



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

**Οικονομικά Οφέλη Και Πλεονεκτήματα Των Μονάδων  
Διεσπαρμένης Παραγωγής Σε Δίκτυα Χαμηλής Τάσης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μαρία Α. Κουλουρά**

**Επιβλέποντες:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Ανέστης Αναστασιάδης  
Υ.Δ. ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2012





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

**Οικονομικά Οφέλη Και Πλεονεκτήματα Των Μονάδων  
Διεσπαρμένης Παραγωγής Σε Δίκτυα Χαμηλής Τάσης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μαρία Α. Κουλουρά

**Επιβλέποντες:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Ανέστης Αναστασιάδης  
Υ.Δ. ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 16<sup>η</sup> Ιουλίου 2012.

.....  
N. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
.....  
.....  
Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....  
Μαρία Α. Κουλουρά  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Copyright © Όνομα, 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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση των οικονομικών οφελών και των πλεονεκτημάτων που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής σε ηλεκτρικά δίκτυα Χαμηλής Τάσης.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Ανέστη Αναστασιάδη για τη βοήθεια, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να μεταφέρω και στον Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Γεώργιο Αναγνώστου για τις πολύτιμες συμβουλές του. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την οικογένεια μου για την στήριξη της κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Μαρία Α. Κουλουρά



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της διεσπαρμένης παραγωγής σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και η εκτίμηση των οικονομικών οφελών που αυτή αποφέρει. Επίσης, αξιολογείται η λειτουργία ενός δικτύου ως μικροδίκτυο, μετά την ενσωμάτωση μονάδων μικροπαραγωγής σε αυτό, ενώ γίνεται μία προσπάθεια να μεταφραστούν σε χρηματικές μονάδες τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προέρχονται από αυτή τη λειτουργία και στη συνέχεια να διαμοιραστούν σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα έξυπνα δίκτυα, τα δίκτυα του μέλλοντος, στην ανάπτυξη των οποίων οδηγούν οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις και οι ανάγκες της ψηφιακής εποχής.

Στα δύο πρώτα κεφάλαια γίνεται μια εισαγωγή στο Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα και τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας, στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στην νομοθεσία που τη διέπει.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα χαρακτηριστικά τους.

Στα δύο επόμενα κεφάλαια, αναλύονται και ποσοτικοποιούνται τα οικονομικά οφέλη και οι δαπάνες που συνδέονται με τη διεύθυνση της διεσπαρμένης παραγωγής.

Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής αναφορά στη δομή, τη λειτουργία και τον έλεγχο των μικροδικτύων, καθώς επίσης στις πολιτικές συμμετοχής τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και στις αντίστοιχες πολιτικές αποκοπής φορτίου.

Στο έβδομο κεφάλαιο, επιχειρείται η μετάβαση από το σήμερα στο αύριο. Συγκεκριμένα, εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των ήδη υπαρχόντων δικτύων σε ευφυή δίκτυα.

Στα δύο τελευταία κεφάλαια, εφαρμόζονται σε ένα δίκτυο χαμηλής τάσης 17 ζυγών, οι εξισώσεις ροής φορτίου και ανάλυσης ευαισθησίας, που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5, για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης σε στοιχεία του δικτύου, του κέρδους που απορρέει από αυτήν και της τάσης των ζυγών. Οι προσομοιώσεις υλοποιούνται με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab. Τέλος, παρουσιάζεται μία μέθοδος υπολογισμού και διαμοιρασμού για τα κόστη και τα κέρδη, τα οποία προέρχονται από την εγκατάσταση μονάδων μικροπαραγωγής σε ένα δίκτυο χαμηλής τάσης. Από τις εφαρμογές αυτές, εξάγονται συμπεράσματα που αποδεικνύουν ότι η παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής εξασφαλίζει πιο αποδοτική και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου.

## ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Διεσπαρμένη Παραγωγή, Μικροδίκτυο, Έξυπνα Δίκτυα, Φωτοβολταϊκά, Κυψέλη Καυσίμου, Ανεμογεννήτριες, Μικροτουρμπίνα, Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ροή Φορτίου, Ευαισθησία Ρεύματος, Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης, Βελτίωση Τάσης, Συντελεστής Ισχύος.

## **ABSTRACT**

The purpose of this diploma thesis is to study the impact of distributed generation in a power system and to estimate the economic benefits it generates. The operation of a power system as a microgrid is also evaluated, while it is attempted to quantify the advantages and disadvantages resulting from this operation and then share them among all the stakeholders. In addition, great emphasis is placed on smart grids, grids of the future, whose development is caused by increased energy requirements and demands of the digital era.

The first two chapters are an introduction to Greek Energy System and the primary energy sources, to the mechanisms of electricity market and the regulation framework.

In the third chapter, the electricity generating technologies are described and their characteristics are mentioned.

In the two following chapters, the economic benefits and costs, which are related to the penetration of distributed generation, are being analyzed and quantified.

In the sixth chapter, there is a detailed reference to the structure, operation and control of the microgrid, as well as to the participation policies in the electricity market and the respective load shedding policies.

In the seventh chapter, a transition is attempted from today to tomorrow. Specifically, the characteristics of smart grids and technologies, being used to convert the existing grids to smart grids, are represented.

In the last two chapters, the load flow equations and the sensitivity analysis, presented in Chapter 5, are applied to a 17-bus low voltage network, in order to calculate the deferral time of the investment in network elements, the benefit stemming from it and the voltage improvement. The simulations were carried out using the Matlab programming environment. Finally, a method for calculating and sharing costs and benefits, resulting from the installation of microgeneration units, is presented. Consequently, conclusions are drawn which show that the presence of distributed generation units ensures more efficient and reliable network operation.

## **KEY-WORDS**

Distributed Generation, Microgrid, Smart Grids, Photovoltaics, Fuel Cell, Windturbines, Microturbines, Cogeneration of Heat and Electricity, Renewable Energy Sources, Load Flow, Current Sensitivity, Investment Deferral Time, Benefit Related To The Investment Deferral, Voltage Improvement, Power Factor.



## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
1.1. Εισαγωγή .....	16
1.2. Κατανάλωση ενέργειας.....	17
1.3. Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα.....	18
1.4. Σύστημα διανομής και τεχνικά χαρακτηριστικά.....	22
1.5. Συμβατικά καύσιμα .....	24
1.5.1. Λιγνίτης .....	24
1.5.2. Πετρελαιοειδή.....	25
1.5.3. Φυσικό Αέριο.....	26
1.6. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : Η ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟ ΙΣΧΥΟΝ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	35
2.1. Εισαγωγή .....	36
2.2. Οι Παράγοντες Της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	38
2.3. Κατανομή Φορτίου .....	40
2.3.1. Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός .....	40
2.3.2. Δηλώσεις Φορτίου .....	41
2.3.3. Προσφορές Έγχυσης.....	41
2.3.4. Πίνακας Συντελεστών Απωλειών Φορτίου.....	42
2.3.5. Επίλυση Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού .....	42
2.3.6. Οριακή Τιμή Του Συστήματος.....	43
2.4. Νομοθετικό πλαίσιο.....	44
2.4.1. Πρόσβαση Στο Δίκτυο και Feed-In-Tariffs .....	45
2.5. Ειδικό Τέλος ΑΠΕ.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	51
3.1. Φωτοβολταϊκά .....	52
3.1.1. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή.....	52
3.1.2. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια .....	58
3.1.3. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών.....	60
3.1.4. Σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο.....	60

3.1.5. Τρόποι Στήριξης Των Συλλεκτών Και Προσανατολισμός Τους .....	63
3.1.6. Μελλοντικοί στόχοι .....	65
3.2. Ανεμογεννήτριες .....	65
3.2.1. Τεχνικά στοιχεία ανεμογεννητριών .....	66
3.3. Κυψέλη καυσίμου .....	71
3.4. Μικροτουρμπίνες .....	74
3.5. Συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) .....	77
3.6. Ενεργειακοί Διανομείς .....	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>83</b>
4.1. Εισαγωγή .....	84
4.2. Ορισμός .....	87
4.3. Τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής (DER) .....	90
4.4. Διείδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	95
4.4.1. Στατιστικά στοιχεία για τη διείδυση της διεσπαρμένης παραγωγής .....	95
4.4.2. Επιδράσεις διεσπαρμένης παραγωγής .....	96
4.5. Πλεονεκτήματα της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	97
4.5.1. Χρόνος Αναβολής της Επένδυσης .....	100
4.5.2. Αποφυγή Αγοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας βάσει της Οριακής Τιμής Συστήματος λόγω Λειτουργίας μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής σε Ωρες Αιχμής .....	102
4.5.3. Οικονομικό όφελος από τη μείωση των απωλειών ισχύος .....	102
4.5.4. Βελτίωση του επιπέδου της τάσης .....	104
4.5.5. Οφέλη από τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος λόγω αυξημένης διείδυσης διεσπαρμένης παραγωγής .....	104
4.6. Μειονεκτήματα της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	105
4.7. Τεχνικά Ζητήματα Σύνδεσης Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής Στο Δίκτυο .....	107
4.7.1. Σύνδεση Παραγωγών Στο Δίκτυο .....	107
4.8. Οικονομικά Ζητήματα Σύνδεσης Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής Στο Δίκτυο .....	112
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝ ΤΗΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....</b>	<b>117</b>
5.1. Υπολογισμός του χρόνου αναβολής επένδυσης σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας λόγω διεσπαρμένης παραγωγής .....	118
5.1.1. Μελέτη ροής φορτίου .....	118
5.1.2. Μέθοδος Newton-Raphson .....	120
5.1.3. Ανάλυση Ευαισθησίας .....	121
5.1.4. Υπολογισμός της ευαισθησίας του ρεύματος .....	122
5.1.5. Χρόνος αναβολής της επένδυσης .....	124
5.1.6. Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης .....	125

5.2. Υπολογισμός οικονομικού οφέλους από την αποφυγή απόκτησης ηλεκτρικής ενέργειας βάσει της οριακής τιμής συστήματος τις ώρες αιχμής .....	126
5.2.1. Εισαγωγή .....	126
5.2.2. Υπολογισμός του οφέλους.....	127
5.3. Υπολογισμός του οικονομικού οφέλους από τη μείωση των απωλειών ισχύος λόγω διεσπαρμένης παραγωγής .....	128
5.3.1. Υπολογισμός της ευαισθησίας των απωλειών ισχύος .....	128
5.3.2. Οικονομικό όφελος από τη μείωση των απωλειών ισχύος.....	131
5.4. Υπολογισμός μεταβολής της τάσης εξαιτίας της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	132
5.4.1. Υπολογισμός της ευαισθησίας της τάσης ως προς τη μεταβολή της ισχύος σε ζυγό του δικτύου .....	132
5.4.2. Υπολογισμός μεταβολής της τάσης μέσω των συντελεστών ευαισθησίας.....	133
5.5. Υπολογισμός του οικονομικού οφέλους από τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	134
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ .....</b>	<b>137</b>
6.1. Εισαγωγή .....	138
6.2. Ορισμός μικροδικτύου.....	139
6.3. Δομή και έλεγχος μικροδικτύου .....	141
6.3.1. Δομή μικροδικτύου.....	141
6.3.2. Έλεγχος Μικροδικτύου.....	144
6.4. Ρυθμιστικά ζητήματα/Πλαίσιο εργασίας.....	154
6.5. Οικονομικά Οφέλη .....	156
6.5.1. Οφέλη από την πλευρά του καταναλωτή.....	156
6.5.2. Οφέλη από την πλευρά του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής και της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού.....	159
6.5.3. Οφέλη από την βέλτιστη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των διεσπαρμένων πηγών παραγωγής.....	160
6.5.4. Οφέλη από την βέλτιστη επιλογή τεχνολογίας.....	168
6.6. Κόστη των μικροδικτύων .....	179
6.6.1. Κόστη σχετικά με την ανάπτυξη του μικροδικτύου .....	179
6.6.2. Κόστη στους διαχειριστές του δικτύου διανομής.....	180
6.7. Μεθοδολογία για το διαμοιρασμό των κοστών και των οφελών.....	181
6.7.1. Κατανομή των δαπανών και των οφελών της μικροπαραγωγής .....	181
6.7.2. Κατανομή των δαπανών και των οφελών των Μικροδικτύων .....	182
6.8. Τιμολογιακή πολιτική.....	183
6.9. Στρατηγική αγοράς.....	184
6.9.1. Πολιτικές συμμετοχής του Μικροδικτύου στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας..	185

6.10. DEMAND SIDE BIDDING .....	188
6.10.1. Εισαγωγή .....	188
6.10.2. Η Πολιτική Της Προσφοράς Φορτίων Προς Σύνδεση – Παραλλαγή Α.....	190
6.10.3. Η Πολιτική Της Προσφοράς Φορτίων Προς Αποκοπή – Παραλλαγή Β.....	191
6.11. STEADY STATE SECURITY.....	192
6.12. Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment).....	193
6.13. Οικονομική Κατανομή (Economic Dispatch).....	195
6.14. Συμπεράσματα .....	196
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	199
7.1. Εισαγωγή στα ηλεκτρικά συστήματα του μέλλοντος.....	200
7.2. Ορισμός – Χαρακτηριστικά έξυπνων δικτύων .....	203
7.3. Έξυπνο Δίκτυο και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	204
7.3.1. Διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	204
7.3.2. Η κυριότερη πρόκληση.....	206
7.4. Η μετάβαση από το σήμερα στο αύριο .....	207
7.5. Δημιουργία έξυπνων δικτύων .....	209
7.5.1. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται.....	209
7.5.2. Τεχνολογία HVDC.....	211
7.5.3. Τεχνολογία SVC .....	212
7.5.4. Αποθηκευτικό σύστημα .....	215
7.6. Έλεγχος των έξυπνων δικτύων .....	216
7.7. Επικοινωνία στο Έξυπνο Δίκτυο .....	219
7.8. Συστήματα διαχείρισης διανομής-Έξυπνοι μετρητές .....	223
7.8.1. Έξυπνοι μετρητές.....	223
7.8.2. Συστήματα Διαχείρισης Διανομής.....	224
7.8.3. Εντοπισμός βλαβών με τη βοήθεια των έξυπνων μετρητών.....	225
7.8.4. Εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου διανομής με τη χρήση έξυπνων μετρητών .....	226
7.8.5. Συστήματα μέτρησης και απόκριση ζήτησης .....	228
7.8.6. Οικιακή χρήση έξυπνων μετρητών .....	230
7.9. Τα έξυπνα δίκτυα ανά τον κόσμο- Συμπέρασμα .....	232
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1η.....	235
8.1. Εισαγωγή .....	236
8.2. Εξάρτηση από το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής .....	241
8.2.1. Ευαισθησία ρεύματος ως προς διεσπαρμένη παραγωγή.....	242

8.2.2. Χρόνος αναβολής επένδυσης και διεσπαρμένη παραγωγή.....	242
8.2.3. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης .....	243
8.3. Εξάρτηση από το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	244
8.3.1. Ευαισθησία ρεύματος ως προς το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής .....	245
8.3.2. Χρόνος αναβολής επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής .....	245
8.3.3. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής .....	246
8.3.4. Εξάρτηση της τάσης των ζυγών από το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής .....	247
8.4. Εξάρτηση από το συντελεστή ισχύος του φορτίου.....	247
8.4.1. Ευαισθησία ρεύματος ως προς το συντελεστή ισχύος του φορτίου .....	248
8.4.2. Χρόνος αναβολής επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος του φορτίου.....	248
8.4.3. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής .....	249
8.4.4. Εξάρτηση της τάσης των ζυγών από το συντελεστή ισχύος του φορτίου .....	250
8.5. Εξάρτηση από το ρυθμό αύξησης φορτίου και το επιτόκιο αναγωγής.....	250
8.5.1. Χρόνος αναβολής της επένδυσης ως προς το ρυθμό αύξησης φορτίου .....	251
8.5.2. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το ρυθμό αύξησης φορτίου .....	251
8.5.3. Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το επιτόκιο αναγωγής .....	252
8.5.4. Ευνοϊκότερο και δυσμενέστερο σενάριο λειτουργίας του δικτύου .....	253
8.6. Εξάρτηση τάσης από το επίπεδο διεσπαρμένης παραγωγής.....	254
8.6.1. Εξάρτηση του συντελεστή ευαισθησίας τάσης από τη διείδυση διεσπαρμένης παραγωγής .....	254
8.6.2. Βελτίωση του επιπέδου της τάσης λόγω διεσπαρμένης παραγωγής.....	254
8.7. Ταυτόχρονη διείδυση διεσπαρμένης παραγωγής σε περισσότερους από έναν ζυγούς .....	256
8.7.1. Μεταβολή του συντελεστή ευαισθησίας ρεύματος, του χρόνου αναβολής και του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης για ταυτόχρονη διείδυση διεσπαρμένης παραγωγής .....	256
8.7.2. Μεταβολή της αναμενόμενης και της πραγματικής τάσης των ζυγών του δικτύου για ταυτόχρονη διείδυση διεσπαρμένης παραγωγής .....	259
8.8. Εξέταση της ορθότητας του ισχυρισμού πως οι συντελεστές ευαισθησίας μπορούν να θεωρηθούν σταθεροί.....	261
8.8.1. Συντελεστές ευαισθησίας τάσης και μεταβολή των τάσεων των ζυγών του δικτύου .....	261

8.8.2. Συντελεστές ευαισθησίας ρεύματος και μεταβολή των οικονομικών μεγεθών του δικτύου.....	267
8.9. Μελέτη των απωλειών του δικτύου και υπολογισμός τους από την ανάλυση ευαισθησίας .....	273
8.10. Άλλα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάσταση στο δίκτυο μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	280
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2η.....	281
9.1. Μεθοδολογία υπολογισμού δαπανών και οφελών και τρόπος διαμοιρασμού τους σε ένα μικροδίκτυο .....	282
9.1.1. Ενδεικτικό παράδειγμα επιμερισμού κόστους-οφέλους.....	284
9.1.2. Κόστος ανάπτυξης ενός τυπικού μικροδικτύου.....	288
9.2. Εφαρμογή στο Δίκτυο 17 ζυγών.....	291
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	301

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## 1.1. Εισαγωγή

Η ενέργεια, και ειδικότερα η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί τη βάση της οικονομίας και της σύγχρονης διαβίωσης. Σ' αυτήν στηρίζονται η βιομηχανία, η επιστημονική έρευνα, οι τηλεπικοινωνίες, ο τομέας των υπηρεσιών, η θέρμανση και ο κλιματισμός των κατοικιών και άλλων χώρων. Η παραγωγή και η ορθολογική κατανομή ενέργειας είναι, επομένως, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε χώρα όσον αφορά την οικονομική της ανάπτυξη και τη βελτίωση του επιπέδου ζωής των κατοίκων της, με αποτέλεσμα η ενεργειακή πολιτική -που περιλαμβάνει συνοπτικά την εξασφάλιση, την εξοικονόμηση και τη διάθεση της ενέργειας- να αποτελεί το πρώτιστο μέλημα των κυβερνήσεων. Η κυρίαρχη τάση της τελευταίας εικοσαετίας είναι η επινόηση τεχνικών βελτιώσεων, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την παραγωγή της με μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας, η οποία παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα. Έτσι, το ποσοστό του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλό, όπως είναι φυσικό, στις Αραβικές πετρελαιοπαραγωγούς χώρες (σχεδόν 100%), αλλά και στην Ιταλία (65%), και σχετικά υψηλό στην Ιαπωνία (25%). Υψηλό ποσοστό του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζουν μεταξύ άλλων η Ολλανδία (65%) και η Ιρλανδία (45%). Οι λιθάνθρακες κυριαρχούν στη Νότια Αφρική (95%), τη Δανία (90%), τη Μ. Βρετανία (65%), τις Ηνωμένες Πολιτείες (σχεδόν 60%) και την Ισπανία (πάνω από 40%). Ο λιγνίτης παίζει πρωταρχικό ρόλο στην πρώην Ανατολική Γερμανία (91%) και στην Ελλάδα (65%), ενώ ο συνδυασμός λιγνίτη και λιθανθράκων στην Κίνα (περίπου 75%) και στην πρώην Δυτική Γερμανία (55,4%). Το ποσοστό της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό έως σχετικά υψηλό στη Γαλλία (75%), το Βέλγιο (61%), την Ουγγαρία (48%), τη Σουηδία (47%), τη Νότια Κορέα (45%), την Ελβετία (42%), την Ταϊβάν (39%), την Ισπανία (36%), τη Φιλανδία (35%), τη Βουλγαρία (30%) και τη Γερμανία (29,6%, 34,4% στην πρώην Δυτική Γερμανία). Τέλος, το ποσοστό της υδροηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει υψηλές τιμές μεταξύ άλλων στη Νορβηγία (99,5%), τη Βραζιλία (93%), την Αυστρία (64%), τον Καναδά (62%), την Ελβετία (55%), καθώς και σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα την Γκάνα (99%), την Κένυα (83%) και τη Βενεζουέλα (61%).

Ανέκαθεν το ενεργειακό ζήτημα, λόγω της διεθνούς αγοράς που έχει διαρθρωθεί πάνω σε αυτό, είχε οικονομικές και πολιτικές διαστάσεις. Τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να αποκτά μια πολιτική διάσταση που στην ουσία ήταν ξεχασμένη από την εποχή της πετρελαϊκής κρίσης του 1985. Η απότομη αύξηση των τιμών από το 2000, σε συνδυασμό με τις διεθνείς γεωπολιτικές εντάσεις και τις πρωτοβουλίες για την προστασία του περιβάλλοντος, έχουν σαν συνέπεια, οι επιλογές των ενεργειακών πηγών και των τιμών της ενέργειας να είναι όχι μόνο στην πρώτη γραμμή της επικαιρότητας αλλά και να απασχολούν τους καταναλωτές. Οι επαναλαμβανόμενες κρίσεις και διακρατικές εντάσεις από το 2006 και μετά, επηρεάζουν πρώτιστα την αγορά ενέργειας και εγείρουν προβληματισμούς σχετικά με το θέμα της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού.

Η ενεργειακή διαχείριση ως στρατηγική καλείται να αντιμετωπίσει και να δώσει απαντήσεις πάνω σε καίρια ζητήματα όπως: το μέγεθος της τιμής των ενεργειακών προϊόντων που θα οδηγήσει στην επίτευξη των νέων στόχων της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής, το είδος των ενεργειακών επενδύσεων που



πρέπει να πραγματοποιηθούν στο μέλλον και τη μορφή του πλαισίου λειτουργίας της ενεργειακής αγοράς.

Η συλλογιστική βάσει της οποίας θα πρέπει να εναρμονιστούν οι εγχώριοι στόχοι είναι η εξής: η ενέργεια θα πρέπει να είναι φυσικά και οικονομικά προσιτή, ενώ η χρήση και η παραγωγή της πρέπει να συμβαδίζει με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης.

## **1.2. Κατανάλωση ενέργειας**

Η κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο παρουσιάζει τεράστιες αποκλίσεις από χώρα σε χώρα, που οφείλονται κατά κύριο λόγο στο διαφορετικό επίπεδο της οικονομικής και τεχνικής ανάπτυξης των διαφόρων κρατών. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας είναι στενά συνδεδεμένη με το τεχνικό επίπεδο μιας χώρας, αλλά εξαρτάται επιπλέον και από το είδος των βιομηχανιών της (π.χ. ιδιαίτερα ενεργοβόρος είναι η βαριά βιομηχανία, η βιομηχανία συναρμολόγησης και η χημική βιομηχανία), από τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν, από το κλίμα, καθώς και από την ορθολογική χρήση και αποδοτικότητα των πρωτογενών πηγών ενέργειας.

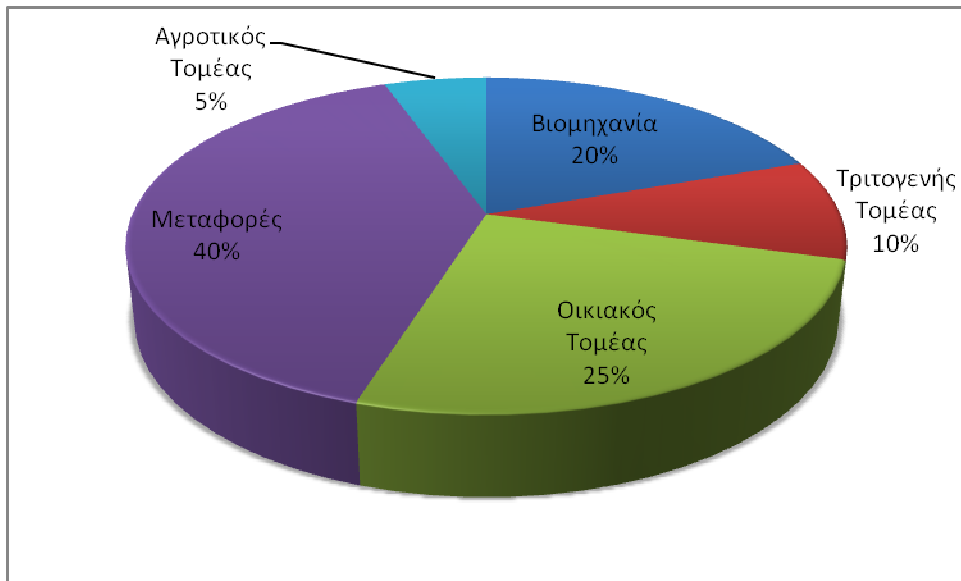
Με βάση καταχωρημένα δεδομένα από το έτος 2006 προκύπτουν και παρατίθενται κάποια στοιχεία και συμπεράσματα σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση στη χώρα και το πως αυτή επιμερίζεται σε διαφορετικούς τομείς. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα είναι μεσαίου επιπέδου συγκριτικά με τις παγκόσμιες τιμές.

Η κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών αποτελεί το 39.6% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και αντιστοιχεί σε 8.5Mtoe. Η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών συνεχίζει να αυξάνεται σε απόλυτες τιμές (κατά 46% σε σχέση με το 1990) αλλά σαν σχετικό ποσοστό η τελική κατανάλωση έμεινε στάσιμη εξαιτίας της αύξησης του οικιακού και του τριτογενούς τομέα.

Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία παρουσιάζει εντατικό εκσυγχρονισμό. Το 2006 η κατανάλωση της βιομηχανίας ήταν 4.2Mtoe. Το μερίδιο της βιομηχανίας στην τελική κατανάλωση έχει μειωθεί περίπου κατά 7%.

Η κατανάλωση των νοικοκυριών κυμαίνεται γύρω στις 5.5Mtoe. Η αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά είναι 83% για τις χρονιές μεταξύ 1990-2006 και η αύξηση του μεριδίου των νοικοκυριών στην τελική κατανάλωση είναι 4.6% σε σχέση με το 1990.

Ο τριτογενής τομέας παρουσίασε το μεγαλύτερο βαθμό αύξησης κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 1990-2006 αγγίζοντας τα 2Mtoe το 2006, που συνεπάγεται τριπλασιασμό της κατανάλωσης σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 και είναι χαρακτηριστικός μιας οικονομίας σε μεταβιομηχανική εξέλιξη που προσανατολίζεται προς μια οικονομία υπηρεσιών. Η κατανάλωση του αγροτικού τομέα καταγράφηκε 1.1Mtoe το 2006 παραμένοντας στα επίπεδα του 1990 ενώ το μερίδιο του έχει μειωθεί κατά 1,5%. Συνοπτικά, το σύνολο του τριτογενούς, οικιακού, δημόσιου και αγροτικού τομέα καταναλώνει το 46% της συνολικής ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα:



*Διάγραμμα 1.1.: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ελλάδα.*

Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται την τελευταία δεκαετία σε φάση σοβαρών αναδιαρθρώσεων. Η διείσδυση του φυσικού αερίου, η κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας και τέλος η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα του.

Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις των νέων αυτών δεδομένων στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, στη μείωση της εξάρτησης της από το εισαγόμενο πετρέλαιο, με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στην οικονομία, στην εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, στην αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, στην προστασία του περιβάλλοντος και τέλος στη βελτίωση των παρεχομένων υπηρεσιών στους καταναλωτές.

Παρουσιάζονται κάτωθι τα σημαντικότερα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος της χώρας που σχετίζονται με την υποδομή του, το μέγεθος και τη σύνθεση των επιμέρους τομέων του, το είδος και τη χρήση των διαφόρων ενεργειακών μορφών σ' αυτό.

### **1.3. Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα**

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

- 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

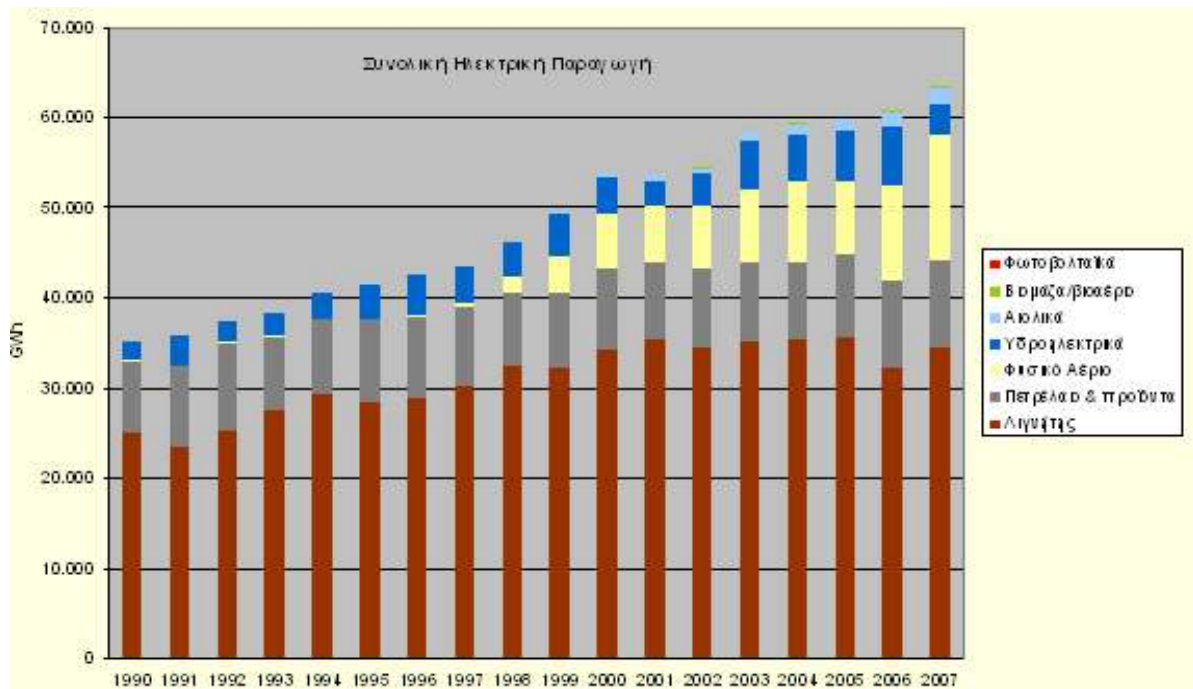
- η ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η οποία αντίθετα με την πρώτη, χρησιμοποιεί πηγές διαχρονικές, που δεν εξαντλούν περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα. Η ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον ήλιο και τα φυσικά φαινόμενα και κατά συνέπεια εξαρτάται 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 το γράφημα της εξέλιξης της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007, διαπιστώνουμε τα εξής:

- 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 ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του, και αυτό κυρίως λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσης τους
- Το σταθερό ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες για την κατασκευή τους απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για δημιουργία φραγμάτων και υδάτινων ταμιευτήρων
- Την πρώτη εμφάνιση και τη σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του Φυσικού Αερίου στη χώρα μας
- Τη μικρή αλλά συνεχή αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων αιολικής ενέργειας και τη σηματοδότηση της νέας εποχής για τη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή.



Διάγραμμα 1.2.: Συνολική Ηλεκτρική Παραγωγή Στην Ελλάδα (ΥΠΕΚΑ, 2010)

Το ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας διακρίνεται στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Ε.Δ.Σ.) της ηπειρωτικής Ελλάδας και στο Νησιωτικό Σύστημα της Κρήτης, της Ρόδου και των Αυτόνομων Σταθμών Παραγωγής (ΑΣΠ) των νήσων. Οι σταθμοί παραγωγής του Ηλεκτρικού Συστήματος διακρίνονται σε:

- Σταθμούς παραγωγής Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος
- Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής του νησιωτικού συστήματος

Το διασυνδεδεμένο σύστημα είναι ανεπτυγμένο και επιπλέον έχει διασυνδέσεις με όλες τις γειτονικές χώρες. Το σύστημα δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο, με το 68% της ηλεκτροπαραγωγής να βρίσκεται στα κοιτάσματα λιγνίτη της Βόρειας Ελλάδας, ενώ το 33% της κατανάλωσης είναι στην περιοχή της Αττικής. Δεδομένου ότι και οι διεθνείς διασυνδέσεις με Βουλγαρία και ΠΓΔΜ είναι στο Βορρά, υπάρχει μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίων.

Το νησιωτικό σύστημα αφορά ένα μεγάλο αριθμό νησιών στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Περιλαμβάνει αυτόνομα συστήματα βασισμένα σε πετρελαϊκές μονάδες, με κύρια καύσιμα το μαζούτ και το ντίζελ. Οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες είναι κυρίως αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι ενώ υπάρχουν και μερικές μονάδες συνδυασμένου κύκλου.

Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ζήτησης στην Κρήτη και τη Ρόδο, είναι μεγαλύτερος από αυτόν του διασυνδεδεμένου συστήματος. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν επίσης, εντονότερο πρόβλημα αιχμής, που οφείλεται κυρίως στην πολύ αυξημένη ζήτηση τους θερινούς μήνες λόγω τουρισμού.

Αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα νησιά στοιχίζει πολύ περισσότερο από την αντίστοιχη στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Ωστόσο, η επιβάρυνση δεν μετακυλιέται στους τοπικούς καταναλωτές λόγω της ενιαίας τιμολόγησης.

Η λειτουργία του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς καθώς και των διασυνδέσεων με τα γειτονικά δίκτυα γίνεται από τον ΔΕΣΜΗΕ, όπως προβλέπεται από τον Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.

Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς αποτελούν οι τρεις εναέριες γραμμές διπλού κυκλώματος των 400kV, που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής, αυτό της Δυτικής Μακεδονίας. Στην περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας, που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς διαθέτει επιπλέον εναέριες και υπόγειες γραμμές των 400kV και 150kV, καθώς επίσης και υποβρύχια καλώδια των 66kV και 150kV που συνδέουν την Άνδρο και τα Επτάνησα, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο, ενώ έχει προγραμματιστεί η επέκταση των υποβρύχιων διασυνδέσεων και προς τα μεγαλύτερα νησιά των Κυκλάδων.

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς, βάσει καταγραφών στις 31.12.2008, αποτελείται συνολικά από 11092km γραμμές μεταφοράς. Στο Σύστημα Μεταφοράς συμπεριλαμβάνονταν επίσης 265 υποσταθμοί, στους οποίους ήταν εγκατεστημένοι 572 μετασχηματιστές ισχύος με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 45594MVA.

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς συνδέεται με τα συστήματα Μεταφοράς της Αλβανίας, της Βουλγαρίας, της Π.Γ.Δ.Μ., της Ιταλίας και της Τουρκίας. Η διασύνδεση με τη Βουλγαρία αποτελείται από μία Γραμμή των 400kV, ενώ η διασύνδεση με την Π.Γ.Δ.Μ γίνεται με δύο Γραμμές των 400kV, μετά την αναβάθμιση της Γραμμής των 150kV σε 400kV. Η διασύνδεση με την Αλβανία αποτελείται από μία Γραμμή των 150kV και μία των 400kV. Η συνολική ονομαστική δυναμικότητα αυτών των διασυνδέσεων είναι περίπου 4400MW. Η διασύνδεση με την Ιταλία αποτελείται από υποβρύχιο καλώδιο και γραμμή μεταφοράς συνεχούς ρεύματος (HVDC) ισχύος 500 MW. Η διασύνδεση με την Τουρκία ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2008 με την κατασκευή γραμμής μεταφοράς 400kV απλού κυκλώματος με τρίδυμο αγωγό (2000MVA). Από τον Οκτώβριο του 2004 το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς επανασυνδέθηκε και λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το Διασυνδεδεμένο Ευρωπαϊκό Σύστημα της UCTE (Union for Co-ordination of Transmission of Electricity).

Οι παραπάνω διασυνδέσεις σε συνδυασμό με την ενίσχυση των διασυνδέσεων των γειτονικών χωρών στα βόρεια σύνορα της Ελλάδας συμβάλλουν σημαντικά στην ασφάλεια λειτουργίας του Συστήματος Μεταφοράς και στην ανάπτυξη των εμπορικών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας με τις χώρες αυτές και την ευρύτερη περιοχή της Ν.Α. Ευρώπης.

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

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

Νότιο Σύστημα αναμένεται να διαφοροποιήσει σημαντικά αυτή τη γεωγραφική ανισορροπία στο άμεσο μέλλον.

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

- Αντιστάθμιση αέργου 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 του Συστήματος 400kV και του Συστήματος 150kV με την εγκατάσταση οκτώ νέων Αυτομετασχηματιστών 400/150kV συνολικής ονομαστικής ισχύος 2240MVA.
- Κατασκευή περίπου 450km νέων κυκλωμάτων μεταφοράς και υποβρυχίων καλωδίων μήκους 20km, κατασκευή εννέα νέων Υποσταθμών και υλοποίηση σημαντικών ενισχύσεων σε πολλούς παλαιούς.
- Βέλτιστη ρύθμιση των Αυτομετασχηματιστών του Συστήματος και της αέργου παραγωγής των μονάδων, με εφαρμογή και συστηματική χρήση προηγμένων εργαλείων λογισμικού.
- Εγκατάσταση ειδικού λογισμικού ανάλυσης ευστάθειας τάσης που σε πραγματικό χρόνο προσδιορίζει τα ασφαλή όρια λειτουργίας του Συστήματος, καθώς και ειδικών αυτόματων σχημάτων προστασίας, που επέτρεψαν την ασφαλή λειτουργία του Συστήματος κοντά στα όριά του σε περιπτώσεις εκτάκτων κρίσιμων 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 Γραμμών Μεταφοράς 150kV (οι δύο εκ των οποίων είναι διπλού κυκλώματος) και με τη Δυτική Ελλάδα μέσω δύο υποβρυχίων καλωδίων στο στενό Ρίου-Αντιρρίου.

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

#### **1.4. Σύστημα διανομής και τεχνικά χαρακτηριστικά**

Σύμφωνα με το Ν.2773/1999, η ΔΕΗ, μέσω της Γενικής Διεύθυνσης Διανομής, είναι ο μοναδικός διανομέας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ενώ παραμένει Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής. Η Επιχειρησιακή Μονάδα της Διανομής είναι υπεύθυνη για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την ελληνική επικράτεια, τόσο στην περιοχή του διασυνδεδεμένου συστήματος όσο και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Παραλαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια και μέσω του

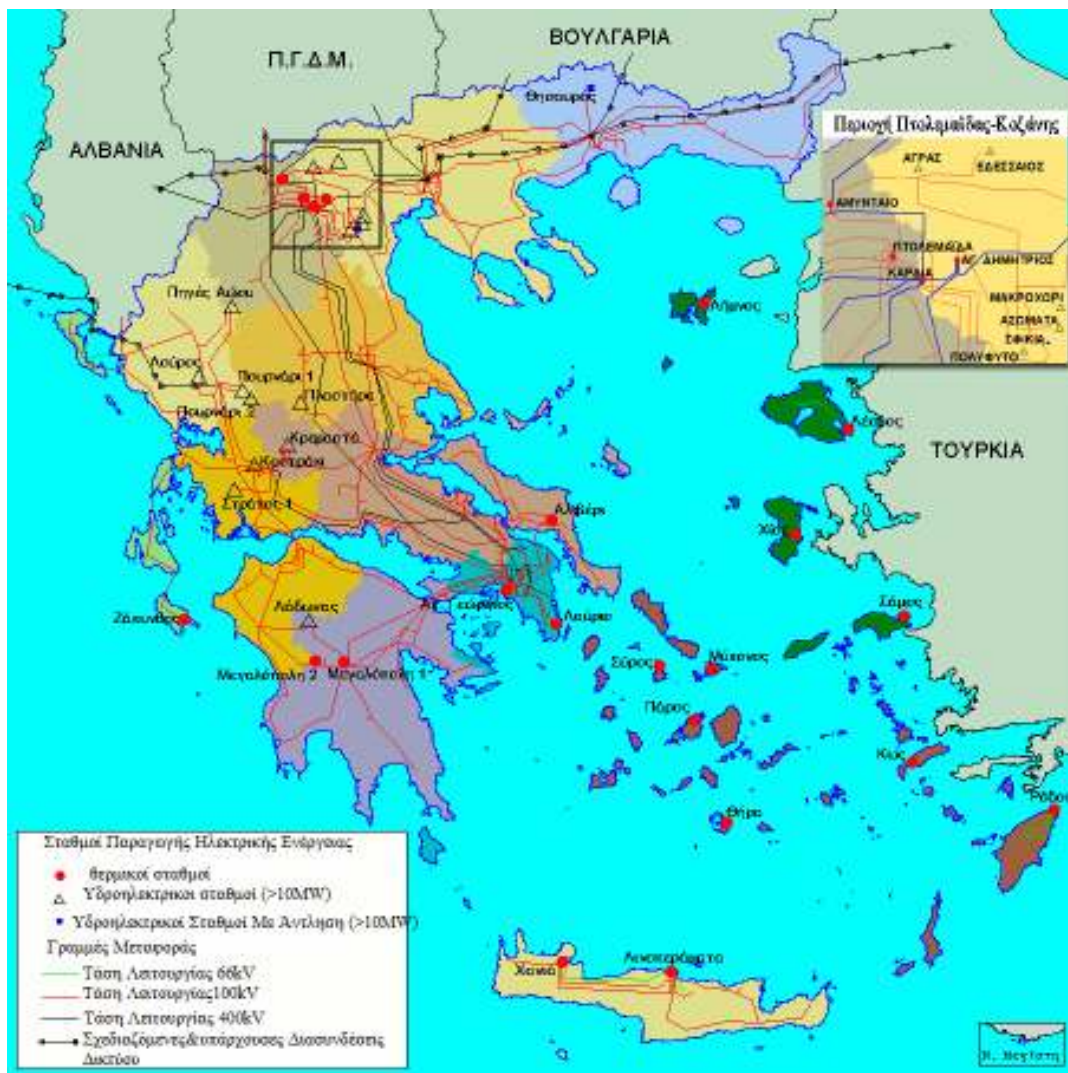
Δικτύου της, παρέχει τη δυνατότητα σε όλους τους χρήστες του Δικτύου να προμηθεύονται την ηλεκτρική ενέργεια που επιθυμούν. Σήμερα, η ΔΕΗ, άλλοι ιδιώτες παραγωγοί καθώς και εισαγωγείς ενέργειας προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια στη Χονδρεμπορική Αγορά και την εγγέουν στο Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό Σύστημα της χώρας. Η ενέργεια αυτή διαδοχικά, μέσω των δικτύων Μεταφοράς και Διανομής φθάνει στους καταναλωτές.

Το σύστημα διανομής που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους τελικούς καταναλωτές έχει γραμμές μήκους 215000km (που αντιστοιχούν σε μήκος ίσο με 5 φορές την περίμετρο της γης), από τα οποία 102000km είναι το δίκτυο μέσης τάσης και 115.000km της χαμηλής τάσης. Τα δίκτυα διανομής τροφοδοτούν 7523500 καταναλωτές μέσης (9500) και χαμηλής τάσης (7514000). Η ύπαρξη δικτύων σε διάφορες τάσεις εξηγείται από την ανάγκη οικονομικής μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τα σημεία παραγωγής στην τελική κατανάλωση.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους θερμοηλεκτρικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς βρίσκεται, κατά κανόνα, σε μια τάση μεταξύ 6kV και 21kV. Αυτή η τάση είναι, όμως, πολύ χαμηλή για την μεταφορά της ενέργειας με τις μικρότερες δυνατές απώλειες καθώς το σύστημα μεταφοράς έχει τις δικές του απώλειες.

Η υπερυψηλή τάση (400kV) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δυτική Μακεδονία στην Αττική, σε εξαιρετικά μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές καθώς και για τη σύνδεση με τις όμορες χώρες. Η υψηλή τάση (150kV, 66kV) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά από τους σταθμούς σε αστικά κέντρα και σημεία εστίασης της κατανάλωσης. Η μέση τάση (22kV, 20kV, 15kV, 6.6kV) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά σε οικισμούς, όπου μειώνεται στη χαμηλή τάση, και για βιομηχανικούς ή άλλους μεγάλους καταναλωτές. Η χαμηλή τάση αποτελεί το τέλος της αλυσίδας για τους μικρούς καταναλωτές. Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης παραγωγής και δικτύου μεταφοράς του ηλεκτρισμού:





ΕΙΚΟΝΑ 1.1. : Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

## 1.5. Συμβατικά καύσιμα

### 1.5.1. Λιγνίτης

Η χρήση των στερεών καυσίμων στην Ελλάδα είναι βασικά επικεντρωμένη στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Η μόνη εγχώρια ενεργειακή πηγή καυσίμων είναι ο λιγνίτης.

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη, στο αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης, στον ανθρακίτη στο τελικό στάδιο ενανθράκωσης, είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων.



Οι λιγνίτες σχηματίστηκαν κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη. Για το σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη, έχει υπολογισθεί ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών. Η θερμογόνο ισχύς των λιγνιτών είναι 900-2000 kcal/kg με μέση τιμή περίπου 1300 kcal, δηλαδή 3 έως 7 φορές χαμηλότερη από αυτήν του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερη από αυτήν του πετρελαίου.

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη στη χώρα βρίσκονται στη Δυτική Μακεδονία στο τρίγωνο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου-Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 2,5 δις τόνους και στην Πελοπόννησο, στη Μεγαλόπολη, με απόθεμα 300 εκατομμύρια τόνους. Σημαντικά κοιτάσματα, τα οποία δεν αξιοποιούνται προς το παρόν, υπάρχουν ακόμη στην περιοχή της Δράμας (900εκ. τόνοι) και στην περιοχή της Ελασσόνας (150εκ. τόνοι).

Μικρές μόνο ποσότητες λιγνίτη χρησιμοποιούνται ως καύσιμο σε μεταλλουργίες, σε θερμοκήπια, για θέρμανση κατοικιών καθώς και ως βελτιωτικό εδάφους ορισμένων καλλιεργειών.

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 50 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη δεν ξεπερνούν το 25% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη, η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και αντιστοιχούν με 125εκ. τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΠΠ).

Ο λιγνίτης θα συνεχίσει να είναι το εθνικό καύσιμο της Ελλάδας για ηλεκτροπαραγωγή αλλά σταδιακά η συμμετοχή του στην ηλεκτροπαραγωγή περιορίζεται ποσοστιαία μέχρι το 2050 οπότε θα εκλείψουν τα αποθέματα. Η ενσωμάτωση του κόστους των αερίων του θερμοκηπίου (εμπορία ρύπων) και η διαμόρφωση των διεθνών τιμών του φυσικού αερίου είναι δυνατόν να επηρεάσουν του μέλλον των λιγνιτικών σταθμών στην Ελλάδα.

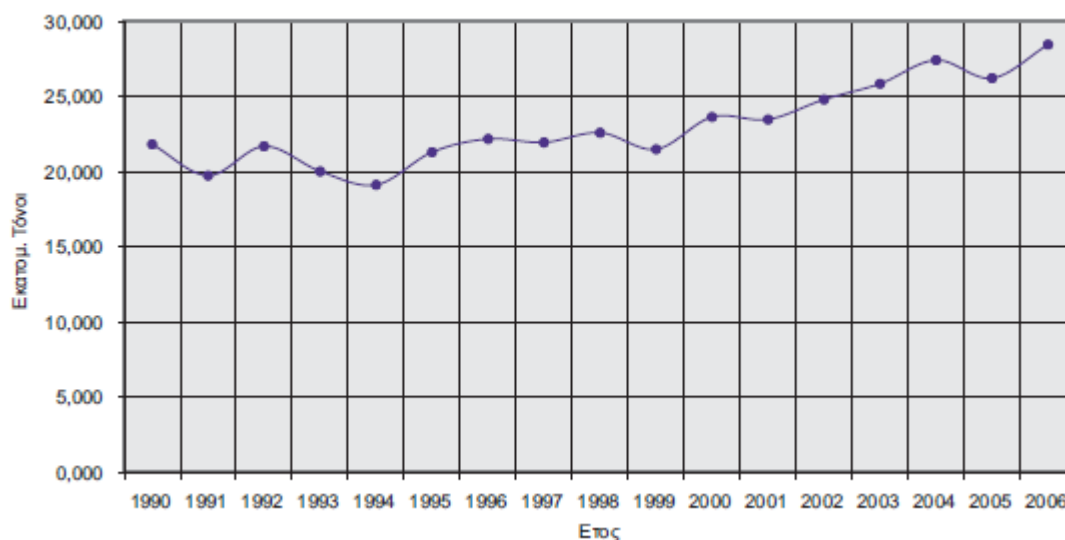
### **1.5.2. Πετρελαιοειδή**

Η ελληνική πετρελαϊκή αγορά περιλαμβάνει τέσσερα διυλιστήρια, περίπου πενήντα εταιρείες εμπορίας και ένα μεγάλο αριθμό κέντρων λιανικής πώλησης. Το αργό πετρέλαιο είναι σχεδόν αποκλειστικά εισαγόμενο. Ένα μικρό κοιτάσμα στη Βόρεια Ελλάδα δίνει το 0,6% της ζήτησης πετρελαιοειδών. Η ικανότητα διύλισης των τεσσάρων διυλιστηρίων είναι αρκετή για να καλύψει τη ζήτηση της εγχώριας αγοράς, ενώ οι επιπλέον ποσότητες εξάγονται με τη μορφή διεθνών πωλήσεων ή πωλήσεων σε αερομεταφορές και σε ποντοπόρα πλοία. Η συνολική ποσότητα αργού που διυλίζεται τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα είναι γύρω στα 18-20 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι το χρόνο.

Το 2006, η συνολική κατανάλωση πετρελαϊκών προϊόντων ήταν 18,2Μtoe, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 57,8% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης, η οποία είναι σχεδόν 100% εισαγόμενη.

Στην τελική κατανάλωση, το μερίδιο των πετρελαιοειδών ήταν 14,7Μtoe το 2006, που αποτελεί το 68,5%. Ο τομέας μεταφορών κατανάλωσε το 57%, ο οικιακός το 20%, η βιομηχανία το 13% και ο τριτογενής και αγροτικός τομέας το 13% των πετρελαιοειδών της τελικής κατανάλωσης.

Το ποσοστό των πετρελαιοειδών στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο είναι πολύ υψηλό και αυτό οφείλεται στη μεγάλη χρήση πετρελαιοειδών στις μεταφορές αλλά και στο γεγονός ότι το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά έχει ως κύριο καύσιμο τα πετρελαϊκά προϊόντα.



Διάγραμμα 1.3.: Εισαγωγές Πετρελαιοειδών 1990-2006 (ΚΑΠΕ, 2009)

### **1.5.3. Φυσικό Αέριο**

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας αναμένεται να επηρεάσει σημαντικούς κλάδους της οικονομικής και κοινωνικής ζωής της χώρας, μιας και εξασφαλίζεται η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών στην χώρα, και μάλιστα με ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας που μπορεί να διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους κλάδους (βιομηχανία, ηλεκτροπαραγωγή, συμπαραγωγή, υπηρεσίες και οικιακός τομέας, μεταφορές κ.α.). Με την εισαγωγή του φυσικού αερίου αναμένονται:

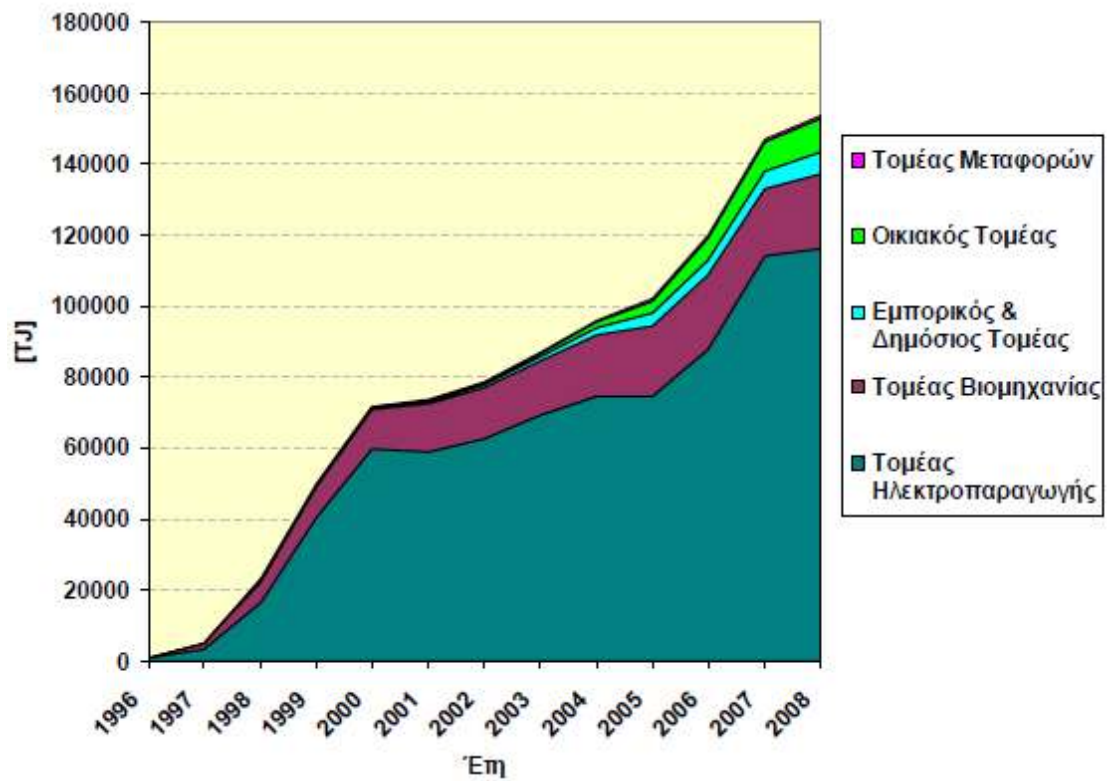
- Η αύξηση της ανταγωνιστικότητας της Ελληνικής βιομηχανίας
- Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Η βελτίωση της ποιότητας ζωής
- Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Το σύστημα του φυσικού αερίου έχει ως σκοπό την ασφαλή τροφοδοσία των μεγάλων καταναλωτικών κέντρων της χώρας και αποτελείται από:

- το δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου,
- τον τερματικό σταθμό αποθήκευσης του υγροποιημένου (LNG) αλγερινού φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο επαναεριοποιείται και τροφοδοτεί το δίκτυο μεταφοράς
- το σύστημα διανομής του φυσικού αερίου στους καταναλωτές.

Το φυσικό αέριο κάλυψε το 7.7% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης το 2006 και αναμένεται να ξεπεράσει το 14% το 2010, λόγω της κατανάλωσης του σε όλους τους οικονομικούς κλάδους και της μεγάλης χρήσης του στην ηλεκτροπαραγωγή, που αγγίζει το 70% της σημερινής κατανάλωσης του. Η διείσδυση του φυσικού αερίου στην τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε το 2006 κατά

132% σε σχέση με τα επίπεδα του 2000. Ο ρυθμός αύξησης της διείσδυσης του την τελευταία πενταετία είναι της τάξεως του 18%.



Διάγραμμα 1.5.: Κατανάλωση Φοσικού Αερίου Ανά Τομέα (ΥΠΕΚΑ, 2010)

Ακολουθως παρουσιάζεται ο χάρτης εγκαταστάσεων και δικτύου μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου (ΔΕΠΑ, 2000):



ΕΙΚΟΝΑ 1.1.: ΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

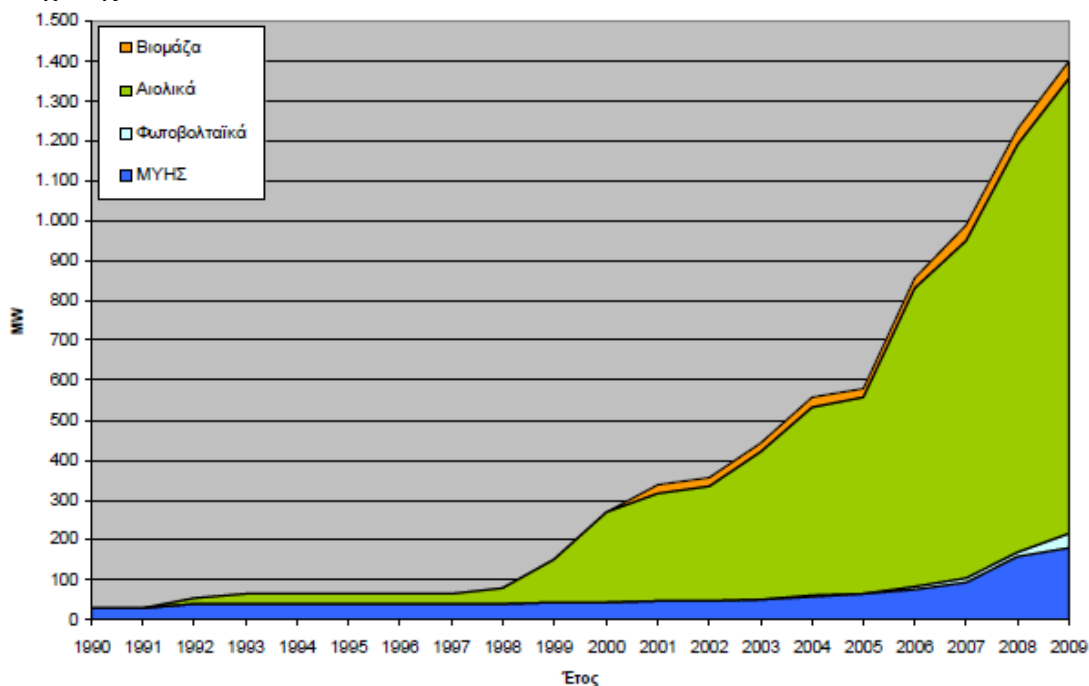
## 1.6 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

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 ό,τι 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.

Το Διάγραμμα 1.4. παρουσιάζει την ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ανά τεχνολογία, όπου και φαίνεται ότι για τα αιολικά και τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, ο ρυθμός ανάπτυξης παρέμεινε κατά μέσο όρο γύρω στο 20%, με μέγιστες και ελάχιστες τιμές ανάπτυξης συνήθως πριν και μετά τις αλλαγές στο θεσμικό πλαίσιο και στους αντίστοιχους μηχανισμούς ενίσχυσης.



*Διάγραμμα 1.4.: Αθροιστικά Εγκατεστημένη Ισχύς Σταθμών Ηλεκτροπαραγωγής Με Χρήση ΑΠΕ (ΔΕΣΜΗΕ, 2009)*

Η συνεισφορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο, ήταν της τάξης του 5.5% το 2006, σε επίπεδο συνολικής διάθεσης πρωτογενούς ενέργειας στη χώρα και της τάξης του 18% σε επίπεδο εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας. Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας το 2006 ήταν 1.8Mtoe, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 90 ήταν 1.2Mtoe.

Η ηλεκτροπαραγωγή από τις κλασσικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα -χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά- αυξάνεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια και είναι της τάξης του 3.3% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αφορά κυρίως σε αιολικά και μικρά υδροηλεκτρικά, και σε μικρότερο βαθμό στη βιομάζα και στα φωτοβολταϊκά. Αν λάβουμε υπόψη και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά η ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι το 12.4% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

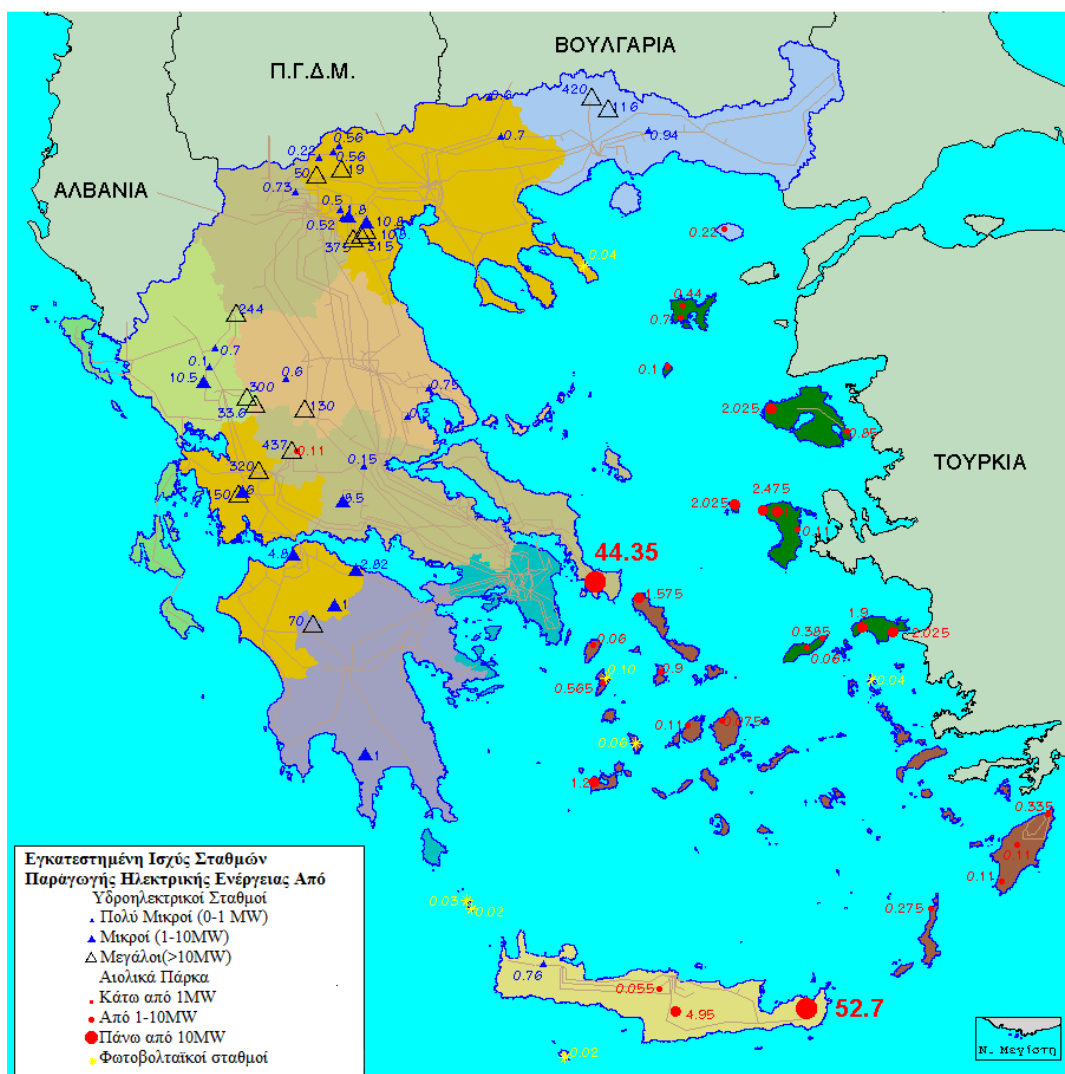
Η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ήταν 3894MW στο τέλος του 2006. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας τον ίδιο χρόνο έφτασε 8,3TWh περίπου (78.8% υδροηλεκτρικοί σταθμοί, 20% αιολικά, 1.1% βιοαέριο και μια μικρή παραγωγή φωτοβολταϊκών).

Τα στατιστικά στοιχεία των τελευταίων ετών παρουσιάζουν διακύμανση του ποσοστού συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή 10-12%, η οποία κυρίως οφείλεται στη μεταβλητότητα της λειτουργίας των μεγάλων υδροηλεκτρικών, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για φορτία αιχμής και παράγουν ανάλογα με τη διαθεσιμότητα υδάτων στα φράγματα.

Η μεγάλη ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακών συλλεκτών κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει την Ελλάδα στη δεύτερη θέση σε εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ωστόσο, η κύρια παραγωγή θερμότητας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προέρχεται από καύση βιομάζας στον οικιακό τομέα είτε από υπολείμματα βιομάζας σε βιομηχανικές μονάδες ξύλου, τροφίμων, βάμβακος, κλπ. όπου και χρησιμοποιείται για ίδιες ανάγκες. Η Ελληνική αγορά θερμότητας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι σε στάδιο εκκίνησης. Ένα πραγματικό πεδίο για τη θερμική διείσδυση τους φαίνεται να είναι ο κτιριακός τομέας, σε συνδυασμό πάντοτε με την αναθεώρηση της εθνικής νομοθεσίας για τα 'κτίρια αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας'. Η χρήση των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα είναι επίσης σε φάση εκκίνησης. Στην παρούσα φάση, η προσοχή έχει στραφεί προς το βίο-ντίζελ, και αναμένεται σύντομα να εξεταστεί και η προοπτική βιοαιθανόλης.



Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2000):



ΕΙΚΟΝΑ 1.2.: ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, εκπονήθηκε στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής σε σχέση με την διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την Εξοικονόμηση Ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου.

Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα

επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

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

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

Η ανάλυση σεναρίων εξέλιξης του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη και παραμέτρους οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επίτευξη του ποσοστού συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή (40%) μέχρι το 2020, θα επιτευχθεί μόνο με τη συνδυαστική εφαρμογή θεσμικών, κανονιστικών, οικονομικών και τεχνολογικών μέτρων που έχουν ως βασικό στόχο την αξιοποίηση του οικονομικού δυναμικού ανάπτυξης μεγάλων έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την ολοκλήρωση των αναγκαίων εργασιών επέκτασης και αναβάθμισης του ηλεκτρικού δικτύου και την σταδιακή ανάπτυξη ενός διεσπαρμένου τρόπου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Προφανώς αυτό απαιτεί την αντιμετώπιση ποικίλων εμποδίων, που έχουν ήδη εντοπιστεί, και σχετίζονται με καθυστερήσεις στην αδειοδότηση των έργων αυτών, με ασάφειες θεμάτων χωροταξικού σχεδιασμού, καθώς και με την ελλιπή ενημέρωση των πολιτών αναφορικά με τις εφαρμογές έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Επίσης, η Ελλάδα παρουσιάζει την ιδιομορφία ύπαρξης και ενός μη πλήρους διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος, καθώς πολλά νησιά αποτελούν αυτόνομα δίκτυα. Όλα αυτά τα δεδομένα, οι περιορισμοί και οι κοινωνικοοικονομικοί παράμετροι ελήφθησαν υπόψη στο σχεδιασμό της συνεισφοράς των διαφόρων τεχνολογιών για ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2020.

Αντίστοιχα, για την ικανοποίηση των εθνικών στόχων συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε θέρμανση-ψύξη και μεταφορές, προβλέπεται αξιοποίηση όλων των θεσμικών αλλαγών που έχουν ήδη υλοποιηθεί ή δρομολογούνται ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και υιοθέτησης πολιτικών ορθολογικής χρήσης ενέργειας σε όλους τους τομείς. Παράλληλα, η ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνολογιών, όπως οι αντλίες θερμότητας, καθώς και η ενίσχυση και περαιτέρω ανάπτυξη εφαρμογών σε θερμικά ηλιακά συστήματα και βιομάζα τόσο στον οικιακό και τριτογενή τομέα, όσο και στη βιομηχανία απαιτείται ώστε να μπορέσουν να ικανοποιηθούν οι συγκεκριμένοι εθνικοί στόχοι.

Ειδικά για τα βιοκαύσιμα, η προσπάθεια εντοπίζεται στην αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού για την παραγωγή βιοντίζελ μέσω ενεργειακών καλλιεργειών, καθώς και στην ανάπτυξη των απαραίτητων δικτύων διαχείρισης της βιομάζας για ενεργειακή χρήση.

Συγκεκριμένα οι εθνικοί στόχοι για το 2020, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα των ενεργειακών μοντέλων, αναμένεται να ικανοποιηθούν για τη μεν ηλεκτροπαραγωγή με την ανάπτυξη περίπου 13300MW από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (από περίπου 4000MW σήμερα), όπου συμμετέχουν το σύνολο των

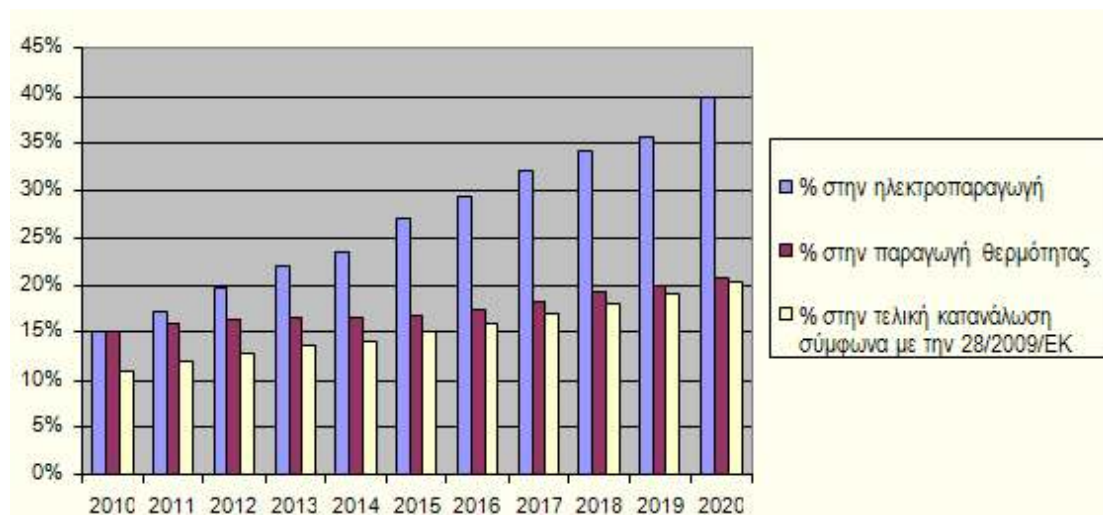


τεχνολογιών με προεξέχουσες τα αιολικά πάρκα με 7500MW, υδροηλεκτρικά με 3000MW και τα ηλιακά με περίπου 2500MW, ενώ για τη θέρμανση και ψύξη με την ανάπτυξη των αντλιών θερμότητας, των θερμικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και των εφαρμογών βιομάζας.

Είναι σαφές ότι η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί τον συντονισμό σε δράσεις και μέτρα, την υποστήριξη από τους φορείς της αγοράς καθώς και την έγκαιρη υλοποίηση έργων ανάπτυξης του ηλεκτρικού δικτύου ώστε να υπάρχει η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας από τους σταθμούς Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Οι σχετικοί στόχοι και η συνεισφορά των επιμέρους τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ανάλογα με την εξέλιξη της αγοράς και την έγκαιρη ή όχι αντιμετώπιση ήδη εντοπισμένων προβλημάτων δύναται να τροποποιηθούν (όπως προβλέπεται και από την Οδηγία της ΕΕ) ανά τακτά χρονικά διαστήματα (διετία), καθώς θα αναπτυχθεί ένα εθνικό σύστημα παρακολούθησης της πορείας επίτευξης αυτών των στόχων, το οποίο θα αναγνωρίζει έγκαιρα τις όποιες αδυναμίες και αστοχίες και θα προτείνει συγκεκριμένες διορθωτικές δράσεις, τεχνολογικού ή θεσμικού χαρακτήρα, ώστε τελικά οι εθνικοί στόχοι που σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων του θερμοκηπίου και περαιτέρω διεύθυνσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση να επιτευχθούν.

Το εθνικό σχέδιο δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, πρόκειται ουσιαστικά να διαδραματίσει το ρόλο ενός δυναμικού εργαλείου παρακολούθησης των εθνικών ενεργειακών στόχων, όπου ανάλογα με τα μέτρα και πολιτικές που λαμβάνονται, την ανταπόκριση των φορέων της αγοράς καθώς και την τεχνολογική ωριμότητα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας θα προσαρμόζεται αντίστοιχα, ώστε να μπορούν να επιτευχθούν οι δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι για το 2020.



Διάγραμμα 1.5.: Διείσδυση ΑΠΕ Στο Ενεργειακό Ισοζύγιο (ΥΠΕΚΑ, 2010)

Η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και κατηγορία παραγωγού και η κατανομή της στο χρόνο καθορίζονται στον ακόλουθο πίνακα, με χρονικό ορίζοντα τα έτη 2014 και 2020:

	<b>2014</b>	<b>2020</b>
<b>Υδροηλεκτρικά</b>	<b>3700</b>	<b>4650</b>
<i>Μικρά (0-15MW)</i>	<i>300</i>	<i>350</i>
<i>Μεγάλα (&gt;15MW)</i>	<i>3400</i>	<i>4300</i>
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	<b>1500</b>	<b>2200</b>
<i>Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες αγρότες της περίπτωσης (β) της παρ.6 του άρθ.15 του ν.3851/2010</i>	<i>500</i>	<i>750</i>
<i>Λοιπές Εγκαταστάσεις</i>	<i>1000</i>	<i>1450</i>
<b>Ηλιοθερμικά</b>	<b>120</b>	<b>250</b>
<b>Αιολικά (περιλαμβανομένων θαλασσίων)</b>	<b>4000</b>	<b>7500</b>
<b>Βιομάζα</b>	<b>200</b>	<b>350</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.: ΟΡΙΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (MW) ΑΝΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΕ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ (ΥΠΕΚΑ, 2010)**

Μια σημαντική διαπίστωση για το ηλεκτρικό σύστημα στην Ελλάδα είναι ότι βρίσκεται στα όρια του ελλείμματος επενδύσεων. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες παρά το πλούσιο δυναμικό. Τα θερμικά παρουσιάζουν ιδιομορφίες. Οι ενδογενείς ενεργειακοί πόροι και η ανησυχία για τη σταθεροποίηση της ασφάλειας εφοδιασμού οδηγούν στη διατήρηση σημαντικού μεριδίου του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή. Η χρήση πετρελαιοειδών φαίνεται εκ πρώτης όψεως υπερβολική σε σχέση με το μέσο όρο στην Ευρώπη, αλλά οφείλεται στο νησιωτικό χαρακτήρα της χώρας. Στρατηγική μείωσης των πετρελαιοειδών στην ηλεκτροπαραγωγή έχει υιοθετηθεί ήδη στα πλαίσια της περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η αύξηση της παραγωγής λιγνίτη δεν είναι παρά προσωρινή επιλογή εξαιτίας της μείωσης των διαθέσιμων αποθεμάτων και της συνεχούς αύξησης του κόστους εξόρυξης και των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η τεχνολογία Δέσμευσης Και Αποθήκευσης του Άνθρακα (Carbon Capture and Storage, CCS), είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο και δεν μπορεί να μπει σε βιομηχανική φάση παρά μόνο μετά από τουλάχιστον δεκαπέντε έτη.

Οι σταθμοί φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου, θα παίξουν μακροπρόθεσμα έναν αποφασιστικό ρόλο για να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα ελλείμματος.

Τα υδροηλεκτρικά έργα είναι ελκυστικά, αλλά τα περιθώρια ανάπτυξης τους είτε φυσικά είτε γεωγραφικά είναι περιορισμένα. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρότι προωθούνται από το Σύστημα Συναλλαγών Δικαιωμάτων Εκπομπών (ETS, Emissions Trading Scheme), παραμένουν για την ώρα πιο ακριβές από τις παραδοσιακές μορφές ενέργειας.

Η πυρηνική ενέργεια δεν έχει υιοθετηθεί στην Ελλάδα, παρά τα ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά εκπομπών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποθέτει την ευθύνη των αντίστοιχων αποφάσεων σε κάθε κράτος-μέλος. Σχετικά με την κατάσταση που επικρατεί στη χώρα, η χρήση της πυρηνικής ενέργειας ως πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού δεν περιλαμβάνεται στις επιλογές που προτείνονται για τη χώρα έως το 2020.

Η Ελλάδα έχει σχετικά μικρή ανάπτυξη της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Ένα μεγάλο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος βρίσκεται στα διυλιστήρια, σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής και στη βιομηχανία τροφίμων. Το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων βιομηχανικής συμπαγωγής, ήταν το 2006 περίπου 155MWe.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο**

### **Η ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟ ΙΣΧΥΟΝ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

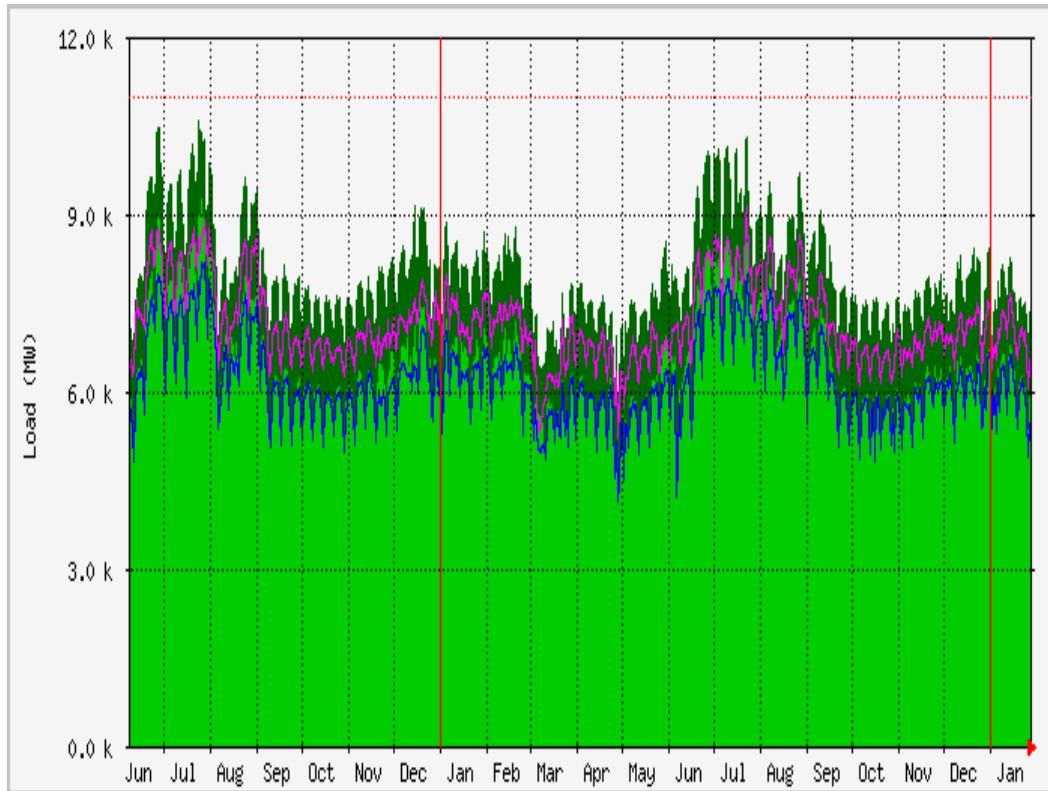
## 2.1. Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα αγαθό το οποίο αφορά έναν πολύ μεγάλο αριθμό καταναλωτών, χωρίς να είναι άμεσα υποκαταστάσιμο. Έως τώρα το συγκεκριμένο αγαθό 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. Η αναδιάρθρωση αυτή, σύμφωνα με τους υποστηρικτές της, θα επιφέρει αύξηση του κοινωνικού πλεονάσματος, χαμηλότερες τιμές, διαφανείς μεθόδους τιμολόγησης και θα αυξήσει τις επιλογές των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας.

Μετά από μια περίοδο πιέσεων, προετοιμασίας, μελετών και οργανωτικών βημάτων τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο, δημιουργείται και στην Ελλάδα, βαθμιαία, ελεύθερη αγορά στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έρχεται να διαμορφώσει ένα νέο τοπίο στο οποίο οι πελάτες θα επιλέγουν τον προμηθευτή τους και οι νέοι παραγωγοί θα ανταγωνίζονται τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, που μέχρι σήμερα ήταν ο μόνος παραγωγός. Πρόκειται, για μία πολύ ριζική αναδιάρθρωση στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας όπου παραδοσιακά και διεθνώς ορίζεται από μονοπώλια υπό ρυθμιστικό έλεγχο.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι τα ηλεκτρικά συστήματα έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να αγνοηθούν κατά τον σχεδιασμό της νέας απελευθερωμένης αγοράς:

- Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται εντός ευρέων ορίων μέσα στον ημερήσιο κύκλο αλλά και εποχιακά μέσα στον ετήσιο κύκλο. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει οικονομικά βιώσιμη λύση στο θέμα της αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρισμού, απαιτείται η τήρηση σημαντικών περιθωρίων εφεδρείας ισχύος προκειμένου να υπάρχει πάντοτε δυνατότητα κάλυψης του κυμαινόμενου φορτίου. Το σημερινό διασυνδεδεμένο σύστημα της χώρας έχει π.χ. ένα μέσο φορτίο της τάξεως των 7.500MW αλλά διατηρεί μία εγκατεστημένη ισχύ 11.700MW περίπου, προκειμένου να μπορεί να αντιμετωπίζει την καλοκαιρινή, λόγω κλιματιστικών, αιχμή των 10.500 έως 11.000MW που διαρκεί ελάχιστες ώρες το χρόνο. Ας σημειωθεί εδώ, ότι άλλη είναι η αξία της ισχύος όταν το φορτίο υπερβαίνει τα 10.000MW, οπότε το περιθώριο εφεδρείας είναι πολύ μικρό, και άλλη, πολύ μικρότερη, είναι η αξία της ισχύος όταν το φορτίο είναι κάτω από τα 5.000 MW, όταν δηλαδή υπάρχει μεγάλο περιθώριο διαθέσιμης εφεδρικής ισχύος.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ (ΙΟΥΝΙΟΣ 2007- ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2009)**

- Για τις περισσότερες εφαρμογές του ηλεκτρισμού ως αγαθού δεν υπάρχει υποκατάστατο, ενώ το δε κόστος των διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος για την οικονομία και τη δημόσια υγεία είναι πολύ μεγάλο. Το γεγονός αυτό, στο σημερινό τεχνολογικό πολιτισμό, καθιστά τη βραχυχρόνια ζήτηση του ηλεκτρισμού εντόνως ανελαστική.
- Εκτός από την ανελαστικότητα της ζήτησης, είναι δυνατόν και η προσφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να εξαρτάται από απρόβλεπτους παράγοντες, όπως π.χ. οι καιρικές συνθήκες. Αυτό έχει ιδιαίτερος μεγάλη επίδραση σε συστήματα που έχουν στηρίξει την ηλεκτροπαραγωγή τους κατά πολύ μεγάλο ποσοστό στην υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή παραγωγή.
- Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εγκατάσταση νέου ηλεκτροπαραγωγικού δυναμικού είναι πολύ μεγάλο και τα τελευταία χρόνια έχει μεγαλώσει περισσότερο λόγω των, συχνά υπερβολικών, περιβαλλοντικών ελέγχων και περιορισμών που έχουν επιβληθεί. Στην καλύτερη περίπτωση, η εγκατάσταση μίας νέας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί τουλάχιστον τρία έτη. Εάν η απόφαση κατασκευής ληφθεί όταν ήδη οι τιμές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχουν πάρει ανοδική πορεία, προειδοποιώντας ότι υπάρχει στενότητα διαθέσιμης ισχύος και άρα το σύστημα χρειάζεται ενίσχυση, τότε η ελάχιστη περίοδος των τριών ετών είναι επαρκές χρονικό διάστημα για να σημειωθούν αυξήσεις τιμών και κρίση, λόγω στενότητας ισχύος, στην αγορά.
- Τέλος, σημειώνεται 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 ποιον παραγωγό προέρχεται η ενέργεια. Έτσι, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών περιορίζεται μόνο στο επίπεδο της τιμής του προϊόντος χωρίς να συνυπάρχουν κριτήρια ποιότητας.

## **2.2. Οι Παράγοντες Της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Οι παράγοντες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ακόλουθοι:

- **Παραγωγοί:** Ως παραγωγοί χαρακτηρίζονται όλοι όσοι κατέχουν άδεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία τους χορηγείται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας σύμφωνα με τους ισχύοντες νόμους για αδειοδότηση ιδιωτών.
- **Προμηθευτές:** Στην κατηγορία των προμηθευτών ανήκουν οι έμποροι, οι ιδιώτες και η Δ.Ε.Η., οι οποίοι προμηθεύουν με ενέργεια τους επιλέγοντες πελάτες του Συστήματος έπειτα από σύναψη εμπορικών συμβολαίων. Στην περίπτωση των μη επιλεγόντων πελατών, το ρόλο του προμηθευτή τον αναλαμβάνει αποκλειστικά η Δ.Ε.Η.
- **Οι επιλέγοντες πελάτες:** Είναι οι πελάτες οι οποίοι επιλέγουν να προμηθεύονται ενέργεια μέσω του Συστήματος Συναλλαγών Ενέργειας προς ιδιωτική και αποκλειστική χρήση (Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες).

Σημαντικό ρόλο στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδος, παίζουν οι εξής τρεις εταιρίες:

- **Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.):** Η Ρ.Α.Ε. συστάθηκε βάση του νόμου 2773/99 και λειτουργεί από την 1η Ιουλίου 2000. Δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εναρμόνισης της ελληνικής νομοθεσίας με την κοινοτική οδηγία 96/92 και πρόκειται για μία διοικητική αρχή, η οποία έχει κυρίως γνωμοδοτικό και εισηγητικό ρόλο, και όχι ελεγκτικό ή δικαστικό, σε όλους τους τομείς της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος της Ρ.Α.Ε. είναι η ρύθμιση του ελεύθερου ανταγωνισμού στην ενεργειακή αγορά με σκοπό τη διευθέτηση της εξυπηρέτησης του καταναλωτή, είτε αυτός είναι ιδιώτης, είτε επιχείρηση. Παράλληλα, επιδιώκει τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη των μικρομεσαίων επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας, καθώς οι τελευταίες αποτελούν φορείς ανάπτυξης και απασχόλησης. Η Ρ.Α.Ε. γνωμοδοτεί για τη χορήγηση αδειών, επιβλέπει τη διαδικασία χορήγησής τους και επιβάλλει ποινές και πρόστιμα στους παραβάτες του νόμου 2773/99. Παρακολουθεί και ελέγχει τη λειτουργία της αγοράς, γνωμοδοτεί και εισηγείται νέα μέτρα. Επιπλέον, καλλιεργεί διεθνείς σχέσεις και συνεργασίες, συνεργάζεται με τις αντίστοιχες διοικητικές αρχές των ξένων χωρών και ενημερώνει την αρμόδια Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πορεία της απελευθέρωσης της ελληνικής ενεργειακής αγοράς. Η Ρ.Α.Ε. επιδιώκει επίσης την εξασφάλιση των μακροχρόνιων στρατηγικών στόχων της ενεργειακής πολιτικής. Τέτοιοι στόχοι, είναι η επαρκής και ισότιμη τροφοδοσία των καταναλωτών, η ασφάλεια της τροφοδοσίας της χώρας, η προστασία του περιβάλλοντος, η αποτελεσματική χρήση και προμήθεια ενέργειας και η εξασφάλιση επαρκούς υποδομής για την ενέργεια. Ταυτόχρονα, η Ρ.Α.Ε. πρέπει να δίνει έμφαση στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και συμπαραγωγή και στην ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών.
- **Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.):** Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ιδρύθηκε με το Προεδρικό Διάταγμα 328/12.12.2000. Ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. είναι ανώνυμη εταιρεία του δημοσίου στο οποίο ανήκει το 51% της εταιρείας. Το υπόλοιπο ποσοστό του μετοχικού κεφαλαίου ανήκει στους

κατόχους άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των οποίων οι μονάδες παραγωγής συνδέονται στο Σύστημα. Σε πρώτη φάση το 49% του μετοχικού κεφαλαίου κατέχει η Δ.Ε.Η., ποσοστό το οποίο θα μειώνεται σιγά καθώς οι μετοχές της εταιρείας θα διατίθενται στους ιδιώτες παραγωγούς. Οι κάτοχοι άδειας θα αποκτούν μετοχές κατά αναλογία της παραγωγικής τους δυναμικότητας, σε σχέση με τη συνολική παραγωγική δυναμικότητα που είναι συνδεδεμένη εκείνη τη χρονική στιγμή στο Δίκτυο.

Ο Διαχειριστής υποχρεούται να πληρώνει οικονομικό αντάλλαγμα για τη χρήση του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, αποκλειστικός ιδιοκτήτης του οποίου παραμένει η Δ.Ε.Η. και η οποία θα πρέπει να αποζημιωθεί για τις υπηρεσίες της. Η ανάπτυξη του Συστήματος διευκολύνει την ομαλή είσοδο νέων παραγωγών και πελατών, ενώ το κόστος συντήρησης του επιβαρύνει τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Ο Διαχειριστής μετρά επίσης την ενέργεια που παράγεται, διακινείται και καταναλώνεται ανά πάσα χρονική στιγμή, κατά τρόπο αξιόπιστο, ακριβή και μη αμφισβητούμενο. Ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. αναλαμβάνει επίσης τη διαδικασία Κατανομής Φορτίου. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ιδιότυπο κοινωνικό αγαθό, κυρίως λόγω της δυσκολίας που συναντάται στην αποθήκευσή της, τουλάχιστον με το υπάρχον τεχνολογικό επίπεδο. Γι' αυτό το λόγο, ανά πάσα χρονική στιγμή πρέπει να παράγεται τόση ηλεκτρική ενέργεια όση απαιτείται από το Σύστημα. Ο Διαχειριστής κατανέμει το φορτίο στους διαθέσιμους σταθμούς παραγωγής και καθορίζει ποια μονάδα θα παράγει και πόσο, πάντα με γνώμονα τη διατήρηση των απαραίτητων ποιοτικών χαρακτηριστικών του δικτύου, το ελάχιστο κόστος και το σεβασμό των διμερών εμπορικών σχέσεων μεταξύ πελάτη-προμηθευτή.

Μια σημαντική ευθύνη που βαραίνει το Διαχειριστή είναι η εκκαθάριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο παραπάνω όρος αναφέρεται στη διαδικασία υπολογισμού των οφειλών και των αποζημιώσεων μεταξύ των συμμετεχόντων στην ελληνική αγορά ενέργειας. Ο Διαχειριστής δεν έχει τη δυνατότητα να παρεμβαίνει στα διμερή εμπορικά συμβόλαια που υπογράφονται μεταξύ καταναλωτών και προμηθευτών-παραγωγών. Στην περίπτωση όμως που κάποιος παραγωγός αδυνατεί να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις του για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ο Διαχειριστής επεμβαίνει και καθορίζει το ποσό που ο ελλειμματικός παραγωγός θα πρέπει να πληρώσει σε κάποιον άλλο πλεονασματικό παραγωγό, έτσι ώστε να καλυφθεί η παραπάνω απόκλιση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ο Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς καταρτίζει και δημοσιεύει τουλάχιστον κάθε δύο έτη τακτικές προβλέψεις όσον αφορά το δυναμικό παραγωγής και μεταφοράς που ενδέχεται να συνδεθεί με το Σύστημα, τις ανάγκες διασύνδεσης με άλλα δίκτυα, τις δυνατότητες μεταφοράς και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προβλέψεις αυτές καλύπτουν την επόμενη πενταετία.

- Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.): Από την 1.1.2001 η Δ.Ε.Η. λειτουργεί σαν ανώνυμη εταιρεία. Λειτουργεί πλέον ως μια πλήρως καθετοποιημένη επιχείρηση με διάφορους τομείς δραστηριότητας (Ορυχείων, Παραγωγής, Μεταφοράς, Εμπορίας και Διανομής). Η Δ.Ε.Η. 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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 Δ.Ε.Η. 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 επιλεγόντων πελατών, δηλαδή όσων καταναλωτών είναι συνδεδεμένοι στη χαμηλή τάση.

Σύμφωνα με το νέο κώδικα, ιδρύονται οι εξής δύο αγορές ηλεκτρικής ενέργειας:

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

### **2.3. Κατανομή Φορτίου**

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα ιδιότυπο εμπορικό αγαθό που δεν αποθηκεύεται και επομένως θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να παράγεται ακριβώς όση καταναλώνεται. Η Κατανομή Φορτίου είναι η διαδικασία που υπαγορεύει το ποιός σταθμός θα παράγει και πόσο. Η Κατανομή Φορτίου στους σταθμούς γίνεται έτσι ώστε να διατηρούνται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που πρέπει (συχνότητα, τάση κλπ), να υπάρχει ελάχιστο κόστος λειτουργίας και να υπάρχει σεβασμός των διμερών εμπορικών σχέσεων πελάτη-προμηθευτή. Τη διαδικασία αυτή στην Ελλάδα διεξάγει καθημερινά ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της διαδικασίας αυτής καθώς και κάποια σημαντικά στοιχεία για τη γενικότερη λειτουργία της αγοράς.

#### **2.3.1. Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός**

Σκοπός του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης για την εξυπηρέτηση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε Ημέρα Κατανομής. Η ελαχιστοποίηση αυτή γίνεται υπό όρους καλής κι ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος και διασφάλισης επαρκών



εφεδρειών, μέσω της αντιπαραβολής του συνολικά αιτούμενου φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας με τις οικονομικές Προσφορές Έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα και μέσω του προγράμματος Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού.

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<sup>η</sup> μεσημβρινή ώρα της ημέρας που προηγείται της Ημέρας Κατανομής. Ο υπολογισμός των προθεσμιών αφορά ημερολογιακές μέρες.

### **2.3.2. Δηλώσεις Φορτίου**

Δηλώσεις φορτίου υποβάλλουν οι προμηθευτές, οι Αυτοπρομηθευόμενοι πελάτες και οι Παραγωγοί, οι οποίοι ονομάζονται «Εκπρόσωποι Φορτίου». Οι Εκπρόσωποι Φορτίου για ορισμένη Ημέρα Κατανομής εκπροσωπούν τους Μετρητές. Οφείλουν να υποβάλλουν Δηλώσεις Φορτίου, με τις οποίες δηλώνουν ανά Κατηγορία Μετρητών για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής, την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία κατά την κρίση τους προβλέπεται ότι πρόκειται να απορροφηθεί. Η απόρριψη προέρχεται από το σύνολο των Μετρητών της Κατηγορίας Μετρητών που εκπροσωπούνται ολικά ή μερικά κατά την υπόψη Ημέρα Κατανομής, σύμφωνα με τον Πίνακα Αντιστοίχισης Μετρητών και Εκπροσώπων Φορτίου.

Η Δήλωση Φορτίου που αφορά σε απορρόφηση πελάτη περιλαμβάνει πίνακα, στον οποίο ο Εκπρόσωπος Φορτίου δηλώνει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε MWh, για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής και για κάθε Κατηγορία Μετρητών, εφόσον στην Κατηγορία περιλαμβάνεται Μετρητής ο οποίος εκπροσωπείται, μερικά ή ολικά, από αυτόν. Με απόφαση του Διαχειριστή του Συστήματος, η οποία τελεί υπό την έγκριση της ΡΑΕ, είναι δυνατόν να επιτρέπεται η Δήλωση Φορτίου, που αφορά σε απορρόφηση πελάτη, να λαμβάνει τη μορφή κλιμακωτής συνάρτησης τιμής και ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε βαθμίδα της οποίας αποτελείται από ένα ζεύγος τιμής (€/MWh) και ποσότητας ενέργειας (MWh). Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση περιλαμβάνει έως δέκα βαθμίδες, όπου οι τιμές της ενέργειας για τις διαδοχικές βαθμίδες πρέπει να είναι μονοτόνως μη αύξουσες. Η τιμή ενέργειας ορίζεται σε Ευρώ με ακρίβεια μέχρι και τριών δεκαδικών ψηφίων.

### **2.3.3. Προσφορές Έγχυσης**

Χωριστά για κάθε Μονάδα, ο κάτοχος της άδειας παραγωγής οφείλει να υποβάλει πλήρως δεσμευτική Προσφορά Έγχυσης για κάθε Περίοδο Κατανομής κάθε Ημέρας Κατανομής, για το σύνολο της ισχύος της Μονάδας. Την προσφορά αυτή την υποβάλλει στο Διαχειριστή του Συστήματος και ουσιαστικά πρόκειται για μια καμπύλη που υποδεικνύει την τιμή στην οποία προτίθεται να πουλήσει κάθε επίπεδο ενέργειας που παράγει. Η Προσφορά Έγχυσης είναι μια κλιμακωτή συνάρτηση τιμής και ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε βαθμίδα της οποίας αποτελείται από ένα ζεύγος τιμής ενέργειας (€/MWh) και ποσότητας ενέργειας (MWh). Η συνάρτηση

περιλαμβάνει έως δέκα βαθμίδες, στην οποία οι τιμές της ενέργειας για τις διαδοχικές βαθμίδες πρέπει να είναι μονοτόνως μη φθίνουσες. Η τιμή ενέργειας πρέπει να είναι μεγαλύτερη και όχι ίση του μηδενός και ορίζεται σε Ευρώ με ακρίβεια μέχρι και τριών δεκαδικών ψηφίων. Κάθε ζεύγος τιμής-ποσότητας ονομάζεται Τιμολογούμενη Βαθμίδα Προσφορά Έγχυσης.

#### **2.3.4. Πίνακας Συντελεστών Απωλειών Φορτίου**

Ο Πίνακας Συντελεστών Απωλειών Φορτίου καθορίζει την αριθμητική τιμή του συντελεστή απωλειών απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε Κατηγορία Μετρητών του Δικτύου. Ο Συντελεστής Απωλειών Φορτίου αντιστοιχεί στο τμήμα των συνολικών απωλειών που επιμερίζεται στο ηλεκτρικό φορτίο το οποίο απορροφάται για κατανάλωση στο Δίκτυο, και για τον υπολογισμό του οποίου λαμβάνονται υπόψη μόνο οι απώλειες φορτίου στο Δίκτυο. Οι συντελεστές αυτοί είναι δυνατόν να έχουν διαφορετικές αριθμητικές τιμές για τις Περιόδους Κατανομής και τις Ημέρες Κατανομής.

#### **2.3.5. Επίλυση Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού**

Το πρόγραμμα Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) περιλαμβάνει έναν προγραμματισμό ο οποίος καθορίζει για κάθε περίοδο της ημέρας, στην οποία αναφέρεται ο ΗΕΠ, την παραγωγή Μονάδων που έχουν υποβάλει προσφορές και την ενέργεια τιμολογούμενων εισαγωγών η οποία γίνεται δεκτή. Επίσης, ο ΗΕΠ καθορίζει την παροχή επικουρικών Υπηρεσιών Εφεδρειών κατά τις Περιόδους Κατανομής της Ημέρας Κατανομής. Οι ποσότητες αυτές καθορίζονται έτσι ώστε να βελτιστοποιείται το κοινωνικό όφελος που προκύπτει από την ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου καθώς και των αναγκών βραχυχρόνιων εφεδρειών και επικουρικών υπηρεσιών που είναι δυνατόν να επιτευχθούν ενόσω τηρούνται οι περιορισμοί του Συστήματος Μεταφοράς. Το κοινωνικό όφελος βελτιστοποιείται με τη μεγιστοποίηση της αξίας του ζητούμενου φορτίου μετά από αφαίρεση του κόστους παραγωγής και παροχής εφεδρειών υπό την παρουσία περιορισμών. Οι περιορισμοί αφορούν το ενεργειακό ισοζύγιο, τις απαιτούμενες εφεδρείες και επικουρικές υπηρεσίες για την αξιόπιστη ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου, τη διαθέσιμη ισχύ παραγωγής και παροχής επικουρικών υπηρεσιών και εφεδρειών και τέλος τη δυνατότητα του Συστήματος να μεταφέρει πλεονάζουσα παραγωγή από τη μία περιοχή της χώρας σε άλλη διατηρώντας την ευστάθεια του Συστήματος. Οι Περιορισμοί Μεταφοράς του Συστήματος αναφέρονται στους περιορισμούς φόρτισης του εξοπλισμού του Συστήματος, τήρησης των ορίων τάσης και του περιθωρίου ευστάθειας τάσης, οι οποίοι περιορίζουν, σε περίπτωση ενεργοποίησής τους, τη δυνατότητα ροής ενέργειας από τα σημεία έγχυσης στο Σύστημα προς τα σημεία απορρόφησης στο Σύστημα. Σημειώνεται ότι ορισμένοι από τους προαναφερθέντες περιορισμούς αφορούν τη διαχρονική αλληλεξάρτηση της ενέργειας που δύναται να παραχθεί από την ίδια Μονάδα παραγωγής.

### **2.3.6. Οριακή Τιμή Του Συστήματος**

Η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται βάση της Οριακής Τιμής του Συστήματος. Ο υπολογισμός αυτής αποτελεί μάλιστα και το τελευταίο στάδιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού. Ο Διαχειριστής του Συστήματος, αφού συγκεντρώσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και τις προσφορές έγχυσης των παραγωγών, αθροίζει την ισχύ που μπορεί να παρέχει η κάθε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αρχίζοντας από αυτή με τη χαμηλότερη προσφορά. Ακολούθως, προστίθεται η μονάδα με την αμέσως μεγαλύτερη προσφορά και η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου καλυφθεί το προβλεπόμενο φορτίο. Η παραγωγή που προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και η υποχρεωτική παραγωγή των Υδροηλεκτρικών Σταθμών εισάγονται πάντα πρώτες στη διάταξη, διότι ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. 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 Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού που θα προέκυπτε από οριακή αύξηση του φορτίου του Συστήματος. Πρόκειται, ουσιαστικά, για τη δυϊκή μεταβλητή του περιορισμού του ενεργειακού ισοζυγίου. 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 στο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε., στην αρχή της διαδικασίας. Όσοι προσέφεραν υψηλότερη τιμή από αυτήν της ΟΤΣ μένουν εκτός αγοράς και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι Προμηθευτές αγοράζουν ενέργεια από το Διαχειριστή, το κόστος της οποίας προκύπτει από την τιμή κλεισίματος της διαδικασίας του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, με μια προσαύξηση εξαιτίας των εξόδων μεταφοράς. Στη συνέχεια εισπράττουν από τους καταναλωτές το ήδη συμφωνημένο ποσό για την παροχή υπηρεσιών.

Κατά την επίλυση του προβλήματος ΗΕΠ, εάν δεν υπάρχουν ενεργοί Περιορισμοί Μεταφοράς του Συστήματος, η οριακή αύξηση του φορτίου επιφέρει την ίδια αύξηση στο κόστος ανεξαρτήτως της γεωγραφικής θέσης στην οποία επιτελείται η οριακή αύξηση του φορτίου. Στην περίπτωση όμως ενεργού Περιορισμού Μεταφοράς του Συστήματος, η αύξηση της βέλτιστης δαπάνης υπάρχει πιθανότητα να διαφέρει ανάλογα με τη Λειτουργική Ζώνη στην οποία επιτελείται η οριακή αύξηση του φορτίου. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση, καθορίζονται διαφορετικές μεταξύ τους Οριακές Τιμές Παραγωγής, μία ανά Λειτουργική Ζώνη του Συστήματος. Η Οριακή Τιμή Παραγωγής αντιστοιχεί, σε συγκεκριμένη Ζώνη και Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής, στην πρόσθετη συνολική δαπάνη που προκύπτει

στην περίπτωση οριακής αύξησης του φορτίου εντός της Ζώνης. Ωστόσο, η Οριακή Τιμή του Συστήματος παραμένει κοινή για όλες τις Λειτουργικές Ζώνες του Συστήματος σε κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα στην περίπτωση ενεργού Περιορισμού Μεταφοράς του Συστήματος, η Οριακή Τιμή Συστήματος λαμβάνει αριθμητική τιμή ίση με τη σταθμισμένη μέση τιμή των Οριακών Τιμών Παραγωγής όλων των Λειτουργικών Ζωνών του Συστήματος.

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

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

## **2.4. Νομοθετικό πλαίσιο**

Όσο επουσιώδες και αν φαίνεται, πέρα από ζητήματα τεχνικής και οικονομικής φύσεως, το συνολικό νομοθετικό πλαίσιο και τα ζητήματα γραφειοκρατίας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ανανεώσιμης παραγωγής. Ένα ευέλικτο θεσμικό πλαίσιο μπορεί να δράσει ενισχυτικά και προωθητικά για την ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αλλά από την άλλη πλευρά η ύπαρξη μιας σειράς γραφειοκρατικών εμποδίων μπορεί να δράσει αναχωματικά ως προς την προώθηση των επενδύσεων στο συγκεκριμένο τομέα και συνεπώς ως προς την ανάπτυξη του. Όσον αφορά τα εγχώρια δεδομένα, το νομοθετικό πλαίσιο ακόμα και μέσα από διαδοχικές μετατροπές παραμένει σήμερα αρκετά γραφειοκρατικό, αναντίστοιχο του θεσμικού πλαισίου των υπόλοιπων Ευρωπαϊκών χωρών και ασύμβατο με τους στόχους που έχουν τεθεί τόσο σε πανευρωπαϊκό όσο και σε εγχώριο επίπεδο.

