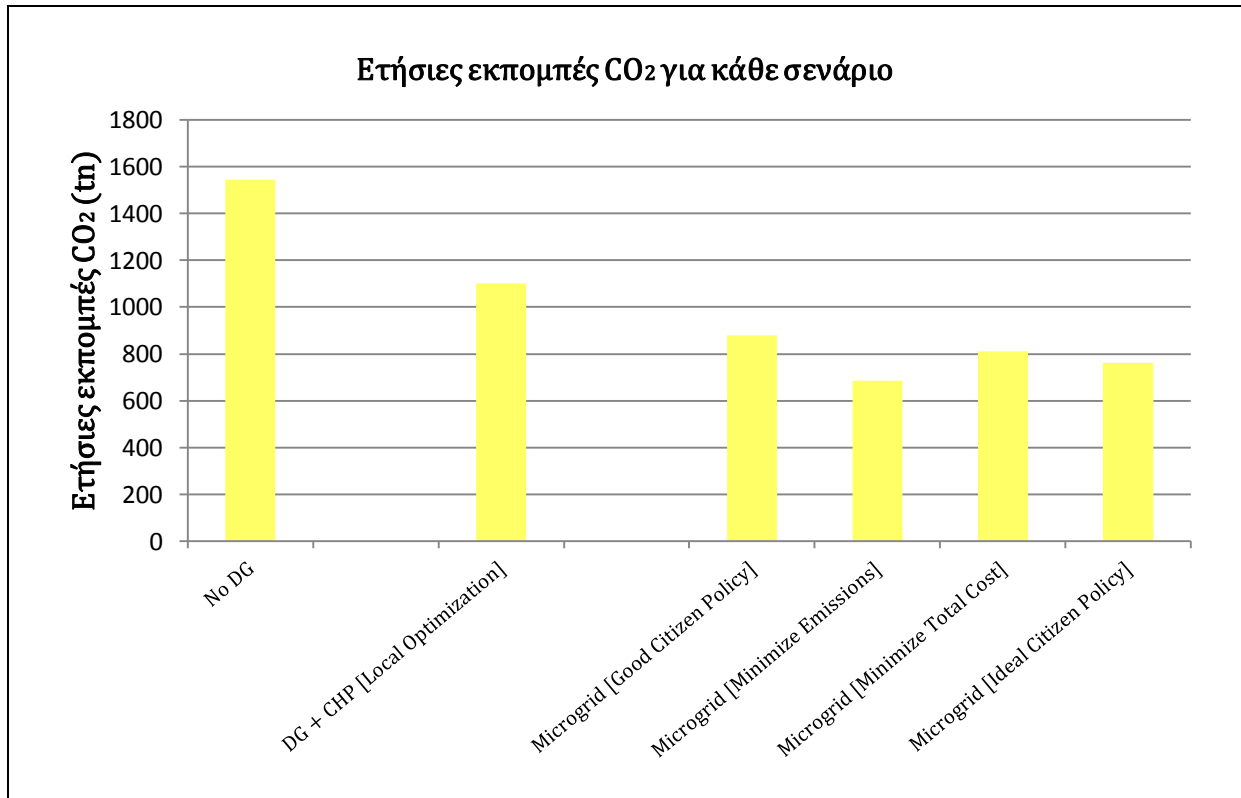
7.3.3 Κόστος λειτουργίας του δικτύου



Διάγραμμα 7.53: Ετήσιο κόστος λειτουργίας του δικτύου για όλα τα Σενάρια και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Όπως παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα, το ετήσιο κόστος στην περίπτωση που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το δίκτυο (No DG σενάριο) ανέρχεται στα 193.858€. Για το DG + CHP σενάριο και Local_Optimization λειτουργία των HUBs, το αντίστοιχο κόστος μειώνεται στα 177.669€. Η διαφορά του σε σχέση με το No DG σενάριο ανέρχεται στα 16.189€ και οφείλεται στην ένταξη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Στο μικροδίκτυο, το κόστος λειτουργίας παρουσιάζει διακυμάνσεις, ανάλογα με την εκάστοτε πολιτική και τεχνική βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, για Minimize CO₂ emissions, το κόστος λειτουργίας ανέρχεται στα 176.988€ και είναι μικρότερο από το No DG σεναρίο κατά 16.870€ (8,7%) και από το DG + CHP σενάριο κατά 681€. Ενώ για Good Citizen Policy το κόστος ανέρχεται στα 162.213€ και είναι μικρότερο κατά 31.645€ (16,3%) από το αρχικό σενάριο και κατά 15.456€ (8,7%) από το σενάριο ανεξάρτητης λειτουργίας. Για Minimize Total_cost το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι 163.355€ και για Ideal Citizen Policy 165.875€. Η διαφορά τους (ποσοστιαία μεταβολή) από το κλασικό σενάριο είναι 30.503€ (15,7%) και 27.983€ (14,4%) και από το DG + CHP σενάριο 14.314€ (8%) και 11.794€ (6,6%), αντίστοιχα. Παρατηρούμε πως η λειτουργία μικροδικτύου, είναι η οικονομικότερη από πλευράς λειτουργικού κόστους, για την συγκεκριμένη DG εγκατεστημένη παραγωγή.

7.3.4 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

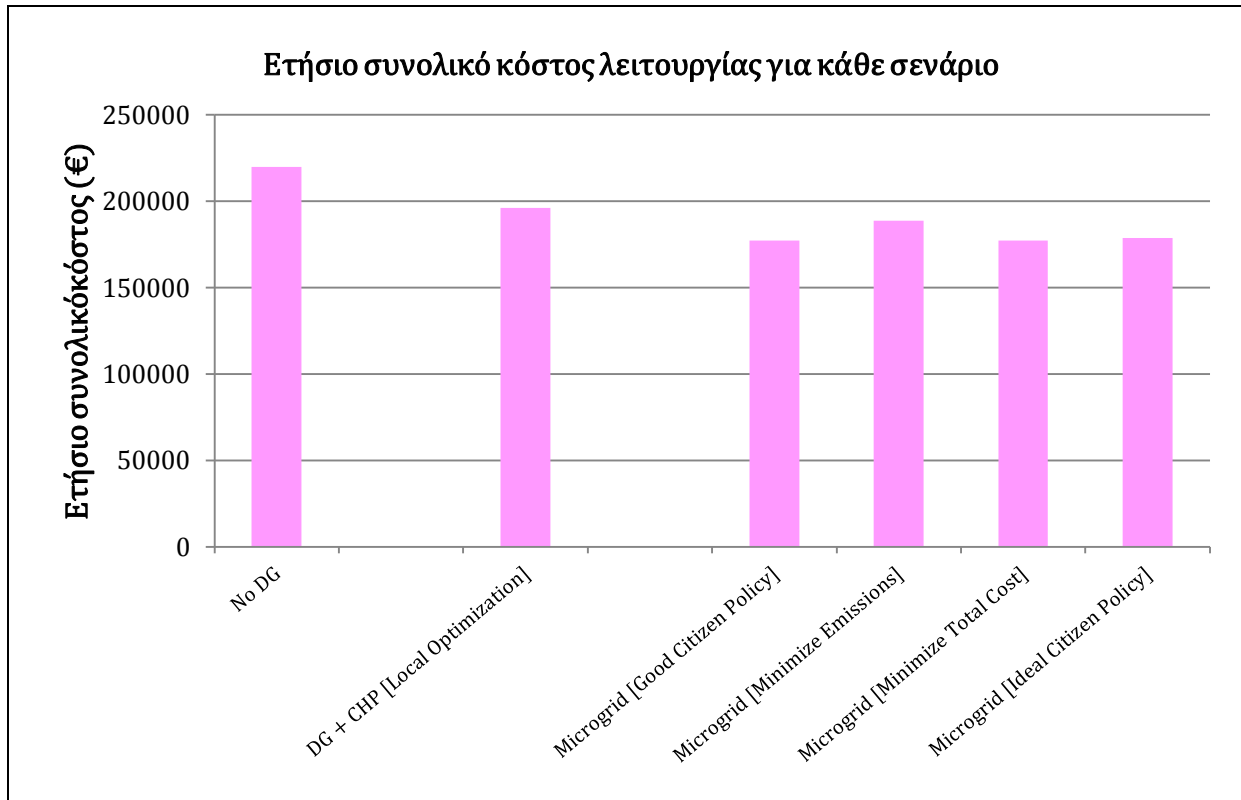


Διάγραμμα 7.54: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για όλα τα Σενάρια λειτουργίας του δικτύου και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Οι ετήσιες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, για εξολοκλήρου κάλυψη του φορτίου από το κεντρικό δίκτυο, ανέρχονται στους 1545tn. Στα σενάρια DG + CHP και Microgrid, όπου γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μονάδων φυσικού αερίου, οι εκπεμπόμενοι ρύποι είναι σαφώς μειωμένοι. Συγκεκριμένα, για ανεξάρτητη λειτουργία και Local_Optimization λειτουργία των HUBs, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται στους 1101tn ετησίως και είναι λιγότερες κατά 29% από το σενάριο αναφοράς.

Από το Διάγραμμα 7.54 διαπιστώνουμε ότι η λειτουργία μικροδικτύου, επιφέρει σημαντικά ποσοστά μείωσης των ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Όπως είναι αναμενόμενο, το υποσενάριο Minimize CO₂_emissions, παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης εκπεμπόμενων ρύπων. Αυτό είναι λογικό, καθώς η ένταξη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής, για την κάλυψη της ζήτησης, γίνεται στα πλαίσια περιβαλλοντικής βελτιστοποίησης. Οι ετήσιες εκπομπές του υποσεναρίου αυτού, κυμαίνονται στους 685tn και είναι μικρότερες από το αρχικό σενάριο κατά 56% και από το DG + CHP σενάριο κατά 37,8%. Για Good Citizen Policy οι εκπομπές ανέρχονται στους 879tn ετησίως, για Minimize Total_cost στους 810tn και για Ideal Citizen Policy στους 762tn.