Το 1994 μέσα από το νόμο «Κανονισμός ζητημάτων που σχετίζονται με την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και συμβατικά καύσιμα και άλλους παρόχους» εγκαθιδρύθηκε ένα νομοθετικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, παρέχοντας πρόσβαση στο δίκτυο για αυτόνομους παραγωγούς.

Ένα συγκεκριμένο νομοθετικό πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εισήχθη το 1999 από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ξεκινώντας την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Ο λεγόμενος «Κώδικας για τη Διαχείριση των Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας» νομοθετεί το πλαίσιο για τον τομέα της ενέργειας στην Ελλάδα. Ο κώδικας καλύπτει τις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας συνδεδεμένες σε Μεσαίας και Χαμηλής Τάσης γραμμές. Πριν το νέο νόμο 3468, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας καθόριζε τα Feed-in-Tariffs από την ανανεώσιμη ενέργεια σε συνάρτηση με την αύξηση των επιπέδων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη τα πλάνα υποστήριξης, το «λειτουργικό πρόγραμμα ανταγωνιστικότητας» αποτελεί το χρηματοοικονομικό εργαλείο για την ανάπτυξη των επενδύσεων, συμπεριλαμβανομένων και των εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών. Στις τελικές του φάσεις το Λειτουργικό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας, για την περίοδο 2000-2006, χορηγούσε επιδοτήσεις για τα φωτοβολταϊκά στο 40-50% ανάλογα με τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης. Πρακτικά, το κανονιστικό και νομοθετικό περιβάλλον ήταν υπερβολικά γραφειοκρατικό και περίπλοκο, περιορίζοντας την 'βιώσιμη ανάπτυξη' των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη χώρα. Για τον ηλιακό ηλεκτρισμό πιο συγκεκριμένα, τα φωτοβολταϊκά αντιμετωπίστηκαν σε κοινή βάση με τις υπόλοιπες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ενώ παράλληλα οι άσκοπες διαδικασίες αδειοδότησης, οι παράλογες απαιτήσεις περιβαλλοντικών συνθηκών, η έλλειψη ενός λογικού Feed-in-Tariff και τα προβλήματα που δημιουργούνται στη σύνδεση με το δίκτυο ήταν κάποιοι από τους παράγοντες που περιορίσαν τις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα.

Πλέον ο στρατηγικός στόχος αλλά και η κατεύθυνση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ελλάδα είναι η συνεισφορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή να αποτελεί το 29% μέχρι το 2020. Στην εγχώρια αγορά ηλεκτρισμού, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπαράγωγή προωθούνται σε προτεραιότητα με όλα τα μέσα με συγκεκριμένους νόμους και αρχές. Η αύξηση όσον αφορά τις επενδύσεις μεγάλης κλίμακας παρατηρείται παράλληλα με την απλοποίηση των μέτρων στις διαδικασίες σχετικής αδειοδότησης.

#### **2.4.1. Πρόσβαση Στο Δίκτυο και Feed-In-Tariffs**

Δεδομένου ότι δεν διακινδυνεύεται η ασφάλεια του Συστήματος και του Δικτύου, ο νόμος υποχρεώνει τον χειριστή να δώσει προτεραιότητα στις εγκαταστάσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας άσχετα με την εγκατεστημένη ισχύ τους, εκτός από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις άνω των 15MWe. Αυτό ισχύει τόσο για το διασυνδεδεμένο σύστημα όσο και για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Για την ενσωμάτωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και της Συμπαράγωγής στο δίκτυο ή στο σύστημα, ο διαχειριστής του συστήματος υποχρεούται να υπογράψει ένα «Συμβόλαιο Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας» με τον κάτοχο του «Πιστοποιητικού Παραγωγής Ενέργειας». Αυτό το συμβόλαιο έχει ισχύ για 10 χρόνια και μπορεί να επεκταθεί σε άλλα τόσα μετά από γραπτή δήλωση του παραγωγού.

Η αμοιβή των παραγωγών βασίζεται σε ένα μοντέλο Feed-in-Tariffs, όπως φαίνεται στον κάτωθι πίνακα:

Πηγή Ενέργειας	Feed-in Tariff [€/MWh]	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη-διασυνδεδεμένα Νησιά
Άνεμος	73.0	84.6
Άνεμος, off-shore	90.0	90.0
Μικρά Υδροηλεκτρικά < 15MWp	73.0	84.6
Φ/B < 100kWp	450.0	500.0
Φ/B ≥ 100kWp	400.0	450.0
Άλλα ηλιακά < 5Mwe	250.0	270.0
Άλλα ηλιακά ≥ 5Mwe	230.0	250.0
Γεωθερμία, Βιομάζα	73.0	84.6
Άλλες ΑΠΕ	73.0	84.6
Συμπαραγωγή θερμότητας-Ηλεκτρισμού	73.0	84.6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.: FEED-IN TARIFFS**

Η πληρωμή γίνεται σε μηνιαία βάση εκτός από παραγωγούς συνδεδεμένους στο δίκτυο χαμηλής τάσης οι οποίοι πληρώνονται κάθε 4 μήνες. Για αυτοπαραγωγούς, οι προαναφερθείσες τιμές του πίνακα ισχύουν για μέγιστη ισχύ 35MW για την περίσσεια ενέργειας που τροφοδοτείται στο δίκτυο με ένα ανώτατο όριο το 20% της συνολικής ενέργειας που παράγεται από την εγκατάσταση σε ετήσια βάση. Για υβριδικές εγκαταστάσεις ενέργειας που δημιουργούνται σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, η πληρωμή βασίζεται στα MW και γίνεται σε μηνιαία βάση.

Όπως παρουσιάζεται και στον παραπάνω πίνακα, οι πληρωμές για την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκές πηγές είναι επαρκείς ώστε να διασφαλίζεται η αιεφόρος ανάπτυξη της αγοράς στη χώρα. Σύμφωνα με το νέο νόμο επιδιώκεται η προώθηση της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και, πέρα από τους δασμούς, αυτό πραγματοποιείται και μέσα από το λεγόμενο «Πρόγραμμα ανάπτυξης Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης». Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει τεθεί σε εφαρμογή από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας με την έγκριση του Υπουργείου Ανάπτυξης και ισχύει μέχρι το 2020. Οι βασικοί στόχοι αυτού του προγράμματος είναι η ανάπτυξη εγκαταστάσεων συνολικής ισχύος τουλάχιστον 500MWp για διασυνδεδεμένους στο δίκτυο σταθμούς και τουλάχιστον 200MWp για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά δίκτυα. Οι τιμές που αναφέρονται στον προηγούμενο πίνακα μπορεί να τροποποιηθούν ανάλογα με το σχεδιασμό και τους στόχους.

Τον Ιανουάριο του 2009 θεσπίστηκε ένας νέος νόμος για τα φωτοβολταϊκά, ο νόμος 3734/2009, τα σχετικά άρθρα του οποίου είχαν ως στόχο:

- Την οργάνωση της διαδικασίας αξιολόγησης εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των αιτήσεων για φωτοβολταϊκά συστήματα.
- Την παροχή ενός 20ετούς συμβολαίου πώλησης ηλεκτρισμού στο χειριστή του συστήματος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και συνεπώς τη δημιουργία ενός ασφαλούς περιβάλλοντος για τη δημιουργία επενδύσεων.

- Την εισαγωγή ενός νέου πίνακα -ο οποίος παρουσιάζεται στη συνέχεια- με φόρους τροφοδοσίας για φωτοβολταϊκά που αρχίζουν να μειώνονται για τις καινούργιες εγκαταστάσεις μετά τον Αύγουστο του 2010. Αυτός ο νέος πίνακας εξαλείφει και αντικαθιστά τον παλιό.
- Την κατάργηση του υπάρχοντος πλάνου για τη διανομή της φωτοβολταϊκής ισχύος για διαφορετικές περιοχές και του χρονικού πλαισίου της εισαγωγής ισχύος αυτής, για την ισχύ εισαγωγής μεταξύ 2006 και 2009.
- Το σχεδιασμό αξιολόγησης όλων αυτών των εξαιρετικών αιτήσεων για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που αντιστοιχούν στο έτος 2009.
- Την ανακοίνωση ενός ειδικού προγράμματος για την ηπειρωτική Ελλάδα και τα διασυνδεδεμένα νησιά, για φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι 10kWp πάνω σε κτίρια, και για την απλοποίηση των διαδικασιών.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εγκατεστημένα σε κτίρια θα συνεισφέρουν στο σύνολο των εθνικών αντικειμενικών στόχων του 2020 λαμβάνοντας υπόψη την παραγωγή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ενώ γίνεται εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων της διανεμημένης παραγωγής.

Έτος & Μήνας	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ		ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ	
	>100 kW	≤100 kW	>100 kW	≤100 kW
2009 Φεβρουάριος	400	450	450	500
2009 Αύγουστος	400	450	450	500
2010 Φεβρουάριος	400	450	450	500
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05	490,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43	466,03
2011 Αύγουστος	351,01	394,88	394,88	438,76
2012 Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53	417,26
2012 Αύγουστος	314,27	353,56	353,56	392,84
2013 Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23	373,59
2013 Αύγουστος	281,38	316,55	316,55	351,72
2014 Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56	336,18
2014 Αύγουστος	260,97	293,59	293,59	326,22
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,3×μΟΤΣν-1	1,4×μΟΤΣν-1	1,4×μΟΤΣν-1	1,5×μΟΤΣν-1

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.: ΤΑ FEED-IN TARIFFS ΠΟΥ ΙΣΧΥΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ 2009 ΚΑΙ ΜΕΤΑ

Τον Ιούνιο του 2009, το Προεδρικό Διάταγμα αναλύει λεπτομερώς το ειδικό πρόγραμμα που εφαρμόζεται στην ηπειρωτική Ελλάδα και στα διασυνδεδεμένα νησιά, για τα εγκατεστημένα σε κτίρια μέχρι 10kWp, με δασμούς τροφοδοσίας 0.55 ευρώ/kWh, με ένα 25ετές συμβόλαιο πώλησης και μια απλοποιημένη, άμεση διοικητική διαδικασία όπου δεν απαιτείται πάνω από έναν μήνα για να ολοκληρωθεί. Η αντίδραση της αγοράς καταγράφηκε ως άμεση και θετική.

## 2.5. Ειδικό Τέλος ΑΠΕ

Ο Διαχειριστής του Συστήματος και ο Διαχειριστής του Δικτύου ανακτούν πλήρως τα ποσά που καταβάλλουν στους παραγωγούς Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, για την αγορά της παραγόμενης από αυτούς ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω Ειδικού Λογαριασμού, τον οποίο διαχειρίζεται ο Διαχειριστής του Συστήματος. Βασικό έσοδο του Λογαριασμού αυτού είναι το Ειδικό Τέλος ΑΠΕ, το οποίο καταβάλλεται από κάθε καταναλωτή, κατ' αναλογία της ηλεκτρικής ενέργειας που αυτός καταναλώνει. Το ανά kWh ύψος του Ειδικού Τέλους ΑΠΕ είναι ενιαίο για όλη την ελληνική επικράτεια και προσδιορίζεται κάθε έτος με απόφαση του αρμόδιου Υπουργού, η οποία δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, μετά από πρόταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας.

Το σχετικό κόστος που χρειάζεται να ανακτήσει ο ΔΕΣΜΗΕ προκύπτει από το εξής γεγονός: κάθε ώρα που ο ΔΕΣΜΗΕ, ως λειτουργός της αγοράς, εκκαθαρίζει την χονδρεμπορική αγορά, αγοράζει από τους παραγωγούς την ηλεκτρική ενέργεια που εγχέουν στην τιμή της αγοράς (Οριακή Τιμή Συστήματος) και την μεταπωλεί στους χονδρεμπόρους (προμηθευτές) στην ίδια τιμή. Από την άποψη αυτή, ο ΔΕΣΜΗΕ είναι οικονομικά αδιάφορος για τη διαμόρφωση της τιμής αφού από τη συναλλαγή αυτή ούτε χάνει ούτε κερδίζει ασχέτως ύψους της Οριακής Τιμής του Συστήματος. Όταν όμως στο Σύστημα εντάσσονται μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αυτές αμείβονται για την ενέργεια που εγχέουν σε σταθερή τιμή (προκαθορισμένη τιμή πώλησης ενέργειας, feed-in-tariff, FIT) ασχέτως της υφιστάμενης Οριακής Τιμής του Συστήματος εκείνη την ώρα. Την καθαρή αυτή ενέργεια που παράγουν οι ανανεώσιμες πηγές, ο ΔΕΣΜΗΕ εξακολουθεί να την μεταπωλεί στους προμηθευτές στο οικονομικό ύψος της οριακής τιμής συστήματος που διαμορφώνεται εκείνη την ώρα. Επομένως, αν η FIT, ή γενικά ο σταθμισμένος μέσος όρος της σε περίπτωση διαφοροποίησής της ανά τεχνολογία, είναι μικρότερη από την Οριακή Τιμή εκείνη την ώρα, ο ΔΕΣΜΗΕ κερδίζει. Αν όμως η FIT είναι μεγαλύτερη από την Οριακή Τιμή, ο ΔΕΣΜΗΕ χάνει. Και επειδή γενικά η Οριακή Τιμή είναι μικρότερη από τη FIT, ο ΔΕΣΜΗΕ αντιμετωπίζει ένα έλλειμμα που ισούται με τη διαφορά αυτή επί την παραγόμενη καθαρή ενέργεια. Το έλλειμμα αυτό ο ΔΕΣΜΗΕ το καλύπτει, κατανέμοντάς το σε όλους τους καταναλωτές μέσω των προμηθευτών. Έτσι, το τέλος ΑΠΕ δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Τέλος}_{\text{ ΑΠΕ}} = \frac{\sum_{t=1}^n \sum_{h=1}^{8760} (\text{ΟΤΣ}_h - \text{FIT}_t) \times \text{Παραγωγή}_{\text{ από ΑΠΕ}}^t}{\text{Συνολική}_{\text{ Καταναλωση}}, \text{ όπου}}$$

ΟΤΣ<sub>h</sub>, η Οριακή Τιμή του Συστήματος την ώρα h.

FIT<sub>t</sub>, η τιμή στην οποία αγοράζει ο ΔΕΣΜΗΕ την ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ με τεχνολογία t (feed-in-tariff).

n, το πλήθος των τεχνολογιών ΑΠΕ που εγχέουν ενέργεια.

Παραγωγή\_από\_ΑΠΕ, η παραγωγή ενέργεια από ΑΠΕ με τεχνολογία t την ώρα h.

Συνολική\_Κατανάλωση, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα.

Είναι σαφές ότι πέραν του ύψους της feed-in-tariff και της διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ιδιαίτερη σημασία για το ύψος του τέλους ΑΠΕ έχει η διαμόρφωση της τιμής της χονδρεμπορικής αγοράς, δηλαδή της Οριακής Τιμής του Συστήματος (ΟΤΣ).

Η τιμή αυτή σχετίζεται άμεσα με το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα και με τον τρόπο λειτουργίας της αγοράς, ειδικά με τον τρόπο που αυτή



αντανακλά μέσω της ΟΤΣ το πραγματικό κόστος παραγωγής. Ταυτόχρονα, αφού το ύψος του τέλους ΑΠΕ -που επιβαρύνει την τελική (λιανική) κατανάλωση- εξαρτάται από την τιμή της χονδρεμπορικής αγοράς, έχει σημασία να διερευνηθεί ο βαθμός σύζευξης των δύο αυτών αγορών και πώς (ή αν) η τιμή της χονδρεμπορικής που επηρεάζει το τέλος ΑΠΕ -δηλαδή ένα στοιχείο κόστους της λιανικής- επηρεάζει τα υπόλοιπα σκέλη των τιμών λιανικής.

Το τέλος ΑΠΕ σήμερα ανέρχεται περίπου σε 2€/έτος για ένα μέσο νοικοκυριό και αντιπροσωπεύει, κατά μέσο όρο, κάτω από το 1% του συνολικού ποσού που πληρώνει σήμερα ένα τυπικό νοικοκυριό για το λογαριασμό του στη ΔΕΗ.

Για τις μεγάλες βιομηχανίες με υψηλές ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις, για τις οποίες η εφαρμογή του Ειδικού Τέλους ΑΠΕ θα έδινε σημαντικές ετήσιες χρεώσεις, έχει προβλεφθεί ειδική ευνοϊκή ρύθμιση, μέσω της θέσπισης ανωτάτου ορίου ετήσιας χρέωσης για το Ειδικό Τέλος ΑΠΕ. Οι βιομηχανίες, λοιπόν, αυτές πληρώνουν για Ειδικό Τέλος ΑΠΕ περίπου το 1/3 του ποσού το οποίο θα έπρεπε κανονικά να πληρώνουν το χρόνο.

Σημαντικό μέρος (γύρω στο 50%) του ειδικού τέλους παραγωγού ΑΠΕ αποδίδεται υπέρ των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης απ' ευθείας στους οικιακούς καταναλωτές του δημοτικού ή κοινοτικού διαμερίσματος του ΟΤΑ, στο οποίο εγκαθίσταται το εκάστοτε έργο ΑΠΕ, μέσω των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος. Η διαδικασία έχει ως εξής: υπάρχει πίστωση στη ΔΕΗ ενός συγκεκριμένου ποσοστού των εσόδων από το ειδικό τέλος και, στη συνέχεια, πίστωση από τη ΔΕΗ των εσόδων αυτών στους λογαριασμούς των οικιακών καταναλωτών της περιοχής. Το υπόλοιπο ποσοστό των εσόδων από το ειδικό τέλος αποδίδεται στον αντίστοιχο ΟΤΑ, για την εκ του νόμου καθοριζόμενη χρησιμοποίησή τους.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο**

### **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **3.1. Φωτοβολταϊκά**

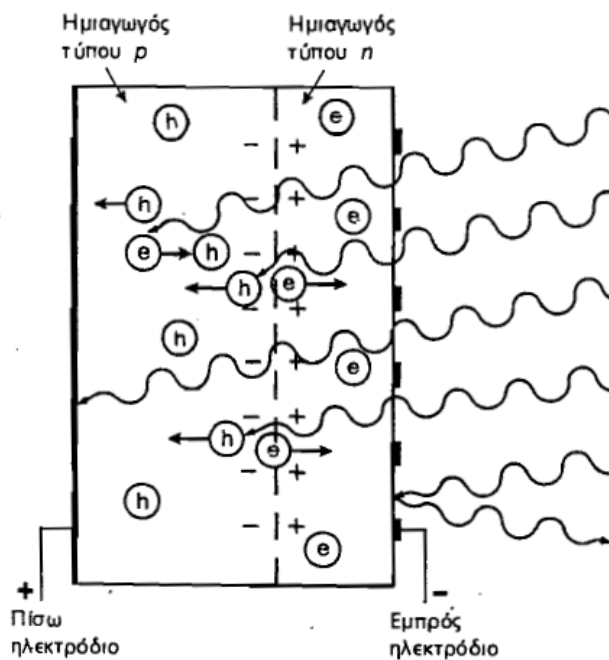
Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών καταστάσεων (Παθητικά Ηλιακά Συστήματα) και στη δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της σε άλλη μορφής ενέργειας (Ενεργά Ηλιακά Συστήματα). 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). Η εφαρμογή της ηλιακής παθητικής θέρμανσης στα κτίρια, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμομόνωση τους, αποτελεί σήμερα πολύ σημαντικό στοιχείο της δομικής και θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και λαμβάνεται υπόψη σε ενεργειακούς υπολογισμούς που αποβλέπουν σε εξοικονόμηση και αποδοτική διαχείριση της ενέργειας. Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (photovoltaic cells) αναπτύχθηκε ως τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας περίπου στο δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα.

#### **3.1.1. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή [10]**

Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με την μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου) που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. 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.

Έτσι 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.

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.

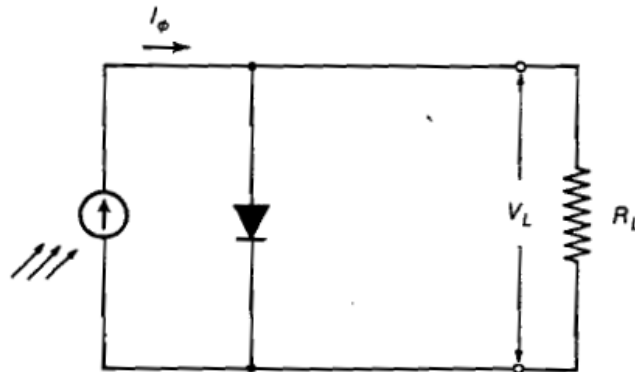


**ΕΙΚΟΝΑ 3.1.: Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΗΛΙΑΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ.**

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 ημιαγωγό 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. Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος ή την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας για τους κυριότερους ημιαγωγούς των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα, που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Το φωτόρευμα υπολογίζεται από τον τύπο  $I_{\phi} = e \cdot g \cdot (L_n + L_p)$ , όπου  $e$  το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,  $g$  ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών οπών και ηλεκτρονίων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας (δηλαδή πλήθος ζευγών οπών-ηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου και μονάδα όγκου του ημιαγωγού), και  $L_n, L_p$  τα μέσα μήκη διάχυσης των ηλεκτρονίων και των οπών αντίστοιχα.

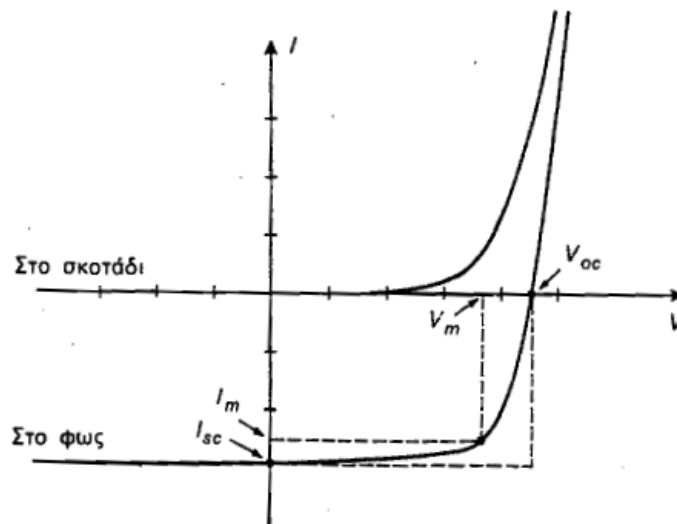
Για να μελετηθούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα θεωρηθεί αρχικά ως μία πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο και περιγράφεται από το διάγραμμα του κάτωθι σχήματος.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.2.: ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.**

Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος θα αποκατασταθεί μία ισορροπία όταν η τάση που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα.

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m = V_m \cdot I_m$  προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης  $I_{sc}$  και της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης  $V_{oc}$  ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης, δηλαδή  $FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$ .



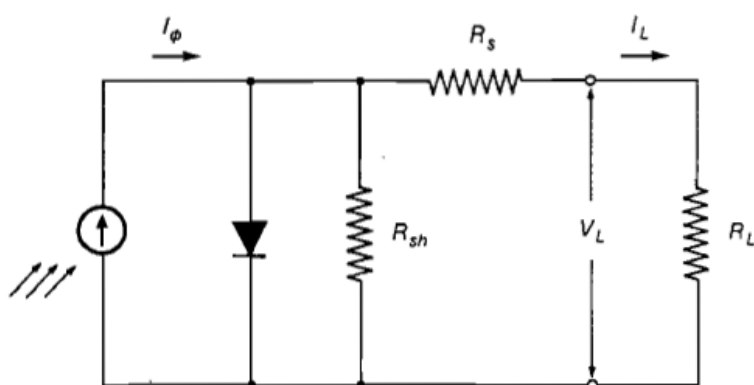
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.: Η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΤΑΣΗΣ-ΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΣΤΟ ΣΚΟΤΑΔΙ ΚΑΙ ΣΤΟ ΦΩΣ.**

Ο συντελεστής πλήρωσης, η τάση ανοιχτοκύκλωσης και το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι τα κυριότερα μεγέθη για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και

της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους. Συγκεκριμένα ο συντελεστής απόδοσης είναι  $n = \frac{P_m}{H \cdot A} = \frac{V_m \cdot I_m}{H \cdot A} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{H \cdot A}$ , όπου

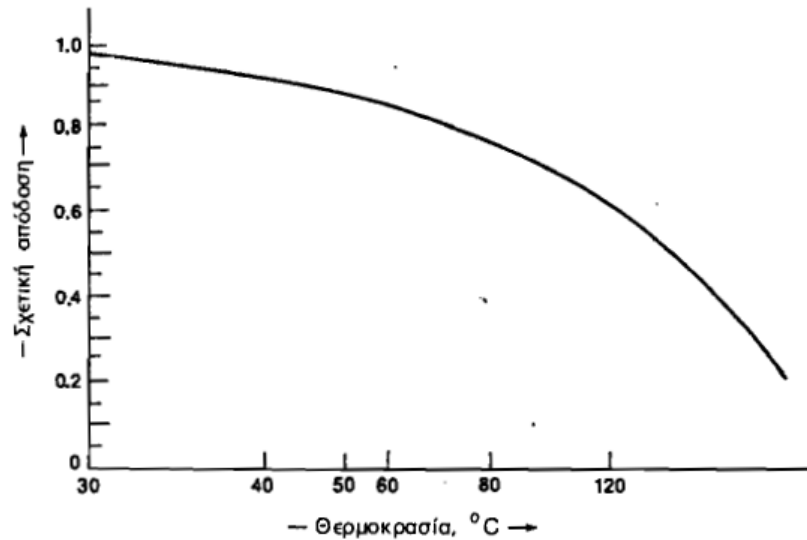
$H$  η ένταση ή πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του ηλιακού στοιχείου εμβαδού  $A$ . Για την πραγματοποίηση αυξημένων αποδόσεων, επιδιώκεται οι τιμές των  $FF$ ,  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$  να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες.

Όμως το παραπάνω μοντέλο φωτοβολταϊκού, περιγράφει ιδανικές συνθήκες που δεν υπάρχουν στα πραγματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Μία σωστότερη προσέγγιση αποτελεί το ισοδύναμο κύκλωμα του κάτωθι σχήματος, διότι περιέχει και τις αναπόφευκτες αντιστάσεις  $R_s$  (series resistance) που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Ακόμα, επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή αφού λόγω επίσης αναπόφευκτων κατασκευαστικών ελαττωμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση  $R_{sh}$  (shunt resistance). Συνήθως, στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου η  $R_s$  είναι μικρότερη από  $5\Omega$  και η  $R_{sh}$  είναι μεγαλύτερη από  $500\Omega$ . Πάντως επηρεάζουν αισθητά την τιμή της τάσης φορτίου και του ρεύματος που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.4.: ΤΟ ΠΛΗΡΕΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.**

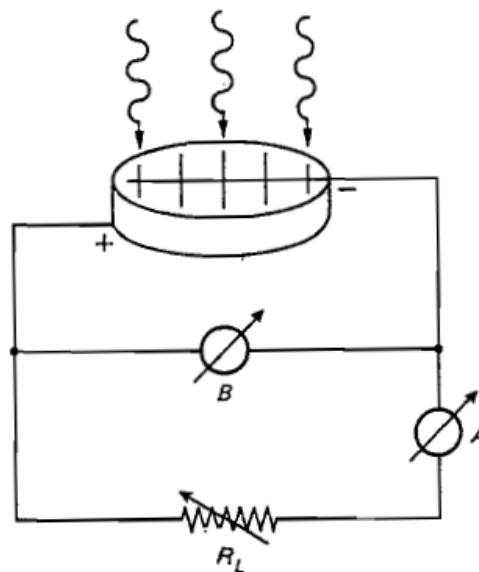
Εκτός από τις αντιστάσεις αυτές, ένας ακόμη παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία τους. Συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου που συνεπάγεται μείωση της τάσης ανοιχτοκύκλωσης και του συντελεστή πλήρωσης. Παράλληλα μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.5.: ΤΥΠΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥΣ.**

Δηλαδή, η απόδοση του φωτοβολταϊκού θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται με έναν θερμοκρασιακό διορθωτικό συντελεστή. Για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου, στην συμβατική θερμοκρασία ο συντελεστής αυτός είναι ίσος με την μονάδα και μειώνεται κατά 0.005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας.

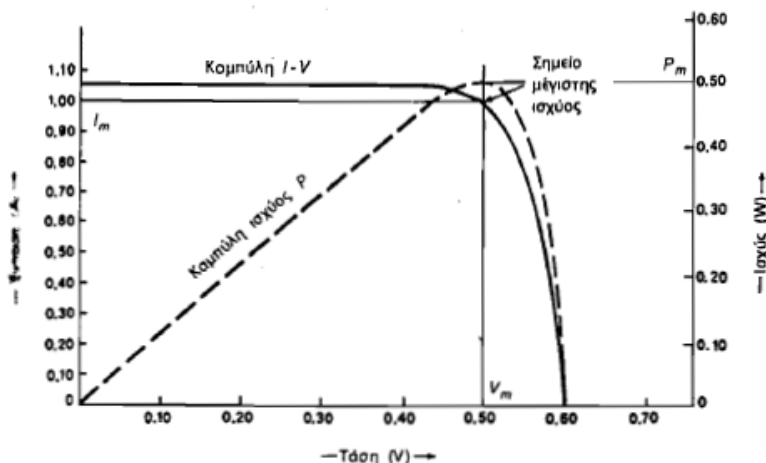
Έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται είναι σταθερή, η τάση που δίνουν τα φωτοβολταϊκά μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα. Εξετάζεται λοιπόν τώρα ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο που οι πόλοι του συνδέονται με ένα κύκλωμα που περιέχει μεταβλητή αντίσταση.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.6.: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ, ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.**



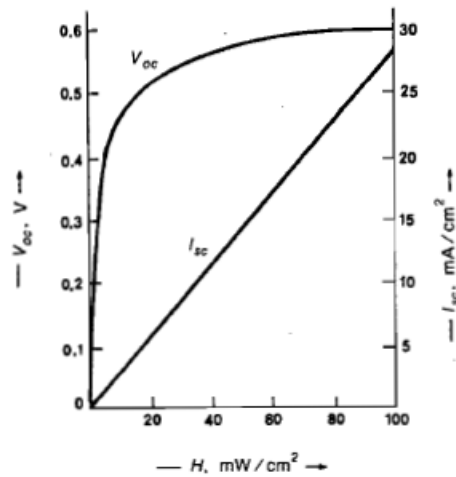
Όταν η αντίσταση είναι μηδέν, τότε το ρεύμα έχει την μέγιστη τιμή του και η τάση είναι μηδέν. Όταν αντίθετα, η αντίσταση είναι άπειρη, τότε μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος και η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή της. Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και μεταβλητή αντίσταση, ανάμεσα στις ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.7.: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (ΣΥΝΕΧΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗ) ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΓΡΑΜΜΗ) ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.**

Παράλληλα, μεταβάλλεται και η ισχύς που παρέχει το στοιχείο με μέγιστη ισχύ σε ένα ορισμένο ζεύγος τάσης-ρεύματος. Άρα είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μέγιστη δυνατή ηλεκτρική ισχύς.

Από το σχήμα που ακολουθεί συμπεραίνεται ότι η μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας οδηγεί σε αντίστοιχη μεταβολή της τιμής της τάσης ανοιχτοκύκλωσης και του ρεύματος βραχυκύκλωσης, από το μηδέν για το σκοτάδι έως τις μέγιστες τιμές τους για την μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης με την αύξηση της ακτινοβολίας, και την επερχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του στοιχείου, μειώνεται η απόδοσή του όπως προαναφέρθηκε. Άρα κατά την διάρκεια του έτους αλλά και της ημέρας είναι δύσκολο να έχουμε πάντα την βέλτιστη παραγωγή ισχύος από ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.8.: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ.**

Πάντως σε κάθε περίπτωση λόγω της πολύ μικρής τιμής του ανάστροφου ρεύματος κόρου, η ένταση του ρεύματος που παρέχει στο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι πρακτικά ανάλογο προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται δηλαδή προς το γινόμενο της έντασης της ακτινοβολίας επί το εμβαδόν της επιφάνειάς του. Επίσης με την μεταβολή της αντίστασης του κυκλώματος η ένταση του ρεύματος παραμένει περίπου σταθερή για το μεγαλύτερο τμήμα του διαγράμματος ενώ μεταβάλλεται ουσιαστικά η τάση. Δηλαδή το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται σαν πηγή σταθερού ρεύματος με την προϋπόθεση ότι παραμένει σταθερή η πυκνότητα της ακτινοβολίας.

### **3.1.2. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια [9],[10]**

Το βασικό και χαρακτηριστικό στοιχείο κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία. Η τάση και η ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών φορτίων ή για την φόρτιση των συσσωρευτών. Ένα συνηθισμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου του εμπορίου σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία είναι μόλις 0.5V και η ισχύς του φτάνει μέχρι τα 0.4W. Για αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για την συγκρότηση των γεννητριών τοποθετούνται ανά 10 έως 50 περίπου σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση της επιθυμητής τάσης. Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα σε μορφή sandwich. Δηλαδή, τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία πάνω σε ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή ενισχυμένο πλαστικό που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους στεγανά και μόνιμα με τη βοήθεια μίας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module) που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται

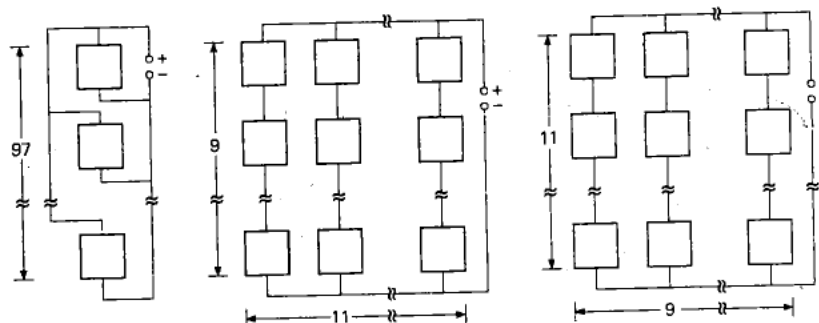
βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχύ. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4V μέχρι 22V και ένταση ρεύματος από 0.5A έως 2.5A.

Συνώνυμο σχεδόν με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι το φωτοβολταϊκό πάνελο (panel). Όπως και το πλαίσιο έχει συναρμολογηθεί και κατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, αλλά με την διαφορά ότι ένα πάνελο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια, το ένα δίπλα στο άλλο, που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Ο αριθμός των πλαισίων του πανέλου είναι τόσος ώστε οι διαστάσεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο για την μεταφορά και την τοποθέτησή του στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στα πλαίσια αλλά και στα πάνελα ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πάνελα να μην είναι μόνο στην σειρά αλλά και παράλληλες. Έτσι, αν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σκιαστεί (πχ. από ένα περαστικό πουλί ή από τις ακαθαρσίες που μπορεί να αφήσει) δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα όπως θα συνέβαινε εάν όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ήταν συνδεδεμένα σε σειρά.

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μίας μικρής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο πλαίσιο ή πάνελο. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων φωτοβολταϊκών πλαισίων ή πανέλων τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης πχ. ξύλινα ή μεταλλικά ικριώματα και ονομάζονται φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays). Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μίας φωτοβολταϊκής γεννήτριας δεν μεταβάλλει την ισχύ της, αφού η όποια αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος που παράγει. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ένα παράδειγμα διαφόρων τρόπων σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων για την παραγωγή διαφορετικών τάσεων εξόδου.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.: ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ.**

Στις μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, πχ. συνολικής ισχύος αιχμής πάνω από 20kWp, πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες σχηματίζουν ένα υποσυγκρότημα συστοιχιών (array subfield) και το σύνολο των υποσυστημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών ή το φωτοβολταϊκό πάρκο του φωτοβολταϊκού σταθμού.

### **3.1.3. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών [10]**

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους σε τρεις βασικές κατηγορίες:

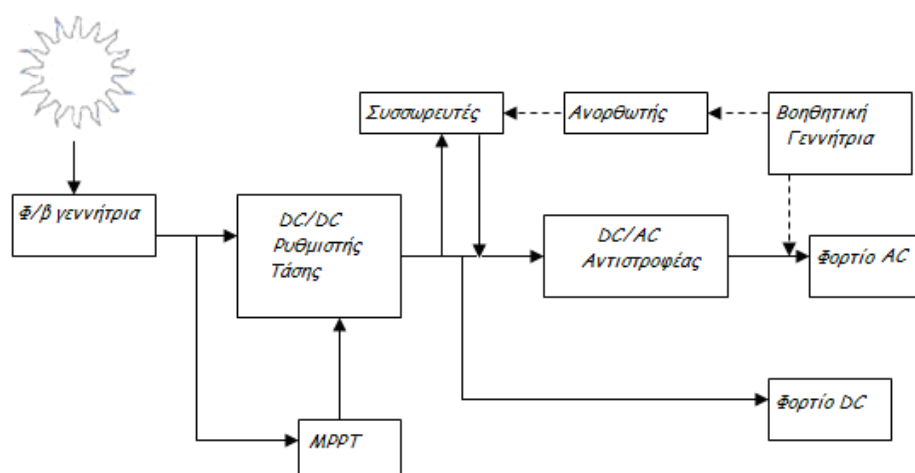
1. Φωτοβολταϊκά συστήματα πυριτίου «μεγάλου πάχους»:
  - Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
  - Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
  - Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου.
2. Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film:
  - Άμορφου Πυριτίου
  - Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sup>2</sup> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
  - Τελουριούχου Κάδμιου (CdTe)
  - Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)
3. Υβριδικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία και άλλες τεχνολογίες (οργανικά/πολυμερή στοιχεία, νανοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου, nc- Si)

### **3.1.4. Σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο**

Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται ανάλογα με την σύνδεση τους στο δίκτυο σε δύο βασικές κατηγορίες, τα απομονωμένα (Stand-alone) ή εκτός δικτύου (Off grid) συστήματα και τα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid connected). Τα απομονωμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται επίσης σε αυτόνομα και υβριδικά.

Όσο αφορά στη λειτουργία τους, τα Φωτοβολταϊκά 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)

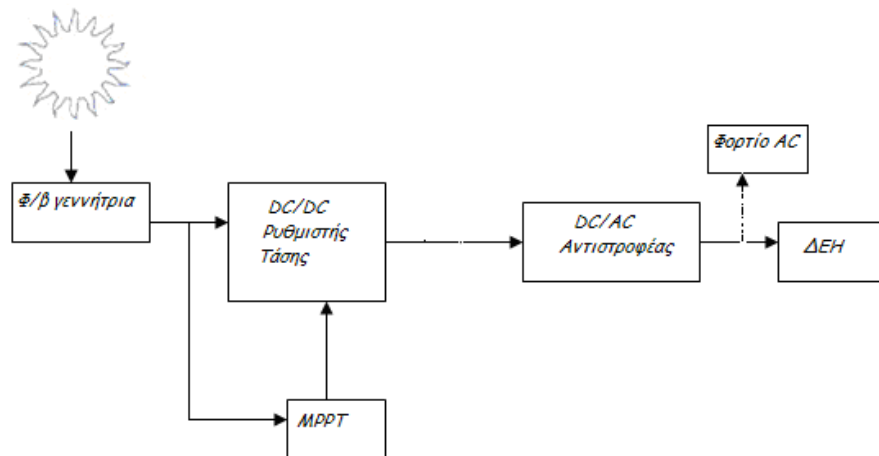


**ΕΙΚΟΝΑ 3.10.: ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.**

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

Το βασικότερο συστατικό του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Έπειτα το αυτόνομο σύστημα περιλαμβάνει, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και τον βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή μηδενική, διατάξεις για την ρύθμιση και την μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, άλλες διατάξεις προστασίας και ελέγχου και συχνά μία βοηθητική γεννήτρια, συνήθως ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που να λειτουργεί με καύση βενζίνης ή πετρελαίου diesel για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστάσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων, επικουρική λειτουργία σε απρόβλεπτα μεγάλες περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας).

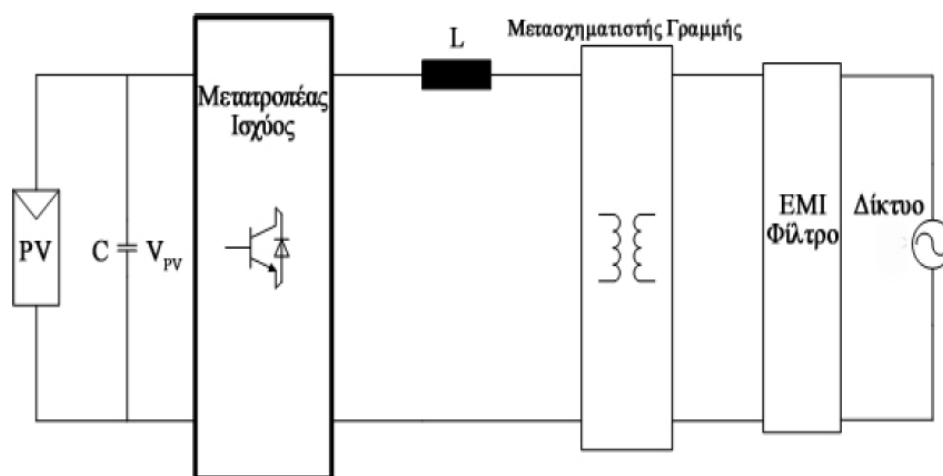
### Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα (Grid-Connected)



ΕΙΚΟΝΑ 3.11.: ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

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. 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, οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει με κάποιο τρόπο να αποβάλλεται.

Ακολουθώς φαίνεται ένα τυπικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο.



ΕΙΚΟΝΑ 3.12.: ΤΥΠΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.

Το συνδεδεμένο στο δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται βασικά από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια (σύνολο πλαισίων) (στοιχείο PV) και μια μονάδα μετατροπής ισχύος (αντιστροφέας). Η παραπάνω εικόνα 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 Φωτοβολταϊκά 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 ότι 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.

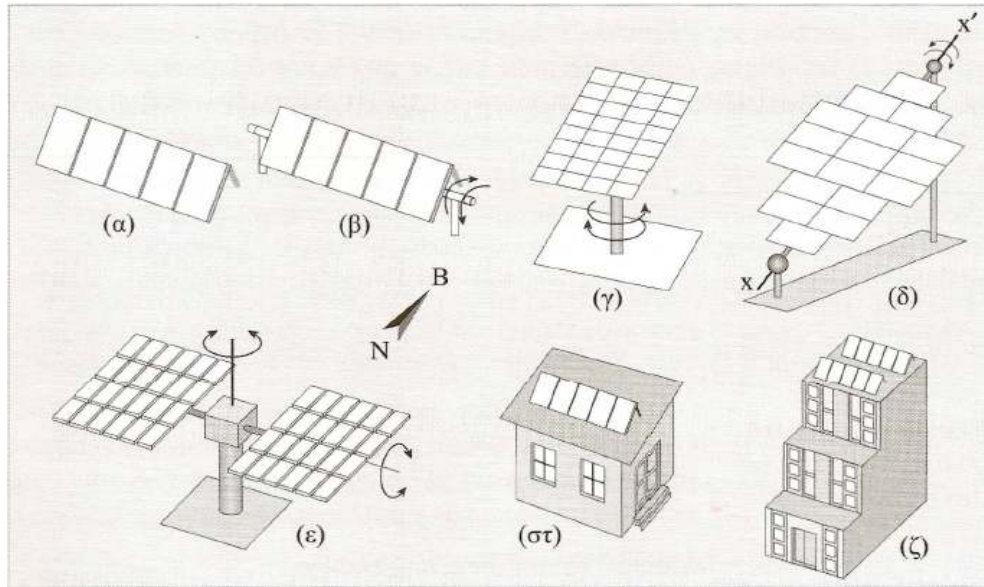
Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει πιθανό να παραληφθεί ο μετασχηματιστής χωρίς αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά των συστημάτων όσον αφορά την ασφάλεια. Μερικές χώρες, όπως η Γερμανία, επιτρέπουν τη χρήση αντιστροφέων χωρίς μετασχηματιστή και άλλες σκέφτονται σοβαρά να αλλάξουν τους κανονισμούς προς αυτή την κατεύθυνση. Επομένως, είναι αρκετά πιθανό, 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 χωρητικοτήτων 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.

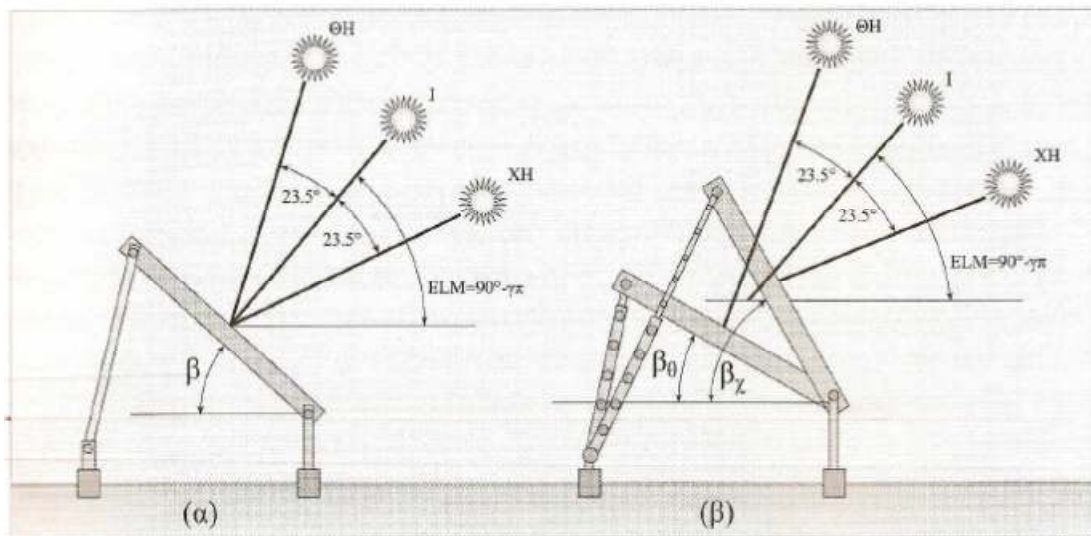
### **3.1.5. Τρόποι Στήριξης Των Συλλεκτών Και Προσανατολισμός Τους**

Διακρίνονται τρεις διαφορετικοί τρόποι στήριξης συλλεκτών. Σταθερής στήριξης, εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης και συνεχούς παρακολούθησης της θέσης

του ήλιου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Solar Tracker). Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν σχηματικά μερικούς τρόπους στήριξης [10]:



**ΕΙΚΟΝΑ 3.13.: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (Β) ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΟΡΙΖΩΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ (ΑΛΛΑΓΗ ΖΕΝΙΘΙΑΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ) (Γ) ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΣΕ ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΗΣ ΣΤΡΟΦΗΣ, ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (Δ) ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ (ΧΧ'), ΠΟΥ ΔΙΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟΣ ΣΥΝΗΘΩΣ ΥΠΟ ΓΩΝΙΑ ΙΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΟΥ ΤΟΠΟΥ (Ε) ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟΥ (TRACKER) ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ. (ΣΤ) Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (Ζ) Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ ΣΕ ΔΙΑΦΕΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΟΙΚΟΔΟΜΗ (ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟ ΚΛΙΣΗ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΚΑΙ ΣΕ ΠΡΟΒΟΛΟΥΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ (FACADE) ΣΕ ΘΨΕΙΣ ΝΟΤΙΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ).**



**ΕΙΚΟΝΑ 3.14.: (Α) ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΕ ΕΤΗΣΙΑ ΒΑΣΗ, ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ  $\beta = \phi - (10^\circ \text{ ΕΩΣ } 15^\circ)$  (Β) ΕΠΟΧΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΔΥΟ ΦΟΡΕΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΕΤΟΣ. ΘΗ: ΘΕΡΙΝΟ ΗΛΙΟΣΤΑΣΙΟ. ΧΗ: ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΗΛΙΟΣΤΑΣΙΟ. Ι: ΙΣΗΜΕΡΙΣ.**



### **3.1.6. Μελλοντικοί στόχοι**

Στο πλαίσιο των στόχων για το 2020, τα διεσπαρμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα είναι δυνατόν να συνδεθούν άμεσα χωρίς νέα έργα στα δίκτυα διανομής μέχρι μια διείσδυση της τάξης του 30% του ελάχιστου φορτίου τις ώρες λειτουργίας των, χωρίς να δημιουργείται κάποιο πρόβλημα (δηλαδή τουλάχιστον 2000MWp, μέχρι το 2013), ενώ για περαιτέρω διείσδυση θα χρειασθούν τεχνικές λύσεις οι οποίες βρίσκονται ήδη σε ανάπτυξη. Η διείσδυση των διεσπαρμένων Φωτοβολταϊκών συστημάτων κυρίως στο δίκτυο διανομής αντικαθιστά ή αναβάλλει την επέκταση συμβατικών κεντρικών σταθμών παραγωγής με θετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον. Επιπλέον, ιδιαίτερη αξία έχει η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τα Φωτοβολταϊκά όταν συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης, όπως οι καλοκαιρινές αιχμές λόγω χρήσης κλιματιστικών. Άλλες θετικές επιπτώσεις είναι ο σύντομος χρόνος ένταξης μονάδων Φωτοβολταϊκών στο δίκτυο, η βελτίωση της ποιότητας ισχύος, η μείωση των απωλειών μεταφοράς καθώς η παραγωγή γίνεται κοντά στους χρήστες, η διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Για να διευκολυνθεί η μεγάλη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή και ειδικά των Φωτοβολταϊκών συστημάτων σύμφωνα με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας Φωτοβολταϊκών, με θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, την οικονομία και την ενεργειακή αποδοτικότητα και περαιτέρω, χωρίς να έχουμε σημαντικές επιπτώσεις στο ηλεκτρικό Σύστημα θα πρέπει:

- να δοθούν κίνητρα και τεχνικές λύσεις στους χρήστες Φωτοβολταϊκών συστημάτων, αλλά και τους άλλους καταναλωτές, να μεταθέσουν χρονικά την χρήση ορισμένων φορτίων στις ώρες μέγιστης παραγωγής των φωτοβολταϊκών (δηλαδή μεταξύ 8π.μ. με 4μ.μ.) ή να κάνουν χρήση κατάλληλων μέσων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και απόδοσής της κατά τις βραδινές ώρες.
- να προωθηθεί η επέκταση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στις μεταφορές και τον κλιματισμό (ψύξη και θέρμανση με αντλίες θερμότητας).

### **3.2. Ανεμογεννήτριες**

Η αιολική ενέργεια αποτελεί το στυλοβάτη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τουλάχιστον στην Ευρώπη. Το 70% περίπου της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος που προέρχεται από ανεμογεννήτριες βρίσκεται στην Ευρώπη, ενώ περισσότερο από 80% των ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται παγκοσμίως, κατασκευάζονται σε αυτή.

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.

Οι Ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις Ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Ανεμογεννήτριες, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση Ηλεκτρικής Ενέργειας παραγόμενης από Ανεμογεννήτριες και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό, είναι η μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια είναι μεγάλη.

Τα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού συνοπτικά είναι:

- 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.

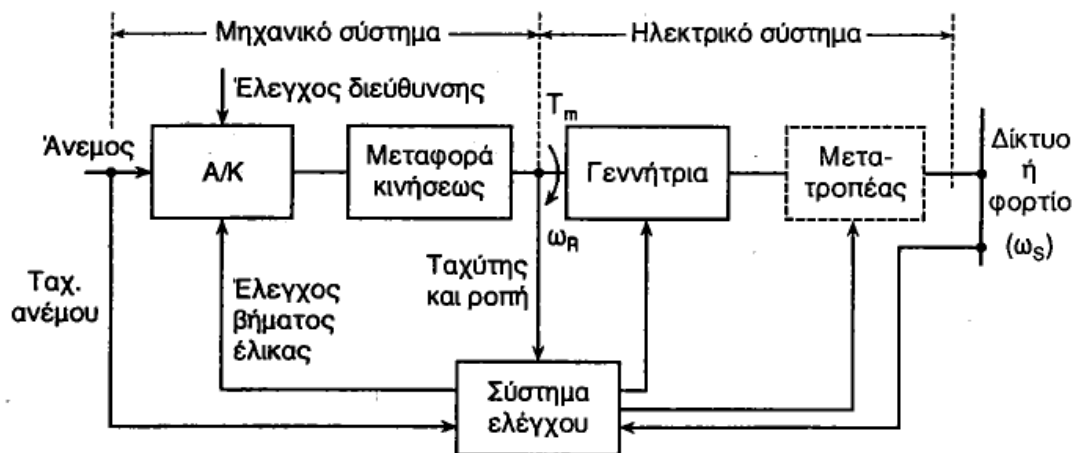
Τα μειονεκτήματα είναι:

- 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).

### **3.2.1. Τεχνικά στοιχεία ανεμογεννητριών**

Με κριτήριο της συνάρτηση ισχύος-ταχύτητας οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε σταθερής ταχύτητας-σταθερής συχνότητας (ΣΤΣΣ) και σε μεταβλητής ταχύτητας-σταθερής συχνότητας (ΜΤΣΣ). Η παραγωγή τάσεως με σταθερή συχνότητα επιβάλλεται στην περίπτωση που η ανεμογεννήτρια λειτουργεί παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αλλά και στην περίπτωση που η ανεμογεννήτρια λειτουργεί ανεξάρτητα, και πάλι η συχνότητα πρέπει να κυμαίνεται σε πολύ στενά

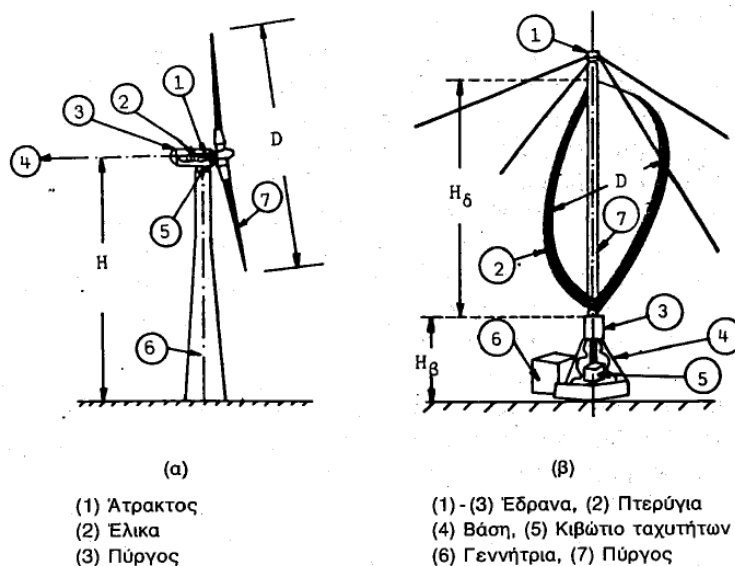
όρια (+/-1%). Επομένως η παραγωγή σταθερής συχνότητας αποτελεί γενική απαίτηση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα των κύριων τμημάτων μίας τυπικής ανεμογεννήτριας [8]:



ΕΙΚΟΝΑ 3.15.: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΥΡΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Αποτελείται λοιπόν από το ηλεκτρικό σύστημα, το μηχανικό σύστημα και το σύστημα ελέγχου.

Το μηχανικό σύστημα περιλαμβάνει κυρίως τον ανεμοκινητήρα, αποτελεί δηλαδή το σύστημα μετατροπής της ενέργειας του ανέμου σε μηχανική. Συνήθως μεταξύ του ανεμοκινητήρα και της γεννήτριας μεσολαβεί μία διάταξη μεταφοράς της κινήσεως, η οποία περιλαμβάνει έναν πολλαπλασιαστή στροφών καθώς και συνδέσμους προς τον ανεμοκινητήρα ή και την γεννήτρια. Υπάρχουν δύο κυρίως τύποι ανεμοκινητήρων και άρα και ανεμογεννητριών: οι οριζοντίου άξονα και οι κατακόρυφου άξονα [8].



Σχ. 2.2. (α) Α/Κ οριζοντίου άξονα  
(β) Α/Κ κατακόρυφου άξονα

ΕΙΚΟΝΑ 3.16.: ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ (Α) ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ (Β).

Όσον αφορά τώρα τους ανεμοκινητήρες οριζοντίου άξονα: Ο πύργος μπορεί να είναι μεταλλικός (δικτυωτός ή συνηθέστερα σωληνωτός) αλλά και από οπλισμένο σκυρόδεμα για ανεμοκινητήρες μεγάλης ισχύος. Βασικής σημασίας για την επιλογή του πύργου είναι ο προβλεπόμενος τρόπος μεταφοράς και εγκατάστασής του σε συνδυασμό με την όλη συναρμολόγηση και της ανεμογεννήτριας και την επίδρασή της. Ο πύργος υπολογίζεται ως πακτωμένη δοκός, η οποία υφίσταται σύνθετη στατική και κυρίως δυναμική καταπόνηση. Ο σχεδιασμός του πύργου ώστε να αποφεύγονται συνθήκες συντονισμού έχει βασική σημασία.

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

Τέλος, ο χώρος μηχανισμών (άτρακτος) περιλαμβάνει κυρίως το σύστημα εδράσεως του δρομέα στον πύργο, τον πολλαπλασιαστή στροφών, τη γεννήτρια, και το φρένο και τους μηχανισμούς ελέγχου του βήματος των πτερυγίων, το σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού στην κατεύθυνση του ανέμου.

Όσον αφορά τώρα τους ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα, ο κυριότερος τύπος τους είναι ο Darrieus. Ο άξονας περιστροφής του δρομέα αποτελεί και τον πύργο στήριξης, ο οποίος συχνά προσδένεται με επιτόνους. Έχουν 2 ή 3 πτερύγια, των οποίων η διατομή είναι παρόμοια με του οριζόντιου άξονα, αλλά παραμένει σταθερή καθ' όλο το μήκος τους. Μειονέκτημα του ανεμοκινητήρα αυτού του τύπου είναι ότι έχει πολύ χαμηλή ροπή εκκινήσεως και η εκκίνηση του πρέπει να γίνεται με άλλα μέσα (χρησιμοποίηση της γεννήτριας ως κινητήρα και απορρόφηση ισχύος από το δίκτυο ή την επιπλέον εγκατάσταση ενός μικρού ανεμοκινητήρα τύπου Savonius στον ίδιο άξονα).

Ένας άλλος τύπος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι ο μεταβαλλόμενης γεωμετρίας. Με την μεταβολή της γεωμετρίας του πτερυγίου επιτυγχάνεται ο έλεγχος στροφών.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν σύστημα αυτοματισμού δρομέα προς την διεύθυνση του ανέμου καθώς επίσης και ότι η εγκατάσταση του συστήματος μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια (πολλαπλασιαστής στροφών, γεννήτρια) βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους στην βάση του ανεμοκινητήρα. Γενικότερα οι ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα είναι κατασκευαστικά απλούστεροι του οριζόντιου άξονα, πράγμα που αντισταθμίζει μερικά το μικρότερο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος. Παρουσιάζουν όμως το σημαντικό μειονέκτημα ότι η ισχύς τους ταλαντώνεται έντονα λόγω της συνεχούς αλλαγής του βήματος των πτερυγίων κατά την περιστροφή τους. Τελικά, ο

ανεμοκινητήρας κατακόρυφου άξονα συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα και αυτός κυρίως σήμερα αναπτύσσεται.

Το ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει την γεννήτρια και ενδεχομένως και έναν μετατροπέα ισχύος που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου ή του φορτίου όπως παραδείγματος χάριν 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.

Το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας προσαρμόζει την λειτουργία της προς τις εκάστοτε συνθήκες ανέμου (εκκίνηση, κατεύθυνση προς τον άνεμο κλπ), επιτηρεί την ασφάλεια ή και μεγιστοποιεί την απόδοσή της. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου (πλήθος πληροφοριών και επεμβάσεων) παρουσιάζει συνεχή αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια και αποτελεί βασικό κριτήριο εξέλιξης των ανεμογεννητριών. 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 :

- Την ταχύτητα σύνδεσης της ανεμογεννήτριας (cut-in speed), στην οποία αρχίζει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ
- Την περιοχή βέλτιστου αεροδυναμικού συντελεστή (constant maximum Cp 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)

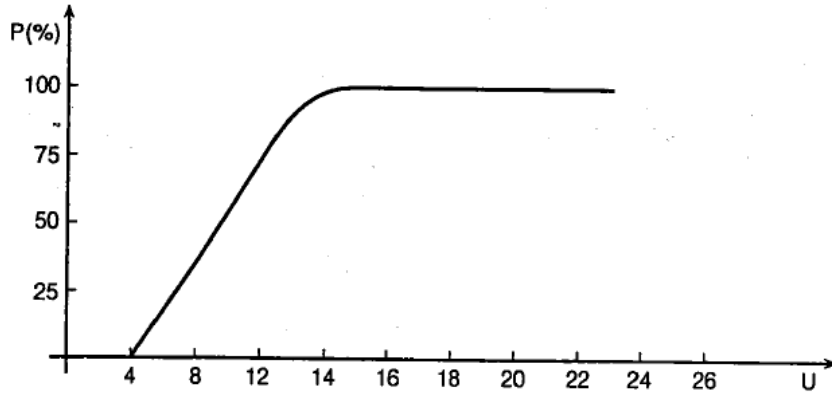
Κατά τα πρώτα χρόνια αναπτύξεως των ανεμογεννητριών, ο έλεγχος περιοριζόταν στο μηχανικό σύστημα και κάλυπτε τις βασικές απαιτήσεις (εκκίνηση, οριακή ισχύς, διακοπή λειτουργίας για λόγους ασφαλείας) συνήθως με μηχανικές μόνο διατάξεις. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των μετατροπέων συχνότητας με ηλεκτρονικά ισχύος δίδεται σήμερα η δυνατότητα πραγματοποίησης μεγάλου μέρους του ελέγχου της ανεμογεννήτριας μέσω του ηλεκτρικού συστήματος, οπότε ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας γίνεται τελικά πιο ευέλικτος και αξιόπιστος.

Οι βασικές λειτουργίες ελέγχου είναι οι ακόλουθες:

1. 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.

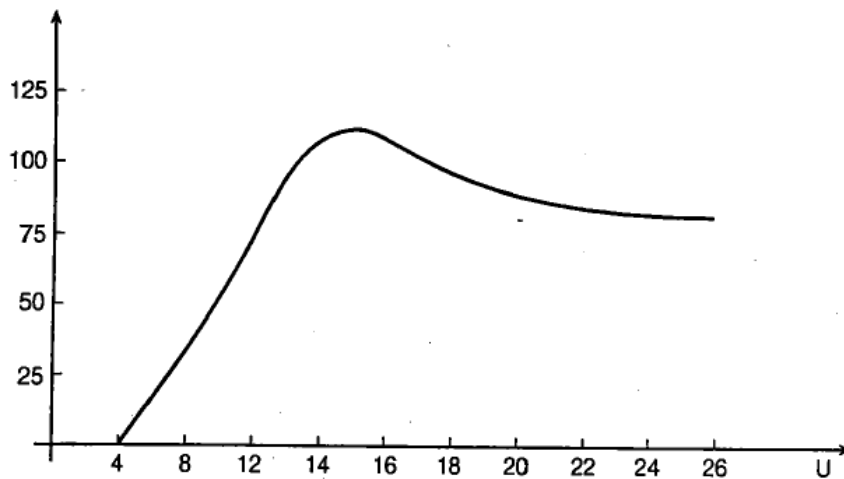
2. Οι λειτουργίες ελέγχου για την μη υπέρβαση της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί μία ορισμένη τιμή. Ο έλεγχος αυτός γίνεται συνήθως στον ανεμοκινητήρα. Έτσι προκύπτουν δύο κατηγορίες ανεμοκινητήρων:

- i. Οι ανεμοκινητήρες με έλεγχο του βήματος της έλικας (pitch control). Σε αυτούς επιτυγχάνεται πλήρης σταθερότητα της παραγόμενης ισχύος (ίση με την ονομαστική) για ταχύτητες ανέμου πάνω από ένα όριο.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.17.: ΤΥΠΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ ΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΒΗΜΑΤΟΣ ΕΛΙΚΟΣ.**

- ii. Οι ανεμοκινητήρες με έλεγχο της αεροδυναμικής ανυψώσεως ή αεροδυναμικό έλεγχο (stall control). Η σταθεροποίηση της παραγόμενης ισχύος πραγματοποιείται λόγω αεροδυναμικών φαινομένων και έτσι εμφανίζεται μείωση της παραγόμενης ισχύος για πολύ μεγάλες ταχύτητες του ανέμου. Έναντι του μειονεκτήματος αυτού, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν μηχανισμό μεταβολής του βήματος της έλικας και συνεπώς είναι απλούστερες και στιβαρότερες. Όμως τα πτερύγια υφίστανται μεγαλύτερες δυναμικές καταπονήσεις.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.18.: ΤΥΠΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ- ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ ΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΕ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ.**

Εκτός από τις δύο αυτές μεθόδους ελέγχου μη υπερβάσεως της ονομαστικής ισχύος, οι οποίες πραγματοποιούνται δια του μηχανικού μέρους, το αντίστοιχο μπορεί να γίνει και μέσω του ηλεκτρικού μέρους όταν εγκαθίσταται μετατροπέας, αν και ο έλεγχος αφορά κυρίως την βελτίωση των χαρακτηριστικών της λειτουργίας (ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών).

3. 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.

4. 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.

5. Τις λειτουργίες ελέγχου στροφών της ανεμογεννήτριας, όταν πρόκειται για ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών.

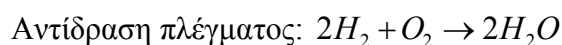
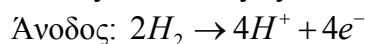
### **3.3. Κυψέλη καυσίμου**

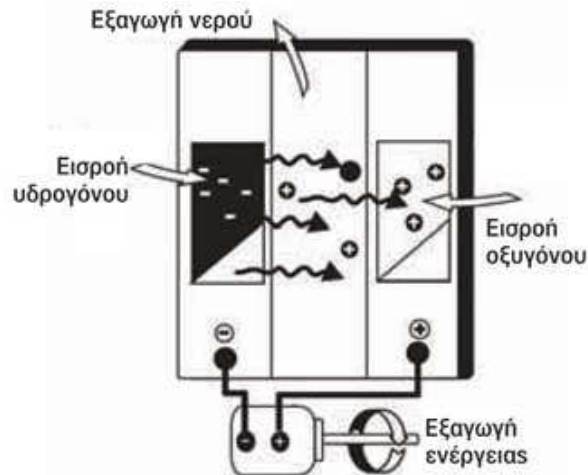
Οι κυψέλες καυσίμου είναι σχετικά μια νέα τεχνολογία παραγωγής ενέργειας καθώς η ηλικία της είναι περίπου 15 χρόνια (διάστημα κατά το οποίο σημειώθηκαν οι πρώτες εφαρμογές). Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη τους είναι ραγδαία και συνεχώς η χρήση τους διευρύνεται.

Αποτελούν την πιο αποδοτική και ‘καθαρή’ τεχνολογία για τη μετατροπή της χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη σε ένα καύσιμο σε άμεσα χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Τα πλεονεκτήματα της την καθιστούν ιδανική πηγή για αρκετές εφαρμογές και αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο στα συστήματα καταναμημένης παραγωγής και στα μικροδίκτυα στο άμεσο μέλλον.

Η αρχή λειτουργίας των κυψελών καυσίμου βασίζεται στην πολύ απλή σκέψη ότι αντιστρέφοντας τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης του νερού θα μπορούσαμε να παράγουμε ρεύμα, με τη λογική ότι για την ηλεκτρόλυση χρειάζεται παροχή ρεύματος. Η πρώτη εξέταση του θέματος έγινε το 1938 από τον William Grove [29] ο οποίος με ένα απλό πείραμα απέδειξε ότι η αντίστροφη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης του νερού συνοδεύεται από τη ροή ρεύματος.

Η κυψέλη καυσίμου, λοιπόν, είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που καταναλώνει υδρογόνο και οξυγόνο και παράγει ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό. Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούνται από δυο ηλεκτρόδια (την άνοδο-αρνητικό ηλεκτρόδιο και την κάθοδο-θετικό ηλεκτρόδιο), 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, δίνοντας 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 εξισώσεις [29]:





**ΕΙΚΟΝΑ 3.19.: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ.**

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 Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας τότε η εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως εγκατάσταση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.10.: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.**





**ΕΙΚΟΝΑ 3.21.: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.**

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. 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: μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), φωσφορικού οξέος (PAFC), λιωμένου ανθρακικού άλατος (MCFC), στερεού οξειδίου (SOFC), άμεσης μεθανόλης (DMFC), αλκαλικά (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 διανεμημένης παραγωγής.

Τα γενικά τυπικά χαρακτηριστικά αυτών των μονάδων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί [29]:

	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
<b>Ηλεκτρολύτης</b>	Υδροξείδιο του καλίου	Πολυμερές	Πολυμερές	Φωσφορικό Οξύ	Μίγμα Ανθρακικών Αλκαλίων	Σταθεροποιημένο ζirkόνιο
<b>Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)</b>	60-90	70-100	90	150-220	600-700	650-1000
<b>Θερμότητα από Συμπαραγωγή</b>	Καθόλου	Χαμηλής ποιότητας	Καθόλου	Αποδεκτή για πολλές εφαρμογές	Υψηλή	Υψηλή
<b>Βαθμός Απόδοσης</b>	50- 70%	40- 50%	25- 40%	40- 45%	50- 60%	50- 60%
<b>Καύσιμο</b>	H <sub>2</sub> .	H <sub>2</sub> . Αν αυτό	Διάλυμα	H <sub>2</sub> . Και από	H <sub>2</sub> , CO,	H <sub>2</sub> , CO, φυσικό

	Απαραίτητη η απομάκρυνση του CO <sub>2</sub> από τα αέρια της ανόδου και της καθόδου.	προέρχεται από αναμόρφωση, η περιεκτικότητα σε CO να είναι CO<10ppm.	νερού/μεθανόλης.	αναμόρφωση.	φυσικό αέριο	αέριο
<b>Ισχύς</b>	Μέχρι 20kW	Μέχρι 250kW	<10kW	>50kW	>1MW	>200kW
<b>Εφαρμογές</b>	Μικρές μονάδες. Χρήση σε διαστημικές εφαρμογές	Οικιακή και εμπορική παραγωγή Συστήματα κίνησης οχημάτων	Φορητές συσκευές	Εμπορική παραγωγή. Μεγάλα οχήματα (λεωφορεία)	Εμπορική και βιομηχανική παραγωγή. Μονάδες μεγάλης ισχύος (MW)	Οικιακή, εμπορική και βιομηχανική παραγωγή (μεγάλη ισχύς).
<b>Χρόνος Εκκίνησης (h)</b>	<0.1	<0.1	<0.2	1-4	>10	5-10

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.: ΤΥΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.**

### **3.4. Μικροτουρμπίνες**

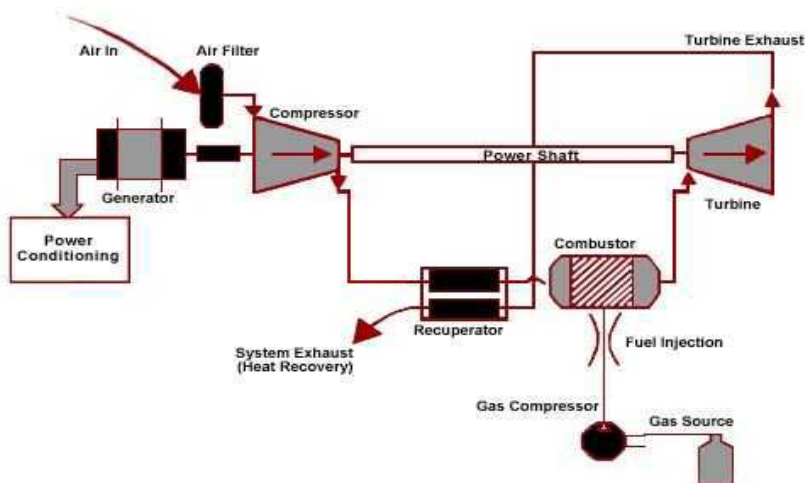
Οι γεννήτριες μικροτουρμπίνων αερίου (MTGs) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία και θεωρείται πολύ σημαντική για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος υψηλής πυκνότητας. Οι μονάδες αυτές είναι μικρού μεγέθους, πολύ υψηλής ταχύτητας και συνήθως συμπεριλαμβάνουν την τουρμπίνα αερίου (gas turbine), το 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 στροβίλου. 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.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.22.: ΔΟΜΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΑ ΑΕΡΙΟΥ.**

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 25kW 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.



ΕΙΚΟΝΑ 3.23.: ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ.

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 5bar με 6bar. 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 Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά μιας μικροτουρμπίνας ως προς την λειτουργία και το κόστος της:

Εύρος ισχύος	25- 250kW
Καύσιμα	Φυσικό αέριο, υδρογόνο, LPG, diesel
Ηλεκτρική απόδοση	20- 30% (με προθέρμανση)
Απόδοση συμπαραγωγής	Μέχρι και 90%
Περιβαλλοντική Επίδοση	Χαμηλές εκπομπές (<9- 50ppm) NOx
Ποιότητα παραγόμενης θερμότητας	Παραγωγή ζεστού νερού προς υψηλή θερμοκρασία (50-80°C)
Εμπορική διαθεσιμότητα	Διαθέσιμες και σε μικρά μεγέθη συμπαραγωγής, σχετικά όμως περιορισμένη
<b>Κόστη Μικροτουρμπίνας</b>	
Κόστος Επένδυσης (μόνο μηχανής)	700- 1.100€/kW
O&M Κόστος	0,005- 0,016€/kW
Χρόνος Μεταξύ Συντηρήσεων	5.000- 8.000hrs

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.: ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΑΣ

### 3.5. Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ)

Συμπαραγωγή (στα αγγλικά Cogeneration ή Combined Heat and Power, CHP) ονομάζεται η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής -ή ενίοτε μηχανικής- και θερμικής ενέργειας από την ίδια πηγή.

Στα πλαίσια του παραδοσιακού ενεργειακού συστήματος, η κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων υλοποιούνται ως διακριτές διαδικασίες αφενός μέσω της μεταφοράς ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και αφετέρου μέσω καύσεων συμβατικών καυσίμων σε λέβητες ή κλιβάνους για την παραγωγή θερμότητας. Ο συνδυασμός των δύο διαδικασιών συντελείται μέσα από την ανάκτηση και την αξιοποίηση των μεγάλων ποσών θερμότητας που αποβάλλονται στο περιβάλλον, είτε μέσω ψυκτικών κυκλωμάτων (π.χ. συμπυκνώματα ατμού, πύργοι ψύξης κλπ.), είτε μέσω καυσαερίων (π.χ. αεριοστρόβιλοι, κινητήρες diesel κλπ.). Με τη διαδικασία της συμπαραγωγής λοιπόν μειώνεται σημαντικά η ολική κατανάλωση καυσίμου και τα ποσοστά εκπομπών καυσαερίων, με συνέπεια να αποσπώνται τεράστια περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τέσσερα στοιχεία :

- 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 μέσου του οποίου διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής.

Στα συστήματα ΣΗΘ ο βαθμός απόδοσης φτάνει το 80-85%, με δυνατότητες να φτάσει ή ακόμα και να ξεπεράσει το 90%, εξοικονομώντας ενέργεια κατά 15-40% εν συγκρίσει με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, όπου ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 30% και 45%. Αυτό οφείλεται στην αξιοποίηση μεγάλων ποσών θερμότητας που, διαφορετικά, θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον υπό μορφή απωλειών ενέργειας.

Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης και τις απώλειες, της συμπαραγωγής με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζουν οι παρακάτω εικόνες:



ΕΙΚΟΝΑ 3.24.: ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.





ΕΙΚΟΝΑ 3.25.: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.

Οι τέσσερις κυριότεροι τομείς ευρείας εφαρμογής της Συμπαραγωγής είναι οι εξής:

- Σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας
- Βιομηχανικός τομέας
- Εμπορικός-κτιριακός τομέας
- Αγροτικός τομέας

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι δείκτες με τους οποίους περιγράφεται η ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων συμπαραγωγής:

Θερμικός βαθμός απόδοσης συστήματος συμπαραγωγής:  $n_{th} = \frac{Q_{CG}}{F_{CG}}$ ,

όπου  $Q_{CG}$  είναι η θερμική ισχύς σε kW που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής και  $F_{CG}$  είναι η ισχύς καυσίμου επίσης σε kW που καταναλώνεται σε αυτό.

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συστήματος συμπαραγωγής:  $n_e = \frac{P_{CG}}{F_{CG}}$ ,

Όπου  $P_{CG}$  είναι η ηλεκτρική ισχύς σε kW που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής.

Ολικός βαθμός απόδοσης συστήματος συμπαραγωγής:  $n_{CG} = \frac{Q_{CG} + P_{CG}}{F_{CG}}$

Λόγος Θερμότητας προς Ισχύ (Heat to Power Ratio- HPR):  $HPR = \frac{Q_{CG}}{P_{CG}}$ .

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

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ευρεία εφαρμογή της συμπαραγωγής αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια.

- Επιπτώσεις στην 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 αμμοστροβίλου μειώνει την κατανάλωση καυσίμου κατά 15% περίπου σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού με μονάδα αμμοστροβίλου και θερμότητας με λέβητα. Ένα σύστημα συμπαραγωγής με κινητήρα

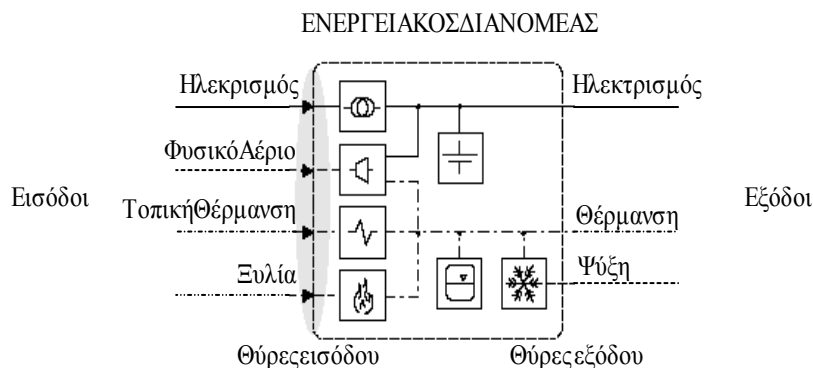
Diesel τη μειώνει κατά 25% σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού (με ντιζελοκίνητη ηλεκτρογεννήτρια) και θερμότητας (με λέβητα). Παρόλα αυτά, το κατά πόσον ένα σύστημα συμπαραγωγής εξοικονομεί ακριβό, εισαγόμενο και μη καύσιμο, εξαρτάται από το καύσιμο που το ίδιο το σύστημα συμπαραγωγής χρησιμοποιεί 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).

- Επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας: 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.

- Περιβαλλοντικά 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.

### **3.6. 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 διαφορετικών ενεργειακών μεταφορέων. Λειτουργεί ως σύνδεση μεταξύ των ενεργειακών δομών, των καταναλωτών και των παραγωγών, συνδυάζοντας για παράδειγμα συστήματα ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου. Έτσι ο ενεργειακός διανομέας αποτελεί μια γενίκευση ή επέκταση ενός κόμβου σε ένα ηλεκτρικό σύστημα. Το σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός ενεργειακού διανομέα:



**ΕΙΚΟΝΑ 3.26.: ΤΥΠΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΙΑΝΟΜΕΑΣ.**

Ο ενεργειακός διανομέας ανταλλάσσει την ενέργεια με τα περιβάλλοντα συστήματα μέσω των υβριδικών θυρών. 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 δομές. Η θύρα εξόδου παρέχει (τη μετασχηματισμένη) ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη. Γενικά, όλοι οι τύποι αέριων, υγρών, και στερεών καυσίμων καθώς επίσης και άλλες μορφές ενέργειας μπορούν να αποτελούν είσοδο(και έξοδο).

Χαρακτηριστικά, ο διανομέας τροφοδοτείται από κοινούς συνδεδεμένους ενεργειακούς φορείς όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο και η θέρμανση, οι οποίοι μετασχηματίζονται στο εσωτερικό του διανομέα. Διαφορετικές μορφές ενέργειας παρέχονται επίσης στις θύρες εξόδου. Στη βασική κατάσταση όλοι οι προαναφερόμενοι φορείς εισόδου μπορούν να διαβιβαστούν στην έξοδο χωρίς να μετατραπούν σε άλλη μορφή. Επιπλέον, η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί με σκοπό την ψύξη, την παραγωγή συμπιεσμένου αέρα ή ατμού. Εκτός από τους προαναφερθέντες ενεργειακούς φορείς θα μπορούσαμε επίσης να εξετάσουμε την είσοδο και έξοδο των χημικών αντιδραστηρίων και προϊόντων όπως το νερό, ο αέρας (οξυγόνο), τις εκπομπές, τα λιπαντικά και τα απόβλητα.

Η προσέγγιση του ενεργειακού διανομέα δεν περιορίζεται ως προς το μέγεθος του συστήματος που μοντελοποιείται. Μπορεί να περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό ενεργειακών μεταφορέων και προϊόντων, παρέχοντας έτσι μεγάλη ευελιξία στη μοντελοποίησή του.

Από την άποψη της τεχνολογίας, οι ενεργειακοί διανομείς περιλαμβάνουν τρία βασικά στοιχεία: άμεσες συνδέσεις, μετατροπές, και αποθήκευση. Οι άμεσες συνδέσεις χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν έναν ενεργειακό φορέα από την είσοδο στην έξοδο, χωρίς τη μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ή σημαντική αλλαγή της ποιότητάς του (π.χ. τάσης, πίεσης). Τα ηλεκτρικά καλώδια, οι εναέριες γραμμές, και οι σωληνώσεις είναι παραδείγματα για αυτόν τον τύπο στοιχείου.

Πέρα από αυτό, οι μετατροπές χρησιμοποιούνται για να μετασχηματιστεί η ενέργεια σε άλλες μορφές. Για παράδειγμα, στρόβιλοι ατμού και αερίου, εναλλασσόμενες μηχανές εσωτερικής καύσεως, κινητήρες Stirling, ηλεκτρικές μηχανές, κυψέλες καυσίμων, κ.λπ. χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν την ενέργεια στην επιθυμητή ποσότητα και ποιότητα που θα καταναλωθεί από τα φορτία.

Ο τρίτος τύπος στοιχείου του ενεργειακού διανομέα, η ενεργειακή αποθήκευση, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών. Στερεοί, οι υγροί, και οι αέριοι ενεργειακοί φορείς μπορούν να αποθηκευτούν σε δεξαμενές, υιοθετώντας μια σχετικά απλή τεχνολογία. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί άμεσα (π.χ. supercaps, υπεραγωγίμες συσκευές) ή έμμεσα (π.χ.



μπαταρίες, υβριδικές δεξαμενές, σφόνδυλοι, αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα, αντιστρέψιμες κυψέλες καυσίμων).

Το παραπάνω σχήμα περιγράφει μια απλή μοντελοποίηση ενός ενεργειακού διανομέα. Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα στοιχείων που μπορούν να διαμορφωθούν ως ενεργειακοί διανομείς, παραδείγματος χάριν:

- βιομηχανικές εγκαταστάσεις (χαλυβουργεία, εργοστάσια χαρτικών, διυλιστήρια),
- σταθμοί συνδυασμένης παραγωγής και τριπαραγωγής,
- μεγάλα κτήρια (αεροδρόμια, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα),
- αγροτικές και αστικές περιοχές, χωριά, πόλεις,
- συστήματα ενέργειας (τρένα, σκάφη, αεροσκάφη).

Η προσέγγιση των ενεργειακών διανομέων δεν περιορίζεται σε οποιοδήποτε μέγεθος του διαμορφωμένου συστήματος. Επιτρέπει το συνδυασμό ενός αυθαίρετου αριθμού ενεργειακών φορέων και προϊόντων, και παρέχει έτσι υψηλή ευελιξία στη διαμόρφωση συστημάτων.

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

i. Αυξημένη αξιοπιστία: Πολλαπλές εισοδοι 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.

ii. Αυξημένη ευελιξία στην τροφοδότηση του φορτίου: Τα διαφορετικά μονοπάτια στο εσωτερικό του διανομέα, αυξάνουν τους βαθμούς ελευθερίας στην τροφοδότηση των φορτίων. Η ζήτηση μπορεί να ικανοποιηθεί με κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας άμεσα από την αντίστοιχη είσοδο ή από την έξοδο του στροβίλου αερίου. Έτσι, το φορτίο είναι πιο ελαστικό σε θέματα τροφοδότησης, παρόλο που η συνολική έξοδος του διανομέα πρέπει να παραμένει σταθερή.

iii. Δυνατότητα βελτιστοποίησης: Το γεγονός ότι διαφορετικές εισοδοι και διαφορετικοί συνδυασμοί αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη της ζήτησης θέτει το θέμα της βέλτιστης τροφοδότησης. Οι διαφορετικές εισοδοι 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.

iv. Πλεονεκτήματα συνέργειας: Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταφοράς και αποθήκευσης των εισόδων του διανομέα μπορούν να συνδυαστούν συνεργατικά.

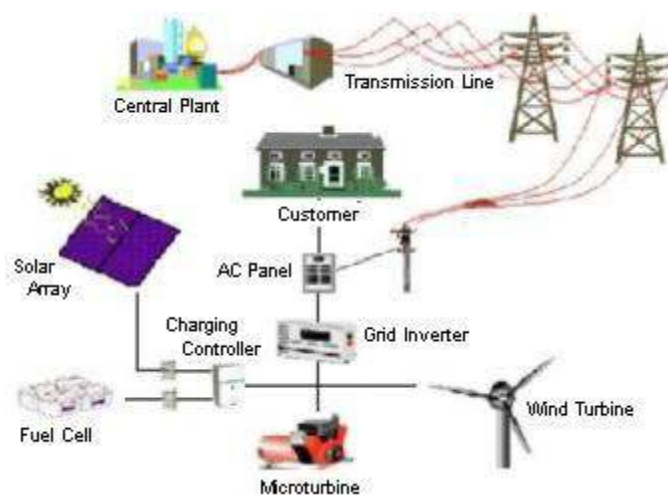


## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο**

### **ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

#### 4.1. Εισαγωγή

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. Η διεσπαρμένη παραγωγή, αν και αποτελεί μια νέα ιδέα στην οικονομική βιβλιογραφία της αγοράς του ηλεκτρισμού, στην πραγματικότητα ως ιδέα είναι κάθε άλλο παρά καινούργια. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή βρισκόταν σε εμβρυακό στάδιο, η διεσπαρμένη παραγωγή ήταν ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Τα πρώτα εργοστάσια παραγωγής ισχύος παρείχαν ηλεκτρισμό σε φορτία-πελάτες που βρίσκονταν σε μικρή ακτίνα από αυτούς (στη γειτονική τους περιοχή). 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 περιορισμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την έντονη διακύμανση στη ζήτηση, έκανε την χρήση τοπικών μέσων αποθήκευσης, όπως μπαταρίες που μπορούσαν να συνδεθούν κατευθείαν στο δίκτυο DC, απαραίτητη. Αυτή η μέθοδος, μάλιστα, τοπικής αποθήκευσης ενέργειας είναι κάτι άλλο, εκτός από τη Διεσπαρμένη Παραγωγή, το οποίο επανέρχεται σταδιακά στο προσκήνιο.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.1. : ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Μετέπειτα, αναπτύχθηκαν τα εθνικά διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα με αποκορύφωση, στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής 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. Όμως, διάφοροι παράγοντες, όπως η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για το περιβάλλον και ο περιορισμός των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, άρχισαν σταδιακά να αλλάζουν τις στρατηγικές στον ηλεκτρικό τομέα.

Τα πρώτα ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος ήταν συνεχούς ρεύματος, οπότε η τάση παροχής ήταν σχετικά περιορισμένη, όπως και η απόσταση μεταξύ σταθμού παραγωγής και καταναλωτή. Η εξισορρόπηση ζήτησης και προμήθειας υλοποιούνταν μερικώς με τη αποθήκευση ενέργειας τοπικά, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσσωρευτών οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα άμεσης ηλεκτρικής σύνδεσης με το

δίκτυο ισχύος συνεχούς τάσης. Παράλληλα με την παραγωγή μικρής κλίμακας, επιστρέφουν στο προσκήνιο και οι μονάδες τοπικής αποθήκευσης.

Με το πέρασμα του χρόνου, τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η εμφάνιση των δικτύων ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος AC, έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του τομέα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την μεταφορά του ηλεκτρισμού σε μεγάλες πλέον αποστάσεις. Επιπλέον, η εφαρμογή οικονομιών κλίμακας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οδήγησαν σε μία μεγάλη αύξηση της ισχύος εξόδου των μονάδων παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, σημειώθηκε αύξηση της παραγόμενης ισχύος των εργοστασίων, καθώς και μείωση του κόστους ανά μονάδα. Κατασκευάστηκαν μαζικά ηλεκτρικά συστήματα, τα οποία αποτελούνταν από τεράστια δίκτυα μεταφοράς και διανομής, καθώς και μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που εξυπηρετούσαν ταυτόχρονα μια πλειάδα καταναλωτών. Σαν αποτέλεσμα, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στην παραγωγή, και ως αποτέλεσμα, στην κατανάλωση, μειώθηκε σημαντικά, ενώ, πλέον, το συνολικό φορτίο των καταναλωτών ακολουθούσε μια πιο ομαλή διακύμανση, καθώς χαρακτήριζε το αποτέλεσμα του συνδυασμού υψηλών, ταυτόχρονων φορτίων, δηλαδή τον μέσο όρο του συνόλου των καταναλωτών. Οπότε, η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αυξανόταν, ενώ επιπλέον ασφάλεια, σε ενδεχόμενη αποτυχία ενός σταθμού παραγωγής, προσέδιδαν οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις του δικτύου.

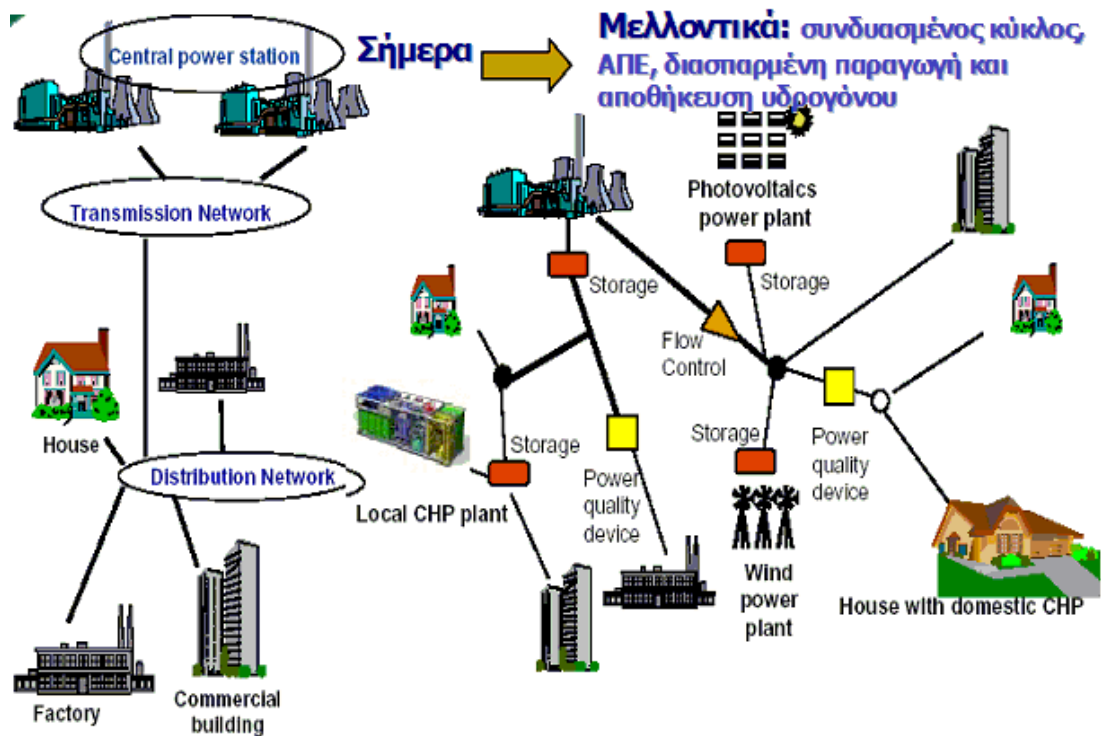
Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και στο ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο την διεσπαρμένη παραγωγή. Οι πέντε κυριότεροι λόγοι σύμφωνα με την IEA (International Energy Agency) που οδήγησαν στην εξέλιξη της Διασπαρμένης Παραγωγής και στην ανανέωση του ενδιαφέροντος γύρω από αυτήν, ήταν:

- η ανάπτυξη στις τεχνολογίες Διασπαρμένης Παραγωγής,
- οι περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- οι αυξημένες απαιτήσεις των καταναλωτών για πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας
- η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι ανησυχίες για τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, που εκφράστηκαν κατά κύριο λόγο μέσω του πρωτόκολλου του Κιότο και προβλέπουν μείωση των εκπομπών αερίων στο διάστημα 2008-2012 κατά 5.2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Η ανάπτυξη της Διασπαρμένης Παραγωγής φαίνεται αδύνατον να καθυστερήσει, και σίγουρα δεν μπορεί να αποτρέψει, την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς, καθώς το δίκτυο πρέπει, τουλάχιστον, να είναι διαθέσιμο για εφεδρική παροχή. Όσον αφορά στο περιβάλλον της ελεύθερης αγοράς, η προσαρμοστικότητα της Διασπαρμένης Παραγωγής επιτρέπει στους μετέχοντες σε αυτήν, να ανταποκρίνονται στις συνεχώς μεταβλητές καταστάσεις, κυρίως λόγω του μικρού μεγέθους της, συγκριτικά με τις μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής.

Η διείσδυση των διασκορπισμένων πηγών παραγωγής στα δίκτυα αυξάνεται συνεχώς, ως αποτέλεσμα της τεχνολογικής προόδου και των θεσμικών αλλαγών στη βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος, αν και συχνά μπορεί να σχετίζεται με δαπανηρές ενισχύσεις δικτύων ή νέες δαπάνες ελέγχου για να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία. Η σύνδεση των νέων εγκαταστάσεων εμποδίζεται συχνά από ποικίλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών εκτιμήσεων και των απαιτήσεων, που επιλύονται συνήθως εις βάρος του επενδυτή. Δεδομένου ότι το ενδιαφέρον για τις εγκαταστάσεις νέας γενιάς κλιμακώνεται, η υιοθέτηση της διαφανούς και εύκολα εφαρμόσιμης τεχνολογίας γίνεται επιτακτικότερη. Τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η σταθερή λειτουργία και οι γρήγορες παραλλαγές τάσης,

καθώς επίσης τα flickers και οι αρμονικές. Η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου, βιομάζα, μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις κ.λπ., που κυμαίνονται από λίγα kW ως και πολλά MW) στα δίκτυα διανομής αυξάνεται παγκοσμίως. Οι οικονομικές ευκαιρίες που παρουσιάζονται για τους ιδιωτικούς επενδυτές στο απορρυθμισμένο ενεργειακό περιβάλλον και τα σημαντικά πιθανά οφέλη για τις μονάδες (ικανότητες μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος, μείωση των απωλειών) συμβάλλουν σ' αυτή την τάση.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.2.: Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟ ΟΡΑΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Η ενσωμάτωση των μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής αλλάζει την παραδοσιακή λειτουργούσα αρχή τους και δημιουργεί νέα προβλήματα, σχετικά με την ποιότητα ισχύος, την αξιοπιστία και την ασφάλεια, πράγματα με τα οποία οι μονάδες είναι ακόμα άγνωστες και επομένως ανίκανες να λειτουργήσουν με έναν συνεπή και αποδοτικό τρόπο. Αν και διάφορα ρυθμιστικά και επιχειρησιακά ζητήματα παραμένουν να επιλυθούν, τα τεχνικά προβλήματα είναι συχνά οι κρίσιμοι παράγοντες που εμποδίζουν την ολοκλήρωση των νέων εγκαταστάσεων. Για να επιταχυνθεί η αξιολόγηση και η διαδικασία σύνδεσης χωρίς συμβιβασμό στις απαιτήσεις λειτουργίας και ασφάλειας του δικτύου, κατάλληλες τεχνικές διαδικασίες αξιολόγησης απαιτούνται, οι οποίες πρέπει να είναι διαφανείς, αντικειμενικές, ευρέως αποδεκτές και εύκολα εφαρμόσιμες.

Στην Ελλάδα, διάφορες εγκαταστάσεις Διεσπαρμένης Παραγωγής (κυρίως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα, όπως αιολικά πάρκα και μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί) έχουν εγκατασταθεί και η λειτουργία τους κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαπέντε ετών αυξάνει την εμπειρία σχετικά με την ενσωμάτωση τους στο δίκτυο (στο επίπεδο της Μέσης Τάσης). Η πρόσφατη άρση

των ελέγχων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, έχει δημιουργήσει ένα τεράστιο ενδιαφέρον για την επένδυση στην ανεξάρτητη Διεσπαρμένη Παραγωγή. Προκύπτει έτσι η ανάγκη αναπροσαρμογής του ελληνικού οδηγού σύνδεσης, ο οποίος έχει ολοκληρωθεί πρόσφατα από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού.

Οι αλλαγές τάσης στο σημείο της κοινής σύζευξης (PCC) στο δίκτυο είναι συνήθως ο κρίσιμος παράγοντας κατά την εξέταση της σύνδεσης των νέων πηγών Διεσπαρμένης Παραγωγής. Παραδοσιακά, οι μονάδες έχουν επιβάλει περιορισμούς στις αποδεκτές αποκλίσεις τάσης από την ονομαστική τιμή, στα επίπεδα Μέσης Τάσης και Χαμηλής Τάσης, τα οποία δεν πρέπει να ξεπεραστούν σε κανονική λειτουργία του συστήματος.

Στο επίπεδο Χαμηλής Τάσης, ένα από τα πιο βασικά ζητήματα είναι η ποιότητα της τάσης που παρέχεται στους καταναλωτές, ιδιαίτερα όσον αφορά φαινόμενα υπερτάσεων που προκαλούνται από συνδέσεις πηγών.

Κατάλληλοι υπολογισμοί ροής φορτίου απαιτούνται για να εκτιμήσουμε το επιτρεπόμενο επίπεδο διείσδυσης της ενέργειας που προέρχεται από μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής, για ένα δοσμένο δίκτυο, έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε ότι δεν θα ξεπεραστούν τα όρια της μέγιστης τάσης στο σημείο κοινής σύζευξης και της δυναμικότητας στις γραμμές μεταφοράς.

## **4.2. Ορισμός**

Ο όρος Διεσπαρμένη Παραγωγή (DG) ή κατανεμημένη παραγωγή μπορεί να ορισθεί [29] ως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας (με τιμές που κατά κανόνα κυμαίνονται έως 50MW-100MW), εντός ενός δικτύου διανομής ή στο ακραίο τμήμα αυτού στην πλευρά του καταναλωτή, με τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να εντοπίζονται κοντά στο φορτίο. Συνήθως στον ορισμό της, συμπεριλαμβάνονται και κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως η ύπαρξη και εκμετάλλευση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας κ.α. Η ενσωμάτωση ενός δικτύου Διεσπαρμένης Παραγωγής αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα που είναι σημαντικά διαφορετικό από την παραδοσιακή διαδικασία ενσωμάτωσης ενός κυκλώματος κεντρικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα δίκτυα μεταφοράς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον ίδιο το σχεδιασμό των σημερινών δικτύων διανομής. Τα υπαρκτά δίκτυα διανομής σχεδιάζονται ως παθητικά συστήματα που λειτουργούν ακτινικά.

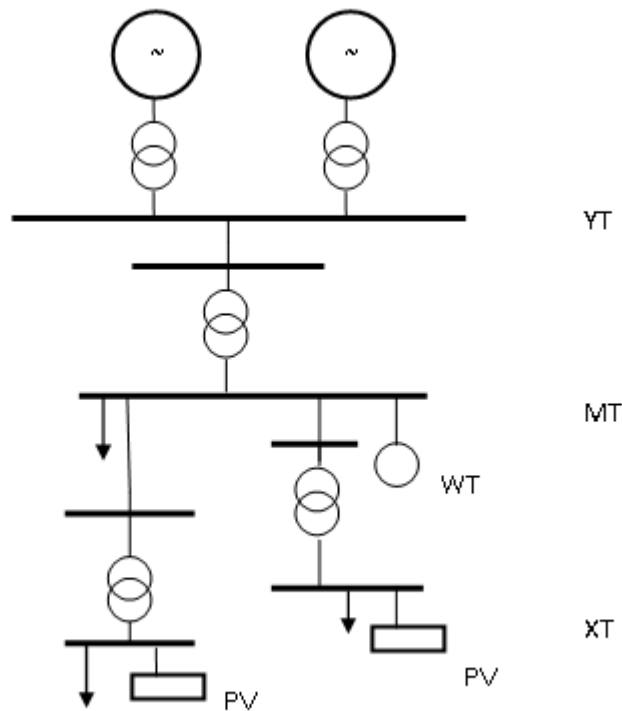
Το Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineer Inc, IEEE), ορίζει την κατανεμημένη παραγωγή, ως παραγωγή ηλεκτρισμού από εγκαταστάσεις οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες από τα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διασύνδεσή τους σχεδόν σε κάθε σημείο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, η διανεμημένη παραγωγή γενικά χαρακτηρίζεται από τα εξής [29]:

- Δεν είναι κεντρικά σχεδιαζόμενη και αναπτυσσόμενη (από την εταιρεία ηλεκτρισμού ή κάποιον διαχειριστή).
- Δεν υπάρχει κεντρικός προγραμματισμός λειτουργίας των μονάδων από το διαχειριστή του συστήματος.

- Η ισχύς των μονάδων που εγκαθίστανται δεν υπερβαίνει τα 50-100MW αλλά συνήθως είναι της τάξης λίγων εκατοντάδων kW.
- Είναι συνδεδεμένη στο Δίκτυο Διανομής ανάλογα με το πώς ορίζεται για κάθε υπό μελέτη σύστημα.

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτό διαμορφώνεται από την παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής φαίνεται στην εικόνα 4.3. Όπως φαίνεται από την εικόνα, στην παραγωγή συμμετέχουν πλέον δύο μονάδες με φωτοβολταϊκά και ένα αιολικό πάρκο.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.3.: ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

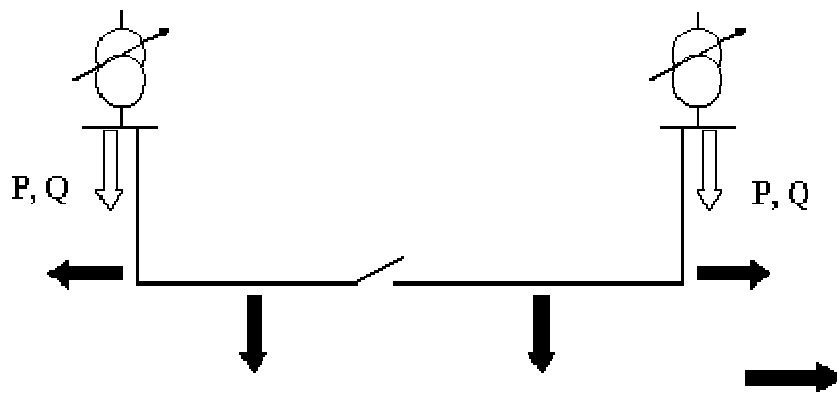
Ενδιαφέρον για τη Διεσπαρμένη Παραγωγή δεν θα είχε αναπτυχθεί, αν δεν είχε προκύψει η ανάγκη για μείωση της χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας για περιβαλλοντικούς λόγους. Η Διεσπαρμένη Παραγωγή μπορεί να συμπεριλαμβάνει φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, μικρά υδροηλεκτρικά, βιομάζα και άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κάθε τέτοια μονάδα, εξαιτίας της φύσης αυτών των μορφών ενέργειας, θα έχει μικρή σχετικά δυνατότητα παραγωγής, ενώ θα πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο, όπου για παράδειγμα υπάρχει άνεμος, ήλιος, ή οτιδήποτε απαιτείται για την εκάστοτε μορφή. Επομένως, οι μονάδες αυτές θα βρίσκονται διασκορπισμένες μέσα στο δίκτυο με μικρές δυνατότητες παραγωγής η κάθε μία.