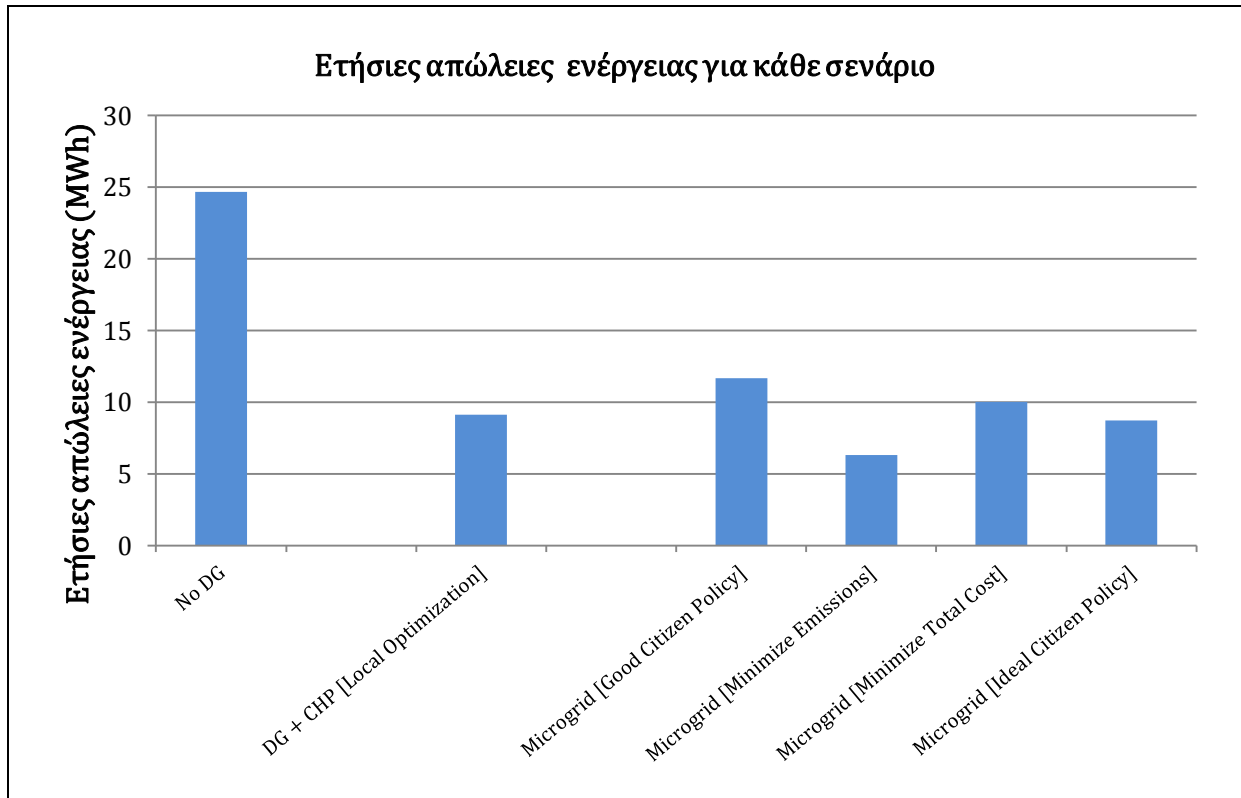
7.3.5 Συνολικό κόστος λειτουργίας



Διάγραμμα 7.55: Ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου για όλα τα Σενάρια και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Μέσα από το συνολικό κόστος λειτουργίας, μπορούμε να αποφανθούμε ποια λειτουργία του δικτύου είναι πιο αποδοτική και συμφέρει από οικονομικής άποψης. Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα, το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, στην περίπτωση που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το κεντρικό δίκτυο, ανέρχεται στα 220.127€ και αποτελεί το χειρότερο σενάριο λειτουργίας. Αντιθέτως, το μικροδίκτυο αποτελεί το οικονομικότερο σενάριο αφού, όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα 7.55, το συνολικό κόστος μειώνεται. Συγκεκριμένα, η λειτουργία του μικροδικτύου που φέρει τα οικονομικότερα αποτελέσματα είναι αυτή του Minimize Total_cost, με ετήσιο κόστος 177.129€. Στην περίπτωση αυτή, το ετήσιο συνολικό κόστος μειώνεται μέχρι και 42.998€ (19,5%) από το κλασικό σενάριο της μη ένταξης διανεμημένης παραγωγής και 19.258€ (9,8%) από το σενάριο τη ανεξάρτητης και μη συντονισμένης λειτουργίας των μονάδων. Όσο αφορά τα υπόλοιπα σενάρια το ετήσιο κόστος λειτουργίας τους ανέρχεται στα 196.387€ για την ανεξάρτητη λειτουργία, στα 177.156€ για το Microgrid – Good Citizen Policy, στα 178.826€ για το Microgrid – Ideal Citizen Policy και στα 188.637€ για το Microgrid – Minimize CO₂_emissions. Τα οποία και διαφέρουν από το αρχικό No DG σενάριο κατά 23.740€ (10,8%), 42.971€ (19,5%), 25.268€ (12,48%) και 31.490€ (14,3%) αντίστοιχα.