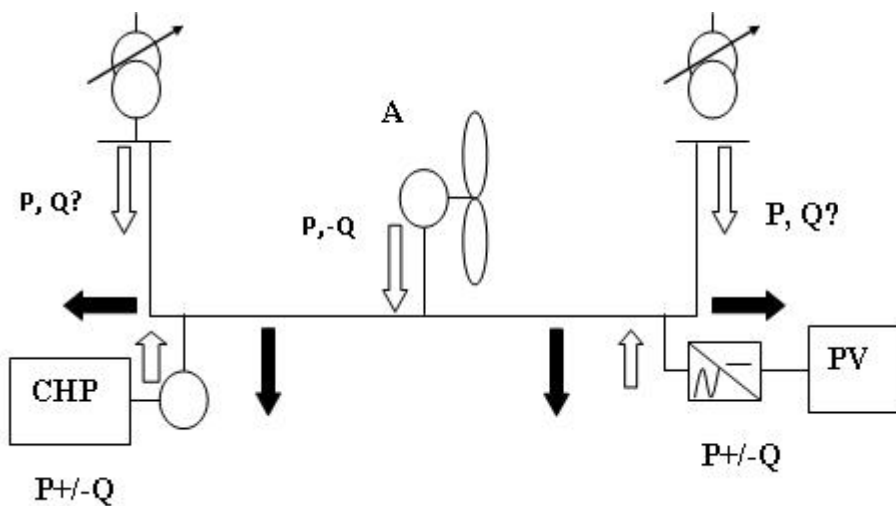
Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάστηκαν αρχικά με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει κεντρική παραγωγή που να τροφοδοτεί με ισχύ τους καταναλωτές. Έτσι, η ροή της ισχύος γινόταν από την υψηλή προς τη χαμηλή τάση. Με τη διείσδυση όμως της Διεσπαρμένης Παραγωγής στη διαδικασία παραγωγής, η ροή της ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να αντιστραφεί, αν η διείσδυση αυτή είναι αρκετά σημαντική. Μπορεί πλέον σε κάποιες περιπτώσεις να έχουμε αντίστροφη πορεία του ρεύματος, αν υπερκαλύπτεται το φορτίο ενός ζυγού και των φορτίων στα κατάντη



αυτού, από την παραγωγή της μονάδας που βρίσκεται στο ζυγό αυτό. Έτσι, οι τάσεις και οι ροές ισχύος μεταβάλλονται και καθορίζονται πλέον από τις μονάδες παραγωγής, που υπάρχουν διεσπαρμένες στο δίκτυο, και τα φορτία. Ο συντελεστής ισχύος με τον οποίο μπορεί να λειτουργήσουν οι μονάδες αυτές μεταβάλλει τις τάσεις στο δίκτυο, ενώ μπορεί να υπάρξουν και αρμονικές συνιστώσες στο ρεύμα από την παρουσία ηλεκτρονικών ισχύος. Αυτές οι μεταβολές έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του δικτύου. Η μεταβολή της ροής της ισχύος εξαιτίας της παρουσίας μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να φανεί στις παρακάτω εικόνες [17]:



ΕΙΚΟΝΑ 4.4.: ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.5.: ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

### **4.3. Τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής (DER)**

Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής (DER) είναι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εύρους 3 kW έως 50 MW τοποθετημένες μέσα στο ηλεκτρικό σύστημα διανομής, δίπλα ακριβώς στον τελικό χρήστη ή κοντά σε αυτόν. Μπορούν να είναι συνδεδεμένες παράλληλα στον κεντρικό παροχέα ή να είναι ανεξάρτητες μονάδες. Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής είναι διαθέσιμες εδώ και πολλά χρόνια με διάφορες ονομασίες.

Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής αποτελούνται κυρίως από συστήματα παραγωγής ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης που τοποθετούνται στον τελικό χρήστη ή κοντά σε αυτόν. Οι περισσότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αποτελούν γενικά και συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής, αν και υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως είναι τα υδροηλεκτρικά μεγάλης κλίμακας και τα παράκτια αιολικά πάρκα. Χαρακτηριστικό της σημασίας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην παραγωγή είναι ότι το 2006 παρήχθησαν στην Ελλάδα περίπου 2,1GWh ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια της ΔΕΗ, μειώθηκαν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> περίπου κατά 2 εκατομμύρια τόνους και εξοικονομήθηκαν 550 τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου. Εκτός όμως από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, στη διεσπαρμένη παραγωγή εντάσσονται και άλλες τεχνολογίες, που η λειτουργία τους βασίζεται και στη χρήση ορυκτών καυσίμων. Αυτές είναι οι τουρμπίνες και οι μικροτουρμπίνες αερίου, οι εμβολοφόρες μηχανές και οι κυψέλες καυσίμου, που χωρίζονται σε διάφορα είδη ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας τους.

Οι εμβολοφόρες μηχανές είναι θερμικές μηχανές που χρησιμοποιούν ένα ή περισσότερα έμβολα για να μετατρέψουν την κίνηση σε περιστρεφόμενη κίνηση. Το κάθε έμβολο βρίσκεται μέσα σε έναν κύλινδρο, στον οποίο εισάγεται ένα αέριο, το οποίο είτε είναι ήδη καυτό και υπό πίεση (μηχανή ατμού), ή θερμαίνεται μέσα στον κύλινδρο από ένα μίγμα αερίων καυσίμων (μηχανή εσωτερικής καύσης) ή μέσω επαφής με έναν καυτό εναλλάκτη θερμότητας μέσα στον κύλινδρο (μηχανή stirling).

Το συνηθέστερο καύσιμο που χρησιμοποιούν τα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής είναι το φυσικό αέριο. Και το υδρογόνο όμως μπορεί να παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στο μέλλον.

Οι σημαντικότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής που είναι διαθέσιμες στην αγορά και αυτές που ακόμη αναπτύσσονται είναι οι παρακάτω:

#### **✓ Μικροτουρμπίνες**

Οι μικροτουρμπίνες είναι μικρές τουρμπίνες που παράγουν ισχύ μεταξύ 25kW και 500kW. Αν και κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά, γίνονται ακόμα πολλές μελέτες για την περαιτέρω ανάπτυξη τους. Οι μικροτουρμπίνες προήλθαν από τεχνολογίες που υπήρχαν σε μεγάλα φορτηγά ή στις τουρμπίνες των αεροσκαφών.

#### **✓ Τουρμπίνες εσωτερικής καύσης**

Οι παραδοσιακές τουρμπίνες παράγουν ισχύ μεταξύ 500kW και 25MW για διεσπαρμένη παραγωγή, και μέχρι 250MW για κεντρική παραγωγή ισχύος. Το καύσιμο που χρησιμοποιούν είναι φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή ένας συνδυασμός καυσίμων. Οι σύγχρονες τουρμπίνες μονού κύκλου τυπικά έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται από 20% έως 45% στο πλήρες φορτίο.

#### **✓ Μηχανές εσωτερικής καύσης**

Μια μηχανή εσωτερικής καύσης μετατρέπει την ενέργεια που περιέχεται σε κάποιο καύσιμο σε μηχανική ενέργεια. Αυτή η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται

για την περιστροφή ενός άξονα μέσα στη μηχανή. Μια γεννήτρια συνδέεται με τη μηχανή εσωτερικής καύσης για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι διαθέσιμες από μικρά μεγέθη (5kW για εφεδρική γεννήτρια σε κατοικίες) μέχρι μεγάλες γεννήτριες (7MW). Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούν διαθέσιμα καύσιμα όπως βενζίνη, φυσικό αέριο και diesel.

#### ✓ **Μηχανές Stirling**

Οι μηχανές Stirling έχουν κατηγοριοποιηθεί ως μηχανές εξωτερικής καύσης. Είναι σφραγισμένα συστήματα με ένα αδρανές αέριο που θέτει σε λειτουργία τη μηχανή, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Συνήθως είναι διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (1-25 kW) και προς το παρόν παράγονται σε μικρές ποσότητες για εξειδικευμένες εφαρμογές στη διαστημική και τη θαλάσσια βιομηχανία.

#### ✓ **Κυψέλες καυσίμου**

Τα συστήματα ισχύος με κυψέλες καυσίμου είναι αθόρυβα, καθαρά και αποδοτικά συστήματα παραγωγής που χρησιμοποιούν μια ηλεκτροχημική διεργασία, όχι καύση, για τη μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρισμό. Επιπροσθέτως της παροχής ενέργειας, μπορούν να προσφέρουν μια πηγή θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση του χώρου και του νερού. Σε κάποιες έρευνες έχει αποδειχθεί ότι οι κυψέλες καυσίμου μειώνουν το κόστος για τις υπηρεσίες ηλεκτρισμού 20% με 40%.

#### ✓ **Αποθήκευση ενέργειας / Συστήματα UPS**

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας δεν παράγουν καθαρή ενέργεια αλλά μπορούν να προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια για μικρά χρονικά διαστήματα. Χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση πτώσεων τάσης, flicker και έντονης κυμάτωσης που συμβαίνουν όταν η εταιρία παροχής ή οι πελάτες αλλάζουν προμηθευτές ή φορτία. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως Συστήματα Αδιάλειπτου Τροφοδοσίας (UPS). Σαν τέτοια, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας θεωρούνται τεχνολογίες διασπαρμένης παραγωγής.

#### ✓ **Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Τα φωτοβολταϊκά (PV), μετατρέπουν απευθείας το φως του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεντρώνονται σε επίπεδα πάνελα τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε ταράτσες ή άλλες ηλιόλουστες περιοχές. Παράγουν ηλεκτρισμό χωρίς να έχουν κινούμενα μέρη, λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς εκπομπές και δεν απαιτούν μεγάλη συντήρηση.

#### ✓ **Αιολικά συστήματα**

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν τον άνεμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μια τουρμπίνα με πτερωτές τοποθετείται στην κορυφή ενός ψηλού πύργου. Ο πύργος είναι ψηλός ούτως ώστε να εκμεταλλευόμαστε τη μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου, απαλλαγμένη από τις αναταράξεις που προέρχονται από τη μεσολάβηση εμποδίων όπως δέντρα, λόφοι και κτίρια. Όπως περιστρέφεται η τουρμπίνα με τον άνεμο, μια γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Μια ανεμογεννήτρια μπορεί να ποικίλλει σε μέγεθος από λίγα kW σε οικιακές εφαρμογές έως πάνω από 5MW.

#### ✓ **Υβριδικά συστήματα**

Παραγωγοί και κατασκευαστές τεχνολογιών διασπαρμένης παραγωγής αναζητούν τρόπους να συνδυάσουν τεχνολογίες για να βελτιώσουν τις επιδόσεις και την απόδοση του εξοπλισμού διασπαρμένης παραγωγής. Κάποια παραδείγματα υβριδικών συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Μηχανή Stirling συνδυασμένη με ένα ηλιακό πιάτο
- ✓ Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου συνδυασμένη με μια τουρμπίνα αερίου ή μικροτουρμπίνα
- ✓ Ανεμογεννήτριες με μπαταρία αποθήκευσης και εφεδρικές γεννήτριες diesel

- ✓ Μηχανές συνδυασμένες με συσκευές αποθήκευσης ενέργειας
- ✓ **Συμπαραγωγή**

Μία άλλη έννοια που συναντάται συχνά είναι αυτής της συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ισχύος, ή αλλιώς συμπαραγωγή και αναφέρεται στην ταυτόχρονη παραγωγή και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Γενικά ένα τμήμα του ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται τοπικά και το υπόλοιπο τροφοδοτείται στο δίκτυο. Η θερμότητα από την άλλη μεριά χρησιμοποιείται πάντα τοπικά, καθώς η μεταφορά της είναι ασύμφορη οικονομικά και περιλαμβάνει σχετικά μεγάλες απώλειες. Γενικά το κομμάτι εκείνο της διεσπαρμένης παραγωγής που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα αποτελεί κυρίως εφαρμογές συμπαραγωγής.

Στον πίνακα 4.1. παρουσιάζονται οι βασικότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, συνοψίζοντας κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, όπως η απόδοση, η πυκνότητα ενέργειας, οι εκπομπές τους και η διάρκεια ζωής τους.

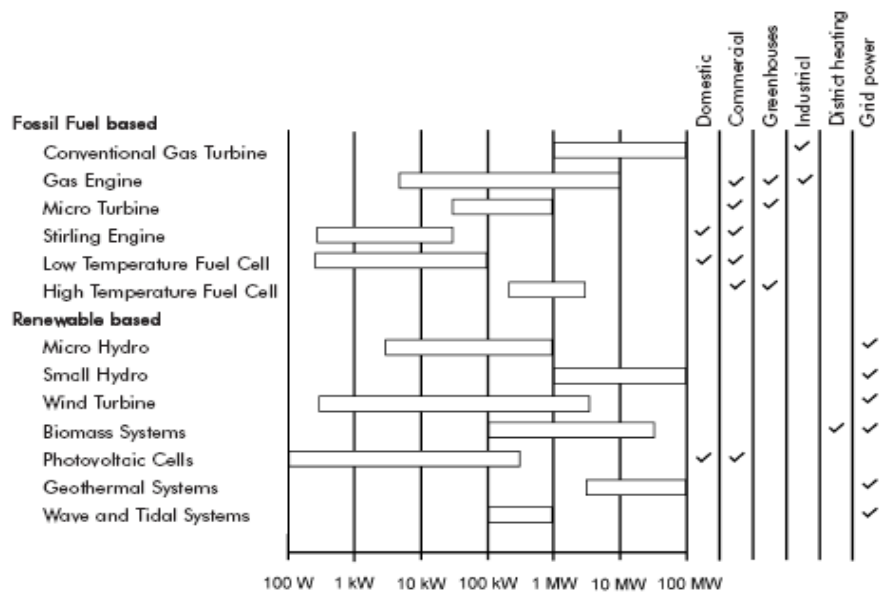
	Engine Generator	Gas Turbine Generator	Microturbine Generator	Photo-voltaics	Wind Turbine	Fuel Cells
Dispatchable	Yes	Yes	Yes	--	--	Yes
Fuel	Diesel or Gas	Gas	Multiple Gas or Liquids	Sun	Wind	Gas
Efficiency, %	35	29-42	27-32	6-19	25	40-57
Energy Density, kW/m <sup>2</sup>	50	59	59	0.02	0.01	1 - 3
Energy Storage Required	No	No	No	Yes	Yes	No
NO <sub>x</sub> (lb/BTU)						
• Nat Gas	0.3	0.01	0.01	N/A	N/A	0.003-0.02
• Oil	3.7	0.17	0.17	N/A	N/A	--
Heat Rates, Mills BTU/kWh	10-15	5-10	5-10	N/A	N/A	5-10
Expected Operating Life, Hrs.	40,000	40,000	40,000	--	--	10,000-40,000
Technology Status	Commercial	Commercial	Commercial	Commercial	Commercial	Commercial in 2001

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.: ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ**

Οι τυπικές χρήσεις της διεσπαρμένης παραγωγής είναι οι εξής:

- Οικιακή (ηλεκτρισμός και θέρμανση)
- Εμπορική (ηλεκτρισμός και θέρμανση)
- Βιομηχανική (ηλεκτρισμός και ατμός)
- Περιφερειακή θέρμανση (ηλεκτρισμός και θέρμανση μέσω του δικτύου διανομής θέρμανσης)
- Ισχύς δικτύου (μόνο ηλεκτρισμός που παρέχεται στο δίκτυο)

Η παρακάτω εικόνα δίνει μια κατηγοριοποίηση για τις διεσπαρμένες πηγές παραγωγής και τις χρήσεις που αυτές έχουν, καθώς και για το εύρος της ισχύος που παράγουν:



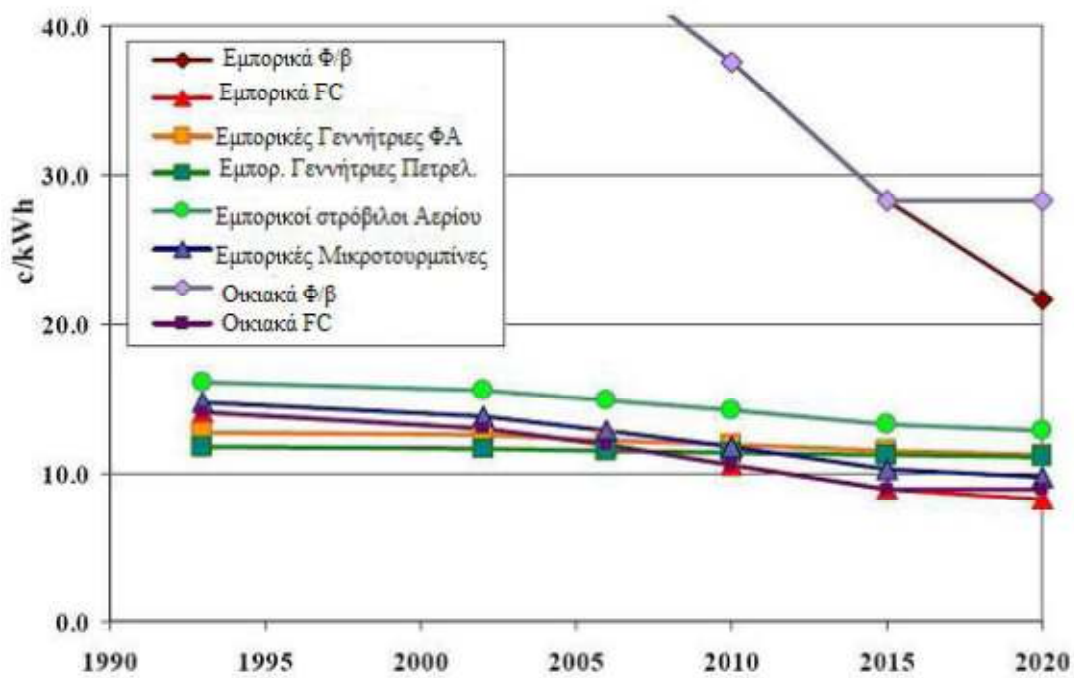
**ΕΙΚΟΝΑ 4.6.: ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥΣ**

Το κόστος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας όταν σκεφτόμαστε την αγορά κάποιου προϊόντος, συμπεριλαμβανομένου των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής. Όμως, το να καθορίσει κανείς το κόστος μιας τεχνολογίας διεσπαρμένης παραγωγής συχνά είναι πιο πολύπλοκο από την αγορά κάποιου προϊόντος σε μια προκαθορισμένη τιμή. Εκτός από το κόστος εξοπλισμού ή κεφαλαίου, υπάρχουν εργατικά και άλλα έξοδα που σχετίζονται με την εγκατάσταση του εξοπλισμού. Το κόστος του ηλεκτρισμού που παράγεται από την τεχνολογία διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να υπολογιστεί και να συγκριθεί με το κόστος αγοράς του ηλεκτρισμού από την εταιρία παροχής.

Κόστος κεφαλαίου του επιλεγμένου εξοπλισμού DER		Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του επιλεγμένου εξοπλισμού DER	
Εξοπλισμός DER	Κόστος κεφαλαίου (\$/kW)	Χρόνος που απαιτείται μέχρι να χρειαστεί συντήρηση (ώρες λειτουργίας)	Μέσο κόστος συντήρησης (€/kWh)
Μικροτουρμπίνες	700-1,100	5,000-8,000	0.5-1.6 (εκτίμηση)
Τουρμπίνες καύσης	300-1,000	4,000-8,000	0.4-0.5
Μηχανές εσωτερικής καύσης	300-800	750-1,000: αλλαγή λαδιών και φίλτρου λαδιών 8,000: ανακατασκευή κεφαλής μηχανής 16,000: ανακατασκευή σώματος μηχανής	0.7-1.5 (φυσικό αέριο) 0.5-1.0 (diesel)
Κυψέλες καυσίμου	700-1,100	Ετησίως: έλεγχος συστήματος παροχής καυσίμου Ετησίως: έλεγχος συστήματος διαμορφωτή καυσίμου 40,000: αντικατάσταση της	0.5-1.0 (εκτίμηση)

		«στοίβας» κελιών			
Φωτοβολταϊκά	4,500-6,000	Έλεγχος ετησίως	συντήρησης	δισ	1% της αρχικής επένδυσης κάθε χρόνο
Ανεμογεννήτριες	800-3,500	Έλεγχος ετησίως	συντήρησης	δισ	1.5-2% της αρχικής επένδυσης κάθε χρόνο

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.: ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ DER



ΕΙΚΟΝΑ 4.7.: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι χρήστες των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής έχουν διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες. Τα νοσοκομεία χρειάζονται υψηλή αξιοπιστία (εφεδρική ισχύ) και ποιότητα ισχύος (καλής ποιότητας ενέργεια) λόγω ευαισθησίας του εξοπλισμού. Οι βιομηχανίες συνήθως έχουν υψηλούς λογαριασμούς ρεύματος, πολλές ώρες παραγωγής και θερμικές διεργασίες και γι' αυτό χρειάζονται εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής που περιλαμβάνουν ενέργεια χαμηλού κόστους και συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Τα κέντρα υπολογιστών απαιτούν σταθερή, υψηλής ποιότητας, αδιάλειπτη ισχύ. Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής είναι διαθέσιμες σήμερα και αναπτύσσονται διαρκώς για την κάλυψη αυτών των αναγκών.

#### **4.4. Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής**

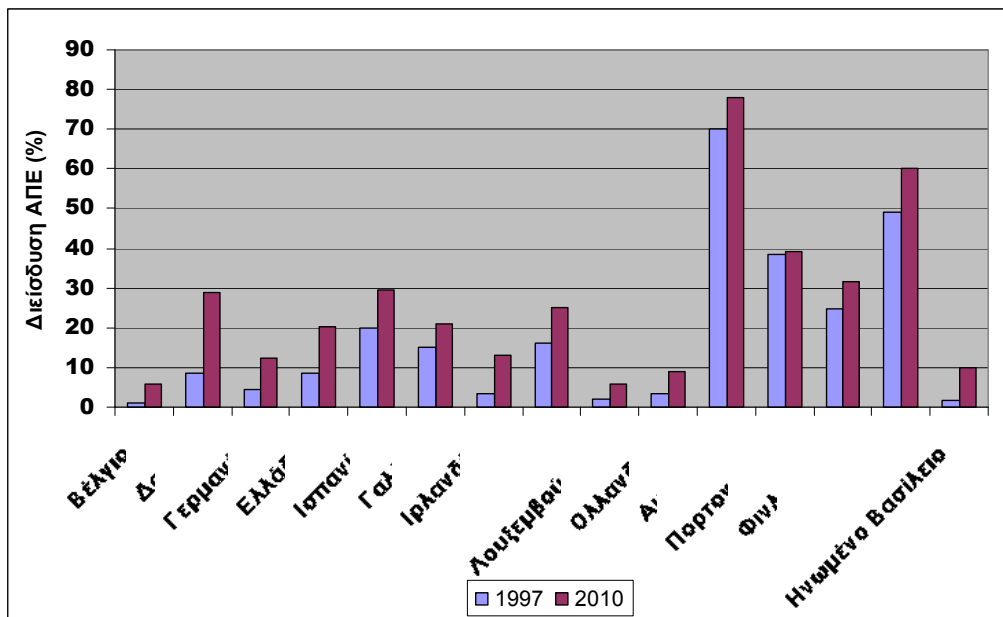
##### **4.4.1. Στατιστικά στοιχεία για τη διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής**

Η εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνεται έντονα τα τελευταία χρόνια. Όλο και μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές. Στον πίνακα 4.3. μπορούμε να δούμε το ποσοστό της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης για το 1997 και τη σύγκρισή του με το στόχο που είχε τεθεί για το 2010.

	<b>Παραγωγή από ΑΠΕ το 1997 (% επί του συνόλου της παραγωγής)</b>	<b>Παραγωγή από ΑΠΕ το 2010 (% επί του συνόλου της παραγωγής)</b>
Βέλγιο	1.10	6.00
Δανία	8.70	29.0
Γερμανία	4.50	12.5
Ελλάδα	8.60	20.1
Ισπανία	19.9	29.4
Γαλλία	15.0	21.0
Ιρλανδία	3.60	13.2
Ιταλία	16.0	25.0
Λουξεμβούργο	2.10	5.70
Ολλανδία	3.50	9.00
Αυστρία	70.0	78.1
Πορτογαλία	38.5	39.0
Φινλανδία	24.7	31.5
Σουηδία	49.1	60.0
Ηνωμένο Βασίλειο	1.70	10.0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΕ ΓΙΑ ΤΟ 1997 ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΟ 2010 ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ Ε.Ε.**

Τα παραπάνω στοιχεία φαίνονται επίσης στο ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.1.: Παραγωγή Από Μονάδες ΑΠΕ Για Το 1997 Και Στόχοι Για Το 2010 Στις Χώρες Της Ε.Ε.

Όπως φαίνεται από τα δεδομένα του πίνακα 4.3. αλλά και του διαγράμματος 4.1., η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Το 2010, η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί το 8% ως 20% της δυνατότητας παραγωγής ισχύος στην Ευρώπη σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις. Κατά συνέπεια, έχει αναπτυχθεί έντονο ενδιαφέρον για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της και των αλλαγών που επιφέρει στο δίκτυο.

#### **4.4.2. Επιδράσεις διεσπαρμένης παραγωγής**

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις επιδράσεις από την επικείμενη διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας. Μερικές από αυτές είναι:

- Αλλαγές στο επίπεδο της τάσης των δικτύων
- Ποιότητα της παραγόμενης ισχύος
- Μεταβολή των ρευμάτων από σφάλματα του δικτύου-αλλαγή του επιπέδου βραχυκύκλωσης
- Τροποποίηση των μηχανισμών προστασίας του δικτύου
- Αύξηση των παραγόμενων αρμονικών στο δίκτυο από τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος
- Επιπτώσεις στην ευστάθεια του συστήματος.

#### **Μεταβολή της τάσης**

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές για την διατήρηση της τάσεως στα επιθυμητά όρια.

- ✓ Κυρίως ρυθμίζεται ο λόγος Μέσης/Χαμηλής Τάσης του μετασχηματιστή του υποσταθμού ώστε να διατηρείται η τάση στα επιθυμητά όρια.



- ✓ Η αντίστροφη ροή ισχύος και η προκαλούμενη ανύψωση της τάσης μπορεί να περιοριστεί, είτε αναστρέφοντας την ροή άεργου ισχύος χρησιμοποιώντας ασύγχρονες γεννήτριες, ή υποδιεγείροντας τις σύγχρονες γεννήτριες.
- ✓ Σε πολλά δίκτυα χρησιμοποιούνται εξελιγμένες τεχνικές ελέγχου της τάσης μέσω ρύθμισης των λήψεων του αυτομετασχηματιστή σύμφωνα με την εκτίμηση της πτώσης τάσης από μετρήσεις του ρεύματος.
- ✓ Δημιουργείται η ανάγκη να καθιερωθούν στοχαστικά όρια για την διακύμανση της τάσης, όπως π.χ. γίνεται στο πρότυπο EN 50160.

### **Ποιότητα ισχύος**

Για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της ισχύος λαμβάνονται υπόψη κυρίως δυο παράγοντες:

- ✓ Οι μεταβατικές διακυμάνσεις της τάσης.
- ✓ Η παρουσία αρμονικών στο δίκτυο.

Ένα σημαντικό ζήτημα για την ποιότητα ισχύος είναι οι βυθίσεις της τάσης που ορίζονται ως μειώσεις της τάσης (από 10% έως και 90% της ονομαστικής τιμής). Εάν κατά την ζεύξη/απόζευξη των γεννητριών επιτρέπεται η ανταλλαγή μεγάλων ρευμάτων με το δίκτυο, τότε μπορεί να εμφανιστούν μεταβατικές διαταραχές στην τάση του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να περιοριστούν με την χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων και με σωστό συγχρονισμό των σύγχρονων γεννητριών κατά την ζεύξη τους με το σύστημα.

### **4.5. Πλεονεκτήματα της Διεσπαρμένης Παραγωγής [22]**

Την τελευταία δεκαετία αυξάνεται συνεχώς η τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Όλο και περισσότερο υπάρχει η ανάγκη για να εκτιμηθούν τα οφέλη της διεσπαρμένης παραγωγής.

Το κυριότερο όφελος από τη χρήση διεσπαρμένης παραγωγής είναι περιβαλλοντικό. Οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής προσφέρουν καθαρότερη και πιο αθόρυβη λειτουργία. Η εκτεταμένη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας θα μειώσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και επιβλαβείς εκπομπές, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου και του αζώτου ( $SO_x/NO_x$ ), καθώς οι περισσότερες εναλλακτικές πηγές ενέργειας παράγουν μηδενικούς ή ελάχιστους ρύπους (π.χ. τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια και τον άνεμο και κυψέλες καυσίμου). Χρησιμοποιώντας τέτοιες μορφές ενέργειας δίνεται η δυνατότητα σε χώρες που έχουν αναλάβει υποχρεώσεις για μείωση των εκπομπών ρύπων, να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις αυτές. Παράλληλα, περιορίζεται η χρήση καυσίμων που υπάρχουν σε πεπερασμένες ποσότητες, όπως είναι το πετρέλαιο, και που αν συνεχιστεί η κατανάλωσή του με τον ίδιο ρυθμό, τα αποθέματα θα τελειώσουν σε μερικά χρόνια. Τέλος, επειδή η διεσπαρμένη παραγωγή επιτρέπει τη χρήση της θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής, αυξάνεται έτσι η συνολική απόδοση του συστήματος καταναμιμένης παραγωγής σε σχέση με την κεντρική, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την πιο αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας και φορτίου, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην αειφόρο ανάπτυξη.

Η συμμετοχή διαφορετικών μορφών ενέργειας στην παραγωγή, σε διάφορα σημεία του δικτύου με εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας, έχει το πλεονέκτημα ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού δεν εξαρτάται πλέον αποκλειστικά από συγκεκριμένες

συμβατικές πηγές, αλλά στηρίζεται σε πολλές διαφορετικές πηγές. Υπάρχει δηλαδή κατά κάποιο τρόπο μια ασφάλεια, τέτοια ώστε αν για κάποια αιτία, που μπορεί να είναι οικονομική ή και πολιτική, εκλείψει μια μορφή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα για απελευθέρωση της αγοράς και συμμετοχή ιδιωτών στην παραγωγή. Τα τελευταία χρόνια, οι κυβερνήσεις έχουν αρχίσει να δίνουν κίνητρα σε ιδιώτες για την τοποθέτηση εγκαταστάσεων παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Έτσι, μέρος της ζήτησης μπορεί πλέον να καλύπτεται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό.

Η παρουσία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αλλάζει τη φυσιογνωμία όλου του δικτύου ως προς τις τάσεις και τις ροές ισχύος, όπως εξηγήθηκε και παραπάνω. Το γεγονός αυτό μπορεί να προσφέρει στο δίκτυο τεχνικά οφέλη. Πιο συγκεκριμένα οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής μειώνουν την υπερφόρτωση των γραμμών διανομής, ανταποκρίνονται γρηγορότερα σε νέες απαιτήσεις ισχύος, ενώ κάποιες από αυτές προσφέρουν υψηλής ποιότητας ισχύ για ευαίσθητες εφαρμογές.

Αν ο σχεδιασμός της μονάδας γίνει σωστά, μπορούν να υπάρξουν οφέλη ως προς την ποιότητα ισχύος που φθάνει στους καταναλωτές, αλλά και της αξιοπιστίας. Πολλοί καταναλωτές, όπως νοσοκομεία, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, βιομηχανίες ημιαγωγών, εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, 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. Πολλές φορές όμως η παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα ισχύος.

Πέρα από τα παραπάνω, εξασφαλίζονται κάποια άλλα αξιοσημείωτα οφέλη όπως ευστάθεια, διασφάλιση από απρόοπτα και δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης «black start» (η δυνατότητα μιας μονάδας παραγωγής κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης του συστήματος να μεταβεί από απενεργοποιημένη κατάσταση σε κατάσταση λειτουργίας και να αρχίσει να παράγει ενέργεια χωρίς να υποβοηθηθεί από το ηλεκτρικό σύστημα). Κατά συνέπεια, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν, υπό προϋποθέσεις, να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρική ισχύς, σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, καθώς και σε περιπτώσεις βύθισης τάσης, ώστε να ενισχυθεί η ποιότητα της ισχύος που παρέχεται τοπικά.

Επίσης, με τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής προσφέρεται ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η επιλογή των παραδοσιακών γραμμών διανομής δεν είναι δυνατή. Τέτοιες περιοχές όπως πύργοι κεραιών, μικρά απομακρυσμένα χωριά ή πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου στον ωκεανό βρίσκονται εκτός του ηλεκτρικού δικτύου και επωφελούνται από τη διεσπαρμένη παραγωγή ως βασική πηγή ενέργειας.

Ένα ακόμη από τα σημαντικότερα τεχνικά οφέλη, που προκύπτουν από την διεσπαρμένη παραγωγή, είναι η μείωση των απωλειών του συστήματος. Αφού μέρος της ισχύος θα καλύπτεται από τις διεσπαρμένες στο δίκτυο μονάδες, δε θα χρειάζεται τόσο μεγάλη ποσότητα ισχύος να παράγεται από τις κεντρικές μονάδες και να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, πράγμα το οποίο θα εισήγαγε μεγάλες απώλειες ισχύος στο σύστημα.

Η παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνει γενικά την τάση στην περιοχή όπου εγκαθίσταται. Έτσι, σε περιοχές όπου υπάρχει πρόβλημα με το επίπεδο της τάσης, μπορεί να συνεισφέρει θετικά.

Τα κυριότερα, λοιπόν, οφέλη αξιοπιστίας που προσφέρουν είναι υποστήριξη και σταθερότητα στην παροχή τάσης, αξιοπιστία άεργου ισχύος, μείωση απωλειών και εφεδρεία για απρόβλεπτα φαινόμενα.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, που είναι τα σημαντικότερα που αποκομίζουμε από τη διεσπαρμένη παραγωγή και ορισμένα τεχνικά, υπάρχουν και σημαντικά οικονομικά οφέλη που προκύπτουν.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής προκαλεί μείωση των απωλειών του δικτύου, πράγμα που έχει τελικά οικονομικό αντίκτυπο όπως είναι φανερό, αφού απαιτείται μικρότερη παραγωγή από τις κεντρικές μονάδες και έτσι έχουμε μείωση των απωλειών στη μεταφορά. Ακόμα, η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην τοποθεσία στην οποία χρησιμοποιείται, ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό μέρος (πάνω από 30%) του συνολικού κόστους του ηλεκτρισμού.

Η λειτουργία πολλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, μπορεί υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις να οδηγήσει σε μείωση της τιμής του ρεύματος που πληρώνει ο καταναλωτής. Εξάλλου, η ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο δίνει μεγαλύτερη ποικιλία επιλογών για προμήθεια ενέργειας, επιτρέποντας στους πελάτες να βρουν την καλύτερη και την πιο οικονομικά συμφέρουσα λύση για μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

Ένα ακόμα οικονομικό όφελος που μπορούμε να αποκομίσουμε από την τοποθέτηση διεσπαρμένης παραγωγής προκύπτει από τη δυνατότητα που δίνεται για αναβολή σε επενδύσεις του δικτύου. Συγκεκριμένα, το όφελος αυτό προκύπτει από την εξής διαδικασία: Η τοποθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα έχει ως συνέπεια τη μείωση του ρεύματος σε κάποιο άλλο σημείο του δικτύου προς την μεριά της παραγωγής, και λαμβάνοντας υπόψη την αυξητική τάση του φορτίου, το ρεύμα θα επιστρέψει στην τιμή αυτή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να αναβληθεί η επένδυση σε κάποιο μετασχηματιστή ή η αναβάθμιση των καλωδίων μεταφοράς που βρίσκονται κοντά στο όριο τους, ως προς τη δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερης ποσότητας ρεύματος.

Η διεσπαρμένη παραγωγή παρέχει επίσης πολλά οικονομικά οφέλη στους καταναλωτές που έχουν θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής, 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 Ενέργειας.

Τα οικονομικά οφέλη συνεπώς, περιλαμβάνουν πιθανή μείωση στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, μείωση στη ζήτηση καυσίμων με μία επακόλουθη μείωση και στην τιμή τους. Άλλα οικονομικά οφέλη προς την κοινωνία μπορεί να είναι μία γενική πτώση των τιμών, χάρη στο μικρότερο κόστος παραγωγής προϊόντων.

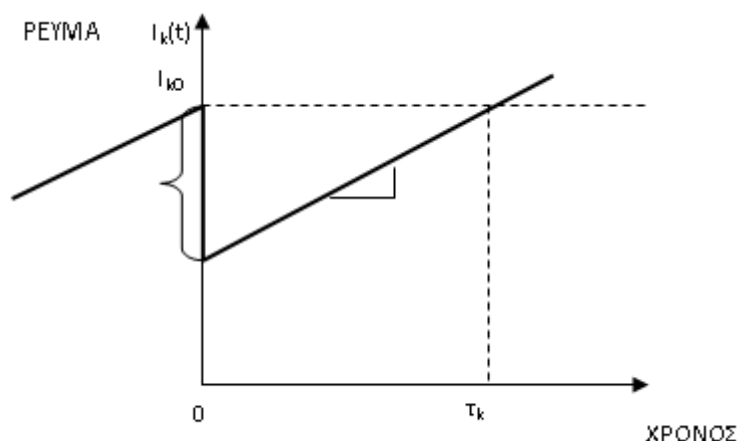
Από την επενδυτική σκοπιά του θέματος είναι πρακτικά πιο εύκολο να βρεθούν τοποθεσίες για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και άλλες διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής από ότι για ένα μεγάλο, κεντρικό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος και μάλιστα οι μονάδες αυτές είναι πιο εύκολο και κυρίως πιο γρήγορο να συνδεθούν στο δίκτυο. Κάποια από τα παραπάνω οφέλη περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

#### **4.5.1. Χρόνος Αναβολής της Επένδυσης**

Οι επιχειρήσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παραδοσιακά ακολουθούσαν την αύξηση του φορτίου, επενδύοντας σε μεγαλύτερους μετασχηματιστές και καλώδια όταν αυτά έφταναν στο όριο λειτουργίας τους από την άποψη της ποσότητας φορτίου που μπορούσαν να μεταφέρουν. Το κόστος όμως μιας τέτοιας κίνησης μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα, ειδικά στα κέντρα των μεγάλων πόλεων. Επομένως με την εγκατάσταση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής σε συγκεκριμένο σημείο του δικτύου, η αναβάθμιση συγκεκριμένων στοιχείων με μεγάλο κόστος, μπορεί να αναβληθεί για ένα χρονικό διάστημα, εξοικονομώντας χρήματα για τους εμπλεκόμενους φορείς.

Όταν τοποθετηθεί μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο διανομής, σε περιοχή κοντά στην κατανάλωση φορτίου, το ρεύμα που διαρρέει τις γραμμές που βρίσκονται υψηλότερα στο δίκτυο και που κανονικά τροφοδοτούν με ισχύ την περιοχή της κατανάλωσης, θα μειωθεί αφού μέρος της απαιτούμενης ισχύος θα καλύπτεται πλέον από τη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής. Το μέγεθος της μείωσης αυτής θα εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής και τη θέση της μονάδας μέσα στο δίκτυο.

Αν υποθέσουμε ότι το φορτίο αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, μετά την τοποθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής και τη μείωση του ρεύματος, θα περάσει ένα χρονικό διάστημα μέχρι το ρεύμα να ξαναπάρει, εξαιτίας της αύξησης του φορτίου, την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας. Έτσι, θα αναβληθεί κατά αυτό το χρονικό διάστημα η ανάγκη αντικατάστασης ενός μετασχηματιστή ή κάποιου άλλου στοιχείου του δικτύου, σε σχέση με το χρόνο που επρόκειτο να συμβεί κανονικά. Εξαρτάται δηλαδή επιπλέον ο χρόνος αναβολής της επένδυσης, εκτός από το μέγεθος και τη θέση της μονάδας παραγωγής μέσα στο δίκτυο, και από το ρυθμό αύξησης του φορτίου. Στο διάγραμμα 4.2. φαίνεται αυτή η διαδικασία [28]:



*Διάγραμμα 4.2.: Χρόνος Αναβολής Επένδυσης Σε ΣΗΕ Με Διεσπαρμένη Παραγωγή*

Όπως φαίνεται, στο χρόνο 0 τίθεται σε λειτουργία η μονάδα παραγωγής με αποτέλεσμα να μειωθεί το ρεύμα που διαρρέει τη γραμμή  $k$ , όπου μπορεί να βρίσκεται για παράδειγμα ένας μετασχηματιστής που πρόκειται να αντικατασταθεί σύντομα. Θα περάσει επομένως ένα χρονικό διάστημα  $\tau_k$ , μέχρι να φτάσει και πάλι το ρεύμα στην τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας και αυτός θα είναι ο

χρόνος αναβολής της αντικατάστασης του μετασχηματιστή. Από την αναβολή αυτή προκύπτει ένα χρηματικό κέρδος.

Το τελικό όφελος που θα έχουμε από την αναβολή της επένδυσης σχετίζεται επίσης με το κόστος της επένδυσης αλλά και το επιτόκιο με το οποίο θα αλλάζει η αξία του χρήματος με την πάροδο του χρόνου.

Όπως έχει εξηγηθεί μέχρι τώρα, η τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα μείωση του ρεύματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως μπορεί να έχουμε και αύξηση του ρεύματος σε κοντινούς προς τη μονάδα ζυγούς, ακόμα και πάνω από το αποδεκτό όριο. Αυτή η περίπτωση όμως είναι πιο σπάνια.

Για την εκτίμηση του οφέλους από την αναβολή της επένδυσης σε μεγαλύτερους μετασχηματιστές και καλώδια θα πρέπει να μετρηθεί η επίδραση της τοποθέτησης μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο. Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστεί πώς επιδρά η αύξηση του φορτίου κάθε ζυγού του συστήματος στο ρεύμα της γραμμής ως προς την οποία ψάχνουμε την μεταβολή εξαιτίας της τοποθέτησης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Θέλουμε δηλαδή να υπολογίσουμε την ποσότητα [28]

$$\gamma_{ik} = \frac{\partial I_k}{\partial P_{di}} \quad (4.1)$$

που εκφράζει την ευαισθησία του ρεύματος μιας γραμμής  $k$  ως προς μια αύξηση του φορτίου σε ένα ζυγό  $i$ . Υπολογίζοντας την παραπάνω ποσότητα θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε τη μεταβολή του ρεύματος στη γραμμή  $k$  από τις μεταβολές του φορτίου που θα συμβούν στους άλλους ζυγούς του συστήματος.

Ο υπολογισμός της σχέσης 4.1 μπορεί να γίνει εμπειρικά. Συγκεκριμένα, πρώτα γίνεται ένας υπολογισμός της τιμής του ρεύματος στη γραμμή  $k$ , για μια δεδομένη φόρτιση του ζυγού  $i$ . Στη συνέχεια, αυξάνεται το φορτίο κατά ένα ποσοστό μεταξύ του 0.1% και του 1% και γίνεται και πάλι υπολογισμός του ρεύματος. Έτσι η ευαισθησία θα δίνεται από τη σχέση [28]:

$$\gamma_{ik} = \frac{I_{k,TEA} - I_k}{P_{di,TEA} - P_{di}} \quad (4.2)$$

Η ευαισθησία του ρεύματος ως προς το φορτίο μπορεί όμως να υπολογιστεί και αναλυτικά με χρήση της Ιακωβιανής μήτρας της μεθόδου Newton- Raphson της ανάλυσης ροής φορτίου. Στην εργασία αυτή υπολογίζεται η συνάρτηση που δίνει την ευαισθησία μέσω της μεθόδου αυτής και όλοι οι περαιτέρω υπολογισμοί γίνονται με χρήση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτή.

Αφού έχουμε υπολογίσει την ευαισθησία του ρεύματος, μπορούμε πλέον, γνωρίζοντας ορισμένες άλλες παραμέτρους, όπως το ρυθμό αύξησης του φορτίου να υπολογίσουμε το χρόνο αναβολής της επένδυσης και το κέρδος από την αναβολή αυτή.

Έτσι για τον υπολογισμό των οφελών που θα αποκομίσουμε από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αναβολή των επενδύσεων σε μετασχηματιστές και άλλα στοιχεία του δικτύου, θα πρέπει να ακολουθήσουμε την παρακάτω διαδικασία [18]:

- Υπολογισμός του ρεύματος στη γραμμή που μας ενδιαφέρει, μέσω των διαδικασιών της ροής φορτίου, πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.

- Υπολογισμός της ευαισθησίας του ρεύματος αυτού ως προς την αύξηση του φορτίου στους υπόλοιπους ζυγούς του συστήματος.
- Υπολογισμός του ρεύματος στη γραμμή που μας ενδιαφέρει, μέσω των διαδικασιών της ροής φορτίου, μετά την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.
- Υπολογισμός του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους από την αναβολή αυτή.

#### **4.5.2. Αποφυγή Αγοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας βάσει της Οριακής Τιμής Συστήματος λόγω Λειτουργίας μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής σε Ώρες Αιχμής**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας αγοράζουν την ηλεκτρική ενέργεια στην οριακή τιμή συστήματος. Σε περιόδους αιχμής φορτίου, η οριακή τιμή του συστήματος μπορεί να λάβει υψηλές τιμές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, δίνεται η δυνατότητα στους προμηθευτές να αγοράσουν την ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, που θα ορίσουν μια τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν και που αν είναι μικρότερη από την οριακή τιμή συστήματος, οι προμηθευτές έχουν συμφέρον να αγοράσουν. Με τον τρόπο αυτό ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας θα έχει τη δυνατότητα να αποκομίσει σημαντικά οικονομικά οφέλη. Η μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής θα πρέπει να είναι έτοιμη να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν χρειαστεί.

Από την καμπύλη διάρκειας τιμής μπορούμε να βρούμε για ποιες ώρες του χρόνου η οριακή τιμή συστήματος είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή, η οποία θα είναι η τιμή που θα απαιτήσει ο ιδιοκτήτης της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει. Ο προμηθευτής ενέργειας επομένως, αν επιλέξει να αγοράσει ισχύ από τη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής, θα έχει μια εξοικονόμηση χρημάτων ίση με τη διαφορά μεταξύ της οριακής τιμής συστήματος και της τιμής πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από τη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής, για κάθε ώρα που θα κάνει αυτή την επιλογή.

Για τον υπολογισμό επομένως του οικονομικού οφέλους που θα μπορούσε να υπάρξει από την πλευρά του προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας [18], θα πρέπει να βρούμε πρώτα την καμπύλη διάρκειας τιμής. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας την τιμή που θα απαιτήσει ο ιδιοκτήτης της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής μπορούμε να βρούμε για πόσες ώρες μέσα σε ένα έτος θα είναι συμφέρον για τον προμηθευτή να αγοράσει την ηλεκτρική ενέργεια από αυτόν. Ολοκληρώνοντας επομένως τη διαφορά μεταξύ της τιμής της αγοράς και της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας από διεσπαρμένη παραγωγή, για όλες τις ώρες που θα έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή, μπορούμε να βρούμε το όφελος που θα προκύψει.

#### **4.5.3. Οικονομικό όφελος από τη μείωση των απωλειών ισχύος**

Ένα πολύ σημαντικό όφελος που προκύπτει από τη λειτουργία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής σε ένα δίκτυο είναι η μείωση των απωλειών ισχύος [22]. Με την τοποθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής που θα καλύπτει μέρος του φορτίου κοντά στην παραγωγή, το ρεύμα που θα φθάνει από τα ανάντη του

δικτύου, από την κεντρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι μειωμένο. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια τη μείωση και των απωλειών ισχύος. Αν λάβουμε υπόψη μας και το γεγονός ότι οι απώλειες ισχύος εξαρτώνται από το τετράγωνο του ρεύματος, μια μείωση στην τιμή του ρεύματος θα έχει πολλαπλάσιο αποτέλεσμα στην μείωση των απωλειών.

Είναι σαφές πως η μείωση των απωλειών ισχύος είναι κάτι πολύ θετικό για τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι υπεύθυνος για τη διατήρησή τους σε χαμηλά επίπεδα. Παράλληλα, όταν έχουμε μειωμένες απώλειες, το ηλεκτρικό σύστημα θα λειτουργεί με πιο ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο.

Πέραν όμως του τεχνικού αυτού οφέλους, η μείωση των απωλειών ισχύος μπορεί να μεταφραστεί σε σημαντικό οικονομικό όφελος, αφού η ενέργεια αυτή που κανονικά θα χανόταν ως θερμότητα θα είχε αγοραστεί από τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας στην οριακή τιμή συστήματος.

Το επιπλέον αυτό όφελος θα πρέπει να αποδοθεί, στο κομμάτι που του αναλογεί, στον ιδιοκτήτη της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς αυτός είναι που δημιουργήσε αυτό το επιπλέον όφελος και αν του αποδοθεί αυτό το επιπλέον κέρδος, θα έχει εντονότερο κίνητρο για επένδυση. Έτσι, αφού για να μπορέσει να αναπτυχθεί η αγορά της ενέργειας και να υπάρξει μεγαλύτερη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει πρόσφορο περιβάλλον για επενδύσεις, αυτό το επιπλέον όφελος που προκύπτει από τη μείωση των απωλειών θα πρέπει να αποδοθεί στους προμηθευτές, ώστε να αποτελέσει ένα ακόμα κίνητρο για επενδύσεις.

Για τον υπολογισμό του οφέλους εξαιτίας της μείωσης των απωλειών ισχύος από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, θα πρέπει αρχικά να βρούμε τον τρόπο που μεταβάλλονται οι απώλειες από την τοποθέτηση αυτών των μονάδων στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπολογίσουμε την ευαισθησία των απωλειών ισχύος ως προς την ισχύ κάθε ζυγού που θα έχουμε μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής. Η ευαισθησία αυτή εκφράζεται με την παρακάτω σχέση [18]:

$$\gamma_i = \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{DGi}} \quad (4.3)$$

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ο υπολογισμός της ευαισθησίας μπορεί να γίνει με εμπειρικό τρόπο, μεταβάλλοντας λίγο την τιμή της ισχύος στο ζυγό που μας ενδιαφέρει και μετρώντας την αρχική και τελική κατάσταση των απωλειών. Μπορεί όμως να υπολογιστεί και αναλυτικά με χρήση της Ιακωβιανής μήτρας της μεθόδου Newton-Raphson της ανάλυσης ροής φορτίου, που είναι και ο τρόπος που χρησιμοποιήσαμε και περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Έχοντας πλέον υπολογίσει τον τρόπο που μεταβάλλονται οι απώλειες ισχύος σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, μπορούμε να υπολογίσουμε πλέον το οικονομικό όφελος που θα προκύψει. Για να πράξουμε κάτι τέτοιο θα πρέπει να υπολογίσουμε τις ώρες του έτους που θα έχουμε λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος για αυτές τις ώρες, αφού αυτή η τιμή είναι αυτή που θα αποφύγουμε να πληρώσουμε.

#### **4.5.4. Βελτίωση του επιπέδου της τάσης**

Είναι συνηθισμένο σε ορισμένα σημεία του δικτύου να έχουμε τιμή τάσης αρκετά χαμηλότερη από την ονομαστική. Αυτή η πτώση τάσης μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα στους καταναλωτές, από κακή λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών μέχρι και κίνδυνο καταστροφής τους ή επικίνδυνα φαινόμενα για τους χρήστες. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να διατηρείται η τάση σε ένα επίπεδο κοντά στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας.

Η τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής θα έχει ως συνέπεια την ανύψωση της τάσης στην περιοχή γύρω από την περιοχή λειτουργίας τους, με θετικά κατά κανόνα αποτελέσματα για το δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό θα πλησιάσουν οι τάσεις στους ζυγούς πιο πολύ προς την ονομαστική τους τιμή. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει ο κίνδυνος να ξεπεραστεί η ονομαστική τάση. Κατά κανόνα όμως απλά θα πλησιάσει στην ονομαστική, παραμένοντας μικρότερη από αυτή.

Για τον υπολογισμό της μεταβολής της τάσης από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, θα πρέπει να υπολογίσουμε την ευαισθησία της τάσης ως προς τη μεταβολή της ισχύος στους ζυγούς που μας ενδιαφέρουν, τους ζυγούς δηλαδή που θα έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στο υπό εξέταση δίκτυο. Η ευαισθησία αυτή περιγράφεται από την παρακάτω σχέση [18]:

$$\gamma_i = \frac{\partial V}{\partial P_{DGi}} \quad (4.4)$$

Αφού υπολογίσουμε την ευαισθησία, διαδικασία που πραγματοποιούμε και πάλι αναλυτικά με χρήση της Ιακωβιανής μήτρας της μεθόδου Newton-Raphson, μπορούμε να βρούμε τη μεταβολή της τάσης. Αρχικά βρίσκουμε πως επιδρά κάθε ζυγός, στον οποίο έχουμε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην τάση και στη συνέχεια αθροίζουμε τις μεταβολές που προκαλούνται από κάθε μονάδα ώστε να βρούμε την τελική τιμή τάσης.

#### **4.5.5. Οφέλη από τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος λόγω αυξημένης διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής**

Στην αγορά ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αρχίζουν να παράγουν από τη φθηνότερη στην ακριβότερη, μέχρι να ικανοποιηθεί η ζήτηση. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα καθοριστεί από τις μονάδες που εισέρχονται τελευταίες στην παραγωγή και που θα είναι οι ακριβότερες. Επομένως μια εκτεταμένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής θα μπορούσε να έχει ως συνέπεια τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος για όλους τους φορείς μέχρι και τον τελικό καταναλωτή. Για να μπορούμε να πούμε όμως πως πράγματι θα επηρεαστεί η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος από την παρουσία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, θα πρέπει να έχουμε διείσδυση σε αρκετά μεγάλο βαθμό.

Η μεταβολή στην τιμή του ρεύματος, αν αυτή θα επιτευχθεί, θα είναι κατά πάσα πιθανότητα μικρή, αλλά το όφελος αυτό θα επηρεάσει μεγάλο πλήθος φορέων. Εκτός από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, επωφελείται και ο τελικός καταναλωτής, ενώ το όφελος αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την



ανάπτυξη επενδυτικών προγραμμάτων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές.

Για τον υπολογισμό του πιθανού οικονομικού οφέλους, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την καμπύλη τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος σαν συνάρτηση της ζήτησης. Αν έχουμε αυτή την καμπύλη και μπορούμε να την εκφράσουμε με μια αναλυτική συνάρτηση θα έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το πιθανό όφελος. Συγκεκριμένα, από το ρυθμό μεταβολής της τιμής σε σχέση με τη μεταβολή της ζήτησης, μπορούμε να βρούμε πόσο θα μειωθεί η τιμή από μια μείωση της ζήτησης, που θα ισοδυναμεί με την ένταξη διεσπαρμένης παραγωγής στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **4.6. Μειονεκτήματα της Διεσπαρμένης Παραγωγής**

Η εισαγωγή των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής ενέργειας, σε ευρεία κλίμακα, εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα έχει και μια σειρά μειονεκτημάτων, τα οποία αν αγνοηθούν μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία των δικτύων με επακόλουθα αρνητικά οικονομικά και περιβαλλοντολογικά αποτελέσματα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, δεν έχει φθάσει σε επίπεδο να μπορεί να ανταγωνιστεί οικονομικά τις μεγάλες μονάδες παραγωγής, με αποτέλεσμα να απαιτείται επιχορήγηση από το κράτος για να μπορεί η επένδυση σε αυτές να είναι βιώσιμη. Συγκεκριμένα, ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, συγκριτικά με τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής. Διαφορές όμως υπάρχουν και στα κόστη κεφαλαίου για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής και μπορούν να ποικίλλουν από 1000€/kW έως 20000€/kW, στις τουρμπίνες καύσης και τις κυνέλες καυσίμου αντίστοιχα. Μία άλλη άποψη αναφέρει ότι η αυξανόμενη συμμετοχή της διεσπαρμένης παραγωγής στην εγκατεστημένη παραγωγή θα μειώσει τη διαφοροποίηση των πρωταρχικών αποθεμάτων ενέργειας. Δεδομένου ότι οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής βασίζονται πρωταρχικά στο αέριο, αναμένεται έντονα αυξημένη ζήτηση και εξάρτηση από αυτό. Προβλέπεται λοιπόν το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου (κυρίως φυσικού αερίου) στη διεσπαρμένη παραγωγή να είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι για την κεντρική παραγωγή.

Ο μεγάλος αριθμός μονάδων παραγωγής μπορεί να προκαλέσει, εκτός από τη συνήθη ροή φορτίου από τη Μέση Τάση στη Χαμηλή, επιπλέον ροή φορτίου, από την Χαμηλή Τάση στο δίκτυο Μέσης Τάσης. Αυτή η αμφίδρομη ροή φορτίου, απαιτεί διαφορετικά μέσα προστασίας και στα δύο επίπεδα τάσης. Επιπλέον, η σημαντική προσαρμοστικότητα που προσφέρουν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, προϋποθέτει καλύτερη ανάλυση και μεγαλύτερη προσοχή, όσον αφορά τη διαχείριση και λειτουργία του δικτύου.

Η σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο διανομής μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ποιότητα ισχύος του δικτύου. Συγκεκριμένα, μπορούν να προκληθούν μεταβολές και διακυμάνσεις στην τάση του δικτύου εξαιτίας της μονάδας παραγωγής αλλά και γρήγορες μεταβολές της τάσης που έχουν ως συνέπεια τη διακύμανση της φωτεινότητας των λαμπτήρων πυρακτώσεως και την οπτική ενόχληση από αυτή (flicker). Μπορεί να υπάρξει επίσης και αρμονική παραμόρφωση

στο δίκτυο εξαιτίας αυτών των εγκαταστάσεων παραγωγής. Για να μην υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις από τα παραπάνω, έχουν θεσπιστεί ορισμένοι κανόνες και όρια στις διακυμάνσεις της τάσης και της αρμονικής παραμόρφωσης που πρέπει να τηρούνται ώστε να δίνεται η δυνατότητα στις μονάδες να συνδέονται στο δίκτυο.

Επιπλέον, η συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης από τις διεσπαρμένες γεννήτριες θα μπορούσε να προκαλέσει την αποσύνδεση υγιών γραμμών στις οποίες συνδέονται οι γεννήτριες αυτές, 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 αυτο-απόσβεση σφαλμάτων με την μορφή τόξου. Αφετέρου, μπορεί όμως να γίνει αυτόματη επανάζευξη της γραμμής όταν οι γεννήτριες έχουν χάσει το συγχρονισμό τους με το δίκτυο, με ενδεχόμενες καταστρεπτικές συνέπειες για τις γεννήτριες. Η τροφοδοσία γραμμών αποσυνδεδεμένων από το δίκτυο λόγω σφαλμάτων Μέσης και Χαμηλής Τάσης από διεσπαρμένες γεννήτριες, μπορεί να προκαλέσει πιθανή ζημιά στους καταναλωτές, λόγω των μεγάλων αποκλίσεων της τάσης και της συχνότητας από τις ονομαστικές τους τιμές.

Πολλές φορές δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής πρόβλεψη για την ικανότητα παραγωγής συγκεκριμένων εγκαταστάσεων παραγωγής, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα αιολικά πάρκα. 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 υπάρξουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και απώλεια της παραγωγής εξαιτίας της φύσης ορισμένων πηγών, όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος. 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. Η ισχύς εξόδου των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής εμφανίζει, σύμφωνα με τα παραπάνω, αρκετές δυσκολίες, ως προς την πρόβλεψη της, με αποτέλεσμα να προκύπτουν επιζήμιες και δυσμενείς συνέπειες στους μετέχοντες σε αυτήν.

Τέλος, 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. Κάποιοι πιστεύουν πως η μεγάλη διείσδυση και χρήση σταθμών κατανεμημένης παραγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα την 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, η επικινδυνότητα των πυρηνικών σταθμών, ή η υψηλή στάθμη θορύβου και η οπτική ρύπανση που μπορεί να προκαλεί μια ανεμογεννήτρια. Πολλές φορές μπορούν να υπάρξουν προβλήματα σε σχέση με τοπικούς παράγοντες, από τους οποίους μπορεί να εμφανιστούν αντιδράσεις που θα δυσχεράνουν, θα καθυστερήσουν ή ακόμα και θα ματαιώσουν την τοποθέτηση εγκαταστάσεων παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε συγκεκριμένες τοποθεσίες.

Συνοπτικά λοιπόν, η εισαγωγή των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής ενέργειας, σε ευρεία κλίμακα, είναι πιθανό να οδηγήσει σε 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 οι υπερφορτίσεις στο δίκτυο προέρχονται, πλέον, από πολλαπλές πηγές, και δεν μπορούν να εντοπιστούν, ανεξάρτητα, τα εκάστοτε σφάλματα του δικτύου.

## **4.7. Τεχνικά Ζητήματα Σύνδεσης Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής Στο Δίκτυο**

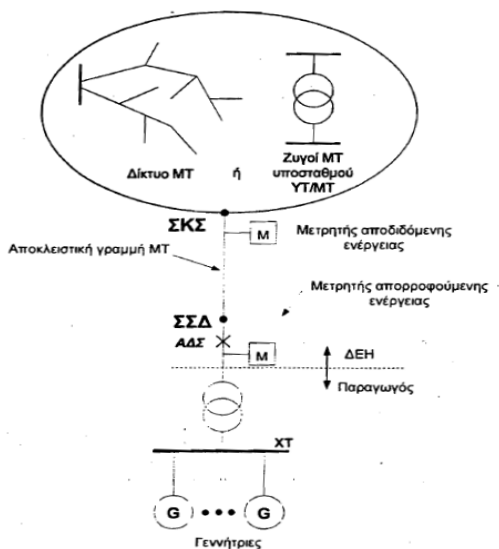
### **4.7.1. Σύνδεση Παραγωγών Στο Δίκτυο [12]**

#### **4.7.1.1. Ορισμοί-βασικές έννοιες**

Σημείο σύνδεσης στο δίκτυο (ΣΣΔ) είναι το σημείο του δικτύου Χαμηλής ή Μέσης Τάσης όπου συνδέονται οι εγκαταστάσεις του παραγωγού και βρίσκεται πάντοτε στην έξοδο των εγκαταστάσεων αυτών. Στο ΣΣΔ εγκαθίσταται η διάταξη μέτρησης της ενέργειας, την οποία απορροφούν οι εγκαταστάσεις του παραγωγού από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η ενέργεια που αποδίδει ο παραγωγός στο δίκτυο και αυτή που απορροφά από το δίκτυο ως καταναλωτής, μεταφέρεται πάντοτε μέσω της ίδιας παροχής.

Σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ) είναι το πλησιέστερο προς της εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου στο οποίο συνδέεται ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά άλλος καταναλωτής ή παραγωγός. Το ΣΚΣ αποτελεί το σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των προκαλούμενων επιπτώσεων στο δίκτυο από την εγκατάσταση παραγωγής.

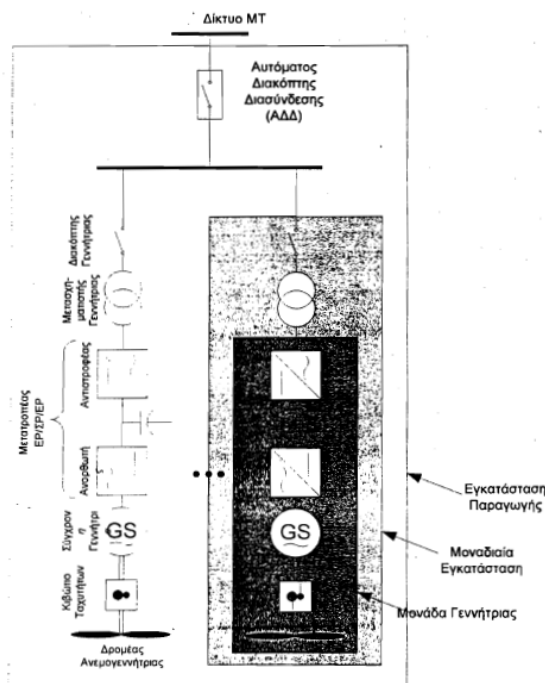
Γενικά, το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο και το σημείο κοινής σύνδεσης μπορεί να είναι διαφορετικά. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση των παραγωγών οι οποίοι συνδέονται μέσω αποκλειστικής γραμμής, το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο βρίσκεται στο πλησιέστερο προς τον παραγωγό άκρο της γραμμής, ενώ το σημείο κοινής σύνδεσης μπορεί να ληφθεί στο άλλο άκρο της γραμμής.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.8.: ΣΗΜΕΙΟ ΚΟΙΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.**

Ορίζεται επίσης και το σημείο μεταβίβασης ευθύνης ως το σημείο του δικτύου που αποτελεί το όριο διαχωρισμού αρμοδιοτήτων και ευθύνης μεταξύ ΔΕΗ και παραγωγού και είναι συνήθως οι ακροδέκτες των μετασχηματιστών εντάσεως της μέτρησης προς την πλευρά του παραγωγού.

Αυτόματος διακόπτης διασύνδεσης είναι το στοιχείο εκείνο που επιτρέπει την απομόνωση των εγκαταστάσεων παραγωγής από το δίκτυο. Ο ΑΔΔ ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού (ηλεκτρονόμων προστασίας).



**ΕΙΚΟΝΑ 4.9.: ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ.**

Ως εγκατάσταση παραγωγής, ορίζεται ένα τμήμα εγκατάστασης στο οποίο υπάρχουν μία ή περισσότερες μονάδες γεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων και όλων των απαιτούμενων για την λειτουργία τους ηλεκτρικών διατάξεων και συσκευών. Μια εγκατάσταση είναι δυνατό να αποτελείται αποκλειστικά από μία εγκατάσταση παραγωγής ή να περιλαμβάνει και φορτία.

Μοναδιαία εγκατάσταση είναι το τμήμα της εγκατάστασης που περιλαμβάνει μία μονάδα γεννήτριας, συμπεριλαμβανομένων και όλων των απαιτούμενων για την λειτουργία της ηλεκτρικών διατάξεων και συσκευών. Όριο της μοναδιαίας εγκατάστασης είναι το σημείο στο οποίο είναι συνδεδεμένη με άλλη μοναδιαία εγκατάσταση, ή με την υπόλοιπη εγκατάσταση, ή με το δημόσιο δίκτυο. Η εγκατάσταση παραγωγής είναι δυνατό να αποτελείται αποκλειστικά από μία μοναδιαία εγκατάσταση.

Η λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής προκαλεί μεταβολές της τάσης στο σημείο κοινής σύνδεσης καθώς και σε άλλα σημεία του δικτύου, οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν παρενόχληση λόγω flicker (η προκαλούμενη οπτική ενόχληση από τις διακυμάνσεις της φωτεινότητας λαμπτήρων πυρακτώσεως) σε άλλους καταναλωτές.

#### **4.7.1.2. Γενικές αρχές και προϋποθέσεις σύνδεσης**

Η σύνδεση των παραγωγών στο δίκτυο διανομής είναι αποδεκτή όταν δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ισχύος που παρέχεται στους άλλους συνδεδεμένους, δεν διαταράσσει την ορθή λειτουργία των μέσων ρύθμισης και προστασίας του δικτύου και δεν δημιουργεί προβλήματα ασφαλείας σε πρόσωπα και άλλες εγκαταστάσεις. Η εξασφάλιση των προϋποθέσεων αυτών επιτυγχάνεται με διαδικασίες τεχνικής αξιολόγησης και με την τήρηση των απαιτήσεων που τίθενται αναφορικά με τον εξοπλισμό της διασύνδεσης εγκαταστάσεων παραγωγής δικτύου και τις συνθήκες παραλληλισμού και ζεύξης.

- Πιστοποιητικά μετρήσεων και δεδομένων της εγκατάστασης

Για την εφαρμογή των μεθοδολογιών εξέτασης που περιγράφονται απαιτούνται αναλυτικά στοιχεία για το μέγεθος, τον τύπο και τα ειδικότερα χαρακτηριστικά των γεννητριών που πρόκειται να συνδεθούν στο δίκτυο, πολλά από τα οποία προαπαιτούν την διεξαγωγή εκτενών μετρήσεων. Για το σκοπό αυτό, κατά την φάση της έκδοσης της Άδειας Εγκατάστασης, οι παραγωγοί υποβάλλουν στις αρμόδιες υπηρεσίες καταστάσεις στοιχείων, παραμέτρων και πιστοποιητικών δοκιμών της εγκατάστασής τους. Εάν οι τιμές ορισμένων συντελεστών και δεικτών (πχ. μεταβολής της τάσης, ρεύματος ζεύξης και άλλα) δεν είναι διαθέσιμοι, τότε η εξέταση γίνεται με την χρήση τυπικών τιμών. Από την άλλη πλευρά, η ΔΕΗ παρέχει στους παραγωγούς πληροφορίες για την δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας των μονάδων τους με το δίκτυο, για τις αναγκαίες ενισχύσεις/επεκτάσεις του δικτύου και για τον απαιτούμενο εξοπλισμό προστασίας και τις μετρητικές διατάξεις.

- Επάρκεια δικτύου

Είναι αυτονόητο ότι η βασικότερη προϋπόθεση για τη σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο είναι η επάρκεια των στοιχείων του δικτύου (υποσταθμού, μετασχηματιστών και γραμμών). Εάν οι υφιστάμενες γραμμές δεν επαρκούν (ή εάν προκύπτουν ανεπίτρεπτες διαταραχές στην τάση του δικτύου), τότε εξετάζονται κατά σειρά οι ακόλουθες λύσεις:

1. Ενίσχυση του υφιστάμενου δικτύου Μέσης Τάσης.
2. Απευθείας σύνδεση στους ζυγούς Μέσης Τάσης του υποσταθμού Υψηλής Τάσης ή Μέσης Τάσης μέσω αποκλειστικής γραμμής.
3. Προσθήκη νέου μετασχηματιστή Υψηλής/Μέσης Τάσης.
4. Κατασκευή ιδιαίτερου υποσταθμού Υψηλής/Μέσης Τάσης (οπότε η σύνδεση πραγματοποιείται απευθείας στο δίκτυο Υψηλής Τάσης).

Ο τρόπος σύνδεσης μίας δεδομένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της. Δηλαδή οι 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 μία εγκατάσταση παραγωγής, οι οποίοι εφαρμόζονται κατά την εξέταση, ασχέτως των λοιπών τεχνικών κριτηρίων:

- Εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 100kW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης.
- Εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 20MW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο Μέσης Τάσης.

Γενικά, η επιλογή του τρόπου σύνδεσης αποτελεί αντικείμενο τεχνοοικονομικής εξέτασης, λαμβάνοντας υπόψη, αφενός το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη την διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ). Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ενδεικτικά και μόνο ο πιθανός ή προτιμητέος τρόπος διασύνδεσης ανάλογα με την ισχύ του σταθμού:

Ενδεικτική συμφωνημένη ισχύς (MW)	Πιθανός τρόπος σύνδεσης στο δίκτυο
έως 0.1	Δίκτυο ΧΤ
έως 4	Δίκτυο ΜΤ, σε υφιστάμενη γραμμή (με πιθανή ενίσχυσή της)
έως 6	Δίκτυο ΜΤ, μέσω αποκλειστικής γραμμής απλού κυκλώματος
έως 20	Δίκτυο ΜΤ, μέσω αποκλειστικής γραμμής διπλού κυκλώματος
άνω των 20	Δίκτυο ΥΤ, με κατασκευή ιδιαίτερου Υ/Σ ανύψωσης ΥΤ/ΜΤ

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.: ΠΡΟΤΙΜΗΤΕΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ.**

- Επιλογή του σημείου εξέτασης των επιπτώσεων στην ποιότητα τάσης του δικτύου

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ποιότητα τάσης του δικτύου, τα κριτήρια και οι προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων είναι οι προκαλούμενες διακυμάνσεις της τάσης, καθώς και οι εκπομπές flicker και αρμονικών. Η εξέταση πραγματοποιείται στο σημείο κοινής σύνδεσης, το οποίο δεν βρίσκεται κατ' ανάγκη στην έξοδο των εγκαταστάσεων (δηλαδή δεν συμπίπτει με το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο). Είναι συνεπώς δυνατό οι απαιτήσεις ποιότητας τάσης που τίθενται να μην ικανοποιούνται σε σημεία του δικτύου πλησιέστερα προς τις εγκαταστάσεις παραγωγής. Είναι πάντως σκόπιμο να τηρούνται τα όρια των κανονισμών ακόμη και στο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων του παραγωγού, με επίπτωση βέβαια στο κόστος των έργων διασύνδεσης. Επίσης σημειώνεται ότι τα όρια του προτύπου EN50160, πρέπει υποχρεωτικώς να ικανοποιούνται σε κάθε σημείο του δικτύου, ακόμη και κατά μήκος της ιδιαίτερης γραμμής σύνδεσης των εγκαταστάσεων παραγωγής.

Εκτός από τις επιπτώσεις στην ποιότητα της τάσης, οι προς σύνδεση εγκαταστάσεις πρέπει να εξασφαλίζεται ότι δεν παρενοχλούν την λειτουργία των συστημάτων τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας (ΤΑΣ) (ή άλλων ανάλογων συστημάτων) του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή το σημείο εξέτασης είναι γενικά το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο των εγκαταστάσεων, δεδομένου ότι συστήματα ΤΑΣ μπορεί να χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μετρητικών διατάξεων εγκατεστημένων στην έξοδο των εγκαταστάσεων παραγωγής.

Εάν οι απαιτήσεις που τίθενται δεν ικανοποιούνται πρέπει να επιλεγεί σημείο σύνδεσης με μεγαλύτερη ισχύ βραχυκυκλώσεως (σημείο πλησιέστερο προς τον υποσταθμό, επαύξηση της ικανότητας του δικτύου μέσω ενισχύσεων ή κατασκευή νέων γραμμών ή σύνδεση στους ζυγούς του υποσταθμού μέσω αποκλειστικής γραμμής). Στην περίπτωση μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής μπορεί να είναι αναγκαία η σύνδεση στο σύστημα Υψηλής Τάσης μέσω ανεξάρτητου μετασχηματιστή Υψηλής Τάσης ή Μέσης Τάσης ή ιδιαίτερου υποσταθμού Υψηλής/Μέσης Τάσης. Ανάλογα πάντως με την προκαλούμενη διαταραχή, μπορεί να υπάρχουν και άλλες εναλλακτικές λύσεις, τεχνικά αρτιότερες και χαμηλότερου κόστους. Γενικά, πρέπει να ενθαρρύνεται η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, οι οποίες μπορούν να συνεισφέρουν στην βελτίωση της ποιότητας ισχύος των δικτύων και στην αύξηση του βαθμού διείδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής.

Εάν μετά την σύνδεση και την έναρξη της λειτουργίας των μονάδων του παραγωγού διαπιστωθούν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία διατάξεων του δικτύου ή ανεπίτρεπτες διαταραχές της τάσης εξαιτίας των εγκαταστάσεων του, ο παραγωγός είναι γενικά υποχρεωμένος να πάρει τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα.

### Μέσα ζεύξης και προστασίας

Τα μέσα ζεύξης/απόζευξης και προστασίας της διασύνδεσης παραγωγού-δικτύου έχουν ιδιαίτερη σημασία για την εξασφάλιση της συνεργασίας με τις διατάξεις προστασίας του δικτύου και την αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων. Συγκεκριμένα το σύστημα προστασίας του παραγωγού θα πρέπει να συνεργάζεται με το σύστημα προστασίας του δικτύου, ώστε σφάλματα σε οποιαδήποτε πλευρά να ανιχνεύονται σωστά και να διορθώνονται. Οι ρυθμίσεις των μέσων προστασίας θα πρέπει να εξασφαλίζουν την άμεση απόζευξη των γεννητριών σε περίπτωση σφάλματος, ώστε να μην υφίσταται κίνδυνος απομονωμένης λειτουργίας των

εγκαταστάσεων. Για την προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής από υψηλές υπερεντάσεις και μηχανικές καταπονήσεις, όταν στο δίκτυο χρησιμοποιούνται διατάξεις αυτόματου επανοπλισμού, η απόζευξη θα πρέπει να επιτυγχάνεται πριν την λειτουργία επαναφοράς των διακοπών του δικτύου.

Προκειμένου να αποφευχθούν κίνδυνοι για το προσωπικό, που μπορεί να εκτελεί εργασίες σε τμήμα του δικτύου κοντά στις εγκαταστάσεις παραγωγής, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αυτόματη ή χειροκίνητη απομόνωση των εγκαταστάσεων του παραγωγού, όποτε αυτό είναι αναγκαίο. Επίσης ζητείται η διασύνδεση να διαθέτει μέσο ορατής απόζευξης με ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου προσιτό ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό της ΔΕΗ.

Η ζεύξη περισσότερων γεννητριών σε ένα σημείο σύνδεσης είναι εφικτή και αποδεκτή, πρέπει όμως να αποφεύγεται η ταυτόχρονη εκκίνηση τους. Στη περίπτωση εγκαταστάσεων με σύγχρονες γεννήτριες για την αποφυγή υπερεντάσεων και βυθίσεων της τάσης του δικτύου, οι γεννήτριες δεν παραλληλίζονται άμεσα στο δίκτυο αλλά εκκινούν μέσω ηλεκτρονικού εκκινητή. Εάν χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες ή μετατροπείς ελεγχόμενης τάσης εξόδου, τότε είναι αναγκαία η ύπαρξη διάταξης παραλληλισμού (κατά προτίμηση αυτόματου), η οποία επιτρέπει την ζεύξη των εγκαταστάσεων μόνο όταν οι συνθήκες φυσικής απόκλισης των διανυσμάτων των τάσεων εκατέρωθεν του διακόπτη διασύνδεσης (ΑΔΔ) το επιτρέπουν.

#### Διατάξεις μέτρησης

Η μέτρηση της αποδιδόμενης στο δίκτυο ενέργειας πραγματοποιείται γενικά στο σημείο κοινής σύνδεσης, όπου γίνεται και η εξέταση των επιπτώσεων από την λειτουργία των εγκαταστάσεων (πρακτικώς στο άκρο της ιδιαίτερης γραμμής του παραγωγού). Η μέτρηση της καταναλισκόμενης ενέργειας από φορτία των εγκαταστάσεων του παραγωγού γίνεται στο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο. Στην περίπτωση όπου η αποκλειστική γραμμή έχει πολύ μικρό μήκος, η θέση των δύο μετρητών μπορεί να είναι κοινή, στην έξοδο των εγκαταστάσεων του παραγωγού. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί μετρητές για την αποδιδόμενη και την απορροφούμενη ενέργεια, ακόμη και για συνδέσεις στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης, παρότι για την τελευταία περίπτωση εξετάζεται το ενδεχόμενο να επιτραπεί η χρήση κοινού μετρητή (net metering). Η ενέργεια που αποδίδει ο παραγωγός στο δίκτυο και αυτή που απορροφά από το δίκτυο ως καταναλωτής μεταφέρεται μέσω της ίδιας παροχής.

#### **4.8. Οικονομικά Ζητήματα Σύνδεσης Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής Στο Δίκτυο**

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 μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. 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 της αγοράς 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. 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.

## **Τρέχουσες τιμολογήσεις δικτύων [22]**

### **1. Κόστη και χρεώσεις σύνδεσης.**

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, επέκτασης ή και ενίσχυσης του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου και κάποιου επιτοκίου για την απόσβεση του κεφαλαίου. Από την πλευρά της διεσπαρμένης παραγωγής, δύο βασικά ερωτήματα ανακύπτουν: πρώτον, το επίπεδο της τάσης στο οποίο πρέπει να συνδεθεί ο παραγωγός, καθότι αυτό επηρεάζει άμεσα την βιωσιμότητα ή μη των διαφόρων σεναρίων παραγωγής ενέργειας και 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 δίκτυο, οπότε οι διαχειριστές του δικτύου προτιμούν αυτή την λύση. Αυτοί οι αντικρουόμενοι στόχοι πρέπει να μελετηθούν και να σταθμιστούν κατάλληλα.

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, 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 βασίζεται στο γεγονός 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 βασίζονται τις χρεώσεις χρήσεις του δικτύου στην κατανάλωση της εγκατάστασης σε kVA, αποθαρρύνοντας ουσιαστικά την κατανάλωση άεργου ισχύος. Οι χρεώσεις της άεργου ισχύος είναι κατάλοιπο των παλαιότερων δικτύων διανομής και δεν έχουν λογική θέση σε ένα δίκτυο διανομής με διανεμημένη παραγωγή.

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 να θέσουμε εκτός λειτουργίας ένα μέρος της εγκατάστασης διεσπαρμένης παραγωγής. Αυτό θα επέτρεπε στον παραγωγό να συνδεθεί σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης και να εισπράξει 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 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 εξέλιξης 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 να μην είναι απλό να βρεθεί το κόστος μίας γραμμής σύνδεσης, αλλά η σύνδεση αυτή μπορεί να επιβάλλει 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 το κόστος 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 περίπτωσης βαθιάς τιμολόγησης, οφείλεται τελικά σε όλους τους παραγωγούς, κεντρικούς και διανεμημένους και κανονικά η τελευταία εγκατάσταση που συνδέθηκε και αποτέλεσε την 'αφορμή' για την αντικατάσταση δεν θα έπρεπε να πληρώσει όλο το κόστος αντικατάστασης. Θα έπρεπε να υπολογιστεί η συνεισφορά όλων των παραγωγών και να μοιραστεί αντίστοιχα το κόστος αντικατάστασης. Ουσιαστικά λοιπόν τα κόστη αντικατάστασης θα έπρεπε να υπάγονται στα κόστη χρήσης του δικτύου και όχι στα κόστη σύνδεσης. Εάν συνέβαινε αυτό, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής θα πλήρωναν το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους αντικατάστασης. Στην πραγματικότητα σήμερα, οι κεντρικοί παραγωγοί δεν χρεώνονται τα κόστη αντικατάστασης.

### Χρεώσεις συστήματος διανομής

Οι χρεώσεις για την χρήση του συστήματος διανομής είναι τέτοιες ώστε να καλύπτεται το κόστος της κάλυψης της ζήτησης των καταναλωτών αλλά και να διευκολύνεται ο ανταγωνισμός 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 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 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 λαμβάνεται υπόψη από την υποψήφια προς εφαρμογή πολιτική τιμολόγησης.

#### Ασφάλεια δικτύου, ποιότητα υπηρεσιών και διεσπαρμένη παραγωγή

Για την ασφάλεια του συστήματος χρησιμοποιούνται κυρίως ντετερμινιστικές προσεγγίσεις. Αυτές είναι όμως ακατάλληλες για την εκτίμηση της ασφάλειας των συστημάτων με διεσπαρμένη παραγωγή. Έχει αναφερθεί και προηγουμένως ότι λόγω της θέσης τους κοντά στον καταναλωτή, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής ουσιαστικά ανταγωνίζονται τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Όμως, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι σε μεγάλο βαθμό μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με στοχαστική έξοδο και άρα όχι διαθέσιμες κάθε χρονική στιγμή. Έτσι αποκλείεται να καταλήξουν τελικά να αντικαταστήσουν πλήρως τα δίκτυα διανομής. Η λογική για αυτό το συμπέρασμα είναι ότι τις χρονικές στιγμές που οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν θα είναι σε θέση να παράξουν ενέργεια, η απαιτούμενη ενέργεια θα πρέπει να μεταφερθεί από το κεντρικό δίκτυο. Τότε, θα χρησιμοποιηθεί το δίκτυο μεταφοράς και θα απαιτηθεί να έχει τις ίδιες απαιτήσεις ασφάλειας όπως αν δεν υπήρχαν συνδεδεμένες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Στα συστήματα με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και με πολλές, διαφορετικού τύπου μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, είναι μάλλον απίθανο όλες οι μονάδες να μην παράγουν τις ίδια ακριβώς χρονική στιγμή.

Έτσι για την εύρεση της πραγματικής επίδρασης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής πρέπει να υιοθετηθούν πιθανοτικές μέθοδοι αντί των ντετερμινιστικών. Με τις πιθανοτικές μεθόδους, σε κάθε στοιχείο του δικτύου συμπεριλαμβανομένων και των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, θα δίδεται ένας δείκτης διαθεσιμότητας. Δημιουργείται έτσι ένα πρόβλημα, που συνίσταται στην κάλυψη της ζήτησης και στην τήρηση κατάλληλων περιθωρίων ασφαλείας, έχει ως παραμέτρους το κόστος κεφαλαίου, το κόστος λειτουργίας κλπ, και λύνεται με στοχαστική βελτιστοποίηση.

#### Κατανομή απωλειών σε δίκτυα με διεσπαρμένη παραγωγή

Η σύνδεση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μεταβάλλει τις ροές φορτίου και άρα και τις απώλειες στην μεταφορά του ηλεκτρισμού κατά μήκος του δικτύου. Γενικά, έχουν προταθεί πολλές μεθοδολογίες για την κατανομή των απωλειών. Οι μεθοδολογίες που βασίζονται στα οριακά κόστη είναι οι πλέον κατάλληλες και πρέπει να πληρούν τους κάτωθι στόχους:

- Οικονομική αποδοτικότητα: οι απώλειες πρέπει να κατανέμονται με τρόπο που να αντανakλά το πραγματικό κόστος απωλειών κάθε χρήστη.
- Ισότητα, ακρίβεια και συνέπεια: τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί μία ορθή μέθοδος κατανομής απωλειών.
- Χρήση πραγματικών δεδομένων προερχόμενων από μετρήσεις.
- Μέθοδος απλή στην κατανόηση και στην πραγματοποίησή της.

Οι χρονικές και τοπικές μεταβολές πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην μέθοδο κατανομής των απωλειών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο**

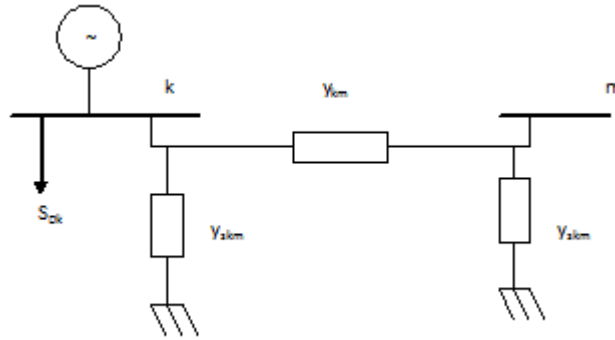
### **ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝ ΤΗΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

## 5.1. Υπολογισμός του χρόνου αναβολής επένδυσης σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας λόγω διεσπαρμένης παραγωγής

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής και του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης σε μετασχηματιστές του δικτύου. Η ανάλυση ροής φορτίου με τη μέθοδο Newton - Raphson και ο υπολογισμός της εναισθησίας του ρεύματος ενός ζυγού ως προς όλους τους ζυγούς του δικτύου υλοποιήθηκε με το πρόγραμμα Matlab.

### 5.1.1. Μελέτη ροής φορτίου

Έστω το παρακάτω Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας:



ΕΙΚΟΝΑ 5.1.: ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Το  $m$  είναι το σύνολο των ζυγών που είναι συνδεδεμένοι με τον ζυγό  $k$ . Η γραμμή μεταξύ των ζυγών  $k$  και  $m$  παριστάνεται από το ισοδύναμο κύκλωμα  $\Pi$  όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα. Το ρεύμα μεταξύ του ζυγού  $k$  και του ζυγού  $m$  είναι:

$$\tilde{I}_{km} = (y_{skm} + y_{km}) \cdot \tilde{V}_k - y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (5.1)$$

Σύμφωνα με το νόμο ρευμάτων του Kirchhoff θα έχουμε:

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \sum_{m \in a(k)} \tilde{I}_{km} \quad (5.2)$$

όπου  $a(k)$  είναι το σύνολο των ζυγών που συνδέονται με το ζυγό  $k$ . Επομένως:

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm} + y_{km}) - \sum_{m \in a(k)} y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (5.3)$$

Αν θέσουμε

$$\tilde{I}_{Dk} = \frac{\tilde{S}_{Dk}^*}{\tilde{V}_k^*} \quad \text{και} \quad \tilde{I}_{Gk} = \frac{\tilde{S}_{Gk}^*}{\tilde{V}_k^*} \quad (5.4)$$

θα έχουμε:

$$\tilde{S}_{Gk} - \tilde{S}_{Dk} = \left| \tilde{V}_k \right|^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm}^* + y_{km}^*) - \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} y_{km}^* \cdot \tilde{V}_m^* \quad (5.5)$$

Επιλέγοντας να παρουσιάσουμε τις εξισώσεις ροής φορτίου σε υβριδική μορφή θα θέσουμε:

$$\tilde{V} = V \cdot e^{j\delta} \quad (5.6)$$

$$y = g + jb \quad (5.7)$$

Αντικαθιστώντας στην προηγούμενη εξίσωση και κάνοντας τις απαραίτητες πράξεις και χωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη θα πάρουμε:

$$P_{Gk} - P_{Dk} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{skm} + g_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)] \quad (5.8)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = -V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (b_{skm} + b_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)] \quad (5.9)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αποτελούν τις εξισώσεις ροής φορτίου. Κάθε ζυγός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από ένα τέτοιο ζεύγος εξισώσεων. Έτσι, για ένα σύστημα με n ζυγούς θα υπάρχουν 2n τέτοιες εξισώσεις.

Οι ζυγοί του συστήματος ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τα μεγέθη (Ενεργός Ισχύς, Άεργος Ισχύς, Μέτρο Τάσης, Γωνία Τάσης) που θεωρούνται γνωστά σε κάθε περίπτωση. Έτσι, έχουμε:

- **Ζυγός Ταλάντωσης:** Θεωρούμε γνωστή την τάση κατά μέτρο και γωνία ενώ υπολογίζονται η ενεργός και άεργος ισχύς. Ουσιαστικά η παραγωγή ισχύος του ζυγού ταλάντωσης καλύπτει τις απώλειες ισχύος του συστήματος ώστε να έχουμε ισοζύγιο ισχύος μεταξύ παραγωγής, κατανάλωσης και απωλειών.
- **Ζυγός Παραγωγής:** Θεωρούμε γνωστό το μέτρο της τάσης και την έγχυση πραγματικής ισχύος, ενώ υπολογίζουμε τη γωνία της τάσης και την άεργο ισχύ.
- **Ζυγός Φορτίου:** Θεωρούμε γνωστά την ενεργό και την άεργο ισχύ και υπολογίζουμε την τάση κατά μέτρο και γωνία.

Θεωρούμε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με n ζυγούς. Θεωρούμε ως ζυγό 1 τον ζυγό ταλάντωσης για τον οποίο γνωρίζουμε την τάση κατά μέτρο και γωνία. Οι ζυγοί από 2 ως n-m είναι ζυγοί παραγωγής και υπόλοιποι ζυγοί φορτίου. Για να περιγραφεί το σύστημα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές οι γωνίες της τάσης για όλους τους ζυγούς εκτός από το ζυγό ταλάντωσης και το μέτρο της τάσης για τους ζυγούς φορτίου. Έτσι το διάνυσμα κατάστασης x θα είναι:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \\ V_{n-m+1} \\ V_{n-m+2} \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Θα έχουμε επομένως n-1 εξισώσεις έγχυσης πραγματικής ισχύος, της μορφής 5.8, και m εξισώσεις έγχυσης άεργου ισχύος της μορφής 5.9. Πρέπει να επιλύσουμε το σύστημα αυτό των εξισώσεων για να βρούμε τις ισχύεις και τις τάσεις σε όλους τους ζυγούς. Επιλέχθηκε η επίλυση να γίνει με τη μέθοδο Newton - Raphson.

### 5.1.2. Μέθοδος Newton-Raphson

Έστω το παρακάτω σύστημα εξισώσεων προς επίλυση:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (5.11)$$

Έστω μια αρχική λύση του συστήματος:

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$$

Γραμμικοποιώντας τις εξισώσεις 5.11 γύρω από τον αρχική λύση του συστήματος:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 - x_1^{(0)} \\ x_2 - x_2^{(0)} \\ \vdots \\ x_n - x_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

(5.12)

Η μήτρα με τις μερικές παραγώγους ονομάζεται Ιακωβιανή. Έτσι μπορούμε να εκφράσουμε την προηγούμενη εξίσωση στη μορφή:

$$\underline{y} = f(\underline{x}(0)) + J(0) \cdot (\underline{x} - \underline{x}(0)) \quad (5.13)$$

Επομένως:

$$\underline{x} = \underline{x}(0) + J(0)^{-1} \cdot (\underline{y} - f(\underline{x}(0))) \quad (5.14)$$

Μπορούμε έτσι να βρούμε μια νέα λύση έχοντας μια αρχική και ύστερα από ορισμένο αριθμό ανακυκλώσεων να βρούμε μια ικανοποιητικά ακριβή λύση.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω μέθοδο για το πρόβλημα ροής φορτίου θέτοντας:

$$f_{Pk} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{skm} + g_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)] \quad (5.15)$$

$$f_{Qk} = -V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (b_{skm} + b_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)] \quad (5.16)$$

μπορούμε να βρούμε τον επαναληπτικό αλγόριθμο που θα μας οδηγήσει στη λύση:

$$\begin{bmatrix} \underline{\delta} \\ \underline{V} \end{bmatrix}^{n+1} = \begin{bmatrix} \underline{\delta} \\ \underline{V} \end{bmatrix}^n + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_P}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_P}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{V}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \underline{P}_G - \underline{P}_D - f_P \\ \underline{Q}_G - \underline{Q}_D - f_Q \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Αφού ολοκληρώσουμε τις επαναλήψεις θα γνωρίζουμε τις γωνίες και το μέτρο για την τάση σε όλους τους ζυγούς του συστήματος. Μπορούμε τώρα να



υπολογίσουμε και την άεργο ισχύ για τους ζυγούς παραγωγής, όπως και την ενεργό και άεργο ισχύ του ζυγού ταλάντωσης ώστε να γνωρίζουμε τελικά την τάση κατά μέτρο και γωνία και την ενεργό και άεργο ισχύ σε όλους τους ζυγούς.

### **5.1.3. Ανάλυση Ευαισθησίας [27],[28]**

Έστω μια γραμμική συνάρτηση  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$ , όπου η μεταβλητή  $\underline{x}$  είναι διάνυσμα, που αποτελείται από τις γωνίες  $\delta$  των ζυγών φορτίου και παραγωγής και του μέτρου της τάσης μόνο των ζυγών φορτίου:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \\ V_{n-m+1} \\ V_{n-m+2} \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

και η μεταβλητή  $\underline{u}$  είναι ένα διάνυσμα που μπορεί να εκφράζει τάση γεννητριών, την ενεργό ή άεργο ισχύ που παράγει ή απορροφά κάποιος ζυγός, και άλλα μεγέθη. Για μια συνάρτηση δύο μεταβλητών το διαφορικό αυτής εκφράζεται από τη σχέση:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy \quad (5.19)$$

άρα

$$\frac{df}{dx} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dx} \quad (5.20)$$

Εφαρμόζοντας τη σχέση 5.20 για τη συνάρτηση  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$  θα πάρουμε:

$$\frac{d\phi(x, u)}{du_i} = \frac{\partial\phi(x, u)}{\partial u_i} + \left[ \frac{\partial\phi(x, u)}{\partial x} \right]^T \cdot \frac{dx}{du_i} \quad (5.21)$$

Η σχέση που συνδέει το  $\underline{x}$  με το  $\underline{u}$  είναι οι εξισώσεις ροής φορτίου (σχέσεις 5.8, 5.9), οι οποίες μπορούν να τεθούν στη μορφή:

$$g(\underline{x}, \underline{u}) = 0 \quad (5.22)$$

Διαφορίζοντας την παραπάνω σχέση ως προς  $\underline{u}$  θα έχουμε:

$$\frac{dg(x, u)}{du_i} = 0 \Rightarrow \frac{\partial g(x, u)}{\partial u_i} + \left[ \frac{\partial g(x, u)}{\partial x} \right] \cdot \frac{dx}{du_i} = 0 \quad (5.23)$$

$$\frac{dx}{du_i} = - \left[ \frac{\partial g(x, u)}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g(x, u)}{\partial u_i} \quad (5.24)$$

και αντικαθιστώντας την παραπάνω σχέση στην 5.21:

$$\frac{d\phi(x,u)}{du_i} = \frac{\partial\phi(x,u)}{\partial u_i} - \left[ \frac{\partial\phi(x,u)}{\partial x} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial g(x,u)}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g(x,u)}{\partial u_i} \quad (5.25)$$

Η σχέση 5.25 εκφράζει επομένως την ευαισθησία της συνάρτησης  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$  ως προς μια μεταβλητή  $u_i$ , το πόσο θα μεταβληθεί δηλαδή η συνάρτηση  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$  από μια μεταβολή στη μεταβλητή  $u_i$ .

Η συνάρτηση  $g$  εκφράζει τις εξισώσεις ροής φορτίου και αυτές παραγωγιζόμενες ως προς το διάνυσμα  $\mathbf{x}$  σχηματίζουν την Ιακωβιανή μήτρα που έχει ήδη υπολογιστεί με τη μέθοδο Newton - Raphson στην ανάλυση ροής φορτίου. Έτσι, η παράγωγος αυτή είναι σταθερή ανεξάρτητα από το ποια συνάρτηση  $\phi$  μας ενδιαφέρει και ως προς ποια μεταβλητή  $u_i$  εξετάζουμε την ευαισθησία της. Αντίθετα καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά και το σημείο λειτουργίας του δικτύου το οποίο εξετάζουμε.

#### 5.1.4. Υπολογισμός της ευαισθησίας του ρεύματος [27],[28]

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ευαισθησίας του ρεύματος που διαρρέει μια γραμμή του δικτύου μεταξύ των ζυγών  $k$  και  $r$ . Συγκεκριμένα πρέπει να υπολογίσουμε τη συνάρτηση που εκφράζει την παράγωγο του ρεύματος στη γραμμή  $k-r$  ως προς την ενεργό ισχύ φορτίου του ζυγού  $i$ , δηλαδή:

$$\frac{dI_{k-r}}{dP_{di}}$$

Το ρεύμα που διαρρέει την γραμμή μεταξύ των ζυγών  $k$  και  $r$  εκφράζεται ως:

$$\tilde{I}_{kr} = (y_{skr} + y_{kr}) \cdot \tilde{V}_k - y_{kr} \cdot \tilde{V}_r \quad (5.26)$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (5.6) και (5.7) η σχέση (5.26) θα γίνει:

$$I_{kr} = V_k \cdot [(g_{skr} + g_{kr}) \cdot \cos \delta_k - (b_{skr} + b_{kr}) \cdot \sin \delta_k] - V_r \cdot [g_{kr} \cdot \cos \delta_r - b_{kr} \cdot \sin \delta_r] + j \cdot [V_k [(g_{skr} + g_{kr}) \cdot \sin \delta_k + (b_{skr} + b_{kr}) \cdot \cos \delta_k] - V_r (g_{kr} \cdot \sin \delta_r + b_{kr} \cdot \cos \delta_r)] \quad (5.27)$$

Για τον υπολογισμό της ευαισθησίας του ρεύματος μας ενδιαφέρει το μέτρο του ρεύματος, επομένως η συνάρτηση που μας ενδιαφέρει είναι:

$$I_{kr} = \sqrt{\text{real}(\tilde{I}_{kr})^2 + \text{imag}(\tilde{I}_{kr})^2} \quad (5.28)$$

Αν εφαρμόσουμε τη σχέση (5.25) για το μέτρο του ρεύματος ως προς το φορτίο θα έχουμε:

$$\frac{dI_{k-r}}{dP_{di}} = \frac{\partial I_{k-r}}{\partial P_{di}} - \left[ \frac{\partial I_{k-r}}{\partial x} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial g}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g}{\partial P_{di}} \quad (5.29)$$

όπου  $\mathbf{x}$  το διάνυσμα 5.18, και  $g$  οι εξισώσεις ροής φορτίου στη μορφή  $g = 0$ .

Από την παραπάνω σχέση μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε την ευαισθησία του ρεύματος ως προς το φορτίο, αρκεί να υπολογίσουμε τα επιμέρους

στοιχεία που την αποτελούν, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που δίνουν το μέτρο του ρεύματος που διαρρέει τη γραμμή k-r και τις εξισώσεις ροής φορτίου:

- Ο παράγοντας  $P_{di}$  δεν εμφανίζεται στη σχέση 5.28, άρα  $\frac{\partial I_{k-r}}{\partial P_{di}} = 0$ .
- Η μερική παράγωγος του μέτρου του ρεύματος ως προς το διάνυσμα  $x$  περιλαμβάνει τις παραγωγούς ως προς τη γωνία  $\delta$  για τους ζυγούς φορτίου και τους ζυγούς παραγωγής και ως προς την τάση  $V$  μόνο για τους ζυγούς φορτίου. Μπορούμε εύκολα να κάνουμε τους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τη σχέση 5.27. Έτσι, θα έχουμε τα παρακάτω:

$$\frac{\partial I_{k-r}}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_k} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_r} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial I_{k-r}}{\partial V_{n-m+1}} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_{k-r}}{\partial V_n} \end{bmatrix} \quad (5.30)$$

$$\frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_x} = 0, \quad x \neq k, r$$

$$\frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_k} = \frac{\text{real}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot V_k \cdot [-(g_{skr} + g_{kr}) \cdot \sin \delta_k - (b_{skr} + b_{kr}) \cdot \cos \delta_k]}{I_{k-r}} + \frac{\text{imag}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot V_k \cdot [(g_{skr} + g_{kr}) \cdot \cos \delta_k - (b_{skr} + b_{kr}) \cdot \sin \delta_k]}{I_{k-r}}$$

$$\frac{\partial I_{k-r}}{\partial \delta_r} = \frac{\text{real}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot V_r \cdot [g_{kr} \cdot \sin \delta_r + b_{kr} \cdot \cos \delta_r]}{I_{k-r}} - \frac{\text{imag}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot V_r \cdot [g_{kr} \cdot \cos \delta_r - b_{kr} \cdot \sin \delta_r]}{I_{k-r}}$$

$$\frac{\partial I_{k-r}}{\partial V_k} = \frac{\text{real}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot [(g_{skr} + g_{kr}) \cdot \cos \delta_k - (b_{skr} + b_{kr}) \cdot \sin \delta_k]}{I_{k-r}} + \frac{\text{imag}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot [(g_{skr} + g_{kr}) \cdot \sin \delta_k + (b_{skr} + b_{kr}) \cdot \cos \delta_k]}{I_{k-r}}$$

$$\frac{\partial I_{k-r}}{\partial V_r} = \frac{-\text{real}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot [g_{kr} \cdot \cos \delta_r - b_{kr} \cdot \sin \delta_r] - \text{imag}(\tilde{I}_{k-r}) \cdot V_r \cdot [g_{kr} \cdot \sin \delta_r + b_{kr} \cdot \cos \delta_r]}{I_{k-r}}$$

- Η συνάρτηση  $g$  εκφράζει τις εξισώσεις ροής φορτίου, οι οποίες παραγωγίζονται ως προς το διάνυσμα  $x$  θα μας δώσουν την Ιακωβιανή μήτρα της μεθόδου Newton – Raphson, η οποία δεν εξαρτάται από τη συνάρτηση του ρεύματος ή από το ζυγό ως προς τον οποίο θέλουμε να εκφράσουμε τη μεταβολή της ισχύος, αλλά είναι σταθερή για όλα τα  $I_{kr}$  και  $P_{di}$ . Εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του δικτύου και το επίπεδο λειτουργίας του. Έτσι θα έχουμε:

$$\frac{\partial g}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_p}{\partial \delta} & \frac{\partial f_p}{\partial V} \\ \frac{\partial f_q}{\partial \delta} & \frac{\partial f_q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (5.31)$$

- Έστω ότι ο ζυγός ταλάντωσης βρίσκεται στη θέση  $num$ :

$$\frac{\partial g}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i - 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν } num < i \quad \text{ή} \quad \frac{\partial g}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν } num > i \quad (5.32)$$

Μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε τα μεγέθη  $\frac{\partial I_{k-r}}{\partial P_{di}}$ ,  $\frac{\partial I_{k-r}}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial P_{di}}$  και τελικά τη σχέση 5.29, που θα μας δώσει την ευαισθησία του μέτρου του ρεύματος της γραμμής  $k-r$  ως προς τη μεταβολή του φορτίου σε ένα ζυγό  $i$ .

### **5.1.5. Χρόνος αναβολής της επένδυσης [27],[28]**

Έχοντας υπολογίσει την ευαισθησία του ρεύματος της γραμμής  $k-r$  ως προς μια μεταβολή φορτίου στο ζυγό  $i$ , μπορούμε να συνεχίσουμε τους υπολογισμούς για τον χρόνο αναβολής της επένδυσης σε μετασχηματιστές ή καλώδια του δικτύου και το κέρδος από την αναβολή αυτή. Η ευαισθησία ως γνωστό είναι:

$$\gamma_{ikr} = \frac{\partial I_{k-r}}{\partial P_{di}} \quad (5.33)$$

Στη μεταβολή του ρεύματος συνεισφέρουν όλοι οι ζυγοί στους οποίους έχουμε μεταβολή του φορτίου με το χρόνο. Έτσι, το μέγεθος της συνολικής μεταβολής του ρεύματος της γραμμής  $k-r$  θα προκύπτει από το άθροισμα των μεταβολών του φορτίου όλων των ζυγών  $i$ , καθεμιάς πολλαπλασιασμένης με την αντίστοιχη ευαισθησία, θα έχουμε δηλαδή

$$dI_{k-r} = \sum_i \gamma_{ikr} \cdot dP_{di} \quad (5.34)$$

Όπως έχει εξηγηθεί και προηγουμένως, το φορτίο αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, έστω με ένα ρυθμό  $\sigma_i$  για κάθε ζυγό. Τότε, η αύξηση του φορτίου για το ζυγό  $i$ , είναι:

$$dP_{di} = \sigma_i \cdot dt \quad (5.35)$$

Ο ρυθμός αύξησης του φορτίου μπορεί να μην είναι σταθερός, αλλά να μεταβάλλεται με το χρόνο, ενώ η ευαισθησία του ρεύματος να εξαρτάται από το φορτίο. Άρα:

$$dI_{k-r} = \sum_i \gamma_{ikr}(P_d) \cdot \sigma_i(t) \cdot dt \quad (5.36)$$

Μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα μειωθεί το ρεύμα που διαρρέει τη γραμμή  $k-r$  σε σχέση με την τιμή του πριν την τοποθέτηση της μονάδας. Έστω ότι η μείωση αυτή είναι  $\Delta I_{krm}$ . Επομένως, μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε το χρονικό διάστημα  $\tau_k$  που θα πρέπει να παρέλθει ώστε το ρεύμα να λάβει και πάλι την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Η τιμή του ρεύματος αυξάνεται σύμφωνα με τη σχέση 5.36 και εμείς θέλουμε να υπολογίσουμε το χρονικό διάστημα  $\tau_k$  που απαιτείται για να αυξηθεί το ρεύμα κατά  $\Delta I_{krm}$ , έτσι θα έχουμε τη σχέση

$$\int_0^{\tau_k} \sum_i \gamma_{ik}(P_{di}) \sigma_i(t) dt = \Delta I_{km} \quad (5.37)$$

Αν υποθέσουμε πως ο συντελεστής ευαισθησίας έχει σταθερή τιμή, πράγμα που δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, όπως και ο ρυθμός αύξησης φορτίου μπορούμε εύκολα να επιλύσουμε τη σχέση 5.37. Σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε:

$$\tau_k = \frac{\Delta I_{km}}{\sum_i \gamma_{ik} \cdot \sigma_i} \quad (5.38)$$

Για να υπολογίσουμε επομένως το χρόνο αναβολής υπολογίζουμε μέσω της ροής φορτίου την τιμή του ρεύματος και μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας την ευαισθησία του ζυγού  $k$  πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής, ως προς κάθε ζυγό του δικτύου. Τα παραπάνω αποτελέσματα τα λαμβάνουμε με τη βοήθεια των υλοποιημένων στο Matlab προγραμμάτων. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την τιμή του ρεύματος στο ζυγό  $k$  μετά την τοποθέτηση της μονάδας. Θεωρούμε πως η τιμή της ευαισθησίας θα παραμείνει ίδια με πριν, καθώς η τιμή της ευαισθησίας παραμένει σχεδόν σταθερή, ειδικά από μια τόσο μικρή μεταβολή των συνολικών συνθηκών του δικτύου όπως είναι η τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Γνωρίζοντας και τον ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται το φορτίο, εφαρμόζουμε τα δεδομένα αυτά στη σχέση 5.38 και έχουμε πλέον υπολογίσει το  $\tau_k$ , το χρόνο δηλαδή που θα κάνει το ρεύμα του ζυγού  $k$  να ξαναπάρει την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Έχοντας υπολογίσει το χρόνο αναβολής της επένδυσης μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε το χρηματικό όφελος από τη διαδικασία αυτή.

#### **5.1.6. Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης [28]**

Το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης προκύπτει από τη χρονική αξία του χρήματος. Έστω  $C$  το κόστος της επένδυσης για την αντικατάσταση ενός μετασχηματιστή ή ενός καλωδίου σε κάποιο σημείο του δικτύου. Αν η επένδυση πρόκειται να πραγματοποιηθεί μετά από χρόνο  $\tau_k$  εξαιτίας της αναβολής της από την

τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και το επιτόκιο αναγωγής είναι  $\rho$ , τότε η παρούσα αξία της επένδυσης θα είναι

$$PV(\tau_k) = \frac{C}{e^{\rho \cdot \tau_k}} \quad (5.39)$$

Η σχέση 5.39 εκφράζει το κόστος της επένδυσης, αν αυτή πραγματοποιηθεί μετά από χρονικό διάστημα  $\tau_k$ , εκφρασμένο με τη σημερινή αξία των χρημάτων.

Αντίθετα αν δεν είχε γίνει τοποθέτηση διεσπαρμένης μονάδας παραγωγής, η επένδυση θα πραγματοποιούνταν σήμερα και το κόστος αυτής θα ήταν  $C$ . Επομένως, η διαφορά μεταξύ των δύο επενδύσεων εκφρασμένων με την παρούσα αξία είναι το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης. Αυτό μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$B_k(\tau_k) = C(1 - \frac{1}{e^{\rho \tau_k}}) \quad (5.40)$$

Το συνολικό όφελος από τις αναβολές επενδύσεων σε μετασχηματιστές και καλώδια όλου του δικτύου που θα προκληθούν από την τοποθέτηση μιας μονάδας, θα είναι:

$$B = \sum_k C_k (1 - \frac{1}{e^{\rho \tau_k}}) \quad (5.41)$$

Στα παραπάνω έχουμε υποθέσει πως το κόστος για την επένδυση θα είναι  $C$ , είτε αποφασίσουμε να πραγματοποιήσουμε την επένδυση σήμερα, είτε στο μέλλον.

Από τη σχέση 5.40 φαίνεται πως όσο μεγαλύτερο είναι το κόστος της αντικατάστασης των στοιχείων του δικτύου, και όσο μεγαλύτερο το επιτόκιο αναγωγής, τόσο μεγαλύτερο κέρδος θα αποκομίσουμε από την αναβολή της αντικατάστασης αυτής. Προφανώς, για να έχουμε μεγάλο κέρδος θέλουμε και ο χρόνος αναβολής να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλος. Για να έχουμε όμως μεγάλο χρόνο αναβολής θέλουμε να έχουμε μικρό ρυθμό αύξησης του φορτίου, όπως προκύπτει από τη σχέση 5.38. Τέλος για να αυξήσουμε το χρόνο αναβολής και επομένως το κέρδος θέλουμε η μονάδα που θα τοποθετηθεί να είναι σχετικά μεγάλης ισχύος και να τοποθετηθεί σε σημείο του δικτύου με μεγάλη ζήτηση φορτίου ώστε το ρεύμα να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με την τιμή του πριν την τοποθέτησή.

## **5.2. Υπολογισμός οικονομικού οφέλους από την αποφυγή απόκτησης ηλεκτρικής ενέργειας βάσει της οριακής τιμής συστήματος τις ώρες αιχμής**

### **5.2.1. Εισαγωγή**

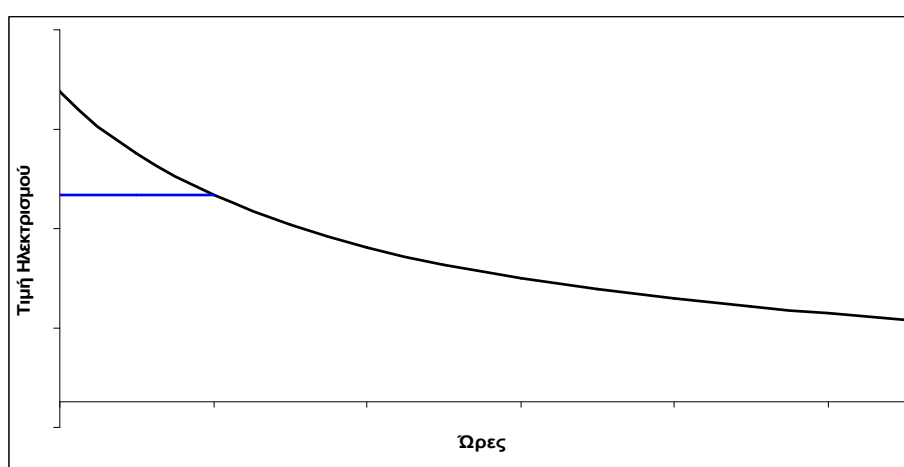
Ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας αποκτά τη διαθέσιμη σε αυτόν για πώληση ηλεκτρική ενέργεια μέσω μακροπρόθεσμων συμβολαίων με παραγωγούς, μέρος όμως αυτής αποκτάται επί τόπου στην ωριαία αγορά. Σε περιόδους όπου έχουμε υψηλή ζήτηση φορτίου ή χαμηλή δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή του ηλεκτρισμού θα είναι αυξημένη. Επομένως, είναι δυνατό, για κάποιες ώρες η τιμή του ηλεκτρισμού στην ωριαία αγορά να είναι μεγαλύτερη από την τιμή που θα απαιτήσει ο ιδιοκτήτης μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Έτσι, καθίσταται συμφέρον για τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας να αγοράσει την ηλεκτρική ενέργεια για αυτό το χρονικό διάστημα από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

### 5.2.2. Υπολογισμός του οφέλους

Η καμπύλη τιμής-διάρκειας ηλεκτρικού ρεύματος αποτυπώνει τις ώρες του έτους για τις οποίες η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση ή μεγαλύτερη από κάποια τιμή. Μια τέτοια καμπύλη φαίνεται παρακάτω. Αν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί ο ιδιοκτήτης της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής είναι  $\lambda_c$ , για τις ώρες του χρόνου που η τιμή της αγοράς θα είναι μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορεί να προμηθεύεται ηλεκτρική ενέργεια από αυτόν, εξασφαλίζοντας όφελος ίσο με τη διαφορά μεταξύ των δύο τιμών για όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Προσεγγίζοντας την καμπύλης διάρκειας-τιμής ηλεκτρικής ενέργειας θεωρώντας η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και  $h$  το πλήθος των ωρών θα έχουμε:

$$\lambda = f(h) \quad (5.42)$$



Διάγραμμα 5.1.: Καμπύλη Διάρκειας-Τιμής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Λύνοντας ως προς  $h$  τη συνάρτηση και αντικαθιστώντας την τιμή  $\lambda_c$  μπορούμε να βρούμε πόσες ώρες σε ένα έτος είναι συμφέρουσα η αγορά ηλεκτρισμού από μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής:

$$h_{opt} = f^{-1}(\lambda_c) \quad (5.43)$$

Το όφελος που θα έχουμε θα είναι η διαφορά μεταξύ της τιμής που ορίζεται από τη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην ωριαία αγορά ηλεκτρισμού, για κάθε ώρα που συμβαίνει αυτό. Το όφελος θα είναι:

$$P_{AV} = \int_0^{h_{opt}} (f(h) - \lambda_c) dh \quad (5.44)$$

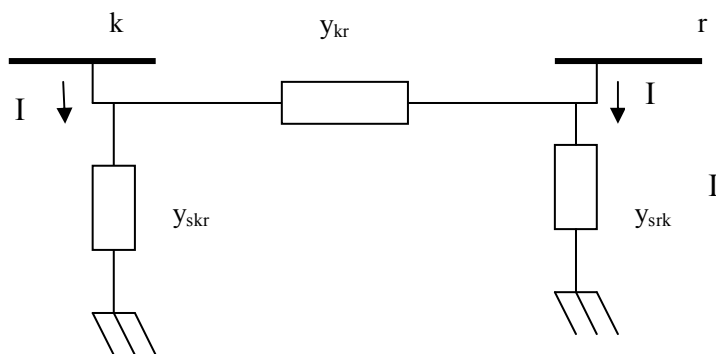
### 5.3. Υπολογισμός του οικονομικού οφέλους από τη μείωση των απωλειών ισχύος λόγω διεσπαρμένης παραγωγής

#### 5.3.1. Υπολογισμός της ευαισθησίας των απωλειών ισχύος

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ευαισθησίας των απωλειών ισχύος μιας γραμμής του δικτύου μεταξύ των ζυγών k και r ως προς την ενεργό ισχύ φορτίου του ζυγού i, δηλαδή:

$$\frac{dP_{k-r}}{dP_{di}}$$

Στο σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζεται μία γραμμή ενός ΣΗΕ. Το  $I_k$  είναι το ρεύμα που εξέρχεται από τον ζυγό k, ενώ το  $I_r$  είναι το ρεύμα που εξέρχεται από τον ζυγό r. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι σε αυτόν τον υπολογισμό θα λάβουμε υπόψη ότι οι τιμές των εγκαρσίων αγωγιμοτήτων δεν έχουν την ίδια τιμή, όπως συνήθως θεωρούμε σε μελέτες ΣΗΕ.



**ΕΙΚΟΝΑ 5.2.: ΓΡΑΜΜΗ ΣΗΕ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΩΝ**

Τα ρεύματα που εξέρχονται από τους ζυγούς k και r αντίστοιχα, εκφράζονται ως:

$$\tilde{I}_k = (y_{skr} + y_{kr}) \cdot \tilde{V}_k - y_{kr} \cdot \tilde{V}_r \quad (5.45)$$

$$\tilde{I}_r = (y_{srkr} + y_{kr}) \cdot \tilde{V}_r - y_{kr} \cdot \tilde{V}_k \quad (5.46)$$

Οι απώλειες της γραμμής k-r μπορούν να εκφραστούν:

$$P_{kr} = \text{Re} \left\{ \tilde{S}_{kr} + \tilde{S}_{rk} \right\} \quad (5.47)$$

ενώ:

$$\text{Re} \left\{ \tilde{S}_{kr} \right\} = \text{Re} \left\{ \tilde{V}_k \tilde{I}_k^* \right\}$$

και με τη χρήση των σχέσεων 5.6 και 5.7, καταλήγουμε:

$$\text{Re} \left\{ \tilde{S}_{kr} \right\} = \text{Re} \left\{ V_k^2 \tilde{y}_{skr}^* + V_k^2 \tilde{y}_{kr}^* - \tilde{V}_k \tilde{V}_r^* \tilde{y}_{kr}^* \right\}$$

$$\Rightarrow \text{Re} \left\{ \tilde{S}_{kr} \right\} = V_k^2 (g_{skr} + g_{kr}) - V_k V_r [g_{kr} \cos(\delta_k - \delta_r) + b_{kr} \sin(\delta_k - \delta_r)] \quad (5.48)$$

Αντίστοιχα, για την αντίστροφη ροή ισχύος έχουμε:



$$\operatorname{Re}\left\{\tilde{S}_{rk}\right\}=\operatorname{Re}\left\{\tilde{V}_r \tilde{I}_r^*\right\}$$

$$\Rightarrow \operatorname{Re}\left\{\tilde{S}_{rk}\right\}=V_r^2\left(g_{srk}+g_{kr}\right)-V_k V_r\left[g_{kr} \cos\left(\delta_k-\delta_r\right)-b_{kr} \sin\left(\delta_k-\delta_r\right)\right] \quad (5.49)$$

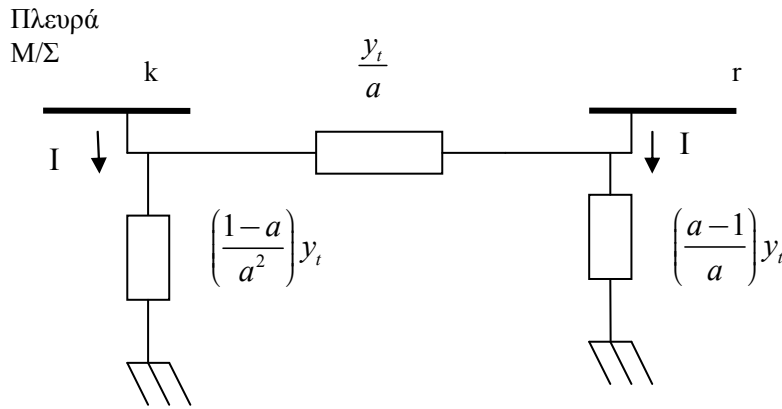
Οπότε, από την σχέση 5.48, προκύπτουν οι απώλειες της γραμμής k-r:

$$P_{kr}=\left(V_k^2+V_r^2\right)g_{kr}+V_k^2g_{skr}+V_r^2g_{srk}-2V_k V_r g_{kr} \cos\left(\delta_k-\delta_r\right) \quad (5.50)$$

Στην περίπτωση που έχουμε ίδια τιμή εγκαρσίων αγωγιμοτήτων ( $g_{skr}=g_{srk}$ ), τότε ο τύπος παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$P_{kr}=\left(V_k^2+V_r^2\right)\left(g_{kr}+g_{skr}\right)-2V_k V_r g_{kr} \cos\left(\delta_k-\delta_r\right) \quad (5.51)$$

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχέση για της απώλειες γραμμής μετασχηματιστή. Το ισοδύναμο – Π μιας γραμμής τέτοιου είδους απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



**ΕΙΚΟΝΑ 5.3.: ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ – Π ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ.**

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι στις θέσεις των αγωγιμοτήτων υπάρχουν ποσότητες συναρτήσει της εν σειρά αγωγιμότητας  $y_t$  του μετασχηματιστή. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι υπάρχουν οι ακόλουθες αντιστοιχίες:

$$y_{kr}=\frac{y_t}{a} \quad y_{skr}=\left(\frac{1-a}{a^2}\right)y_t \quad y_{srk}=\left(\frac{a-1}{a}\right)y_t$$

Συνεπώς, οι απώλειες γραμμής k-r μετασχηματιστή δίνονται από την σχέση:

$$P_{kr}=\left(\frac{V_k^2}{a^2}+V_r^2\right)g_t-2V_k V_r \frac{g_t}{a} \cos\left(\delta_k-\delta_r\right) \quad (5.52)$$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις 5.51 και 5.52, συμπεραίνουμε ότι μπορεί να παραχθεί ένας γενικός τύπος απωλειών είτε για γενική γραμμή ΣΗΕ είτε για γραμμή μετασχηματιστή. Αυτός είναι ο εξής:

$$P_{kr}=\left(\frac{V_k^2}{a^2}+V_r^2\right)\left(g_{kr}+g_{skr}\right)-2V_k V_r \frac{g_{kr}}{a} \cos\left(\delta_k-\delta_r\right) \quad (5.53)$$

Για την περίπτωση γενικής γραμμής, είναι  $a=1$  κι έτσι αναγόμεστε στον τύπο 5.51.

Για την περίπτωση γραμμής μετασχηματιστή, θα ισχύει η αντιστοιχία  $g_{kr} \rightarrow g_t$  καθώς επίσης  $g_{skr}=0$ , οπότε αναγόμεστε στον τύπο 5.52.

Εφαρμόζοντας τη σχέση 5.53 για τις απώλειες ισχύος σε μια γραμμή ως προς τη μεταβολή του φορτίου σε ένα ζυγό του δικτύου θα έχουμε:

$$\frac{dP_{k-r}}{dP_{di}} = \frac{\partial P_{k-r}}{\partial P_{di}} - \left[ \frac{\partial P_{k-r}}{\partial x} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial g}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g}{\partial P_{di}} \quad (5.54)$$

- Ο παράγοντας  $P_{di}$  δεν εμφανίζεται στη σχέση 5.53, επομένως  $\frac{\partial P_{k-r}}{\partial P_{di}} = 0$ .
- Έχουμε:

$$\frac{\partial P_{k-r}}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_k} \\ \vdots \\ \frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_r} \\ \vdots \\ \frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial P_{k-r}}{\partial V_{n-m+1}} \\ \vdots \\ \frac{\partial P_{k-r}}{\partial V_n} \end{bmatrix} \quad (5.55)$$

$$\frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_x} = 0, \quad x \neq k, r$$

$$\frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_k} = 2V_k V_r \frac{g_{kr}}{a} \sin(\delta_k - \delta_r)$$

$$\frac{\partial P_{k-r}}{\partial \delta_r} = -2V_k V_r \frac{g_{kr}}{a} \sin(\delta_k - \delta_r)$$

$$\frac{\partial P_{k-r}}{\partial V_k} = 2 \frac{V_k}{a^2} (g_{kr} + g_{skr}) - 2V_r \frac{g_{kr}}{a} \cos(\delta_k - \delta_r)$$

$$\frac{\partial P_{k-r}}{\partial V_r} = 2V_r (g_{kr} + g_{skr}) - 2V_k \frac{g_{kr}}{a} \cos(\delta_k - \delta_r)$$

- Η συνάρτηση  $g$  εκφράζει τις εξισώσεις ροής φορτίου, οι οποίες παραγωγίζονται ως προς το διάνυσμα  $x$  θα μας δώσουν την Ιακωβιανή μήτρα της μεθόδου Newton- Raphson, που είναι σταθερή για όλα τα  $P_{kr}$  και  $P_{di}$ . Εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του δικτύου και το επίπεδο λειτουργίας του. Έτσι θα έχουμε:

$$\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_p}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_p}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial f_q}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_q}{\partial \underline{V}} \end{bmatrix} \quad (5.56)$$

- Έστω ότι ο ζυγός ταλάντωσης βρίσκεται στη θέση num:

$$\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i - 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν } num < i \quad \text{ή} \quad \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν } num > i \quad (5.57)$$

Μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε τα μεγέθη  $\frac{\partial P_{k-r}}{\partial P_{di}}$ ,  $\frac{\partial P_{k-r}}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}}$ ,  $\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial P_{di}}$  και τελικά την ευαισθησία των απωλειών ισχύος της γραμμής k-r ως προς τη μεταβολή του φορτίου σε ένα ζυγό i.

### **5.3.2. Οικονομικό όφελος από τη μείωση των απωλειών ισχύος**

Έχοντας υπολογίσει την ευαισθησία των απωλειών ισχύος μιας γραμμής ως προς μια μεταβολή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα ζυγό i μπορούμε να εκτιμήσουμε το όφελος που είναι δυνατό να αποκομίσουμε από την μείωση των απωλειών ισχύος. Έχουμε :

$$\gamma_i = \frac{dP_{k-r,i}}{dP_{di}} \Rightarrow dP_{k-r,i} = \gamma_i \cdot dP_{di} \quad (5.58)$$

Για ένα χρονικό διάστημα dh, όπου η οριακή τιμή συστήματος θα είναι λ, θα έχουμε διαφορά στις απώλειες  $dP_{k-r,i}$ , επομένως θα έχουμε τη δυνατότητα να εξοικονομήσουμε  $dP_{k-r,i} \cdot \lambda \cdot dh$  € από μια αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ζυγό i. Αντικαθιστώντας και ολοκληρώνοντας για όλες τις ώρες που θα έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, μπορούμε να βρούμε το συνολικό όφελος από κάθε ζυγό i,

$$S_{AVLi} = \gamma_i \cdot P_{DGi} \int_0^{h_{opt}} \lambda(h) dh \quad \text{€} \quad (5.59)$$

Διαιρώντας την παραπάνω σχέση με  $P_{DGi}$  και με το 1000, αν θεωρήσουμε ότι η οριακή τιμή συστήματος είναι εκφρασμένη σε €/ MWh, μπορούμε να βρούμε το όφελος σε €/KW, ενώ αν διαιρέσουμε επιπλέον με τις ώρες για τις οποίες έχουμε λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μπορούμε να βρούμε το όφελος για κάθε KWh:

$$S_{AVLi} = \frac{\gamma_i}{1000 \cdot h_{opt}} \int_0^{h_{opt}} \lambda(h) dh \quad \text{€/ KWh} \quad (5.60)$$

## 5.4. Υπολογισμός μεταβολής της τάσης εξαιτίας της Διεσπαρμένης Παραγωγής

### 5.4.1. Υπολογισμός της ευαισθησίας της τάσης ως προς τη μεταβολή της ισχύος σε ζυγό του δικτύου

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ευαισθησίας της τάσης του ζυγού k ως προς μια μεταβολή της ισχύος σε ένα ζυγό i του δικτύου.

$$\frac{d\tilde{V}_k}{dP_{di}} \quad (5.61)$$

$$\Rightarrow \frac{d\tilde{V}_k}{dP_{di}} = \frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial P_{di}} - \left[ \frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial x} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial g}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g}{\partial P_{di}} \quad (5.62)$$

Γράφουμε την τάση του ζυγού k στη μορφή:

$$\tilde{V}_k = V_k (\cos \delta_k + j \sin \delta_k) \quad (5.63)$$

Υπολογίζουμε τα επιμέρους στοιχεία που αποτελούν την εξίσωση της ευαισθησίας:

- Ο παράγοντας  $P_{di}$  δεν εμφανίζεται στη σχέση 5.63, επομένως  $\frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial P_{di}} = 0$ .
- Έχουμε:

$$\frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tilde{P}_k}{\partial \delta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial \delta_k} \\ \vdots \\ \frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial V_{n-m+1}} \\ \vdots \\ \frac{\partial V_k}{\partial V_n} \end{bmatrix} \quad (5.64)$$

$$\frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial \delta_x} = 0 \quad , x \neq k, r$$

$$\frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial \delta_k} = -V_k \cdot \sin \delta_k \quad , x=k \quad (5.65)$$

$$\frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial V_x} = 0 \quad , x \neq k, r$$

$$\frac{\partial \tilde{V}_k}{\partial V_k} = \cos \delta_k + j \sin \delta_k \quad , x=k \quad (5.66)$$

- Η Ιακωβιανή μήτρα της μεθόδου Newton-Raphson δεν εξαρτάται από τη συνάρτηση των απωλειών ισχύος ή από το ζυγό ως προς τον οποίο θέλουμε να εκφράσουμε τη μεταβολή της ισχύος, αλλά είναι σταθερή για όλα τα  $P_{kr}$  και  $P_{di}$ . Έτσι θα έχουμε:

$$\frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_P}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_P}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{V}} \end{bmatrix} \quad (5.67)$$

- Έστω ότι ο ζυγός ταλάντωσης βρίσκεται στη θέση num:

$$\frac{\partial \underline{g}}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i - 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν num} < i \quad \text{ή} \quad \frac{\partial \underline{g}}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν num} > i \quad (5.68)$$

Μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε τα μεγέθη  $\frac{\partial P_{k-r}}{\partial P_{di}}$ ,  $\frac{\partial P_{k-r}}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial P_{di}}$  και τελικά την ευαισθησία της τάσης του ζυγού k ως προς τη μεταβολή του φορτίου σε ένα ζυγό i.

#### **5.4.2. Υπολογισμός μεταβολής της τάσης μέσω των συντελεστών ευαισθησίας**

Για μια δεδομένη φόρτιση του δικτύου, για ένα συγκεκριμένο επίπεδο λειτουργίας δηλαδή, θα πρέπει να υπολογίσουμε τους συντελεστές ευαισθησίας της τάσης ως προς κάθε ζυγό στον οποίο έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή. Ήδη από το πρόσημο των συντελεστών ευαισθησίας θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αν η παρουσία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής επιδρά με αυξητικό τρόπο ή όχι στις τάσεις των ζυγών του δικτύου. Για το μέγεθος της μεταβολής θα έχουμε:

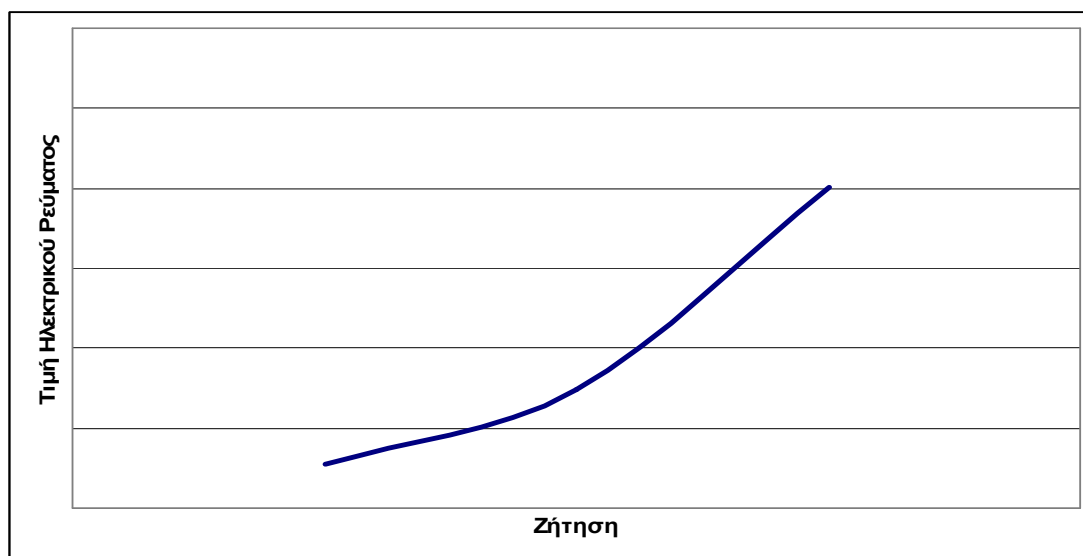
$$\gamma_{ki} = \frac{d\tilde{V}_{ki}}{dP_{di}} \Rightarrow \tilde{V}_{ki}' = \gamma_{ki} \cdot (-\Delta P_{DG}) + \tilde{V}_{ki} \quad (5.69)$$

Συνδυάζοντας τις μεταβολές που θα προκληθούν από όλες τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής θα έχουμε για τη συνολική μεταβολή στην τάση ενός ζυγού k:

$$\tilde{V}_k' = \sum_i (\gamma_{ki} \cdot (-\Delta P_{DG})) + \tilde{V}_{ki} \quad (5.70)$$

### 5.5. Υπολογισμός του οικονομικού οφέλους από τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της Διεσπαρμένης Παραγωγής

Η καμπύλη τιμής ηλεκτρικού ρεύματος- ζήτησης ισχύος αποτυπώνει το πως μεταβάλλεται η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος σε σχέση με την αύξηση της ζήτησης. Γενικά καθώς μεγαλώνει το φορτίο θα έχουμε και αύξηση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος, κάτι που είναι λογικό. Μια τυπική μορφή της καμπύλης αυτής φαίνεται στη συνέχεια:



Διάγραμμα 5.2.: Καμπύλη Ζήτησης-Τιμής Του Ηλεκτρικού Ρεύματος

Προσεγγίζοντας την καμπύλη από μια αναλυτική συνάρτηση, θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη μείωση της τιμής  $\lambda$  του ηλεκτρικού ρεύματος από την παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής που θα εκφραστεί ως μείωση της ζήτησης  $d$ . Θα θεωρήσουμε πως η καμπύλη μπορεί να προσεγγιστεί από μια εκθετική συνάρτηση, μια συνάρτηση δηλαδή της μορφής:

$$\lambda(d) = C \cdot e^{\sigma d} \quad (5.71)$$

όπου  $\lambda$ : η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος,  $d$ : η ζήτηση,  $C$ ,  $\sigma$ : σταθερές της συνάρτησης.

Μια μεταβολή στη ζήτηση του ηλεκτρικού ρεύματος θα έχει ως συνέπεια μια αντίστοιχη μείωση στην τιμή και η μεταβολή αυτή θα πραγματοποιηθεί με ρυθμό:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial d} = C \cdot \sigma \cdot e^{\sigma d} \quad (5.72)$$

Η μεταβολή επομένως της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος για μικρές αποκλίσεις της ζήτησης ισχύος γύρω από το επίπεδο στο οποίο έχει υπολογιστεί η σχέση 5.71 θα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\Delta \lambda \approx C \cdot \sigma \cdot e^{\sigma d} \cdot \Delta d \quad (5.73)$$

Θεωρώντας τη παραγωγή ισχύος από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής σαν μείωση της ζήτησης ισχύος, η μείωση στην τιμή του ρεύματος εξαιτίας της παρουσίας

δισπαρμένης παραγωγής μια δεδομένη ώρα του χρόνου  $j$  θα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\Delta\lambda_j \approx C \cdot \sigma \cdot e^{\sigma t} \cdot P_{DG} \quad \text{€} \quad / \quad \text{MWh} \quad (5.74)$$

Είναι φανερό πως η παραπάνω σχέση θα ισχύει για μικρές μόνο διεισδύσεις δισπαρμένης παραγωγής, αφού δεν είναι γραμμική.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που αγοράζεται από τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω συμβολαίων με προκαθορισμένες τιμές πώλησης. Είναι σαφές ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται με αυτό τον τρόπο θα μείνει ανεπηρέαστη. Η τιμή που είναι δυνατό να επηρεαστεί από τη διείσδυση δισπαρμένης παραγωγής, αν βέβαια έχουμε αρκετά σημαντική διείσδυση ικανή να επηρεάσει τις τιμές, είναι αυτή που σχετίζεται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από την ωριαία αγορά. Η ζήτηση από την ωριαία αγορά αποτελεί ένα ποσοστό μόνο της συνολικής ζήτησης ισχύος. Θα συμβολίσουμε το ποσοστό αυτό της ζήτησης με  $\rho$ .

Επομένως για μια ώρα του χρόνου  $j$ , όπου θα έχουμε αγοραπωλησίες στην ωριαία αγορά ισχύος  $\rho \cdot d_j$  το όφελος θα είναι:

$$S_{PRj} = C \cdot \sigma \cdot e^{\sigma t} \cdot P_{DG} \cdot \rho \cdot d_j \quad (5.75)$$

Για όλες τις ώρες του χρόνου επομένως για τις οποίες θα έχουμε λειτουργία μονάδων δισπαρμένης παραγωγής θα έχουμε όφελος:

$$\begin{aligned} S_{PR} &= \sum_j C \cdot \sigma \cdot e^{\sigma t_j} \cdot P_{DG} \cdot \rho \cdot d_j \Rightarrow \\ S_{PR} &= C \cdot \sigma \cdot \rho \cdot \sum_j e^{\sigma t_j} \cdot P_{DG} \cdot d_j \end{aligned} \quad (5.76)$$





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο**

**ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ [16], [21], [22]**

## **6.1. Εισαγωγή**

Ένας εύκολος τρόπος για να αντιληφθούμε τις δυνατότητες του μικροδικτύου [21] είναι να γίνει ένα βήμα προς βήμα ταξίδι από το κεντρικό σύστημα παραγωγής στο μικροδίκτυο μέσω κατανεμημένης παραγωγής. Το κεντρικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο βασίζεται κυρίως στα ορυκτά καύσιμα, είναι ένα μονοπωλιακό, κάθετα αναπτυσσόμενο σύστημα τριών βαθμίδων. Τα ορυκτά καύσιμα είναι ανησυχητικά σπάνια σε απόθεμα και παράγουν περιβαλλοντικούς ρύπους. Επίσης, τουλάχιστον το 50-70% του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου χάνεται ως απορριπτόμενη θερμότητα στο περιβάλλον, ενώ περίπου το 8% της παραγωγής χάνεται στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Η διάρθρωση του συστήματος 3 βαθμίδων (δηλαδή παραγωγή, μεταφορά και διανομή), η φθορά του εξοπλισμού του, καθώς και η εξαιρετικά πολύπλοκη υποδομή του, κάνουν το σύστημα επιρρεπές σε black-out. Τέλος, το υψηλό οικονομικό ρίσκο της μαζικής συμμετοχής του κεφαλαίου καθώς και τα ρυθμιστικά εμπόδια της μονοπωλιακής αγοράς, έχει αποδειχθεί πως καθιστούν όλο και πιο δύσκολη την κατασκευή νέων μεγάλων σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Στην σημερινή απελευθερωμένη, ανταγωνιστική και ταχύτατα εξελισσόμενη αγορά, το νέο πρότυπο της διεσπαρμένης παραγωγής αποκτά μεγαλύτερη τεχνική και οικονομική σημασία σε όλη την υδρόγειο, καθώς θα ξεπεράσει όλες τις προαναφερθείσες ελλείψεις της κεντρικής παραγωγής, ενώ επιπρόσθετα θα καλύψει την αύξηση της ζήτησης. Η διεσπαρμένη παραγωγή είναι ένα μικρό, αρθρωτό και επιτόπου ρυθμισμένο σύστημα παραγωγής. Η λειτουργία black start της διεσπαρμένης παραγωγής (δυνατότητα αυτοδύναμης εκκίνησης) μπορεί να ελαχιστοποιήσει τον χρόνο αναμονής και να διευκολύνει τη διαδικασία της αποκατάστασης του ρεύματος στο ογκώδες σύστημα διανομής.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών η ενσωμάτωση της διανεμημένης παραγωγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας κατά κύριο λόγο περιορίζεται στα επίπεδα μέσης και υψηλής τάσης, εξαιτίας τεχνολογικών και οικονομικών παραγόντων αλλά και λόγων ασφαλείας. Ωστόσο οι εξελίξεις στις γεννήτριες και στις αντίστοιχες ηλεκτρονικές διεπαφές, η μείωση του κόστους τους, καθώς και οι νέοι στόχοι της διεθνούς ενεργειακής πολιτικής, αυξάνουν το ενδιαφέρον για τη διασύνδεση των μικρογεννητριών σε δίκτυα χαμηλής τάσης. Οι μικρογεννήτριες μπορούν να είναι κυψέλες καυσίμου, μικρο-ανεμογεννήτριες, μικρο-τουρμπίνες, μηχανές Stirling, μηχανές εσωτερικής καύσης και φωτοβολταϊκά συστήματα, με ονομαστική ισχύ έως 100kW.

Η απλή ενσωμάτωση της μικροπαραγωγής σε δίκτυα χαμηλής τάσης, πιθανόν να έχει ως αποτέλεσμα τεχνικά προβλήματα σε δίκτυα χαμηλής και μέσης τάσης (υπερτάσεις, αύξηση των σφαλμάτων, αστάθεια τάσης, υπερφόρτωση, κτλ), κυρίως όταν η διείσδυση της μικροπαραγωγής είναι υψηλή [21]. Η αυξανόμενη διείσδυση αυτών των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, καθώς και το διαφορετικό καθεστώς ιδιοκτησίας τους και η ανεξάρτητη λειτουργία τους μπορεί να δημιουργήσει διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες εντός του δικτύου, δηλαδή, αντίστροφη ροή ισχύος, υπερβολική αύξηση της τάσης, αυξημένα επίπεδα βλάβης, αρμονική παραμόρφωση και προβλήματα σταθερότητας. Ο υψηλός βαθμός διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής (πάνω από 20%), καθώς και η χωροθέτηση τους και το μέγεθος τους έχει σημαντικό αντίκτυπο στην λειτουργία, τον έλεγχο, την προστασία και την αξιοπιστία του υφιστάμενου δικτύου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η σύνδεση της μικροπαραγωγής πρέπει να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με μία ευέλικτη

προσέγγιση ικανή να ελέγξει ενδεχόμενα τεχνικά προβλήματα που προκύπτουν από τη σύνδεση μεγαλύτερου πλήθους μονάδων μικροπαραγωγής.

Η ιδέα του μικροδικτύου (μGrid) προκύπτει [21] ως ένας τρόπος για να ενσωματωθεί μεγάλο πλήθος μονάδων μικροπαραγωγής (μG) στα δίκτυα χαμηλής τάσης και ταυτόχρονα να βελτιωθούν τα πιθανά της οφέλη. Προϋποθέσεις τεχνικού χαρακτήρα για τη σύνδεση των μικροδικτύων σε δίκτυα χαμηλής τάσης βρίσκονται υπό μελέτη, έτσι ώστε να γίνει η ιδέα αυτή τεχνολογικά εφικτή και λειτουργικά ασφαλής. Παρ' όλα αυτά, το ρυθμιστικό πλαίσιο για την ενσωμάτωση της μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων στα συστήματα διανομής, παρότι είναι θεμελιώδες, δεν είναι ακόμα ολοκληρωμένο. Τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα είδος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο.

## **6.2. Ορισμός μικροδικτύου**

Ένα μικροδίκτυο (Microgrid) προσδιορίζεται ως ένα εν δυνάμει ηλεκτρικά απομονωμένο σύνολο γεννητριών (μικρογεννητριών) που τροφοδοτούν κατ' αποκλειστικότητα όλη τη ζήτηση ενός συνόλου καταναλωτών. Συμπεριλαμβάνουν στοιχεία όπως πηγές καταναλωμένης παραγωγής ισχύος από λίγα kW μέχρι 1-2MW, συσκευές αποθήκευσης (όπως πυκνωτές, μπαταρίες, σφονδύλους), ελέγξιμα φορτία και ένα μέρος του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης, που έχουν μερικές τοπικά συντονισμένες λειτουργίες.

Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Από την πλευρά του δικτύου, ένα μικροδίκτυο αντιμετωπίζεται, τόσο από άποψη αγοράς όσο και από τεχνική άποψη, ως ένα αυτόνομο ελέγξιμο σύστημα μέσα στο σύστημα ενέργειας, το οποίο μπορεί να λειτουργεί ως ένα συγκεντρωμένο φορτίο, ή μια μικρή πηγή παραγωγής ενέργειας, που με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα είναι δυνατόν να προσφέρει και κάποιες βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο διανομής, ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής, παρέχοντας ισχύ και θερμότητα στην τοπική περιοχή, καθώς επίσης και να διαχειρίζεται τα φορτία σε έκτακτες καταστάσεις. 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. Από την πλευρά του καταναλωτή, τα μικροδίκτυα ικανοποιούν τις ηλεκτρικές και θερμικές τους ανάγκες, 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 ισχύος με εξομάλυνση της καμπύλης της τάσης. Επίσης, δυνητικά, δίνουν στους καταναλωτές τη δυνατότητα να επιτύχουν ακόμη ευνοϊκότερους οικονομικά όρους για την ικανοποίηση των αναγκών τους.

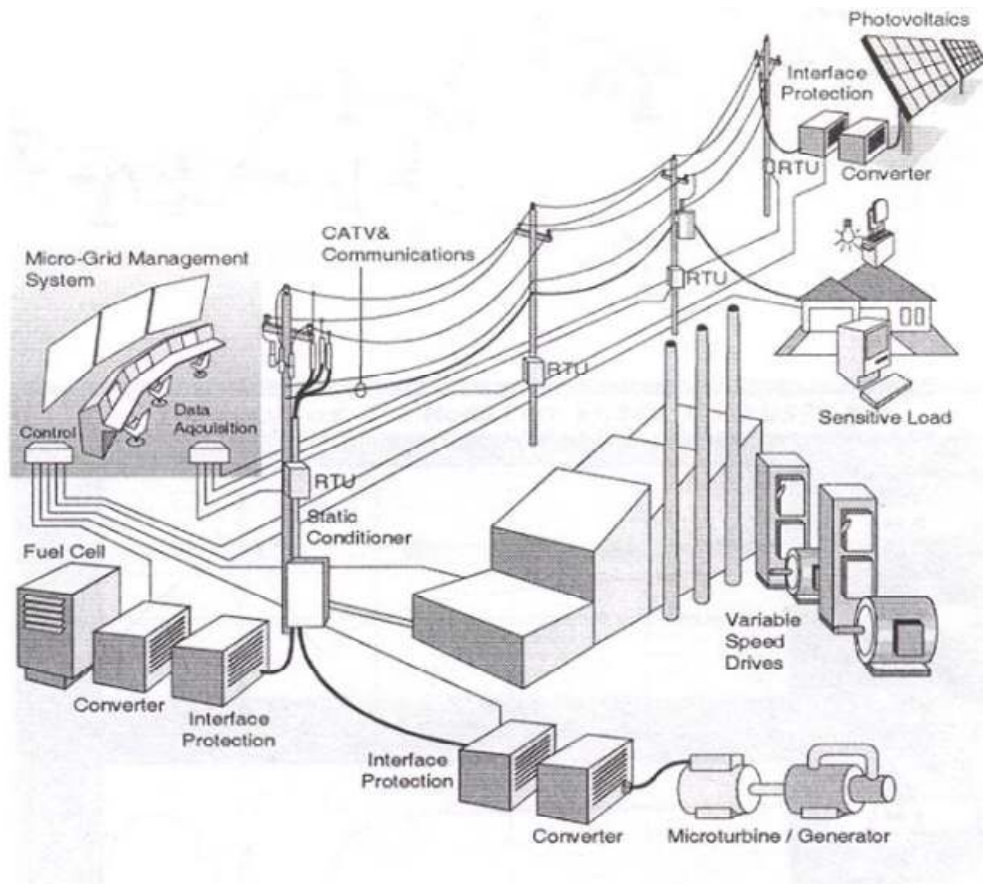
Το πιο σημαντικό, όσο και πρωτοποριακό, χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι, ενώ υπό ομαλές συνθήκες λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το δίκτυο διανομής (το ανάντη δίκτυο), μπορεί αυτόματα, σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου, να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία (νησιδοποίηση), με οργανωμένο και ελεγχόμενο τρόπο παρέχοντας στους καταναλωτές αυξημένη αξιοπιστία και βελτιωμένα επίπεδα ποιότητας ισχύος, χρησιμοποιώντας τοπικές πηγές παραγωγής. Αυτή η δυνατότητα βεβαίως απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας

και ελέγχου προκειμένου να απομονωθεί το μικροδίκτυο και να παρέχεται σταθερή και αυτόνομη λειτουργία. Η διαρκής όμως πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και των ελεγκτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο εύκολο να επιτευχθεί τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.

Σημαντική επένδυση σε ένα μικροδίκτυο είναι οι πηγές διεσπαρμένης παραγωγής του. Τυπικές πηγές ενός μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP), 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, της τάξης μερικών kW έως 10 MW, και πηγές αποθήκευσης της ενέργειας (θερμικής και ηλεκτρικής). Ένα μικροδίκτυο μπορεί να εγκατασταθεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μια από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής που εγκαθίσταται. Η κλίμακα του μικροδικτύου ποικίλει, από μια οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μια πόλη που τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Μια συνδυασμένη μάλιστα χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων.

Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός μικροδικτύου, η παραγωγή και η 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 τους 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.

Όταν η ενεργειακή διαχείριση του μικροδικτύου γίνεται με την στρατηγική ανάπτυξη αυτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής, οφέλη, όπως, αύξηση της ποιότητας ισχύος και αξιοπιστίας (PQR) της παροχής προς τους πελάτες, μείωση των απωλειών του δικτύου, αυξημένη αποδοτικότητα μέσω της χρήσης της απορριπτόμενης θερμότητας, μείωση των εκπομπών και αναβολή των επενδύσεων σε νέες μονάδες παραγωγής, όπως και στην αναβάθμιση του συστήματος διανομής, μπορούν να επιτευχθούν. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) αποφασίζει για την παραγωγή και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας με βάση τα χαρακτηριστικά του φορτίου (ηλεκτρικά και θερμικά), τον καιρό, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας, το κόστος των καυσίμων, περιβαλλοντικούς κανονισμούς και τοπικές κυβερνητικές πολιτικές. Έτσι, η ενεργειακή διαχείριση περιλαμβάνει τεchnο-οικονομικά ζητήματα, τα οποία υπαγορεύουν ότι ο βέλτιστος προγραμματισμός των επενδύσεων όσον αφορά τη χωροθέτηση, το μέγεθος και την επιλογή της τεχνολογίας των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής, συντελούν στη βελτίωση της ποιότητας και αξιοπιστίας προσφερόμενης ισχύος στους πελάτες. Ο στόχος της ενεργειακής διαχείρισης είναι να επιτευχθεί ένα οικονομικά εφικτό μικροδίκτυο και γι' αυτό έχει έναν ευρύ ρόλο στην μεγιστοποίηση των παραπάνω οφελών.



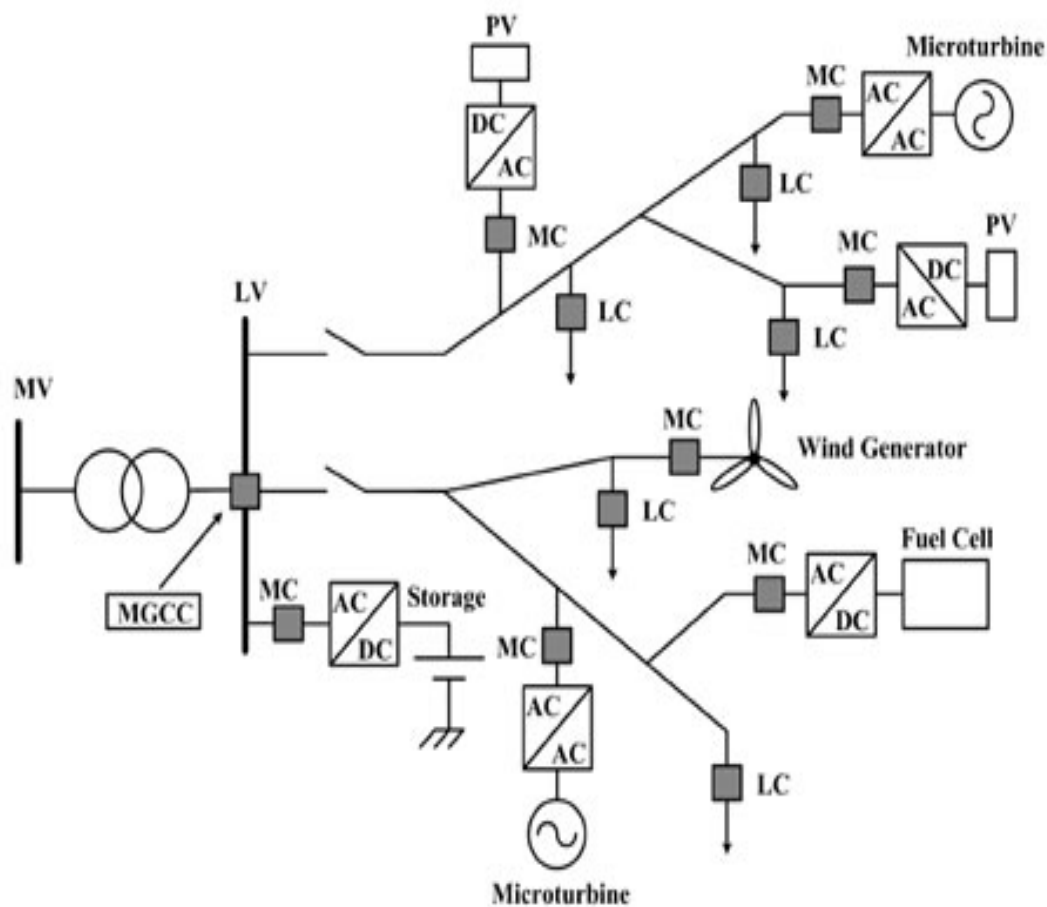
**ΕΙΚΟΝΑ 6.1.: ΈΝΑ ΤΥΠΙΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ.**

### **6.3. Δομή και έλεγχος μικροδικτύου**

#### **6.3.1. Δομή μικροδικτύου**

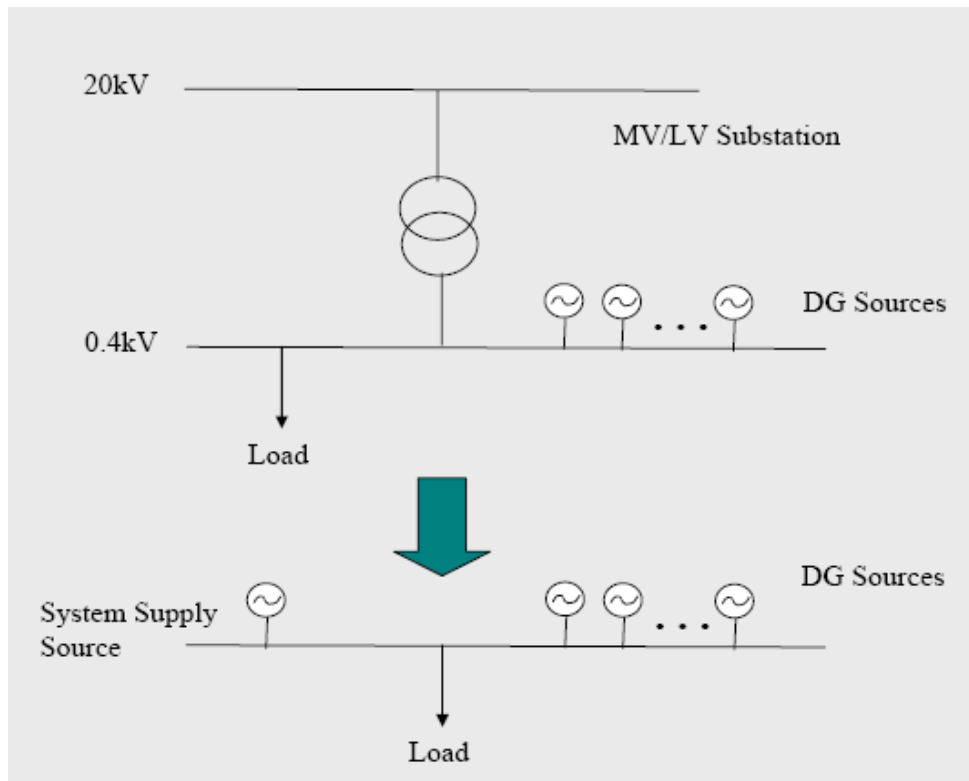
Από την άλλη πλευρά, η έννοια του μικροδικτύου επιτρέπει την υψηλή διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής χωρίς να απαιτείται εκ νέου σχεδιασμός ή ανακατασκευή του συστήματος διανομής. Πρόκειται για απομονωμένα συστήματα παραγωγής-διανομής δύο βαθμίδων που λειτουργούν τοπικά. Το σύμπλεγμα των φορτίων και των διεσπαρμένων πηγών ενέργειας, που λειτουργούν ως ενιαία ελεγχόμενη οντότητα, ξεπερνά τα μειονεκτήματα της ανεξάρτητης λειτουργίας Διεσπαρμένης Παραγωγής.

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



**ΕΙΚΟΝΑ 6.2.: ΤΥΠΙΚΗ ΔΟΜΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ.**

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



**ΕΙΚΟΝΑ 6.3.: ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ.**

Οι βασικές μονάδες που απαρτίζουν ένα μικροδίκτυο είναι:

1. Αντιστροφείς: Οι περισσότερες μικροπηγές του μικροδικτύου συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω μετατροπέων. Οι αυξημένες δυνατότητες που προσφέρουν οι σύγχρονοι αντιστροφείς καθιστούν δυνατό τον έλεγχο της παραγωγής ενεργού και αέργου ισχύος και κατά συνέπεια της τάσης και της συχνότητας σε απομονωμένη λειτουργία.

2. 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. Οι βασικές μονάδες αποθήκευσης είναι:

- Ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή κοινώς μπαταρίες και κυρίως μπαταρίες μολύβδου οξέος, που αποτελούν μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μετά την ηλεκτροχημική μετατροπή της.
- Μονάδες που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα (Compressed Air Energy Storage, CAES), όπου ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την συμπίεση ποσότητας αέρα η οποία στη συνέχεια κινώντας έναν στρόβιλο αναπαράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Σφόνδυλοι (flywheels). Πρόκειται για διατάξεις όπου μέσω ενός κινητήρα-γεννήτριας μπορεί να γίνει αποθήκευση με την μορφή κινητικής ενέργειας σε μια στρεφόμενη μάζα.

- Υπεραγώγιμες διατάξεις. Εφαρμογές με διατάξεις που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση ενώ επίσης διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον.
  - Διατάξεις άντλησης. Η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται για άντληση νερού σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη. Κατόπιν η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν ζητηθεί με έναν υδροστρόβιλο.
3. Μονάδες Ελέγχου: 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 μονάδων 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 αέργου ισχύος.
  - Νησιδοποίηση και επανεκκίνηση του δικτύου μετά από σφάλμα στο ανάντη δίκτυο.

Ένα μικροδίκτυο θεωρείται ότι λειτουργεί ως τμήμα του δικτύου διανομής και μπορούν να διακριθούν τρία ιεραρχικά επίπεδα ελέγχου:

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

### **6.3.2. Έλεγχος Μικροδικτύου [16]**

Ο Διαχειριστής δικτύου διανομής 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 Διαχειριστές Αγοράς. 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.

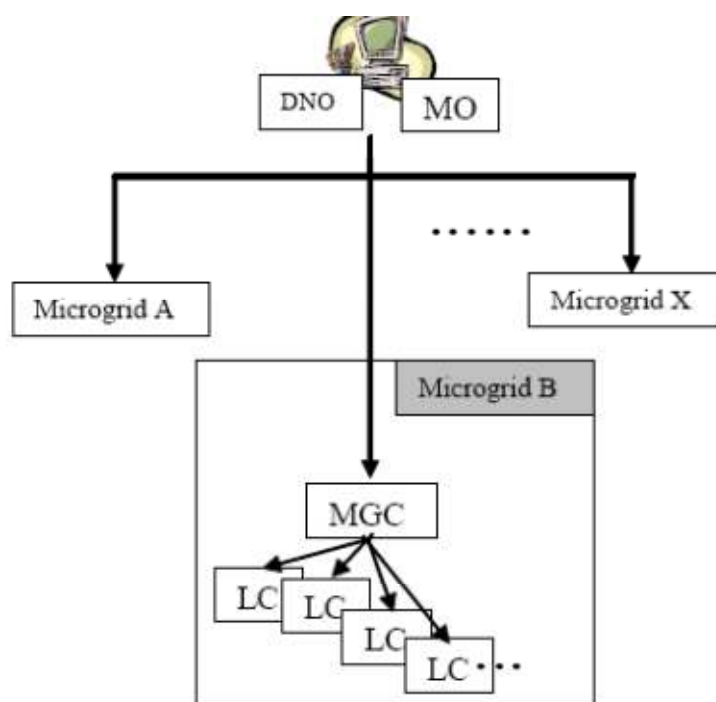
Αυτές οι δύο οντότητες (DNO/MO) δεν ανήκουν στο Μικροδίκτυο αλλά αποτελούν τους εκπροσώπους του δικτύου με τους οποίους επικοινωνεί το κάθε Μικροδίκτυο Α έως Χ που ανήκει στο δίκτυο διανομής. Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρά την αυτονομία του μικροδικτύου, εφόσον είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο Μέσης Τάσης, θα πρέπει να διατίθεται ένα ελάχιστο επίπεδο συντονισμού με τους DNO/MO ώστε αυτοί να το αντιλαμβάνονται ως ένα ενιαίο φορτίο.

Οι διαχειριστές DNO/MO επικοινωνούν με το μικροδίκτυο μέσω του Κεντρικού ελεγκτή (Microgrid Central Controller-MGCC). Οι λειτουργίες του κεντρικού ελεγκτή του Μικροδικτύου μπορούν να εκτείνονται από την απλή εποπτεία και καταγραφή της ενεργού και άεργου 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 τη λειτουργία του κεντρικού ελεγκτή και τις ακολουθούμενες πολιτικές διαχείρισης πηγών και φορτίων δίνονται ακολούθως.

Στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου ανήκουν οι τοπικοί ελεγκτές (Local Controllers-LC). Οι τοπικοί ελεγκτές μπορούν να ελέγχουν μονάδες παραγωγής, οπότε και ονομάζονται Ελεγκτές Μονάδων (EM), συμπεριλαμβανομένων των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας αλλά και κάποια από τα φορτία, οπότε ονομάζονται Ελεγκτές Φορτίου (ΕΦ). Ο Ελεγκτής Μονάδας εκμεταλλεύεται τις ολόενα και αυξανόμενες δυνατότητες των ηλεκτρονικών ισχύος της διασύνδεσης των μικροπηγών. 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.

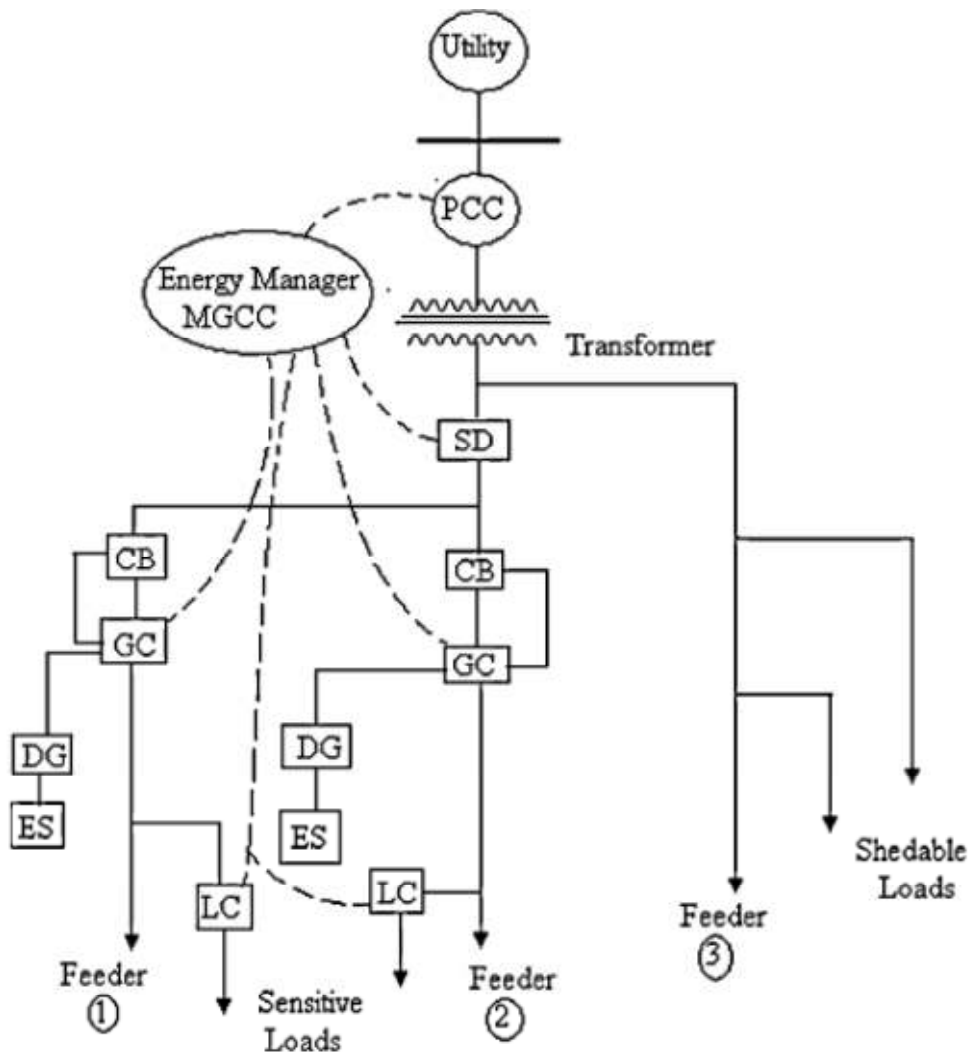


**ΕΙΚΟΝΑ 6.4.: ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ.**

Μία επιπλέον επεξηγηματική κατασκευή μικροδικτύου φαίνεται στην Εικόνα 6.4. Ένας MGCC (κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου) είναι στην κορυφή της ιεραρχίας ελέγχου του συστήματος. Στο δεύτερο επίπεδο των ελεγκτών στην ιεραρχία είναι οι ελεγκτές φορτίου (LC ή ΕΦ) και οι ελεγκτές των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής (GC ή EM). Το σημείο σύνδεσης του μικροδικτύου που ονομάζεται σημείο της κοινής ζεύξης (PCC), το οποίο βρίσκεται στην πλευρά του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και σε αυτό το σημείο το μικροδίκτυο πρέπει να πληροί τις ισχύουσες προδιαγραφές διασύνδεσης, όπως ορίζεται στο πρότυπο IEEE P1547. Για την απομόνωση του μικροδικτύου από το ανάντη δίκτυο, χρησιμοποιείται κύκλωμα διακόπτων υψηλής ταχύτητας LV (CB) ή στατικός διακόπτης, που καλείται συσκευή διαχωρισμού (SD).

Ο κεντρικός ελεγκτής ανταλλάσει μηνύματα με τη μορφή των δεδομένων με τους ελεγκτές φορτίου και τους ελεγκτές των πηγών μέσω τηλεπικοινωνιακών

συνδέσεων, όπως φαίνεται στην διακεκομμένη γραμμή. Τα μηνύματα περιλαμβάνουν σημεία αναφοράς των ελεγκτών φορτίου και των ελεγκτών των μονάδων, την παρακολούθηση της ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης και τον προγραμματισμό αποτελεσματικής λειτουργίας των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής.



ΕΙΚΟΝΑ 6.5. : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ [21].

Είναι σαφές ότι για να λειτουργήσει το μικροδίκτυο, είναι σημαντικό να εξισορροπηθούν με συντονισμένο τρόπο, η προσφορά ισχύος από τις τοπικές διασπαρμένες μονάδες παραγωγής και από τη γραμμή διανομής Μέσης Τάσης με τη συνολική 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.

- **Κεντρικός Έλεγχος**

Στον κεντρικό έλεγχο, οι ελεγκτές φορτίου (LC) ακολουθούν τις εντολές του κεντρικού ελεγκτή μικροδικτύου (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 κεντρικό ελεγκτή. Το προτεινόμενο σχήμα ροής πληροφορίας μεταξύ του κεντρικού ελεγκτή και των τοπικών ελεγκτών σε ένα μικροδίκτυο παρουσιάζεται ως εξής:



**ΕΙΚΟΝΑ 6.6.: Η ΡΟΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ.**

Πιο συγκεκριμένα η λειτουργία του κεντρικού ελεγκτή είναι η ακόλουθη: Κάθε  $m$  λεπτά, π.χ. 15 λεπτά, αποστέλλονται στον MGCC οι προσφορές κάθε μονάδας και κάθε φορτίου για την επόμενη ώρα σε διαστήματα  $m$  λεπτών, αντίστοιχα πάντοτε με την εκάστοτε υπό εφαρμογή πολιτική. Αυτές οι προσφορές είναι βασισμένες στις τιμές ενέργειας στην ελεύθερη αγορά, στην ανάγκη για παραγωγή θερμότητας παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρισμού, στο κόστος παραγωγής της μονάδας, στο επιδιωκόμενο ποσοστό κέρδους από τον ιδιοκτήτη της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής, ή από την αξία του φορτίου όπως την αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής με χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού το 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 κεντρικός ελεγκτής 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.
- Την πρόβλεψη φορτίου, αν κάτι τέτοιο απαιτείται.
- Την εκτίμηση παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
- Τους πιθανώς υπάρχοντες περιορισμούς ασφαλείας του δικτύου.
- Τις προσφορές των μονάδων του μικροδικτύου.

- Τις προσφορές των καταναλωτών.
- Τους τυχόν περιορισμούς περιβαλλοντικής πολιτικής.
- Τα όρια παραγωγής για διατήρηση της τάσης.
- Το διεθνώς καθορισμένο 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 τοπικούς ελεγκτές, σήματα τα οποία περιέχουν :

- Τις τιμές της αγοράς.
- Τον αριθμό των προβλεπόμενων εν λειτουργία μονάδων.
- Τα σημεία λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής όπου μπορεί να ελεγχθεί η έξοδός τους, π.χ. στην περίπτωση των μικροτουρμπίνων.
- Τα φορτία που θα εξυπηρετηθούν ή θα αποκοπούν.

Η διαδικασία αυτή λειτουργεί επαναληπτικά κάθε m λεπτά για την επόμενη ώρα. Όσον αφορά στις τιμές της αγοράς, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους τοπικούς ελεγκτές προκειμένου να προετοιμαστούν πιο κατάλληλα οι προσφορές τους στον κεντρικό ελεγκτή για τα επόμενα διαστήματα. Για τέτοιου τύπου διασύνδεση και συντονισμό μεταξύ του κεντρικού ελεγκτή 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, φερέδυσχων ή ασύρματης επικοινωνίας, όπως οι τεχνολογίες GSM ή GPRS [12].

Για να μπορεί ο κεντρικός ελεγκτής να επιτυγχάνει την 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:

- I. 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.
- II. Πρόβλεψη παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Λόγω του δεδομένου υψηλού κόστους για την πρόβλεψή τους, δεν αναμένεται να έχουμε αξιόπιστη μετεωρολογική πληροφορία σε τέτοιου βεληνεκούς τοπικό επίπεδο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρόμοιες με την πρόβλεψη φορτίου μέθοδοι, λόγω του μικρού διαστήματος βελτιστοποίησης και της διαρκούς ανανέωσης των μετρήσεων για την τρέχουσα παραγωγή. Μάλιστα οι 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, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις αιολικής παραγωγής για τα μικρά διαστήματα που εξετάζονται.
- III. Πρόβλεψη θερμικών αναγκών: Στη Βόρεια κυρίως Ευρώπη αναμένεται σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων Συμπααραγωγής. Επομένως, η θερμική ζήτηση αναμένεται να μεταβάλλει τις προσφορές των παραγωγών αλλά και να επηρεάσει 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 είναι η θερμοκρασία. Ειδικότερα απαιτείται ο βαθμός συσχέτισης θερμικής ζήτησης με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ώρα της ημέρας, και τον τύπο της (καθημερινή/σαββατοκύριακα), τις εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αλλά και το είδος των θερμικών αναγκών της περιοχής.

IV. Οικονομική λειτουργία: Αυτή είναι απαραίτητη προκειμένου να επιλεγούν οι οικονομικότερες προσφορές, τόσο από τα φορτία, όσο και από τις μονάδες παραγωγής. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις ρουτίνες επιλογής Ένταξης των Μονάδων παραγωγής-φορτίων (Unit Commitment) και της Οικονομικής Κατανομής (Economic Dispatch). Η πρώτη κατηγορία επιλέγει ποιες μονάδες είναι οικονομικά συμφέρουσες 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.

V. Εκτίμηση 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. Επομένως, οι συγκεκριμένες συναρτήσεις 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 Δένδρα Απόφασης, συμβάλλουν στο να έχει δημιουργηθεί μια βάση γνώσης στον κεντρικό ελεγκτή, ώστε να γνωρίζει τις ασφαλείς και ανασφαλείς καταστάσεις του μικροδικτύου στην περίπτωση 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 τυχούσες αποκλίσεις από την επιθυμητή συχνότητα και τάση λειτουργίας.

Ακόμα υλοποιούνται περαιτέρω Ειδικές Συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για τη διεκπεραίωση των παρακάτω στόχων:

1. Εκτίμηση της πιθανότητας να παραβιάζονται οι τάσεις σε κάποιο κόμβο από τη λειτουργία του μικροδικτύου ή από την παραγωγή κάποιας τοπικής μονάδας παραγωγής.
2. Μεταβολή της λειτουργίας του μικροδικτύου ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολική ποσότητα των ρύπων που αποφεύγονται και να συμμετέχει το μικροδίκτυο στο εμπόριο ρύπων.
3. Βελτιστοποίηση της λειτουργίας σε επείγουσες καταστάσεις. Αυτές οι συναρτήσεις περιλαμβάνουν μεθόδους για την επίτευξη ελέγχου σε περιόδους όπου το δίκτυο λειτουργεί απομονωμένο από το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο. Σε αυτήν την

ομάδα συναρτήσεων περιλαμβάνονται και οι συναρτήσεις black start του μικροδικτύου.

4. 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 αλγορίθμων.

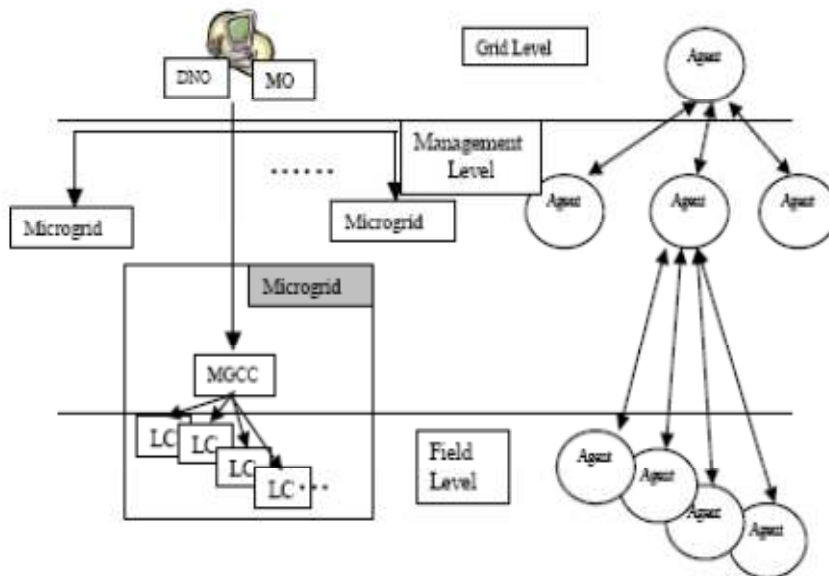
- **Πλήρως Αποκεντρωμένος Έλεγχος [16]**

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

Σε μια τέτοια μορφή ελέγχου επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή αυτονομία των επί μέρους συνιστωσών ελέγχου. Έτσι για παράδειγμα, η κύρια ευθύνη για τον έλεγχο του μικροδικτύου, ανατίθεται στους τοπικούς ελεγκτές των μονάδων, 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 Μέσης Τάσης, λαμβάνοντας υπ' όψη τις τρέχουσες τιμές αγοράς. Υπό τέτοιες συνθήκες απαιτείται όχι μόνο ευφυΐα από τον κάθε ελεγκτή, αλλά και αυξημένες ικανότητες τοπικά, ώστε όλο το ελεγχόμενο δίκτυο να αποκτήσει ευφυΐα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα μπορεί να επιτευχθεί όχι μόνο η τοπική βελτιστοποίηση, αλλά και η σύγκλιση σε μια πολύ ικανοποιητική λύση δεδομένων και αντικρουόμενων συμφερόντων που μπορούν να υπάρχουν σε ένα μικροδίκτυο.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά που επιζητούμε 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, που είναι 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), όσο κυρίως και 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 επόμενο σχηματικό διάγραμμα με τα τρία επίπεδα ελέγχου και την αντιστοιχισή τους με τα επίπεδα λειτουργίας του μικροδικτύου.



**ΕΙΚΟΝΑ 6.7.: ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ MAS.**

Στο ανώτερο επίπεδο ή επίπεδο δικτύου είναι το Δίκτυο Μέσης Τάσης 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 των 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 διαχειριστή αγοράς. Οι προσφορές όμως των φορτίων και των μονάδων παραγωγής είναι έργο των πρακτόρων που βρίσκονται στο αμέσως παρακάτω επίπεδο, το επίπεδο Field level, το οποίο είναι και η ψυχή του πολύ-πρακτορικού συστήματος ελέγχου. Οι πράκτορες αυτοί είναι οι τοπικοί ελεγκτές. Η λειτουργία ενός τέτοιου ελεγκτή απαιτεί δύο τμήματα. Το εξωτερικό παρέχει το περιβάλλον επικοινωνίας με το μικροδίκτυο, το οποίο ανταλλάσσει σημεία λειτουργίας (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 χαρακτηριστικές εργασίες που θα πρέπει να μπορούν να επιτελούν οι πράκτορες σε κάθε επίπεδο είναι :

- Επίπεδο Εφαρμογής (Field Level): Έλεγχος ενεργού και αέργου ισχύος, Διαχείριση μπαταριών, Έλεγχος Τάσης, Έλεγχος Συχνότητας, Λειτουργίες διακοπών κτλ.
- Ενδιάμεσο επίπεδο (Management Level): Συμμετοχή στην αγορά, Αποκοπή φορτίου, Καταγραφή και παρακολούθηση ζητημάτων ασφαλείας και ποιότητας ισχύος, Νησιδοποίηση και επανατροφοδότηση από το δίκτυο, Εκκίνηση μετά από Black out κτλ.

➤ Επίπεδο δικτύου (Grid level): 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 and 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 ευφυών 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.

- **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 μια από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η διαφορά έγκειται στο βαθμό αποκέντρωσης που υπάρχει αλλά και στις δυνατότητες που είναι επιθυμητό να παρέχει ο κεντρικός ελεγκτής. 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 ενός χρήστη Α έρχονται σε αντίθεση με τα συμφέροντα ενός χρήστη Β, να συγκλίνει ο έλεγχος σε μία εφικτή λύση που κατά το δυνατόν θα ικανοποιεί τα συμφέροντα και 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 ευφυών πρακτόρων σε μορφή ‘plug and play’ συσκευών, στο να έχει ο έλεγχος χαμηλότερο κόστος στο βαθμό που περισσότερες εταιρίες 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. 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 πηγής διεσπαρμένης παραγωγής να μπορέσει με μικρή ισχύ να επιτύχει σημαντικά οφέλη, σε σχέση με την οργανωμένη παρουσία πολλών μικρών παραγωγών διασπαρμένης παραγωγής, οι οποίοι θα παρουσιάζονται



ως μια 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 υποστηρίζει «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 κεντρικό ελεγκτή, σε αντίθεση με το τι γνωρίζει κάθε τοπικός ελεγκτής, και επειδή υπάρχει μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύς, ο κεντρικός ελεγκτής μπορεί να υπολογίσει ένα βέλτιστο σετ αποφάσεων για την λειτουργία του μικροδικτύου. Η συνεργασία των τοπικών ελεγκτών μπορεί να επιτύχει αρκετά ικανοποιητικές λύσεις αλλά η λύση που επιτυγχάνεται δεν είναι βέλτιστη. Υπάρχουν όμως προϋποθέσεις, ώστε η λύση που επιτυγχάνεται να είναι η βέλτιστη και σε αποκεντρωμένο τρόπο λειτουργίας.

Οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις συνοψίζονται στον κάτωθι πίνακα:

	Κεντρικός Έλεγχος	Αποκεντρωμένος Έλεγχος
Ιδιοκτησία Διεσπαρμένης Παραγωγής	Ένας ιδιοκτήτης ή συνεταιρισμένοι ιδιοκτήτες που φαίνονται ως οντότητα	Κατά κανόνα πολλοί ιδιοκτήτες
Στόχος Ελέγχου	Βελτιστοποίηση λειτουργίας ικανοποιώντας διάφορους περιορισμούς	Αβεβαιότητα για τις επιδιώξεις του κάθε χρήστη εκείνη τη στιγμή
Διαθεσιμότητα Προσωπικού Για Ειδικές Εργασίες π.χ. low level management	Συνηθισμένη	Σπάνια
Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης	Μπορούν να υλοποιηθούν και εξεζητημένοι αλγόριθμοι	Χρήση απλών αλγορίθμων προκειμένου να μειωθεί το κόστος ελέγχου
Εγκατάσταση Νέας Μονάδας ή Οντότητας	Χρήση προσωπικού για την εγκατάσταση επικοινωνιακών εφαρμογών και προσθήκη στον Κεντρικό Ελεγκτή	Η συσκευή αναμένεται να είναι 'plug and play'. Οι χρήστες θα προσαρμοστούν με διαδικασίες μάθησης στα νέα δεδομένα
Βέλτιστη Λύση	Επιτυγχάνεται	Στην συντριπτική τους πλειοψηφία υπό-βέλτιστες λύσεις
Συμμετοχή Στην Αγορά	Συνεργασία όλων των μονάδων	Πολύ συχνά υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των μονάδων

Συμμετοχή Μικροδικτύου σε κρισιμότερες αποφάσεις ως τμήμα γενικού μοντέλου ελέγχου	Εφικτή	Μη εφικτή προς το παρόν
--	--------	-------------------------

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.: ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.**

#### **6.4. Ρυθμιστικά ζητήματα/Πλαίσιο εργασίας [21]**

Το ρυθμιστικό πλαίσιο περιλαμβάνει ένα σύνολο αρχών, κανόνων και κινήτρων, το οποίο αντιμετωπίζει λογικά τόσο τα τεχνικά όσο και τα οικονομικά θέματα των συνδέσεων των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής με τα Μικροδίκτυα. Τα τεχνικά θέματα περιλαμβάνουν νέα πρότυπα στις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, πρακτικές διασύνδεσης, συστήματα προστασίας, περιβαλλοντικά ζητήματα, βοηθητικές υπηρεσίες και υπηρεσίες μέτρησης. Από την άλλη πλευρά, τα οικονομικά ζητήματα ασχολούνται με διάφορα κίνητρα, τιμολογιακές πολιτικές και άλλες οικονομικές υποχρεώσεις για να υπολογίσουν την ανάπτυξη του μικροδικτύου. Πριν από τη διαμόρφωση του ρυθμιστικού μοντέλου, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα εμπόδια για τη διασύνδεση των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και του μικροδικτύου με το δίκτυο διανομής. Το πιο συχνά αναφερόμενο εμπόδιο είναι το σχετικά υψηλό κόστος σύνδεσης των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο διανομής λόγω της ακριβής πολιτικής χρέωσης της σύνδεσης. Άλλα εμπόδια είναι:

- υψηλό κόστος κεφαλαίου των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής-κυρίως για ανανεώσιμες πηγές
- μη ομοιόμορφες ρυθμιστικές απαιτήσεις
- έλλειψη εμπειρίας όσον αφορά τις πηγές διεσπαρμένης παραγωγής-κυρίως στην ανταγωνιστική αγορά
- έλλειψη κινήτρων/ανταμοιβής προς τους διαχειριστές των συστημάτων διανομής (DSO)/διαχειριστές δικτύου διανομής (DNO) για νέες επενδύσεις,

οπότε το δίκτυο κοινής ωφέλειας έχει ένα σημαντικό οικονομικό αντικίνητρο για να υιοθετήσει τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής.

Το μικροδίκτυο ορίζει τη διαχείριση ενέργειας με στρατηγική ανάπτυξη των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής, τόσο σε συνδεδεμένη στο δίκτυο κατάσταση λειτουργίας, όσο και σε λειτουργία νησιδοποίησης, για την ενίσχυση της ποιότητας και αξιοπιστίας της παρεχόμενης ισχύος προς τους πελάτες. Κατά τη διάρκεια της μη διασυνδεδεμένης λειτουργίας του (νησιδοποιημένης), οι ευθύνες του δικτύου για ρύθμιση τάσης και συχνότητας αναλαμβάνονται σε τοπικό επίπεδο από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Έτσι, η νησιδοποιημένη λειτουργία αντιτίθεται με τους υπάρχοντες κώδικες και τους κανονισμούς του δικτύου. Ανακύπτουν επίσης θέματα ασφάλειας και ζητήματα ευθύνης βλαβών. Όλοι οι υπάρχοντες ευρωπαϊκοί κανονισμοί επιβάλλουν άμεση αποσύνδεση των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής (δηλαδή, διασύνδεση με το δίκτυο κοινής ωφέλειας) κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος για την πρόληψη ενδεχόμενων απειλών ασφάλειας στους άλλους χρήστες του δικτύου καθώς και για την αποφυγή πολύπλοκων προβλημάτων στους τομείς

λειτουργίας και προστασίας. Στις ΗΠΑ, οι πηγές διεσπαρμένης παραγωγής ανιχνεύουν μη διασύνδεση και παύουν να τροφοδοτούν την περιοχή εντός 2 δευτερολέπτων κατά τη λειτουργία απομόνωσης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, για να βελτιώσει την ποιότητα και αξιοπιστία παρεχόμενης ισχύος, επιτρέπει την εκ προθέσεως απομόνωση από το δίκτυο κοινής ωφέλειας μίας συγκεκριμένης ιδιωτικής εγκατάστασης.

Εκτός από τα θέματα διασύνδεσης, ζωτικής σημασίας είναι και τα θέματα περιβαλλοντικής νομοθεσίας όσον αφορά την εγκατάσταση τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής. Με ιδιαίτερη έμφαση στην πολιτική κλιματικής αλλαγής, η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί τεχνολογίες παραγωγής χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με ένα νέο δεσμευτικό στόχο, προκειμένου αυτές να φθάσουν το 20% της παραγόμενης ενέργειας μέχρι το 2020. Για να συμμορφωθούν με το Πρωτόκολλο του Κιότο και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, προς το παρόν όλες οι χώρες, όπως ΗΠΑ και Ευρωπαϊκή Ένωση, θέσπισαν την «Clean Air Act» νομοθεσία, και η νομοθεσία αυτή ρυθμίζει το επίπεδο των εκπομπών που παράγονται από διάφορους τύπους μηχανημάτων. Στα μικροδίκτυα που βασίζονται στη συμπαραγωγή, η ευθύνη του διαχειριστή του συστήματος ενέργειας είναι να προγραμματίσει τη λειτουργία των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής βάσει του στόχου μείωσης των εκπομπών.

Όσον αφορά το σύγχρονο ρυθμιστικό πλαίσιο, οι μετρήσεις είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα. Οι μετρητές του δικτύου με δυνατότητα αμφίδρομης καταγραφής της δυναμικότητας πρέπει να εγκατασταθούν στο σημείο κοινής ζεύξης, μαζί με εξελιγμένα εργαλεία μέτρησης για την υποστήριξη της συμμετοχής του μικροδικτύου στην αγορά.

Η επιτυχημένη ανάπτυξη της μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων εξαρτάται από το ρυθμιστικό πλαίσιο που ορίζεται για τη λειτουργία τους, το οποίο περιλαμβάνει την οικονομική ρύθμιση, που πρέπει να δημιουργεί ένα επαρκές πεδίο δράσης για την μικροπαραγωγή και το μικροδίκτυο. Διαμορφώνοντας τον οικονομικό κανονισμό, είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας, ότι η μικροπαραγωγή και τα μικροδίκτυα είναι στη δυσμενή θέση να ανταγωνίζονται εφαρμοσμένες τεχνολογίες, οι οποίες έχουν ωφεληθεί για ένα σημαντικό διάστημα, από τη μαζική παραγωγή και την απόκτηση πείρας. Όπως άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες, η μικροπαραγωγή και τα μικροδίκτυα δεν έχουν φθάσει ακόμα σε ένα ώριμο επίπεδο ανάπτυξης και στην συνακόλουθη βέλτιστη απόδοση τους, όσον αφορά το κόστος και την αξιοπιστία. Οπότε, απαιτούνται κίνητρα ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού ανάμεσα στις ήδη εφαρμοσμένες τεχνολογίες και στα μικροδίκτυα, κάνοντας ελκυστική την επένδυση στα τελευταία. Οι κύριοι μηχανισμοί-κίνητρα (τουλάχιστον στην Ευρωπαϊκή Ένωση), που χρησιμοποιούνται για την προώθηση της διεσπαρμένης παραγωγής, είναι τα σενάρια τιμολόγησης feed-in και τα συστήματα ποσοστώσεων. Και οι δύο αυτοί μηχανισμοί έχουν ως στόχο την προώθηση της διεσπαρμένης παραγωγής, αλλά οι τρόποι με τους οποίους τον πετυχαίνουν διαφέρουν.

Οποιοσδήποτε μηχανισμός παροχής κινήτρων υιοθετηθεί πρέπει να είναι απλός, αποδοτικός, οικονομικά αποτελεσματικός, σταθερός και εύκολος στην εφαρμογή. Επιπλέον, πρέπει να χρηματοδοτείται -ας σημειωθεί ότι μία εμφανής διαφορά υπάρχει μεταξύ του μηχανισμού παροχής κινήτρων και της πηγής χρηματοδότησής του. Η πηγή χρηματοδότησης μπορεί να είναι ένας συνδυασμός από οικονομικές συνεισφορές διαφόρων φορέων όπως: οι διαχειριστές των δικτύων, παραγωγοί, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, έσοδα από τους φόρους, πρόστιμα ρύπανσης, κτλ. Η ατομική συνεισφορά κάθε φορέα πρέπει να βασίζεται στα μερίδια του

συνολικού κόστους και οφέλους, που προκύπτουν από τη μικροπαραγωγή και τα μικροδίκτυα, που του αναλογούν. Όπως συμβαίνει συχνά με τη διεσπαρμένη παραγωγή, τα κόστη και τα οφέλη που προκύπτουν από την ανάπτυξη των μονάδων μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων τείνουν να αποκομίζονται από διαφορετικούς φορείς με ασύμμετρο τρόπο (για παράδειγμα, οι ενδεχόμενοι κατασκευαστές των μονάδων της μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων ίσως να μην ανταμειφθούν για τα οφέλη που αυτές οι δομές μπορούν να παρέχουν).

Ο προσδιορισμός του κόστους και των κερδών που προκύπτουν από την εγκατάσταση των μονάδων μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων είναι, σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυση, το πρώτο βήμα της διαδικασίας εγκατάστασης ενός μηχανισμού παροχής κινήτρων και της πηγής χρηματοδότησής του.

Το επόμενο βήμα είναι ο ορισμός των αρχών με βάση τις οποίες ποσοτικοποιούνται και διαμοιράζονται αυτά τα κόστη και τα οφέλη. Η διαδικασία διαμοιρασμού αντιστοιχεί στη μεταβίβαση των οφελών με έναν τέτοιο τρόπο ώστε όλοι οι σχετικοί επιχειρησιακοί συμμετέχοντες να λαμβάνουν ένα καθαρό κέρδος. Αν αυτή η μεταβίβαση δεν γίνεται, κάποιοι παράγοντες που έχουν μεγαλύτερο κόστος παρά όφελος δεν θα ενδιαφέρονται να συμμετάσχουν στην ανάπτυξη των μικροδικτύων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το πρόβλημα δημιουργίας και χρηματοδότησης κινήτρων για τα μικροδίκτυα περιλαμβάνει: (i) τον προσδιορισμό των δαπανών και των οφελών για τους διάφορους μετόχους, (ii) το σχεδιασμό ενός σεναρίου διαμοιρασμού που θα διανέμει το κόστος και τα κέρδη, με τέτοιο τρόπο που όλοι οι παράγοντες αυξάνουν το κέρδος τους σε σχέση με την αρχική κατάσταση (χωρίς μικροπαραγωγή και μικροδίκτυα).

## **6.5. Οικονομικά Οφέλη**

Ο σχεδιασμός της διαχείρισης ενέργειας με στρατηγική ανάπτυξη των διεσπαρμένων πηγών παραγωγής σε ένα μικροδίκτυο περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των κατάλληλων πηγών διεσπαρμένης παραγωγής αλλά και την επιλογή του μεγέθους τους, της τοποθεσίας τους, του τρόπου διασύνδεσης με το σύστημα καθώς και το χρονοδιάγραμμα της ανάπτυξης τους. Ο σωστός σχεδιασμός μπορεί να φέρει στο προσκήνιο σημαντικά οφέλη διαφορετικής φύσεως, όπως αναφέρεται παρακάτω.

### **6.5.1. Οφέλη από την πλευρά του καταναλωτή**

- **Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζει ο καταναλωτής**

Το πρώτο είδος οφελών που μπορούν να προκύψουν από τη μικροπαραγωγή έχει να κάνει με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από αυτή. Αφού υποθέτουμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τη μικροπαραγωγή εγχέεται στο δίκτυο και αγοράζεται από τον συμφωνημένο προμηθευτή, η οικονομική αξία αυτού του οφέλους εξαρτάται από το κόστος της απόκτησης της ηλεκτρικής

ενέργειας από αυτό τον φορέα. Το κόστος αυτό τείνει να μεταβάλλεται στο χρόνο ανατακλώντας τις μεταβολές των τιμών στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά συνέπεια, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, που προέρχεται από τη μικροπαραγωγή, επίσης τείνει να μεταβάλλεται στο χρόνο. Επιπλέον, η ενέργεια που παράγεται από διαφορετικές τεχνολογίες μικροπαραγωγής επίσης μεταβάλλεται στο χρόνο. Για να εξηγήσουμε καλύτερα αυτές τις μεταβολές, το έτος διαιρέθηκε σε ορισμένες περιόδους  $p$  και κάθε χαρακτηριστική ημέρα από κάθε ετήσια περίοδο διαιρέθηκε σε περιόδους  $h$  (ώρες αιχμής, ώρες μέσης ζήτησης και ώρες χαμηλής ζήτησης). Σε αυτές τις περιπτώσεις, το συνολικό ετήσιο όφελος που προκύπτει από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μία συγκεκριμένη τεχνολογία μικροπαραγωγής, εκφρασμένη σε (€/kW έτος), δίνεται από τη σχέση [21]:

$$B_w = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h V_p^h \quad (6.1)$$

όπου:

$N_p^h$  είναι ο αριθμός των ωρών της ετήσιας περιόδου  $p$  και ημερήσιας περιόδου  $h$ ,

$F_p^h$  είναι ο συντελεστής ικανότητας για τις ίδιες περιόδους και

$V_p^h$  είναι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.

### • Ποιότητα Ισχύος Και Αξιοπιστία Μικροδικτύου

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. Πρώτον, εξ' ορισμού, 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.

Στις ανεπτυγμένες οικονομίες παγκοσμίως, ένα ενιαίο σύστημα τροφοδότησης ηλεκτρικής ισχύος έχει εγκαθιδρυθεί από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα. 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 στην τοπική διανομή σε χαμηλότερες τάσεις μέσω ακτινικών, εν μέρει τοπικά ελεγχόμενων, γραμμών μονής κατεύθυνσης. Βασικό 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 *a priori* 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.

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 καμψής 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 αναίτια ακριβή.

Οι μεταβολές στην πλευρά της κατανάλωσης προκύπτουν από την απaráμιλλη ανάγκη για ηλεκτρισμό στην αναδυόμενη ψηφιακή εποχή, γεγονός το οποίο μοιραία συνεπάγεται αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας ισχύος 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.

Σε πλήρη διάσταση με το σημερινό πρότυπο «ομοιογενούς ποιότητας» παρεχόμενου ρεύματος, οι πραγματικές απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας ισχύος (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. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει μια πυραμίδα. Τα φορτία στη βάση της πυραμίδας έχουν χαμηλές απαιτήσεις ποιότητας ισχύος ενώ στην κορυφή της υπάρχουν φορτία που δεν καλύπτονται από τα υπάρχοντα PQR επίπεδα.



ΕΙΚΟΝΑ 6.8.: ΠΥΡΑΜΙΔΑ ΑΥΞΟΥΣΑΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ PQR.

Μέχρι στιγμής δεν είναι ξεκάθαρο εάν τα φορτία χαμηλών απαιτήσεων ξεπερνούν κατά πολύ τα κρίσιμα που βρίσκονται κοντά στην κορυφή. Παρόλα αυτά, τα μικροδίκτυα, δεδομένου ότι συμπεριφέρονται με έναν οικονομικά λογικό τρόπο, θα προσπαθήσουν να τα διαχειριστούν 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 κοντά στη βάση της πυραμίδας, όσο κάτι τέτοιο είναι δυνατό. Για παράδειγμα, ένα είδος εξοπλισμού που θεωρείται ευαίσθητο φορτίο, κατηγοριοποιείται σε αυτή την ομάδα, λόγω ενός μικρού ποσοστού της ενέργειας που του είναι απαραίτητο 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 ομαδοποίηση 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 τους 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 μη βέλτιστη εξυπηρέτηση του δικτύου.

#### **6.5.2. Οφέλη από την πλευρά του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής και της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού**

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. Ακόμα, σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου, βάσει της δυνατότητας λειτουργίας σε απομονωμένη κατάσταση. 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. Ακόμα περισσότερο, σε ένα δεύτερο επίπεδο, 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. Στη συγκεκριμένη περίπτωση απαιτείται η συντονισμένη λειτουργία και επικοινωνία μεταξύ των μονάδων ελέγχου του μικροδικτύου και του κεντρικού συστήματος.

Το μικροδίκτυο διασφαλίζει κάποια πλεονεκτήματα, τα οποία υποστηρίζουν τη σωστή λειτουργία του δικτύου:

- Η 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.
- Η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου από το Μικροδίκτυο, η οποία 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.

### **6.5.3. Οφέλη από την βέλτιστη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των διεσπαρμένων πηγών παραγωγής**

Τα οφέλη από τη βέλτιστη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των διεσπαρμένων πηγών παραγωγής του μικροδικτύου [22], συμπεριλαμβάνουν την βελτίωση της τάσης των ζυγών, τη μείωση της ροής στις γραμμές, η οποία συνεπάγεται ελάττωση στις απώλειες των γραμμών, τη λειτουργία εντός των θερμικών ορίων των γραμμών, την αναβολή των επενδύσεων για την περαιτέρω ανάπτυξη των γραμμών διανομής και τη μείωση της εγγεόμενης ισχύος στο δίκτυο κοινής ωφέλειας, η οποία με τη σειρά της συνεπάγεται αναβολή των επενδύσεων καθώς επίσης και ελάττωση της συμφόρησης στο δίκτυο κοινής ωφέλειας.

- **Βελτίωση της τάσης των ζυγών**

Στη σύγχρονη ψηφιακή εποχή, προβλήματα, όπως η βύθιση τάσης, έχουν τεράστιο οικονομικό αντίκτυπο. Βυθίσεις τάσης, οι οποίες διαρκούν μόνο ένα ή δύο κύκλους, έχουν πλέον ταξινομηθεί ως διακοπές τάσης. Μία βύθιση τάσης 10% θα ισοδυναμούσε με διακοπή. Σε αυτό το πλαίσιο, ο δείκτης μέσης ενδεικνύμενης RMS τιμής διακύμανσης της συχνότητας του συστήματος (SARFI) χρησιμοποιείται για να εξετάσει τον αριθμό των φάσεων που έχουν επηρεαστεί από την βύθιση και την διάρκεια της διακοπής σύμφωνα με το IEEE 1159.

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). Συνεπώς, το μικροδίκτυο διασφαλίζει τη συνέχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου σε περιπτώσεις κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Ελάττωση απωλειών γραμμής**

Ο περιορισμός των απωλειών του συστήματος είναι το πιο σημαντικό όφελος του μικροδικτύου. Το μικροδίκτυο εγγυάται την αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη 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.

Η παραγωγή μικροπηγών σε ένα μικροδίκτυο μπορεί να αλλάξει τις ροές ισχύος στο δίκτυο και κατ' επέκταση τις απώλειες του δικτύου. Αν μια μικρή μικροδικτυακή παραγωγή εγκατασταθεί κοντά σε ένα μεγάλο φορτίο τότε οι απώλειες δικτύου μπορούν να μειωθούν, τόσο η πραγματική όσο και η άεργος ισχύς μπορεί να παρασχεθεί στο φορτίο από τις παρακείμενες γεννήτριες του μικροδικτύου. Αντίθετα, αν μια μεγάλη μικροδικτυακή παραγωγή εγκατασταθεί μακριά από τα φορτία του δικτύου τότε είναι πιθανό να αυξηθούν οι απώλειες στο σύστημα διανομής. Γενικά, υπάρχει σχέση μεταξύ της μεγάλης ζήτησης σε ένα δίκτυο διανομής και της χρήσης αντίστοιχων εγκαταστάσεων παραγωγής. Υπάρχουν, εκτός των άλλων, και απώλειες ενεργού ισχύος στο δίκτυο μεταφοράς. Αυτές οι απώλειες εξαρτώνται από τα ρεύματα στους κλάδους του δικτύου, που με τη σειρά τους εξαρτώνται από την τάση, ενώ ο υπολογισμός αυτών των τάσεων είναι το αντικείμενο της ροής ισχύος. Έτσι μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο μέρος εγκατάστασης και στο μέγεθος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, αφού η εγκατάσταση τους σε μη βέλτιστες τοποθεσίες μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των απωλειών ισχύος στο δίκτυο. Η βέλτιστη χωροθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής σε κάποια γραμμή εξαρτάται, όπως εξηγήσαμε, σε μεγάλο βαθμό από την διανομή του φορτίου στη γραμμή.

Η μικροδικτυακή παραγωγή επιλέγει να λειτουργεί με ένα συντελεστή ισχύος για κάθε μονάδα, για να ελαχιστοποιήσει τις ηλεκτρικές απώλειες και να αποφευχθούν οι όποιες δαπάνες για κατανάλωση άεργου ισχύος, ανεξάρτητα από τις ανάγκες του δικτύου διανομής. Αν το μικροδίκτυο παράγει ορισμένη ισχύ σύμφωνα με τον συντελεστή ισχύος της μονάδας, τα προφίλ τάσης είναι πολύ πιο ικανοποιητικά.

Για την αναγνώριση της βέλτιστης τοποθεσίας και την επιλογή του βέλτιστου μεγέθους, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα εργαλεία από ερευνητές. Οι καλύτερες τοποθεσίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο μικροδίκτυο επιλέγονται χρησιμοποιώντας δείκτες ευαισθησίας απωλειών που βασίζονται είτε στη μέθοδο ροής φορτίου Newton-Raphson είτε στους συντελεστές B-συντελεστές παλινδρόμησης.

Για τη διαχείριση ενέργειας, μέσω στρατηγικά τοποθετημένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, το δίκτυο κοινής ωφέλειας εξοικονομεί ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση, οι οποίες σε αντίθετη περίπτωση θα χάνονταν υπό μορφή θερμότητας μέσα στο δίκτυο. Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, οι διαχειριστές του δικτύου διανομής είναι υπεύθυνοι ή εξουσιοδοτημένοι να κρατήσουν τις απώλειες σε χαμηλά επίπεδα. Επιβραβεύονται για την μείωση απωλειών και τιμωρούνται για την αύξηση τους πέρα από την στοχευμένη τιμή. Στην Πορτογαλία συχνά οι απώλειες κατανέμονται στους χρήστες του δικτύου, δηλαδή στους πελάτες, μέσω της χρήσης παραγόντων ρύθμισης απωλειών ενέργειας -loss adjustment factors (LAF)- οι οποίοι καθορίζονται συνήθως για διαφορετικά επίπεδα τάσης και για διαφορετικές περιόδους.

Η τιμή των αποφευγόμενων απωλειών [21] πρέπει να συνδέεται άμεσα με τις απώλειες του συστήματος που πρόκειται να ανακτηθούν από τους χρήστες του δικτύου. Συχνά οι απώλειες επιμερίζονται στους χρήστες του δικτύου μέσα από τη χρήση των παραγόντων ρύθμισης απωλειών (LAF), οι οποίοι, όπως αναφέραμε, ορίζονται για διαφορετικά επίπεδα τάσης και για διαφορετικές περιόδους ως:

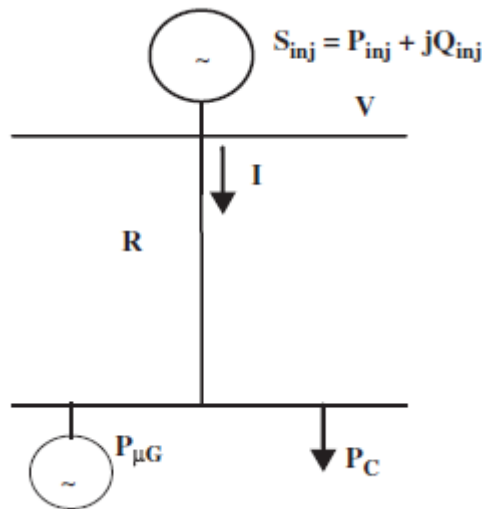
$$\gamma^h = \frac{p^h}{P_C^h} = \frac{p_f + p_v^h}{P_C^h} \quad (6.2)$$

όπου  $p^h$  είναι οι συνολικές ετήσιες απώλειες του δικτύου σε περίοδο  $h$ ,  $P_C^h$  η συνολική ετήσια ζήτηση στην ίδια περίοδο,  $p_f$  και  $p_v^h$  είναι οι τιμές των απωλειών που δεν συνδέονται με το φορτίο και των απωλειών σχετικών με το φορτίο αντίστοιχα σε περίοδο  $h$ . Στην περίπτωση της Πορτογαλίας υπάρχουν 20 τιμές LAF (5 επίπεδα τάσης και 4 ημερήσιες περιόδους), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη διανομή των απωλειών στους καταναλωτές.

Υποθέτοντας ένα μοντέλο όπως αυτό στην εικόνα 6.9. οι σχετικές με το φορτίο απώλειες μπορούν να προκύψουν από τη σχέση [21]:

$$p_v = R \left( \frac{S_{inj}}{V} \right)^2 = \alpha P_{inj}^2 \quad \text{με} \quad \alpha = \frac{R(1 + tg^2 \varphi)}{V^2} \quad (6.3)$$

όπου  $S_{inj} = P_{inj} + jQ_{inj}$  είναι η φαινόμενη ισχύς που εγχέεται στο δίκτυο,  $R$  η ισοδύναμη αντίσταση δικτύου,  $V$  η τάση του ζυγού από όπου εγχέεται η ισχύς και θεωρείται σταθερή και  $\cos \varphi$  ο συντελεστής ισχύος που επίσης θεωρείται σταθερός.



**ΕΙΚΟΝΑ 6.9.: ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.**

Η σχέση (6.3) μπορεί να ξαναγραφεί ως συνάρτηση της ζήτησης  $P_C$  :

$$p_v = \frac{-2\alpha P_C + 1 - \sqrt{-4\alpha P_C + 1}}{2\alpha} \quad (6.4)$$

Σε αυτή τη σχέση, η τιμή των βελτιωμένων απωλειών του δικτύου περιλαμβάνεται στο  $P_C$ . Με βάση την (6.4), μία έκφραση [21] για τον συντελεστή αποφευγόμενων απωλειών ( $\delta$ ) είναι

$$\delta = \frac{dp_v}{dP_{\mu G}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 - 4\alpha(P_C - P_{\mu G})}} \quad (6.5)$$

Θεωρώντας μία αρχική κατάσταση λειτουργίας με  $P_{\mu G} = 0$ , η σχέση (6.5) μπορεί να ξαναγραφεί έτσι ώστε να δειχθεί η σχέση μεταξύ  $\delta$  και  $\gamma$ :

$$\delta_j^h = 1 - \frac{1 + \gamma_j^h}{\sqrt{\gamma_j^{h^2} + 2\gamma_j^h(2\xi_j - 1) + 1}} \quad (6.6)$$

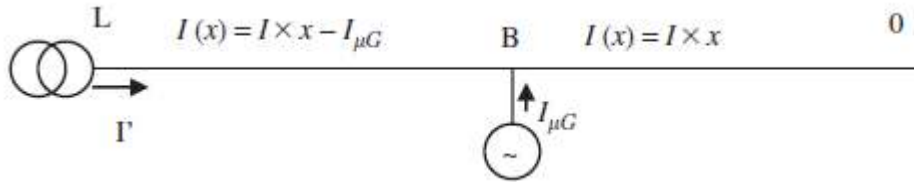
όπου  $\xi = p_f/p$  είναι το κλάσμα των αρχικών μη σχετικών με τη ζήτηση απωλειών και το  $j$  αντιπροσωπεύει το επίπεδο δικτύου [21].