7.3.6 Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς του δικτύου



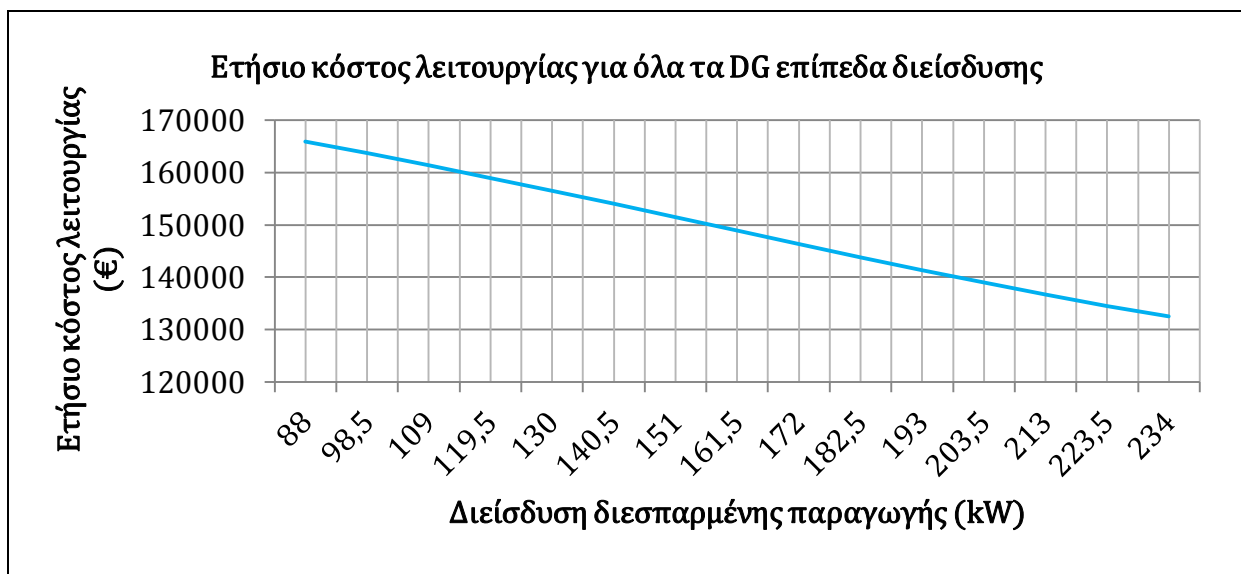
Διάγραμμα 7.56: Ετήσιες απώλειες ενέργειας για όλα τα Σενάρια λειτουργίας του δικτύου και για εγκατεστημένη DG παραγωγή 88kW

Σε κανένα σενάριο δεν παρατηρούνται αξιόλογες απώλειες στο σύστημα. Μόνο στο πρώτο σενάριο παρουσιάζονται κάπως μεγαλύτερες. Μείωση της εισερχόμενης ισχύος από το κεντρικό δίκτυο συνεπάγεται και μείωση των απωλειών. Πολύ μικρή αύξηση των απωλειών, παρατηρούμε στο υποσενάριο Microgrid – Good Citizen Policy συγκριτικά με το σενάριο DG + CHP, καθώς το μέγεθος των απωλειών του δικτύου, κατά κανόνα, σχετίζεται με τη διαδρομή που διανύει το ηλεκτρικό ρεύμα από την παραγωγή έως την κατανάλωση. Η οικονομική κατανομή επιλέγει τα σημεία λειτουργίας αποκλειστικά με οικονομικά κριτήρια. Για το λόγο αυτό, η παραγωγή των μικροπηγών δυνητικά διανύει μεγαλύτερες διαδρομές προσεγγίζοντας απομακρυσμένους κόμβους εντός του μικροδικτύου γεγονός που συνεπάγεται αυξημένες απώλειες. Στην διανεμημένη παραγωγή παρατηρούνται μικρότερες απώλειες λόγω τοπικής κάλυψης του φορτίου. Η παραγωγή είναι δίπλα στην κατανάλωση και είναι φυσικό οι απώλειες να μειώνονται.

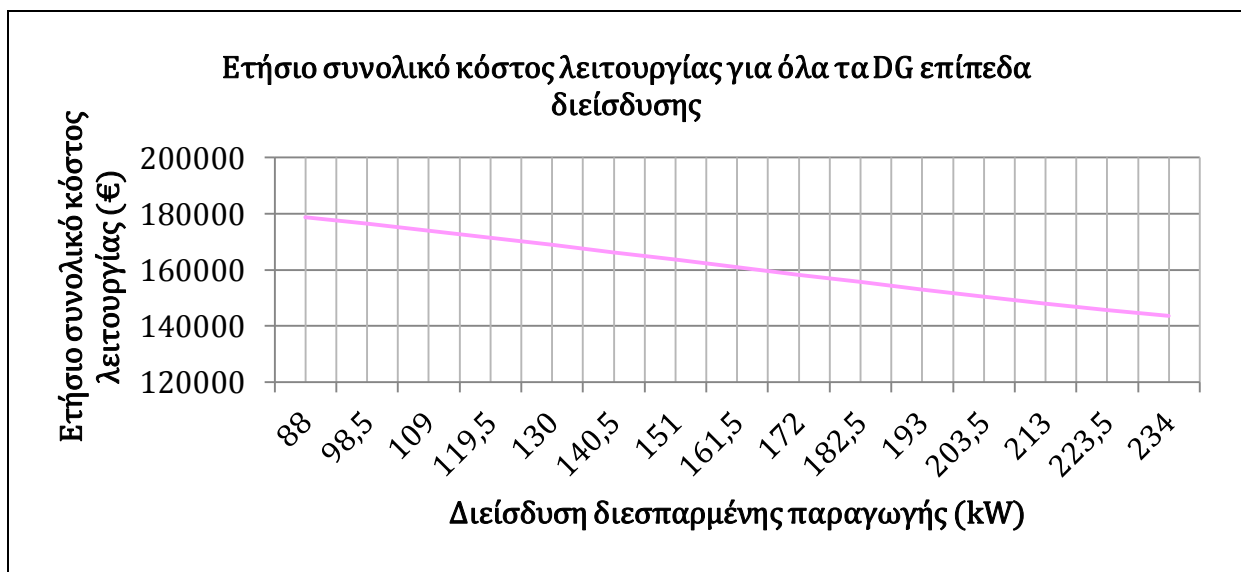
7.4 ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΟΥ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 3.7.2 η πολιτική του ιδανικού πολίτη ή αλλιώς η *Ideal Citizen Policy* δύναται να μεγιστοποιήσει τα κέρδη ενός διαχειριστή, ο οποίος αναλαμβάνει να παρέχει ενεργειακές υπηρεσίες στους καταναλωτές του μικροδικτύου. Ενώ παράλληλα, υποβοηθά, σε περιόδους μεγάλης ζήτησης, το κεντρικό δίκτυο, εγχέοντας ενέργεια προς αυτό.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται το ετήσιο κόστος λειτουργίας, το ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας, τα ετήσια κέρδη του διαχειριστή, οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και οι ετήσιες απώλειες ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς.