Η εξίσωση (6.6) προέκυψε θεωρώντας ότι η ροή της ηλεκτρικής ισχύος, που προέρχεται από τη μικροπαραγωγή, περιορίζεται στα δίκτυα χαμηλής τάσης και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στα ανάντη δίκτυα. Όσον αφορά τα δίκτυα χαμηλής τάσης, μία διαφορετική προσέγγιση πρέπει να χρησιμοποιηθεί ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι αποφευγόμενες απώλειες, άπαξ και η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τη μικροπαραγωγή μπορεί να ρέει σε αυτά τα δίκτυα. Μία αναλυτική μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί, που επιτρέπει να λάβουμε υπόψη τη μεταβλητότητα των αποφευγόμενων απωλειών, όπως προκύπτει από τον αριθμό, το μέγεθος και την τοποθεσία των μικρογεννητριών, όπως επίσης από το είδος της κατανομής των φορτίων στα δίκτυα χαμηλής τάσης. Οι απώλειες σε ένα βρόχο χαμηλής τάσης, θεωρώντας ότι το ρεύμα φορτίου είναι ομοιόμορφα καταμεμημένο σε αυτό, μπορούν να προκύψουν από τη σχέση [21]:

$$p(0) = \int_0^L (Ix)^2 r dx = \frac{rI^2L^3}{3} = \frac{RI^2}{3}$$

(6.7)

όπου  $r$  είναι η ανά μονάδα μήκους αντίσταση του βρόχου,  $L$  το μήκος,  $I$  το ανά μονάδα μήκους ρεύμα φορτίου,  $R$  είναι η συνολική αντίσταση του βρόχου και  $I'$  είναι το συνολικό ρεύμα που εγχέεται στον βρόχο.



ΕΙΚΟΝΑ 6.10.: ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΚΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

Θεωρώντας τώρα ότι ένα σύστημα μικροπαραγωγής είναι συνδεδεμένο σε ένα συγκεκριμένο σημείο ( $B$ ) ενός δικτύου χαμηλής τάσης (εικόνα 6.10.), οι απώλειες γίνονται [21]:

$$p = \int_0^B (Ix)^2 r dx + \int_B^L (Ix - I_{\mu G})^2 r dx = p(0) - R[I' I_{\mu G}(1 - b^2) - I_{\mu G}^2(1 - b)] \quad (6.8)$$

όπου  $b = B/L$  και  $I_{\mu G}$  είναι το ρεύμα που προέρχεται από τη μικροπαραγωγή.

Η τιμή των αποφευγόμενων απωλειών εξαιτίας ενός συστήματος μικροπαραγωγής, ως ποσοστό των αρχικών απωλειών, δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{P_{av}}{p(0)} = 3[(1 - b^2)f - (1 - b)f^2] \quad (6.9)$$

όπου  $f = I_{\mu G}/I'$ .

Ας σημειωθεί ότι το σύστημα μικροπαραγωγής μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου χαμηλής τάσης. Επιπλέον, δεν υπάρχει λόγος να

πιστεύουμε ότι κάποια σημεία είναι πιο πιθανά από κάποια άλλα. Έτσι, η αναμενόμενη τιμή των αποφευγόμενων απωλειών μπορεί να προσδιοριστεί θεωρώντας μία ομοιόμορφη κατανομή πυκνότητας πιθανότητας για την θέση  $b$  της μονάδας μικροπαραγωγής

$$P_{av}^{exp} = \int_0^1 \frac{P_{av}(b)}{p(0)} db = 2f - \frac{3f^2}{2} \quad (6.10)$$

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι αναμενόμενες αποφευγόμενες απώλειες εξαρτώνται από τον αριθμό των συστημάτων μικροπαραγωγής, που συνδέονται σε ένα βρόχο χαμηλής τάσης, και στον τρόπο διανομής του ρεύματος φορτίου. Για να καταλάβουμε αυτές τις επιρροές, οι αναλυτικές εκφράσεις που εφαρμόζονται σε ένα διαφορετικό αριθμό μικρογεννητριών και στη διανομή του ρεύματος φορτίου προέκυψαν [21] και παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.:

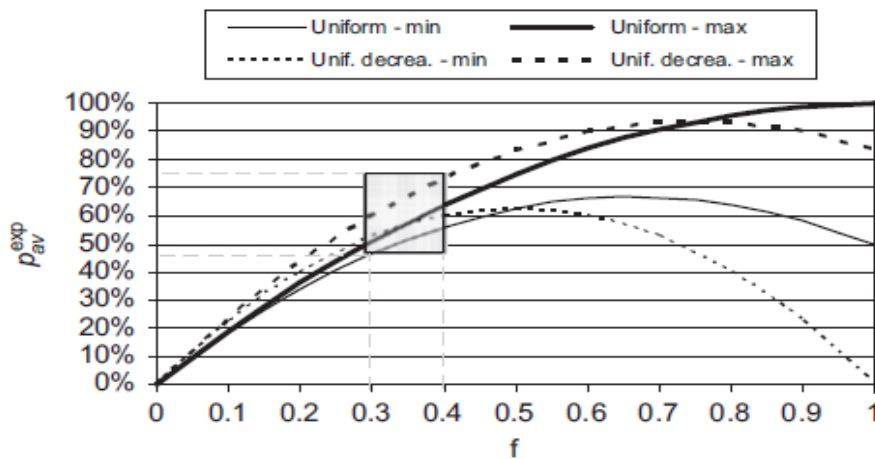
	Uniformly distributed load	Uniformly decreasing load
One microgenerator	$\frac{dP_{av}}{db} = 3(1 - b^2)f - (1 - b)f^2$ $b^{opt} = \frac{1}{2}$ $P_{av}^{opt} = \frac{1}{2}f(1 - 2f^2)$ $P_{av}^{min} = \frac{1}{2}(1 - f^2)(1 - b)$ $b = \frac{1}{2} - f - \frac{1}{2} \quad P_{av}^{min} = \frac{1}{2}$ $P_{av}^{opt} = 2f - f^2$ $f = \frac{1}{2} \quad P_{av}^{min} = \frac{1}{2}$	$\frac{dP_{av}}{db} = 5\left[\frac{1}{2}(1 - b^2)f - (1 - b)f^2\right]$ $b^{opt} = \sqrt{\frac{1}{5}}$ $P_{av}^{opt} = \frac{1}{2}(2f + f^2(\sqrt{2f - 3}))$ $P_{av}^{min} = \frac{1}{2}(1 - b)(b^2 + b + 1f^2)$ $b = \frac{1}{11}(1 + \sqrt{21}) \quad f = 0.6233 \quad P_{av}^{min} = 85.81\%$ $P_{av}^{opt} = \frac{1}{2}f - f^2$ $f = \frac{1}{2} \quad P_{av}^{min} = 62.5\%$
Two microgenerators	$\frac{dP_{av}}{db} = 3(1 - b^2)v - (1 - v)c^2(f - (v^2 - 1)c - v^2b + 1f^2)$ $(b, c)^{opt} = \left(\frac{1}{2}v, \frac{1}{2}(v + 1)\right)$ $P_{av}^{opt} = 3\left(f - \frac{c^2}{4} + \frac{c^2}{4} - f^2\right)$ $v^{opt} = \frac{1}{2}$ $P_{av}^{opt} = \frac{3f^2}{4} - 3f(1 - 1)$ $f = \frac{1}{2} \quad P_{av}^{min} = \frac{3f}{4}$ $P_{av}^{opt} = 2f - f^2\left(\frac{1}{2} + v^2 - v\right)$ $f = \frac{1}{2} \quad v = \frac{1}{2} \quad P_{av}^{min} = \frac{1}{2}$ $\frac{dP_{av}}{db} = 2f - f^2$	$\frac{dP_{av}}{db} = 5\left[\frac{1}{2}(v(c^2 - b^2) + 1 - v^2) + f^2(v^2(b - c) + c - 1)\right]$ $(b, c)^{opt} = \left(\sqrt{\frac{2}{5}}, \sqrt{\frac{3v+1}{5}}\right)$ $P_{av}^{opt} = 3f\left(2 + \sqrt{2f^2(v^2 - v^2 - 1)} - \sqrt{2f^2(v+1) - 3f}\right)$ $v^{opt} = \frac{v^2 + 2v + c^2}{4}$ $P_{av}^{opt} = \frac{3f}{4}\left(2 + 1.55\sqrt{f^2 - 3f}\right)$ $f = 0.7684 \quad P_{av}^{min} = 94.6\%$ $P_{av}^{opt} = \frac{1}{2}f(2v(1 - v) - 3f - 1)$ $f = \frac{1}{2} \quad v = \frac{1}{2} \quad P_{av}^{min} = \frac{1}{2}$ $\frac{dP_{av}}{db} = 2f - f^2$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ ΚΑΙ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Ας σημειωθεί ότι, όσον αφορά την επιρροή των αριθμού των συστημάτων μικροπαραγωγής, λήφθηκε η θεωρητική περίπτωση της ομοιόμορφα διανεμημένης μικροπαραγωγής (η οποία αντιστοιχεί στην πιο ευνοϊκή περίπτωση σχετικά με τη μείωση απωλειών), ώστε να επιτρέψει την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα. Η τελευταία κατανομή επιλέχθηκε επειδή ανταποκρίνεται σε μία κατάσταση όπου οι υποσταθμοί ΜΤ/ΧΤ βρίσκονται κοντά στα μεγαλύτερα φορτία. Προφανώς, μπορεί να βρεθούν οι εκφράσεις για οποιοδήποτε άλλο είδος διανομής ρεύματος φορτίου. Ας σημειωθεί ότι στον πίνακα 6.2., για την περίπτωση των δύο συστημάτων  $\mu G$ ,  $C$  είναι η θέση της δεύτερης μονάδας μικροπαραγωγής  $c = C/L$ ,  $I_{\mu G} = I_{\mu G1} + I_{\mu G2}$  και  $v = I_{\mu G1}/I_{\mu G}$ .

Η εκτίμηση των απωλειών χαμηλής τάσης, για γενικές δομές, μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας εκφράσεις που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Για να

υπολογίσουμε τη μεταβολή της αναμενόμενης τιμής των αποφευγόμενων απωλειών, εξαιτίας της αβεβαιότητας του αριθμού και της ισχύος των συστημάτων μικροπαραγωγής και του είδους της κατανομής φορτίου στα δίκτυα χαμηλής τάσης, μπορούν να οριστούν διαστήματα αποφευγόμενων απωλειών [21]. Το διάγραμμα 6.1. απεικονίζει τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές από τις αναμενόμενες αποφευγόμενες απώλειες για ομοιόμορφο ρεύμα φορτίου και για ομοιόμορφα μειούμενο ρεύμα φορτίου. Από αυτό το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για μία προβλεπόμενη τιμή  $f$  σε ένα διάστημα  $[0.3, 0.4]$  η αναμενόμενη τιμή των αποφευγόμενων απωλειών θα ανήκει στο διάστημα  $[47\%, 73\%]$ . Ας σημειωθεί ότι, αυτά τα όρια περιλαμβάνουν όλες τις μεταβολές που προκύπτουν από το επίπεδο διείσδυσης της μικροπαραγωγής και από το είδος της κατανομής φορτίου στα δίκτυα χαμηλής τάσης. Βασιζόμενοι σε αυτά τα διαστήματα, μπορούμε να εκτιμήσουμε τους παράγοντες αποφευγόμενων απωλειών που θα εφαρμοστούν στα δίκτυα χαμηλής τάσης. Για το παραπάνω παράδειγμα, χωρίς να λάβουμε υπόψη την επίδραση των μη σχετικών με το φορτίο απωλειών, ο συντελεστής των αποφευγόμενων απωλειών θα ανήκε στο διάστημα  $\delta_{LV}^h \in [-0.47\gamma_{LV}^h; -0.73\gamma_{LV}^h]$ .



Διάγραμμα 6.1.: Μέγιστες Και Ελάχιστες Τιμές Των Αναμενόμενων Αποφευγόμενων Απωλειών

Από τη στιγμή που προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών των αποφευγόμενων απωλειών, τα συνολικά ετήσια οφέλη σχετικά με τις αποφευγόμενες απώλειες, που εκφράζονται σε (€/kW έτος), μπορούν να προκύψουν από τη σχέση:

$$B_{L1} = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h \left( \prod_j (1 - \delta_j^h) - 1 \right) V_p^h \quad (6.11)$$

Ένα άλλο σημαντικό όφελος που μπορεί να προκύψει από τις αποφευγόμενες απώλειες έχει να κάνει με το οικονομικό κίνητρο ώστε να μειωθούν οι απώλειες, το οποίο ορίζεται στον ρυθμιστικό κανονισμό μερικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, στην Πορτογαλία υπάρχει ένα κίνητρο το οποίο επιβραβεύει ή τιμωρεί τον διαχειριστή του συστήματος διανομής, ανάλογα με την πραγματική τιμή των απωλειών του, σε σύγκριση με την τιμή αναφοράς, όπως φαίνεται στη σχέση:

$$B_{L2} = V(L^* - L)E \quad (6.12)$$

όπου  $V$  είναι η οικονομική τιμή των απωλειών (€/kWh) που ορίζεται από τον ρυθμιστή,  $L^*$  είναι η τιμή αναφοράς των απωλειών σε ποσοστό ορισμένη από τον ρυθμιστή,  $L$  είναι η πραγματική τιμή των απωλειών και  $E$  είναι η συνολική παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο.

- **Αναβολή της αναβάθμισης του δικτύου**

Ένα άλλο σημαντικό όφελος, που προκύπτει από τη μικροπαραγωγή, είναι η ενδεχόμενη αποφυγή δαπανών για επενδύσεις, οι οποίες σχετίζονται με την αύξηση του φορτίου. Τέτοιες είναι τα έξοδα απόκτησης και εγκατάστασης νέου εξοπλισμού ή αναβάθμισης του ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού, έτσι ώστε να καλυφθεί το προβλεπόμενο φορτίο αιχμής.

Ειδικότερα, εξαιτίας της αύξησης του φορτίου, μερικές γραμμές του δικτύου διανομής αντιμετωπίζουν μεγάλη συμφόρηση σε ώρες αιχμής ζήτησης. Σύμφωνα με την τοπολογία του δικτύου, ο διαχειριστής του δικτύου διανομής απαιτείται να αναβαθμίσει ένα μεγάλο μέρος του δικτύου για να ανακουφίσει τις υπερφορτωμένες γραμμές, κάτι που αποτελεί μια δαπανηρή πρόταση. Ακόμα, η αναβάθμιση για την αύξηση του φορτίου με την επένδυση σε καινούριους μετασχηματιστές ή με την εγκατάσταση νέων γραμμών διανομής είναι επίσης δαπανηρή.

Το μικροδίκτυο, με τις τοπικές εγκαταστάσεις παραγωγής, μειώνει τη ροή ισχύος στις γραμμές και αναβάλλει τελικά την ανάγκη αναβάθμισης ορισμένων υπερφορτωμένων γραμμών. Η ικανότητα της διεσπαρμένης παραγωγής, να αναβάλλει τις επενδύσεις για την επέκταση ή αναβάθμιση του δικτύου διανομής, συνήθως εξαρτάται από την κατάσταση του δικτύου και τα χαρακτηριστικά των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα πιο σημαντικά οφέλη αναβολής επενδύσεων επιτυγχάνονται όταν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής εγκαθίστανται στο τέλος των γραμμών και κοντά σε συγκεντρωμένα φορτία. Αλλά το πόσο θα αναβληθούν μελλοντικές επενδύσεις εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την θέση και το μέγεθος της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Οι ρυθμιστικές αρχές επιμένουν ώστε ο διαχειριστής του δικτύου διανομής να συμπεριλάβει τη διεσπαρμένη παραγωγή στα επιχειρηματικά σχέδια του ως μια λύση «χωρίς καλώδια» για την αναβάθμιση του δικτύου.

Είναι προφανές πως ο καθορισμός της συμβολής των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στη μείωση του αυξανόμενου φορτίου αιχμής είναι συνάρτηση του συστήματος παραγωγής στην ώρα αιχμής. Στην Πορτογαλία, η αιχμή φορτίου των δικτύων μεταφοράς και διανομής εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας μίας χειμωνιάτικης μέρας, κι έτσι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τείνουν να μην έχουν καμία συμβολή στην αναβολή των επενδύσεων που οφείλονται στην αύξηση του φορτίου στα δίκτυα μεταφοράς-διανομής, ενώ τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής τείνουν να έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά. Η λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στην αιχμή φορτίου μπορεί να προκαλέσει σημαντική εξοικονόμηση πόρων, βοηθώντας να αποφευχθούν οι άμεσες επενδύσεις αναβάθμισης. Επίσης η ευρωπαϊκή οδηγία απαιτεί ο διαχειριστής του δικτύου διανομής να εξετάσει την χρήση διεσπαρμένης παραγωγής ως ένα μέσο εφεδρικής δυναμικότητας δικτύου.

Οι επικρατούσες μέθοδοι για τον υπολογισμό των αποφευγόμενων δαπανών βασίζονται στην αξία της αναβολής επένδυσης κεφαλαίου δηλαδή τη μέθοδο παρούσας αξίας. Σε αυτή τη μέθοδο, η αξία της αναβολής μπορεί να βρεθεί από τη σχέση [21]:

$$\Delta PV = \sum_{k=1}^N \left[ 1 - \frac{1}{(1+i)^{\Delta t_k}} \right] \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (6.15)$$

όπου  $N$  είναι η περίοδος μελέτης σε έτη,  $I_k$  είναι η επένδυση κεφαλαίων που σχετίζεται με την αύξηση φορτίου,  $\Delta t_k$  είναι ο χρόνος αναβολής και  $i$  είναι το επιτόκιο.

Η αυθεντική μέθοδος της παρούσας αξίας υπολογίζει το αποφευγόμενο κόστος από την αναβολή της επένδυσης, η οποία οφείλεται στην αύξηση του φορτίου, για ένα χρόνο. Προφανώς, αυτή η περίοδος αναβολής μπορεί να υποτεθεί αν η μείωση στην αύξηση του φορτίου αιχμής ( $\delta L_k$ ) είναι τουλάχιστον ίση με την αναμενόμενη αύξηση φορτίου ( $\Delta L_k$ ). Παρ' όλα αυτά, όταν  $\delta L_k < \Delta L_k$ , ο χρόνος αναβολής που χρησιμοποιείται στην εξίσωση (6.15) είναι ένα κλάσμα του έτους που αντιστοιχεί στο λόγο  $\delta L_k / \Delta L_k$ . Αν και είναι δυνατόν, η χρήση ενός μη ακέραιου χρόνου αναβολής δεν είναι συνεπής με τις μεθόδους σχεδιασμού του συστήματος, όπου η αναβολή των επενδύσεων συμβαίνει σε έναν ακέραιο αριθμό ετών. Οπότε, αν το επίπεδο διείσδυσης της μικροπαραγωγής είναι τέτοιο, ώστε η τιμή  $\delta L_k$  που προκύπτει από τη λειτουργία της είναι μικρότερη από την  $\Delta L_k$ , η έκφραση (6.15) δεν είναι κατάλληλη ώστε να υπολογιστούν οι αποφευγόμενες δαπάνες της μεταφοράς και διανομής. Έχει παρουσιαστεί μία μεθοδολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν τα αποφευγόμενα κόστη μεταφοράς και διανομής που προκύπτουν από μία κατάσταση όπου  $\delta L_k < \Delta L_k$ . Αυτή η μεθοδολογία βασίζεται στην εύρεση ότι μία μείωση φορτίου  $0 < \delta L_k < \Delta L_k$  σε ένα έτος  $k$ , θα προκαλούσε την αναβολή ενός έτους, του  $\delta L_k / \Delta L_k \times 100\%$  των κεφαλαιακών επενδύσεων που σχετίζονται με την αύξηση φορτίου για αυτόν τον χρόνο. Ακολουθώντας αυτή την προσέγγιση, η έκφραση (6.15) μπορεί να ξαναγραφεί ως [21]:

$$\Delta PV = \left(1 - \frac{1}{(1+i)}\right) \sum_{k=1}^N \frac{\delta L_k}{\Delta L_k} \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (6.16)$$

Για μια γενική τεχνολογία μικροπαραγωγής, η τιμή του  $\delta L_k$  είναι συνάρτηση του συστήματος παραγωγής στις ώρες αιχμής. Υποθέτοντας ότι μία γενική τεχνολογία μικροπαραγωγής έχει συντελεστή ικανότητας  $F$  στις ώρες αιχμής, η έκφραση (6.16) γίνεται [21]:

$$\Delta PV = \left(1 - \frac{1}{(1+i)}\right) \sum_{k=1}^N \frac{F \times P_{inst}}{\Delta L_k} \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (6.17)$$

όπου  $P_{inst}$  είναι η εγκατεστημένη ισχύς της γενικής τεχνολογίας μικροπαραγωγής.

Το συνολικό αποφευγόμενο κόστος ( $C_{av}$ ) εκφρασμένο ως συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος ( $\text{€}/kW_{inst}$ ) δίνεται από τη σχέση [21]:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^N \frac{C_{av}}{(1+i)^k} P_{inst} &= \left(1 - \frac{1}{(1+i)}\right) \sum_{k=1}^N \frac{F \times P_{inst}}{\Delta L_k} \frac{I_k}{(1+i)^k} \\ C_{av} &= \frac{\left(1 - (1/(1+i))\right) \sum_{k=1}^N (F / \Delta L_k) (I_k / (1+i)^k)}{\sum_{k=1}^N (1/(1+i)^k)} \end{aligned} \quad (6.18)$$

Ένα σημαντικό ζήτημα στο υπολογισμό της τιμής  $C_{av}$  μπορεί να είναι η επίδραση της μορφής της μείωσης ροής φορτίου ( $\delta L_k$ ) που παράγεται από τα συστήματα μικροπαραγωγής κατά την περίοδο της μελέτης. Στην πραγματικότητα, η συνεισφορά μίας συγκεκριμένης τεχνολογίας μικροπαραγωγής στη μείωση της

αιχμής φορτίου αλλάζει στην πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει επειδή ο συντελεστής χρησιμοποίησης των τεχνολογιών μικροπαραγωγής υπαγορεύεται από τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η αβεβαιότητα μπορεί να περιληφθεί στο μοντέλο, χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας κατάλληλη να αντιπροσωπεύσει τις πιθανές τιμές που μπορεί να πάρει ο  $F$  κατά τη διάρκεια του χρόνου. Όσον αφορά το  $\Delta L_k$ , οι τιμές του μπορούν να προβλεφθούν με τη χρήση του αναμενόμενου ποσοστιαίου ρυθμού αύξησης φορτίου  $r$ , ώστε [21]:

$$\Delta L_k = P_0 (1+r)^{k-1} r \quad (6.19)$$

όπου  $P_0$  είναι η ισχύς αιχμής στην αρχή της περιόδου μελέτης.

#### **6.5.4. Οφέλη από την βέλτιστη επιλογή τεχνολογίας**

Από την βέλτιστη επιλογή τεχνολογίας μπορούν να προκύψουν σημαντικά οφέλη όπως είναι η ανάκτηση αποβαλλόμενης θερμότητας, η ενίσχυση της αξιοπιστίας, δηλαδή η ελάττωση του κόστους διακοπών στον καταναλωτή (Customers Interruption Cost-CIC), βοηθητικές υπηρεσίες (επάρκεια παραγωγής), μείωση των εκπομπών και ελαχιστοποίηση του κόστους καυσίμου. Καθώς διαφορετικοί τύποι πηγών διεσπαρμένης παραγωγής, έχουν διαφορετικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά, η οικονομική επιτυχία του μικροδικτύου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των διεσπαρμένων πηγών παραγωγής σε συνδυασμό με τις πηγές που βασίζονται στην συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, δηλαδή μικροτουρμπίνες, κυψέλες καυσίμου, γεννήτριες diesel κ.α., οι οποίες παρέχουν προβλέψιμη ποσότητα παραγωγής (ενώ αντίθετα η παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, π.χ. φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κ.α., δεν μπορεί να προβλεφθεί επειδή εξαρτάται από καιρικές παραμέτρους). Γι αυτό το λόγο, αποθηκευτικές συσκευές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για να διασφαλίσουν μια προβλεπόμενη ποσότητα παραγωγής.

Η μετάφραση των παραπάνω οφελών σε οικονομικούς όρους θα μπορούσε να ενθαρρύνει τους ιδιοκτήτες των μικροδικτύων σε μελλοντικές επενδύσεις.

- **Ανάκτηση αποβαλλόμενης θερμότητας [22]**

Το μικροδίκτυο προορίζεται να εξυπηρετήσει τόσο τις ηλεκτρικές όσο και τις θερμικές ανάγκες των καταναλωτών του. Αυτές οι δύο ανάγκες ακολουθούν δύο διαφορετικά προφίλ και είναι πολύ δύσκολος οποιοσδήποτε συγχρονισμός ανάμεσα τους. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να αποφασιστεί αν θα ακολουθηθεί προφίλ εξυπηρέτησης ηλεκτρικών ή θερμικών αναγκών, προκειμένου να αναπτυχθεί στρατηγικά η διεσπαρμένη παραγωγή. Δεδομένου ότι η μεταφορά της θερμότητας, δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας προγραμματίζει τη διεσπαρμένη παραγωγή, ώστε αυτή να συντονιστεί με τις θερμικές ανάγκες των καταναλωτών, με στόχο την ελάττωση των θερμικών απωλειών. Τότε, η αποβαλλόμενη θερμότητα, η οποία ανακτάται από τη λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για να καλύψει τη ζήτηση αυτή. Το μοντέλο plug-and-play των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής διευκολύνει την τοποθέτηση τους κοντά στο θερμικό φορτίο, οπότε επιτρέπεται καλύτερη χρήση της αποβαλλόμενης θερμότητας χωρίς πολύπλοκα συστήματα διανομής θερμότητας, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για εξοπλισμό θέρμανσης,



εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Ο εξοπλισμός HVAC λειτουργεί, κυρίως, σε ώρες αιχμής φορτίου όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή. Η χρησιμοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αντικαθιστά τη χρήση αυτού του εξοπλισμού και ελαττώνει τις δαπανηρές ενεργειακές απαιτήσεις στις ώρες αιχμής.

Το μοντέλο λογισμικού Distributed Energy Resources Customer Adoption Model (DER-CAM) καθορίζει ότι ο βέλτιστος συνδυασμός διεσπαρμένης παραγωγής και εξοπλισμού ανάκτησης θερμότητας μειώνει συνολικά το κόστος της ενέργειας περίπου 15%, ανάλογα με την εκάστοτε πολιτική τιμολόγησης. Οι επενδύσεις σε διεσπαρμένη παραγωγή, που βασίζεται σε συμπαραγωγή, θα είναι οικονομικά αποδοτικές εφόσον το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής συν την εξοικονόμηση ζήτησης θερμότητας (εάν υπάρχει), είναι μικρότερο από την αντίστοιχη δαπάνη που πληρώνεται στο δίκτυο κοινής ωφέλειας. Με μια εσωτερική μονάδα συμπαραγωγής 10kW για θέρμανση χώρου και ζεστό νερό, μελέτες δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί 20-30% εξοικονόμηση στον λογαριασμό ενέργειας, αν η εσωτερική μονάδα συμπαραγωγής συγκριθεί με ένα συνηθισμένο Boiler και το νεκρό διάστημα της επένδυσης (break even period BEP) είναι περίπου 5-10 χρόνια ανάλογα με την περίπτωση, π.χ. ένα καλά μονωμένο σπίτι χρειάζεται μεγαλύτερη περίοδο BEP.

- **Ενίσχυση της αξιοπιστίας (μείωση του κόστους της διακοπής στον καταναλωτή (CIC)) [22]**

Το μικροδίκτυο προσφέρει την πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές εντός αυτού, το οποίο είναι υψίστης σημασίας ζήτημα ιδιαίτερα για καταναλωτές, όπως νοσοκομεία κ.τ.λ., για τους οποίους είναι ζωτικής σημασίας η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.

Ερευνητές ανέλυσαν την συντονισμένη δραστηριότητα του συστήματος διαχείρισης διανομής με το δίκτυο χαμηλής τάσης, με μικρογεννήτριες, φορτία και αποθηκευτικές συσκευές, προκειμένου να εκτιμηθεί η ικανότητα του μικροδικτύου να βελτιώσει την αξιοπιστία του συστήματος διανομής. Επιπλέον, ανέλυσαν την επιρροή διαφορετικών αναλογιών παραγωγής-φορτίου, διαφορετικών προφίλ τάσης και μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης ρεύματος, στην μείωση του κόστους διακοπής στον καταναλωτή. Για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές γραμμικού προγραμματισμού. Στη συνέχεια αξιολογήθηκε το κόστος διακοπής ισχύος (power interruption cost PIC), το οποίο ισοδυναμεί με το κόστος που προκαλείται στον καταναλωτή από διακοπή ρεύματος, και αποδείχθηκε ότι το κόστος αυτό σχεδόν μηδενίστηκε με το σχηματισμό μικροδικτύου, ενώ εκτιμάται ότι έχει υψηλή τιμή χωρίς την ενσωμάτωση διεσπαρμένης παραγωγής. Μία ανάλυση κόστους-οφέλους επικύρωσε ότι από τη μείωση του κόστους διακοπής (CIC) στον καταναλωτή, οικονομικά οφέλη μπορούν να επιτευχθούν με την επιλογή του κατάλληλου τύπου, μεγέθους και της βέλτιστης χωροθέτησης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, επιτεύχθηκε βελτίωση του δείκτη της μέσης διάρκειας διακοπής του συστήματος (ASIDI) με την εγκατάσταση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Αποδεικνύεται επίσης, ότι οι τιμές του δείκτη ASIDI θα μπορούσαν να μειωθούν (δηλ. ενίσχυση αξιοπιστίας), μέσω μεγαλύτερης διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής, αν και θα οδηγούσαν σε μείωση του λόγου κέρδους προς κόστος (benefit to cost-BCR).

Υπάρχει μία διάταξη στο ρυθμιστικό πλαίσιο, που προβλέπει την πληρωμή προστίμου στον καταναλωτή στην περίπτωση που τα πρότυπα αξιοπιστίας παραβιάζονται. Σε γενικές γραμμές, οι καταναλωτές δεν συμβιβάζονται με οποιαδήποτε μείωση στην αξιοπιστία της παροχής, αλλά την ίδια στιγμή δεν είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν επιπλέον για να καλύψουν το κόστος οποιασδήποτε ενίσχυσης που αναλαμβάνεται από την υπηρεσία κοινής ωφέλειας. Η κατάσταση αυτή καθιστά την αξιολόγηση των οφελών που προκύπτουν από τη γενική βελτίωση της αξιοπιστίας ένα μάλλον πολύπλοκο, αν όχι αδύνατο έργο.

- **Αυξημένη αξιοπιστία για τους συμμετέχοντες στο Μικροδίκτυο [21]**

Η ικανότητα των μικροδικτύων να λειτουργούν απομονωμένα από το κύριο δίκτυο, μετά από ένα σφάλμα σε αυτό, αποφέρει οφέλη στους εσωτερικούς μικροπαραγωγούς, που απορρέουν από την επιπλέον πώληση της ενέργειας κατά τη διάρκεια της βλάβης. Ένα σημαντικό ζήτημα εδώ, είναι η ικανότητα ορισμένων συστημάτων μικροπαραγωγής να αυξήσουν την παραγωγή τους, όταν το μικροδίκτυο απομονώνεται. Εάν υποθεθεί ότι όλη η ηλεκτρική ενέργεια που έχει παραχθεί από το Μικροδίκτυο έχει καταναλωθεί, η αξία της ετήσιας παραγωγής που δε χάνεται σε απώλειες ( $V_{NLG}$ ) του Μικροδικτύου γίνεται:

$$V_{NLG} = \sum_p \left( \sum_G \lambda_{up}^p (r_{up}^p - P_M T_a) \frac{W_G^p}{T_p} \times p_G - \Delta C_G^p \right) \quad (6.20)$$

όπου  $p_G$  είναι η αμοιβή της γεννήτριας  $G$  σε €/kWh (υπολογίζεται παρακάτω),  $\Delta C_G^p$  είναι το κόστος που προέκυψε από τη γεννήτρια  $G$  σε περίοδο  $p$  προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή του όταν το μικροδίκτυο απομονώνεται,  $\lambda_{up}$  και  $r_{up}$  είναι ο ρυθμός διακοπής και ο μέσος χρόνος αποκατάστασης του ανάντη δικτύου,  $W_{G,T}^p/T^p$  είναι η μέση ενέργεια που παράγεται από την μικροπαραγωγή σε περίοδο  $p$ ,  $P_M$  είναι η πιθανότητα του μικροδικτύου να αποτύχει να απομονωθεί από το δίκτυο Μέσης Τάσης μετά από διακοπή και  $T_a$  είναι ο μέσος χρόνος για την αποκατάσταση του μικροδικτύου μετά από πλήρη απενεργοποίηση.

Η ικανότητα των μικροδικτύων να απομονώνονται από το ανάντη δίκτυο προσφέρει επίσης οφέλη για τους εσωτερικούς τους καταναλωτές (ή τουλάχιστον σε ένα μέρος αυτών) με τη μείωση του αριθμού και της διάρκειας των διακοπών που υφίστανται. Για ένα συγκεκριμένο μικροδίκτυο, το ετήσιο οικονομικό όφελος των καταναλωτών ( $V_{ANDE}$ ) μπορεί να προκύψει από:

$$V_{ANDE} = \sum_C \sum_p \lambda_{up}^p (r_{up}^p - P_M T_a) \Gamma_C^p \times V_C^p \quad (6.21)$$

$$\Gamma_C^p = W_C^p \quad \text{αν} \quad \frac{W_{G,T}^p}{T^p} - \sum_{i \in \Omega} W_i^p \geq W_C^p$$

$$\Gamma_C^p = \frac{W_{G,T}^p}{T^p} - \sum_{i \in \Omega} W_i^p \quad \text{αν} \quad \frac{W_{G,T}^p}{T^p} - \sum_{i \in \Omega} W_i^p < W_C^p \quad (6.22)$$

όπου  $W_{G,T}^p/T^p$  είναι η μέση ισχύς που παράγεται από μονάδες μικροπαραγωγής σε περίοδο  $p$ ,  $V_C^p$  είναι η μέση τιμή της αποφευγόμενης, μη διανεμόμενης, ενέργειας για τον  $C$  τύπο φορτίου σε περίοδο  $p$ ,  $W_C^p$  είναι η μέση ισχύς που καταναλώνεται από το

φορτίο  $C$  σε περίοδο  $p$ , και  $\Omega$  είναι η τάξη των φορτίων με υψηλότερη σειρά προτεραιότητας από το φορτίο  $i$ .

- Γενικές βελτιώσεις αξιοπιστίας [21]

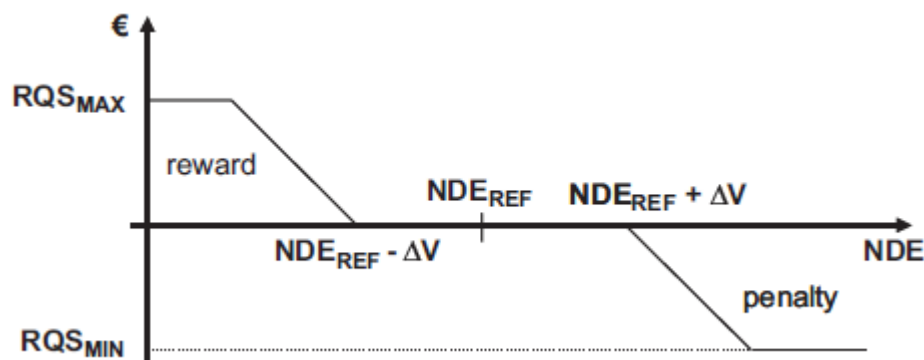
Μέσα από τη λειτουργία του Μικροδικτύου καθίσταται δυνατή η βελτίωση της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας του συστήματος, αφού τα μικροδίκτυα ακολουθούν την αρχή της διεσπαρμένης παραγωγής, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να μην παράγεται αποκλειστικά από λίγες μεγάλες μονάδες.

Η ικανότητα του μικροδικτύου να λειτουργεί ως ελεγχόμενο φορτίο (με τον έλεγχο του εσωτερικού του φορτίου και της παραγωγής του) και να εργάζεται απομονωμένα από το κύριο δίκτυο μπορεί να βοηθήσει τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής (DNO) να επιτύχουν μερική αναδιάρθρωση του δικτύου, που διαφορετικά θα ήταν αδύνατη. Ως συνέπεια αυτών των αναδιαρθρώσεων, οι δείκτες αξιοπιστίας για ορισμένους καταναλωτές, οι οποίοι δεν ανήκουν στο μικροδίκτυο, μπορούν να βελτιωθούν, με αποτέλεσμα ένα οικονομικό όφελος  $V_{RC}$ . Επιπλέον, ως αποτέλεσμα της βελτίωσης της αξιοπιστίας, θα εμφανιστεί μια μείωση στην τιμή της ενέργειας που δεν έχει διανεμηθεί και, ανάλογα με τον κανονισμό που ισχύει, μια αύξηση των εσόδων των φορέων εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής. Το όφελος αυτό μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$V_{ANDE}^{DNO} = \Delta NDE \times V_{DE} \quad (6.23)$$

όπου  $\Delta NDE$  είναι η αποφευγόμενη, μη διανεμόμενη, ενέργεια από το μικροδίκτυο (συμπεριλαμβανομένων των καταναλωτών του μικροδικτύου) και  $V_{DE}$  η τιμή μιας kWh.

Επίσης, ορισμένα οφέλη για τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής ενδέχεται να προκύψουν, σύμφωνα με το ρυθμιστικό πλαίσιο που είναι σε ισχύ. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ένα μηχανισμό κινήτρων, ο οποίος επιτρέπει στον διαχειριστή του δικτύου διανομής να ανταμειφθεί ή να υποστεί κυρώσεις, σύμφωνα με το σύνολο της μη παραδοθείσας ενέργειας (NDE), όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.2. (Πορτογαλική νομοθεσία):



Διάγραμμα 6.2.: Μηχανισμός Κινήτρων Αξιοπιστίας

Οι τιμές των  $NDE_{REF}$ ,  $\Delta V$ ,  $RQS_{MAX}$ , και  $RQS_{MIN}$  καθορίζονται από τον κανονισμό και η τιμή της μη παραδοθείσας ενέργειας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NDE = \frac{ED}{T} TIEPI \quad (6.24)$$

όπου ED είναι η ετήσια ενέργεια (kWh) που λήφθηκε από το δίκτυο διανομής μέσης τάσης και TIEPI είναι το αντίστοιχο χρονικό διάστημα διακοπής (h/έτος) στο δίκτυο μέσης τάσης, το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ID_{ij} \times IP_j}{\sum_{j=1}^m IP_j} \quad (6.25)$$

όπου  $ID_{ij}$  είναι η διάρκεια της διακοπής  $i$  που επηρεάζει τον καταναλωτή  $j$  και  $IP_j$  είναι η εγκατεστημένη ισχύς του καταναλωτή  $j$ .

Η ύπαρξη των μικροδικτύων μπορεί να βοηθήσει τον διαχειριστή του δικτύου διανομής να αποφύγει τις κυρώσεις ή να επιβραβευθεί, δεδομένου ότι, μετά από μια διακοπή μέσης τάσης, ορισμένοι καταναλωτές δεν υφίστανται διακοπή και, κατά συνέπεια, η συνολική αξία της μη διανεμημένης ενέργειας μειώνεται. Κατά συνέπεια υπάρχει ένα όφελος  $V_{RP}$ .

Ένα άλλο θέμα που μπορεί να οριστεί από τον κανονισμό είναι οι κυρώσεις που πρέπει να επιβάλλονται απευθείας στους καταναλωτές, όταν δεν έχουν εκπληρωθεί ορισμένα πρότυπα αξιοπιστίας. Η εξίσωση (6.26) ορίζει ότι η ποινή πρέπει να καταβληθεί στον καταναλωτή, εάν είτε ο αριθμός, είτε η διάρκεια των διακοπών κατά τη διάρκεια του έτους, υπερβαίνει τις τιμές αναφοράς (όπως ορίζονται στην Πορτογαλία). Όταν σημειώνεται υπέρβαση των δύο τιμών, η ποινή είναι η μεγαλύτερη τιμή.

$$C_I = (N_I - N_{ref}) F_C$$

$$C_D = (D_I - D_{ref}) P_C \times K_C \quad (6.26)$$

όπου  $C_I$  και  $C_D$  είναι, αντιστοίχως, οι κυρώσεις που οφείλονται στην υπέρβαση του αριθμού και της διάρκειας των διακοπών,  $N_I$  και  $D_I$  οι τιμές για τον αριθμό και τη διάρκεια των διακοπών κατά τη διάρκεια του έτους,  $N_{ref}$  και  $D_{ref}$  οι τιμές αναφοράς για τον αριθμό και τη διάρκεια των διακοπών,  $F_C$  και  $K_C$  είναι οι συντελεστές ποινής και  $P_C$  είναι η συμβατική ισχύς από τον πελάτη.

Δεδομένου ότι ένα μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργήσει απομονωμένα, ο αριθμός των διακοπών και η διάρκειά τους, τουλάχιστον σε ένα μέρος των καταναλωτών στο εσωτερικό του, μπορεί να μειωθεί. Κατά συνέπεια, ένα όφελος ( $V_p$ ) μπορεί να υπάρξει, που απορρέει από την ενδεχόμενη μείωση των συνολικών κυρώσεων που καταβάλλονται στους καταναλωτές από την εταιρεία διανομής, αν υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραβιάσεων των προτύπων. Από την άλλη πλευρά, ενδεχόμενο όφελος αυτού του είδους θα αντιστοιχεί στη μείωση των εσόδων για τους καταναλωτές που είχαν δικαίωμα να λάβουν την αποζημίωση. Αυτό δεν περιλήφθηκε στην έκφραση (6.21), επειδή εφαρμόζεται μόνο σε πελάτες, στους οποίους παρέχεται χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών, αλλά μια λεπτομερής ανάλυση δεν πρέπει να αγνοήσει την πτυχή αυτή. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα οφέλη που προκύπτουν από τις γενικές βελτιώσεις αξιοπιστίας είναι δύσκολο να εκτιμηθούν.

- **Βοηθητικές υπηρεσίες (επάρκεια ηλεκτροπαραγωγής) [21], [22]**

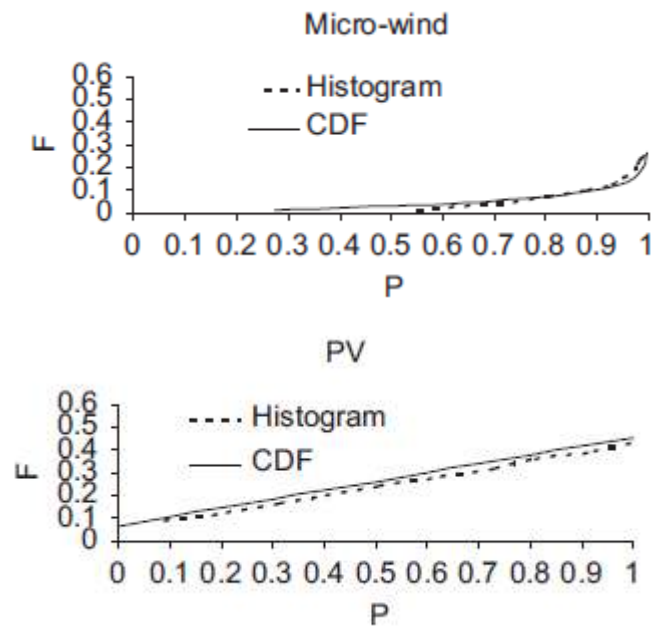
Ένα άλλο σημαντικό όφελος που μπορεί να προκύψει από τη μικροπαραγωγή συνδέεται με την διασφάλιση επαρκούς παραγωγικής ικανότητας. Βοηθητικές υπηρεσίες ή υπηρεσίες εφεδρείας χρειάζονται όταν το δίκτυο λειτουργεί υπό συνθήκες πίεσης. Σε ένα αναδιαρθρωμένο ενεργειακό σύστημα, ο σχεδιασμός της εφεδρικής δυναμικότητας είναι πολύ σημαντικός λόγω της μεγάλης αλληλεπίδρασης μεταξύ της πλευράς της προσφοράς και της πλευράς της ζήτησης. Οι ερευνητές εκτίμησαν την αξία της εφεδρικής δυναμικότητας από την πιθανοτική κατανομή των διακοπών παροχής και από τα χαρακτηριστικά συγκεντρωτικής ζήτησης των καταναλωτών. Χάρη στις γεννήτριες ταχείας εκκίνησης, ο καταναλωτής δεν υφίσταται διακοπή και η συνάρτηση ζημίας (CDF) δεν εμφανίζεται στην αξιολόγηση της εφεδρικής ισχύος.

Ως εφεδρεία επείγουσας ανάγκης, η τουρμπίνα καύσης μικρού μεγέθους, ταχείας εκκίνησης, προτείνεται σαν μια καλή επιλογή, επειδή ξεκινά μέσα στον απαιτούμενο χρόνο, στο 90% των προσπαθειών.

Ο μικτός γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η βέλτιστη στρεφόμενη εφεδρεία (spinning reserve (SR)) για μία δεδομένη δέσμευση παραγωγής της επόμενης μέρας. Οι αβεβαιότητες της ανεμογεννήτριας, των φωτοβολταϊκών και του φορτίου αθροίζονται σε ένα ισοδύναμο μοντέλο διανομής πριν την εισαγωγή στη συνάρτηση βελτιστοποίησης. Κάποιοι ερευνητές πρότειναν ότι η εφεδρεία ισχύος ορίζεται αυθαίρετα ως το 50% της διαθέσιμης ισχύος στο μικροδίκτυο.

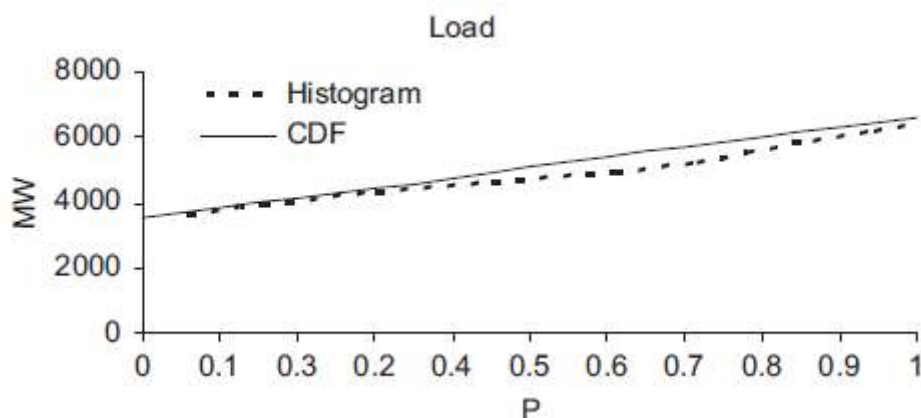
Ο πιθανός θετικός αντίκτυπος της μικροπαραγωγής στην διασφάλιση της επάρκειας της παραγωγικής ικανότητας θα πρέπει να αξιολογείται και, κατά περίπτωση, να αποτιμάται σε χρήμα. Μια προσέγγιση για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι να χρησιμοποιηθεί μια μεθοδολογία που βασίζεται σε προσομοίωση Monte-Carlo (MCS) για τη σύγκριση των δεικτών επάρκειας μιας υπόθεσης βάσης χωρίς μικροπαραγωγή, με τους δείκτες που σχετίζονται με διάφορες διεισδύσεις των διάφορων τεχνολογιών μικροπαραγωγής. Η μεθοδολογία αυτή πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις εποχικές και ημερήσιες συσχετίσεις μεταξύ φορτίου και του προφίλ παραγωγής συστημάτων μικροπαραγωγής (που επηρεάζονται από καιρικές συνθήκες). Η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναλύσει έναν αριθμό πιθανών τυπικών καταστάσεων, δηλαδή να εξαχθούν συμπεράσματα για την ευαισθησία των αποτελεσμάτων σε παραμέτρους, όπως η αρχική αξιοπιστία του συστήματος, ο αριθμός και η διαστασιολόγηση των μονάδων μικροπαραγωγής, το είδος της τεχνολογίας κ.λ.π.. Τα ακόλουθα στοιχεία δείχνουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν για ένα δοκιμαστικό σύστημα που υιοθετήθηκε από την Πορτογαλία. Το συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μοντελοποιήθηκε υποθέτοντας ένα σύνολο θερμικών μονάδων 400MW, με ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών (forced outage rate FOR) ίσο με 5%. Προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι εποχικές και ημερήσιες συσχετίσεις μεταξύ του φορτίου και του προφίλ μικροπαραγωγής, 24 περίοδοι ορίστηκαν, οι οποίες αντιστοιχούν σε έξι ημέρες και τέσσερις ετήσιες περιόδους. Για κάθε περίοδο, η ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά και από μικρά αιολικά προσομοιώνεται με χρήση της αντίστροφης μεθόδου μετασχηματισμού και των κατάλληλων συναρτήσεων αθροιστικής κατανομής πιθανότητας (CDF), που χαρακτηρίζουν τον παράγοντα χρησιμοποίησης ( $F$ ) κάθε τεχνολογίας μικροπαραγωγής.

Το διάγραμμα 6.3. δείχνει παραδείγματα αντίστροφων CDF για μικρά αιολικά και φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ημερήσια περίοδο μεταξύ 7:30 π.μ. και 9:30 π.μ. της καλοκαιρινής ετήσιας περιόδου.

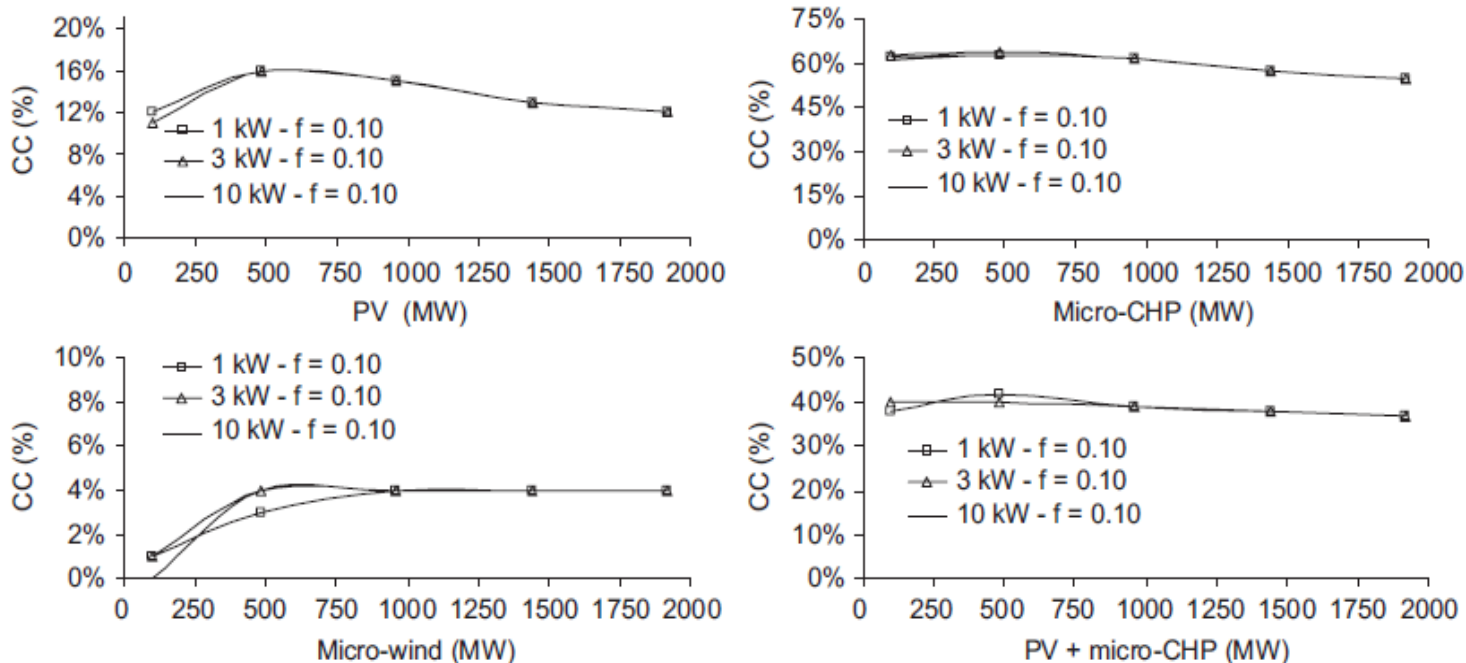


*Διάγραμμα 6.3.: Αντίστροφη Αθροιστική Κατανομή Πιθανότητας Για Μικροαιολικά Και Φωτοβολταϊκά Συστήματα*

Όσον αφορά τα συστήματα μικροσυμπαγωγής, η μεγάλη προβλεψιμότητα τους επιτρέπει τη χρήση μίας τυπικής τιμής για το  $F$  (για την προηγούμενη περίοδο ήταν ίση με 20%). Όσον αφορά το φορτίο, 24 αθροιστικές κατανομές πιθανότητας χρησιμοποιήθηκαν για να χαρακτηρίσουν τη συμπεριφορά του στο χρόνο. Το διάγραμμα 6.4. δείχνει την αντίστροφη αθροιστική κατανομή πιθανότητας που χρησιμοποιήθηκε για την προαναφερθείσα περίοδο.



*Διάγραμμα 6.4.: Αντίστροφη Αθροιστική Κατανομή Πιθανότητας Για Το Σύστημα Φορτίου*



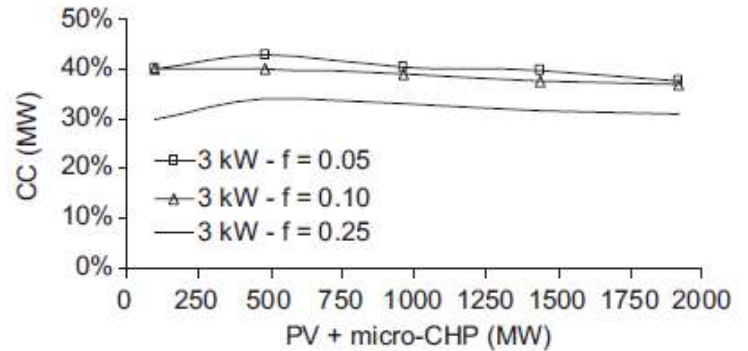
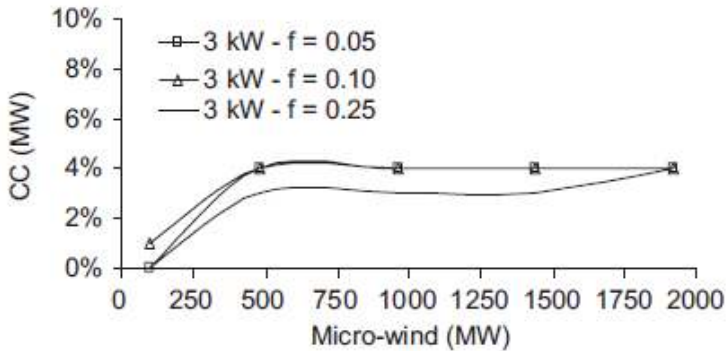
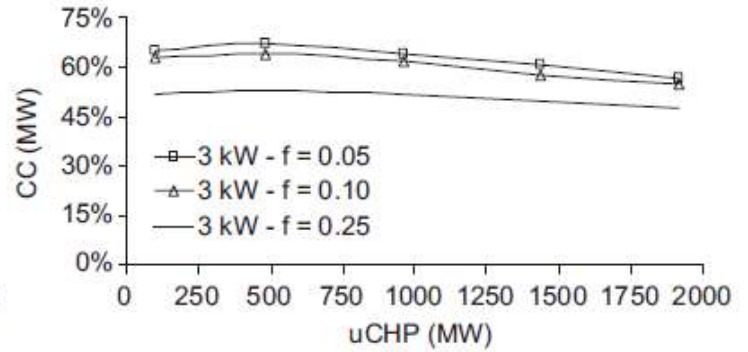
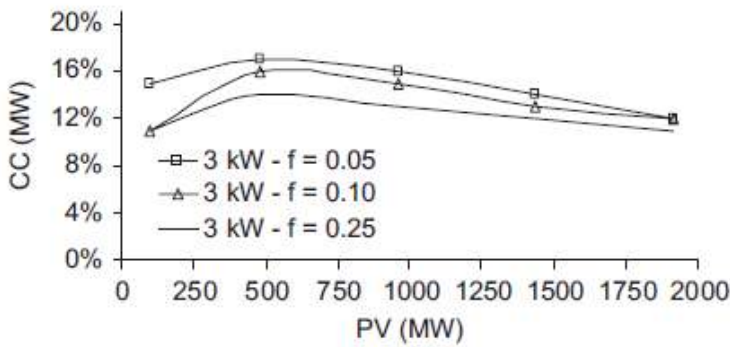
Διάγραμμα 6.5.: Επίδραση Της Ατομικής Ικανότητας Στον Συντελεστή Ικανότητας

Οι προσομοιώσεις που έγιναν, δείχνουν ότι συντελεστής ικανότητας (credit of capacity-CC) που αποδίδεται στις μονάδες μικροπαραγωγής είναι ελαφρώς επηρεασμένος από την παραγωγική ικανότητα κάθε μικρογεννήτριας, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.5.. Ας σημειωθεί ότι η  $f$  είναι η πιθανότητα αστοχίας των μικρογεννητριών. Ο συντελεστής ικανότητας CC ορίζεται ως ο λόγος της δυναμικότητας του συμβατικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να «κατασταλεί», διατηρώντας την ίδια απώλεια στο αναμενόμενο φορτίο (LOLE), προς την συνολική εγκατεστημένη ισχύ της μικροπαραγωγής που προστέθηκε στο σύστημα. Το διάγραμμα 6.6. δείχνει την επίδραση της πιθανότητας αποτυχίας των μικρογεννητριών στον συντελεστή ικανότητας, η οποία είναι πιο σημαντική από εκείνη που οφείλεται στην ικανότητα των μικρογεννητριών. Παρ' όλα αυτά, αυτή η επιρροή τείνει να είναι περιορισμένη.

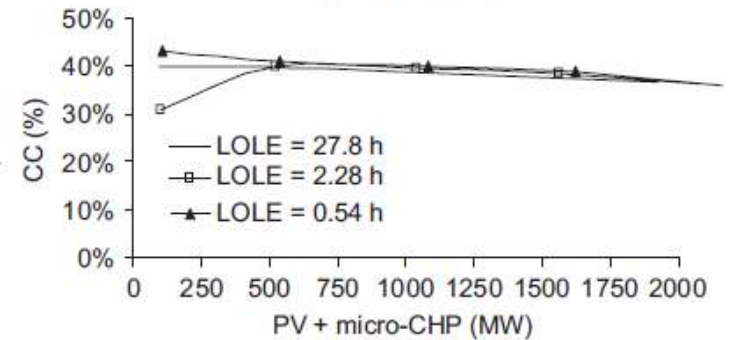
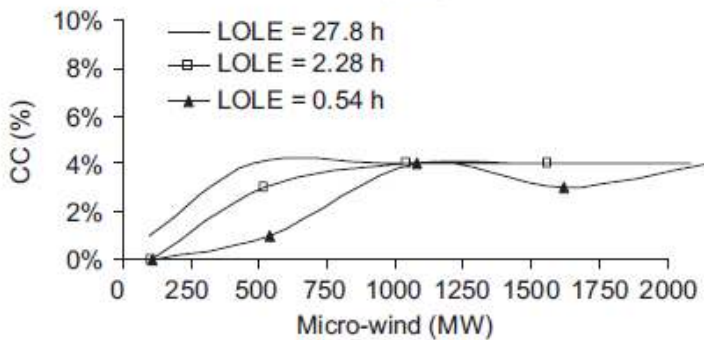
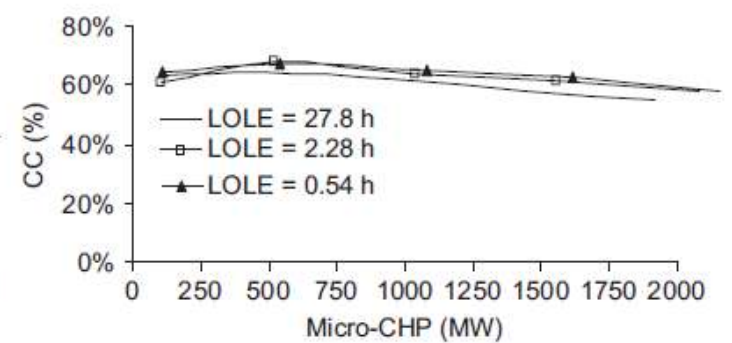
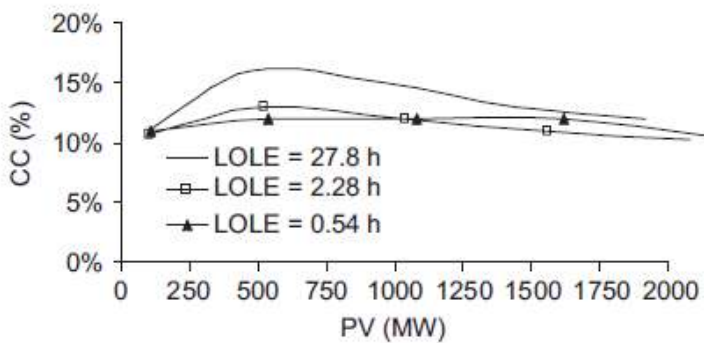
Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση των αρχικών δεικτών αξιοπιστίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, μερικές μελέτες έχουν γίνει με διαφορετικές τιμές της αρχικής αναμενόμενης απώλειας φορτίου (27.8, 2.28, και 0.54 ώρες). Το διάγραμμα 6.7. δείχνει τα σχετικά αποτελέσματα, τα οποία επιτρέπουν να συμπεράνουμε ότι αυτή η επιρροή τείνει να είναι περιορισμένη.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται [21], και τα αποτελέσματα επιτρέπουν τον ποσοτικό προσδιορισμό του συντελεστή ικανότητας CC που αποδίδεται στις διαφορετικές τεχνολογίες μικροπαραγωγής. Αυτός ο συντελεστής CC μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί σε ένα οικονομικό όφελος ( $B_{CC}$ ) που προκύπτει από τη μικροπαραγωγή.





Διάγραμμα 6.6.: Επίδραση Της Ατομικής Πιθανότητας Αποτυχίας Στον Συντελεστή Ικανότητας



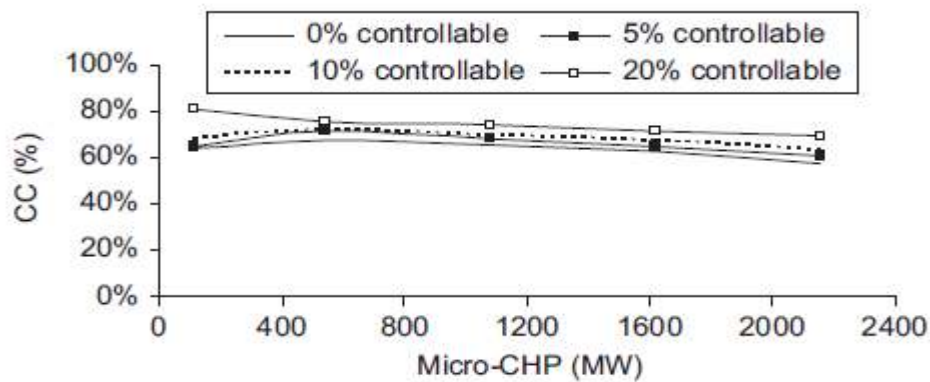
Διάγραμμα 6.7.: Επίδραση Της Αρχικής Αξιοπιστίας Στον Συντελεστή Ικανότητας

Όσον αφορά τη μικροπαραγωγή, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι μόνο τα συστήματα μικρο-συμπαραγωγής μπορούν αποτελεσματικά να ελεγχθούν, καθώς η παραγωγή των φωτοβολταϊκών και των μικρο-αιολικών συστημάτων καθορίζεται από



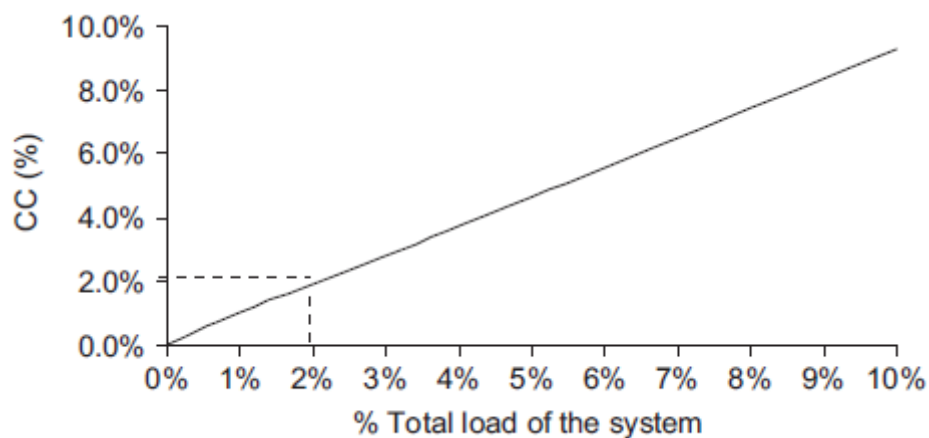
τη διαθεσιμότητα των πρωτογενών πόρων. Ακόμη και για τα συστήματα μικρο-συμπαραγωγής, μόνο εκείνα με ικανότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά την αξιολόγηση της αναβολής των επενδύσεων και των οφελών που προκύπτουν από την εγκατάσταση των μικροδικτύων.

Το διάγραμμα 6.8. παρουσιάζει την επιρροή των μικροδικτύων στον συντελεστή ικανότητας των συστημάτων μικρο-συμπαραγωγής, όταν διαφορετικά ποσοστά των φορτίων των συστημάτων αυτών θεωρούνται ως ελεγχόμενα (για ένα σύστημα με αρχική αναμενόμενη απώλεια φορτίου για 0.54h).



**Διάγραμμα 6.8.: Επίδραση Του Μικροδικτύου Στον Συντελεστή Ικανότητας Των Συστημάτων Μικροσυμπαραγωγής**

Όσον αφορά τον έλεγχο του φορτίου, το διάγραμμα 6.9 δείχνει τους συντελεστές ικανότητας που αποδίδονται στα μικροδίκτυα, όταν θεωρούμε ολόένα και αυξανόμενες ποσότητες του συνολικού φορτίου του συστήματος ως ελεγχόμενο. Ας σημειωθεί ότι ο συντελεστής ικανότητας αναφέρεται στην συνολική παραγωγική ικανότητα του συμβατικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (10.800MW). Λαμβάνοντας υπόψη το παράδειγμα του διαγράμματος 6.9, 216MW του συμβατικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αποκοπούν, εάν τα μικροδίκτυα καταστήσουν ελέγξιμο το 2% του συνολικού φορτίου του συστήματος.



**Διάγραμμα 6.9.: Επίδραση Του Μικροδικτύου Στον Συντελεστή Ικανότητας Των Συστημάτων Μικροσυμπαραγωγής**

- **Ελάττωση των εκπομπών**

Ένα άλλο σημαντικό όφελος που μπορεί να προκύψει από την μικροπαραγωγή έχει να κάνει με τις αποφευγόμενες εκπομπές στην ατμόσφαιρα, κυρίως όσον αφορά το διοξείδιο του άνθρακα. Τα Μικροδίκτυα έχουν μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση χρησιμοποιώντας σε μεγάλο βαθμό -εκτός της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και γενικότερα νέες τεχνολογίες, φιλικότερες προς το περιβάλλον. Η ενσωμάτωση τοπικά παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας διαμορφώνει ευνοϊκότερους όρους για το περιβάλλον και την αιεφόρο ανάπτυξη.

Για ένα μικρό σύστημα συμπαραγωγής οι αποφευγόμενες απώλειες θα πρέπει να υπολογιστούν, λαμβάνοντας το συμβατικό λέβητα (boiler) σαν σημείο αναφοράς. Η τιμή αναφοράς των εκπομπών μπορεί να διαφέρει με το χρόνο λειτουργίας του εκάστοτε συνδυασμού των μονάδων παραγωγής του συστήματος. Για παράδειγμα, με την εκτεταμένη χρήση των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα στην Πορτογαλία, οι εκπομπές τείνουν να μειωθούν.

Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει ευαισθησία ως προς τη διεύθυνση της διεσπαρμένης παραγωγής (ιδιαίτερα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) και την καμπύλη εκπομπών του ανάντη δικτύου, η οποία δείχνει σε ποιο μήνα οι εκπομπές γίνονται μέγιστες. Για παράδειγμα, στο αγροτικό πορτογαλικό δίκτυο, διεύθυνση 20% της διεσπαρμένης παραγωγής μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 2,07-4,85%, ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο 6,5 εκατομμύρια τόνοι εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο μπορούν να αποφευχθούν από 50 εκατομμύρια εγκαταστάσεις αστικών μονάδων συμπαραγωγής.

Η συμμετοχή στην αγορά εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να αντισταθμίσει τη μείωση των κερδών της διεσπαρμένης παραγωγής, μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Εξαιτίας των υψηλών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, το μικροδίκτυο είναι δυνατό να έχει ένα θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, όσον αφορά την υπερθέρμανση του πλανήτη, δεδομένου ότι μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Για παράδειγμα, σε τρεις πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών μελετήθηκαν τα οφέλη που προκύπτουν, με βάση τις αντίστοιχες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και τους φόρους ρύπανσης. Στην Ατλάντα και στη Βοστώνη, όπου οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι αντίστοιχα χαμηλές και μέτριες, ένα ρεαλιστικό επίπεδο φόρου ρύπανσης (\$100/tC) δίνει κίνητρο, για μείωση των εκπομπών άνθρακα λιγότερο από 1%, σε σχέση με την περίπτωση μη ύπαρξης φόρου ρύπανσης. Αντίθετα, στην Καλιφορνία, όπου υπάρχουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, ο φόρος ρύπανσης πρέπει να ξεπεράσει τα \$400/tC για να αρχίσει να υιοθετείται «πράσινη» τεχνολογία διεσπαρμένης παραγωγής. Ακόμα και σε επίπεδο φόρου ρύπανσης, μικρότερο από \$400/tC, περισσότερο από 20% μείωση στις εκπομπές άνθρακα πραγματοποιείται όταν μια σημαντική επιδότηση παρέχεται για το κόστος των «πράσινων» τεχνολογιών.

Στον υπολογισμό του οφέλους εκπομπών, πρέπει να γίνει μία διάκριση μεταξύ τεχνολογιών συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) και τεχνολογιών χωρίς συμπαραγωγή. Για ένα σύστημα χωρίς συμπαραγωγή, τα οφέλη μπορούν να προκύψουν από τη σχέση (σε €/kW έτος) [21]:

$$B_E = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h \prod_j (1 - \delta_j^h) R V_E \quad (6.27)$$

όπου  $R$  είναι η τιμή αναφοράς των εκπομπών και  $V_E$  είναι η συνολική οικονομική αξία των αποφευγόμενων εκπομπών.

Ας σημειωθεί ότι η τιμή αναφοράς των εκπομπών μπορεί να μεταβάλλεται στο χρόνο, αντανακλώντας την ποικιλία των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται (για παράδειγμα, στην Πορτογαλία οι εκπομπές τείνουν να είναι λιγότερες το χειμώνα εξαιτίας της πιο εντατικής χρήσης των υδροηλεκτρικών σταθμών).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για ένα σύστημα μικροσυμπαγωγής, οι αποφευγόμενες εκπομπές πρέπει να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη ένα λέβητα αναφοράς που θα χρησιμοποιείτο για να παραχθεί θερμική ενέργεια αν το σύστημα μικροσυμπαγωγής δεν χρησιμοποιείτο. Έτσι, θεωρώντας ότι τα συστήματα μικροσυμπαγωγής αναπτύσσονται πάντα με γνώμονα τις θερμικές ανάγκες, τα οφέλη είναι (σε €/kW έτος) [21]:

$$B_E = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h \left( \prod_j (1 - \delta_j^h) R - \frac{\eta_{th}}{\eta_e} \left( \frac{1}{\eta_{th}} - \frac{1}{\eta_b} \right) e \right) V_E \quad (6.28)$$

όπου  $\eta_e$  και  $\eta_{th}$  είναι αντίστοιχα ο ηλεκτρικός και θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος μικροσυμπαγωγής,  $\eta_b$  είναι ο θερμικός βαθμός απόδοσης του λέβητα αναφοράς και  $e$  είναι οι συνολικές εκπομπές.

## **6.6. Κόστη των μικροδικτύων**

### **6.6.1. Κόστη σχετικά με την ανάπτυξη του μικροδικτύου [21]**

Η πρώτη κατηγορία των δαπανών που σχετίζονται με την ανάπτυξη των μικροδικτύων ( $I_{inv}$ ) προκύπτει από τις ειδικές επενδύσεις σε ελεγκτές, συστήματα προστασίας, συστήματα αποθήκευσης, κ.λ.π., καθώς και από δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (προσωπικό, απώλειες στα συστήματα αποθήκευσης, συντήρηση του εξοπλισμού κ.λ.π.).

Μια επιπλέον διάκριση του κόστους πρέπει να γίνει μεταξύ των τεχνολογιών συμπαγωγής και αυτών που δεν περιλαμβάνουν συμπαγωγή. Δηλαδή, για τις τεχνολογίες μικροσυμπαγωγής, το κόστος θα πρέπει να εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη ότι τα εν λόγω συστήματα έχουν την τάση να χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα για συμβατικούς λέβητες. Ως εκ τούτου, το κόστος της μικροσυμπαγωγής, που εκφράζεται σε (€/kW έτος), είναι:

$$\text{για σύστημα χωρίς συμπαγωγή: } \lambda = \frac{r(r+1)^T}{(r+1)^T - 1} \times C^{cap} + OM$$

ή για σύστημα με συμπαγωγή:

$$\lambda = \frac{\eta_{th}}{\eta_e} \left( \frac{r(r+1)^T}{(r+1)^T - 1} (C^{cap} - C_b^{cap}) + c_f \left( \frac{1}{\eta_{th}} - \frac{1}{\eta_b} \right) \right) \quad (6.29)$$

όπου  $r$  είναι το επιτόκιο,  $T$  είναι η περίοδος απόσβεσης που ορίζεται για κάθε τεχνολογία μικροπαραγωγής, η οποία θα πρέπει να καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική της βιωσιμότητα,  $C^{cap}$  είναι η τιμή της επένδυσης του συστήματος μικροπαραγωγής (€/kW),  $OM$  είναι το κόστος ετήσιας λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος),  $C_b^{cap}$  είναι η αξία της επένδυσης ενός λέβητα αναφοράς, και  $c_f$  είναι το μοναδιαίο κόστος των καυσίμων.

Ας σημειωθεί ότι, για την προηγούμενη έκφραση, η τιμή ( $C^{cap} - C_b^{cap}$ ) αναπαριστά το πρόσθετο μοναδιαίο κόστος για να αντικατασταθεί ένας συμβατικός λέβητας με ένα σύστημα μικροσυμπαγωγής. Επιπλέον, υποτίθεται ότι το κόστος συντήρησης είναι το ίδιο για τις δύο αυτές τεχνολογίες. Οι ανάγκες επένδυσης στο Μικροδίκτυο [21] φαίνονται παρακάτω:

Device	Quantity
μGrid central controller	1
Microgenerators controller	1 for each microgenerator
Load controller	1 for consumer
LV protection devices	1 circuit breaker for each LV branch
Protection of MV Grid/μGrid interface	1 static switch with protection relays
Communication system	1
Storage system (flywheel)	1
Metering equipment	Several

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.: ΑΝΑΓΚΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΙΑ ΕΝΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ**

### **6.6.2. Κόστη στους διαχειριστές του δικτύου διανομής**

Η σύνδεση των μονάδων μικροπαραγωγής με τα δίκτυα χαμηλής τάσης μπορεί να φέρει και κάποια πρόσθετα κόστη κεφαλαίου όπως επίσης και κόστη λειτουργίας και συντήρησης στους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής. Το κεφαλαιακά κόστη ενδέχεται να προκύψουν από πιθανές επενδυτικές ανάγκες, ώστε να ξεπεραστούν τα τεχνικά προβλήματα όπως η ρύθμιση υπερτάσεων, τα επίπεδα σφάλματος, η αστάθεια τάσης και η υπερφόρτωση. Ωστόσο, ορισμένες μελέτες, με βάση τυπικά δίκτυα, δείχνουν ότι σημαντικές ποσότητες μικροπαραγωγής μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυα διανομής χωρίς σημαντικές επενδύσεις. Οι μελέτες που έγιναν με πυκνότητα φορτίου των 5.2 και 0.5MW/km<sup>2</sup> δεν παρουσίασαν τεχνικά προβλήματα με τη διείσδυση μικροπαραγωγής σε ποσοστό μέχρι 100% (όπου το ποσοστό αφορά τον αριθμό των ιδιοκτησιών στις οποίες εγκαθίσταται ένα σύστημα μικροπαραγωγής οποιουδήποτε τύπου ονομαστικής ισχύος από 1 ή 1.1kW). Ας σημειωθεί, ότι σε ορισμένες ειδικές συνθήκες, είναι αναγκαίο να τροποποιηθούν οι λόγοι των μετασχηματιστών ΜΤ/ΧΤ. Η τροποποίηση αυτή θα απαιτείται μόνο όταν η διείσδυση μικροπαραγωγής σε μια συγκεκριμένη περιοχή φτάσει σε ένα όριο, το οποίο θα μπορούσε να είναι της τάξης του 50% σε ένα αστικό δίκτυο. Θα μπορούσε όμως να μεταβάλλεται από 20% έως και σχεδόν 100% , αν η μικροσυμπαγωγή είναι η επικρατούσα τεχνολογία. Σε μια τέτοια περίπτωση, υπάρχουν ορισμένα έξοδα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Όσον αφορά τη λειτουργία και τη συντήρηση, διάφορες δαπάνες μπορεί να προκύψουν που σχετίζονται με τη λήψη μετρήσεων, την επεξεργασία των δεδομένων και την πολιτική τιμολόγησης. Ας σημειωθεί, ότι τουλάχιστον ένα μέρος των δαπανών αυτών μπορεί να αντισταθμιστεί από μερικά οφέλη, που οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής μπορούν να αποκομίσουν.

## **6.7. Μεθοδολογία για το διαμοιρασμό των κοστών και των οφελών**

### **6.7.1. Κατανομή των δαπανών και των οφελών της μικροπαραγωγής**

Για μια συγκεκριμένη τεχνολογία, τα κόστη (C) και τα οφέλη (B) όπως παρουσιάζονται παραπάνω μπορεί να επηρεάσουν τέσσερις ομάδες παραγόντων: τους μικροπαραγωγούς (G), τους καταναλωτές (C), τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων (N), και την κοινωνία (S). Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, το σύνολο των οφελών για κάθε ομάδα j θα πρέπει να υπερβαίνει το συνολικό κόστος κατά μια ποσότητα η οποία, τουλάχιστον, κάνει τη μικροπαραγωγή μη ανεπιθύμητη για οποιοδήποτε από τα ενδιαφερόμενα μέρη ( $B_j \geq \rho C_j \wedge \rho > 1$ ). Επιπλέον, ένα όφελος ( $\psi$ ) για την κοινωνία μπορεί να περικλείει οφέλη που σχετίζονται με την ενεργειακή πολιτική (αύξηση της ασφάλειας των συστημάτων ενέργειας, διαφοροποίηση των πρωτογενών πηγών ενέργειας, μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από το εξωτερικό), και άλλα πιθανά οικονομικά οφέλη (νέες οικονομικές δραστηριότητες, καινοτομία). Σημειώστε ότι η τιμή του  $\psi$  θα ήταν διαφορετική, για διαφορετικές τεχνολογίες μικροπαραγωγής.

Τα κόστη και τα οφέλη που συζητήθηκαν παραπάνω αποκομίζονται από διαφορετικούς παράγοντες, με τρόπο ο οποίος επηρεάζεται από την ισχύουσα νομοθετική ρύθμιση. Για παράδειγμα, το όφελος που προκύπτει από την αναβολή επενδύσεων στον τομέα μεταφοράς και διανομής μπορεί να καταμερίζεται στους καταναλωτές ή στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό. Μια πιθανή κατάσταση παρουσιάζεται παρακάτω [21]:

$$\begin{aligned}
 C_{\mu G} &= \lambda \\
 C_S &= 0 \\
 C_N &= \beta \\
 C_C &= 0 \\
 B_{\mu G} &= B_W \\
 B_S &= B_E + \psi + B_{CC} \\
 B_N &= B_{L1} + B_{L2} \\
 B_C &= C_{av}
 \end{aligned} \tag{6.30}$$

όπου  $\beta$  είναι το πιθανό επιπλέον κεφάλαιο και τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας (€/kW έτος) στους διαχειριστές του δικτύου διανομής. Μια πιθανή προσέγγιση για να μοιράζονται τα κόστη και τα οφέλη στα ενδιαφερόμενα μέρη είναι [21]:

$$B_j^f = C_j + \chi_j \left( \sum_j B_j - C_j \right) \quad (6.31)$$

όπου  $B_j^f$  είναι το τελικό όφελος για τον παράγοντα  $j$  και το  $\chi \in [0, 1]$  αντιπροσωπεύει το συντελεστή διαμοιρασμού.

Ο προτεινόμενος τρόπος καταμερισμού εξασφαλίζει ότι κάθε παράγοντας ανακτά τη δαπάνη του και αποκομίζει ένα μέρος του υπάρχοντος πλεονάσματος. Ο παράγοντας διαμοιρασμού επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Αυτή η διάκριση μπορεί να γίνει σύμφωνα με τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο που αντιμετωπίζει κάθε παράγοντας, και με απώτερο στόχο την ενίσχυση της ελκυστικότητας της επένδυσης στην μικροπαραγωγή. Με βάση την (6.31), ένα τέλος που θα καταβάλλεται για ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από κάθε τεχνολογία  $G$  της μικροπαραγωγής, μπορεί να ορίζεται ως (€/kWh) [21]:

$$p_G = \frac{B_j^f}{\sum_p \sum_h F_p^h N_p^h} \quad (6.32)$$

### **6.7.2. Κατανομή των δαπανών και των οφελών των Μικροδικτύων**

Τα οφέλη και τα κόστη για τους διαφορετικούς παράγοντες που προκύπτουν από την εγκατάσταση Μικροδικτύου είναι [21]:

$$\begin{aligned} C_{\mu Grid} &= Inv + \Delta C \\ C_S &= 0 \\ C_N &= 0 \\ C_C &= V_{RP} \\ B_{\mu Grid} &= V_{ANDE} + V_{NLG} \\ B_S &= \psi' + V_{CC} \\ B_N &= V_{NDE}^{DNO} + V_p + V_{RP} \\ B_C &= V_{RC} + V_1 \end{aligned} \quad (6.33)$$

Μερικά οφέλη, που μπορούν να επιτευχθούν με την εγκατάσταση ενός Μικροδικτύου, είναι έντονα εξαρτώμενα από τη δυνατότητα του να επιτρέψει την ενεργή διαχείριση φορτίου/παραγωγής. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει επιπλέον οφέλη, κυρίως για τους φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων (που σχετίζονται με τη βελτίωση της αξιοπιστίας και την αναβολή των επενδύσεων στο δίκτυο). Μέρος των εν λόγω οφελών, καθώς και μέρος κοινωνικών οφελών ( $\psi'$ ) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη χρηματοδότηση ενός μηχανισμού κινήτρων, που θα δημιουργηθεί για τη στήριξη επενδύσεων στα μικροδίκτυα, όπως εξηγείται παρακάτω. Τα κίνητρα αυτά μπορούν να καταβληθούν κατευθείαν στους

καταναλωτές και στους μικροπαραγωγούς, προκειμένου να προωθηθούν πρόσθετες επενδύσεις που συνδέονται με τις τεχνικές απαιτήσεις των Μικροδικτύων.

### **6.8. Τιμολογιακή πολιτική**

Οι πολιτικές τιμολόγησης ασκούνται με βάση τον δίκαιο καταμερισμό των εξόδων παραγωγής και μεταφοράς-διανομής, σε πελάτες με παρόμοιο καταναλωτικό προφίλ.

Η τιμολόγηση βασίζεται σε [22]:

- μία πάγια χρέωση (€/μήνα), που προορίζεται να καλύψει το κόστος των υποδομών και του δικτύου διανομής,
- ογκομετρική χρέωση (€/kWh), για να καλυφθεί το μεταβλητό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως τα κόστη των καυσίμων και τα μεταβλητά έξοδα συντήρησης και
- μία χρέωση σύμφωνα με τη ζήτηση (€/kW), που προορίζεται για τη συλλογή των πάγιων εξόδων των υποδομών, από τους καταναλωτές, ανάλογα με τη ζήτηση.

Υπάρχουν τρεις τύποι ογκομετρικής χρέωσης [22], δηλαδή, οριζόντια (flat), σύμφωνα με το χρόνο χρήσης (TOU) και τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (RTP). Οι μελετητές διατύπωσαν το όφελος που προκύπτει για τον ιδιοκτήτη του μικροδικτύου από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορικούς πελάτες, χρησιμοποιώντας σταθερές, ογκομετρικές χρεώσεις και χρεώσεις ζήτησης στην πολιτική τιμολόγησης. Επίσης, συμπεριέλαβαν χρέωση εφεδρικής παραγωγής του δικτύου, με βάση το κρίσιμο φορτίο του μικροδικτύου, ως αρνητικό όφελος για τον ιδιοκτήτη, καθώς επίσης και μια αντίστοιχη χρέωση με βάση την ζήτηση αιχμής, ως ένα θετικό όφελος.

Για να ενθαρρυνθούν οι επενδύσεις σε μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής, ή για την υποστήριξη εγκατάστασης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπως είναι για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά αιολικά, κ.λ.π., οι ρυθμιστικές αρχές εφαρμόζουν ένα τέλος σε όλες τις συναλλαγές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να αυξηθεί η χρηματοδότηση. Το τέλος αυτό πρέπει να βασίζεται στην τιμή των αναμενόμενων οφελών.

Μια λογική και δίκαιη τιμολογιακή πολιτική εκπομπών θα πρέπει να είναι ενσωματωμένη στο σύστημα της αγοράς, έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής να αποτιμάται δεόντως, λαμβάνοντας υπόψη την καθαρή μείωση των εκπομπών. Η τιμολόγηση θα μπορούσε ακόμη και να είναι συνάρτηση του χρόνου, της εποχής και του τόπου, έτσι ώστε στις χρονικές περιόδους και στις τοποθεσίες που απειλούνται περισσότερο από την ρύπανση του περιβάλλοντος, η τιμολόγηση να είναι πιο ελκυστική. Τα κεφάλαια που θα συγκεντρωθούν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό ρυπογόνου εξοπλισμού, ώστε να εξασφαλιστεί μόνιμη μείωση των εκπομπών που σχηματίζουν νέφος, αλλά και αυτών που προκαλούν προβλήματα υγείας.

Η εισαγωγή των ευφών μετρητών γίνεται ευεργετική για την εφαρμογή των νέων συστημάτων τιμολόγησης, καθώς και για την τόνωση της απόκρισης ζήτησης, που βασίζεται σε τιμολογιακά κίνητρα, όταν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής έχουν διεισδύσει στην παραγωγή.

## **6.9. Στρατηγική αγοράς**

Το Μικροδίκτυο μπορεί να συμμετέχει στην αγορά ενέργειας [22] καθώς και σε αγορές βοηθητικών υπηρεσιών. Η αγορά του Μικροδικτύου είναι ολιγοπωλιακή. Ο κεντρικός ελεγκτής (MGCC) του μικροδικτύου ενεργεί ως διαχειριστής της αγοράς για την ελεγχόμενη περιοχή του μικροδικτύου και παίζει το ρόλο του διαχειριστή ενέργειας, μέσω του συντονισμού διάφορων μικρών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ή παραγόντων παραγωγής και διάφορων κατηγοριών φορτίων - αποκοπτόμενων ή μη αποκοπτόμενων- ή παραγόντων κατανάλωσης. Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και τα φορτία συμμετέχουν στη διαδικασία συντονισμού μέσω των αντίστοιχων ατομικών τους ελεγκτών, όπως ο ελεγκτής πηγής (GC) και ο ελεγκτής φορτίου (LC). Ο «αντιπρόσωπος» του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ανακοινώνει σε όλους τους συμμετέχοντες την τιμή πώλησης και αγοράς, αλλά δεν συμμετέχει στη λειτουργία της αγοράς. Η ενέργεια του μικροδικτύου θα μπορούσε να είναι εμπορεύσιμη, αν τα οφέλη της ενεργειακής διαχείρισης μέσω της στρατηγικής ανάπτυξης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ήταν κατάλληλα ποσοτικοποιημένα και μεταφρασμένα σε χρηματικές μονάδες και παράλληλα, καταναμεημένα στους ιδιοκτήτες τους ως κίνητρα.

Ο κεντρικός ελεγκτής του μικροδικτύου έχει σχεδιαστεί για τον ευφυή και αυτόματο έλεγχο της λειτουργίας της αγοράς και του Μικροδικτύου, και έχει ως στόχο να ικανοποιήσει την τοπική ζήτηση, τόσο ηλεκτρισμού όσο και θερμότητας, χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη κατανομή των τοπικών μονάδων παραγωγής του, είτε χωρίς τη συμμετοχή του δικτύου, που έχει ονομαστεί ως συμπεριφορά του «καλού πολίτη» ή ανταλλάσσοντας ενέργεια με το δίκτυο ως «ιδανικός πολίτης». Κάθε μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής έχει την αυτονομία να καθορίσει το βέλτιστο επίπεδο της ενέργειας, το οποίο είναι διατεθειμένη να παράγει σε μια δεδομένη τιμή αγοράς. Αυτή η ευέλικτη λειτουργία της παραγωγής ανακουφίζει το μικροδίκτυο, καθώς και τις κοντινές γραμμές από την συμφόρηση, κατά τη στιγμή της αιχμής της ζήτησης, όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή, και επίσης βοηθά το μικροδίκτυο κατά τη στιγμή της μη-διασυνδεδεμένης λειτουργίας. Η τιμή της αγοράς επηρεάζει επίσης την απόκριση των πελατών-φορτίων που αποκόπτονται ή ελέγχονται, οι οποίοι μειώνουν το φορτίο τους σε υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιχειρήσεις Διανομής εγγυώνται την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας στους πελάτες, αγοράζοντας την από τη χονδρική αγορά μέσω μακροπρόθεσμων διμερών συμβάσεων προώθησης με παραγωγούς ή με μεσάζοντες και μέσω βραχυπρόθεσμων συμβάσεων αγοράς ηλεκτρισμού από την ωριαία αγορά.

Στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες παραγωγής συνήθως αποστέλλουν ενέργεια από τη φθηνότερη στην ακριβότερη ώσπου η συνολική ικανότητα παραγωγής να ανταποκρίνεται στην προβλεπόμενη ζήτηση. Στις αγορές χονδρικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ρυθμίζεται μέσω άμεσων μακροπρόθεσμων συμβάσεων με παραγωγούς. Ωστόσο, υπάρχει επίσης ένα υπόλοιπο ποσό της ζήτησης, που είναι πάντα αντικείμενο διαπραγμάτευσης στην ωριαία αγορά.

Οι μονάδες που εκμεταλλεύονται Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, είναι απρόβλεπτες πηγές ενέργειας. Δεν επιτρέπεται να υποβάλουν προσφορά στην αγορά και η παραγωγή τους απορροφάται από το σύστημα, όπως και όταν, αυτές οι πηγές είναι διαθέσιμες. Αλλά σε συνδυασμό με το σύστημα αποθήκευσης, αυτή η αβεβαιότητα της παραγωγής μπορεί



να εξομαλυνθεί και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας να συμμετάσχουν στη διαδικασία υποβολής προσφορών.

Η αγορά της εφεδρείας βασίζεται σε τρία βασικά επίπεδα εφεδρείας:

- μια βραχυπρόθεσμη, στρεφόμενη εφεδρεία (συνήθως 10-30 λεπτά),
- μια βραχυχρόνια, μη-στρεφόμενη εφεδρεία (συνήθως 10-30 λεπτά),
- μία μακροπρόθεσμη, υποστηρικτική εφεδρεία (εφεδρική παροχή) (μη συνδεδεμένη με ικανότητα να λειτουργήσει μέσα σε 30 λεπτά).

Τα σημερινά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο, καθιστά δύσκολο για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής να συμμετέχουν στον βραχυχρόνιο τύπο των αγορών εφεδρείας. Σύμφωνα με τους κανόνες της αγοράς, μια ενιαία τιμή για κάθε είδος εφεδρείας καθορίζεται κάθε μέρα, η οποία παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια εκείνης της ημέρας.

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας πωλεί την υπηρεσία εφεδρείας για την επόμενη μέρα της αγοράς μέσω της διαδικασίας υποβολής προσφορών. Αν υπάρχει προσφορά, το σύστημα θα σχεδιάσει την εκτέλεση μιας σύμβασης για την παροχή της υπηρεσίας εφεδρείας της επόμενης ημέρας. Η καλύτερη προσφορά σε βραχυχρόνια αγορά υπηρεσιών καθορίζει την τιμή της εφεδρείας, για τη βέλτιστη λειτουργία του μικροδικτύου. Η στρεφόμενη εφεδρεία, ως η πιο σημαντική υπηρεσία, πωλείται όπως η ασφάλιση, δηλαδή το μικροδίκτυο θα πρέπει να πληρωθεί είτε η υπηρεσία του έχει ζητηθεί είτε όχι.

Δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί, η ωριαία τιμή της γίνεται πολύ ασταθής λόγω της μεταβολής της ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης. Το μικροδίκτυο είναι δυνατόν να επωφεληθεί από την πώληση εφεδρικής ενέργειας έκτακτης ανάγκης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όταν η τρέχουσα τιμή της είναι υψηλή.

### **6.9.1. Πολιτικές συμμετοχής του Μικροδικτύου στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας [16]**

Εντός του μικροδικτύου αναμένεται να λειτουργήσει μια μικρή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τουλάχιστον για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι θα καταθέτουν τις προσφορές τους στον κεντρικό ελεγκτή για την ισχύ που μπορούν να παράγουν και την τιμή της προσφοράς τους. Ο στόχος του κεντρικού ελεγκτή του μικροδικτύου είναι να βελτιστοποιήσει την οικονομική λειτουργία λαμβάνοντας υπόψη 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 μια 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 της  $i$  μικροπηγής. Η πλήρης μορφή της συνάρτησης προσφοράς, για συνεχή συνάρτηση κόστους, δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση που είναι ίδια με την συνάρτηση των μονάδων που καταναλώνουν καύσιμο [16]:

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

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 κεντρικό ελεγκτή. Πιθανόν ο κάτοχος της μονάδας σε αυτήν την τιμή να προσθέτει και τμήμα του κόστους για την επένδυσή του στη διασπαρμένη 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 Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά, η παραγωγή τους δεν μπορεί να ρυθμιστεί, καθώς είναι 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 κεντρικό ελεγκτή, όπου ο όρος  $b_i$  αντιπροσωπεύει την απαραίτητη αποζημίωση ανά παραγόμενη kWh ώστε να αποπληρωθεί η εγκατάσταση σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Οι παράμετροι  $a_i$  και  $c_i$  μπορούν να συμπεριλαμβάνουν το κόστος για την αγορά των υποδομών τηλεπικοινωνιών και ελέγχου, που προορίζονται 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 κεντρικό ελεγκτή και τυχόν τοπικές ανάγκες, όπως η θέρμανση ή ψύξη του χώρου τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο πολιτικές που δύναται να υλοποιηθούν σε ένα μικροδίκτυο.

#### **6.9.1.1 . Η Πολιτική Του «Καλού Πολίτη» - Πολιτική 1η [16]**

Σύμφωνα με αυτήν την πολιτική, ο στόχος της λειτουργίας του κεντρικού ελεγκτή 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”, δηλαδή ως «πολιτική του καλού πολίτη». Η ονομασία αυτή αιτιολογείται από το γεγονός ότι το μικροδίκτυο σε περιόδους αιχμής για το δίκτυο, άρα και υψηλών τιμών, αφού οι τιμές στο δίκτυο αντανακλούν την κατάσταση του, μειώνει την επιβάρυνση του δικτύου μειώνοντας τη «φαινόμενη» ζήτησή του.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος για αυτήν την πολιτική έχει ως εξής: Κάθε χρονική περίοδο ο στόχος είναι να γίνει ελαχιστοποίηση του συνάρτησης κόστους, δηλαδή της

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

όπου:

X, η ενεργός ισχύς που αγοράζεις από το δίκτυο

A, είναι οι τιμές αγοράς ενέργειας

Οι περιορισμοί του προβλήματος βελτιστοποίησης ομαδοποιούνται ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μικροπηγών, όπως π.χ. τα τεχνικά ελάχιστα και μέγιστα των μονάδων και οι χρόνοι εκκίνησης, αν και σε αυτήν την περίπτωση είναι

σχεδόν αμελητέοι. Το ισοζύγιο ισχύος εντός του μικροδικτύου, που δίνεται από την 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 την τιμή που έχει συμφωνηθεί 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 μιας τέτοιας πολιτικής λειτουργίας αναμένεται να είναι επιλογή ενός συνεταιρισμού καταναλωτών, αγροτικών, βιοτεχνικών, ή κάποιου δήμου ο οποίος διαχειρίζεται τα κτήρια του ως μια ενιαία οντότητα, ή ακόμα κάποιου συγκροτήματος κατοικιών, π.χ. εργατικές κατοικίες, όπου 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.

### **6.9.1.2 Η Πολιτική Του «Ιδανικού Πολίτη» - Πολιτική 2η [16]**

Σε αυτήν την πολιτική θεωρείται ότι ένας πάροχος ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Service Provider) διαχειρίζεται τον κεντρικό ελεγκτή προσπαθώντας να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του, ανταλλάσσοντας ενέργεια με το δίκτυο και χρεώνοντας τους καταναλωτές μέσα στο μικροδίκτυο με τις τιμές της αγοράς. Αναγκαία προϋπόθεση είναι το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο να επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος. Σε αυτήν την περίπτωση σε περιόδους υψηλών τιμών και αναλόγως των συνθηκών ενδέχεται να εγχέεται ισχύς στο ανάντη δίκτυο, οπότε το μικροδίκτυο είναι περισσότερο ενεργό από ότι στην προηγούμενη υποενότητα. Σε μια τέτοια περίπτωση, η λειτουργία του μικροδικτύου προσομοιάζεται με τη 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 απλά μειώνοντας την κατανάλωσή του, αλλά παρέχοντας και ισχύ στις γειτονικές γραμμές ακόμη και αν δεν είναι μέλη του μικροδικτύου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, πρωτίστως επωφελούνται οι καταναλωτές του μικροδικτύου, αλλά και οι γειτονικές του γραμμές αφού μειώνεται η συνολική ζήτηση στη συγκεκριμένη περιοχή. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της παράστασης:

$$Maximize\{Income - Expenses\} = Maximize\{Revenues\}.$$

Τα έσοδα προέρχονται από την πώληση της ενεργού ισχύος τόσο στο δίκτυο Μέσης Τάσης 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 σχέσεις:

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

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 σχέση:

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

Ο κεντρικός ελεγκτής πρέπει να μεγιστοποιήσει το μέγεθος Revenues με βάση μια εξίσωση:

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

Διαπιστώνουμε αλλαγή στο ισοζύγιο ισχύος, σε σχέση με την αντίστοιχη εξίσωση, στην περίπτωση όπου ακολουθείται η πολιτική του καλού πολίτη, διότι πλέον μπορεί να ανταλλάσσεται ισχύς με το δίκτυο και συνεπώς μπορεί η παραγωγή των μικροπηγών να υπερβαίνει τη ζήτηση του μικροδικτύου. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ικανοποιείται ο περιορισμός που περιγράφεται παρακάτω:

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

Σε καμία περίπτωση όμως, η παραγόμενη ισχύς από το μικροδίκτυο δεν πρέπει να παραβιάζει, ούτε τη συμφωνηθείσα ούτε την τεχνικά εφικτή ισχύ, που εγγέεται στο ανάντη δίκτυο. Οι λοιποί περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται είναι ίδιοι με εκείνους που διατυπώνονται για την πολιτική του καλού πολίτη.

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

## **6.10. DEMAND SIDE BIDDING [16]**

### **6.10.1. Εισαγωγή**

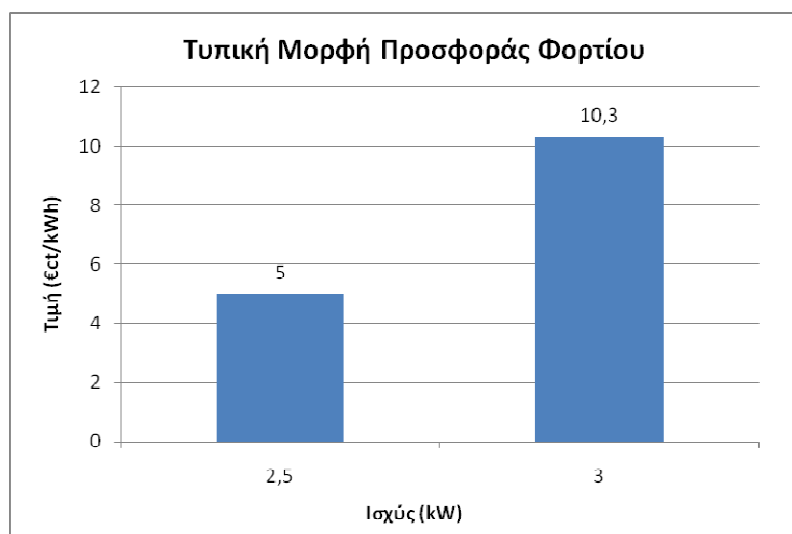
Η διαδικασία της προσφοράς κινήτρων, ώστε οι καταναλωτές να αλλάξουν τη μορφή της ζήτησής τους, με σκοπό τη μείωση της αιχμής ενός συστήματος, αποτελεί μια συνηθισμένη πρακτική για τη διαχείριση της ζήτησης. Για εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής ένα σχετικό πείραμα διαχείρισης της ζήτησης είναι το εξής: Οι κάτοικοι ενημερώνονταν με μηνύματα, για την ύπαρξη πλεονάσματος φωτοβολταϊκής παραγωγής, ώστε να προγραμματίσουν στις συγκεκριμένες ώρες το πλύσιμο και άλλες ενεργοβόρες δραστηριότητες τους. Οι καταναλωτές που ανταποκρίνονταν λάμβαναν ένα υψηλό bonus της τάξης των  $50 \text{euros}/kWh$ . 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 όπου, εκτός από τους ιδιοκτήτες των μονάδων, και οι καταναλωτές του μικροδικτύου θα μπορούν να υποβάλλουν προσφορές στον κεντρικό ελεγκτή για την ικανοποίηση της ζήτησής τους ή για τη μείωση της κατανάλωσής τους, απολαμβάνοντας κάποιο όφελος.

Κάθε καταναλωτής μπορεί να έχει υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας φορτία, τα οποία επιθυμεί 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 επιθυμώσει κάποια φορτία να μεταθέσουν τη λειτουργία τους σε κάποια άλλη χρονική στιγμή (shift) ή ακόμα να μην λειτουργήσουν καθόλου (curtailment). Όμοια σε περιόδους στις οποίες το ανάντη δίκτυο είναι ιδιαίτερα φορτισμένο ή το μικροδίκτυο 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.

Ακολουθώς περιγράφονται δύο παραλλαγές για την μορφή των 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.

Μία τυπική μορφή προσφοράς καταναλωτή δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Οι τιμές αυτές αντικατοπτρίζουν το ενδιαφέρον του καταναλωτή να εξυπηρετηθούν τα φορτία αυτά. Όσο πιο υψηλή η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η «θυσία» που κάνει ο καταναλωτής.



*Διάγραμμα 6.10.: Τυπική Μορφή Προσφοράς Καταναλωτή*

Ανεξάρτητα από την παραλλαγή για την προσφορά του φορτίου που ακολουθείται, ο κεντρικός ελεγκτής του μικροδικτύου:

- Ενημερώνει τους καταναλωτές για τις τιμές ελεύθερης αγοράς.
- Δέχεται τις προσφορές από τους καταναλωτές.
- Στέλνει σήματα στους ελεγκτές φορτίου σύμφωνα με την έκβαση της ρουτίνας βελτιστοποίησης σχετικά με το ποιά φορτία θα συνδεθούν ή ποιά 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»

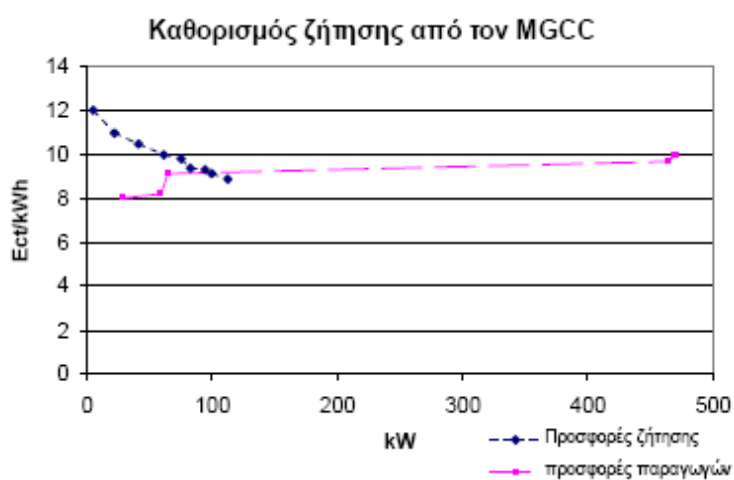
αντιστοιχούν στη μέγιστη τιμή που οι τελικοί χρήστες αναμένεται να χρεωθούν, αν αγνοήσουμε τυχόν περιορισμούς ασφαλείας.

### **6.10.2. Η Πολιτική Της Προσφοράς Φορτίων Προς Σύνδεση – Παραλλαγή Α [16]**

Σύμφωνα με αυτήν την πολιτική, οι καταναλωτές κάνουν προσφορές φορτίου με την μορφή του διαγράμματος 6.10. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο καταναλωτής δηλώνει ότι η ολική του ζήτηση αναμένεται για την επόμενη περίοδο ελέγχου να είναι  $5.5kW = 2.5kW + 3kW$  και προσφέρει μια χαμηλή τιμή για τα «χαμηλής» προτεραιότητας φορτία και υψηλότερη για τα «υψηλής». Έστω για παράδειγμα, ότι στη βάση του παραπάνω διαγράμματος ζήτησης και κοστολόγησης, δηλώνεται ότι ο καταναλωτής επιθυμεί να εξυπηρετηθεί το φορτίο των  $2.5kW$ , όταν η τιμή είναι μικρότερη από  $5\text{euros}/kWh$ , ενώ για τα υπόλοιπα φορτία των  $3kW$  αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από  $10.3\text{euros}/kWh$ , δεν επιθυμεί την εξυπηρέτηση της ζήτησης αυτής.

Στη συνέχεια ο κεντρικός ελεγκτής συγκεντρώνει τις προσφορές φορτίων και παραγωγών, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του δικτύου (τιμές αγοράς). Κατατάσσει τις προσφορές των φορτίων σε φθίνουσα σειρά τιμής σύνδεσης και τις προσφορές των παραγωγών σε αύξουσα σειρά και στη συνέχεια βρίσκει το σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς και ζήτησης όπως συμβαίνει γενικά για οποιοδήποτε αγαθό. Έτσι υπολογίζεται πόση θα είναι η παραγωγή της κάθε μιας μονάδας και πόσο το αποκοπτόμενο φορτίο για την επόμενη περίοδο της βελτιστοποίησης.

Με την παραλλαγή αυτή δεν απαιτείται πρόβλεψη φορτίου, αφού οι καταναλωτές δηλώνουν εκ των προτέρων τη ζήτησή τους. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τελική ζήτηση, όπως προκύπτει από το παρακάτω διάγραμμα, για όλο το μικροδίκτυο είναι  $106kW$ .



**Διάγραμμα 6.11.: Η Μορφή Της Καμπύλης Ζήτησης Και Προσφοράς Και Το Φορτίο Που Πρέπει Να Ικανοποιήσει Ο MGCC**

### 6.10.3. Η Πολιτική Της Προσφοράς Φορτίων Προς Αποκοπή – Παραλλαγή Β [16]

Σε αυτήν την παραλλαγή, οι προσφορές δίνονται για φορτία που πρόκειται να αποκοπούν, με την προϋπόθεση ότι οι καταναλωτές θα αποζημιωθούν για την απώλεια με μια συγκεκριμένη τιμή στον κεντρικό ελεγκτή, που να αντιπροσωπεύει την αξία της απώλειάς τους.

Σε αυτήν την παραλλαγή διαχείρισης φορτίου, δίνεται η δυνατότητα στον κεντρικό ελεγκτή του μικροδικτύου να αποκόψει φορτία τα οποία είναι συνδεδεμένα, όταν η προσφορά των φορτίων είναι οικονομικότερη από την τιμή αγοράς ενέργειας από κάποια τοπική μονάδα παραγωγής ή από το δίκτυο. Το φορτίο σε μία τέτοια περίπτωση αντιμετωπίζεται ως μία μονάδα «αρνητικής» παραγωγής, αφού μειώνει τη συνολική ζήτηση του μικροδικτύου. Σε αυτήν την περίπτωση ο κεντρικός ελεγκτής γνωρίζει την αναμενόμενη κατανάλωση από ένα πρόγραμμα πρόβλεψης φορτίου, και ανάλογα με τις προσφορές φορτίου και παραγωγών αποφασίζει ποια φορτία θα αποκόψει και ποιες μονάδες παραγωγής θα παράγουν. Γνωρίζει την τρέχουσα συνολική ζήτηση του μικροδικτύου και αποστέλλει σήματα διακοπής ενέργειας στους ελεγκτές φορτίου, όταν αυτό είναι οικονομικά συμφέρον.

Για το προαναφερθέν παράδειγμα, βάση του διαγράμματος 6.10, ο καταναλωτής δηλώνει ότι δέχεται να αποκοπούν 2.5kW αν αποζημιωθεί στην τιμή  $5\text{euros}/\text{kWh}$  και 3kW επιπλέον αν αποζημιωθεί για αυτά στην τιμή των  $10.3\text{euros}/\text{kWh}$ .

Η αποζημίωση του καταναλωτή,  $load\_bid(y_j)$ , προστίθεται στο λειτουργικό κόστος για το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ο όρος  $y_j$  αναφέρεται στην τιμή της ισχύος της προσφοράς του φορτίου  $j$  από τα  $L$  φορτία που υποβάλλουν προσφορές και ο όρος  $load\_bid(y_i)$  αναπαριστά την αποζημίωση του καταναλωτή.

Συνεπώς, ο κεντρικός ελεγκτής λαμβάνοντας υπ' όψιν τα δεδομένα προσφορών φορτίων-παραγωγών και συνολικής ζήτησης, είτε από τις προσφορές των φορτίων είτε από κάποιο πρόγραμμα πρόβλεψης φορτίου, προσπαθεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση του μικροδικτύου. Για την πολιτική του «καλού πολίτη», οι εξισώσεις κόστους και ισοζυγίου ενέργειας μεταβάλλονται, ως εξής:

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

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

Αντίστοιχα, για την πολιτική του «ιδανικού» πολίτη αυξάνονται τα έξοδα του διαχειριστή σύμφωνα με την εξίσωση:

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

Τα έσοδα-κέρδη του διαχειριστή και το ισοζύγιο ισχύος μεταβάλλεται σύμφωνα με τις εξισώσεις:

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

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

Είναι φανερό ότι για την πολιτική 2, αν αποκοπεί φορτίο, τα κέρδη για τον πάροχο μειώνονται, επειδή όχι μόνο δεν πουλάει ενέργεια στον καταναλωτή στον οποίο αποκόπτεται μέρος του φορτίου του, αλλά θα πρέπει να «αγοράσει» το δικαίωμα από τον καταναλωτή αυτό προκειμένου να πουλήσει την ενέργεια στο ανάντη δίκτυο. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι στην πολιτική 2, δεν είναι συμφέρον να αποδεχθεί προσφορές φορτίων από την Παραλλαγή Β, εκτός αν συντρέχουν λόγοι διασφάλισης της στατικής ασφάλειας του δικτύου.

## **6.11. STEADY STATE SECURITY**

Κατά την βελτιστοποίηση της λειτουργίας μικροδικτύου, όταν πρέπει να ικανοποιούνται περιορισμοί στατικής ασφάλειας και υπάρχει πολιτική προσφοράς φορτίων, ένα κομβικό σημείο είναι η εξέταση για το εάν είναι εφικτή ή όχι, η ικανοποίηση συγκεκριμένου ποσοστού της ζήτησης από τη διαθέσιμη ικανότητα παραγωγής των τοπικών μονάδων παραγωγής, ώστε όταν διακοπεί η τροφοδοσία από το δίκτυο της μέσης τάσης αυτό το ποσοστό ζήτησης, το οποίο στη συνέχεια θα ονομάζεται κρίσιμο φορτίο να μπορεί να ικανοποιηθεί από τις τοπικές πηγές. Στην διαδικασία ένταξης μονάδων συμμετέχουν οι τοπικές πηγές, το δίκτυο και οι προσφορές των φορτίων.

Το κρίσιμο φορτίο είναι ίσο με το άθροισμα των υψηλής προτεραιότητας φορτίων [16], [12]. Με αυτόν τον τρόπο, αυτά τα φορτία μπορούν να εξυπηρετηθούν σε περίπτωση απώλειας σύνδεσης με το δίκτυο, για όσο χρόνο χρειάζεται, από την εκκίνηση μιας επιπλέον μονάδας. Έτσι οι προσφορές των φορτίων μπορεί να είναι, είτε για την αποκοπή του φορτίου σε κανονική λειτουργία, είτε για την αποκοπή του φορτίου σε περίπτωση διακοπής της διασύνδεσης.

Η νέα ζήτηση, που προκύπτει μετά από τη διακοπή των μη κρίσιμων φορτίων, είναι εκείνη που θα κατανεμηθεί με αυστηρά οικονομικά κριτήρια και με τον περιορισμό των μεγίστων και ελαχίστων των μονάδων. Αν υπάρχει περιορισμός στατικής ασφάλειας, οι τοπικές μονάδες παραγωγής είναι εκείνες που θα πρέπει να ενταχθούν την παραγωγή, ώστε να μπορούν να ικανοποιήσουν τη ζήτηση σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας από το ανάντη δίκτυο. Η λειτουργία τους θα είναι τουλάχιστον στο τεχνικό τους ελάχιστο ή στο σημείο λειτουργίας στο οποίο θα μπορέσει δυναμικά το σύστημα να ανταποκριθεί στην αλλαγή της κατάστασης από διασυνδεδεμένη σε απομονωμένη λειτουργία.

Με αυτόν τον περιορισμό στατικής ασφάλειας υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο να λειτουργούν μικροπηγές κατά περιόδους τις οποίες δεν είναι οικονομικά συμφέρουσες για το μικροδίκτυο. Το γεγονός αυτό αυξάνει το συνολικό κόστος ενέργειας για το μικροδίκτυο αλλά αυξάνει και την αξιοπιστία της τροφοδοσίας των «κρίσιμων» φορτίων. Πολύ ενδιαφέροντα είναι τα αποτελέσματα όταν υπάρχει συμμετοχή των φορτίων, οπότε και τα φορτία μειώνουν τη συνολική απαίτηση σε παραγόμενη ισχύ από τις μικροπηγές.

Αν δεν ληφθούν υπ' όψιν οι προσφορές των φορτίων, τότε ο χρήστης ενημερώνεται για το ποιες ώρες το μικροδίκτυο έχει επαρκή ισχύ για να ικανοποιήσει



τη ζήτηση του και ποιες όχι. Σε περίπτωση όπου δεν είναι εφικτό το δίκτυο να είναι ασφαλές, επιλέγεται ο οικονομικότερος τρόπος κάλυψης της ζήτησης.

Αν υπάρχει συμμετοχή των φορτίων, τότε ο κεντρικός ελεγκτής προσπαθεί να διαθέτει ικανοποιητική ισχύ ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση από τα κρίσιμα φορτία. Σε μία τέτοια περίπτωση, υπάρχει ενημέρωση για πόση ισχύ συνολικά και πόση από τα κρίσιμα φορτία πρόκειται να αποκοπεί σε περίπτωση βλάβης του ανάντη δικτύου. Αν δεν είναι εφικτό να ικανοποιηθεί η ζήτηση των κρίσιμων φορτίων, τότε η λειτουργία του μικροδικτύου γίνεται με αποκλειστικά οικονομικό τρόπο.

## **6.12. Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)**

Μέσα σε ένα μικροδίκτυο πάντα 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 αυτό, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και οποιαδήποτε από τις παροχές που οι χρήστες του μικροδικτύου θα ήθελαν να τους παρέχεται, όπως η εξασφάλιση στατικής ασφάλειας, διατήρησης τάσεων σε συγκεκριμένα επίπεδα αλλά και οι πολιτικές για την περιβαλλοντικά φιλική λειτουργία του μικροδικτύου.

Η διαδικασία της ένταξης μονάδων απαρτίζεται από τα παρακάτω βήματα [12]:

1. 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 Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, είτε ως στατιστικά χαρακτηριστικά γνωστά στον κεντρικό ελεγκτή.
2. Λαμβάνονται ως είσοδοι οι τιμές της αγοράς. Το ανάντη δίκτυο-εξωτερική αγορά θεωρείται μια «δεατή» 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 συν μία.
3. 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 προσφέρεται για αποκοπή.
4. Λαμβάνεται υπ' όψιν η ικανοποίηση των περιορισμών στατικής ασφάλειας (steady state security), των περιορισμών τάσης για την υποχρεωτική ένταξη τοπικών μονάδων ή τον περιορισμό ισχύος τους. Τυχόν μεταβολές στο κόστος, που επέρχονται από τη συμμετοχή του μικροδικτύου στο εμπόριο ρύπων, συνυπολογίζονται επίσης.
5. Κατόπιν επιλύεται το μαθηματικό πρόβλημα. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού υπάρχουν μια σειρά από μεθοδολογίες βελτιστοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

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 μια 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:

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

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 μια τέτοια περίπτωση το μικροδίκτυο δρα ως παραγωγός ενέργειας. Σε αντίθετη περίπτωση, το δίκτυο συμβάλλει έτσι ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση, η σχέση:

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

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 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 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 λοιπόν, με πλήρη 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:

$$x_{opt\_i} = \frac{A - b_i}{2a_i}, \text{ με } A \text{ την τιμή αγοράς του δικτύου.}$$

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, η 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 μια 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.

### **6.13. 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 [16] συνοψίζονται παρακάτω.

Αρχικά 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 μια «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, όπως π.χ. μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς και οι προσφορές των φορτίων που έχουν γίνει αποδεκτές. Λαμβάνονται υπ' όψιν οι περιορισμοί για την αναγκαστική παραγωγή των τοπικών μονάδων παραγωγής για περιορισμούς τάσης αν προβλέπεται τέτοια πολιτική μέσα στο μικροδίκτυο. Οι περιορισμοί ασφαλείας έχουν ήδη ληφθεί υπ' όψιν κατά την επιλογή των μονάδων και πλέον αναμένεται η οικονομικότερη λειτουργία.

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

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

Επειδή αναμένονται, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι προσφορές να είναι απλά γραμμικές συναρτήσεις της μορφής  $b_i \cdot x_i + c_i$ , η κατάταξη των μονάδων με βάση αυτές τις προσφορές σε μια 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 μονάδες να λειτουργούν στο τεχνικό τους μέγιστο εφόσον κάτι τέτοιο είναι εφικτό.

#### **6.14. Συμπεράσματα**

Το μικροδίκτυο είναι ένα αναδυόμενο πεδίο στον τομέα ισχύος και ενέργειας, αν και δεν έχει ωριμάσει ακόμα. Εκτεταμένη έρευνα και πιλοτικά προγράμματα πρέπει να πραγματοποιηθούν μέχρι να μπορεί να τεθεί ανταγωνιστικά στο καθεστώς της απελευθερωμένης αγοράς. Οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία και ορισμένοι Ευρωπαϊκοί οργανισμοί έχουν κάνει κάποιες προσπάθειες πάνω σε αυτό, αν και είναι ακόμη υπό έρευνα και σε πειραματική φάση.

Ένας αριθμός εμποδίων για τη διεσπαρμένη παραγωγή υπογραμμίζουν την ανάγκη να πραγματοποιηθούν πιο ριζικές αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη του μικροδικτύου. Οι Ρυθμιστικές Αρχές και οι νομοθέτες θα πρέπει πλαισιώσουν νέους κανόνες και νόμους και να κάνουν αλλαγές στους ήδη υπάρχοντες, ώστε συστήματα μικροδικτύων να μπορούν να συμμετέχουν και να ανταγωνίζονται σε μια νέα αγορά για την ενέργεια και τις υποστηρικτικές υπηρεσίες της. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να οριστούν ως νέοι νόμοι από τους νομοθέτες ή να συμπεριληφθούν ως τροποποιήσεις των υφιστάμενων κανόνων της ηλεκτρικής ενέργειας από τις Ρυθμιστικές Αρχές.

Καθώς οι μονάδες της διεσπαρμένης παραγωγής είναι ο σημαντικότερος τομέας επενδύσεων του μικροδικτύου, η τεχνολογική τους αναβάθμιση είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του κόστους παραγωγής. Την ίδια στιγμή τα οφέλη που προκύπτουν από την ανάπτυξη τους στο μικροδίκτυο πρέπει να προσδιορίζονται κατάλληλα ποσοτικά και τέλος, πρέπει να προταθεί ένας τρόπος για να διανεμονται

τα οφέλη αυτά προκειμένου να εξασφαλισθεί η αποτελεσματική οικονομική προσέγγιση του μικροδικτύου. Τα δίκτυα κοινής ωφέλειας σε πολλές χώρες συνεχώς χρεώνουν δασμούς σύνδεσης (σταθερούς ή μεταβλητούς) στους ιδιοκτήτες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, αν και οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής εξοικονομούν στο δίκτυο σημαντικά χρηματικά ποσά κάθε χρόνο. Για παράδειγμα, το κέρδος που προκύπτει από τη μείωση των απωλειών μπορεί να περιληφθεί ως κίνητρο στο μηχανισμό τιμολόγησης. Ομοίως, άλλα οφέλη που προκύπτουν από τα μικροδίκτυα θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σωστά και να αποζημιωθούν ανάλογα με τη διαμόρφωση του κανονιστικού πλαισίου από τις Ρυθμιστικές Αρχές και τους υπεύθυνους χάραξης ενεργειακής πολιτικής.

Η λειτουργία συμπαραγωγής των μικροδικτύων διευκολύνει τη μείωση των εκπομπών του άνθρακα. Εάν οι κανόνες εκπομπής του άνθρακα είναι άκαμπτοι τότε τα οικονομικά του μικροδικτύου θα είναι βελτιωμένα και περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής θα αναπτυχθούν. Και πάλι, η κλιματική αλλαγή και η εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων είναι τα κύρια κίνητρα για την εμφάνιση τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Η τιμολογιακή διάρθρωση και η πολιτική της αγοράς θα πρέπει να είναι απλή, ώστε οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής ή τα μικροδίκτυα να μπορούν εύκολα να συμμετάσχουν στην ανταγωνιστική αγορά. Οι Ρυθμιστικές Αρχές δεν θα πρέπει να επιτρέπουν δασμούς αντιποίνων και τα τιμολόγια δεν θα πρέπει να περιλαμβάνουν stand-by τέλη που βασίζονται στην εγκατεστημένη ισχύ. Τα Stand-by τέλη θα έπρεπε αντίθετα να αντικατασταθούν από τις χρεώσεις ζήτησης και τους τόκους έκτακτης ανάγκης, οι οποίοι θα παρακινήσουν τους διαχειριστές του μικροδικτύου να λαμβάνουν μέτρα τα οποία είναι λογικά από οικονομική άποψη και αμοιβαία επωφελή.

Επιπλέον, η κοινωνική ευαισθησία είναι υψίστης σημασίας, και θα βοηθούσε τελικά την ανάπτυξη των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής και των Μικροδικτύων. Έτσι, με μαζική παραγωγή, το κόστος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής θα μπορούσε να έρθει σε οικονομίες κλίμακας.



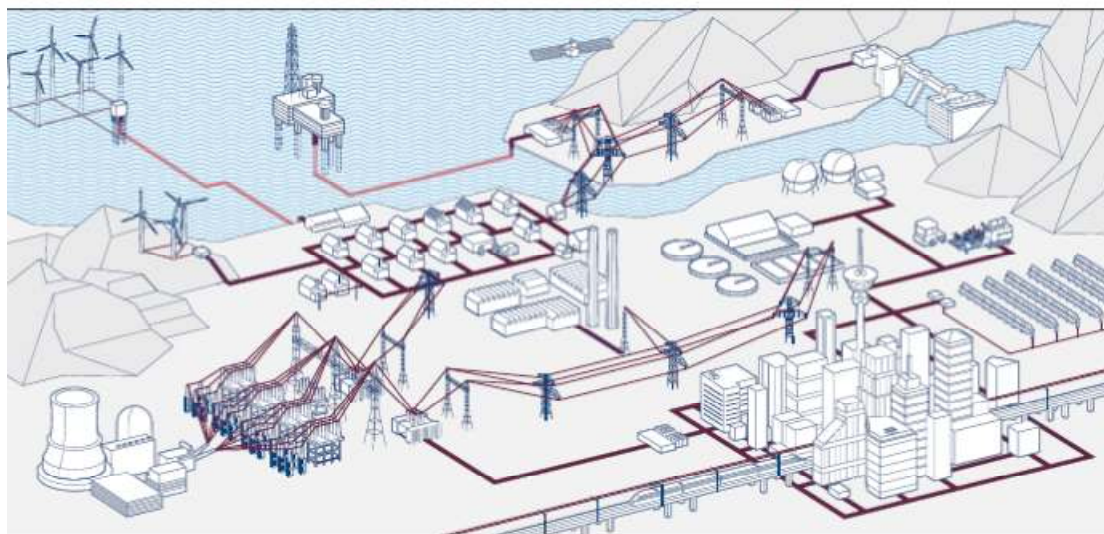
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο**

### **ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ [20]**

## **7.1. Εισαγωγή στα ηλεκτρικά συστήματα του μέλλοντος**

Είναι γεγονός πως σήμερα, η παραγωγή ηλεκτρισμού σε παγκόσμιο επίπεδο βασίζεται κατά 40% σε καύσιμα που προέρχονται από άνθρακα, γεγονός που καθιστά την ηλεκτροπαραγωγή τον μεγαλύτερο και ταχύτερα αυξανόμενο ρυπογόνο τομέα, όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, οδηγεί σε ριζικές αλλαγές στην ηλεκτροπαραγωγή. Ο σημερινός τρόπος παραγωγής, μεταφοράς και κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτικός, καθώς οι απώλειες από τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας μέχρι την τελική κατανάλωση φθάνουν περίπου το 80%. Αν και ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι υψηλός, η συνεισφορά τους στο συνολικό ενεργειακό μείγμα είναι ακόμα αρκετά μικρή. Η ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές, των οποίων η έξοδος είναι μη προβλέψιμη και μεταβαλλόμενη, υπογραμμίζει την ανάγκη για αποθήκευση της ενέργειας και για συντονισμό των διαθέσιμων παραγωγών με τη διακυμαινόμενη κατανάλωση. Για την αποδοτική ενσωμάτωση της συνεχώς αυξανόμενης παραγωγής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος.

**Smart grid covers the entire generation, delivery and utilization cycle**



**ΕΙΚΟΝΑ 7.1.: ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.**

Τα επίπεδα κατανάλωσης, αξιοπιστίας και ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται άμεσα με το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης της κάθε χώρας ή περιοχής. Τα ηλεκτρικά συστήματα του μέλλοντος (ή αλλιώς έξυπνα δίκτυα) πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να καλύπτουν τις παρακάτω βασικές απαιτήσεις [20]:

- Εγκατεστημένη ισχύς

Σύμφωνα με προβλέψεις της Διεθνούς Αρχής Ενέργειας, η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται με διπλάσιο ρυθμό από τη ζήτηση της πρωτογενούς ενέργειας, και ο ρυθμός αύξησης είναι υψηλότερος στην Ασία. Προβλέπεται ότι αν οι καταναλωτές δεν περιορίσουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, για τα επόμενα είκοσι



χρόνια θα απαιτείται κάθε εβδομάδα η αύξηση εγκατεστημένης ισχύος κατά 1GW και η προσθήκη της αντίστοιχης υποδομής στο δίκτυο. Τα ηλεκτρικά συστήματα του μέλλοντος θα πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτή την αύξηση με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

- Αξιοπιστία

Όσο μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρεται, τόσο το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα προσεγγίζει το όριο ευστάθειας του. Εν τούτοις, διακοπές ρεύματος αλλά και μικρότερες διαταραχές πρέπει να αποφευχθούν. Η αξιοπιστία του συστήματος αποτελούσε πάντα προτεραιότητα για τους μηχανικούς και έχει βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Παρ, όλα αυτά ο κίνδυνος διακοπών παραμένει ορατός. Στην σημερινή ψηφιακή εποχή απαιτείται υψηλή ποιότητα και αξιοπιστία ισχύος, διαφορετικά προκαλούνται τεράστιες οικονομικές απώλειες, οι οποίες οφείλονται όχι μόνο σε καθολική διακοπή ρεύματος αλλά και σε μικρές διαταραχές τάσης. Μια πρόσφατη μελέτη, έδειξε ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 2005, το ετήσιο κόστος των διαταραχών του συστήματος εκτιμάται γύρω στα 80 δισεκατομμύρια δολάρια, από τα οποία τα 52 οφείλονται σε στιγμιαίες διακοπές. Μία πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ισχύος δεν βοηθά μόνο την οικονομία, αλλά βελτιώνει και την ποιότητα ζωής, όπως επίσης έχει και θετική επίδραση στην κλιματική αλλαγή. Εάν ένα σύστημα μπορεί να διαχειριστεί με ασφάλεια και να σταθεροποιήσει τις διαταραχές του δικτύου, τότε θα χρειαστεί λιγότερες εφεδρικές μονάδες παραγωγής σε λειτουργία, γεγονός που συνεπάγεται χαμηλότερες εκπομπές.

- Ενεργειακή απόδοση

Η Διεθνής Επιτροπή Ενέργειας επισημαίνει ότι η αποδοτική χρήση της ενέργειας παίζει το σπουδαιότερο ρόλο στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αν και οι επενδύσεις σε εξοπλισμό υψηλής ενεργειακής απόδοσης μπορούν να αποσβεστούν σε λιγότερο από δύο χρόνια μέσω χαμηλότερου ενεργειακού κόστους, παρατηρείται διστακτικότητα από νοικοκυριά, επιχειρήσεις και δημοσίους φορείς, η οποία οφείλεται σε σχετική έλλειψη γνώσης. Ένα ακόμη εμπόδιο αποτελεί η έλλειψη κινήτρων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση το 2009 έκανε ένα σημαντικό βήμα, όταν έθεσε πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για τις περισσότερες ηλεκτρικές μηχανές που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η κίνηση αυτή αναμένεται να εξοικονομήσει 35 δισεκατομμύρια kWh μέχρι το 2020 (πόσο που είναι μεγαλύτερο από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη Σουηδία το 2007).

- Βιωσιμότητα

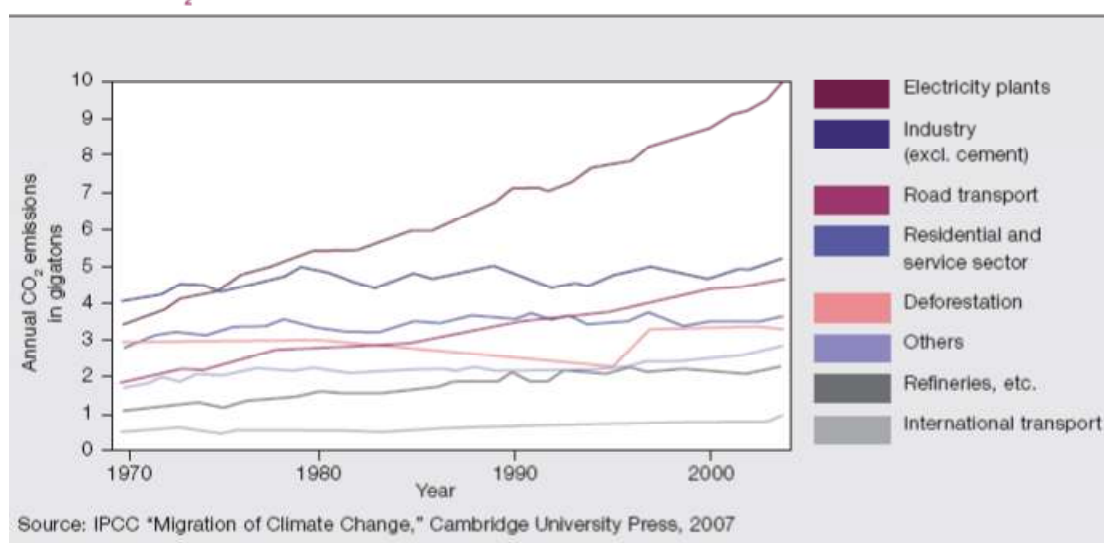
Η παραγωγή ηλεκτρισμού από ηλιακή, αιολική, κυματική ή γεωθερμική ενέργεια είναι χωρίς αμφιβολία ένας αξιόλογος τρόπος αποφυγής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Υπάρχει η ελπίδα ότι με την εξέλιξη της τεχνολογίας, την πιο αποτελεσματική μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας και την μείωση του κόστους παραγωγής, η συμμετοχή αυτών των πηγών στο μελλοντικό ενεργειακό μείγμα θα αυξηθεί. Σήμερα και για τα επόμενα 20 χρόνια, η υδροηλεκτρική παραγωγή αναμένεται να είναι η πιο διαδεδομένη καθαρή πηγή ενέργειας. Ένα ζήτημα μείζονος σημασίας είναι η διασύνδεση της παραγωγής στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τεράστιες αποστάσεις πρέπει να γεφυρωθούν για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια στα κέντρα ζήτησης. Στην Κίνα, για

παράδειγμα, μεγάλη ποσότητα ισχύος μεταφέρεται για πάνω από 2000km με χαμηλές απώλειες μεταφοράς. Η διαλείπουσα παραγωγή των ανεμογεννητριών αποτελεί άλλη μία πρόκληση για την ευστάθεια του δικτύου και δημιουργεί την ανάγκη επιπρόσθετης εφεδρείας. Όσον αφορά τα θαλάσσια αιολικά πάρκα, απαιτείται επίσης, η κατάλληλη τεχνολογία για τη σύνδεση τους σε απομακρυσμένα σημεία του δικτύου, μακριά από την ακτή. Η αποθήκευση της ενέργειας θα συμβάλλει ώστε να ξεπεραστούν τα προβλήματα της διαλειπούμενης λειτουργίας, όπως και το καλώδιο HVDC για τη μεταφορά της μέσω θαλάσσης.

Στην πραγματικότητα, ο τελικός καταναλωτής είναι αυτός που αποφασίζει με ποιο τρόπο και πόση ενέργεια θα καταναλώσει. Επί του παρόντος και λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά μεταξύ χαμηλών και υψηλών τιμολογίων, τα κίνητρα για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι περιορισμένα. Η χρήση κατάλληλης τεχνολογίας θα δίνει εγκαίρως την πληροφορία στον καταναλωτή αναφορικά με την κατανάλωση του και το σχετικό της κόστος οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η απορρέουσα σχέση ζήτησης-παραγωγής μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών συνεισφέρει περαιτέρω στη μείωση της ενεργειακής εφεδρείας. Συστήματα ελέγχου, ευέλικτα AC συστήματα μεταφοράς και η τεχνολογία HVDC βελτιώνουν επιπλέον το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση μετρητών, η τεχνολογία τηλεπικοινωνιών καθώς και το κατάλληλο λογισμικό διευκολύνει την αλληλεπίδραση ζήτησης-παραγωγής.

Περιβαλλοντικές ανησυχίες προκαλεί το γεγονός πως η ηλεκτροπαραγωγή είναι η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα), το οποίο είναι υπεύθυνο κατά 80% για τις επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου. Πάνω από 40% των εκπομπών αυτών προέρχονται από παραδοσιακές συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής. Για να περιορίσουμε τις επιπτώσεις αυτές και ταυτόχρονα να καλύψουμε την ολοένα μεγαλύτερη ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται η ενσωμάτωση στο δίκτυο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ωστόσο, η αυξημένη διείσδυσή τους φέρνει νέες προκλήσεις. Για παράδειγμα η αβεβαιότητα της παροχής ενέργειας μεγεθύνεται και οι απομονωμένες γεωγραφικά τοποθεσίες των αιολικών και ηλιακών πάρκων επιβαρύνουν τις υπάρχουσες δομές του δικτύου ακόμα περισσότερο.

**Growing carbon footprint in which electrical power generation is the largest single source of CO<sub>2</sub> emissions**



**ΕΙΚΟΝΑ 7.2.: ΠΡΟΞΕΛΥΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.**

## **7.2. Ορισμός – Χαρακτηριστικά έξυπνων δικτύων**

Οι νέες απαιτήσεις του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να ικανοποιηθούν με τη μετατροπή σε έξυπνα δίκτυα των ήδη υπαρχόντων δικτύων, τα οποία αναπτύχθηκαν πολλές δεκαετίες πριν και εμφανίζουν πλέον σημάδια παλαίωσης. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Κίνα έχουν ήδη αρχίσει να δαπανούν μεγάλα ποσά στην έρευνα για την εξέλιξη των έξυπνων δικτύων.

Ο ορισμός της έννοιας του «έξυπνου δικτύου» διαφέρει αρκετά από χώρα σε χώρα [20]. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, για παράδειγμα, το έξυπνο δίκτυο προσδιορίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: δυνατότητα αυτόματης επιδιόρθωσης (self-healing) μετά από διαταραχές ισχύος, ενεργή συμμετοχή του καταναλωτή στην απόκριση της ζήτησης (demand response), προστασία από φυσικούς και ηλεκτρονικούς κινδύνους, παροχή ποιότητας ισχύος που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του 21<sup>ου</sup> αιώνα, δυνατότητα σύνδεσης με όλα τα πιθανά μέσα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, προώθηση νέων προϊόντων, υπηρεσιών και σχημάτων αγοράς καθώς και βελτιστοποίηση της αξιοποίησης των πόρων και της λειτουργικής αποδοτικότητας. Στην Ευρώπη, τα έξυπνα δίκτυα περιγράφονται ως ευέλικτα, καθώς μπορούν να ανταποκριθούν στις αλλαγές και τις προκλήσεις, και προσπελάσιμα, αφού μπορούν να συνδεθούν σε αυτά Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αλλά και άλλες πηγές παραγωγής υψηλής απόδοσης με χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον χαρακτηρίζονται ως αξιόπιστα καθώς είναι ασφαλή απέναντι σε κινδύνους και διασφαλίζουν υψηλή ποιότητα παρεχόμενης ισχύος, η οποία συμβαδίζει με την ψηφιακή εποχή. Τέλος είναι οικονομικά ελκυστικά, λόγω των καινοτομιών που περιλαμβάνουν, της αποδοτικής διαχείρισης ενέργειας αλλά και των ισότιμων όρων ανταγωνισμού.

Οι κυριότερες τεχνολογικές προκλήσεις που αφορούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριλαμβάνουν:

- Την αύξηση της δυναμικότητας του δικτύου, ελαχιστοποιώντας το κόστος αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Τη βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου με έλεγχο και διαχείριση της ροής ισχύος
- Την ελάττωση των απωλειών ισχύος και της ζήτησης αιχμής στα συστήματα μεταφοράς και διανομής, μέσω του ελέγχου της ροής ισχύος
- Τη διασύνδεση των τοπικών και των απομονωμένων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο δίκτυο και τη διαχείριση της διακοπτόμενης παραγωγής
- Την ενσωμάτωση μέσω αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο τη μείωση της ζητούμενης εγκατεστημένης ισχύος
- Την ενσωμάτωση κινητών φορτίων (για παράδειγμα plug-in ηλεκτρικά οχήματα) τα οποία μειώνουν την πίεση (stress) στο δίκτυο, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές
- Τον περιορισμό του κινδύνου γενικής διακοπής (blackout), αλλά και στην περίπτωση που αυτή συμβεί, την ανίχνευση και απομόνωση της διαταραχής και την γρήγορη αποκατάσταση του συστήματος
- Την διαχείριση της ζήτησης ώστε να μην υπερφορτιστεί το δίκτυο και να βελτιστοποιηθεί η αξιοποίηση των πόρων.

Οι προκλήσεις αυτές αντιμετωπίζονται με τη χρήση ενός συνδυασμού τεχνολογιών ελέγχου, πληροφορίας, επικοινωνιών και αισθητήρων, οι οποίες καθιστούν το δίκτυο «ευφυές».

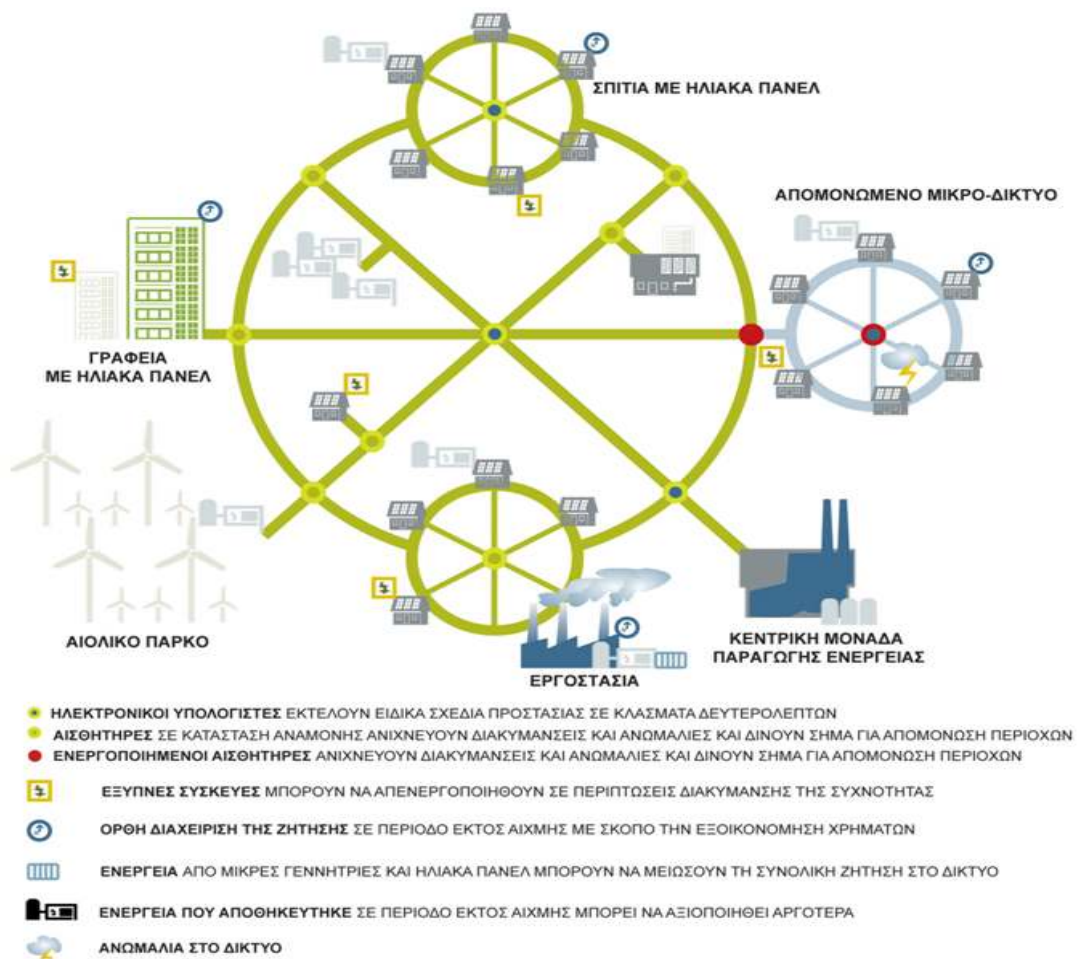
### **7.3. Έξυπνο Δίκτυο και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

#### **7.3.1. Διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Το έξυπνο δίκτυο (smart grid) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ταχύτατη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή και την επακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τις επόμενες δεκαετίες, σε ασφαλή για τον πλανήτη επίπεδα [20]. Τα «ευφυή» αυτά δίκτυα συνδυάζουν πολλές αποκεντρωμένες πηγές ενέργειας, όπως είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, και δημιουργούν ‘εικονικούς σταθμούς ενέργειας’. Με αυτόν τον τρόπο πολλές μικρές Ανανεώσιμες Πηγές όπως ανεμογεννήτριες, ηλιακά, μονάδες βιοαερίου ενώνονται και παράγουν την ίδια ενέργεια με συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες, με μεγαλύτερη όμως αποδοτικότητα και ευελιξία και μηδαμινές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, η δημιουργία υπέρ-δικτύων (συστημάτων μεταφοράς υψηλής τάσης σε πολύ μακρινές αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες) θα επιτρέψει τη μεταφορά ανανεώσιμης ενέργειας από την παραγωγή στη γεωγραφική περιοχή που έχει μεγάλη ζήτηση, π.χ. από τις ηλιοθερμικές μονάδες της Νότιας Ευρώπης σε περιοχές υψηλής ζήτησης στην Κεντρική Ευρώπη. Η μαζική αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, μέσω ενός συστήματος έξυπνων δικτύων, κάνει εφικτή τη σταδιακή απόσυρση παλιών συμβατικών θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής. Με την εφαρμογή ενός ιδεατού “παγκόσμιου” έξυπνου δικτύου, η ενέργεια που παράγεται τοπικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως οπουδήποτε. Προκειμένου να προετοιμαστούμε για ένα ενεργειακό μείγμα με πολύ υψηλά ποσοστά διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θα χρειαστεί να στραφούμε προς ένα ‘διασυνδεδεμένο έξυπνο δίκτυο’.

Οι διασυννοριακές ηλεκτρικές διασυνδέσεις φέρνουν μεγαλύτερα οφέλη στην ενεργειακή ασφάλεια, την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη ενός ηλεκτρικού συστήματος που βασίζεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πιο αναλυτικά, έχουμε αυξημένο επίπεδο ενεργειακής ασφάλειας, αφού για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ υπάρχουν πολλές περισσότερες επιλογές διαχείρισης του συστήματος, εξασφαλίζοντας έτσι την ποσότητα και την ποιότητα της κάλυψης της ζήτησης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αιχμής της ζήτησης, οι χώρες μπορούν να εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια από άλλες γεωγραφικές περιοχές εφόσον κριθεί απαραίτητο και αυτό συμβάλει στην ενεργειακή τους ασφάλεια. Επίσης, ένα διασυνδεδεμένο σύστημα επιτρέπει την καλύτερη χρήση της εγκατεστημένης ισχύος, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ενέργειας. Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα προκύπτει από τη διαχείριση της ζήτησης, δηλαδή την προσαρμογή της ζήτησης στην προσφορά, αντί για το αντίθετο που συμβαίνει συνήθως. Με την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της διαχείρισης της ζήτησης, το φορτίο διαχειρίζεται καλύτερα και μειώνεται σημαντικά η συμβατική -ρυπογόνος- παραγωγή ενέργειας.

Παρακάτω σχηματοποιείται το όραμα για τα έξυπνα δίκτυα:



**ΕΙΚΟΝΑ 7.3.: ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Η ενσωμάτωση κατακευκμένων μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε ένα δίκτυο, σχεδιασμένο για τη μεταφορά ηλεκτρισμού από κεντρικές μονάδες παραγωγής, συναντά δυσκολίες τόσο σε μηχανικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι «λιγότερο ικανές» στο να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και επίσης είναι λιγότερο ελέγξιμες. Λόγω της έλλειψης συνέχειας στην παραγωγή ορισμένων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (όπως αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα), πολλές φορές η μέγιστη ζήτηση δεν καλύπτεται από αυτές. Επιπλέον, αν οι ανανεώσιμες είναι πολύ αποκεντρωμένες (όπως είναι τα ηλιακά πάνελ σε σκεπές και ενσωματωμένα σε οχήματα), ένα δίκτυο με αυτό το πλήθος και την ποικιλία πηγών είναι πολύ διαφορετικό από το δίκτυο που ενώνει μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής με τελικούς καταναλωτές. Αυτές οι διαφορές μπορούν να προκαλέσουν φυσικές ανισορροπίες, εξαιτίας των τρόπων που οι διαλείπουσες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας συμμετέχουν ή όχι στο δίκτυο. Έτσι η ενσωμάτωσή τους θα μπορούσε να αλλάξει 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, τη ρύθμιση τάσης και συχνότητας και στα ζητήματα αποσταθεροποίησης που ανακύπτουν με τις κατακευκμένες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ψηφιακό έλεγχο, καθώς επίσης με ταυτόχρονη χρήση διακοπών και ρελέ, που μπορούν να συγχρονίσουν την πηγή ώστε να μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χωρίς διακοπές. Βέβαια η ασυνέπεια παραγωγής και ζήτησης

δεν μπορεί να λυθεί με ένα έξυπνο δίκτυο από μόνο του. Απαιτείται η ορθή χρήση αποθηκευτικών μέσων της ηλεκτρικής ενέργειας.

### **7.3.2. Η κυριότερη πρόκληση**

Το μέγεθος της μελλοντικής παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές και το συνολικό της μερίδιο στο ενεργειακό μείγμα, είναι δύσκολο να προβλεφθεί αφού εξαρτάται εν πολλοίς από την πολιτική βούληση. Ωστόσο, αν εφαρμοστούν οι πολιτικές πρωτοβουλίες που σχεδιάζονται σήμερα, η παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αναμένεται να φθάσει στο 23% το 2030. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας συμπεριφέρονται διαφορετικά από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, π.χ. από τις θερμικές ή πυρηνικές μονάδες, όσον αφορά την έξοδο αέργου ισχύος, τον έλεγχο της συχνότητας και τις βλάβες (ικανότητα να παραμείνουν διασυνδεδεμένες και να παρέχουν ενέργεια στο ηλεκτρικό σύστημα αμέσως μετά από βλάβη). Σε περιοχές όπου καταλαμβάνουν μεγάλο μερίδιο στην ηλεκτροπαραγωγή υπάρχει το ενδεχόμενο αρνητικής επίπτωσης στην συνολική ευστάθεια του δικτύου. Για αυτούς τους λόγους, οι διαχειριστές των δικτύων πρέπει να εισάγουν τεχνικά πρότυπα για τη σύνδεση τους στο δίκτυο [20].

- Άεργος ισχύς και έλεγχος τάσης

Σε αντίθεση με τη συχνότητα της ηλεκτρικής ισχύος, η οποία πρέπει να είναι η ίδια σε κάθε σημείο ενός διασυνδεδεμένου δικτύου, η τάση είναι μία τοπική παράμετρος, της οποίας οι τιμές ποικίλουν ανάλογα με την τοποθεσία και την κατανομή φορτίου στο δίκτυο. Σε ένα κύκλωμα που το φορτίο είναι καθαρά ωμικό, οι κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης είναι συμφασικές και η μεταφερόμενη ενεργός ισχύς η μέγιστη. Ωστόσο, η επαγωγική φύση του δικτύου μετασχηματίζει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι κυματομορφές ρεύματος και τάσης να βρίσκονται εκτός φάσης. Σε ένα κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται από μία πηγή συνεχούς ρεύματος, η σύνθετη αντίσταση ισούται με τη συνολική αντίσταση του κυκλώματος. Σε ένα κύκλωμα τροφοδοτούμενο από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, οι ηλεκτρικές συσκευές του κυκλώματος, όπως πηνία (γεννήτριες και μετασχηματιστές), πυκνωτές ακόμα και η γραμμή μεταφοράς συμβάλλουν στη σύνθετη αντίσταση. Πηνία και πυκνωτές παράγουν ή καταναλώνουν άεργο ισχύ, δημιουργώντας ροές ρεύματος. Για τον περιορισμό των επιδράσεων της αέργου ισχύος, συσκευές με κατάλληλη αντίσταση θα πρέπει να τοποθετηθούν σε κατάλληλα σημεία του δικτύου, ώστε να μεγιστοποιηθεί η μεταφορά ενεργού ισχύος.

Σε περιοχές που απαιτούνται μεγάλες ποσότητες αέργου ισχύος, π.χ. σε περιοχές του δικτύου με πολλές ασύγχρονες μηχανές, η τάση μειώνεται και μια συστοιχία πυκνωτών θα πρέπει να τοποθετηθεί ως αντίσταση αντιστάθμισης και για την διατήρηση της τάσης στα ονομαστικά επίπεδα. Η διατήρηση της τάσης στις ονομαστικές τιμές είναι πολύ σημαντική, επειδή οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές μπορούν να ανεχθούν πολύ μικρές αποκλίσεις στην τάση. Εάν η τάση είναι πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή, το δίκτυο γίνεται ασταθές και οι συσκευές του υπολειπώνονται ή υφίστανται βλάβες.

Πέρα από την επίδραση στην τάση, η ροή αέργου ισχύος αυξάνει το φορτίο στις γραμμές μεταφοράς και στους μετασχηματιστές, περιορίζοντας την ικανότητα τους για μεταφορά ενεργού ισχύος. Μειώνοντας το άεργο ρεύμα στις γραμμές

μεταφοράς, η χωρητικότητα αυξάνεται και οι απώλειες μειώνονται. Αυτή η λύση είναι ταχύτερη και οικονομικά πιο αποτελεσματική από την κατασκευή επιπλέον γραμμών μεταφοράς.

Τα συστήματα αντιστάθμισης άεργου ισχύος πληρούν τις πιο αυστηρές απαιτήσεις δυναμικής απόκρισης και είναι ικανά να μεταφέρουν άεργο ισχύ ακόμα και κατά τη διάρκεια βυθίσεων τάσης, πράγμα που τα καθιστά την ιδανική λύση για τα αιολικά πάρκα. Τα συστήματα αυτά σταθεροποιούν τόσο τις θετικές όσο και τις αρνητικές ακολουθίες της τάσης σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και παρέχουν αντιστάθμιση ισχύος για την εκκίνηση των.

#### **7.4. Η μετάβαση από το σήμερα στο αύριο**

Η αναβάθμιση του υπάρχοντος Ευρωπαϊκού δικτύου με 'έξυπνότερες τεχνολογίες' είναι μία από τις βασικότερες προτεραιότητες ώστε να επιτευχθεί ο τριπλός στόχος που έχει τεθεί ως το 2020 -μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20%, χρησιμοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%. Τα έξυπνα δίκτυα είναι ένα μέσο που θα συνδράμει στην επίτευξη του τριπλού στόχου του 2020. Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί να ενσωματώσει ευφυώς τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό -παραγωγών, καταναλωτών- με σκοπό να διασφαλιστεί αποτελεσματικά η σταθερότητα, η οικονομία και η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα υπάρχοντα δίκτυα βασίζονται κυρίως σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, που συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης. Η διανομή και η μεταφορά της ενέργειας γίνεται κατά κύριο λόγο μονοπωλιακά από δημόσιους φορείς, ενώ αντίθετα στον τομέα της παραγωγής υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός.

Η παροχή ισχύος και ο έλεγχος του δικτύου γίνονται στα σημερινά δίκτυα από κεντρικές εγκαταστάσεις και έτσι ελέγχονται διάφορες περιοχές από ένα συγκεκριμένο μέρος. Υπάρχει λίγο έως καθόλου συμμετοχή του καταναλωτή και απουσιάζει εντελώς η επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται υπάρχουν σχεδόν για έναν αιώνα και τα δίκτυα έχουν σχεδιασθεί να λειτουργούν βέλτιστα για τοπική κάλυψη. Οι διασυνδέσεις αναπτύχθηκαν κυρίως για αμοιβαία υποστήριξη μεταξύ χωρών και περιφερειών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης αλλά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για εμπορικούς λόγους.

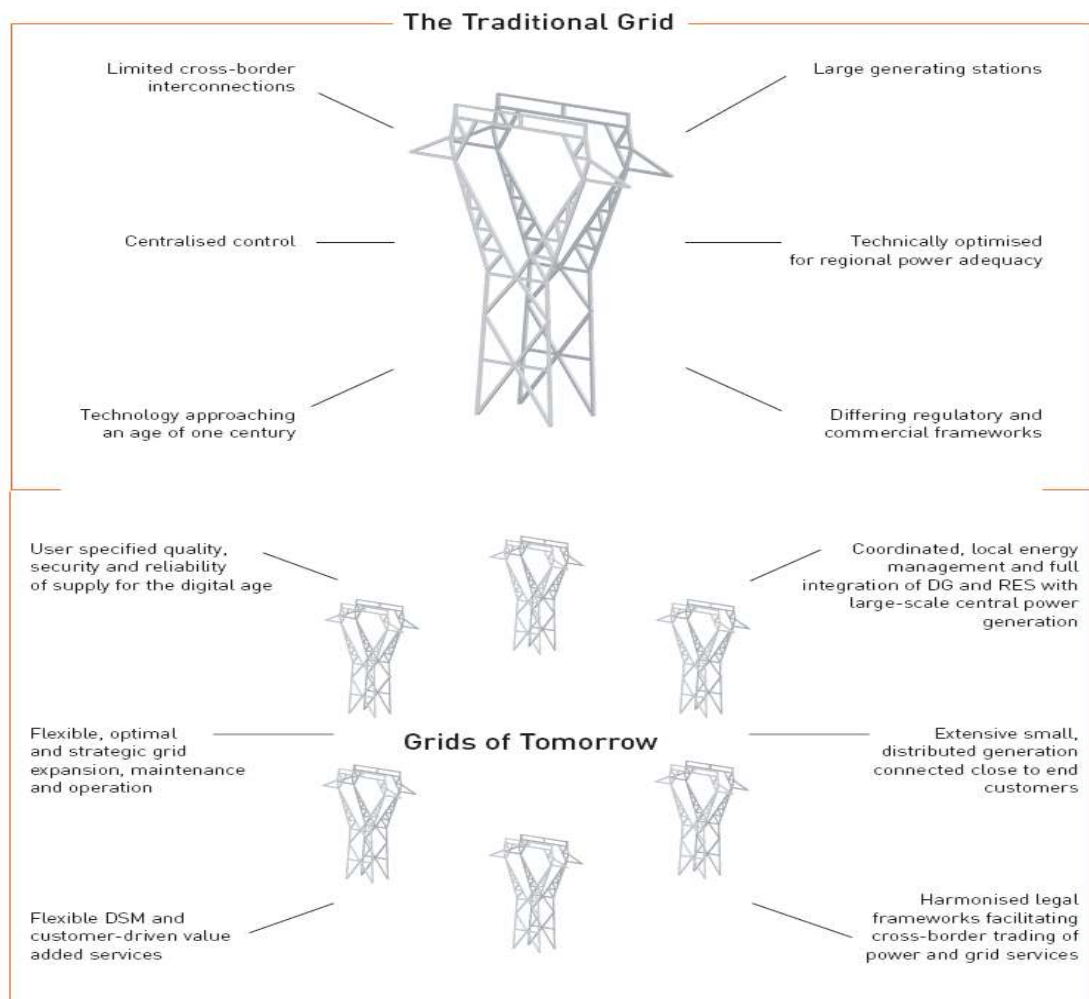
Το Ευφυές Δίκτυο είναι, επομένως, μια αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου, που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών, αυτοματοποιημένου ελέγχου, αυτοματοποιημένες συσκευές μέτρησης, και γενικότερα αξιοποιεί την τεχνολογία της πληροφορίας [20]. Συγκεκριμένα, συνδυάζει τη βασική υποδομή του ενεργειακού συστήματος, την τεχνολογία πληροφοριών και τους κανόνες της αγοράς (τιμολογιακή πολιτική) σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία, με σκοπό την καλύτερη παροχή, τον έλεγχο και γενικότερα διαχείριση της ενέργειας. Ένα ευφυές 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 δυνατόν 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 τη μετάδοση σημάτων άμεσης διακοπής φορτίων. Όταν η ισχύς είναι φθηνότερη, ένα έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να ενεργοποιεί συγκεκριμένες οικιακές συσκευές, όπως είναι τα πλυντήρια. Σε ώρες αιχμής θα μπορούσε να κλείνει επιλεγμένες συσκευές για να μειώσει τη ζήτηση.

Τα μελλοντικά δίκτυα διανομής θα έχουν ενεργητικό ρόλο και πρέπει να εξασφαλίζουν αμφίδρομη ροή ισχύος. Τα Ευρωπαϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν πλέον σε ένα πλαίσιο μοντέλου 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 (εξισορρόπηση ροής ενεργού ισχύος, έλεγχος σταθεροποίησης τάσης κλπ).

Για μία επιτυχή μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα, απαραίτητη είναι 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 σημαντική είναι και 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 στον τομέα αυτό.



**ΕΙΚΟΝΑ 7.4.: ΔΙΚΤΥΑ ΤΟΥ ΣΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΥΡΙΟ.**



## **7.5. Δημιουργία έξυπνων δικτύων**

### **7.5.1. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται**

Ένα έξυπνο δίκτυο αποτελείται από τεχνολογίες που χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες [20]: τεχνολογίες νοημοσύνης αποφάσεων (decision intelligence), επικοινωνιών, αισθητήρων και τεχνολογίες μετατροπής, μεταφοράς, αποθήκευσης και κατανάλωσης ισχύος.

Η τεχνολογία νοημοσύνης αποφάσεων περιλαμβάνει όλα τα πληροφοριακά προγράμματα που «τρέχουν» σε μια επαφή, σε μια ηλεκτρονική συσκευή υψηλής νοημοσύνης, σε ένα σύστημα αυτοματισμού υποσταθμού ή ένα κέντρο ελέγχου. Αυτά τα προγράμματα επεξεργάζονται την πληροφορία που προέρχεται από τους αισθητήρες, τα συστήματα πληροφοριών και επικοινωνιών και εξάγουν τις οδηγίες ελέγχου και λειτουργίας. Οι οδηγίες αυτές εκτελούνται από τα μοτέρ κίνησης (actuators) και τροποποιούν την έξοδο των πηγών παραγωγής και τις ροές στο δίκτυο.

Ωστόσο όλες οι πληροφορίες που συλλέγονται δεν έχουν καμία αξία, χωρίς ελεγχόμενα εξαρτήματα στο δίκτυο, τα οποία μπορούν να το καταστήσουν πιο αξιόπιστο και αποτελεσματικό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο έλεγχος της εξόδου των εγκαταστάσεων παραγωγής, της ροής ισχύος στις γραμμές μεταφοράς και της κατανάλωσης, τόσο πιο αποδοτική και αξιόπιστη θα είναι η λειτουργία του δικτύου. Αν, για παράδειγμα, η δυνατότητα ελέγχου της ροής ισχύος των ευέλικτων AC συστημάτων μεταφοράς δεν ήταν εφικτή, ο αυτόνομος διαχειριστής του συστήματος (independent system operator ISO) δε θα μπορούσε να ανακουφίσει τα σημεία συμφόρησης των γραμμών μεταφοράς, χωρίς να καταφύγει σε λιγότερο οικονομικά ελκυστικές λύσεις. Επίσης χωρίς την δυνατότητα ελέγχου συσκευών, όπως ο μεταγωγέας λήψεων στον μετασχηματιστή και οι αυτόματοι διακόπτες σε συγκροτήματα πυκνωτών, η βιομηχανία δε θα μπορούσε να περιορίσει τις απώλειες ισχύος. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο μεταφέρονται στους ελεγκτές, οι οποίοι πιθανότατα θα βρίσκονται στο κέντρο ελέγχου, όπου θα υποστούν επεξεργασία, προτού σταλούν πίσω στις συσκευές υπό μορφή εντολών ελέγχου. Όλες αυτές οι διεργασίες πραγματοποιούνται από τις τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφοριών, που αξιόπιστα και με ασφάλεια μεταδίδουν την πληροφορία σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Ωστόσο, η επικοινωνία ανάμεσα σε συσκευές (π.χ. από ελεγκτή σε ελεγκτή) είναι εξίσου συνηθισμένη, καθώς η λειτουργία σε πραγματικό χρόνο μπορεί μόνο να επιτευχθεί μέσω της ενδοεπικοινωνίας συσκευών. Παραδείγματα τεχνολογίας έξυπνου δικτύου ακολουθούν:

Τα συστήματα ελέγχου ευρείας περιοχής (WAMS) συλλέγουν πληροφορίες, σε πραγματικό χρόνο, για τις συνδέσεις του δικτύου σε στρατηγικά σημεία. Ενσωματώνοντας διανυσματικά δεδομένα το WAMS αναλύει τα στοιχεία και εντοπίζει τυχόν αστάθειες [20].

Τα συστήματα εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA) ελέγχουν και εποπτεύουν χιλιάδες σημεία μετρήσεων σε απομακρυσμένα τερματικά σημεία των εθνικών και τοπικών δικτύων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, καθώς πραγματοποιούν μοντελοποίηση του δικτύου, προσομοίωση λειτουργίας, εντοπίζουν σφάλματα, προλαβαίνουν τις διακοπές και συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας [20].

Οι συσκευές FACTS αντισταθμίζουν την αυτεπαγωγή της γραμμής για μεταφορά μέγιστης ισχύος και παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου της ροής ισχύος.

Επίσης μετριάζουν τις διαταραχές και σταθεροποιούν το δίκτυο. Σε ορισμένες περιπτώσεις η ποσότητα της μεταφερόμενης ενέργειας μπορεί ακόμα και να διπλασιαστεί, μέσω της λειτουργίας των συσκευών αυτών [20].

Τα συστήματα υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC) μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα AC της παραγωγής σε συνεχές ρεύμα DC για τη μεταφορά, προτού το ξαναμετατρέψουν σε AC για τους καταναλωτές. Τα δίκτυα που λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες (50 η 60Hz) μπορούν πλέον να ενωθούν με τεχνολογία HVDC, ενώ οι αστάθειες σε μία πλευρά του δικτύου μπορούν πλέον να απομονωθούν και να περιοριστούν. Τα HVDC καλώδια είναι ιδανικά για τη μεταφορά ενέργειας από δύσκολες τοποθεσίες (μέσω της θάλασσας) και για τεράστιες αποστάσεις με χαμηλές απώλειες. Επίσης τα καλώδια HVDC συνεπάγονται χαμηλότερα κόστη υποδομών, δηλαδή λιγότερους και μικρότερους πυλώνες και λιγότερες γραμμές, γεγονός το οποίο αντισταθμίζει τις υψηλότερες δαπάνες επενδύσεων που απαιτούνται σε σταθμούς μετατροπής.

Η τεχνολογική εξέλιξη των βοηθητικών συστημάτων των εγκαταστάσεων οδηγεί σε σημαντικές εξοικονομήσεις καθώς έως και 8% της παραγωγής της εγκατάστασης καταναλώνεται σε αυτά τα συστήματα. Επιπλέον μείωση στην καταναλισκόμενη ενέργεια, μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση της διαδικασίας καύσης και του χρόνου εκκίνησης των λεβήτων. Η βελτιστοποίηση των μηχανοκίνητων συστημάτων αφήνει τα μεγαλύτερα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανία. Η εγκατάσταση συστημάτων κίνησης από μόνη της, θα μπορούσε να συμβάλει σε αυτό το σκοπό, εξοικονομώντας περίπου 3% της ενέργειας, ποσό ίσο με την παραγωγή πάνω από διακοσίων εργοστασίων ορυκτών καυσίμων (κάθε ένα από τα οποία παράγει 500MW).

Η διαδικασία ελέγχου είναι ακόμα ένας αποτελεσματικός και άμεσος τρόπος, με τον οποίο η βιομηχανία θα μπορούσε να περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας κατά περίπου 30%. Τα συστήματα αυτοματισμού των υποσταθμών είναι υπεύθυνα για την ανάκτηση δεδομένων, την επικοινωνία με απομακρυσμένα σημεία, τον εποπτικό έλεγχο, την προστασία και αξιολόγηση των σφαλμάτων. Σύμφωνα με μελέτες, η εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού σε κτήρια μπορεί να προκαλέσει ελάττωση στην κατανάλωση ενέργειας έως και 60%, ενώ η παγκόσμια κατανάλωση θα μειωθεί έως και 10%. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την ατομική προσαρμογή των χώρων-δωματίων και των συσκευών, προκειμένου να εξασφαλίσουν την πιο αποδοτική κατανάλωση ενέργειας. Για την ενσωμάτωση της «πράσινης» τεχνολογίας στο δίκτυο απαιτούνται ειδικά προσαρμοσμένες, μεγάλου μήκους διασυνδέσεις καθώς και συσκευές ελέγχου για τις υδροηλεκτρικές, αιολικές και ηλιακές εγκαταστάσεις. Ένα τέτοιο σύστημα αυτοματισμού και ένα σύνολο ηλεκτρικού εξοπλισμού έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο πρώτο ευρωπαϊκό ηλιακό εργοστάσιο 100MW μεγάλης κλίμακας στην Ισπανία.

Η συνολική ηλεκτρική ισχύς εισόδου και εξόδου ενός διασυνδεδεμένου δικτύου πρέπει να βρίσκεται σε σχετική ισορροπία συνεχώς. Οποιαδήποτε αστάθεια μπορεί να γίνει η αιτία να μεταβληθεί η συχνότητα από την κανονική τιμή των 50 στα 60Hz. Η εξισορρόπηση ισχύος είναι πολύ σημαντικό ζήτημα, αλλά και ιδιαίτερα κρίσιμο καθώς μεγάλες ποσότητες διακοπτόμενης αιολικής και ηλιακής ενέργειας προστίθενται στο ενεργειακό μείγμα. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας αντισταθμίζει τις τυχόν αστάθειες του συστήματος και περιορίζει την ανάγκη της στρεφόμενης εφεδρείας, η οποία έχει μεγάλο κόστος. Ένα είδος αποθήκευσης είναι τα συστήματα συσσωρευτών με μετατροπείς DC σε AC. Το μεγαλύτερο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, αυτή τη στιγμή, βρίσκεται στην Αλάσκα. Η εγκατάσταση, που βασίζεται σε μπαταρίες-συσσωρευτές, μπορεί να παρέχει 25MW ισχύος για 15

λεπτά, δίνοντας στο δίκτυο αρκετή ώρα για να επαναφέρει εντός λειτουργίας την εφεδρική γεννήτρια, σε περιπτώσεις διακοπής. Οι συσκευές FACTS ρυθμίζουν τη ροή ισχύος ή την τάση στο δίκτυο, με στόχο τη μεγιστοποίηση της δυναμικότητας του, ρυθμίζοντας την επαγωγική αντίσταση των γραμμών ή εγχέοντας άεργο ισχύ. Συνδυάζοντας ένα σύστημα συσσωρευτών με συσκευές FACTS, η ενεργός ισχύς μπορεί να εγχέεται ή να εξάγεται γρήγορα και με ακρίβεια. Τέλος, το σύστημα αυτό προσφέρει εξισορρόπηση ισχύος, υποστήριξη ισχύος αιχμής και έλεγχο της ποιότητας τάσης και ισχύος.

Η τεχνολογία των έξυπνων δικτύων είναι ένας συνδυασμός ήδη υπάρχουσών και αναδυόμενων τεχνολογιών. Με την ορθή εφαρμογή τους, οι τεχνολογίες αυτές, αυξάνουν την αποδοτικότητα της παραγωγής, της μεταφοράς και της κατανάλωσης, βελτιώνουν την αξιοπιστία και την οικονομική λειτουργία, ενσωματώνουν Ανανεώσιμη Ενέργεια μέσα στο δίκτυο, επιτρέπουν τη συμμετοχή των καταναλωτών και ενισχύουν την οικονομική απόδοση του συστήματος.

### **7.5.2. Τεχνολογία HVDC**

Με τεχνικούς όρους, η τεχνολογία HVDC [20] υποστηρίζει τον έλεγχο ροής φορτίου, τον έλεγχο τάσης και των διακυμάνσεων ισχύος, την αντιμετώπιση των κυκλικών διακυμάνσεων τάσης (flickers) και το χειρισμό ασύμμετρων και πτητικών φορτίων. Η τεχνολογία HVDC μπορεί να προσδώσει στα μελλοντικά δίκτυα:

- Ευελιξία, αφού είναι ιδανική για την γρήγορη ανταπόκριση σε λειτουργικές αλλαγές και στις ανάγκες των καταναλωτών.
- Προσβασιμότητα σε όλες τις πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανόμενων των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αλλά και των τοπικών πηγών παραγωγής.
- Αξιοπιστία, εφόσον διασφαλίζει ποιότητα παροχής και ανθεκτικότητα απέναντι σε αβεβαιότητες και αστάθμητους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή Ανανεώσιμης Ενέργειας.
- Οικονομία, επειδή ενισχύει την αποδοτική λειτουργία, τη διαχείριση ενέργειας και την ευελιξία προσαρμογής στις νέες ρυθμίσεις.

Δύο βασικά εργαλεία της τεχνολογίας αυτής είναι το HVDC Classic και το HVDC Light [20], τα οποία διακρίνονται με βάση τις εφαρμογές τους.

Το HVDC Classic επικεντρώνεται κυρίως στην μεταφορά μεγάλης ποσότητας ενέργειας, για μεγάλες αποστάσεις. Μια τυπική εφαρμογή είναι η μεταφορά χιλιάδων MW από απομονωμένες υδροηλεκτρικές πηγές σε κέντρα φορτίου. Για παράδειγμα αναφέρουμε τη σύνδεση των 800kV που παρέχει την απαραίτητη δυναμικότητα για να μεταφερθούν 6400MW για μια απόσταση 2000km, μεταξύ Σαγκάης και της υδροηλεκτρικής εγκατάστασης Xiangjiaba. Η σύνδεση αυτή έχει ενεργειακή απόδοση 93%, ωστόσο η χρήση γης που απαιτεί είναι κατά 40% μικρότερη από αυτή που απαιτεί η συμβατική τεχνολογία.

Η τεχνολογία HVDC Light αντίθετα είναι ιδανική για την ενσωμάτωση της διάσπαρτης παραγωγής Ανανεώσιμης Ενέργειας, π.χ. αιολικής ενέργειας, στα υπάρχοντα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος. Επίσης χρησιμοποιείται στα έξυπνα δίκτυα λόγω της ευελιξίας και προσαρμοστικότητας της. Η τεχνολογία HVDC Light βασίζεται στην τεχνολογία μετατροπών πηγών τάσης (Voltage Source Converter VSC) και χρησιμοποιείται για μεταφορά ισχύος, αντιστάθμιση άεργου ισχύος και αντιμετώπιση αρμονικών και διαταραχών (flickers). Από την πλευρά του

συστήματος, ένας μετατροπέας HVDC Light συμπεριφέρεται ως μηχανή μηδενικής αδράνειας, ελέγχοντας και την ενεργό και την άεργο ισχύ. Επιπλέον, δε συνεισφέρει στην ισχύ βραχυκύκλωσης, αφού το εναλλασσόμενο ρεύμα ελέγχεται από το μετατροπέα.

Με τη ραγδαία αύξηση της αιολικής παραγωγής, οι απαιτήσεις για τα τεχνικά πρότυπα του δικτύου γίνονται πιο αυστηρές. Μια ανεμογεννήτρια ή ένα αιολικό πάρκο πρέπει να είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε ξαφνικές βυθίσεις τάσης κάτω από το 15% της ονομαστικής τιμής της τάσης του δικτύου, για χρονικό διάστημα πάνω από 150ms. Ορισμένες εφαρμογές απαιτούν απόκριση συχνότητας, δηλαδή η παραγωγή των αιολικών πάρκων πρέπει να αυξάνεται όταν μειώνεται η συχνότητα του δικτύου και το αντίστροφο. Σε ένα αιολικό πάρκο, διασυνδεδεμένου μέσω του συστήματος μεταφοράς HVDC Light, ο έλεγχος απόκρισης συχνότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων, οι οποίες μεταφέρουν τη στιγμιαία τιμή της συχνότητας του κυρίως δικτύου και άλλων μεταβλητών. Εφόσον, το πλάτος, η συχνότητα, και η φάση της τάσης στο ζυγό ενός αιολικού πάρκου μπορεί να ελεγχθεί πλήρως από τους μετατροπείς, η συχνότητα του δικτύου μπορεί να «αντικατοπτριστεί» στο δίκτυο του πάρκου χωρίς καμία σημαντική καθυστέρηση.

Ένας από τους βασικούς μοχλούς ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων, είναι η ενσωμάτωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ιδιαίτερα των θαλάσσιων αιολικών πάρκων, στα σύγχρονα δίκτυα HVAC. Αυτό έχει ένα τεράστιο περιβαλλοντικό όφελος, αφού δίνει την ευκαιρία να αντικατασταθούν τα ορυκτά καύσιμα. Τα δίκτυα του μέλλοντος, αν συνδυαστούν με ένα αποδοτικό ρυθμιστικό πλαίσιο, θα προσφέρουν στους καταναλωτές περισσότερες επιλογές, θα αυξήσουν τον ανταγωνισμό μεταξύ των διάφορων πάροχων ενέργειας και θα οδηγήσουν σε καινοτομίες στην τεχνολογία. Όσο πιο έξυπνα γίνονται τα δίκτυα, η διαθεσιμότητα και η ποιότητα της ισχύος μπορούν να ελεγχθούν με πιο αποτελεσματικό τρόπο, ενισχύοντας τα σημερινά AC δίκτυα.

### **7.5.3. Τεχνολογία SVC**

#### **Περιορισμός των βυθίσεων τάσης στα μεγάλα αστικά δίκτυα μέσω SVC [20]**

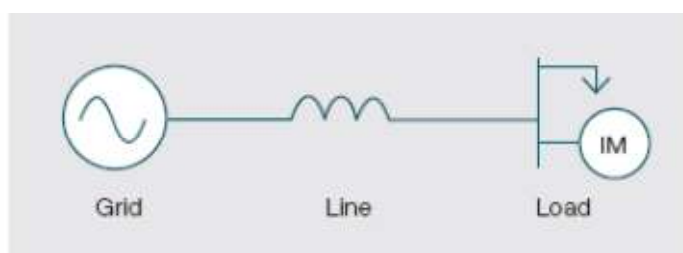
Οι πρόσφατες διακοπές ρεύματος στην Ευρώπη, καθώς και στις Ηνωμένες Πολιτείες, έχουν εστιάσει την προσοχή στην σημασία της αξιόπιστης και ασφαλούς παροχής ισχύος στα νοικοκυριά, τα δημόσια ιδρύματα και τη βιομηχανία. Ο διαχωρισμός της παραγωγής και της μεταφοράς τα τελευταία χρόνια, σημαίνει ότι οι επιχειρήσεις του δικτύου δε μπορούν πλέον να βασίζονται σε γεννήτριες για παραγωγή άεργου ισχύος, δηλαδή οι πάροχοι μεταφοράς θα πρέπει να παρέχουν τη δική τους άεργο ισχύ. Η γρήγορη και επαρκής παροχή άεργου ισχύος είναι απαραίτητη για τη διατήρηση σταθερών τάσεων, ιδιαίτερα όταν υψηλά ποσοστά φορτίων επαγωγικού κινητήρα (σαν αυτά που δημιουργούνται από κλιματιστικά στις αστικές περιοχές) κυριαρχούν στο δίκτυο και κατά τη διάρκεια βλαβών του συστήματος. Ο στατικός αντισταθμιστής άεργου ισχύος (SVC static var compensator) είναι η ιδανική λύση για την κάλυψη των εν λόγω προκλήσεων.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του στατικού αντισταθμιστή άεργου ισχύος είναι η ικανότητά του να παρέχει άεργο ισχύ σε δίκτυα για διάφορες καταστάσεις, βοηθώντας έτσι να διατηρηθεί, ή στις πιο δύσκολες περιπτώσεις, να αποκαταστηθεί σταθερή κατάσταση λειτουργίας στο δίκτυο. Οι SVCs αποτελούν μέρος της

οικογένειας των FACTS (ευέλικτων AC συστημάτων μεταφοράς), που εγκαθίστανται σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Η έλλειψη άεργου ισχύος είναι πολλές φορές η αιτία βυθίσεων τάσης σε ένα δίκτυο, αφού είναι απαραίτητη για τη διατήρηση καλών επιπέδων τάσης στο σύστημα. Ωστόσο η άεργος ισχύς δεν μπορεί και δεν πρέπει να μεταφέρεται για μεγάλες αποστάσεις, καθώς συνδέεται με απώλειες ισχύος και διαβαθμίσεις τάσης. Για το λόγο αυτό η άεργος ισχύς πρέπει να παρέχεται εκεί που χρειάζεται, πχ. στα κέντρα φορτίων. Η άεργος ισχύς καταναλώνεται από υπερφορτωμένες γραμμές. Όταν μια βλάβη συμβεί σε ένα σύστημα (π.χ. βραχυκύκλωμα), η πληγείσα γραμμή αποσυνδέεται και οι υπόλοιπες τραβάνε τη ροή. Η άεργος ισχύς καταναλώνεται τότε σε μεγαλύτερο βαθμό. Εάν η παροχή άεργου ισχύος είναι περιορισμένη, η αυξημένη φόρτιση της γραμμής θα προκαλέσει βύθιση τάσης στο σύστημα. Το σύστημα μεταφοράς δεν μπορεί πλέον να μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια και μία διακοπή ρεύματος θα ακολουθήσει. Είναι προφανές ότι η παροχή του κατάλληλου είδους της άεργου ισχύος (με τα κατάλληλα δυναμικά χαρακτηριστικά), την κατάλληλη στιγμή και στα σωστά σημεία αποτελεί μια πολύ ικανοποιητική μέθοδο για την πρόληψη, ή τουλάχιστον τον περιορισμό, των διακοπών ρεύματος.

Η παροχή της άεργου ισχύος μπορεί να γίνει όχι μόνο από αντισταθμιστές SVCs αλλά και από MSCs (μηχανικούς διακοπτόμενους πυκνωτές). Πρέπει ωστόσο να γίνουν κάποιες σημαντικές διακρίσεις. Ενώ οι SVCs παρέχουν γρήγορα άεργο ισχύ, οι MSCs παρέχουν αργή άεργο ισχύ, γεγονός που καθιστά τους MSCs ιδανικούς για καταστάσεις όπου δεν απαιτείται δυναμική απόκριση ή συχνή λειτουργία, όπως υποστήριξη τάσης για 24-ωρα φορτία. Για πιο απαιτητικές εφαρμογές οι MSCs υστερούν, ενώ προτιμώνται οι SVCs ή STATCOMs.

Η ενσωμάτωση των SVCs σε ένα κρίσιμο σημείο του φορτίου θα αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για δυναμική υποστήριξη τάσης, η οποία θα ενισχύσει το περιθώριο σταθερότητας. Η ικανότητα αυτή των SVCs εξαρτάται από την αξιολόγηση τους και το μέγεθος του φορτίου. Ο έλεγχος των υποτάσεων που προέρχονται από βλάβες και των υπερτάσεων που προκαλούνται από εν κενώ καταστάσεις, είναι βασικές λειτουργίες των SVCs. Μια γενική περίπτωση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



**ΕΙΚΟΝΑ 7.5.: ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΕΙ ΣΕ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ**

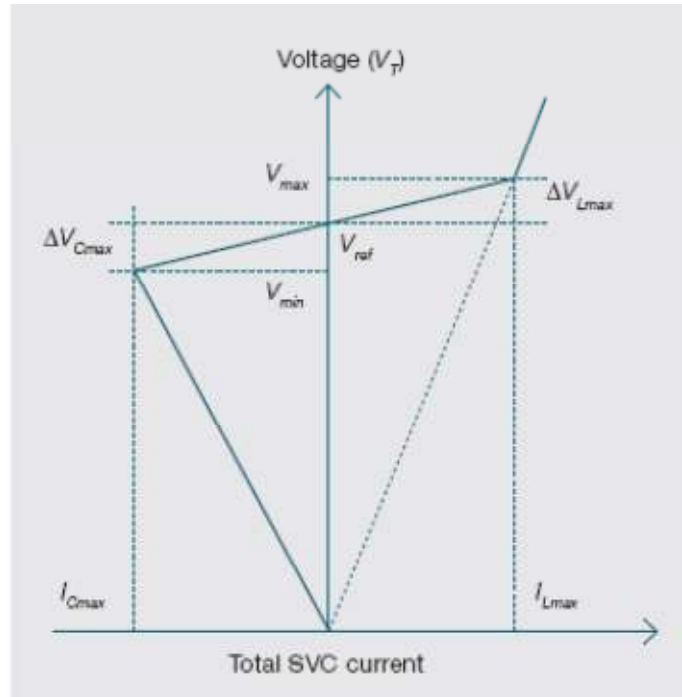
Το κέντρο φορτίου τροφοδοτείται μέσω μιας γραμμής μεταφοράς και αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από μηχανές επαγωγής (IM), οι οποίες είναι ευαίσθητες σε υποτάσεις. Σε αυτή την περίπτωση τόσο η ενεργός όσο και η άεργος ισχύς πρέπει να υποστηριχθούν από τη γραμμή μεταφοράς. Πέρα από τις ωμικές απώλειες που θα προκαλέσει αυτό στο σύστημα, θα δημιουργήσει και μια σειρά προβλημάτων κατά τη διάρκεια των βλαβών, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

Καταστάσεις υπότασης μπορούν να προκληθούν από διακοπές στις γεννήτριες και από βλάβες σε παρακείμενες γραμμές. Οι βλάβες αυτές είναι συνήθως προσωρινές και διορθώνονται μετά από 100 με 150ms. Κατά τη διάρκεια του

σφάλματος, η τάση θα πέσει. Δύο βασικές περιπτώσεις υπότασης μπορούν να συμβούν, μία κατά τη διάρκεια της βλάβης, και μια αμέσως αφού διορθωθεί το σφάλμα. Εάν ο SVC είναι πολύ κοντά σε ένα τριφασικό σφάλμα, δεν μπορεί να κάνει πολλά για να ανακουφίσει την πτώση τάσης, κατά τη διάρκεια του σφάλματος. Ωστόσο, για πιο απομακρυσμένα σφάλματα ή για βλάβες ανάμεσα σε μια γραμμή και τη γη (SLG), μπορεί να είναι δυνατό, σε κάποιο βαθμό, να υποστηριχθεί η τάση στην περιοχή του SVC, καθώς ο SVC θα συνεχίσει να παράγει άεργο ισχύ στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της βλάβης. Οι καταστάσεις υπότασης είναι ιδιαίτερα δύσκολες όταν το φορτίο αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από ασύγχρονες μηχανές, όπως είναι οι κινητήρες αντλιών ή τα κλιματιστικά. Κατά τη διάρκεια της βλάβης οι ασύγχρονες μηχανές θα μειώσουν ταχύτητα, γεγονός που θα επηρεάσει τη λειτουργία του συστήματος, όταν η βλάβη αποκατασταθεί. Στις πιο σοβαρές περιπτώσεις, η ανάκαμψη της τάσης στο δίκτυο μπορεί να εμποδιστεί μετά από ένα τέτοιο σφάλμα.

### Έλεγχος υπερτάσεων [20]

Ο έλεγχος για υπερτάσεις λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με αυτόν για υποτάσεις, αλλά είναι ζωτικής σημασίας σε περιπτώσεις απόρριψης φορτίου, όπου η ξαφνική απώλεια φορτίων δημιουργεί υπερτάσεις, λόγω του πλεονάσματος άεργης ισχύος από γεννήτριες, γραμμές και καλώδια του συστήματος. Η ταχύτητα ελέγχου του SVC επιτρέπει πλήρη υποστήριξη σε ένα θεμελιώδη κύκλο και ο SVC θα καταναλώσει άεργο ισχύ για να περιορίσει την τάση στο σύστημα. Μόλις το φορτίο επανασυνδεθεί στο σύστημα, ο SVC θα επανέλθει στο αρχικό σημείο ρύθμισης και θα συνεχίσει να στηρίζει τη λειτουργία του συστήματος. Ένας SVC βασίζεται σε πηνία ελεγχόμενα από θυρίστορ (thyristor-controlled reactors-TCR), πυκνωτές ελεγχόμενους από θυρίστορ (thyristor-switched capacitors-TSC) και σταθερούς πυκνωτές (fixed capacitors-FC) συντονισμένους με φίλτρα. Ένα πλήρες SVC βασισμένο σε TSC και TCR, μπορεί να σχεδιαστεί με πολλούς τρόπους για να ικανοποιήσει έναν αριθμό κριτηρίων που αφορούν τη λειτουργία του δικτύου. Ένα SVC έχει χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος σε σταθερή κατάσταση αυτήν που ακολουθεί. Το ρεύμα του SVC μεταβάλλεται για τη ρύθμιση της τάσης σύμφωνα με μια χαρακτηριστική κλίση. Η κλίση αυτή, σε συνδυασμό με τον υπόλοιπο εξοπλισμό ελέγχου της τάσης, είναι σημαντική για το δίκτυο. Σημαντικός επίσης είναι ο καθορισμός της τάσης στην οποία το SVC θα φτάσει το όριο του εύρους ελέγχου του. Μια μεγάλη ρύθμιση κλίσης θα επεκτείνει το εύρος ενεργού ελέγχου σε μια χαμηλότερη τάση, αλλά εις βάρος της ακρίβειας ρύθμισης τάσης. Η τάση στην οποία το SVC ούτε παράγει ούτε απορροφά άεργο ισχύ είναι το επίπεδο τάσης αναφοράς  $V_{ref}$ . Αυτή η τιμή μπορεί να προσαρμοστεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος.



ΕΙΚΟΝΑ 7.6.: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗΣ-ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΝΟΣ SVC ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

#### 7.5.4. Αποθηκευτικό σύστημα

Από τις καινοτόμες εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας που έχουν σχεδιαστεί, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αυτές που εστιάζουν στην απαίτηση για συνδυασμένη χρήση του συνεχούς ελέγχου αέργου ισχύος και του βραχυχρόνιου ελέγχου ενεργού ισχύος. Ο έλεγχος της αέργου ισχύος επιτρέπει τον επακόλουθο έλεγχο της τάσης και της ευστάθειας του δικτύου με υψηλή δυναμική απόκριση. Με τον έλεγχο της ενεργού ισχύος, νέες υπηρεσίες που βασίζονται στη δυναμική αποθήκευση ενέργειας εμφανίζονται.

Ένα σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη του φορτίου όπως επίσης και για βοηθητικές υπηρεσίες του δικτύου (π.χ. η ρύθμιση της ηλεκτρικής συχνότητας). Άλλη μια χρήση του είναι ως μέρος της υποδομής για επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Σήμερα η ονομαστική ισχύς και η δυναμικότητα αποθήκευσης είναι τυπικά στην κλίμακα των 20MW, ωστόσο αναμένεται αύξηση. Καθώς η τιμή των μπαταριών συνεχίζει να πέφτει, εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερης χωρητικότητας αποθηκευτικές συσκευές θα γίνουν βιώσιμες, επιτρέποντας για παράδειγμα αποθήκευση της ενέργειας που προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για πολλές ώρες κατά τη διάρκεια χαμηλής ζήτησης, ώστε να τη διοχετεύουν στο δίκτυο τις ώρες αιχμής.

Αφού οποιοδήποτε απρόβλεπτο συμβάν τυπικά διαρκεί για κάποια κλάσματα δευτερολέπτου, η απαιτούμενη εφεδρική ισχύς πρέπει να είναι διαθέσιμη για σύντομο χρονικό διάστημα μόνο. Ομοίως, μια οποιαδήποτε παρεπόμενη υπηρεσία όπως ο έλεγχος της περιοχής συχνοτήτων χρειάζεται για κάποια λεπτά τη φορά. Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί τότε να παρέχει το αναγκαίο πλεόνασμα ενεργού ισχύος και έπειτα να επαναφορτιστεί από το δίκτυο υπό τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Ένας αριθμός από μπαταρίες πρέπει να συνδεθεί σε σειρά ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο τάσης σε μια συστοιχία μπαταριών. Για να εξασφαλιστεί υψηλότερη ισχύς και ενέργεια πολλές συστοιχίες μπαταριών πρέπει να προστεθούν παράλληλα.

Η δυναμική αποθήκευση ενέργειας βρίσκει εφαρμογές σε πλήθος πεδίων. Όχι μόνο μπορεί να υποστηρίξει το δίκτυο κατά τη διάρκεια της επαναφοράς από μια διακοπή της λειτουργίας του, αλλά μπορεί και να παρέχει ισχύ με το βέλτιστο μείγμα ενεργού και αέργου ισχύος μέχρι η εφεδρική παραγωγή να τεθεί σε λειτουργία. Επίσης, αποτελεί εναλλακτική λύση για την ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς και διανομής κατά την αιχμή του φορτίου. Ακόμη, προσφέρει έλεγχο της ποιότητας της ισχύος, και συμβάλλει στην ισορροπία της ισχύος που παράγεται από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα, τα οποία έχουν στοχαστική συμπεριφορά.

## **7.6. Έλεγχος των έξυπνων δικτύων**

Κατά την τελευταία δεκαετία, η βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας έχει γνωρίσει πρωτοφανή αλλαγή. Η αλλαγή αυτή τροφοδοτήθηκε τόσο από τις τεχνολογικές καινοτομίες όσο και από την αναδιάρθρωση της ίδιας της βιομηχανίας. Τα συστήματα τεχνολογίας επικοινωνιών, τα οποία υποστηρίζουν τις λειτουργίες μεταφοράς και διανομής, έγιναν πιο ισχυρά. Τα μελλοντικά δίκτυα θα είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένα, ώστε να λειτουργούν με ευφυή τρόπο, παρακολουθώντας και διορθώνοντας τη λειτουργία τους.

Ο έλεγχος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1920, όταν εμφανίστηκαν τα πρώτα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου για τις μονάδες παραγωγής. Το 1960, η έλευση της ηλεκτρονικής διαδικασίας ελέγχου, συνέβαλλε στην περαιτέρω ανάπτυξη των συστημάτων αυτών. Το 1980, η ανάπτυξη των υπολογιστών οδήγησε σε καινούριες μεθόδους για τη μοντελοποίηση των δικτύων διανομής μεγάλης κλίμακας με τυποποιημένο τρόπο. Με την απελευθέρωση της βιομηχανίας το 1980, οι ρυθμιστικές αρχές και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, άρχισαν να εξετάζουν το ενδεχόμενο αυτό και για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Μια τέτοια κίνηση θα απαιτούσε εντελώς νέο τύπο πληροφοριακών συστημάτων (κυρίως για να εξυπηρετήσουν τις αγορές μεγάλης κλίμακας) καθώς και βελτιώσεις στα συστήματα εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA) και στα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης (EMS) [20], πράγμα το οποίο συνέβη στις αρχές της δεκαετίας του 90.

Καθώς τα συστήματα διανομής συνεχίζουν να γίνονται πιο «έξυπνα» και πιο ασφαλή, τα κέντρα ελέγχου της λειτουργίας τους αναλαμβάνουν καινούριους ρόλους στη διαχείριση των εξελισσόμενων δικτύων. Τα ξεχωριστά συστήματα πληροφοριών (IT) που χρησιμοποιούνται στα κέντρα ελέγχου γίνονται πιο εξορθολογισμένα και επικοινωνούν απρόσκοπτα, ώστε να παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης του ενεργειακού προφίλ του δικτύου. Αναλυτικό λογισμικό και άλλες εξελιγμένες εφαρμογές παρέχουν εκτεταμένες αναλύσεις και επιτρέπουν αυτοματοποιημένες λειτουργίες. Τα συστήματα ελέγχου των κέντρων λειτουργίας δε κάνουν μόνο το δίκτυο πιο έξυπνο, αλλά επίσης συμβάλλουν στην υποστήριξη της λειτουργίας, της συντήρησης και του σχεδιασμού του. Τέτοια ολοκληρωμένα λειτουργικά κέντρα βοηθούν τις εταιρίες διανομής να επιτύχουν τους στόχους τους, παρά τις αυξανόμενες απαιτήσεις.



Τα τελευταία χρόνια, πολλοί παράγοντες έχουν συντελέσει στην ανάπτυξη και επέκταση των εφαρμογών τεχνολογίας στα έξυπνα δίκτυα [20]. Οι παράγοντες αυτοί είναι η κοινωνία, οι κυβερνήσεις, το μεταβαλλόμενο επιχειρηματικό περιβάλλον και η τεχνολογία. Ο αυξανόμενος ρόλος της Ανανεώσιμης Ενέργειας και της διεσπαρμένης παραγωγής και τα σχετικά ζητήματα απόκρισης ζήτησης απαιτούν νέες προσεγγίσεις στη διαχείριση των δικτύων. Η απελευθέρωση της αγοράς και η συναλλαγή ενέργειας επιτρέπουν περαιτέρω στους τελικούς καταναλωτές να επιλέξουν την πηγή από την οποία θα τροφοδοτηθούν. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι το αυξανόμενο κόστος παραγωγής και μεταφοράς, όσον αφορά την υποδομή του δικτύου και το κόστος καυσίμων. Από επιχειρηματική άποψη, οι εταιρείες διανομής προσβλέπουν στην βελτίωση της αξιοπιστίας και της αξιοποίησης των πόρων και στην αναβολή των επενδύσεων εξοπλισμού, μέσω της ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων.

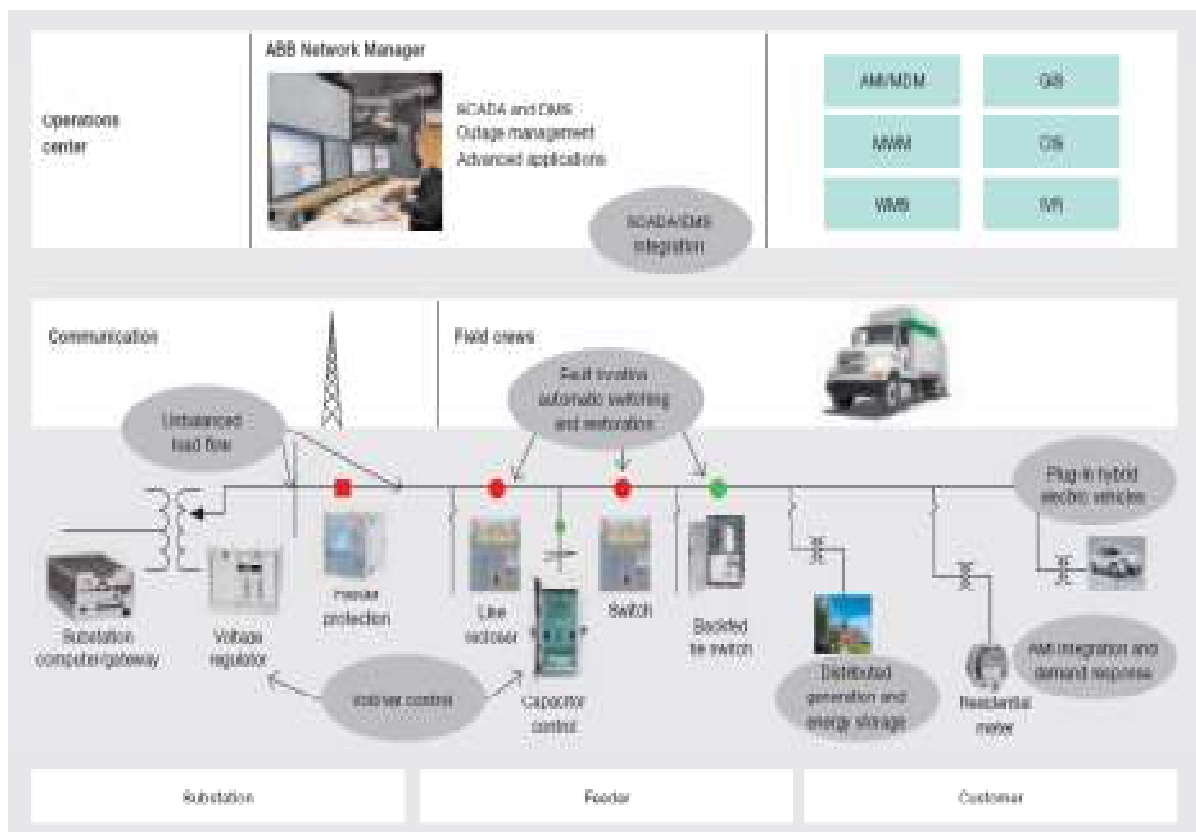
Ο εξοπλισμός στις γραμμές διανομής που διαθέτει αισθητήρες και δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων, ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, αυξάνεται. Οι «έξυπνες» συσκευές και εφαρμογές έχουν αρχίσει να εισέρχονται στα οικιακά δίκτυα. Η εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας θα εξαρτηθεί από την ανάπτυξη και ενοποίηση των προτύπων διαλειτουργικότητας.

Μεγάλο μέρος της συζήτησης σχετικά με την ανάπτυξη των σύγχρονων έξυπνων δικτύων περιστρεφόταν μέχρι τώρα γύρω από τις δυνατότητες των προηγμένων υποδομών μέτρησης (AMI) και τις αναδυόμενες τεχνολογίες μέτρησης. Ως αποτέλεσμα οι εγκαταστάσεις των AMI συστημάτων αυξάνονται ταχύτατα σε αριθμό. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των προηγμένων υποδομών μέτρησης AMI, της διαχείρισης των δεδομένων μέτρησης (MDM) και των SCADA-DMS έχουν δημιουργηθεί και αναπτύσσονται για ειδοποιήσεις διακοπής λειτουργίας και αποκατάστασης. Τα οφέλη που προκύπτουν περιλαμβάνουν: ελάττωση του αριθμού διακοπών λειτουργίας και μια αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Η χρήση δεδομένων που προέρχονται από τις υποδομές μέτρησης, όπως οι ενδείξεις τάσης και τα δεδομένα ζήτησης, σε εφαρμογές του συστήματος διαχείρισης διανομής έχει επίσης διερευνηθεί. Τα οφέλη αυτής περιλαμβάνουν πληρέστερη κατανόηση της φόρτισης του συστήματος. Επιπλέον, πολλές εταιρίες διανομής ενισχύουν την αυτοματοποίηση των υποσταθμών και τον αριθμό των πυλών τους, γεγονός που βελτιώνει την πρόσβαση στις πληροφορίες στις έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED's) που εγκαθίστανται σε υποσταθμούς και σε δίκτυα διανομής [20]. Οι προηγμένες επικοινωνιακές δυνατότητες που κατέχουν πολλές από αυτές τις συσκευές περιλαμβάνουν πιο έξυπνο έλεγχο διακοπών και έλεγχο ρυθμιστών τάσης. Η ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων στο σύστημα διαχείρισης της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπει τον αποκεντρωμένο έλεγχο του υποσταθμού και των γραμμών. Ενσωματώνοντας τα SCADA/DMS σε άλλα συστήματα του δικτύου κοινής ωφέλειας, παρέχεται ένα πραγματικά ολοκληρωμένο κέντρο λειτουργιών για τη διαχείριση του έξυπνου δικτύου.

Ένα έξυπνο και πλήρως ολοκληρωμένο κέντρο λειτουργιών διανομής θα περιλαμβάνει εφαρμογές για τη διαχείριση των δικτύων διανομής, όσον αφορά την αποδοτικότητα, τον έλεγχο της τάσης, τη φόρτιση εξοπλισμού, τη διαχείριση εργασιών και διακοπών λειτουργίας και την αξιοπιστία. Αυτές οι εφαρμογές DMS χρησιμοποιούν ένα μοντέλο βασισμένο στη βάση δεδομένων διανομής και στην τοπολογία του ηλεκτρικού δικτύου. Το μοντέλο του δικτύου χρησιμοποιεί δεδομένα από ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και ενημερώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα για να παραμείνει ακριβές. Μία κεντρική πτυχή ενός έξυπνου και ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου διανομής είναι η ενσωμάτωση των

διάφορων πληροφοριακών συστημάτων, που βρίσκονται μέσα σε αυτό. Πολλές εταιρίες διανομής επεκτείνουν την εμβέλεια του SCADA πέρα από τους υποσταθμούς διανομής και στις γραμμές μεταφοράς, επιτρέποντας επίγνωση της κατάστασης του δικτύου και βελτιωμένο έλεγχο του συστήματος διανομής.

Η συνολική λειτουργία του δικτύου διανομής γίνεται σίγουρα πιο περίπλοκη, καθώς η ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής και της αποθήκευσης ενέργειας θα επηρεάσει τη ροή ισχύος στο σύστημα. Η απόκριση ζήτησης, είτε ελέγχεται από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας είτε από τον καταναλωτή, θα έχει επίσης αντίκτυπο στη ροή ισχύος και στο προφίλ τάσης. Επιπλέον, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση για την ανάπτυξη πρόσθετης ευφυΐας στις συσκευές του δικτύου διανομής, όπως έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED's), υπολογιστές υποσταθμών και πύλες, αισθητήρες και εξελιγμένοι μετρητές. Ορισμένες από αυτές, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας της λειτουργίας του δικτύου διανομής με την παρουσία όλο και περισσότερης αποκεντρωμένης ευφυΐας και ελέγχου, ενώ το κέντρο διαχείρισης θα είναι ένας συγκεντρωτικός σταθμός εποπτείας και συντονισμού ολόκληρου του συστήματος. Τα έξυπνα δίκτυα διανομής του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα απαιτήσουν καινοτόμα κέντρα διαχείρισης. Οι διαχειριστές του έξυπνου δικτύου θα έχουν μία συνολική εικόνα του δικτύου διανομής, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης του συστήματος και θα είναι υπεύθυνοι για την παρακολούθηση της διεσπαρμένης παραγωγής, της ενέργειας που αποθηκεύεται και της απόκρισης ζήτησης, όπως επίσης και της απόκρισης στις διακοπές και βέλτιστη φόρτιση εξοπλισμού. Αυτά τα κέντρα διαχείρισης της διανομής θα βοηθήσουν τις εταιρίες διανομής να καλύψουν τις ανάγκες των καταναλωτών, των παραγωγών, των παρόχων και της κοινωνίας [20].



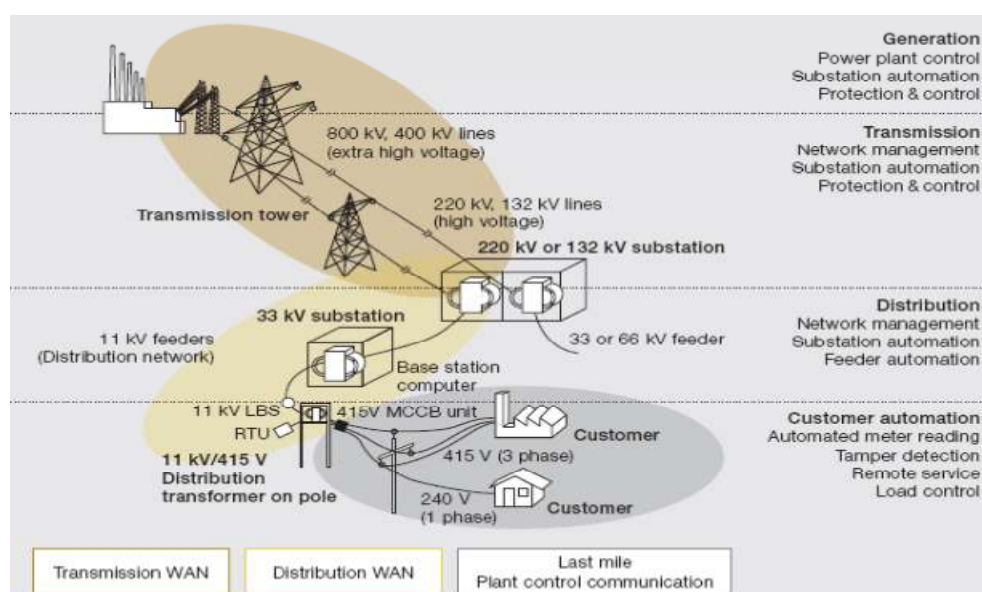
**ΕΙΚΟΝΑ 7.7.: ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΕΙ ΕΚΤΟΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΙΤ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ.**

## 7.7. Επικοινωνία στο Έξυπνο Δίκτυο

Η εξέλιξη των έξυπνων δικτύων, τα οποία διαθέτουν περισσότερες και πιο περίπλοκες απαιτήσεις ελέγχου, οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης και ανάπτυξη της τεχνολογίας επικοινωνιών. Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών προηγούνται, κατά πολλές δεκαετίες, της έλευσης των έξυπνων δικτύων. Σήμερα, τα δίκτυα διανομής μετατρέπονται όλο και περισσότερο σε έξυπνα δίκτυα, τα οποία ενσωματώνουν τη διεσπαρμένη παραγωγή, τη συμμετοχή του χρήστη στην απελευθερωμένη αγορά, και την αυξημένη χρήση αυτοματισμών (αυτοματισμός στις λειτουργίες της διανομής, ενεργό διαχείριση της ζήτησης, και αυτόματη ανάγνωση μετρητών). Οι αυτοματισμοί αυτοί απαιτούν ένα δίκτυο επικοινωνιών για να συνδέσουν τις συσκευές ελέγχου και ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο διανομής, το οποίο θα χαρακτηρίζεται από διαλειτουργικότητα και αξιοπιστία.