Διάγραμμα 7.57: Ετήσιο κόστος λειτουργίας του μικροδικτύου για το Σενάριο 3 – IV



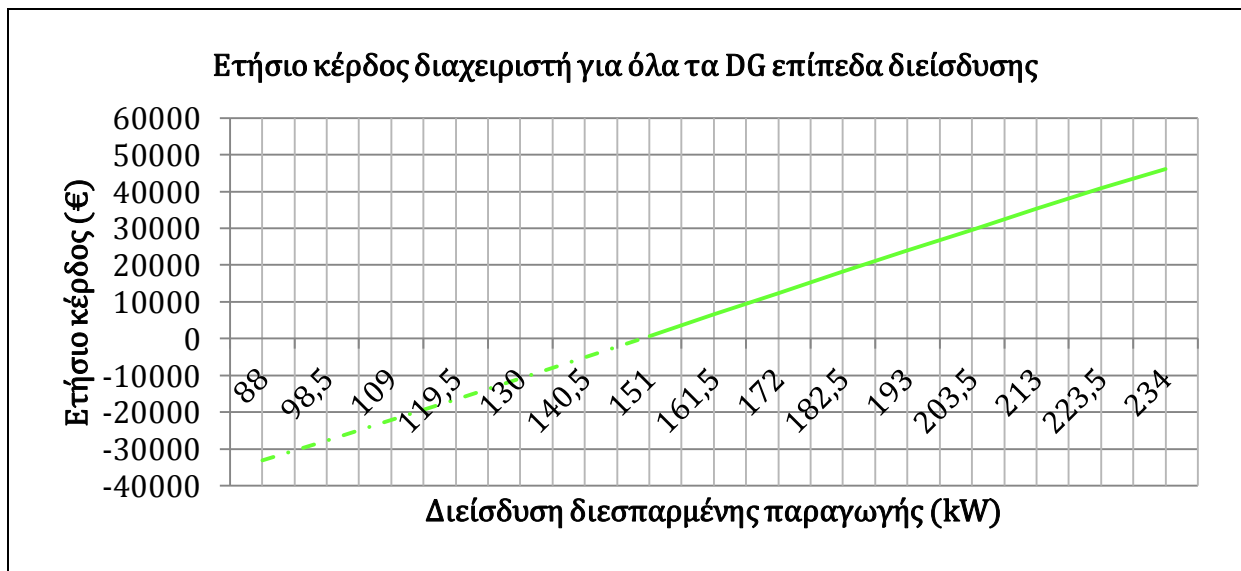
Διάγραμμα 7.58: Ετήσιο συνολικό κόστος λειτουργίας του μικροδικτύου για το Σενάριο 3 – IV

Όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 7.57 και 7.58 τόσο το κόστος, όσο και το συνολικό κόστος λειτουργίας, μεταβάλλονται γραμμικά με το επίπεδο DG διείσδυσης. Καθώς η διείσδυση των ΑΠΕ αυξάνεται, τα κόστη μειώνονται. Συγκεκριμένα, οι εξισώσεις που προσεγγίζουν το ετήσιο λειτουργικό και ετήσιο συνολικό κόστος είναι οι εξής:

$$\text{Cost: } y = -2438,7x + 168490$$

$$\text{Total Cost: } y = -2564,1x + 181558$$

Όπου y το κόστος σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW. Αξίζει να αναφέρουμε ότι, με την περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, το κόστος λειτουργίας, αλλά και το συνολικό κόστος του δικτύου, συνεχίζουν να μειώνονται, προσεγγίζοντας μία σταθερή τιμή η οποία αντιστοιχεί στο κόστος κάλυψης του θερμικού φορτίου του μικροδικτύου. Η καμπύλη, μετατρέπεται τότε, σε ευθεία γραμμή, της μορφής $y = b$, όπου b μια σταθερή τιμή.

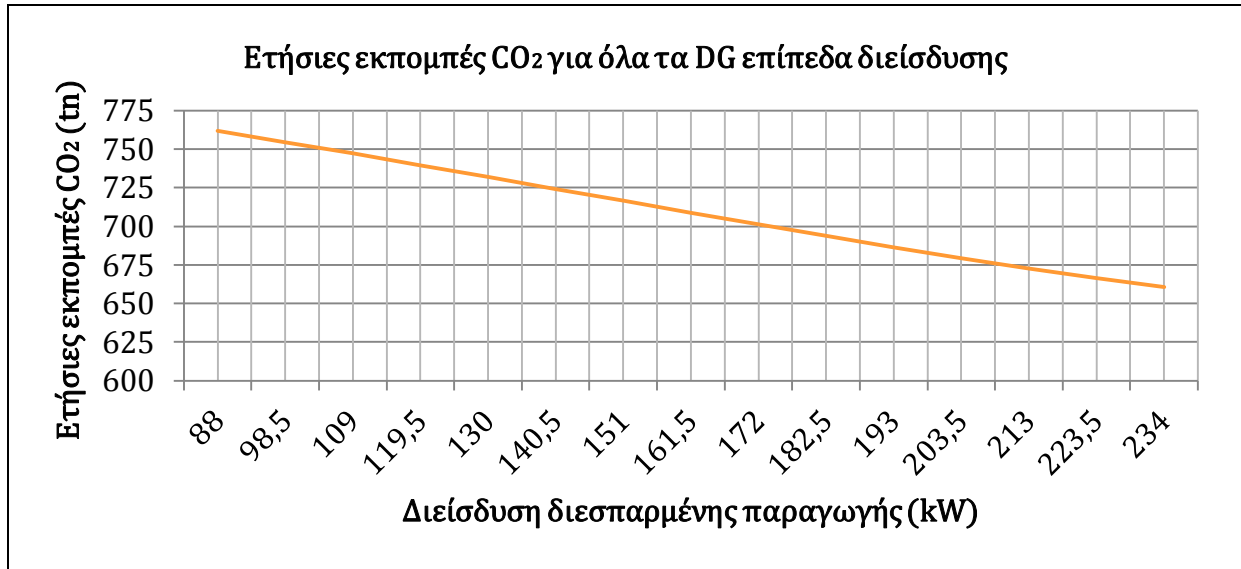


Διάγραμμα 7.59: Ετήσιο κέρδος του διαχειριστή του μικροδικτύου για το Σενάριο 3 – IV

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η πολιτική του ιδανικού πολίτη αποκτά νόημα και αξίζει να εφαρμοστεί, για επίπεδα εγκατεστημένης ισχύος μεγαλύτερα των 151kW, καθώς για μικρότερες τιμές τα ετήσια έσοδα του διαχειριστή δεν αντισταθμίζουν τα ετήσια έξοδά του. Η εξίσωση που προσεγγίζει το ετήσιο κέρδος του διαχειριστή, είναι η εξής:

$$\text{Revenues: } y = 5689x - 38834 \text{ για } x \geq 151\text{kW}$$

Όπου y το κέρδος σε € και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

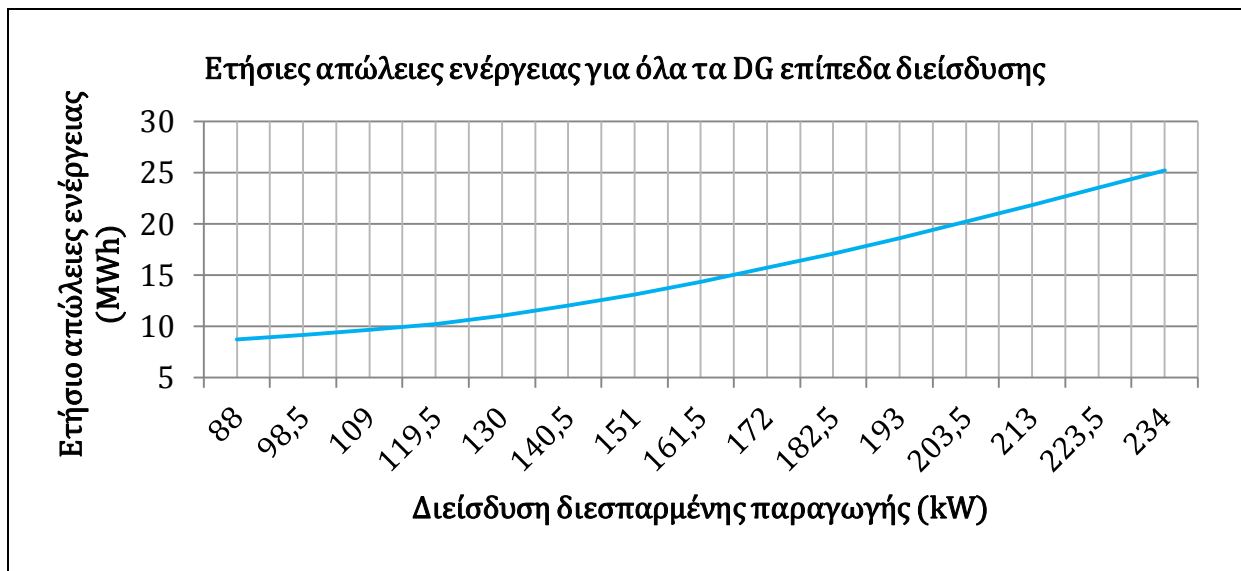


Διάγραμμα 7.60: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το Σενάριο 3 – IV

Βάσει του Διαγράμματος 7.60 διαπιστώνουμε ότι με την αύξηση της διείσδυσης των μονάδων ΑΠΕ, οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται γραμμικά, προσεγγίζοντας την εξίσωση της μορφής:

$$CO_2_emissions: \quad y = -7,3787x - 768,65$$

Όπου y οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε tn και x το επίπεδο DG διείσδυσης σε kW.