Η ευφυής λειτουργία των δικτύων διανομής ξεκίνησε περισσότερο από 60 χρόνια πριν, όταν εταιρίες σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες ξεκίνησαν να εφαρμόζουν αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου μέσω τηλεχειρισμού (ripple control), τα οποία επιτρέπουν τη διαχείριση των φορτίων αιχμής μέσω της επιλεκτικής σύνδεσης ή αποσύνδεσης ομάδων ηλεκτρικών φορτίων. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί την ίδια τη γραμμή διανομής, ως ένα μέσο αξιόπιστης επικοινωνίας. Το δίκτυο στέλνει ηλεκτρικά σήματα σε ακουστική συχνότητα, τα οποία περνούν μέσω των μετασχηματιστών Μέσης και Χαμηλής Τάσης, και ανιχνεύονται από αποδέκτες συνδεδεμένους σε γραμμές Χαμηλής Τάσης στην πλευρά των καταναλωτών. Αυτές οι εντολές μπορούν να διακόψουν ή να επαναφέρουν εξ αποστάσεως τη λειτουργία μεγάλων φορτίων ή μεγάλων ομάδων φορτίων, όπως είναι πλυντήρια, λέβητες, ηλεκτρική θέρμανση, ο φωτισμός των δρόμων. Έτσι η ύπαρξη ενός αξιόπιστου καναλιού επικοινωνίας, μεταξύ του κέντρου ελέγχου και του εξοπλισμού του τελικού χρήστη, επιτρέπει στο δίκτυο τον καλύτερο έλεγχο της αιχμής φορτίου.

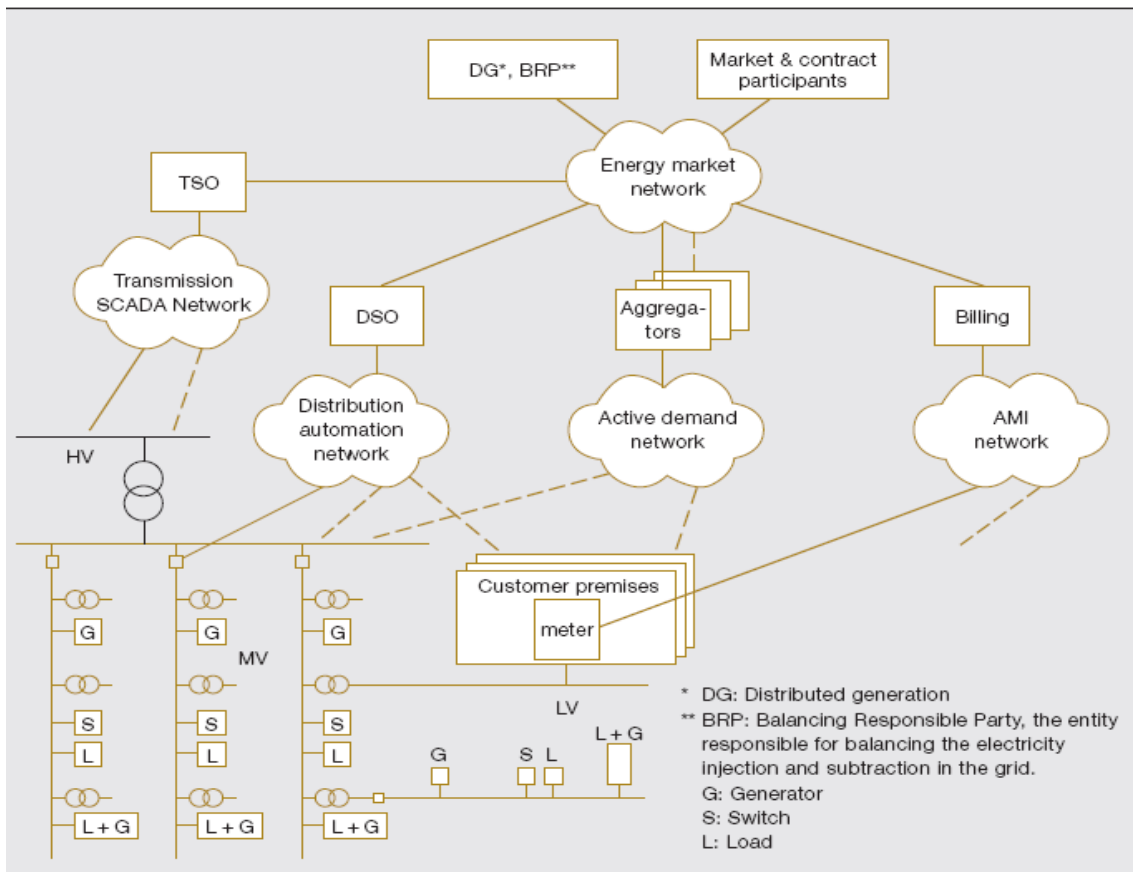
Για τις εφαρμογές SCADA (εποπτικού ελέγχου και ανάκτησης δεδομένων), στο δίκτυο μεταφοράς Υψηλής Τάσης, οι συνδέσεις επικοινωνίας βασίζονται σε ευρυζωνικές συνδέσεις με οπτικές ίνες και ψηφιακές ραδιοκυματικές ζεύξεις, χρησιμοποιώντας τις ίδιες τις γραμμές Υψηλής Τάσης.



ΕΙΚΟΝΑ 7.8.: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Από την πλευρά των επικοινωνιών, οι λειτουργίες των έξυπνων δικτύων μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες [20], σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους. Ένα περιφερειακό δίκτυο επικοινωνιών μπορεί να υποστηρίξει όλες τις λειτουργίες των έξυπνων δικτύων, που αφορούν τον αυτοματισμό της διανομής, τον έλεγχο ενεργού ζήτησης, και την αυτόματη ανάγνωση μετρητών.

#### Communication requirements in a smart grid



**ΕΙΚΟΝΑ 7.9.: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ.**

Ο αυτοματισμός της διανομής (DA) [20] αφορά τον λειτουργικό έλεγχο του δικτύου, δηλαδή την παρακολούθηση ρευμάτων και τάσεων στο δίκτυο διανομής και την έκδοση εντολών σε απομακρυσμένες μονάδες όπως είναι οι διακόπτες και οι μετασχηματιστές. Όταν ένα σφάλμα συμβαίνει σε τμήμα της μέσης τάσης, οι διακόπτες θα πρέπει να το απομονώνουν. Η ροή ισχύος θα πρέπει τότε γρήγορα να επαναρυθμιστεί, χρησιμοποιώντας διακόπτες μέσης τάσης για να επαναφέρουν την ροή ισχύος στη μεγαλύτερη δυνατή περιοχή. Η αναδιαμόρφωση που εκτελείται από το ρυθμιστή του συστήματος διανομής μέσης τάσης (DSO) ή τον υπολογιστή του υποσταθμού είναι η βασική λειτουργία του αυτοματισμού του συστήματος διανομής. Συνήθως αρκετές δεκάδες ή εκατοντάδες απομακρυσμένες μονάδες πρέπει να είναι προσπελάσιμες. Οι χρόνοι απόκρισης των επικοινωνιών για τέτοιες εφαρμογές είναι από εκατοντάδες msec σε αρκετά sec.

Η λειτουργία ενεργού ελέγχου της ζήτησης (AD) [20] περιλαμβάνει ενεργό έλεγχο και προγραμματισμό της ζήτησης ενέργειας, της αποθήκευσης και της διεσπαρμένης παραγωγής. Ο στόχος είναι να αυξηθεί η αποδοτικότητα του δικτύου και να αποφευχθεί η υπερφόρτωση, μέσω ενός συνδυασμού βέλτιστης πρόβλεψης-

προγραμματισμού και απόρριψης φορτίων. Αυτή η λειτουργία είναι λιγότερο κρίσιμη χρονικά καθώς ο αυτοματισμός διανομής και οι απαιτήσεις καθυστερήσεων-χρόνων απόκρισης είναι αρκετά λεπτά.

Η ανάγνωση προηγμένων μετρητών (AMR) [20] καταγράφει τις πραγματικές ροές ισχύος και υπολογίζει τις κατάλληλες πληροφορίες τιμολόγησης λαμβάνοντας υπόψη χρονικά εξαρτώμενες τιμές και συμβάσεις. Η αντίστοιχη AMR υποδομή (AMI) συνδέει από χιλιάδες μέχρι εκατομμύρια μετρητές στο κέντρο τιμολογήσεων, ορισμένοι από τους οποίους βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές.

Η παραπάνω ανάλυση δείχνει πως οι τεχνικές απαιτήσεις στον τομέα των επικοινωνιών για τα έξυπνα δίκτυα είναι λογικές, ιδιαίτερα αυτές που αφορούν την αξιολόγηση των δεδομένων και τις καθυστερήσεις (με εξαίρεση τις συναρτήσεις προστασίας). Εκεί που πιθανές καθυστερήσεις στην επικοινωνία είναι αποδεκτές, η υψηλή αξιοπιστία επικοινωνιών μπορεί να διασφαλιστεί μέσα από την ανίχνευση σφαλμάτων και την αυτόματη αναμετάδοση. Τα κύρια κριτήρια επιλογής είναι έτσι το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού και το κόστος του κύκλου ζωής της λειτουργίας.

Ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών επικοινωνιών είναι σήμερα διαθέσιμο για την υποστήριξη εφαρμογών των έξυπνων δικτύων. Η διαλειτουργικότητα διαφορετικών τεχνολογιών θα είναι συνεπώς μια βασική προϋπόθεση. Συσκευές σε διαφορετικά δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικά μέσα επικοινωνίας πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνούν η μία με την άλλη. Η διαλειτουργικότητα επίσης αναφέρεται και σε εξοπλισμό από διαφορετικούς κατασκευαστές και παρόχους, οπότε τα τεχνικά πρότυπα παίζουν καθοριστικό ρόλο. Προκειμένου να επιλεγεί ένα σύστημα επικοινωνιών για εφαρμογές έξυπνων δικτύων, πολλά ζητήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη, π.χ. διαθεσιμότητα μέσων επικοινωνίας (υφιστάμενες συνδέσεις χαλκού ή οπτικών ινών), διαθεσιμότητα αγωγών καλωδίων, ή τοποθεσιών για πυλώνες ραδιομεταφοράς, απόδοση (εύρος ζώνης και καθυστερήσεις μεταφοράς) για δεδομένων αριθμό κόμβων επικοινωνίας, απαιτήσεις ασφαλείας (πιστοποίηση, εμπιστευτικότητα), διαλειτουργικότητα και εφαρμογή των προτύπων, αρχική επένδυση, επαναλαμβανόμενες δαπάνες (κόστος λειτουργίας, π.χ. μηνιαία τέλη μετάδοσης δεδομένων), καθώς και η ανάγκη για τεχνολογία μελλοντικά βιώσιμη όσον αφορά τις επερχόμενες αλλαγές. Οι τεχνολογίες που θα αναπτυχθούν για τις εφαρμογές έξυπνων δικτύων πρέπει να επιλέγονται με βάση αυτά τα κριτήρια και τις απαιτήσεις τις κάθε εταιρείας παροχής. Τα βασικά τεχνολογικά κριτήρια είναι η διαλειτουργικότητα, η απόδοση και η ασφάλεια (κυρίως λόγω ρυθμιστικών και λειτουργικών απαιτήσεων που αφορούν την ηλεκτρονική ασφάλεια). Η διαλειτουργικότητα και η τυποποίηση είναι σημαντικά χαρακτηριστικά της μελλοντικής τεχνολογίας. Μπορούν να ελαττώσουν το μηχανικό χρόνο της εγκατάστασης, με εφαρμογές τύπου “plug and play” να γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες. Μόνο συστήματα που πληρούν αυτά τα κριτήρια, θα είναι ικανά να υποστηρίξουν τις εφαρμογές DA, AD, AMR/AMI ενός έξυπνου δικτύου.

### Ενσύρματα δίκτυα επικοινωνιών [20]

Σε ένα δίκτυο διανομής μπορούν να κατασκευαστούν αγωγοί στους κόμβους διανομής ισχύος, για να μεταφέρουν καλώδια επικοινωνιών παράλληλα με τα καλώδια τροφοδοσίας. Αυτά τα καλώδια μπορεί να είναι σύρματα χαλκού, τα οποία μεταφέρουν σήματα μόντεμ τηλεφώνου χαμηλής ισχύος ή σήματα γραμμών DSL ευρυζωνικής ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής. Τα νεότερα συστήματα θα

βασίζονται σε οπτικές ίνες και θα μεταφέρουν π.χ. τα σήματα Ethernet για τη δημιουργία μεγάλων ευρυζωνικών μητροπολιτικών δικτύων (MANs), με ταχύτητα πολλά Mb/s.

#### Δορυφορικές επικοινωνίες [20]

Είναι διαθέσιμα συστήματα τόσο χαμηλών όσο και υψηλών ταχυτήτων, με το τελευταίο συνήθως να απαιτεί πιο ακριβές παραβολικές κεραιές. Τα δορυφορικά επικοινωνιακά συστήματα λειτουργούν επίσης και από τρίτα μέρη. Αναφορικά με την κατανομή του εύρους ζώνης οι δορυφορικοί πάροχοι προσφέρουν τόσο ειδικές όσο και κοινές υπηρεσίες. Για εφαρμογές DA και AD συνήθως χρησιμοποιούνται οι ειδικές εφαρμογές, ενώ για AMR εφαρμογές οι κοινές υπηρεσίες είναι επαρκείς.

#### Επικοινωνία γραμμών ισχύος (PLC) και γραμμών διανομής(DLC) [20]

Ένα προφανές μέσο επικοινωνίας για τα ηλεκτρικά δίκτυα είναι το ίδιο το δίκτυο διανομής. Στο δίκτυο Υψηλής Τάσης, η τεχνολογία HVPLC είναι καλά εδραιωμένη. Στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω BPL στους καταναλωτές, ως μια τεχνολογία πρόσβασης στο διαδίκτυο. Συνολικά, ταχύτητες μέχρι και λίγες δεκάδες Mb/s είναι δυνατές για καλές συνθήκες του δικτύου, αλλά η επικοινωνία εξ αποστάσεως και η διαθεσιμότητα μπορεί να είναι ανεπαρκείς για τις εφαρμογές έξυπνων δικτύων (εφόσον η αξιοπιστία και το εύρος είναι πολύ πιο σημαντικά από την ταχύτητα δεδομένων).

#### Αντιστοίχιση τεχνολογιών στις απαιτήσεις [20]

Ανάλογα με τις λειτουργίες του έξυπνου δικτύου, διαφορετικές τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν. Όπως περιγράφεται παραπάνω, οι απαιτήσεις εύρους ζώνης είναι γενικά μέτριες, αλλά η διαθεσιμότητα πρέπει να είναι υψηλή. Γι αυτό οι επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρισμού τείνουν να προτιμούν τις δικές τους λειτουργικές υποδομές από άλλες υπηρεσίες τρίτων παρόχων. Από την άλλη πλευρά η στήριξη σε δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας επιτρέπει απλή και οικονομικώς αποδοτική εφαρμογή των επικοινωνιών. Η ανάπτυξη νέων επικοινωνιακών δικτύων για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι πιο εύκολη, είτε χρησιμοποιώντας ασύρματο, είτε το ίδιο το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Η τεχνολογία DLC έχει ήδη υιοθετηθεί από τα συστήματα τηλεχειρισμού, τα εκτεταμένα ψηφιακά συστήματα, κυρίως για αυτόματη ανάγνωση μετρητών. Πιο αξιόπιστα και ευέλικτα συστήματα DLC, που παρέχουν τη δυνατότητα σταδιακής προσθήκης περαιτέρω συσκευών, απαιτούνται για τη λειτουργία των έξυπνων δικτύων. Η πρόκληση βρίσκεται στην κάλυψη των απαιτήσεων για υψηλότερη αξιοπιστία επικοινωνιών, για την εύκολη εγκατάσταση καθώς και τις απαιτήσεις που αφορούν το εύρος.

## **7.8. Συστήματα διαχείρισης διανομής-Έξυπνοι μετρητές**

### **7.8.1. Έξυπνοι μετρητές**

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι οι έξυπνοι μετρητές θα συνδράμουν κατά πολύ στη δημιουργία και την εξέλιξη των έξυπνων δικτύων. Ουσιαστικά ένας έξυπνος μετρητής είναι μία συσκευή η οποία μετράει την ενέργεια που χρησιμοποιείται και στέλνει τις πληροφορίες στο σύστημα και από εκεί καταλήγουν στον πελάτη, ενημερώνοντας τον για την εκάστοτε κατανάλωση του και το αντίστοιχο κόστος αυτής. Οι έξυπνοι μετρητές έχουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, δυνατότητα δηλαδή εκτός από την αποστολή δεδομένων, και την λήψη εντολών. Αποτελούν έναν οικονομικό τρόπο για μέτρηση και παρακολούθηση της κατανάλωσης, που επιτρέπει την καλύτερη ρύθμιση της παραγωγής βασιζόμενη σε ημερήσια δεδομένα πραγματικού χρόνου (εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων-μικρότερες επενδύσεις σε δίκτυα διανομής). Στόχος είναι με τους έξυπνους μετρητές οι χρεώσεις στους καταναλωτές να γίνονται βάσει του ακριβούς ποσού ενέργειας που έχει καταναλωθεί.

Οι έξυπνοι μετρητές θα έχουν την δυνατότητα να μετρούν άμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος και να μεταδίδουν τις μετρήσεις στις βάσεις δεδομένων στο κέντρο διαχείρισης. 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 πάνω στον έξυπνο μετρητή και να προσφέρουν μειωμένες χρεώσεις κιλοβατώρας ή να κάνουν προσφορές, ώστε να καταρτίσουν 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 την γενικότερη πολιτική εξοικονόμησης.

### **Automatic Meter Reading (AMR)-Αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης [20]**

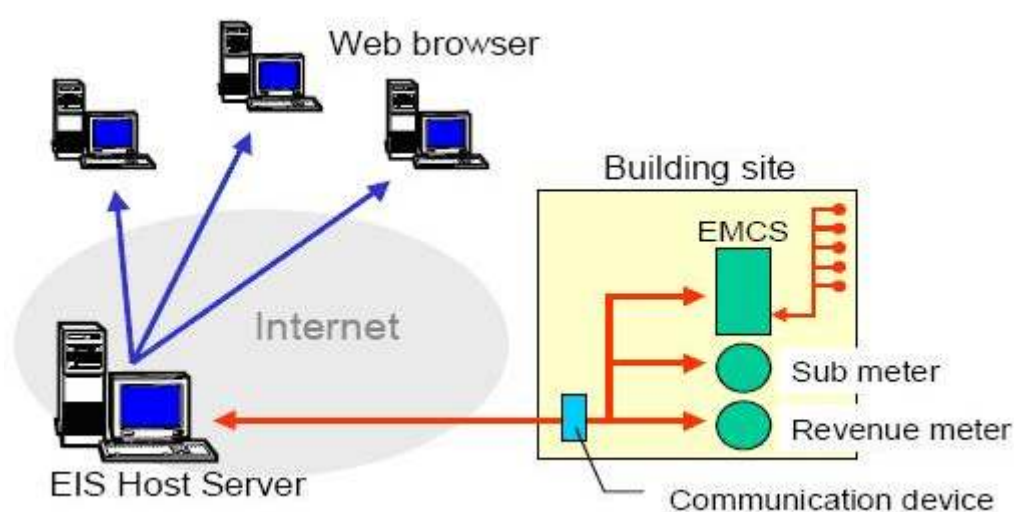
Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των καταναλωτών έχει οδηγήσει τις εταιρίες στην αναζήτηση ενός αποδοτικού τρόπου υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνεται από τους συνδρομητές. Το AMR (Automatic Meter Reading) αναφέρεται στην αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης της ενέργειας που καταναλώνεται, και όχι μόνο της ηλεκτρικής, γιατί μπορεί να ενσωματώσει και άλλους μετρητές όπως φυσικού αερίου και νερού.

Εκτός από την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας, το AMR σύστημα παρέχει ένα σύνολο ολοκληρωμένων υπηρεσιών. Κατ' αρχήν 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 μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων,



τόσο με εντοπισμό «άχρηστων» φορτίων όσο και από αποφυγή ποινών λόγω υψηλών αιχμών στην κατανάλωση. Επιπλέον μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην ορθή πρόβλεψη φορτίου από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και την αποδοτικότερη ένταξη μονάδων παραγωγής. Το αυτοματοποιημένο αυτό σύστημα 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.



ΕΙΚΟΝΑ 7.10.: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ AMR-ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

### 7.8.2. Συστήματα Διαχείρισης Διανομής

Έξυπνα συστήματα διαχείρισης διανομής (DMS) [20] βοηθούν στην παροχή πιο αξιόπιστων και πιο αποτελεσματικών υπηρεσιών. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πάντα αναζητούν τρόπους για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών, ενώ ταυτόχρονα θέλουν να βελτιστοποιήσουν τη συνολική απόδοση και να μειώσουν το λειτουργικό κόστος. Στο επίπεδο του κέντρου ελέγχου διανομής, οι εφαρμογές της διαχείρισης δίνουν τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να επιτύχουν τον παραπάνω στόχο, παρέχοντας τους με ταχύτητα, ακριβείς και λεπτομερείς πληροφορίες για ένα δίκτυο διανομής. Ιστορικά, η κύρια πηγή πληροφοριών ήταν από το σύστημα SCADA. Με την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων, οι πηγές αυτές προσαυξήθηκαν κατά ένα πλήθος αισθητήρων με δυνατότητες επικοινωνίας, που έχουν αναπτυχθεί για την αυτοματοποίηση των υποσταθμών και της διανομής, καθώς και με προηγμένες υποδομές μέτρησης. Μέσω των προηγμένων αυτών εφαρμογών, το δίκτυο διανομής παρέχει πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες υπηρεσίες στους καταναλωτές και ταυτόχρονα, συμβάλει στην ελάττωση του οικολογικού



αποτυπώματος του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η διαθεσιμότητα πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τις δυνατότητες των υπάρχουσών εφαρμογών αλλά επιτρέπει και προηγμένες εφαρμογές στα έξυπνα δίκτυα.

Ένας έξυπνος μετρητής δεν είναι απλά ένα όργανο μέτρησης αλλά και ένα σημείο αλληλεπίδρασης (POI) ή με άλλα λόγια, ένας ευφυής κόμβος στο έξυπνο δίκτυο. Με την ταχεία ανάπτυξη των υποδομών μέτρησης στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, οι εφαρμογές του συστήματος διαχείρισης της διανομής πρέπει να ανανεωθούν, έτσι ώστε μπορούν να λαμβάνουν πιο γρήγορα και πιο έξυπνα αποφάσεις για την επίτευξη των στόχων ελέγχου του δικτύου, με λιγότερο κόστος και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Εφαρμογές των έξυπνων δικτύων, όπως τα συστήματα διαχείρισης διακοπών (OMS), η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου διανομής (D-SE), και η απόκριση ζήτησης (DR) θα ωφεληθούν από την ενσωμάτωση υποδομών μέτρησης και οι επιχειρήσεις θα έχουν πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη για τους πελάτες λειτουργία. Η ενσωμάτωση των δεδομένων των έξυπνων μετρητών θα δώσουν τη δυνατότητα νέων εφαρμογών στο επίπεδο του κέντρου ελέγχου.

### **7.8.3. Εντοπισμός βλαβών με τη βοήθεια των έξυπνων μετρητών**

Μια διακοπή λειτουργίας είναι μια συνεχής διακοπή ισχύος και εμφανίζεται όταν μια ασφάλεια, ένας διακόπτης επαναφοράς ή ένας διακόπτης του κυκλώματος υποστεί βλάβη και ως αποτέλεσμα, οι πελάτες που βρίσκονται κατάντη της προστατευτικής διάταξης χάνουν ισχύ. Κατά τη διάρκεια της εν λόγω διακοπής και χωρίς την άμεση επικοινωνία μεταξύ του μετρητή, του πελάτη και του συστήματος διαχείρισης διανομής, η πιο λογική και ίσως η μόνη προσέγγιση για τον πελάτη είναι να καλέσει την τοπική εταιρεία κοινής ωφέλειας και να εκθέσει τη διακοπή και στη συνέχεια, να περιμένει έως ότου αποκατασταθεί η παροχή ενέργειας. Με τα συστήματα μέτρησης AMI [20], η δράση αυτή θα είναι εντελώς περιττή, επειδή το συμβάν διακοπής θα αναφέρεται αυτόματα στον διαχειριστή διανομής μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Ένα πρόγραμμα ανάλυσης διακοπής λειτουργίας τότε θα επεξεργάζεται διαρκώς τα εισερχόμενα μηνύματα σε περίπτωση διακοπής, ώστε να προσδιοριστεί ακριβώς η τοποθεσία της βλάβης, πριν από την ενημέρωση από τους πελάτες. Έτσι μειώνεται κυριολεκτικά ο χρόνος που απαιτείται για την ανάλυση των σφαλμάτων από ώρες σε λεπτά, και το κυριότερο, μειώνεται η διάρκεια διακοπής για τους πελάτες. Όταν μια διακοπή λειτουργίας εμφανίζεται σε ένα δίκτυο διανομής, το σύστημα διαχείρισης διακοπών, το οποίο τυπικά έχει δύο συνιστώσες -τη γνωστοποίηση της διακοπής και της αποκατάστασής της- πρέπει να προσδιορίσει γρήγορα και με ακρίβεια τη θέση της διακοπής έτσι ώστε να αποκατασταθεί η βλάβη και οι καταναλωτές να ενημερωθούν σχετικά με τον αναμενόμενο χρόνο επισκευής.

Ένας μηχανισμός εντοπισμού βλάβης (outage inference engine) αυτόματα συλλέγει και αναλύει τις κλήσεις, για να καθορίσει τη συσκευή που υπέστη βλάβη. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας εξαρτάται από τη διάθεση και την ταχύτητα αναφοράς της βλάβης από τους καταναλωτές. Για οποιονδήποτε λόγο, πολλοί καταναλωτές δεν αναφέρουν ή καθυστερούν να αναφέρουν τη βλάβη, και αυτό με τη σειρά του περιορίζει τις πληροφορίες που διαθέτει ο μηχανισμός και μειώνει την ποιότητα και την αξιοπιστία σχετικά με τα αποτελέσματά του. Προς αντιστάθμιση αυτού, εισάγονται ρυθμιζόμενες παράμετροι που καθορίζουν τον αριθμό των κλήσεων που απαιτούνται για να συμπεράνουμε την αιτία της εκδήλωσης μιας διακοπής και την ταχύτητα με την οποία το σύστημα μετατοπίζει τη διακοπή

μέχρι το επόμενο συνδεδεμένο προστατευτικό σύστημα, δηλαδή, το σύστημα αυτόματα ομαδοποιεί αρκετές κλήσεις σε μια διακοπή λειτουργίας σε ένα υψηλότερο επίπεδο του ηλεκτρικού δικτύου. Μια τέτοια παράμετρος ονομάζεται χρόνος παγώματος της διακοπής και ορίζεται ως ο χρόνος διακοπής λειτουργίας που πρέπει να παραμείνει μια διάταξη πριν την επανένταξή της στο σύστημα. Ενώ ένα μικρό χρονικό διάστημα παγώματος είναι φυσικά επιθυμητό προκειμένου να εντοπιστούν πολλαπλές βλάβες, οι διακυμάνσεις στη συμπεριφορά των κλήσεων σημαίνουν ότι αυτή η παράμετρος (δλδ. ένα χρονικό διάστημα «παγώματος») πρέπει να είναι από 6 έως 10 λεπτά για να καταστεί δυνατή η συσσώρευση κατάλληλου αριθμού κλήσεων. Με τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος κλήσης ο χρόνος αυτός μπορεί να μειωθεί σημαντικά επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη αποκατάσταση πολλαπλών διακοπών σε ένα κύκλωμα.

Επιπλέον, αξιοποιώντας και ενσωματώνοντας διαθέσιμα στοιχεία από τους έξυπνους μετρητές, μπορούν να βελτιωθούν οι ακόλουθες λειτουργίες [20]:

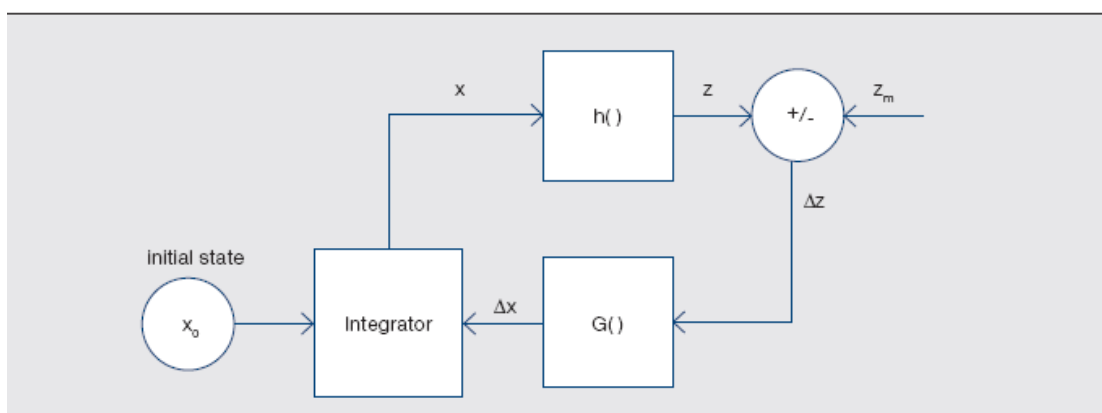
- Επαλήθευση των βλαβών
- Αναγνώριση πολλαπλών διακοπών στο ίδιο κύκλωμα
- Προσδιορισμός των αγωγών που υπέστησαν βλάβη
- Επιβεβαίωση της αποκατάστασης.

#### **7.8.4. Εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου διανομής με τη χρήση έξυπνων μετρητών**

Μια άλλη λειτουργία που ωφελείται από την ενσωμάτωση των έξυπνων μετρητών και των δεδομένων από τους αισθητήρες σε συστήματα διαχείρισης διανομής, είναι η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου διανομής (D-SE) [20]. Μια κατάσταση ορίζεται ως ένα σύνολο πληροφοριών που χαρακτηρίζει με μοναδικό τρόπο της συνθήκες λειτουργίας ενός συστήματος και όλες τις κύριες λειτουργίες του (π.χ. προστασία, έλεγχος, βελτιστοποίηση), που απαιτούν γνώση της κατάστασης του συστήματος. Η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου διανομής χρησιμοποιεί στατιστική ανάλυση και τεχνικές βελτιστοποίησης για την παραγωγή της καλύτερης εκτίμησης της κατάστασης του συστήματος από όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις (παρατηρήσεις). Από αυτή την εκτίμηση προέρχεται το μοντέλο πραγματικού χρόνου που αντιπροσωπεύει καλύτερα την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, το οποίο στη συνέχεια επιτρέπει στους μηχανικούς να ελέγξουν αν υπάρχουν κυκλώματα στο δίκτυο τα οποία είναι υπερφορτωμένα. Πολλαπλές επιλογές από ένα σύνολο πληροφοριών είναι δυνατές. Για παράδειγμα, αν μας ενδιαφέρει μόνο η στατική συμπεριφορά ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ένα σύνολο που απαρτίζεται από τις μιγαδικές τάσεις σε κάθε κόμβο του συστήματος καθορίζει με μοναδικό τρόπο την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος υπό εξέταση. Γνωρίζοντας τις μιγαδικές τάσεις σε κάθε κόμβο καθώς και το ισοδύναμο μοντέλο για τους μετασχηματιστές και τις γραμμές διανομής, μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα και τη ροή ισχύος μεταξύ δύο γειτονικών κόμβων. Ωστόσο, για πολλά μηχανικά συστήματα η άμεση εκτίμηση της κατάστασης δεν είναι δυνατή, διότι μόνο έμμεσες μετρήσεις είναι διαθέσιμες. Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της κατάστασης για να συναχθεί, όσο το δυνατόν ακριβέστερα η κατάσταση του συστήματος. Θεωρητικά, η εκτίμηση της κατάστασης ενός συστήματος που αποτελείται από  $N$  μεταβλητές χρειάζεται  $N$  ανεξάρτητες μετρήσεις. Ωστόσο ένας ορισμένος βαθμός κανονικοποίησης (degree of redundancy) απαιτείται για την

αντιμετώπιση των αναπόφευκτων τυχαίων σφαλμάτων στις μετρήσεις. Ο βαθμός αυτός είναι ο λόγος του αριθμού των ανεξάρτητων μετρήσεων προς τον αριθμό των μεταβλητών κατάστασης. Όσο μεγαλύτερος είναι, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της εκτίμησης, για παράδειγμα όταν πλησιάζει την τιμή 1 υποδεικνύει ότι υπάρχουν αρκετές μετρήσεις για να γίνει εκτίμηση. Τυπικά, η εκτίμηση της κατάστασης παίρνει τη μορφή ενός προβλήματος βελτιστοποίησης, στο οποίο οι μεταβλητές απόφασης είναι οι μεταβλητές κατάστασης και η αντικειμενική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση είναι ένα μέτρο της απόκλισης της συνάρτησης μέτρησης από την πραγματική μέτρηση. Αυτή η διαδικασία φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου το  $x$  αντιπροσωπεύει την εκτίμηση της κατάστασης, το  $h()$  την συνάρτηση μέτρησης. Η διαφορά  $\Delta z$  ανάμεσα στη συνάρτηση μέτρησης στην εκτίμηση κατάστασης  $z$  και της πραγματικής μέτρησης  $z_m$ , χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της διόρθωσης  $\Delta x$ , με τη χρήση της συνάρτησης κέρδους  $G()$ .

State estimation block diagram



ΕΙΚΟΝΑ 7.11.: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η εκτίμηση της κατάστασης δεν χρησιμοποιείται για τα δίκτυα διανομής για δύο λόγους [20]:

1. Πολύ λίγες μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο ήταν διαθέσιμες. Για ένα δίκτυο διανομής με χιλιάδες κόμβους, μόνο ένα ζευγάρι μετρήσεων ήταν διαθέσιμα, συνήθως κοντά στη γραμμή τροφοδοσίας.
2. Η μοντελοποίηση ασύμμετρων πολυφασικών δικτύων διανομής αποτελεί μεγάλη πρόκληση για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και ισχυρών αλγορίθμων, που μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους μετρήσεων.

Η ενσωμάτωση των δεδομένων των μετρήσεων βοηθά ώστε να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα, κυρίως επειδή είναι σε θέση να προσφέρουν ένα τεράστιο όγκο μετρήσεων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (συμπεριλαμβανομένων ισχύος, τάσεως και έντασης ηλεκτρικού ρεύματος), σε κάθε σημείο σύνδεσης. Η διαθεσιμότητα αυτών των πληροφοριών βελτιώνει δραματικά την ποιότητα της εκτίμησης. Με ένα πιο ακριβές μοντέλο, οι λειτουργίες της βελτιστοποίησης της τάσης και της αέργου ισχύος, οι υπηρεσίες αποκατάστασης, η εξισορρόπηση του φορτίου και η βελτιστοποίηση ρύθμισης παραμέτρων του συστήματος μπορούν να γίνουν πιο αξιόπιστες.

### **7.8.5. Συστήματα μέτρησης και απόκριση ζήτησης**

Η απόκριση στη ζήτηση (DR) [20] αναφέρεται στις βραχυπρόθεσμες αλλαγές στην ηλεκτρική κατανάλωση από τους τελικούς καταναλωτές, ανάλογα με τις μεταβολές της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, ή σε κίνητρα για την χαμηλότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής τιμής της ή όταν η αξιοπιστία του συστήματος είναι σε κίνδυνο. Από άποψη χρησιμότητας, η εξομάλυνση των αιχμών είναι ο κύριος στόχος, αν και η διαχείριση παρεπόμενων υπηρεσιών και η βελτίωση της αξιοπιστίας του όλου συστήματος αποτελούν περιφερειακούς στόχους. Εκτός από τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της μείωσης της ηλεκτρικής κατανάλωσης, η εφαρμογή της απόκρισης της ζήτησης:

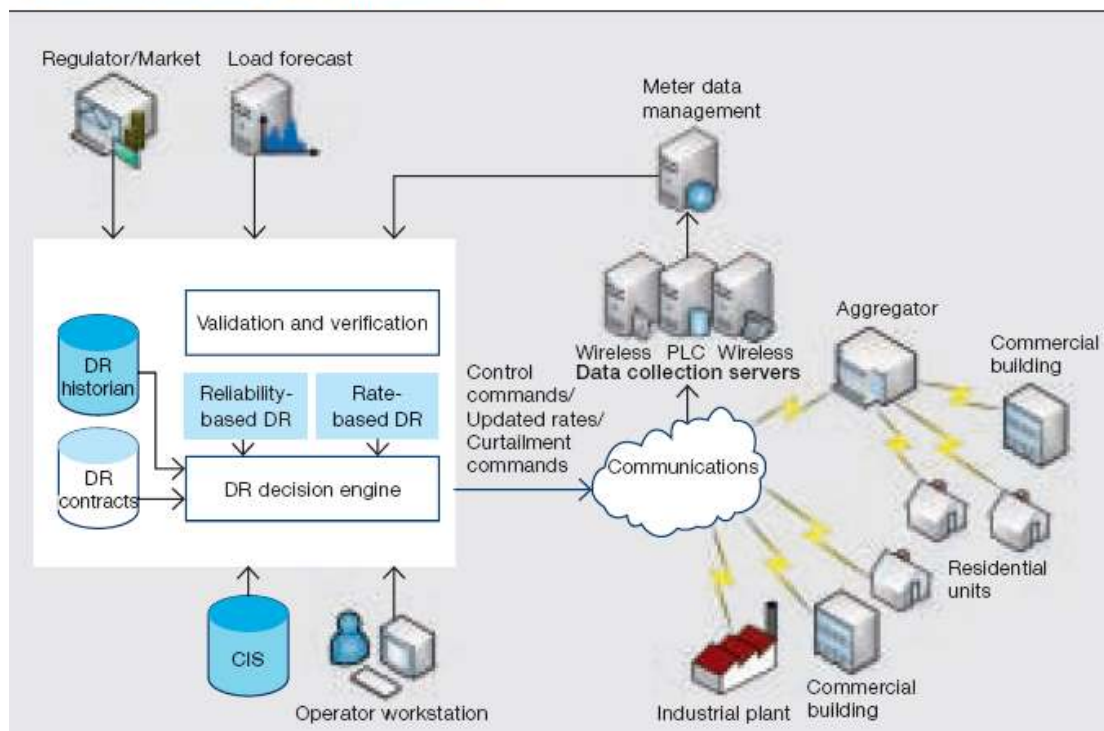
- Βοηθά τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να εξοικονομήσουν χρήματα με την αναβολή των επενδύσεων στην επέκταση του δικτύου διανομής
- Παρέχει οικονομικά οφέλη στους πελάτες
- Κάνει το σύνολο της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας λιγότερο ασταθές σε τιμές της ωριαίας αγοράς

Η απόκριση ζήτησης στηρίζεται στις προβλέψεις για τη ζήτηση, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του περιθωρίου δυναμικότητας (capacity margin). Μια μείωση στο περιθώριο αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει πρόβλημα. Διάφορα προγράμματα απόκρισης ζήτησης που προσφέρονται από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες. Τα προγράμματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες [20]:

- Με βάση την τιμή, στην οποία οι τελικοί καταναλωτές μπορούν να μειώσουν τις απαιτήσεις τους σύμφωνα με τα μηνύματα των τιμών που λαμβάνουν εκ των προτέρων. Οι τιμές μπορούν να ενημερώνονται σε μηνιαία βάση, καθημερινά ή σε πραγματικό χρόνο. Τέτοια παραδείγματα είναι, η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (RTP), η τιμολόγηση αιχμής ζήτησης (CPP) και η τιμολόγηση με βάση το χρόνο χρήσης (TOU).
- Με βάση την αξιοπιστία, όταν οι πελάτες συμφωνούν για τον περιορισμό της ζήτησης όταν ειδοποιηθούν από τις επιχειρήσεις. Σε αντάλλαγμα ανταμείβονται με διάφορα κίνητρα πληρωμής, πίστωση λογαριασμών ή προνομιακές τιμές. Από την άλλη πλευρά οποιαδήποτε μη συμμόρφωση μπορεί να οδηγήσει σε κυρώσεις. Παραδείγματα αποτελούν τα προγράμματα άμεσου έλεγχου φορτίου (DLC), διακοπτόμενου φορτίου και απόκριση ζήτησης έκτακτης ανάγκης.
- Τα προγράμματα προσφορών ενεργοποιούνται όταν η επιχείρηση κοινής ωφέλειας προβλέπει έλλειψη παροχής. Τότε ανοίγει τη διαδικασία προσφορών, επιτρέποντας στους πελάτες την υποβολή προσφορών ή τον περιορισμό της ζήτησης τους ή την πώληση ενέργειας από τους πελάτες στην επιχείρηση με χρηματικά ανταλλάγματα.

Η υποδομή της απόκρισης της ζήτησης συνδυάζει σε επίπεδο συστήματος τη λήψη αποφάσεων μέσω ενός μηχανισμού που ελέγχεται από την επιχείρηση κοινής ωφέλειας με αυτοματοποιημένες και ημιαυτοματοποιημένες λύσεις που προσφέρονται απευθείας στους τελικούς καταναλωτές. Η επιχείρηση μπορεί να επικοινωνεί άμεσα με οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς καταναλωτές ή έμμεσα μέσω φορέων παροχής υπηρεσιών απόκρισης ζήτησης, οι οποίοι αναλαμβάνουν την ευθύνη της ρύθμισης των ομάδων των τελικών καταναλωτών και τη διαβίβαση των απαιτήσεων τους στην επιχείρηση ως ένα φορτίο.

## A demand response (DR) infrastructure



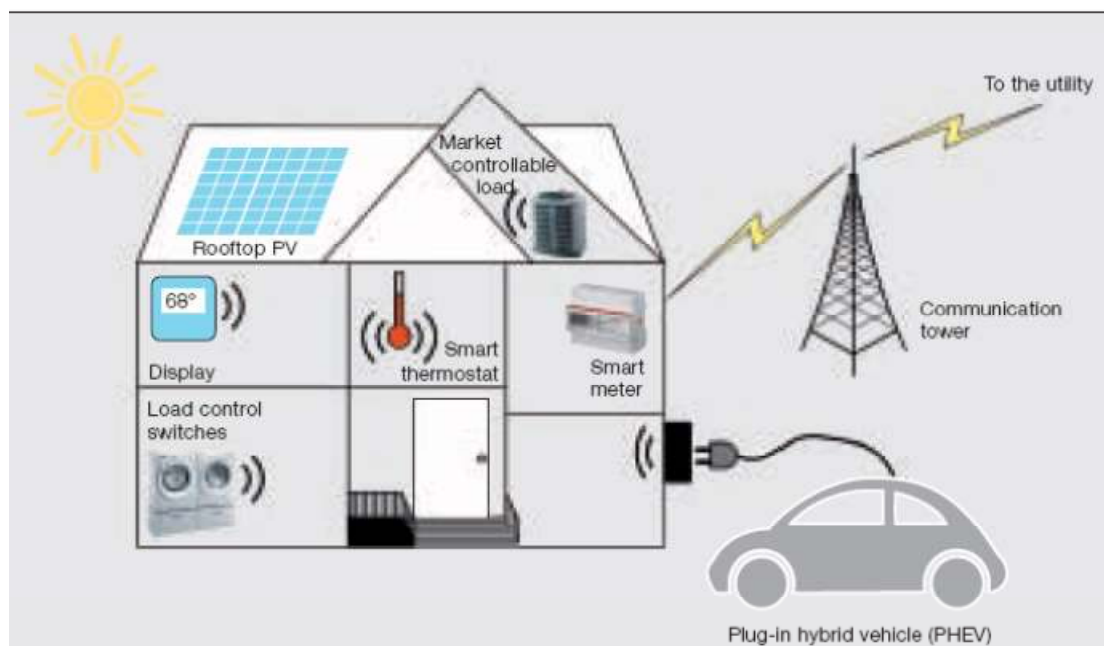
ΕΙΚΟΝΑ 7.12.: Η ΥΠΟΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ

Ο μηχανισμός της απόκρισης στη ζήτηση επικοινωνεί με το σύστημα πληροφοριών των πελατών (CIS) με στόχο να ενημερωθεί για τα στοιχεία των συμβολαίων των πελατών και άλλα συναφή στοιχεία. Οι όροι και οι προϋποθέσεις αυτών των συμβάσεων περιέχουν λεπτομερώς τους περιορισμούς του κάθε πελάτη ή της ομάδας των πελατών σχετικά με τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα, όπως ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την κοινοποίηση, ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμός διακοπών σε μία ημέρα, εβδομάδα ή εποχή και η μέγιστη επιτρεπόμενη διάρκεια διακοπής.

Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής DR [20] εξαρτάται από την ακρίβεια του συστήματος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και στην επικύρωση της απόκρισης των πελατών. Σε περίπτωση απουσίας ακριβών αμφίδρομων συστημάτων μέτρησης, η επιχείρηση κοινής ωφέλειας στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στο συνδυασμό μεγάλου όγκου διαθέσιμων μετρήσεων από τους κύριους υποσταθμούς του δικτύου και στοχαστικών μεθόδων, όπως η κατανομή του φορτίου και η στατιστική εκτίμηση. Παρ' όλα αυτά, με την εισαγωγή συστημάτων μετρητών AMI, η προοπτική της ακριβούς αμφίδρομης μέτρησης γίνεται όλο και πιο ρεαλιστική. Τα συστήματα AMI παρέχουν την αμφίδρομη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, πέρα από τον έξυπνο μετρητή και σε έξυπνες συσκευές στο σπίτι, μέσα από ένα οικιακό δίκτυο (Home Area Network-HAN). Με αυτό τον τρόπο, οικιακές συσκευές του δικτύου, όπως έξυπνοι θερμοστάτες, οθόνες, ελεγχόμενα φορτία και διακόπτες ελέγχου φορτίων συνδέονται με τους έξυπνους μετρητές και ως εκ τούτου και με την επιχείρηση κοινής ωφέλειας, η οποία μπορεί να λαμβάνει δεδομένα (π.χ. ενημερωμένες τιμές για ευφυείς επεξεργαστές) και εντολές. Έτσι, οδηγούμαστε σε ταχύτερους χρόνους

απόκρισης, πιο ακριβή έλεγχο και κατά συνέπεια ενισχυμένα οφέλη αξιοπιστίας για τους πελάτες και το δίκτυο.

#### Example of a residential customer network



**ΕΙΚΟΝΑ 7.13.: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ**

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, συνδυασμένη με τις ανησυχίες για τη βιωσιμότητα και τα περιβαλλοντικά ζητήματα έχουν οδηγήσει σε προσπάθειες, σε παγκόσμιο επίπεδο, για την ανάπτυξη συστημάτων μέτρησης και για τον έλεγχο του δικτύου διανομής. Ο αυτοματισμός των υποσταθμών και των γραμμών τροφοδοσίας και η ανάπτυξη των AMI συστημάτων μέτρησης με επιταχυνόμενο ρυθμό σε όλο τον κόσμο οδηγούν στην παροχή πληθώρας δεδομένων διαθέσιμων για τον έλεγχο του δικτύου διανομής. Ακόμη και αν η ενσωμάτωση τεράστιου όγκου μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο αποτελεί πρόκληση, παρέχει ευκαιρίες για υλοποίηση νέων εφαρμογών που βοηθούν τη μείωση της διάρκειας της διακοπής (διαχείριση διακοπών), τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης (βελτιστοποίηση τάσης και άεργου ισχύος), την επίγνωση της κατάστασης του δικτύου (εκτίμηση της κατάστασης) και την ενθάρρυνση της συμμετοχής των καταναλωτών στη διαχείριση (απόκριση ζήτησης).

#### **7.8.6. Οικιακή χρήση έξυπνων μετρητών**

Υπάρχουν δύο κυρίως τάσεις που αλλάζουν τον τρόπο που εμείς ως καταναλωτές βλέπουμε την ενέργεια [20]. Η μία από αυτές είναι οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και ιδιαίτερα οι επιπτώσεις της χρήσης της ενέργειας. Η άλλη είναι η αύξηση του κόστους της ενέργειας, που οδηγεί τους καταναλωτές σε αναζήτηση τρόπων μείωσης της κατανάλωσης. Και οι δύο αυτές επιδράσεις θα αλλάξουν τον τρόπο χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά τις καλές προθέσεις, δεν είναι εύκολο να συνδέσουμε καθημερινές ενέργειες με τον πραγματικό τους ενεργειακό αντίκτυπο,

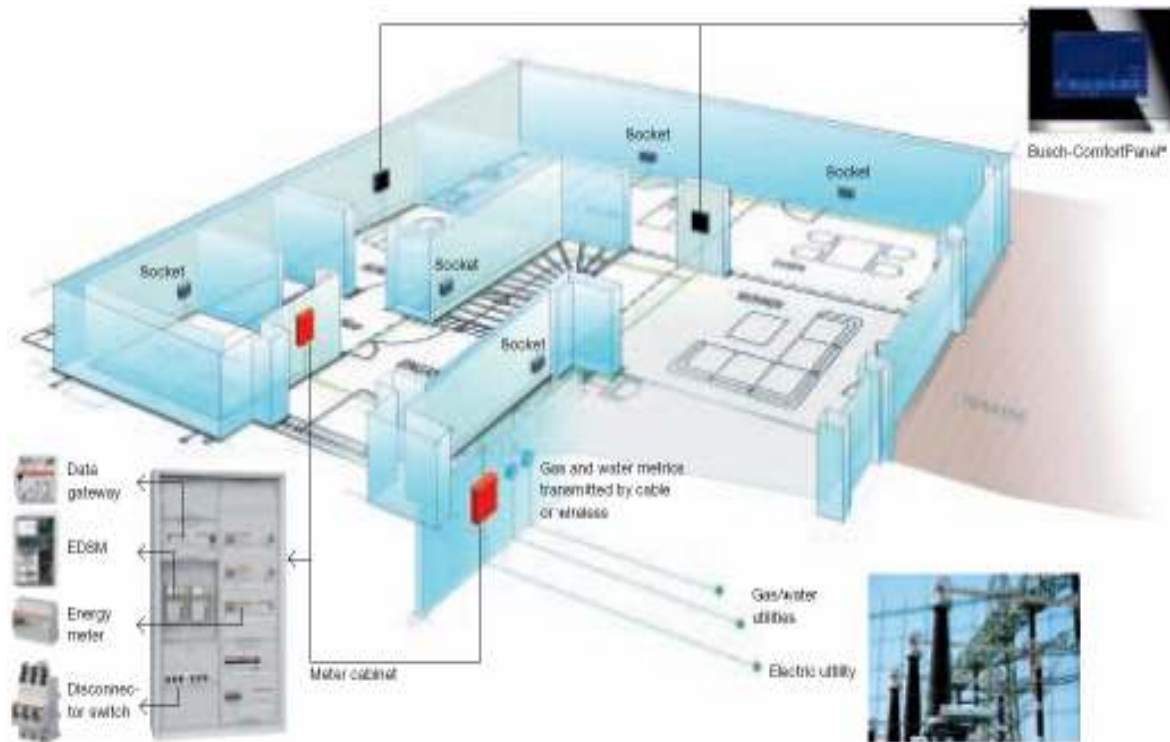
και έτσι να δράσουμε αντίστοιχα. Οι λογαριασμοί ρεύματος λαμβάνονται σε μηνιαία βάση, και έτσι είναι δύσκολος ο διαχωρισμός των επιπτώσεων μεμονωμένων ενεργειών ή η ενημέρωση για την αποτελεσματικότητα κάποιων αλλαγών.

Η εισαγωγή της επονομαζόμενης έξυπνης τεχνολογίας, όπως οι έξυπνοι μετρητές της παροχής, αλλάζει αυτή την κατάσταση. Σε συνδυασμό με μία πύλη δεδομένων, μία τέτοια συσκευή επιτρέπει στους καταναλωτές να απεικονίσουν και να παρακολουθήσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση και έτσι να προσδιορίσουν τρόπους για τη βελτιστοποίηση της. Τα δεδομένα εμφανίζονται γραφικά σε μια μορφή εύκολη στην κατανόηση, επιτρέποντας στους καταναλωτές να βελτιστοποιήσουν άμεσα τη χρήση ενέργειας και να δουν αμέσως τα αποτελέσματα των ενεργειών τους, όπως για παράδειγμα όταν εγκαθιστούν ένα ενεργειακά αποδοτικό ψυγείο. Η γερμανική ομοσπονδιακή κυβέρνηση έκανε την εισαγωγή των ευφυών μετρητών υποχρεωτική στη Γερμανία από το 2010. Η νέα τεχνολογία καθιστά δυνατή την δημιουργία πινάκων μετρητών, που είναι ακόμη πιο συμπαγείς από τους σημερινούς. Δημιουργείται έτσι η βάση για έξυπνη μέτρηση και καθίσταται δυνατή η αποδοτική χρήση ενέργειας αλλά και η εξοικονόμηση χρημάτων στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.

Σε συνδυασμό με μια πύλη δεδομένων, οι οικιακοί μετρητές παρέχουν ολοκληρωμένη λύση για την έξυπνη μέτρηση. Εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια, η πύλη μπορεί να παρακολουθεί και να απεικονίσει την κατανάλωση άλλων πόρων (όπως νερό, αέριο ή θερμότητα) και έτσι αντιπροσωπεύει μια ολοκληρωμένη και πλήρη πλατφόρμα μέτρησης. Τα δεδομένα από την πύλη μπορούν να παρουσιαστούν στους ένοικους ενός κτηρίου με πολλούς τρόπους, σε οθόνη υπολογιστή, σε κινητό τηλέφωνο, κ.λ.π. Η πύλη δεδομένων προωθεί τα στοιχεία αυτά και στους προμηθευτές. Οι πρόσθετες συσκευές που απαιτούνται για αυτό στεγάζονται στο ντουλάπι του μετρητή, πίσω από τον έξυπνο μετρητή ηλεκτρισμού, μετατρέποντας έτσι το ντουλάπι αυτό σε κέντρο επικοινωνιών. Μόλις εγκατασταθεί ένας τέτοιος μετρητής, η μακροχρόνια ανάγκη ώστε ένας εργαζόμενος της επιχείρησης ηλεκτρισμού να έρχεται τακτικά και να διαβάζει χειροκίνητα τους μετρητές, γίνεται παρελθόν. Η επιχείρηση μπορεί περιοδικά να υπολογίζει την κατανάλωση με εξ αποστάσεως πρόσβαση στον ηλεκτρονικό μετρητή. Για τον καταναλωτή, η κατανάλωση του σπιτιού μπορεί να παρουσιαστεί σε μια κατανοητή μορφή και οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Οι ένοικοι μπορούν έτσι να διαμορφώσουν την χρήση ενέργειας πολύ νωρίτερα. Λεπτομερής ανάλυση μπορεί ακόμα να βοηθήσει να εντοπιστούν πιθανές ζημιές στο δίκτυο. Οι έξυπνοι μετρητές θα παίξουν ένα σημαντικό ρόλο σε ένα μέλλον, στο οποίο οι καταναλωτές θα έχουν μεγαλύτερη ελευθερία να επιλέγουν τον ενεργειακό τους προμηθευτή. Σε ένα νοικοκυριό εξοπλισμένο με έξυπνο μετρητή, η παροχή ισχύος μπορεί να διακόπτεται άμεσα και εξ' αποστάσεως όταν ένας λογαριασμός ακυρώνεται.

Οι προμηθευτές ενέργειας, στο μέλλον, όλο και περισσότερο θα προσφέρουν ηλεκτρισμό με τιμολογήσεις που θα εξαρτώνται από το χρόνο. Οι καταναλωτές έτσι, θα ενθαρρύνονται να χρησιμοποιούν συσκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης, σε περιόδους χαμηλής τιμολόγησης. Με αυτό τον τρόπο, μια πιο ίση κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί καθ' όλη τη μέρα, πόσο μάλλον την εβδομάδα. Συνεπώς, θα μειωθεί η ανάγκη για την δαπανηρή παραγωγή του φορτίου αιχμής, και τελικά θα ανακουφίσει τους παραγωγούς, μειώνοντας το κόστος διαχείρισης του δικτύου, το οποίο διαφορετικά θα δημιουργηθεί από την αυξημένη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.





**ΕΙΚΟΝΑ 7.14. : ΔΙΚΤΥΟ ΕΞΥΠΝΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ**

### **7.9. Τα έξυπνα δίκτυα ανά τον κόσμο- Συμπέρασμα**

Η ανάπτυξη των ευφυών δικτύων δεν γίνεται μόνο στην Ευρώπη αλλά σε όλο τον κόσμο. Στο Κολοράντο στην πόλη Μπούλντερ πραγματοποιείται πιλοτικό πρόγραμμα για τη δημιουργία μιας έξυπνης πόλης. Βασικό συστατικό αυτής της πόλης είναι τα έξυπνα σπίτια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.15.

Και άλλες πόλεις ανά τον κόσμο έχουν δραστηριοποιηθεί στον τομέα των έξυπνων δικτύων. Το πρώτο και μεγαλύτερο παράδειγμα είναι στην Ιταλία και ολοκληρώθηκε το 2005. Το έργο αυτό στο οποίο για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν σε εμπορική κλίμακα οι τεχνολογίες των έξυπνων δικτύων εξοικονομεί ετησίως 500 εκατομμύρια € και το κόστος του ήταν 2,1 δισεκατομμύρια €. Στις ΗΠΑ, στην πόλη Όστιν του Τέξας, γίνονται προσπάθειες για τη δημιουργία έξυπνου δικτύου από το 2003, όπου το ένα τρίτο των χειροκίνητων μετρητών του δικτύου αντικαταστάθηκε με έξυπνους μετρητές οι οποίοι επικοινωνούν μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Το ηλεκτρικό δίκτυο της πόλης διαχειρίζεται 200000 συσκευές σε πραγματικό χρόνο (αισθητήρες και έξυπνους μετρητές και θερμοστάτες) και ευελπιστεί οι συσκευές αυτές να φθάσουν τις 500000. Προσπάθειες ανάπτυξης έξυπνου δικτύου γίνονται και στην πόλη Οντάριο του Καναδά.





**ΕΙΚΟΝΑ 7.15.: ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΗΤΙ (SMART HOME)**

Η μάχη κατά της κλιματικής αλλαγής σε συνδυασμό με την έρευνα για ενεργειακή αποδοτικότητα, αργά αλλά σταθερά, σπρώχνει το θέμα των έξυπνων δικτύων στην ημερήσια διάταξη πολλών εταιριών. Στην πραγματικότητα, οι ευρωπαϊκές και αμερικανικές κυβερνήσεις τα θεωρούν καίρια για την επίτευξη των περιβαλλοντικών τους στόχων και σημαντικά για την επίτευξη ασφαλείας στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έρευνες επικεντρώνονται στην έξυπνη μεταφορά ισχύος και στην ενσωμάτωση έξυπνων λειτουργιών στα προϊόντα των εταιριών παροχής και στην υποδομή των καταναλωτών.

Οι σημερινές αντικρουόμενες απαιτήσεις για πιο αξιόπιστη, μεγαλύτερου όγκου παραγωγή ενέργειας από πιο καθαρές και Ανανεώσιμες Πηγές υπογραμμίζει την ανάγκη για βαθμιαία μετατροπή των παλιών υποδομών σε ένα πιο έξυπνο, πιο αποτελεσματικό, και περιβαλλοντικά φιλικό δίκτυο, που μπορεί να δεχτεί κάθε ποιότητα ισχύος, από κάθε είδος πηγής (κεντρική και δεσπαρμένη παραγωγή), και να παρέχει αξιόπιστη ενέργεια, κατά παραγγελία, σε κάθε είδος καταναλωτή. Με άλλα λόγια, αυτό που χρειαζόμαστε είναι ένα έξυπνο δίκτυο, δηλαδή ένα αυτό-ελεγχόμενο σύστημα, που βασίζεται σε βιομηχανικά πρότυπα και διασχίζει τα διεθνή σύνορα, συμμετέχοντας στη χονδρική αγορά ενέργειας και παρέχοντας ένα σταθερό, ασφαλές, αποδοτικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο δίκτυο.

Ενώ είναι αλήθεια πως τα έξυπνα δίκτυα είναι ακόμα ένα μελλοντικό όραμα, τα πρότυπα και οι τεχνολογίες που θα απαιτηθούν αναπτύσσονται εδώ και μερικά χρόνια και ορισμένα είναι ήδη σε χρήση.

Υπήρξε μεγάλη συζήτηση στα μέσα μαζικής ενημέρωσης σχετικά με τα έξυπνα δίκτυα. Τον Οκτώβριο του 2009, ο Πρόεδρος Μπαράκ Ομπάμα των Ηνωμένων Πολιτειών υποσχέθηκε 3400 εκατομμύρια δολάρια για τη χρηματοδότηση "ενός ευρύτατου φάσματος τεχνολογιών που θα προωθήσουν την μετάβαση σε ένα πιο έξυπνο, πιο ισχυρό, πιο αποτελεσματικό και αξιόπιστο ηλεκτρικό σύστημα". Στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει χρηματοδοτήσει έρευνες με σκοπό να αναπτύξουν τις τεχνολογίες που «διαδραματίζουν καίριο ρόλο στη μετατροπή των συμβατικών δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ενιαίο και διαδραστικό σύστημα υπηρεσιών, με χρήση των κοινών ευρωπαϊκών μεθόδων και συστημάτων σχεδιασμού και λειτουργίας».



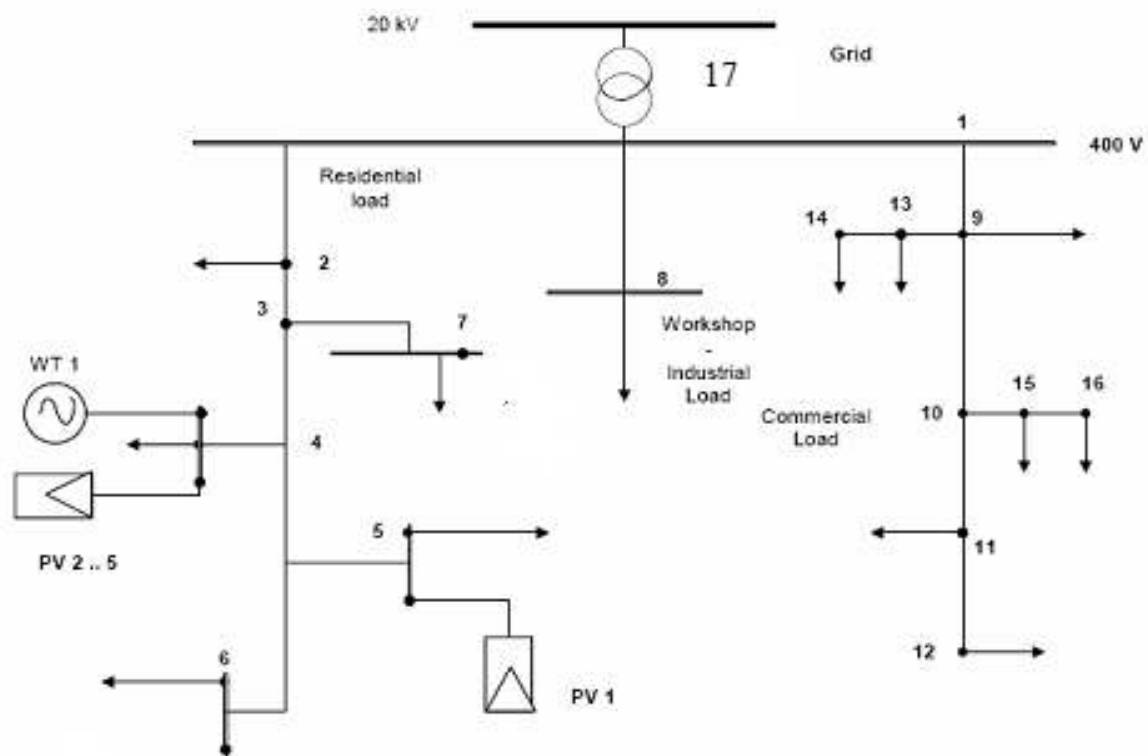
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1η**

## 8.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάμε τη διεξόδυση της διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης 17 ζυγών. Γίνεται εφαρμογή των μεθόδων υπολογισμού που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 5 της διπλωματικής αυτής εργασίας. Ως ζυγός ταλάντωσης θεωρείται ο ζυγός 17.

Το δίκτυο, με βάση το οποίο έγιναν οι υπολογισμοί φαίνεται στη συνέχεια:



ΕΙΚΟΝΑ 8.1. : ΔΙΚΤΥΟ 17 ΖΥΓΩΝ ΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ

Για την απλοποίηση της ανάλυσης, αγνοήθηκε η επίδραση των ρυθμιστών τάσης. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι αντιστάσεις και οι αντιδράσεις των γραμμών του δικτύου :

Από ζυγό	Προς ζυγό	R (pu)	X (pu)
1	2	0,0001	0,0001
2	3	0,0125	0,00375
3	4	0,0125	0,00375
4	5	0,0125	0,00375
5	6	0,0125	0,00375
3	7	0,021875	0,004375
1	8	0,033125	0,00875
1	9	0,0075	0,005
9	10	0,015	0,010625
10	11	0,02125	0,005625

11	12	0,02125	0,005625
9	13	0,010625	0,005625
13	14	0,010625	0,005625
10	15	0,023125	0,00625
15	16	0,023125	0,00625
17	1	0,0025	0,01

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1.: ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΚΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΖΥΓΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τα φορτία και την παραγωγή είναι δεδομένα που έχουν καταγραφεί στο εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και παρουσιάζονται αναλυτικά στις αναφορές [13], [17], [18] της βιβλιογραφίας, για μια συγκεκριμένη ώρα μιας συγκεκριμένης μέρας.

Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτει από την τοποθέτηση μονάδων διανεμημένης παραγωγής είναι το κέρδος που αποκομίζουμε από την αναβολή της επένδυσης σε στοιχεία του δικτύου. Το κόστος αντικατάστασης ενός μετασχηματιστή 400KVA εκτιμάται πως θα είναι περίπου 15000€ [17].

Για την πληρέστερη ανάλυση της επίδρασης της διεσπαρμένης παραγωγής, κρίθηκε σκόπιμη η τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής σε όλους τους κλάδους του δικτύου χαμηλής τάσης. Αρχικά, τοποθετήθηκαν διαδοχικά 10kW, 20kW, 30kW, 50kW και 80kW στους ζυγούς 4,6 και 12 του δικτύου. Μετέπειτα, εξετάστηκε και η ταυτόχρονη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής, σε δύο, τρεις και τέσσερις ζυγούς του δικτύου.

Για τη μελέτη του δικτύου, δημιουργήθηκαν σενάρια τα οποία προκύπτουν ως συνδυασμός διάφορων υποθετικών τιμών για τη μηνιαία αύξηση φορτίου  $\sigma$ , καθώς και για το επιτόκιο αναγωγής  $\rho$ . Συγκεκριμένα, οι τιμές της μηνιαίας αύξησης φορτίου με βάση τις οποίες έγινε η εφαρμογή είναι 0,1kW/μήνα, 0,3kW/μήνα, 0,5kW/μήνα, 0,7kW/μήνα και 1kW/μήνα, και του επιτοκίου αναγωγής είναι 3%/έτος, 5%/έτος και 7%/έτος. Οπότε έχουμε συνολικά 15 σενάρια. Επιπλέον, έγινε η υπόθεση ότι το φορτίο σε κάθε ζυγό αυξάνει με τον ίδιο ρυθμό, παρά το γεγονός ότι σε διαφορετικούς ζυγούς θα μπορούσε να αυξάνεται το φορτίο με διαφορετικούς ρυθμούς. Για το ζυγό ταλάντωσης θεωρήσαμε πως δεν έχουμε αύξηση φορτίου.

Ο συντελεστής ισχύος του φορτίου και των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αρχικά θεωρήθηκε μοναδιαίος και κατόπιν έλαβε τις εξής τιμές: 0,9 επαγωγικός, 0,95 επαγωγικός, 0,9 χωρητικός και 0,95 χωρητικός.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας γινόταν μια φορά για την περίπτωση που δεν έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή. Ενδεικτικά ακολουθεί ο υπολογισμός της συνολικής ευαισθησίας ρεύματος από τη μεταβολή του φορτίου σε όλους τους ζυγούς, για τη γραμμή 17-1, με συντελεστή ισχύος στο φορτίο 0,95 επαγωγικό. Αυτό φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Υπολογισμός της ευαισθησίας ( $\gamma_{i17}$ ) του ρεύματος $I_{17-1}$ , στο ζυγό 17 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (pu)		
Ζυγός (i)	$\gamma_{i17}$ (pu)	$\Sigma\gamma_{i,17}$ (pu)
1	0,9708	
2	0,971101	

3	1,000715	<b>16,05703</b>
4	1,012312	
5	1,017206	
6	1,0215	
7	1,032564	
8	1,006176	
9	0,985565	
10	1,000917	
11	1,014361	
12	1,020688	
13	0,991853	
14	0,994695	
15	1,007302	
16	1,009277	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 17-1**

Για όλα τα σενάρια διείσδυσης χρησιμοποιούνταν αυτοί οι συντελεστές αφού από την τοποθέτηση διεσπαρμένης παραγωγής, οι συντελεστές ευαισθησίας επηρεάζονταν ελάχιστα, όπως θα φανεί στη συνέχεια.

Στους επόμενους πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το χρόνο αναβολής της επένδυσης του μετασχηματιστή Μέσης-Χαμηλής Τάσης 400kVA, το κέρδος από την αναβολή αυτή, αλλά και το συνολικό κέρδος από την αντικατάσταση 5000 τέτοιων μετασχηματιστών για όλα τα πιθανά σενάρια διείσδυσης στο ζυγό 4 με εγκατεστημένη ισχύ 30kW και συντελεστή ισχύος στο φορτίο 0,95 επαγωγικό και στη μονάδα παραγωγής μοναδιαίο. Παράλληλα παρουσιάζονται η έγχυση ρεύματος από το δίκτυο, όπως και η μείωση στην έγχυση του ρεύματος από την τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\tau_k = \frac{\Delta I_{km}}{\sum_i \gamma_{ik} \cdot \sigma_i} \quad (8.1)$$

Για τον υπολογισμό του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης, χρησιμοποιείται η σχέση [28]:

$$B_k(\tau_k) = C \left(1 - \frac{1}{e^{\rho \tau_k}}\right) \quad (8.2)$$

Το συνολικό όφελος από τις αναβολές επενδύσεων σε 5000 μετασχηματιστές που θα προκληθεί από την τοποθέτηση μιας μονάδας προκύπτει:

$$B = \sum_k C_k \left(1 - \frac{1}{e^{\rho \tau_k}}\right) \quad (8.3)$$

Υπολογισμός Χρόνου Αναβολής και Κέρδους από την επένδυση							
Σενάρια	$\sigma$ (kW/μήνα)	$\rho$	Έγχυση από το δίκτυο – Ρεύμα (pu)	Διαφορά Ρευμάτων (pu) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)
Χωρίς DG	-	-	2,498695	-	-	-	-
Με DG	0,1	0,03	2,200108	0,298587	18,59539	681,3667	3406834
	0,3	0,03	2,200108	0,298587	6,198465	230,6507	1153254
	0,5	0,03	2,200108	0,298587	3,719079	138,8191	694095,5
	0,7	0,03	2,200108	0,298587	2,656485	99,28812	496440,6
	1	0,03	2,200108	0,298587	1,859539	69,57089	347854,4
	0,1	0,05	2,200108	0,298587	18,59539	1118,328	5591641
	0,3	0,05	2,200108	0,298587	6,198465	382,4441	1912221
	0,5	0,05	2,200108	0,298587	3,719079	230,6507	1153254
	0,7	0,05	2,200108	0,298587	2,656485	165,1148	825574,1
	1	0,05	2,200108	0,298587	1,859539	115,7721	578860,6
	0,1	0,07	2,200108	0,298587	18,59539	1541,955	7709775
	0,3	0,07	2,200108	0,298587	6,198465	532,6774	2663387
	0,5	0,07	2,200108	0,298587	3,719079	321,9149	1609574
	0,7	0,07	2,200108	0,298587	2,656485	230,6507	1153254
	1	0,07	2,200108	0,298587	1,859539	161,8304	809152

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3.: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.**

Για μια δεδομένη φόρτιση του δικτύου, υπολογίσαμε τους συντελεστές ευαισθησίας της τάσης κάθε ζυγού χωρίς την παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής. Ήδη από το πρόσημο των συντελεστών ευαισθησίας ήμασταν σε θέση να γνωρίζουμε αν η παρουσία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής επιδρά με αυξητικό τρόπο ή όχι στις τάσεις των ζυγών του δικτύου. Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια τους συντελεστές ευαισθησίας της τάσης και σύμφωνα με τον ορισμό της παραπάνω ευαισθησίας, επιχειρήσαμε να προβλέψουμε την τελική τιμή που θα έπαιρνε η τάση μετά την εγκατάσταση της διεσπαρμένης παραγωγής, σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις [27], [28]:

$$\gamma_{ki} = \frac{d\tilde{V}_{ki}}{dP_{di}} \Rightarrow \tilde{V}_{ki}' = \gamma_{ki} \cdot (-\Delta P_{DG}) + \tilde{V}_{ki} \quad (8.4)$$

Στον επόμενο πίνακα μπορούμε να δούμε την αναμενόμενη τιμή της τάσης κάθε ζυγού, όπως υπολογίζεται από τη σχέση (8.4), όταν έχουμε διείσδυση 50kW

μόνο από τον ζυγό 6 και οι συντελεστές ισχύος της μονάδας παραγωγής και του φορτίου είναι 0,95 επαγωγικοί.

Ζυγός i	Αρχική Τάση (V)	Ευαισθησία $\gamma_{i-6}$ (V/MW)	$\Delta V_i$ (V)	Τελική Τάση (V)
1	394,4087	-12,3072	0,615362	395,0241
2	394,3501	-12,7397	0,636987	394,9871
3	388,6299	-66,2503	3,312513	391,9425
4	386,4226	-119,151	5,95754	392,3801
5	385,501	-171,658	8,582907	394,0839
6	384,696	-224,115	11,20577	395,9017
7	382,6661	-67,2993	3,364967	386,0311
8	387,5187	-12,53	0,626502	388,1452
9	391,5121	-12,4007	0,620033	392,1321
10	388,567	-12,4967	0,624835	389,1918
11	386,0115	-12,5802	0,629011	386,6405
12	384,8223	-12,6192	0,630961	385,4532
13	390,2853	-12,4398	0,621991	390,9073
14	389,7339	-12,4574	0,622872	390,3568
15	387,3434	-12,5363	0,626816	387,9702
16	386,9669	-12,5485	0,627426	387,5943
17	400	0	0	400

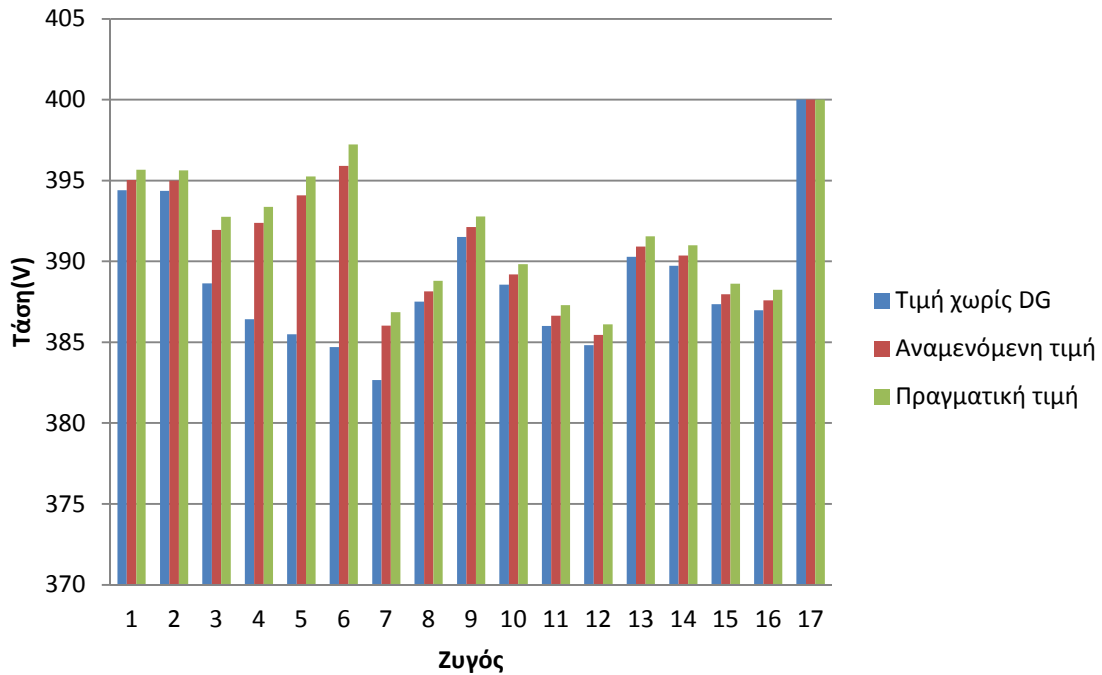
**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4.: ΑΡΧΙΚΕΣ - ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΛΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΖΥΓΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΖΥΓΟ 6**

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η αρχική τάση σε όλους τους ζυγούς είναι μικρότερη από την ονομαστική τιμή των 400V και η παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δρα αυξητικά ως προς το επίπεδο της τάσης.

Παρατηρώντας τους συντελεστές ευαισθησίας βλέπουμε πως έχουν αρνητικές τιμές. Αυτό σημαίνει πως μια αύξηση του φορτίου στον εκάστοτε ζυγό θα προκαλούσε μείωση της τάσης σε όλους τους ζυγούς του δικτύου, εκτός βέβαια από το ζυγό 17 που είναι ο ζυγός ταλάντωσης και βρίσκεται σταθερά στα 400V. Η τοποθέτηση επομένως μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής που λειτουργούν στην ουσία ως μείωση του φορτίου θα έχει ως συνέπεια την αύξηση της τάσης στον κάθε ζυγό, με αποτέλεσμα θετικό καθώς θα πάρει η τάση μια τιμή πιο κοντά στην ονομαστική.

Στην επόμενη γραφική παράσταση μπορούμε να δούμε πώς μεταβάλλεται η τάση όταν εισέρχονται οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο και να συγκρίνουμε την θεωρητικά αναμενόμενη τιμή με την πραγματική τιμή που μας δίνει το πρόγραμμα Matlab από την επίλυση των εξισώσεων της ροής φορτίου:





Διάγραμμα 8.1.: Σύγκριση Τάσεων Πριν Και Μετά Τη Διείσδυση Της Διεσπαρμένης Παραγωγής

Σε αυτό το σημείο βλέπουμε ότι υπάρχει βελτίωση του επιπέδου της τάσης σε όλους τους ζυγούς. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη βελτίωση της τάσης παρατηρείται στο ζυγό 6, όπου έχουμε τοποθετήσει τη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής, στη συγκεκριμένη περίπτωση. Αξιόλογη ακόμα αύξηση έχουμε στους ζυγούς 5 και 4, οι οποίοι είναι οι πλησιέστεροι ζυγοί στον 6 από την πλευρά του ανάντη δικτύου. Τέλος, η θεωρητικά αναμενόμενη τιμή της τάσης παρουσιάζει πολύ μικρές αποκλίσεις από την πραγματική τιμή.

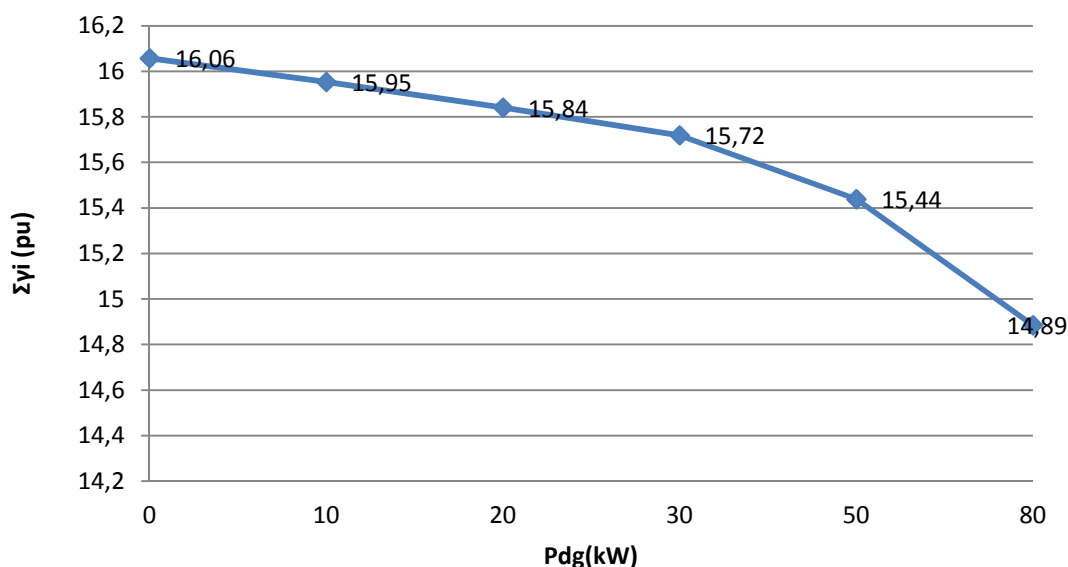
## **8.2. Εξάρτηση από το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής**

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εγκατάσταση μονάδων διανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο αποφέρει πολλαπλά οφέλη. Ένα από αυτά είναι η μείωση του ρεύματος στις γραμμές, που συνεπάγεται μετατόπιση της χρονικής στιγμής κατά την οποία θα είναι απαραίτητη η αντικατάσταση των στοιχείων του δικτύου.

Οι μετρήσεις έγιναν για επίπεδα ισχύος διεσπαρμένης παραγωγής της τάξης των 0kW, 10kW, 20kW, 30kW, 50kW και 80kW. Θεωρήθηκε πως οι μονάδες παραγωγής, που τοποθετήθηκαν στον ζυγό 4, λειτουργούν υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος ενώ τα φορτία με συντελεστή ισχύος 0,95 επαγωγικό. Ο μηνιαίος ρυθμός αύξησης του φορτίου είναι ίσος με 0,3kW και το επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5% ανά έτος.

### **8.2.1. Ευαισθησία ρεύματος ως προς διεσπαρμένη παραγωγή**

Αρχικά μελετήθηκε η σχέση μεταξύ του άθροισματος των συντελεστών ευαισθησίας του ρεύματος της γραμμής 17-1 και της ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής. Η ευαισθησία του ρεύματος εκφράζει τη μεταβολή της τιμής του ως προς τη διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής. Επειδή από τη εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αναμένεται ελάττωση της τιμής του ρεύματος που διαρρέει μία γραμμή, περιμένουμε και μείωση της αντίστοιχης ευαισθησίας. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα και αφορούν τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4.

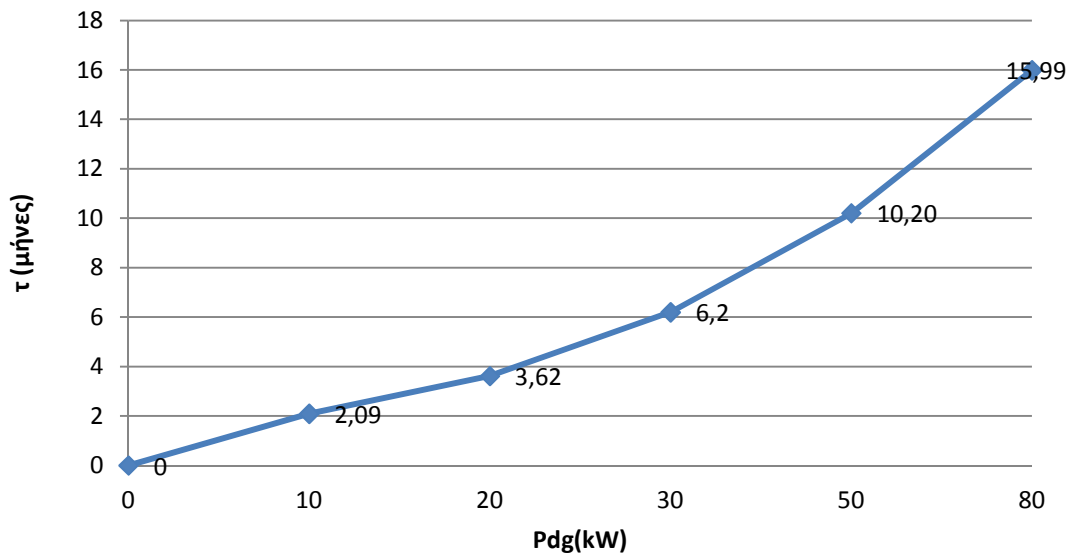


*Διάγραμμα 8.2.: Συντελεστής Ευαισθησίας Ρεύματος Της Γραμμής 17-1 Ως Προς Τη Διείσδυση Της Διεσπαρμένης Παραγωγής Στον Ζυγό 4*

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 8.2, το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας έχει μια εξάρτηση από την ισχύ της διεσπαρμένης παραγωγής, η οποία γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνει το επίπεδο της διείσδυσης. Όπως παρατηρούμε, μέχρι τα 10kW η μεταβολή είναι απειροελάχιστη, ενώ στα 80kW το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας μειώνεται κατά 7,28% σε σχέση με την τιμή του πριν την τοποθέτηση διεσπαρμένης παραγωγής.

### **8.2.2. Χρόνος αναβολής επένδυσης και διεσπαρμένη παραγωγή**

Ο χρόνος αναβολής της επένδυσης σε στοιχεία του δικτύου εξαρτάται από τη μεταβολή του ρεύματος και τον αντίστοιχο συντελεστή ευαισθησίας της γραμμής στην οποία βρίσκεται το στοιχείο προς αντικατάσταση. Επειδή ο συντελεστής αυτός θεωρείται σταθερός και η μεταβολή του ρεύματος αυξάνεται, όσο αυξάνονται τα kW που προέρχονται από τη διεσπαρμένη παραγωγή, ο χρόνος αναβολής της επένδυσης αναμένεται να παρουσιάσει αύξηση. Παρακάτω φαίνεται η σχέση του χρόνου αναβολής της επένδυσης στο μετασχηματιστή 400kVA του δικτύου με το επίπεδο διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής.

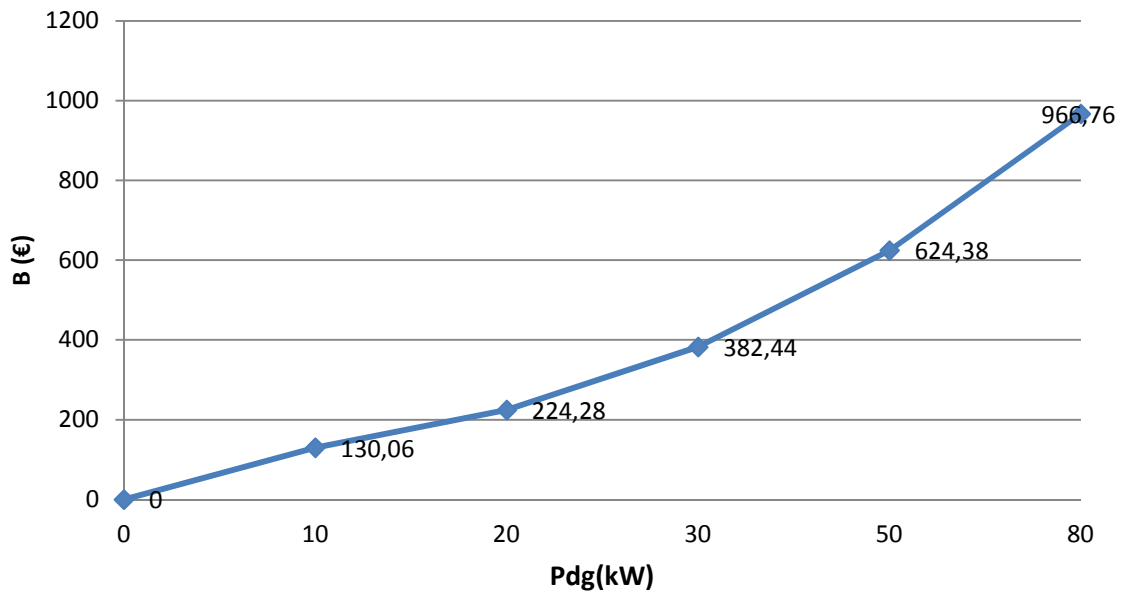


*Διάγραμμα 8.3.: Χρόνος Αναβολής Επένδυσης-Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής Στον Ζυγό 4*

Σύμφωνα με αυτό το διάγραμμα, επιβεβαιώνεται το γεγονός πως ο χρόνος αναβολής της επένδυσης αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ισχύς της διεσπαρμένης παραγωγής. Αξιοσημείωτο είναι ότι στα 80kW, ο χρόνος αναβολής είναι σχεδόν πενταπλάσιος από τον αντίστοιχο στα 20kW.

### **8.2.3. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης**

Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει το κέρδος που αποκομίζουμε από την αναβολή της επένδυσης στο μετασχηματιστή, συναρτήσει της διεσπαρμένης παραγωγής. Το όφελος, όπως θα αναμέναμε, ακολουθεί την καμπύλη του χρόνου αναβολής, δηλαδή όσο μεγαλύτερος ο χρόνος αναβολής τόσο μεγαλύτερο είναι και το κέρδος, εφόσον για συγκεκριμένο επιτόκιο αναγωγής εξαρτάται μόνο από αυτόν.



*Διάγραμμα 8.4.: Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης - Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής Στον Ζυγό 4*

### **8.3. Εξάρτηση από το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής**

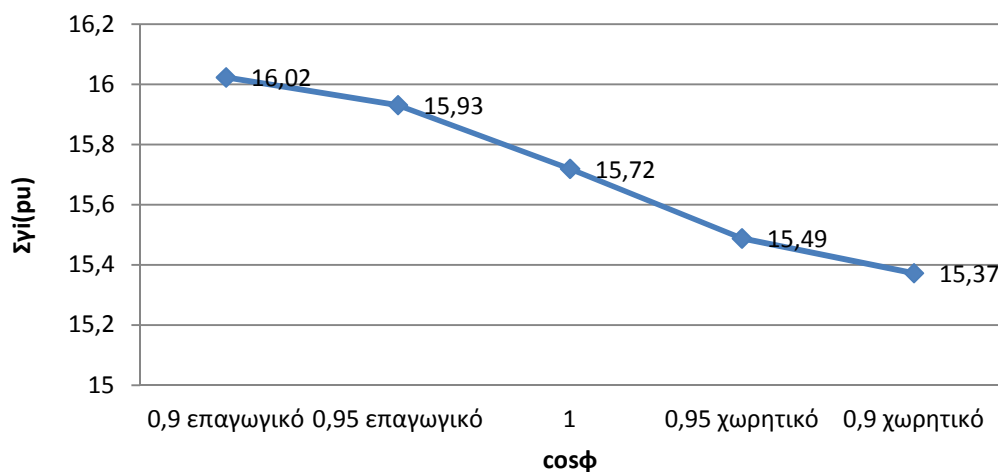
Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι πολύ πιθανό να μη λειτουργούν υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος, και μάλιστα οι διαχειριστές του δικτύου προτιμούν, τις περισσότερες φορές, λειτουργία με επαγωγικό συντελεστή ισχύος, λόγω της απαίτησης για παραγωγή άεργου ισχύος. Ο λόγος είναι ότι τα φορτία του δικτύου διανομής, ως επί το πλείστον δεν είναι ωμικά, και η κατανάλωση άεργου ισχύος υποβαθμίζει το συντελεστή ισχύος του δικτύου. Όλα τα μεγέθη που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να επηρεαστούν επίσης από το συντελεστή ισχύος υπό τον οποίο λειτουργούν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Μελετήσαμε πέντε καταστάσεις λειτουργίας των μονάδων παραγωγής:

- Συντελεστής ισχύος 0,9 επαγωγικός
- Συντελεστής ισχύος 0,95 επαγωγικός
- Μοναδιαίος συντελεστής ισχύος
- Συντελεστής ισχύος 0,95 χωρητικός
- Συντελεστής ισχύος 0,9 χωρητικός

Οι μετρήσεις που ακολουθούν έγιναν για εγκατάσταση 30kW διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4. Θεωρήθηκε πως τα φορτία λειτουργούν με συντελεστή ισχύος 0,95 επαγωγικό. Ο μηνιαίος ρυθμός αύξησης του φορτίου είναι ίσος με 0,3kW και το επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5% ανά έτος.

### **8.3.1. Ευαισθησία ρεύματος ως προς το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής**

Όπως προηγουμένως στο διάγραμμα απεικονίζεται η εξάρτηση του αθροίσματος των συντελεστών ευαισθησίας του ρεύματος της γραμμής 17-1 σε σχέση με το συντελεστή ισχύος της μονάδας παραγωγής των 30kW στο ζυγό 4.

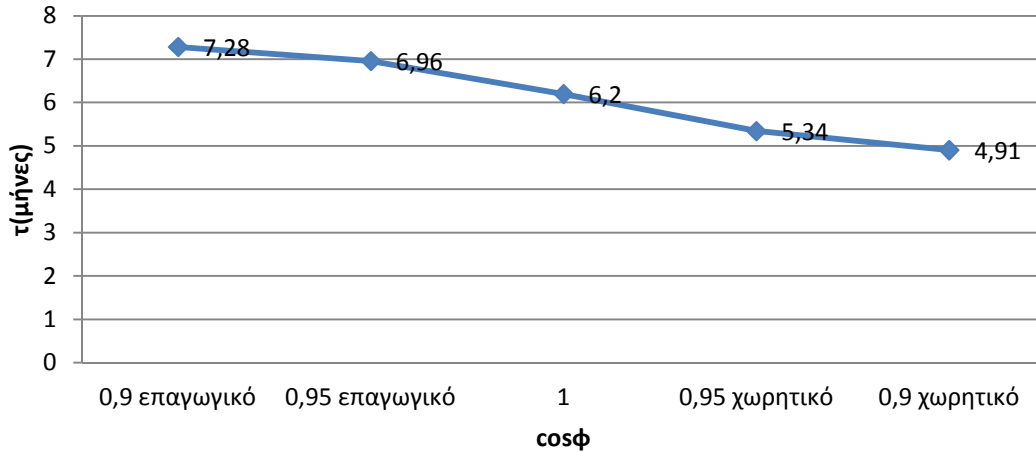


*Διάγραμμα 8.5.: Συντελεστής Ευαισθησίας Ρεύματος Γραμμής 17-1 Ως Προς Το Συντελεστή Ισχύος Των Μονάδων Παραγωγής*

Η μεταβολή της ευαισθησίας είναι πολύ μικρή για τις διάφορες περιπτώσεις, και η ελάχιστη τιμή της παρατηρείται για συντελεστή ισχύος 0,9 χωρητικό ενώ η μέγιστη για 0,9 επαγωγικό. Εξ' ορισμού, η ευαισθησία εξαρτάται, για σταθερή μεταβολή της διεσπαρμένης παραγωγής, από την εκάστοτε μεταβολή του ρεύματος. Όσο πιο χωρητικός γίνεται ο συντελεστής ισχύος των μονάδων παραγωγής, τόσο περισσότερο αυξάνεται η τιμή του ρεύματος. Άρα η μεταβολή του ρεύματος μειώνεται και κατά συνέπεια μειώνεται και ο συντελεστής ευαισθησίας.

### **8.3.2. Χρόνος αναβολής επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής**

Η επιρροή του συντελεστή ισχύος στο χρόνο αναβολής της επένδυσης για διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 30kW στο ζυγό 4, φαίνεται εποπτικά στη συνέχεια:

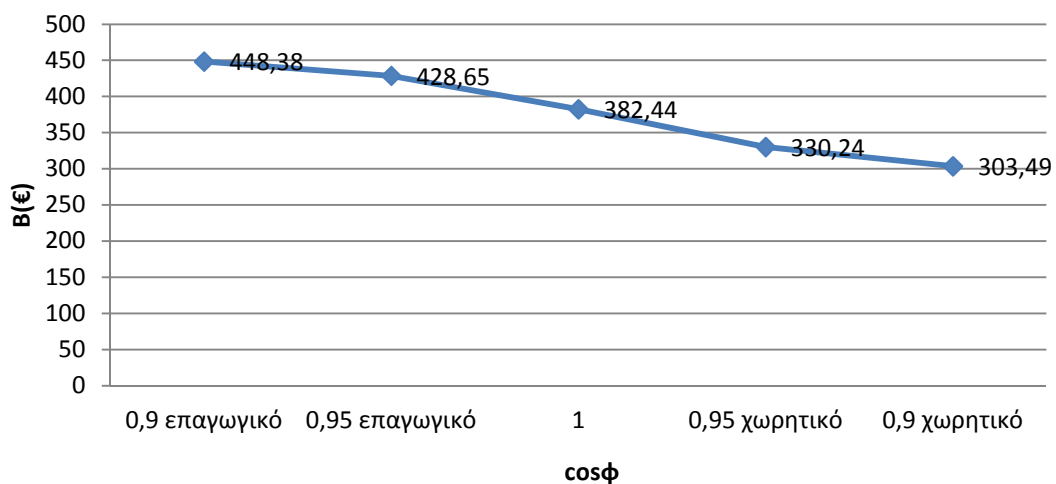


Διάγραμμα 8.6.: Χρόνος Αναβολής Της Επένδυσης-Συντελεστής Ισχύος Μονάδων Παραγωγής

Είναι φανερό πως ο συντελεστής ισχύος υπό τον οποίο λειτουργούν οι μονάδες παραγωγής έχει μια επιρροή στο χρόνο αναβολής της επένδυσης, η επιρροή αυτή όμως είναι μικρή, γιατί εξίσου μικρή είναι και η μεταβολή του ρεύματος που διαρρέει τη γραμμή 17-1.

### 8.3.3. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής

Σύμφωνα με τη σχέση που το ορίζει, το κέρδος που προκύπτει από την αναβολή της επένδυσης είναι συνάρτηση του χρόνου αναβολής της. Η εξάρτησή του από το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

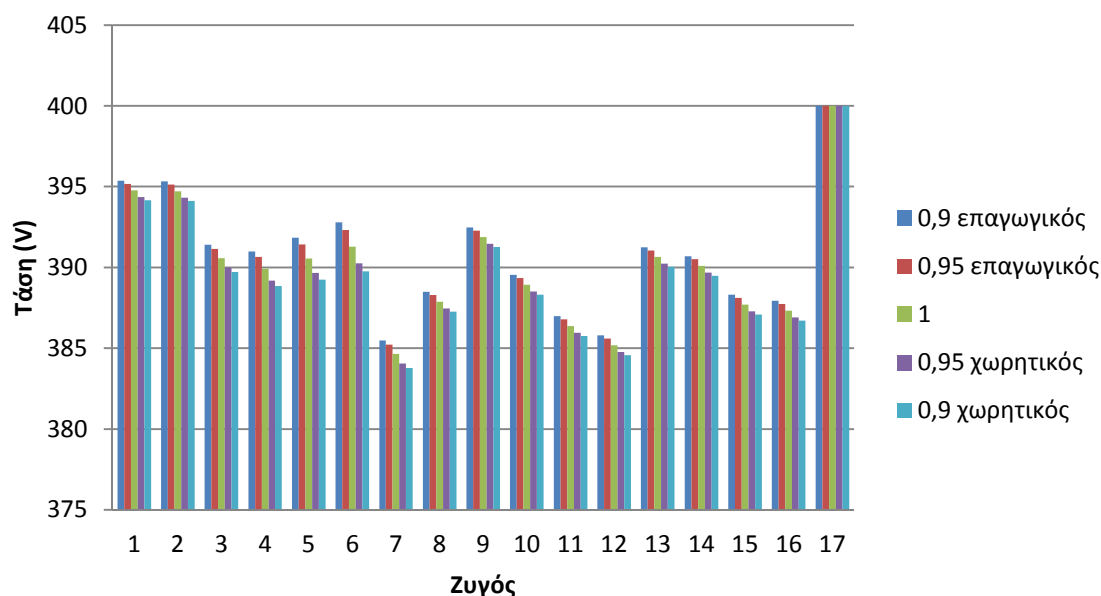


Διάγραμμα 8.7.: Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης - Συντελεστής Ισχύος Μονάδων Παραγωγής

Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει το κέρδος είναι για συντελεστή ισχύος της παραγωγής 0,9 επαγωγικό, ενώ η ελάχιστη για 0,9 χωρητικό. Η απόκλιση από την τιμή του κέρδους για μοναδιαίο συντελεστή ισχύος είναι για την πρώτη περίπτωση ίση με 17%, ενώ για τη δεύτερη ίση με 21%. Το σύνολο των μέτρησών μας, αποδεικνύει ότι, η λειτουργία των μονάδων παραγωγής με επαγωγικό συντελεστή ισχύος έχει μεγαλύτερα οφέλη από τη λειτουργία με μοναδιαίο ή χωρητικό συντελεστή ισχύος.

### **8.3.4. Εξάρτηση της τάσης των ζυγών από το συντελεστή ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής**

Για τη μελέτη της επίδρασης του συντελεστή ισχύος των μονάδων παραγωγής στην τάση των ζυγών, εξετάστηκαν όλες οι περιπτώσεις διείσδυσης που αναφέρονται στην παράγραφο 8.1. Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα, τα οποία προκύπτουν για εγκατάσταση 30kW στον ζυγό 6, με συντελεστή ισχύος του φορτίου 0,95 επαγωγικό.



*Διάγραμμα 8.8. : Τάση Κάθε Ζυγού Ως Προς Το Συντελεστή Ισχύος Των Μονάδων Παραγωγής*

Στο διάγραμμα 8.8. παρατηρούμε πως η τάση κάθε ζυγού λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της για συντελεστή ισχύος 0,9 επαγωγικό, ενώ την ελάχιστη για συντελεστή ισχύος 0,9 χωρητικό.

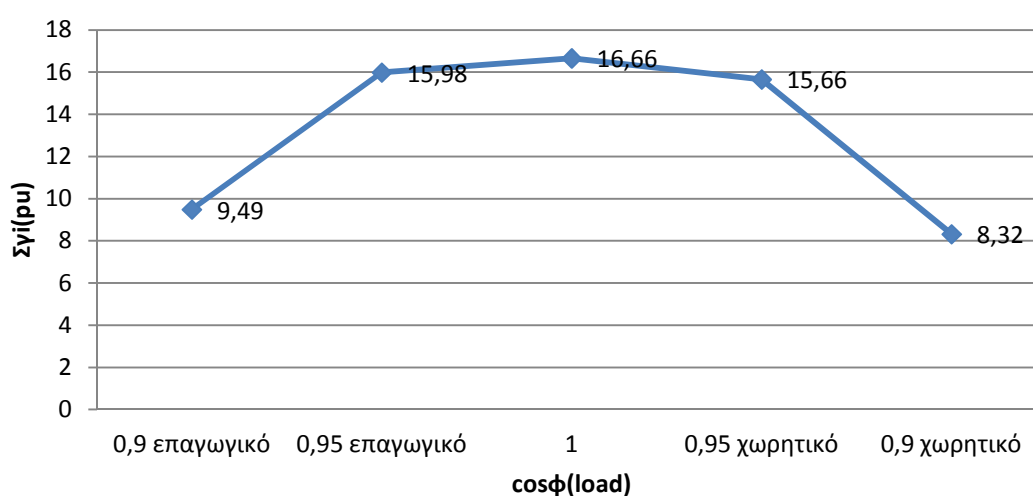
### **8.4. Εξάρτηση από το συντελεστή ισχύος του φορτίου**

Τα μεγέθη που αναφέρθηκαν παραπάνω, επηρεάζονται και από το συντελεστή ισχύος του φορτίου. Για να εξετάσουμε την επίδραση αυτή, εκτελέσαμε το πρόγραμμα Matlab για συντελεστή ισχύος φορτίου 0,9 επαγωγικό, 0,95 επαγωγικό,

μοναδιαίο, 0,95 χωρητικό και 0,9 χωρητικό. Θεωρήσαμε διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 7kW, στο ζυγό 4, υπό συντελεστή ισχύος των μονάδων παραγωγής μοναδιαίο. Ο ρυθμός αύξησης του φορτίου λήφθηκε ίσος με 300W/μήνα και το επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5%.

#### **8.4.1. Ευαισθησία ρεύματος ως προς το συντελεστή ισχύος του φορτίου**

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η σχέση του αθροίσματος των συντελεστών ευαισθησίας του ρεύματος της γραμμής 17-1 με το συντελεστή ισχύος του φορτίου. Παρατηρούμε ότι για μοναδιαίο συντελεστή ισχύος, το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του, ενώ για συντελεστή ισχύος 0,9 χωρητικό τη μικρότερη τιμή του.