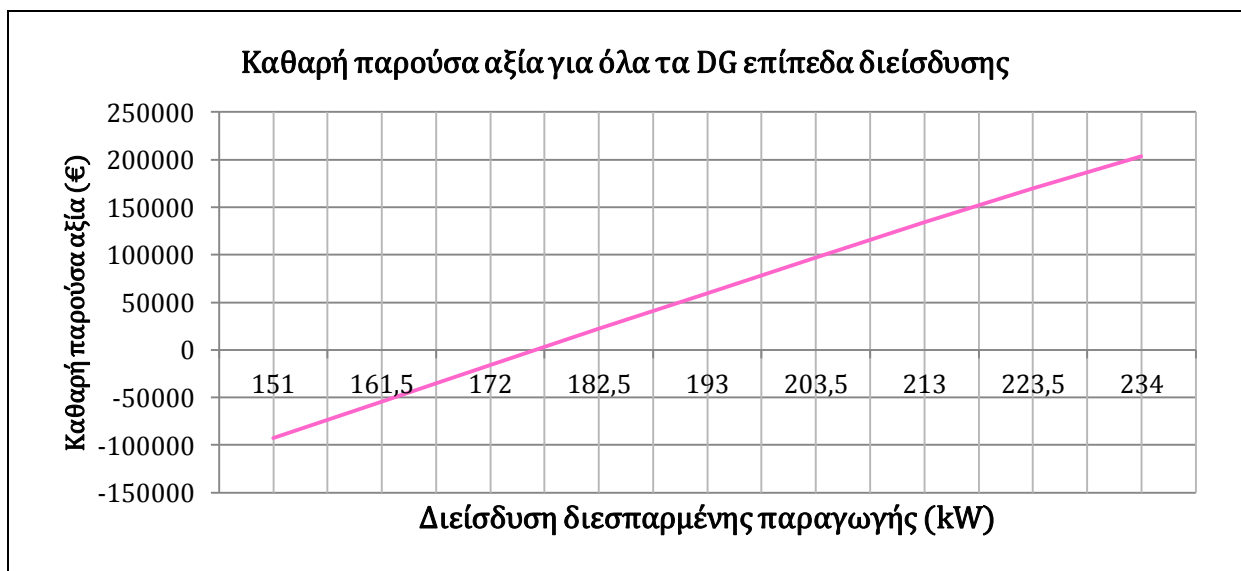


Διάγραμμα 7.61: Ετήσιες απώλειες ενέργειας του μικροδικτύου για το Σενάριο 3 – IV

Με την αύξηση των επιπέδων DG διείσδυσης αυξάνεται η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ και παράλληλα αυξάνονται και οι συνολικές απώλειες του δικτύου, δεδομένου ότι πλέον οι μονάδες αυτές τροφοδοτούν ένα μεγαλύτερο κομμάτι του μικροδικτύου και του δικτύου γενικότερα.

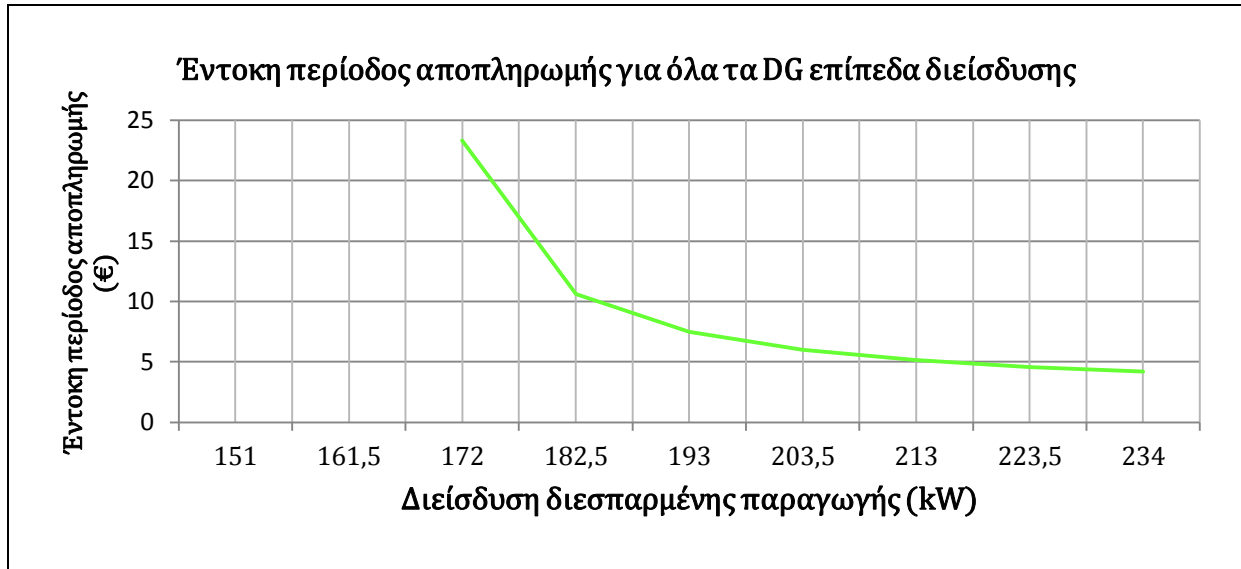
Όπως παρατηρούμε, όλα τα μεγέθη, έχουν μελετηθεί ως προ ένα μεγαλύτερο εύρος διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής, 88 – 234kW, αφού η περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, δεν δρα ανασταλτικά.

Επειδή με την εισαγωγή της διεσπαρμένης παραγωγής υπάρχει κόστος κεφαλαίου, που ενδέχεται να μην μπορεί να αναπληρωθεί από το κέρδος του διαχειριστή, υπολογίζονται επιπλέον, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και η έντοκος περίοδος αποπληρωμής (DPB), όπως ορίστηκαν στην ενότητα 6.3, για να είναι φανερό εάν είναι συμφέρον για έναν διαχειριστή να τοποθετήσει χρηματικά κεφάλαια στην εγκατάσταση μικροπηγών και συγκεκριμένα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που ανήκουν στην αρμοδιότητά του. Να αναφέρουμε ότι ως χρόνος μελέτης της λειτουργίας του συστήματος θεωρούνται τα δεκαπέντε έτη. Μέσα στο χρόνο αυτό δεν χρειάζεται καμία αντικατάσταση των στοιχείων, αφού είναι μικρότερος από το χρόνο ζωής τους. Ο διαχειριστής δέχεται κρατική επιδότηση ίση με το 30% του συνολικού κόστους της επένδυσης και το επιτόκιο αναγωγής θεωρείται ίσο με 8%. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της καθαρής παρούσας αξίας και της έντοκης περιόδου αποπληρωμής, συναρτήσει των DG επιπέδων διείσδυσης.



Διάγραμμα 7.62: Καθαρή παρούσα αξία του Σεναρίου 3 – IV

Παρατηρούμε πως για διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής μικρότερη των 175,5kW η επένδυση δεν είναι βιώσιμη, καθώς η καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική και δεν μπορεί να υπάρξει απόσβεση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων ΑΠΕ. Ωστόσο, για μεγαλύτερα επίπεδα διείσδυσης μονάδων ΑΠΕ, η καθαρή παρούσα αξία γίνεται θετική και η επιλογή του επενδυτικού σχεδίου άκρως συμφέρουσα.



Διάγραμμα 7.63: Έντοκη περίοδος αποπληρωμής του Σεναρίου 3 – IV

Παρατηρούμε πως για διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής μεγαλύτερη των 175,5kW η επένδυση αποσβένεται σε σχετικά εύλογο χρονικό διάστημα. Η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ βελτιώνει τους οικονομικούς δείκτες, άρα κάνει την επένδυση ολοένα και πιο συμφέρουσα. Αυτό εξηγείται καθώς η περισσότερη παραγωγή των ΑΠΕ σίγουρα θα απορροφηθεί από τη ζήτηση και θα εξαχθεί στο ανάντη δίκτυο, καθώς οι ΑΠΕ εισάγονται κατά προτεραιότητα από τον διαχειριστή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται αρκετές τάσεις των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας που αναπτύσσονται στο πλαίσιο της απελευθερωμένης αγοράς, όπως είναι η διεσπαρμένη παραγωγή και τα μικροδίκτυο. Τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξήχθη αναλύονται και σχολιάζονται ενδελεχώς στο Κεφάλαιο 7. Στο παρόν κεφάλαιο συνοψίζονται σε γενικές γραμμές τα βασικά συμπεράσματα.

- Από πλευράς οικονομικού κόστους, διαπιστώθηκε ότι το μικροδίκτυο είναι το οικονομικότερο σενάριο λειτουργίας σε ένα δίκτυο ηλεκτρισμού χαμηλής τάσης. Από τις τέσσερις παραλλαγές μικροδικτύου που μελετήθηκαν, οικονομικότερη όλων ήταν η περίπτωση της Πολιτικής του Καλού Πολίτη (*Good Citizen Policy*).
- Από πλευράς περιβαλλοντικής πολιτικής η μικροδικτυακή τεχνολογία αποτελεί και πάλι την αποδοτικότερη λύση καθώς βελτιώνει το περιβαλλοντικό ισοζύγιο, μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η *Minimize CO₂ Emissions* λειτουργία του μικροδικτύου καθίσταται ως η πιο φιλική προς το περιβάλλον αφού στοχεύει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.
- Αντιθέτως, ως προς το μέγεθος των απωλείων, αποδοτικό είναι και το σενάριο της ανεξάρτητης λειτουργίας των μονάδων DG, όπου η παραγωγή καλύπτει το τοπικό φορτίο στον εκάστοτε ζυγό και δεν σημειώνονται ροές ισχύος μεταξύ των ζυγών του δικτύου.
- Κατά την ανεξάρτητη λειτουργία, η απόρριψη ενέργειας, ηλεκτρικής ή θερμικής, μέσω της *Heat Match* και *Electricity Match* λειτουργίας των μονάδων CHP, αποβαίνει άκρως αντικοινωνική.
- Το μικροδίκτυο με την εφαρμογή της Πολιτικής του Ιδανικού Πολίτη (*Ideal Citizen Policy*), επιφέρει σημαντικά κέρδη στο διαχειριστή ο οποίος αναλαμβάνει να παρέχει ενεργειακές υπηρεσίες στους καταναλωτές του μικροδικτύου. Επιπλέον, με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, βελτιώνονται οι οικονομικοί δείκτες (καθαρή παρούσα αξία και έντοκη περίοδος αποπληρωμής) και η επένδυση του διαχειριστή γίνεται ολοένα και πιο συμφέρουσα.

Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι η λειτουργία μικροδικτύου επιφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη καθώς αξιοποιεί με πιο ορθολογικό τρόπο τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής και το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.