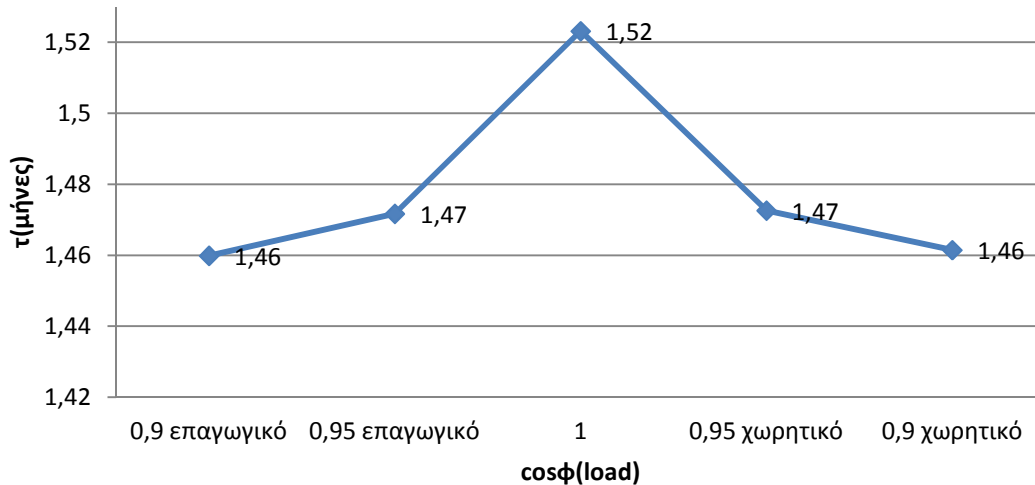


*Διάγραμμα 8.9.: Συντελεστής Ευαισθησίας Ρεύματος Γραμμής-Συντελεστής Ισχύος Φορτίου*

#### **8.4.2. Χρόνος αναβολής επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος του φορτίου**

Παρακάτω φαίνεται η εξάρτηση του χρόνου αναβολής της επένδυσης από τον συντελεστή ισχύος του φορτίου. Παρατήρουμε ότι υπάρχει μια επίδραση, η οποία όμως δεν είναι σημαντική, και δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα υπολογιζόμενα μεγέθη. Αυτό είναι εν μέρει λογικό, γιατί η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο συντελεστής ισχύος, τόσο μεγαλύτερες τιμές έχουν τα μεγέθη αυτά.

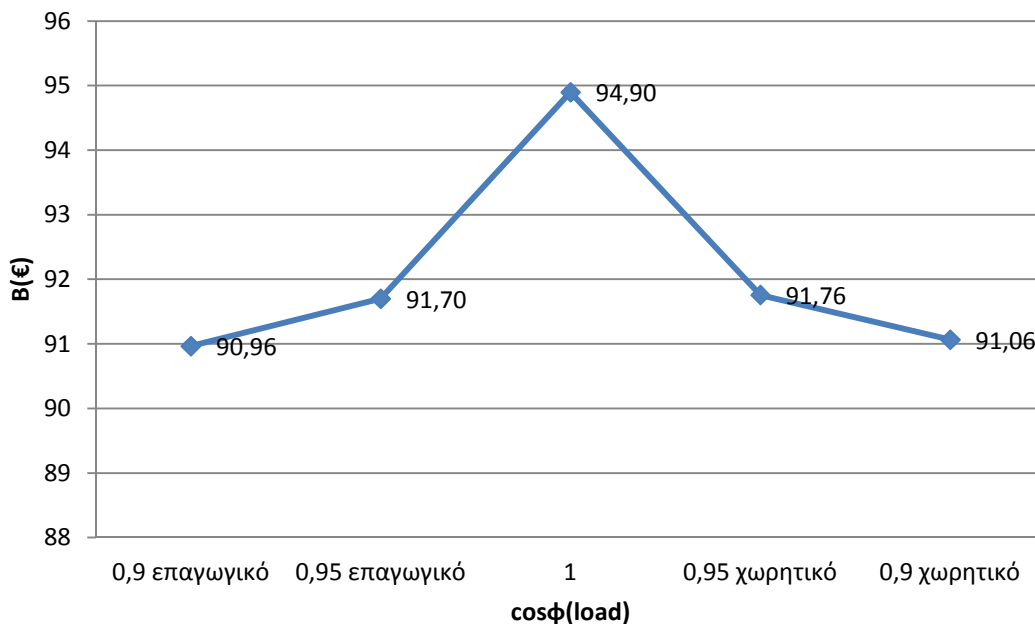




Διάγραμμα 8.10.: Χρόνος Αναβολής-Συντελεστής Ισχύος Φορτίου

#### **8.4.3. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το συντελεστή ισχύος της διεσπαρμένης παραγωγής**

Το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την αναβολή της επένδυσης, για τις διάφορες τιμές του συντελεστή ισχύος του φορτίου, απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:

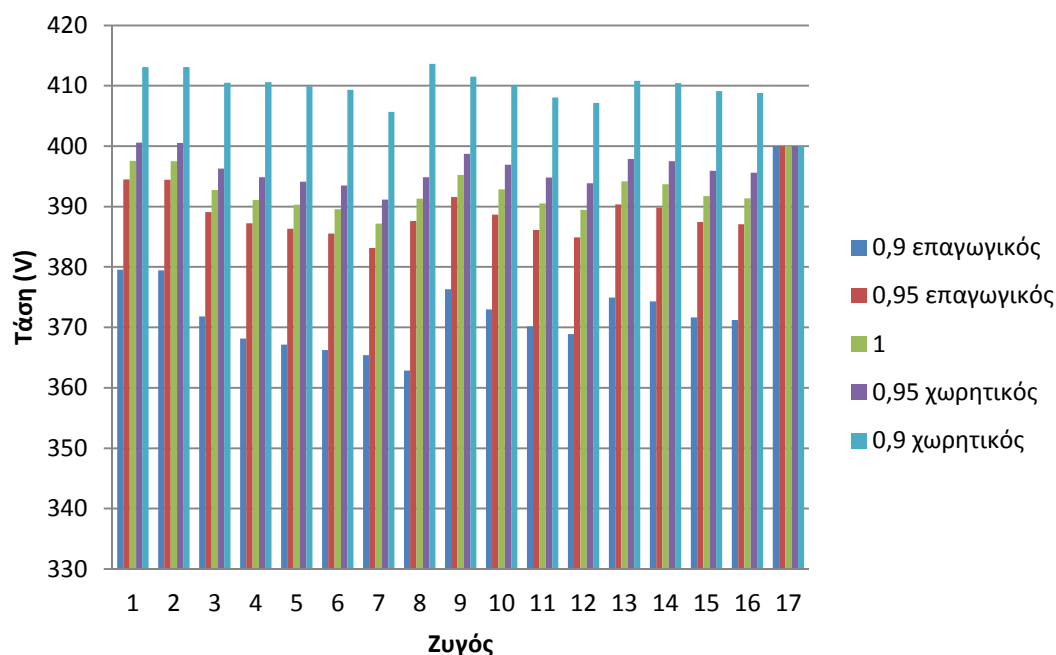


Διάγραμμα 8.11.: Κέρδος-Συντελεστής Ισχύος Φορτίου

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του κέρδους παρουσιάζουν πολύ μικρή διαφοροποίηση, όπως συμβαίνει και με τις τιμές του χρόνου αναβολής της επένδυσης.

#### **8.4.4. Εξάρτηση της τάσης των ζυγών από το συντελεστή ισχύος του φορτίου**

Η τάση κάθε ζυγού εξαρτάται εκτός από το συντελεστή ισχύος της μονάδας παραγωγής και από το συντελεστή ισχύος του φορτίου. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τις τάσεις όλων των ζυγών του δικτύου, για διεύθυνση διεσπαρμένης παραγωγής 7kW στον ζυγό 4, υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος των μονάδων παραγωγής.



*Διάγραμμα 8.12. : Τάση Κάθε Ζυγού Ως Προς Τον Συντελεστή Ισχύος Του Φορτίου*

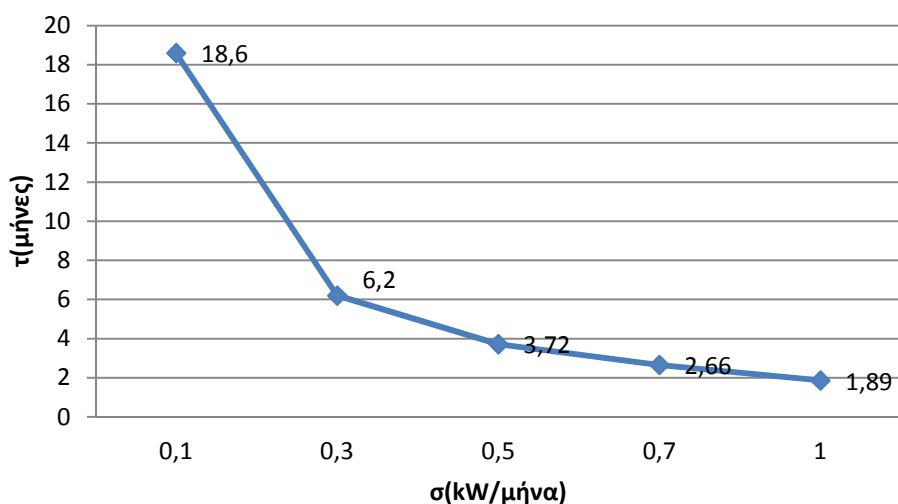
Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, η τάση κάθε ζυγού λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της για συντελεστή ισχύος φορτίου 0,9 χωρητικό, ενώ την ελάχιστη για συντελεστή ισχύος φορτίου 0,9 επαγωγικό.

#### **8.5. Εξάρτηση από το ρυθμό αύξησης φορτίου και το επιτόκιο αναγωγής**

Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε για εγκατάσταση 30kW διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4. Θεωρήθηκε πως τα φορτία λειτουργούν με συντελεστή ισχύος 0,95 επαγωγικό και οι μονάδες παραγωγής υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος. Σύμφωνα με τη θεωρητική προσέγγιση, ο χρόνος αναβολής της επένδυσης επηρεάζεται από το ρυθμό αύξησης του φορτίου, ενώ το κέρδος που αποκομίζουμε από το επιτόκιο αναγωγής.

### **8.5.1. Χρόνος αναβολής της επένδυσης ως προς το ρυθμό αύξησης φορτίου**

Το επιτόκιο αναγωγής θεωρήθηκε ίσο με 5% ανά έτος για τα διάφορα σενάρια αύξησης του φορτίου (0,1 kW/μήνα, 0,3 kW/μήνα, 0,5 kW/μήνα, 0,7 kW/μήνα και 1 kW/μήνα). Στο διάγραμμα 8.13. παρουσιάζεται η επίδραση του ρυθμού αύξησης του φορτίου στο χρόνο αναβολής της επένδυσης.

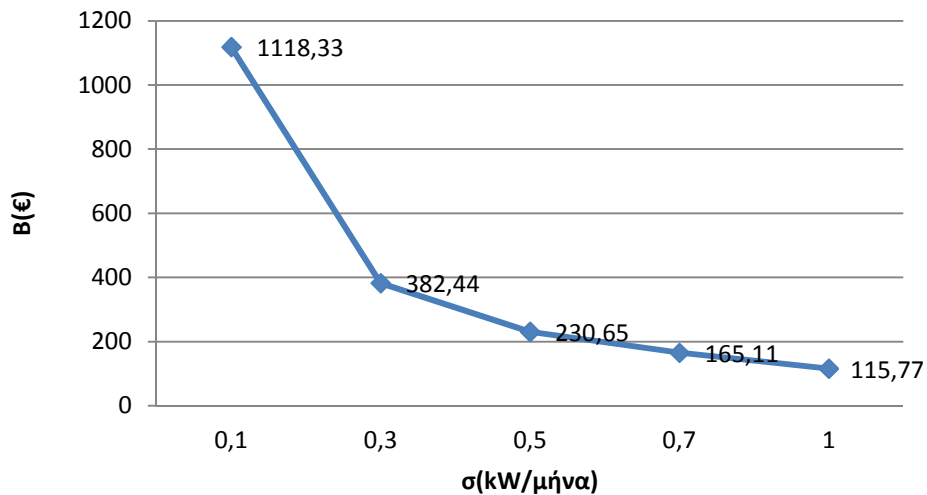


*Διάγραμμα 8.13.: Χρόνος Αναβολής Της Επένδυσης - Ρυθμός Αύξησης Του Φορτίου*

Όπως είναι φανερό, η αύξηση του ρυθμού αύξησης του φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου αναβολής της επένδυσης. Μεγάλη τιμή του ρυθμού αύξησης του φορτίου θα έχει σαν αποτέλεσμα την γρήγορη επιστροφή του ρεύματος στην τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και κατά συνέπεια μικρότερο χρόνο αναβολής της επένδυσης. Πρέπει να υπογραμμίσουμε, ότι ο χρόνος αναβολής της επένδυσης μένει ίδιος για όλες τις τιμές του επιτοκίου αναγωγής, για αντίστοιχες τιμές της αύξησης του φορτίου.

### **8.5.2. Οικονομικό όφελος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το ρυθμό αύξησης φορτίου**

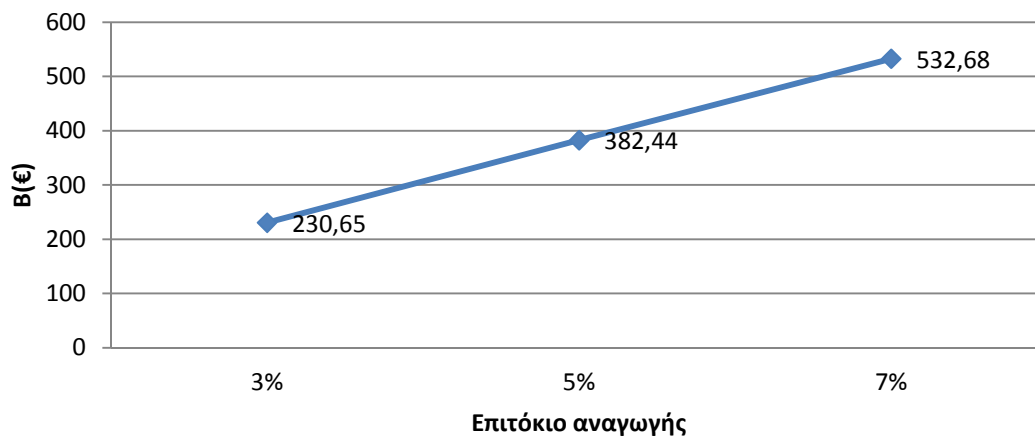
Συνέπεια της ελάττωσης του χρόνου αναβολής από την μηνιαία αύξηση του ρυθμού αύξησης του φορτίου, θα είναι τελικά και η μείωση του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης, η οποία φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 8.14.: Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης - Ρυθμός Αύξησης Του Φορτίου

### 8.5.3. Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης ως προς το επιτόκιο αναγωγής

Στη συνέχεια, για σταθερό ρυθμό αύξησης του φορτίου ίσο με 300W/μήνα, μελετήσαμε πώς επηρεάζεται το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης για έναν μετασχηματιστή, για τις διάφορες τιμές επιτοκίου αναγωγής που έχουμε υποθέσει. Για επιτόκιο 3%, 5% και 7%, οι τιμές του κέρδους απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



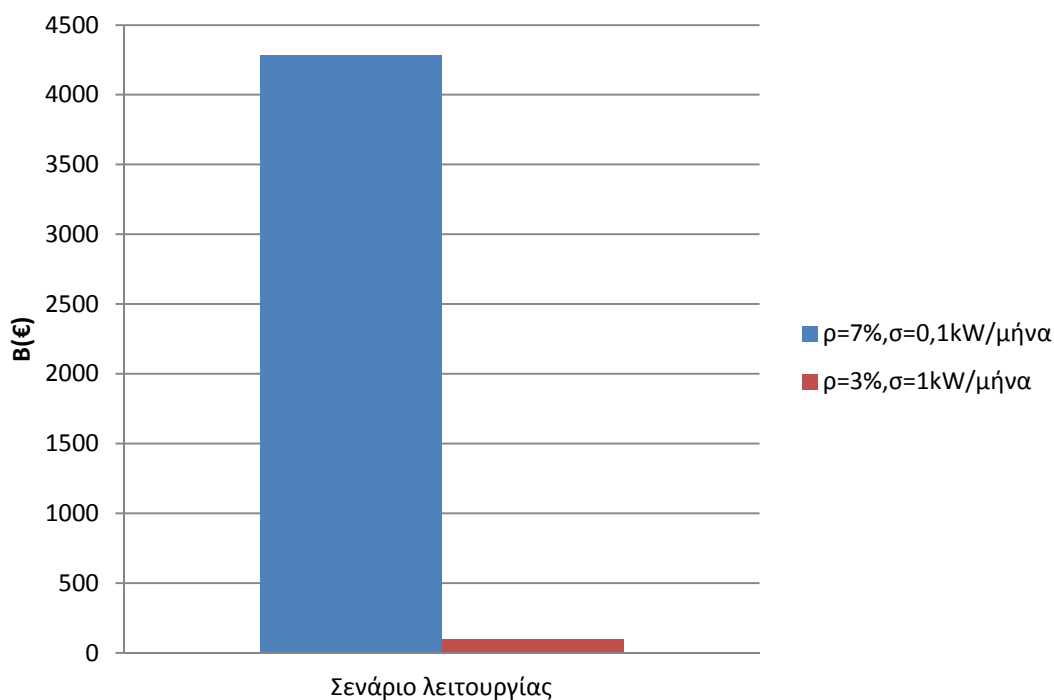
Διάγραμμα 8.15.: Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης - Επιτόκιο Αναγωγής

Όπως είναι φανερό από την παραπάνω γραφική παράσταση, το επιτόκιο αναγωγής επηρεάζει ουσιαστικά αναλογικά το κέρδος από τη αναβολή της επένδυσης. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το επιτόκιο αναγωγής τόσο μεγαλύτερο θα είναι το όφελος, αφού η διαφορά της αξίας της χρηματικής μονάδας τώρα και στο μέλλον θα είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα να αυξάνει και το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης. Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως το επιτόκιο αναγωγής επηρεάζει μόνο τα μεγέθη τα οποία εκφράζονται σε χρηματικές μονάδες,

όπως είναι το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης, εν αντιθέσει με το χρόνο αναβολής, που μένει σταθερός για τα διάφορα  $\rho$  και εξαρτάται από το ρυθμό αύξησης του φορτίου.

#### **8.5.4. Ευνοϊκότερο και δυσμενέστερο σενάριο λειτουργίας του δικτύου**

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως το ευνοϊκότερο σενάριο θα ήταν μικρός ρυθμός αύξησης του φορτίου και μεγάλο επιτόκιο αναγωγής, ενώ μεγάλος ρυθμός αύξησης φορτίου και μικρό επιτόκιο αναγωγής θα έχει τα αντίθετα αποτελέσματα. Σε όλες τις περιπτώσεις διείσδυσης που εξετάστηκαν, το μεγαλύτερο κέρδος από την αναβολή της επένδυσης για την αντικατάσταση του μετασχηματιστή των 400kVA, προέκυψε για  $\rho=7\%$  ανά έτος,  $\sigma=100\text{W}/\mu\eta\text{να}$  και συντελεστή ισχύος των μονάδων παραγωγής ίσο με 0,9 επαγωγικό. Αντίστοιχα, το μικρότερο κέρδος από την αναβολή της επένδυσης, προέκυψε για  $\rho=3\%$  ανά έτος,  $\sigma=1000\text{W}/\mu\eta\text{να}$  και συντελεστή ισχύος των μονάδων παραγωγής ίσο με 0,9 χωρητικό. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών ακραίων περιπτώσεων και η επίδραση τους στο κέρδος από την αναβολή της επένδυσης φαίνεται εποπτικά παρακάτω:



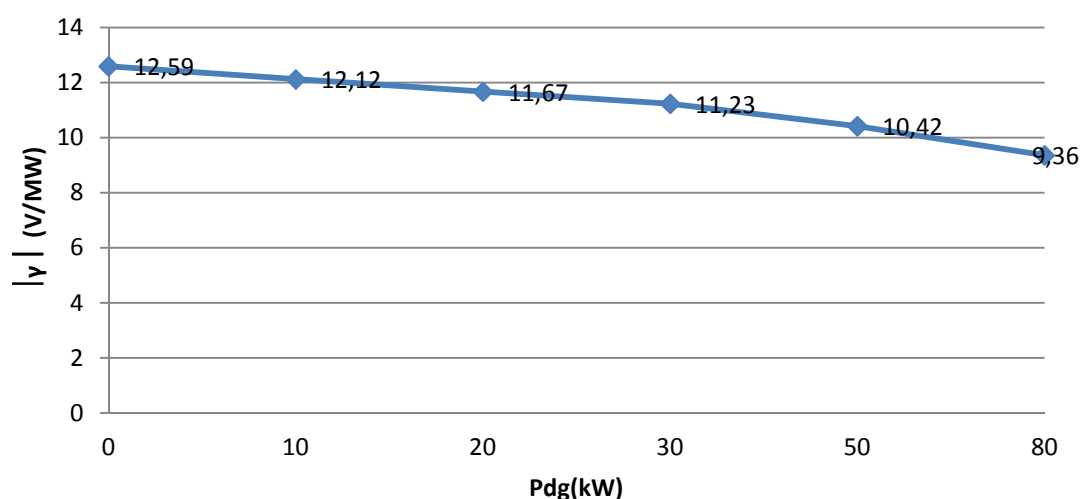
**Διάγραμμα 8.16.: Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης Για Το Ευνοϊκότερο Και Το Δυσμενέστερο Σενάριο Λειτουργίας Του Δικτύου**

## **8.6. Εξάρτηση τάσης από το επίπεδο διεσπαρμένης παραγωγής**

### **8.6.1. Εξάρτηση του συντελεστή ευαισθησίας τάσης από τη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής**

Για να εξετάσουμε τη μεταβολή της τάσης κάθε ζυγού, θα πρέπει να υπολογίσουμε την ευαισθησία της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου ως προς τη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής σε κάθε ζυγό.

Στη συνέχεια μπορούμε να δούμε την εξάρτηση του συντελεστή ευαισθησίας από το επίπεδο λειτουργίας του δικτύου. Συγκεκριμένα επιλέγουμε διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης, χωρίς διεσπαρμένη παραγωγή και με διεσπαρμένη παραγωγή της τάξεως των 10kW, 20kW, 30kW, 50kW και 80kW στο ζυγό 12. Ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι 0,95 επαγωγικός και της μονάδας παραγωγής μοναδιαίος. Η ευαισθησία της τάσης του ζυγού 1 ως προς την εγκατεστημένη ισχύ διεσπαρμένης παραγωγής στο ζυγό 12 απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



*Διάγραμμα 8.17.: Συντελεστής Ευαισθησίας Τάσης Του Ζυγού 1 - Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής Στο Ζυγό 12*

Όπως μπορούμε να δούμε από το σχήμα η ευαισθησία της τάσης ενός συγκεκριμένου ζυγού μεταβάλλεται σε μικρό βαθμό σε σχέση με τα επίπεδα διείσδυσης και μπορεί να θεωρηθεί σταθερός.

### **8.6.2. Βελτίωση του επιπέδου της τάσης λόγω διεσπαρμένης παραγωγής**

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η βελτίωση του επιπέδου της τάσης των ζυγών του δικτύου, λόγω της παρουσίας μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Οι τιμές της τάσης υπολογίστηκαν, με τη βοήθεια του Matlab, μέσω της μεθόδου Newton-Raphson από την επίλυση των εξισώσεων ροής φορτίου, για διαφορετικές τιμές της διεσπαρμένης παραγωγής, που εγκαταστάθηκε στο ζυγό 12. Ο συντελεστής ισχύος του φορτίου θεωρήθηκε 0,95 επαγωγικός και των μονάδων παραγωγής μοναδιαίος.

Ζυγός i	$V_{\text{χωρίς DG}}$ (V)	$V_{\text{DG=10Kw}}$ (V)	$V_{\text{DG=20kw}}$ (V)	$V_{\text{DG=30kw}}$ (V)	$V_{\text{DG=50kw}}$ (V)	$V_{\text{DG=80kw}}$ (V)
1	394,4087	394,5322	394,6511	394,7656	394,982	395,2776
2	394,3501	394,4736	394,5925	394,707	394,9235	395,2191
3	388,6299	388,7554	388,8761	388,9924	389,2121	389,5122
4	386,4226	386,5488	386,6702	386,7871	387,0081	387,31
5	385,501	385,6275	385,7492	385,8664	386,0879	386,3905
6	384,696	384,8227	384,9447	385,0621	385,2841	385,5873
7	382,6661	382,7936	382,9162	383,0343	383,2575	383,5624
8	387,5187	387,6445	387,7656	387,8821	388,1024	388,4033
9	391,5121	391,9552	392,3879	392,8106	393,628	394,7891
10	388,567	389,6447	390,7013	391,7375	393,7525	396,6427
11	386,0115	387,9816	389,917	391,8192	395,5299	400,8802
12	384,8223	387,6781	390,4861	393,2486	398,6446	406,4423
13	390,2853	390,7298	391,1639	391,588	392,4079	393,5727
14	389,7339	390,179	390,6137	391,0384	391,8595	393,0259
15	387,3434	388,4246	389,4844	390,5239	392,5451	395,4442
16	386,9669	388,0491	389,11	390,1505	392,1736	395,0755
17	400	400	400	400	400	400

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5.: ΤΑΣΗ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι με τη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής, αυξάνεται η τάση σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Επίσης, όσο μεγαλύτερο το επίπεδο διείσδυσης, τόσο περισσότερο βελτιώνεται η τάση των ζυγών. Εφόσον ο ζυγός 17 είναι ο ζυγός ταλάντωσης του συστήματος, λειτουργεί πάντα υπό ονομαστική τάση 400V. Τέλος, πρέπει να τονίσουμε, πως ο ζυγός 12, στον οποίο τοποθετήθηκαν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, εμφανίζει τη μεγαλύτερη βελτίωση. Στην περίπτωση των 80kW, μάλιστα, η τάση του ζυγού 12 ξεπερνά τα 400V, βρίσκεται όμως μέσα στα αποδεκτά όρια.

### **8.7. Ταυτόχρονη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής σε περισσότερους από έναν ζυγούς**

Μέχρι τώρα, για την μελέτη των οικονομικών μεγεθών του δικτύου, υποθέσαμε, διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής σε έναν μόνο ζυγό του δικτύου. Στη συνέχεια, εξετάζουμε τα ίδια μεγέθη για ταυτόχρονη διείσδυση σε παραπάνω από έναν ζυγούς. Εκτός από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις λειτουργίας, η μελέτη επεκτάθηκε στα παρακάτω σενάρια:

- Ταυτόχρονη τοποθέτηση 20kW στο ζυγό 4 και 30kW στο ζυγό 5
- Ταυτόχρονη τοποθέτηση 20kW στους ζυγούς 4,6 και 12
- Ταυτόχρονη τοποθέτηση 30kW στον ζυγό 4, 20kW στον ζυγό 8, 10kW στον ζυγό 9 και 20kW στον ζυγό 12.

#### **8.7.1. Μεταβολή του συντελεστή ευαισθησίας ρεύματος, του χρόνου αναβολής και του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης για ταυτόχρονη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής**

Ο πίνακας 8.6. δείχνει τις τιμές του ρεύματος της γραμμής 17-1 για κάθε σενάριο διείσδυσης, για κατάσταση λειτουργίας του δικτύου με συντελεστή ισχύος φορτίου και γεννήτριας 0,95 επαγωγικό:

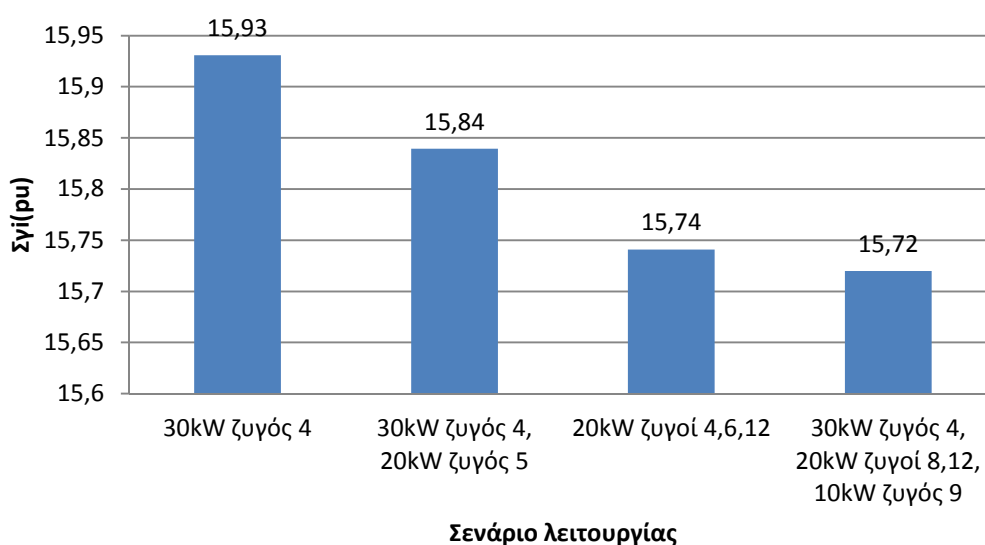
<b>Σενάριο διείσδυσης</b>	<b>I<sub>17-1</sub> (pu)</b>
0 kW	2,498695
10 kW στον ζυγό 4	2,386136
10 kW στον ζυγό 6	2,385468
10 kW στον ζυγό 12	2,385787
20 kW στον ζυγό 4	2,274414
20 kW στον ζυγό 6	2,273119
20 kW στον ζυγό 12	2,274844
30 kW στον ζυγό 4	2,163509
30 kW στον ζυγό 6	2,163474
30 kW στον ζυγό 12	2,165726
50 kW στον ζυγό 4	1,944085
50 kW στον ζυγό 6	1,947061
50 kW στον ζυγό 12	1,952739
80 kW στον ζυγό 4	1,620648
80 kW στον ζυγό 6	1,632032
80 kW στον ζυγό 12	1,645065
30kW στον ζυγό 4, 20kW στον ζυγό 5	1,943696
20kW στον ζυγούς 4, 6, 12	1,830145
30kW στον ζυγό 4, 20kW στον ζυγό 8, 10kW στον ζυγό 9, 20kW στον ζυγό 12	1,611235

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6.: ΡΕΥΜΑ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ 17-1 ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ**



Στον παραπάνω πίνακα διακρίνουμε ότι η τιμή του ρεύματος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το επίπεδο της διεσπαρμένης παραγωγής και όχι τόσο πολύ, από τον ζυγό στον οποίο τοποθετείται η μονάδα. Δηλαδή, όσο αυξάνεται η συμμετοχή της διεσπαρμένης παραγωγής τόσο μειώνεται η τιμή του ρεύματος που διαρρέει τη γραμμή 17-1. Για ίδια kW διείσδυσης παρατηρούνται παραπλήσιες τιμές του ρεύματος, ανεξάρτητα από τον ζυγό εγκατάστασης της μονάδας. Συγκεκριμένα, όταν η συνολική διείσδυση 80 kW κατανέμεται σε τέσσερις ζυγούς, η τιμή του ρεύματος είναι σχεδόν ίδια με αυτήν που παίρνει για διείσδυση 80 kW από έναν μόνο ζυγό.

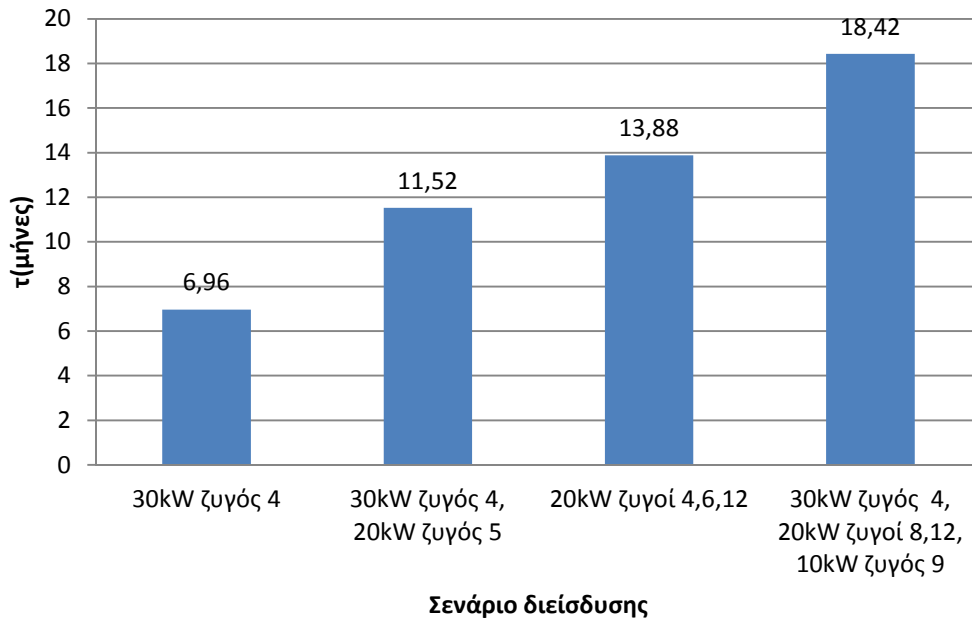
Το διάγραμμα 8.18. θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε το πώς η ταυτόχρονη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής επιδρά στο άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας του ρεύματος της γραμμής 17-1.



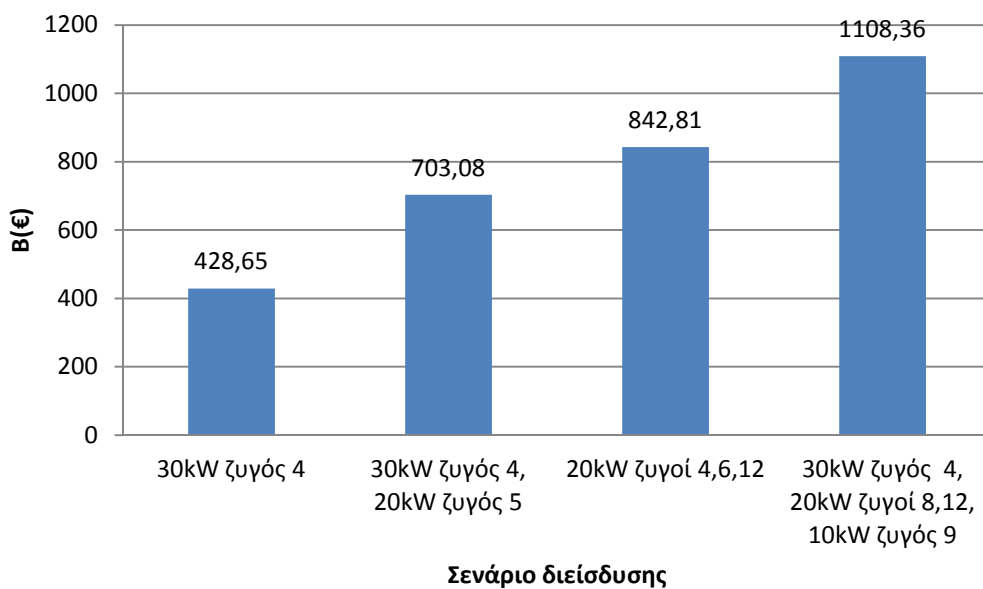
**Διάγραμμα 8.18. : Συντελεστής Ευαισθησίας Ρεύματος Για Τη Γραμμή 17-1 Για Κάθε Σενάριο Λειτουργίας**

Όπως αναμέναμε, η τιμή του αθροίσματος των συντελεστών ευαισθησίας μειώνεται όσο αυξάνεται το συνολικό επίπεδο διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής. Η μείωση αυτή όμως είναι πολύ μικρή, γεγονός που επαληθεύει την αρχική μας υπόθεση, ότι μπορεί να θεωρηθεί σταθερός.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται ο χρόνος αναβολής της επένδυσης ενός μετασχηματιστή Μέσης Τάσης-Χαμηλής Τάσης και το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης αυτής, θεωρώντας το κόστος αντικατάστασης ενός τέτοιου μετασχηματιστή 15000€. Οι μετρήσεις έγιναν για πολλά σενάρια λειτουργίας του δικτύου, αλλά ενδεικτικά παρουσιάζεται η περίπτωση λειτουργίας του δικτύου, με μηνιαίο ρυθμό αύξησης φορτίου 300kW και επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5%.



Διάγραμμα 8.19. : Χρόνος Αναβολής Επένδυσης - Σενάριο Διεύδυσης



Διάγραμμα 8.20.: Κέρδος Από Την Αναβολή Της Επένδυσης - Σενάριο Διεύδυσης

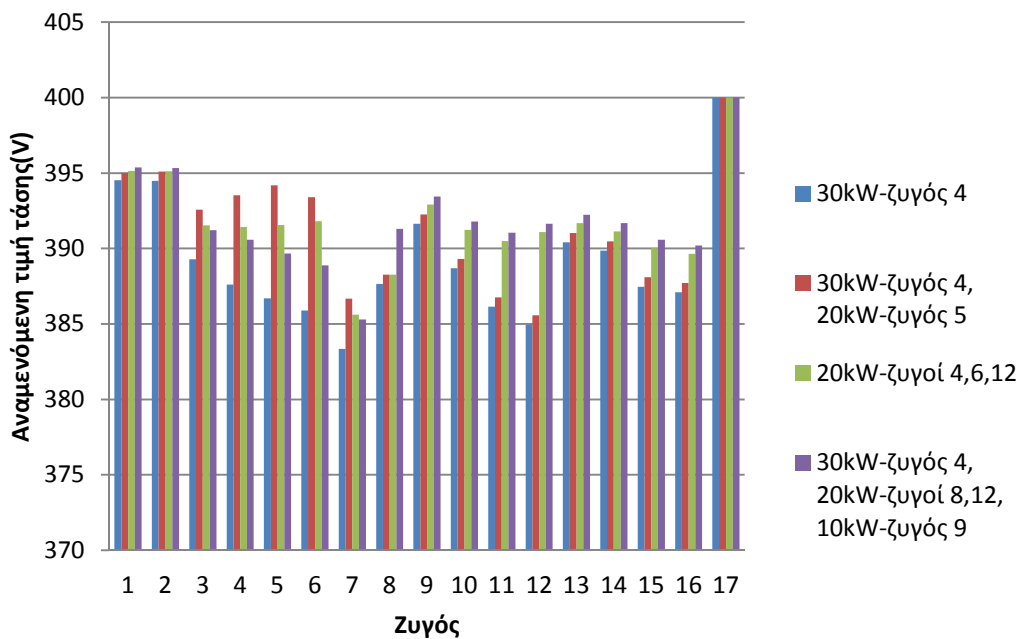
Διαπιστώνουμε ότι, για τα διάφορα σενάρια διεύδυσης, υπάρχει αύξηση τόσο του χρόνου αναβολής της επένδυσης σε μετασχηματιστές όσο και του κέρδους που προκύπτει από την αναβολή αυτή, όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Και σε αυτήν την περίπτωση, συμπεραίνουμε πως οι τιμές του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους κυμαίνονται στα επίπεδα των αντίστοιχων τιμών, που λαμβάνουν για ισόποση διεύδυση τοποθετημένη σε ένα μόνο ζυγό, εμφανίζοντας μια μικρή αύξηση της τάξεως του 1%. Για παράδειγμα, παρατηρούμε πως στην περίπτωση όπου έχουμε εγκατάσταση 30kW

στον ζυγό 4, 20kW στον ζυγό 8 και στον ζυγό 12, και 10kW στον ζυγό 9 (δηλαδή συνολικά 80kW), ο συνολικός χρόνος αναβολής της επένδυσης είναι 18,42 μήνες και το κέρδος που προκύπτει από αυτή ίσο με 1108,36€. Αντίστοιχα, στην περίπτωση που έχουμε εγκατάσταση 80kW στο ζυγό 4, για τις ίδιες τιμές ρυθμού αύξησης φορτίου και επιτοκίου, η τιμή του χρόνου αναβολής της επένδυσης είναι 18,23 μήνες ενώ το κέρδος υπολογίζεται γύρω στα 1097€. Παραπλήσιες τιμές προκύπτουν και για τοποθέτηση 80kW είτε στο ζυγό 6 είτε στο ζυγό 12.

### **8.7.2. Μεταβολή της αναμενόμενης και της πραγματικής τάσης των ζυγών του δικτύου για ταυτόχρονη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής**

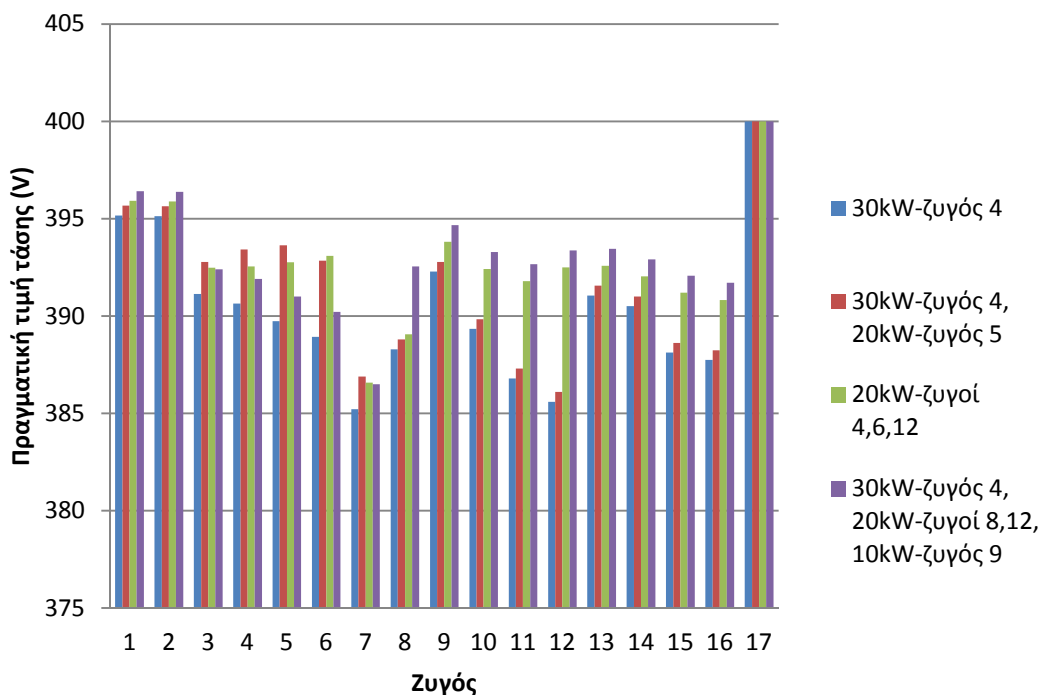
Στο σημείο αυτό, θα σχολιάσουμε πως μεταβάλλεται η τάση όλων των ζυγών, από την ταυτόχρονη τοποθέτηση πολλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής σε διάφορους ζυγούς του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί, ότι αναμένεται βελτίωση-αύξηση της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου, λόγω της παρουσίας διεσπαρμένης παραγωγής. Στις περιπτώσεις ταυτόχρονης διείσδυσης που μελετήθηκαν, οι συντελεστές ισχύος έλαβαν όλες τις πιθανές τιμές. Στα διαγράμματα 8.21 και 8.22 οι μονάδες παραγωγής λειτουργούν υπό συντελεστή ισχύος 0,95 επαγωγικό, ενώ ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι επίσης 0,95 επαγωγικός.

Όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα, η αναμενόμενη τιμή της τάσης των ζυγών θα είναι αυξημένη σε σχέση με την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Ειδικότερα, μπορούμε να εστιάσουμε στο γεγονός ότι, η τιμή αυτή, που υπολογίζεται μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας της τάσης χωρίς διεσπαρμένη παραγωγή, φαίνεται να λαμβάνει τις υψηλότερες τιμές όταν έχουμε αθροιστικά σε όλους τους ζυγούς την μεγαλύτερη διείσδυση. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι, ανάλογα με το ζυγό στον οποίο έχουμε εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής, το επίπεδο της τάσης βελτιώνεται περισσότερο στους πλησιέστερους σε αυτόν ζυγούς, σύμφωνα με την τοπολογία του δικτύου. Γι αυτό τον λόγο, εξηγείται και η μεγαλύτερη αύξηση της τάσης των ζυγών 3, 4, 5, 6 και 7 από την εγκατάσταση 30kW στο ζυγό 4 και 20kW στο ζυγό 5, συγκριτικά με την εγκατάσταση 30kW στο ζυγό 4, 20kW στους ζυγούς 8,12 και 10kW στο ζυγό 9. Αν αναλογιστούμε ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην πρώτη περίπτωση είναι 50kW, ενώ στη δεύτερη 80kW, θα περιμέναμε τα αντίθετα αποτελέσματα εξαιτίας της αύξησης του επιπέδου διείσδυσης.



*Διάγραμμα 8.21.: Θεωρητικά Αναμενόμενη Τιμή Της Τάσης Για Κάθε Ζυγό Και Κάθε Πιθανό Σενάριο Διείσδυσης*

Η πραγματική τιμή της τάσης, η οποία υπολογίζεται με χρήση του προγράμματος Matlab, από την επίλυση των εξισώσεων της ροής φορτίου, μέσω της μεθόδου Newton-Raphson, επιβεβαιώνει όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, πράγμα που δείχνει ότι η ανάλυση ευαισθησίας της τάσης μας οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα.



*Διάγραμμα 8.22.: Πραγματική Τιμή Της Τάσης Για Κάθε Ζυγό Και Κάθε Πιθανό Σενάριο Διείσδυσης*

## 8.8. Εξέταση της ορθότητας του ισχυρισμού πως οι συντελεστές ευαισθησίας μπορούν να θεωρηθούν σταθεροί

### 8.8.1. Συντελεστές ευαισθησίας τάσης και μεταβολή των τάσεων των ζυγών του δικτύου

Για μια δεδομένη φόρτιση του δικτύου, υπολογίσαμε τους συντελεστές ευαισθησίας της τάσης ως προς κάθε ζυγό στον οποίο έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή. Ήδη από το πρόσημο των συντελεστών ευαισθησίας ήμασταν σε θέση να γνωρίζουμε αν η παρουσία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής επιδρά με αυξητικό τρόπο ή όχι στις τάσεις των ζυγών του δικτύου. Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια τους συντελεστές ευαισθησίας της τάσης και σύμφωνα με τον ορισμό της παραπάνω ευαισθησίας, επιχειρήσαμε να προβλέψουμε την τελική τιμή που θα έπαιρνε η τάση μετά την εγκατάσταση της διεσπαρμένης παραγωγής, σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\gamma_{ki} = \frac{d\tilde{V}_{ki}}{dP_{di}} \Rightarrow \tilde{V}'_{ki} = \gamma_{ki} \cdot (-\Delta P_{DG}) + \tilde{V}_{ki} \Rightarrow \tilde{V}'_k = \sum_i (\gamma_{ki} \cdot (-\Delta P_{DG})) + \tilde{V}_{ki} \quad (8.5)$$

Τα αποτελέσματα που παραθέτονται στη συνέχεια δείχνουν τις αντίστοιχες τιμές της τάσης, για εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής στο ζυγό 4 υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος, και συντελεστή ισχύος φορτίου 0,95 επαγωγικό.

- Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι αναμενόμενες τιμές της τελικής τάσης κάθε ζυγού, οι οποίες προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας, χρησιμοποιώντας ως συντελεστές ευαισθησίας τάσης αυτούς που μας δίνει το πρόγραμμα Matlab πριν την διείδυση της διεσπαρμένης παραγωγής.

Ζυγός	Τιμή συντελεστή ευαισθησίας τάσης χωρίς διεσπαρμένη παραγωγή	Αρχική Τάση (V)	Αναμενόμενη τιμή τάσης V'(V)				
			Για P <sub>DG</sub> =10kW	Για P <sub>DG</sub> =20kW	Για P <sub>DG</sub> =30kW	Για P <sub>DG</sub> =50kW	Για P <sub>DG</sub> =80kW
1	-12,1063	394,4087	394,5298	394,6508	394,5298	395,014	395,3772
2	-12,5343	394,3501	394,4754	394,6008	394,4754	394,9768	395,3528
3	-65,5688	388,6299	389,2856	389,9413	389,2856	391,9084	393,8755
4	-118	386,4226	387,6026	388,7826	387,6026	392,3226	395,8626
5	-118,284	385,501	386,6838	387,8667	386,6838	391,4152	394,9637
6	-118,532	384,696	385,8813	387,0666	385,8813	390,6225	394,1785
7	-66,6071	382,6661	383,3322	383,9983	383,3322	385,9965	387,9947
8	-12,3255	387,5187	387,642	387,7652	387,642	388,135	388,5048
9	-12,1982	391,5121	391,6341	391,756	391,6341	392,122	392,4879
10	-12,2927	388,567	388,6899	388,8128	388,6899	389,1816	389,5504
11	-12,3748	386,0115	386,1352	386,259	386,1352	386,6302	387,0015
12	-12,4132	384,8223	384,9464	385,0706	384,9464	385,4429	385,8153
13	-12,2367	390,2853	390,4077	390,5301	390,4077	390,8972	391,2643
14	-12,254	389,7339	389,8565	389,979	389,8565	390,3466	390,7142

15	-12,3316	387,3434	387,4667	387,59	387,4667	387,96	388,3299
16	-12,3436	386,9669	387,0903	387,2138	387,0903	387,5841	387,9544
17	0	400	400	400	400	400	400

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7.: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

- Μετά την εγκατάσταση 10kW στον ζυγό 4, οι συντελεστές ευαισθησίας τάσης μεταβάλλονται και το πρόγραμμα Matlab μας δίνει τις νέες τους τιμές. Χρησιμοποιώντας λοιπόν, τις τιμές αυτές στις σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας, προκύπτουν νέες αναμενόμενες τιμές για την τάση όλων ζυγών του δικτύου μετά την τοποθέτηση ακόμα 10kW στον ζυγό 4 (συνολικά 20kW). Οι τιμές αυτές, δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί και συγκρίνονται ταυτόχρονα με την πραγματική τιμή της τάσης που παίρνουμε από το πρόγραμμα Matlab καθώς επίσης και με τις αναμενόμενες τιμές τελικής τάσης, που έχουμε όταν χρησιμοποιούμε τους αρχικούς συντελεστές ευαισθησίας, πριν την προσθήκη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα μεγέθη που περιλαμβάνονται στον πίνακα είναι τα εξής:

**V10:** η τάση των ζυγών που προκύπτει μετά την τοποθέτηση 10kW στον ζυγό 4 όπως δίνεται από το πρόγραμμα Matlab

**γ10:** η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας τάσης όπως υπολογίζεται από το Matlab μετά την τοποθέτηση 10kW στον ζυγό 4

**V20'':** η τιμή της τάσης μετά την εγκατάσταση ακόμα 10kW στον ζυγό 4 (δηλαδή συνολικά 20kW), η οποία προκύπτει αν στις σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιήσουμε τους συντελεστές **γ10**

**Vπραγ20:** η πραγματική τιμή της τάσης που προκύπτει για 20kW εγκατεστημένης ισχύος διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4, όπως υπολογίζεται από το Matlab

**V20':** η αναμενόμενη τιμή της τάσης για εγκατάσταση 20kW στον ζυγό 4, την οποία υπολογίσαμε μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ευαισθησίας τάσης που έχουμε πριν την διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής

**|V'-V''|:** η διαφορά μεταξύ της τιμής τάσης που προκύπτει αν στην ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιήσουμε τους συντελεστές που υπολογίσαμε πριν την εισαγωγή διεσπαρμένης παραγωγής και της τιμής που προκύπτει αν, αντίθετα, χρησιμοποιήσουμε του συντελεστές μετά την εγκατάσταση της διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4

**|Vπραγμ-V''|:** η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής της τάσης που υπολογίζει το Matlab, μέσω της επίλυσης των εξισώσεων ροής φορτίου και αυτής που υπολογίζουμε από τις σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας, με χρήση των αντίστοιχων συντελεστών ευαισθησίας τάσης για κάθε επίπεδο διείσδυσης.

Ζυγός	V10 (V)	$\gamma_{10}$ (V/MW)	V20'' (V)	Vπραγ20 (V)	V20' (V)	V'-V''  (V)	Vπραγμ-V''  (V)
1	394,6643	-11,9114	394,7834	394,9176	394,6508	0,132545	0,134216
2	394,6113	-12,3358	394,7346	394,8702	394,6008	0,133865	0,135565
3	389,4736	-64,9935	390,1236	390,3107	389,9413	0,182236	0,187159
4	387,8409	-117,054	389,0114	389,2484	388,7826	0,228855	0,23696
5	386,9227	-117,334	388,096	388,3336	387,8667	0,229372	0,237513
6	386,1206	-117,578	387,2964	387,5344	387,0666	0,229824	0,237997
7	383,5232	-66,018	384,1833	384,3734	383,9983	0,185045	0,190079
8	387,7789	-12,1267	387,9002	388,0368	387,7652	0,134938	0,136639
9	391,7696	-12,0017	391,8896	392,0248	391,756	0,133548	0,135232
10	388,8264	-12,0945	388,9474	389,0837	388,8128	0,13458	0,136276
11	386,2727	-12,1752	386,3945	386,5316	386,259	0,135477	0,137185
12	385,0843	-12,2129	385,2064	385,3441	385,0706	0,135896	0,137609
13	390,5436	-12,0395	390,664	390,7997	390,5301	0,133969	0,135658
14	389,9926	-12,0566	390,1132	390,249	389,979	0,134158	0,135849
15	387,6037	-12,1328	387,725	387,8617	387,59	0,135006	0,136707
16	387,2275	-12,1446	387,3489	387,4857	387,2138	0,135137	0,13684
17	400	0	400	400	400	0	0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 20kW**

- Μετά την εγκατάσταση συνολικά 20kW στον ζυγό 4, οι συντελεστές ευαισθησίας τάσης μεταβάλλονται ξανά. Οι τιμές αυτές της αναμενόμενης τιμής της τάσης μετά την τοποθέτηση 10kW επιπλέον στον ζυγό 4 (συνολικά 30kW), δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί και συγκρίνονται ταυτόχρονα με την πραγματική τιμή της τάσης που παίρνουμε από το πρόγραμμα Matlab καθώς επίσης και με τις αναμενόμενες τιμές τελικής τάσης, που έχουμε όταν χρησιμοποιούμε τους αρχικούς συντελεστές ευαισθησίας, πριν την προσθήκη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα μεγέθη που περιλαμβάνονται στον πίνακα είναι, όπως είπαμε παραπάνω, τα εξής:

**V20:** η τάση των ζυγών που προκύπτει για την τοποθέτηση 20kW στον ζυγό 4 όπως δίνεται από το πρόγραμμα Matlab

**$\gamma_{20}$** : η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας τάσης όπως υπολογίζεται από το Matlab μετά την τοποθέτηση 20kW στον ζυγό 4

**V30''**: η τιμή της τάσης μετά την εγκατάσταση ακόμα 10kW στον ζυγό 4 (δηλαδή συνολικά 30kW), η οποία προκύπτει αν στις σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιήσουμε τους συντελεστές  **$\gamma_{20}$**

**Vπραγ30**: η πραγματική τιμή της τάσης που προκύπτει για 30kW εγκατεστημένης ισχύος διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4, όπως υπολογίζεται από το Matlab

**V30'**: η αναμενόμενη τιμή της τάσης για εγκατάσταση 30kW στον ζυγό 4, την οποία υπολογίσαμε μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ευαισθησίας τάσης που έχουμε πριν την διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής.

Ζυγός	V20 (V)	$\gamma_{20}$ (V/MW)	V30'' (V)	Vπραγ30 (V)	V30' (V)	V'-V''  (V)	Vπραγμ-V''  (V)
1	394,9176	-11,7209	395,0348	395,1687	394,5298	0,505032	0,133943
2	394,8702	-12,1418	394,9916	395,1269	394,4754	0,516191	0,135288
3	390,3107	-64,431	390,955	391,1414	389,2856	1,669393	0,186346
4	389,2484	-116,13	390,4097	390,6453	387,6026	2,807115	0,23564
5	388,3336	-116,405	389,4976	389,7338	386,6838	2,813776	0,236186
6	387,5344	-116,646	388,7009	388,9375	385,8813	2,819597	0,236664
7	384,3734	-65,4421	385,0278	385,2171	383,3322	1,695616	0,189241
8	388,0368	-11,9325	388,1561	388,2925	387,642	0,514156	0,136359
9	392,0248	-11,8096	392,1429	392,2779	391,6341	0,508858	0,134956
10	389,0837	-11,9008	389,2027	389,3387	388,6899	0,51279	0,135997
11	386,5316	-11,9801	386,6514	386,7883	386,1352	0,516211	0,136902
12	385,3441	-12,0171	385,4642	385,6016	384,9464	0,517808	0,137325
13	390,7997	-11,8468	390,9182	391,0535	390,4077	0,510461	0,135381
14	390,249	-11,8635	390,3676	390,5032	389,8565	0,511183	0,135572
15	387,8617	-11,9384	387,9811	388,1175	387,4667	0,514413	0,136427
16	387,4857	-11,95	387,6052	387,7418	387,0903	0,514913	0,136559
17	400	0	400	400	400	0	0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9. : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ 30 kW**



- Οι τιμές αυτές της αναμενόμενης τιμής της τάσης μετά την τοποθέτηση 20kW επιπλέον στον ζυγό 4 (συνολικά 50kW), δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Τα μεγέθη που περιλαμβάνονται στον πίνακα είναι, τα εξής:

**V30:** η τάση των ζυγών που προκύπτει για τοποθέτηση 30kW στον ζυγό 4 όπως δίνεται από το πρόγραμμα Matlab

**γ30:** η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας τάσης όπως υπολογίζεται από το Matlab για τοποθέτηση 30kW στον ζυγό 4

**V50'':** η τιμή της τάσης μετά την εγκατάσταση ακόμα 20kW στον ζυγό 4 (δηλαδή συνολικά 50kW), η οποία προκύπτει αν στις σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιήσουμε τους συντελεστές **γ30**

**Vπραγ50:** η πραγματική τιμή της τάσης που προκύπτει για 50kW εγκατεστημένης ισχύος διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4, όπως υπολογίζεται από το Matlab

**V50':** η αναμενόμενη τιμή της τάσης μετά την εγκατάσταση 50kW στον ζυγό 4, την οποία υπολογίσαμε μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ευαισθησίας τάσης που έχουμε πριν την διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής.

Ζυγός	V30 (V)	γ30 (V/MW)	V50'' (V)	Vπραγ50 (V)	V50' (V)	V'-V''  (V)	Vπραγμ-V''  (V)
1	395,1687	-11,5345	395,3994	395,6647	395,014	0,385413	0,265229
2	395,1269	-11,952	395,3659	395,6338	394,9768	0,389149	0,267867
3	391,1414	-63,8809	392,419	392,7839	391,9084	0,510603	0,36488
4	390,6453	-115,226	392,9499	393,4084	392,3226	0,627288	0,458511
5	389,7338	-115,497	392,0437	392,5033	391,4152	0,628565	0,459544
6	388,9375	-115,734	391,2522	391,7127	390,6225	0,629681	0,460446
7	385,2171	-64,8789	386,5147	386,8851	385,9965	0,518149	0,370468
8	388,2925	-11,7424	388,5274	388,7974	388,135	0,392345	0,269999
9	392,2779	-11,6217	392,5103	392,7775	392,122	0,388319	0,267229
10	389,3387	-11,7113	389,5729	389,8422	389,1816	0,391307	0,269285
11	386,7883	-11,7893	387,0241	387,2952	386,6302	0,393906	0,271073
12	385,6016	-11,8257	385,8381	386,11	385,4429	0,395119	0,271908
13	391,0535	-11,6582	391,2867	391,5548	390,8972	0,389538	0,268067
14	390,5032	-11,6747	390,7367	391,0051	390,3466	0,390086	0,268445

15	388,1175	-11,7483	388,3525	388,6226	387,96	0,39254	0,270133
16	387,7418	-11,7597	387,977	388,2474	387,5841	0,39292	0,270394
17	400	0	400	400	400	0	0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.10.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ 50 kW**

- Τέλος, μετά την τοποθέτηση 30kW επιπλέον στον ζυγό 4, προκύπτει η τιμή της τάσης των ζυγών για συνολική εγκατεστημένη ισχύ 80kW. Σε αντιστοιχία με τα παραπάνω έχουμε:

**V50:** η τάση των ζυγών που προκύπτει για τοποθέτηση 50kW στον ζυγό 4 όπως δίνεται από το πρόγραμμα Matlab

**γ50:** η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας τάσης όπως υπολογίζεται από το Matlab για την τοποθέτηση 50kW στον ζυγό 4

**V80'':** η τιμή της τάσης μετά την εγκατάσταση ακόμα 30kW στον ζυγό 4 (δηλαδή συνολικά 80kW), η οποία προκύπτει αν στις σχέσεις ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιήσουμε τους συντελεστές **γ50**

**Vπραγ80:** η πραγματική τιμή της τάσης που προκύπτει για 80kW εγκατεστημένης ισχύος διεσπαρμένης παραγωγής στον ζυγό 4, όπως υπολογίζεται από το Matlab

**V80':** η αναμενόμενη τιμή της τάσης μετά την εγκατάσταση 80kW στον ζυγό 4, την οποία υπολογίσαμε μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ευαισθησίας τάσης που έχουμε πριν την διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής.

Ζυγός	V50 (V)	γ50 (V/MW)	V80'' (V)	Vπραγ80 (V)	V80' (V)	V'-V''  (V)	Vπραγμ-V''  (V)
1	395,6647	-11,1737	395,9999	396,3934	395,3772	0,622663	0,393531
2	395,6338	-11,5847	395,9813	396,3788	395,3528	0,628528	0,397403
3	392,7839	-62,816	394,6683	395,2028	393,8755	0,792897	0,534424
4	393,4084	-113,476	396,8127	397,4793	395,8626	0,950097	0,666652
5	392,5033	-113,74	395,9155	396,5836	394,9637	0,951788	0,6681
6	391,7127	-113,97	395,1318	395,8011	394,1785	0,953266	0,669366
7	386,8851	-63,7888	388,7988	389,3412	387,9947	0,804067	0,54246
8	388,7974	-11,3746	389,1386	389,5392	388,5048	0,633818	0,400581

9	392,7775	-11,2579	393,1153	393,5118	392,4879	0,62734	0,396487
10	389,8422	-11,3445	390,1825	390,582	389,5504	0,632148	0,399526
11	387,2952	-11,4198	387,6378	388,04	387,0015	0,636329	0,402169
12	386,11	-11,455	386,4536	386,857	385,8153	0,638281	0,403403
13	391,5548	-11,2932	391,8936	392,2913	391,2643	0,629301	0,397726
14	391,0051	-11,3091	391,3444	391,7427	390,7142	0,630183	0,398284
15	388,6226	-11,3802	388,9641	389,3648	388,3299	0,634132	0,40078
16	388,2474	-11,3913	388,5891	388,9903	387,9544	0,634743	0,401166
17	400	0	400	400	400	0	0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.11.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ 80kW**

### Συμπέρασμα

Παρατηρώντας προσεκτικά τους παραπάνω πίνακες, διαπιστώνουμε κατ' αρχάς πως η διαφορά ανάμεσα στην τιμή της αναμενόμενης τάσης, η οποία προκύπτει με χρήση των συντελεστών ευαισθησίας που υπολογίζονται πριν τη διεύθυνση διεσπαρμένης παραγωγής, και την τιμή της τάσης που προκύπτει αν στην ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιήσουμε τους διορθωμένους συντελεστές, είναι απειροελάχιστα μικρή. Στις περισσότερες περιπτώσεις η διαφορά αυτή είναι αρκετά μικρότερη του 1V, ενώ η μέγιστη τιμή της φθάνει τα 2,8V. Συνεπώς, είναι ασφαλές να θεωρήσουμε πως η αρχική μας υπόθεση, ότι δηλαδή η μικρή μεταβολή των συντελεστών ευαισθησίας δε θα επέφερε καμία σημαντική αλλαγή στα προς μελέτη μεγέθη, είναι ορθή. Το συμπέρασμα μας αυτό, μας επιτρέπει να θεωρήσουμε τους συντελεστές ευαισθησίας σταθερούς και ανεξάρτητους από την διεύθυνση της διεσπαρμένης παραγωγής, καθώς επίσης και να χρησιμοποιήσουμε τις αρχικές τιμές τους για τον υπολογισμό των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν, χωρίς να υποπέσουμε σε σημαντικά σφάλματα.

Επιπλέον, από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε πως η πραγματική τιμή της τάσης, που υπολογίζεται από το Matlab, έχει πολύ μικρή διαφορά από την τιμή που υπολογίζουμε, με χρήση των διορθωμένων συντελεστών, στην ανάλυση ευαισθησίας. Δηλαδή, πράγματι, η χρήση των πραγματικών-διορθωμένων συντελεστών ευαισθησίας μας εξασφαλίζει μια καλύτερη προσέγγιση της τιμής της τάσης που υπολογίζει το Matlab, σε σχέση με την χρήση των αρχικών συντελεστών.

### 8.8.2. Συντελεστές ευαισθησίας ρεύματος και μεταβολή των οικονομικών μεγεθών του δικτύου

Την ίδια ακριβώς διαδικασία μπορούμε να ακολουθήσουμε προκειμένου να υπολογίσουμε το χρόνο αναβολής των επενδύσεων, που προκύπτει αν στη σχέση υπολογισμού του χρησιμοποιήσουμε αντί του αρχικού αθροίσματος των συντελεστών

ευαισθησίας ρεύματος, το νέο διορθωμένο άθροισμα των συντελεστών μετά την διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής. Το παρακάτω παράδειγμα αποδεικνύει πως, όπως και για τον υπολογισμό της τάσης, έτσι και για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις αρχικές τιμές των συντελεστών ευαισθησίας, χωρίς σημαντικό σφάλμα στους υπολογισμούς μας. Το παράδειγμα αυτό αναφέρεται σε συνολική διείσδυση 80kW στο ζυγό 4, με συντελεστή ισχύος του φορτίου 0,95 επαγωγικό και των μονάδων παραγωγής μοναδιαίο.

- Αρχικά, για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης χρησιμοποιούμε το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας ρεύματος που μας έδωσε το πρόγραμμα Matlab πριν την εγκατάσταση της διεσπαρμένης, δηλαδή  $\Sigma\gamma_i=16,05703pu$ . Οι τιμές του χρόνου αναβολής για τα διάφορα σενάρια λειτουργίας (συνδυασμός ρυθμού αύξησης φορτίου και επιτοκίου αναγωγής), δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

<b>Ρυθμός αύξησης φορτίου (MW/μήνα)</b>	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Χρόνος αναβολής της επένδυσης (μήνες)</b>	<b>Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης (€)</b>
0,1	0,03	54,68301	1695,106
0,3	0,03	18,22767	587,7658
0,5	0,03	10,9366	355,475
0,7	0,03	7,811859	254,7792
1	0,03	5,468301	178,8032
0,1	0,05	54,68301	2717,366
0,3	0,05	18,22767	966,7581
0,5	0,05	10,9366	587,7658
0,7	0,05	7,811859	422,2232
1	0,05	5,468301	296,8196
0,1	0,07	54,68301	3661,082
0,3	0,07	18,22767	1335,784
0,5	0,07	10,9366	816,3721
0,7	0,07	7,811859	587,7658

1	0,07	5,468301	413,8964
---	------	----------	----------

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.12.: ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΣ ΑΠΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 80kW ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ**

- Αν, ωστόσο, είχαμε αρχική εγκατεστημένη ισχύ διεσπαρμένης παραγωγής στο ζυγό 4 ίση με 10kW και στη συνέχεια προσθέταμε άλλα 70kW (δηλαδή συνολικά 80kW), θα ήταν πιο ορθό στον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης, να χρησιμοποιήσουμε το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας ρεύματος, το οποίο θα προέκυπτε μετά την εγκατάσταση των 10kW, δηλαδή το  $\Sigma\gamma_i=16,01408pu$ . Στην περίπτωση αυτή, οι τιμές του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους για τα διάφορα σενάρια, είναι οι εξής:

Ρυθμός αύξησης φορτίου (MW/μήνα)	Επιτόκιο αναγωγής	Χρόνος αναβολής της επένδυσης (μήνες)	$\Delta\tau$ (μήνες)	Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης (€)	$\Delta B$ (€)
0,1	0,03	54,81085	0,127843	1704,138	9,03194
0,3	0,03	18,27028	0,042614	591,0278	3,261955
0,5	0,03	10,96217	0,025569	357,4638	1,988808
0,7	0,03	7,830122	0,018263	256,2096	1,430373
1	0,03	5,481085	0,012784	179,8096	1,006435
0,1	0,05	54,81085	0,127843	2731,259	13,8935
0,3	0,05	18,27028	0,042614	972,0514	5,293229
0,5	0,05	10,96217	0,025569	591,0278	3,261955
0,7	0,05	7,830122	0,018263	424,58	2,356807
1	0,05	5,481085	0,012784	298,4836	1,663997
0,1	0,07	54,81085	0,127843	3679,034	17,95236
0,3	0,07	18,27028	0,042614	1342,999	7,215105
0,5	0,07	10,96217	0,025569	820,8662	4,494096

0,7	0,07	7,830122	0,018263	591,0278	3,261955
1	0,07	5,481085	0,012784	416,2074	2,310994

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.13.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΓΙΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 80kW ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 10kW**

Όπου, Δτ θεωρούμε την διαφορά μεταξύ του χρόνου αναβολής της επένδυσης, που υπολογίζουμε με χρήση του αθροίσματος των αρχικών συντελεστών ευαισθησίας ρεύματος και αυτού που υπολογίζουμε με χρήση του διορθωμένου αθροίσματος συντελεστών, και ΔΒ η αντίστοιχη διαφορά του κέρδους. Παρατηρούμε πως οι διαφορές αυτές είναι πολύ μικρές και δεν αξίζει να τις λάβουμε υπόψη μας, ως ένα πιθανό ενδεικτικό στοιχείο σφάλματος στη μέθοδο μας. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγούμαστε αν εξετάσουμε και τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Αρχική διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 20kW

Σε αυτή την περίπτωση το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας ρεύματος είναι ίσο με  $\Sigma\gamma_i=15,97202pu$ . Χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή, για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους για συνολική διείσδυση 80kW διεσπαρμένης παραγωγής, σχηματίζουμε τον παρακάτω πίνακα:

<b>Ρυθμός αύξησης φορτίου (MW/μήνα)</b>	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Χρόνος αναβολής της επένδυσης (μήνες)</b>	<b>Δτ (μήνες)</b>	<b>Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης (€)</b>	<b>ΔΒ (€)</b>
0,1	0,03	54,89972	0,216707	1711,197	16,09075
0,3	0,03	18,29991	0,072236	593,5782	5,812329
0,5	0,03	10,97994	0,043341	359,0189	3,543892
0,7	0,03	7,842817	0,030958	257,328	2,548845
1	0,03	5,489972	0,021671	180,5966	1,793431
0,1	0,05	54,89972	0,216707	2742,113	24,74743
0,3	0,05	18,29991	0,072236	976,1893	9,431206
0,5	0,05	10,97994	0,043341	593,5782	5,812329

0,7	0,05	7,842817	0,030958	426,4228	4,199592
1	0,05	5,489972	0,021671	299,7848	2,965131
0,1	0,07	54,89972	0,216707	3693,054	31,97151
0,3	0,07	18,29991	0,072236	1348,639	12,85475
0,5	0,07	10,97994	0,043341	824,3796	8,007541
0,7	0,07	7,842817	0,030958	593,5782	5,812329
1	0,07	5,489972	0,021671	418,0143	4,117963

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.14.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΑΟΥΣ ΓΙΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 80kW ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 20kW**

- Αρχική διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 30kW

Για αρχική ενσωμάτωση 30kW διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο, το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας ρεύματος είναι ίσο με  $\Sigma\gamma_i=15,93081pu$ . Χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή, για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του αντίστοιχου κέρδους για διείσδυση 80kW διεσπαρμένης παραγωγής, σχηματίζουμε τον παρακάτω πίνακα:

<b>Ρυθμός αύξησης φορτίου (MW/μήνα)</b>	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Χρόνος αναβολής της επένδυσης (μήνες)</b>	<b>Δτ (μήνες)</b>	<b>Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης (€)</b>	<b>ΔB (€)</b>
0,1	0,03	54,95086	0,267852	1716,085	20,97847
0,3	0,03	18,31695	0,089284	595,3446	7,578808
0,5	0,03	10,99017	0,05357	360,0961	4,621062
0,7	0,03	7,850123	0,038265	258,1028	3,323604
1	0,03	5,495086	0,026785	181,1418	2,33859
0,1	0,05	54,95086	0,267852	2749,627	32,26074
0,3	0,05	18,31695	0,089284	979,0552	12,29703

0,5	0,05	10,99017	0,05357	595,3446	7,578808
0,7	0,05	7,850123	0,038265	427,6993	5,476026
1	0,05	5,495086	0,026785	300,6861	3,866411
0,1	0,07	54,95086	0,267852	3702,755	41,67294
0,3	0,07	18,31695	0,089284	1352,544	16,76018
0,5	0,07	10,99017	0,05357	826,813	10,44093
0,7	0,07	7,850123	0,038265	595,3446	7,578808
1	0,07	5,495086	0,026785	419,266	5,369591

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.15: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΓΙΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 80kW ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 30kW**

- Αρχική διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής 50kW

Για αρχική εγκατεστημένη ισχύ διεσπαρμένης παραγωγής 50kW, το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας ρεύματος είναι ίσο με  $\Sigma\gamma_i=15,8508pu$ . Χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή, για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους για διείσδυση 80kW διεσπαρμένης παραγωγής, σχηματίζουμε τον παρακάτω πίνακα:

<b>Ρυθμός αύξησης φορτίου (MW/μήνα)</b>	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Χρόνος αναβολής της επένδυσης (μήνες)</b>	<b>Δτ (μήνες)</b>	<b>Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης (€)</b>	<b>ΔB (€)</b>
0,1	0,03	54,9451	0,262084	1718,244	23,13745
0,3	0,03	18,31503	0,087361	596,1251	8,359225
0,5	0,03	10,98902	0,052417	360,572	5,096965
0,7	0,03	7,849299	0,037441	258,4451	3,665905
1	0,03	5,49451	0,026208	181,3826	2,579452
0,1	0,05	54,9451	0,262084	2752,945	35,57889



0,3	0,05	18,31503	0,087361	980,3212	13,56305
0,5	0,05	10,98902	0,052417	596,1251	8,359225
0,7	0,05	7,849299	0,037441	428,2632	6,039958
1	0,05	5,49451	0,026208	301,0843	4,264607
0,1	0,07	54,9451	0,262084	3707,039	45,95669
0,3	0,07	18,31503	0,087361	1354,27	18,48537
0,5	0,07	10,98902	0,052417	827,888	11,51595
0,7	0,07	7,849299	0,037441	596,1251	8,359225
1	0,07	5,49451	0,026208	419,8189	5,922565

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.16.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΓΙΑ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 80kW ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 50kW**

### **Συμπέρασμα:**

Παρατηρούμε πως, σε κάθε περίπτωση, για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης, καταλήγουμε στο ίδιο αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από το αν θα χρησιμοποιήσουμε το αρχικό ή το διορθωμένο άθροισμα συντελεστών ευαισθησίας. Η διαπίστωση μας αυτή, επιβεβαιώνει τον αρχικό μας ισχυρισμό πως οι συντελεστές ευαισθησίας ρεύματος μπορούν να θεωρηθούν σταθεροί για κάθε πιθανό σενάριο διείσδυσης, και σχεδόν ίσοι με αυτούς πριν την εγκατάσταση της διεσπαρμένης παραγωγής. Επιπλέον, όπως βλέπουμε στους παραπάνω πίνακες, το κέρδος δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή και κυμαίνεται σε σχεδόν σταθερά επίπεδα. Η μεγαλύτερη διαφορά του παρατηρείται, για  $\rho=7\%$  ανά έτος και  $\sigma=100\text{W}/\mu\eta\eta\alpha$ , το οποίο είναι και το ευνοϊκότερο σενάριο λειτουργίας, ενώ η μικρότερη διαφορά στο κέρδος από την αναβολή της επένδυσης, προέκυψε για  $\rho=3\%$  ανά έτος και  $\sigma=1000\text{W}/\mu\eta\eta\alpha$ , που είναι και η δυσμενέστερη περίπτωση λειτουργίας, όπως εξηγήσαμε και στην παράγραφο 8.5.4.

### **8.9. Μελέτη των απωλειών του δικτύου και υπολογισμός τους από την ανάλυση ευαισθησίας**

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ευαισθησίας των απωλειών ισχύος μιας γραμμής του δικτύου μεταξύ των ζυγών  $k$  και  $r$ . Συγκεκριμένα, πρέπει να υπολογίσουμε τη συνάρτηση που εκφράζει την παράγωγο των απωλειών ισχύος στη γραμμή  $k-r$  ως προς την ενεργό ισχύ φορτίου του ζυγού  $i$ , δηλαδή [27], [28]:

$$\gamma_i = \frac{dP_{k-r}}{dP_{di}} \quad (8.6)$$

Έχοντας υπολογίσει την ευαισθησία των απωλειών ισχύος μιας γραμμής ως προς μια μεταβολή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα ζυγό  $i$  μπορούμε να εκτιμήσουμε την μείωση των απωλειών ισχύος. Έχουμε:

$$\gamma_i = \frac{dP_{k-r}}{dP_{di}} \Rightarrow$$

$$dP_{k-r,i} = \gamma_i \cdot dP_{di} \Rightarrow \quad (8.7)$$

$$P_{k-r}' = \sum_i (\gamma_i \cdot (-\Delta P_{DG})) + P_{k-r} \quad (8.8)$$

Στους πίνακες 8.17. και 8.18. παρουσιάζονται οι συντελεστές ευαισθησίας απωλειών όλων των γραμμών του δικτύου, όπως δίνονται από το πρόγραμμα Matlab. Ο πίνακας 8.17. δίνει τους συντελεστές αυτούς πριν τη διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής, ενώ ο πίνακας 8.18. τους αντίστοιχους συντελεστές για εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής 20kW στον ζυγό 4, υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος. Και στις δύο περιπτώσεις ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι 0,95 επαγωγικός.

Ζυγός	Γραμμή Δικτύου															
	17-1	1-2	2-3	3-7	3-4	4-5	5-6	1-8	1-9	9-13	13-14	9-10	10-15	15-16	10-11	11-12
1	0,012129	8,07E-07	9,01E-05	5,98E-05	1,33E-05	2,33E-06	1,78E-06	4,94E-05	3,05E-05	4,13E-06	8,36E-07	1,56E-05	2,23E-06	2,11E-07	1,07E-05	2,33E-06
2	0,012132	0,000225	9,34E-05	6,20E-05	1,38E-05	2,41E-06	1,84E-06	4,95E-05	3,05E-05	4,14E-06	8,37E-07	1,56E-05	2,23E-06	2,11E-07	1,07E-05	2,33E-06
3	0,012502	0,000232	0,027318	0,000341	7,56E-05	1,32E-05	1,01E-05	5,23E-05	3,23E-05	4,37E-06	8,85E-07	1,65E-05	2,36E-06	2,24E-07	1,13E-05	2,46E-06
4	0,012647	0,000234	0,027633	0,000345	0,010536	2,40E-05	1,83E-05	5,34E-05	3,30E-05	4,47E-06	9,04E-07	1,69E-05	2,41E-06	2,28E-07	1,16E-05	2,52E-06
5	0,012708	0,000236	0,027766	0,000347	0,010587	0,004387	2,65E-05	5,39E-05	3,33E-05	4,51E-06	9,12E-07	1,70E-05	2,43E-06	2,30E-07	1,17E-05	2,54E-06
6	0,012762	0,000236	0,027883	0,000349	0,010631	0,004405	0,003844	5,43E-05	3,35E-05	4,54E-06	9,19E-07	1,72E-05	2,45E-06	2,32E-07	1,18E-05	2,56E-06
7	0,0129	0,000239	0,028185	0,030077	7,83E-05	1,37E-05	1,05E-05	5,50E-05	3,39E-05	4,59E-06	9,30E-07	1,74E-05	2,48E-06	2,35E-07	1,19E-05	2,59E-06
8	0,012571	8,60E-07	9,60E-05	6,37E-05	1,42E-05	2,48E-06	1,89E-06	3,34E-02	3,25E-05	4,40E-06	8,91E-07	1,66E-05	2,37E-06	2,25E-07	1,14E-05	2,48E-06
9	0,012313	8,41E-07	9,39E-05	6,23E-05	1,38E-05	2,42E-06	1,85E-06	5,15E-05	0,012241	1,56E-05	3,16E-06	5,91E-05	8,43E-06	7,99E-07	4,05E-05	8,80E-06
10	0,012505	8,78E-07	9,80E-05	6,51E-05	1,44E-05	2,53E-06	1,93E-06	5,37E-05	0,01243	1,60E-05	3,24E-06	1,24E-02	2,09E-05	1,98E-06	0,0001	2,18E-05
11	0,012673	8,98E-07	0,0001	6,66E-05	1,48E-05	2,59E-06	1,98E-06	5,50E-05	0,012597	1,63E-05	3,30E-06	1,26E-02	2,12E-05	2,01E-06	0,012366	4,02E-05
12	0,012752	9,08E-07	0,000101	6,73E-05	1,49E-05	2,62E-06	2,00E-06	5,56E-05	0,012675	1,64E-05	3,32E-06	1,27E-02	2,13E-05	2,02E-06	0,012442	0,005744
13	0,012392	8,54E-07	9,53E-05	6,33E-05	1,41E-05	2,46E-06	1,88E-06	5,23E-05	0,012319	5,39E-03	6,42E-06	5,96E-05	8,51E-06	8,07E-07	4,09E-05	8,89E-06
14	0,012427	8,60E-07	9,60E-05	6,37E-05	1,42E-05	2,48E-06	1,89E-06	5,27E-05	0,012354	0,005401	0,00242	5,99E-05	8,55E-06	8,10E-07	4,11E-05	8,93E-06
15	0,012585	8,88E-07	9,91E-05	6,58E-05	1,46E-05	2,56E-06	1,95E-06	5,43E-05	0,012509	1,62E-05	3,27E-06	0,01252	5,84E-03	3,77E-06	0,000101	2,19E-05
16	0,012609	8,91E-07	9,94E-05	6,60E-05	1,47E-05	2,57E-06	1,96E-06	5,45E-05	0,012534	1,62E-05	3,28E-06	0,012544	0,005853	0,001793	0,000101	2,20E-05
Σ'γι	0,200608	1,41E-03	1,40E-01	3,22E-02	3,21E-02	8,87E-03	3,93E-03	3,42E-02	9,99E-02	1,09E-02	2,45E-03	6,31E-02	1,18E-02	1,81E-03	2,53E-02	5,90E-03

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.17.: ΑΦΟΡΙΣΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΑΠΩΛΕΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΖΥΓΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Ζώνες	Γραμμή Δικτύου															
	17-1	1-2	2-3	3-7	3-4	4-5	5-6	1-8	1-9	9-13	13-14	9-10	10-15	15-16	10-11	11-12
1	1,10E-02	5,47E-07	5,96E-05	5,85E-05	3,99E-06	2,25E-06	1,72E-06	4,89E-05	3,02E-05	4,09E-06	8,27E-07	1,54E-05	2,20E-06	2,09E-07	1,06E-05	2,30E-06
2	1,10E-02	1,82E-04	6,18E-05	6,07E-05	4,14E-06	2,34E-06	1,78E-06	4,89E-05	3,02E-05	4,09E-06	8,28E-07	1,55E-05	2,21E-06	2,09E-07	1,06E-05	2,30E-06
3	1,13E-02	1,86E-04	2,17E-02	0,000334	2,28E-05	1,28E-05	9,81E-06	5,12E-05	3,16E-05	4,28E-06	8,66E-07	1,62E-05	2,31E-06	2,19E-07	1,11E-05	2,41E-06
4	1,14E-02	1,87E-04	2,18E-02	0,000336	0,005022	2,32E-05	1,77E-05	5,17E-05	3,19E-05	4,32E-06	8,75E-07	1,63E-05	2,33E-06	2,21E-07	1,12E-05	2,43E-06
5	1,14E-02	1,88E-04	2,19E-02	0,000338	0,005048	0,004333	2,57E-05	5,22E-05	3,22E-05	4,36E-06	8,82E-07	1,65E-05	2,35E-06	2,23E-07	1,13E-05	2,46E-06
6	0,011476035	1,89E-04	2,20E-02	0,000339	0,005071	0,004351	0,003797	5,26E-05	3,24E-05	4,39E-06	8,89E-07	1,66E-05	2,37E-06	2,25E-07	1,14E-05	2,47E-06
7	1,17E-02	1,92E-04	2,24E-02	2,99E-02	2,36E-05	1,33E-05	1,01E-05	5,38E-05	3,32E-05	4,49E-06	9,09E-07	1,70E-05	2,42E-06	2,30E-07	1,16E-05	2,53E-06
8	1,14E-02	5,83E-07	6,35E-05	6,23E-05	4,25E-06	2,40E-06	1,83E-06	3,33E-02	3,22E-05	4,35E-06	8,81E-07	1,65E-05	2,35E-06	2,23E-07	1,13E-05	2,45E-06
9	1,12E-02	5,71E-07	6,21E-05	6,10E-05	4,16E-06	2,35E-06	1,79E-06	5,10E-05	1,22E-02	1,56E-05	3,15E-06	5,88E-05	8,39E-06	7,95E-07	4,03E-05	8,76E-06
10	1,14E-02	5,95E-07	6,49E-05	6,36E-05	4,34E-06	2,45E-06	1,87E-06	5,32E-05	1,24E-02	1,59E-05	3,23E-06	0,012425	2,08E-05	1,97E-06	9,99E-05	2,17E-05
11	1,15E-02	6,09E-07	6,64E-05	6,51E-05	4,44E-06	2,51E-06	1,91E-06	5,44E-05	1,26E-02	1,62E-05	3,28E-06	0,012591	2,11E-05	2,00E-06	0,01235	4,00E-05
12	1,16E-02	6,16E-07	6,71E-05	6,58E-05	4,49E-06	2,53E-06	1,93E-06	5,50E-05	1,27E-02	1,63E-05	3,31E-06	0,012669	2,13E-05	2,02E-06	0,012426	0,005737
13	1,13E-02	5,79E-07	6,31E-05	6,19E-05	4,22E-06	2,38E-06	1,82E-06	5,17E-05	1,23E-02	0,005379	6,40E-06	5,94E-05	8,47E-06	8,03E-07	4,07E-05	8,85E-06
14	1,13E-02	5,83E-07	6,35E-05	6,23E-05	4,25E-06	2,40E-06	1,83E-06	5,21E-05	1,23E-02	0,005394	0,002417	5,96E-05	8,51E-06	8,06E-07	4,09E-05	8,88E-06
15	1,15E-02	6,02E-07	6,56E-05	6,43E-05	4,39E-06	2,48E-06	1,89E-06	5,38E-05	1,25E-02	1,61E-05	3,25E-06	0,012504	0,005835	3,76E-06	0,000101	2,19E-05
16	1,15E-02	6,04E-07	6,58E-05	6,46E-05	4,40E-06	2,48E-06	1,90E-06	5,40E-05	1,25E-02	1,61E-05	3,26E-06	0,012528	0,005846	0,00179	0,000101	2,19E-05
Σγi	0,182050626	1,13E-03	1,10E-01	3,19E-02	1,52E-02	8,76E-03	3,88E-03	3,41E-02	9,98E-02	1,09E-02	2,45E-03	6,30E-02	1,18E-02	1,80E-03	2,53E-02	5,89E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.18.: ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΙΞΙΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 20kW ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ 4

Αρχικά, θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε τις αναμενόμενες τελικές απώλειες των γραμμών του δικτύου 17 ζυγών ( $P_{loss}$ ), μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας, με χρήση των συντελεστών ευαισθησίας απωλειών, πριν τη διεύθυνση διεσπαρμένης παραγωγής. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις τιμές αυτές με τις πραγματικές τιμές των απωλειών που μας δίνει το πρόγραμμα Matlab, μέσω της επίλυσης των εξισώσεων ροής φορτίου, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 5. Τα αποτελέσματα μας φαίνονται στον πίνακα 8.19.

Στον πίνακα αυτόν παρατηρούμε ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, οι απώλειες του δικτύου ελαττώνονται μετά τη διεύθυνση διεσπαρμένης παραγωγής σε όλες τις γραμμές, και πιο συγκεκριμένα η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στις γραμμές αυτές που είναι πιο κοντά στον ζυγό 4 σύμφωνα με την τοπολογία του δικτύου.

Στον πίνακα 8.20. απεικονίζονται τα ίδια μεγέθη με τον πίνακα 8.19., με τη μόνη διαφορά πως η προσέγγιση της αναμενόμενης τιμής των τελικών απωλειών γίνεται με χρήση των συντελεστών ευαισθησίας απωλειών για διεύθυνση 20kW στον ζυγό 4. Η προσέγγιση αυτή, έχει μικρότερη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές των απωλειών, σε σχέση με την προηγούμενη, παρέχοντάς μας ένα πιο ακριβές αποτέλεσμα. Η διαφορά των δύο προσεγγίσεων ωστόσο, κυμαίνεται σε πάρα πολύ μικρά επίπεδα, γεγονός που αποδεικνύει ότι η χρήση των αρχικών συντελεστών ευαισθησίας απωλειών δεν είναι εσφαλμένη και καθίσταται αξιόπιστη.

Γραμμή k-r	Αρχικές Απώλειες (MW)	Ευαισθησία $\gamma_{i-4}$ (pu)	$\Delta P_i$ (MW)	Αναμενόμενες Τελικές Απώλειες (MW) (Ploss')	Πραγματικές Απώλειες (MW) (Ploss)	Ploss-Ploss'
17-1	0,001561	0,012647	-0,00025	0,001308	0,001321	1,28E-05
1-2	1,35E-05	0,000234	-4,7E-06	8,81E-06	9,29E-06	4,73E-07
2-3	0,001502	0,027633	-0,00055	0,000949	0,001008	5,88E-05
3-7	0,000991	0,000345	-6,9E-06	0,000984	0,000984	9,22E-08
3-4	2,24E-04	0,010536	-0,00021	1,29E-05	6,84E-05	5,55E-05
4-5	3,90E-05	2,40E-05	-4,8E-07	3,85E-05	3,85E-05	7,87E-09
5-6	2,97E-05	1,83E-05	-3,7E-07	2,94E-05	2,94E-05	6,01E-09
1-8	0,00084	5,34E-05	-1,1E-06	0,000839	0,000839	1,76E-08
1-9	0,000521	3,30E-05	-6,6E-07	0,00052	0,00052	1,08E-08
9-13	7,12E-05	4,47E-06	-8,9E-08	7,11E-05	7,11E-05	1,47E-09
13-14	1,44E-05	9,04E-07	-1,8E-08	1,44E-05	1,44E-05	2,97E-10
9-10	0,000263	1,69E-05	-3,4E-07	0,000263	0,000263	5,56E-09
10-15	3,78E-05	2,41E-06	-4,8E-08	3,78E-05	3,78E-05	7,93E-10
15-16	3,58E-06	2,28E-07	-4,6E-09	3,58E-06	3,58E-06	7,51E-11
10-11	0,00018	1,16E-05	-2,3E-07	0,00018	0,00018	3,81E-09
11-12	3,90E-05	2,52E-06	-5E-08	3,9E-05	3,9E-05	8,28E-10
ΣΥΝΟΛΟ	0,00633	0,051564	-0,00103	0,005299	5,43E-03	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.19.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 20kW ΣΤΟ ΖΥΓΟ 4 ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Γραμμή k-r	Αρχικές Απώλειες (MW)	Ευαισθησία $\gamma_{i-4}$ (pu)	$\Delta P_i$ (MW)	Αναμενόμενες Τελικές Απώλειες (MW) (Ploss'')	Πραγματικές Απώλειες (MW) (Ploss)	Ploss- Ploss''	Ploss''- Ploss'
17-1	0,001561	1,14E-02	-0,00023	0,001333	0,001321	1,27E-05	2,55E-05
1-2	1,35E-05	1,87E-04	-3,7E-06	9,75E-06	9,29E-06	4,67E-07	9,4E-07
2-3	0,001502	2,18E-02	-0,00044	0,001066	0,001008	5,81E-05	0,000117
3-7	0,000991	0,000336	-6,7E-06	0,000984	0,000984	9,07E-08	1,83E-07
3-4	2,24E-04	0,005022	-0,0001	0,000123	6,84E-05	5,48E-05	0,00011
4-5	3,90E-05	2,32E-05	-4,6E-07	3,85E-05	3,85E-05	7,72E-09	1,56E-08
5-6	2,97E-05	1,77E-05	-3,5E-07	2,94E-05	2,94E-05	5,9E-09	1,19E-08
1-8	0,00084	5,17E-05	-1E-06	0,000839	0,000839	1,73E-08	3,49E-08
1-9	0,000521	3,19E-05	-6,4E-07	0,00052	0,00052	1,07E-08	2,15E-08
9-13	7,12E-05	4,32E-06	-8,6E-08	7,11E-05	7,11E-05	1,45E-09	2,92E-09
13-14	1,44E-05	8,75E-07	-1,7E-08	1,44E-05	1,44E-05	2,93E-10	5,9E-10
9-10	0,000263	1,63E-05	-3,3E-07	0,000263	0,000263	5,48E-09	1,1E-08
10-15	3,78E-05	2,33E-06	-4,7E-08	3,78E-05	3,78E-05	7,82E-10	1,57E-09
15-16	3,58E-06	2,21E-07	-4,4E-09	3,58E-06	3,58E-06	7,41E-11	1,49E-10
10-11	0,00018	1,12E-05	-2,2E-07	0,00018	0,00018	3,76E-09	7,57E-09
11-12	3,90E-05	2,43E-06	-4,9E-08	3,9E-05	3,9E-05	8,17E-10	1,65E-09
ΣΥΝΟΛΟ	0,00633	3,89E-02	-0,00078	0,005553	0,005426		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.20.: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 20kW ΣΤΟ ΖΥΓΟ 4 ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ**

## **8.10. Άλλα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάσταση στο δίκτυο μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής**

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τη διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο είναι ποικίλα. Για να υπολογίσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια το πόσο επωφελής θα ήταν μια επένδυση σε μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, θα πρέπει να συνυπολογιστούν όλα αυτά τα οφέλη. Εκτός από το χρόνο αναβολής της επένδυσης και το κέρδος που προκύπτει από αυτήν, που μελετήθηκαν εκτενώς, υπάρχουν και διάφορα άλλα κέρδη που πηγάζουν από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, τα οποία όμως έχουν εξεταστεί σε άλλες διπλωματικές εργασίες. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία θα αναφερθούν επιγραμματικά.

- Οικονομικό όφελος από την αποφυγή απόκτησης ηλεκτρικής ενέργειας βάσει της οριακής τιμής συστήματος τις ώρες αιχμής

Ποσοτικοποίηση του κέρδους του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, για συγκεκριμένες ώρες του χρόνου που η οριακή τιμή του συστήματος είναι τέτοια, ώστε να έχουμε παραγωγή από τις διεσπαρμένες μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή πώλησης αυτής της ενέργειας θα είναι σαφώς μικρότερη από την τιμή του ηλεκτρισμού στην ωριαία αγορά, ώστε να προκύψει αυτό το κέρδος.

- Οικονομικό όφελος από την μείωση των απωλειών ισχύος

Για να εξασφαλιστεί σημαντικό όφελος από τη μείωση των απωλειών ισχύος, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής σε χαμηλό κόστος. Όπως μπορεί να αντιληφθούμε, το όφελος μειώνεται καθώς αυξάνεται η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες αυτές.

- Όφελος από τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της διεσπαρμένης παραγωγής

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που αγοράζεται από τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω συμβολαίων με προκαθορισμένες τιμές πώλησης. Υπάρχει όμως και ένα ποσοστό της συνολικής ζήτησης ισχύος που σχετίζεται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από την ωριαία αγορά. Θεωρώντας την παραγωγή ισχύος από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, αν βέβαια έχουμε αρκετά σημαντική διείσδυση, σαν μείωση της ζήτησης ισχύος, που συνεπάγεται και μείωση στην τιμή του ρεύματος, ο ιδιοκτήτης της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής μπορούμε να αποκομίσει ένα οικονομικό όφελος από την μείωση αυτή.

Αν επομένως, αποδοθούν αυτά τα οφέλη στους ιδιοκτήτες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, μπορεί να δοθεί ένα επιπλέον κίνητρο για επένδυση στο συγκεκριμένο τομέα, πράγμα πολύ σημαντικό για την οικονομία, τον ανταγωνισμό στον τομέα της ενέργειας, αλλά και την αποδοτικότερη και πιο αξιόπιστη παροχή ενέργειας στους καταναλωτές.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2η**

### 9.1. Μεθοδολογία υπολογισμού δαπανών και οφελών και τρόπος διαμοιρασμού τους σε ένα μικροδίκτυο

Στο Κεφάλαιο 6 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται αναλυτικά τα οφέλη και οι δαπάνες που προκύπτουν από τη χρήση μικροπαραγωγής και μικροδικτύων, καθώς επίσης και ο τρόπος διαμοιρασμού τους στους καταναλωτές (C), στους παραγωγούς (G), στους διαχειριστές του δικτύου (N) και στην κοινωνία (S), όπως αναλύεται στη μελέτη των Paulo Moisés Costa, Manuel A. Matos, J.A. Peças Lopes, με τίτλο Regulation of microgeneration and microgrids [21].

Ένας προτεινόμενος τρόπος καταμερισμού των οφελών και των δαπανών της μικροπαραγωγής<sup>1</sup> στις παραπάνω ομάδες, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 6.7.1. είναι ο εξής:

$$\begin{aligned}
 C_G &= \lambda \\
 C_S &= 0 \\
 C_N &= \beta \\
 C_C &= 0 \\
 B_{\mu G} &= B_W \\
 B_S &= B_E + \psi + B_{CC} \\
 B_N &= B_{L1} + B_{L2} \\
 B_C &= C_{av}
 \end{aligned} \tag{9.1}$$

όπου:

$\beta$  (€/kW έτος): το πιθανό επιπλέον κεφάλαιο και τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας στους διαχειριστές του δικτύου διανομής,

$C_i$ : το κόστος της μικροπαραγωγής στην ομάδα  $i$  και

$B_i$ : το κέρδος από την μικροπαραγωγή της ομάδας  $i$ .

Το συνολικό ετήσιο όφελος που προκύπτει από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μία συγκεκριμένη τεχνολογία μικροπαραγωγής, εκφρασμένη σε €/kW ανά έτος, δίνεται από τη σχέση:

$$B_w = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h V_p^h \tag{9.2}$$

όπου:

$N_p^h$  είναι ο αριθμός των ωρών της ετήσιας περιόδου  $p$  και ημερήσιας περιόδου  $h$ ,

$F_p^h$  είναι ο συντελεστής ικανότητας για τις ίδιες περιόδους και

$V_p^h$  είναι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον υπολογισμό του οφέλους εκπομπών, πρέπει να γίνει μία διάκριση μεταξύ τεχνολογιών συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) και τεχνολογιών χωρίς συμπαραγωγή. Για ένα σύστημα χωρίς συμπαραγωγή, τα οφέλη μπορούν να προκύψουν από τη σχέση (σε €/kW έτος):

$$B_E = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h \prod_j (1 - \delta_j^h) R V_E \tag{9.3}$$

<sup>1</sup> Όπως αναλύεται στη μελέτη των Paulo Moisés Costa, Manuel A. Matos, J.A. Peças Lopes, με τίτλο Regulation of microgeneration and microgrids.

όπου  $R$  είναι η τιμή αναφοράς των εκπομπών και  $V_E$  είναι η συνολική οικονομική αξία των αποφευγόμενων εκπομπών.

Για ένα σύστημα μικροσυμπαγωγής, οι αποφευγόμενες εκπομπές πρέπει να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη ένα λέβητα αναφοράς (boiler) που θα ήταν απαραίτητος για να παραχθεί θερμική ενέργεια, αν το σύστημα μικροσυμπαγωγής δεν χρησιμοποιείτο. Έτσι, θεωρώντας ότι τα συστήματα μικροσυμπαγωγής αναπτύσσονται πάντα με γνώμονα τις θερμικές ανάγκες, τα οφέλη είναι (σε €/kW έτος):

$$B_E = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h \left( \prod_j (1 - \delta_j^h) R - \frac{\eta_{th}}{\eta_e} \left( \frac{1}{\eta_{th}} - \frac{1}{\eta_b} \right) e \right) V_E \quad (9.4)$$

όπου  $\eta_e$  και  $\eta_{th}$  είναι αντίστοιχα ο ηλεκτρικός και θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος μικροσυμπαγωγής,  $\eta_b$  είναι ο θερμικός βαθμός απόδοσης του λέβητα αναφοράς,  $e$  είναι οι συνολικές εκπομπές και  $\delta$  είναι ο συντελεστής αποφευγόμενων απωλειών.

Συχνά οι απώλειες επιμερίζονται στους χρήστες του δικτύου μέσα από τη χρήση των παραγόντων ρύθμισης απωλειών (LAF), οι οποίοι, όπως αναφέραμε, ορίζονται για διαφορετικά επίπεδα τάσης και για διαφορετικές περιόδους ως:

$$\gamma^h = \frac{p^h}{P_C^h} = \frac{p_f + p_v^h}{P_C^h} \quad (9.5)$$

όπου  $p^h$  είναι οι συνολικές ετήσιες απώλειες του δικτύου σε περίοδο  $h$ ,  $P_C^h$  η συνολική ετήσια ζήτηση στην ίδια περίοδο,  $p_f$  και  $p_v^h$  είναι οι τιμές των απωλειών που δεν συνδέονται με το φορτίο και των απωλειών σχετικών με το φορτίο αντίστοιχα σε περίοδο  $h$ . Στις παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής αποφευγόμενων απωλειών ( $\delta$ ), μία έκφραση για τον οποίο είναι:

$$\delta_j^h = 1 - \frac{1 + \gamma_j^h}{\sqrt{\gamma_j^{h^2} + 2\gamma_j^h(2\xi_j - 1) + 1}} \quad (9.6)$$

όπου  $\xi = p_f/p$  είναι το κλάσμα των αρχικών μη σχετικών με τη ζήτηση απωλειών και το  $j$  αντιπροσωπεύει το επίπεδο δικτύου.

Το κόστος της μικροπαραγωγής, που εκφράζεται σε (€/kW έτος), είναι: για σύστημα χωρίς συμπαγωγή:

$$\lambda = \frac{r(r+1)^T}{(r+1)^T - 1} \times C^{cap} + OM \quad (9.7)$$

ή για σύστημα με συμπαγωγή:

$$\lambda = \frac{\eta_{th}}{\eta_e} \left( \frac{r(r+1)^T}{(r+1)^T - 1} (C^{cap} - C_b^{cap}) + c_f \left( \frac{1}{\eta_{th}} - \frac{1}{\eta_b} \right) \right) \quad (9.8)$$

όπου  $r$  είναι το επιτόκιο,  $T$  είναι η περίοδος αποπληρωμής που ορίζεται για κάθε τεχνολογία μικροπαραγωγής, η οποία θα πρέπει να καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική της βιωσιμότητα,  $C^{cap}$  είναι η τιμή της επένδυσης του συστήματος

μικροπαραγωγής (€/kW),  $OM$  είναι το κόστος ετήσιας λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος),  $C_b^{cap}$  είναι η αξία της επένδυσης ενός λέβητα αναφοράς, και  $c_f$  είναι το μοναδιαίο κόστος των καυσίμων.

Επιπλέον, ένα όφελος ( $\psi$ ) για την κοινωνία μπορεί να περικλείει οφέλη που σχετίζονται με την ενεργειακή πολιτική (αύξηση της ασφάλειας των συστημάτων ενέργειας, διαφοροποίηση των πρωτογενών πηγών ενέργειας, μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από το εξωτερικό), και άλλα πιθανά οικονομικά οφέλη (νέες οικονομικές δραστηριότητες, καινοτομία). Σημειώστε ότι η τιμή του  $\psi$  θα ήταν διαφορετική, για διαφορετικές τεχνολογίες μικροπαραγωγής. Όπως αναφέρουμε στην παράγραφο 6.5.4. ο συντελεστής ικανότητας  $CC$  μπορεί να μετατραπεί σε ένα οικονομικό όφελος ( $B_{CC}$ ) που προκύπτει από τη μικροπαραγωγή.

Τα συνολικά ετήσια οφέλη σχετικά με τις αποφευγόμενες απώλειες, που εκφράζονται σε (€/kW έτος), μπορούν να προκύψουν από τη σχέση:

$$B_{LI} = \sum_p \sum_h N_p^h F_p^h \left( \prod_j (1 - \delta_j^h) - 1 \right) V_p^h \quad (9.9)$$

Το συνολικό αποφευγόμενο κόστος ( $C_{av}$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$C_{av} = \frac{(1 - (1/(1+i))) \sum_{k=1}^N (F / \Delta L_k) (I_k / (1+i)^k)}{\sum_{k=1}^N (1 / (1+i)^k)} \quad (9.10)$$

όπου:

$F$ : ο συντελεστής ικανότητας στις ώρες αιχμής, για κάθε τεχνολογία μικροπαραγωγής,

$N$ : η περίοδος μελέτης,

$I_k$ : η επένδυση κεφαλαίων που σχετίζεται με την αύξηση φορτίου,

$i$ : το προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate),

$r$ : ο αναμενόμενος ποσοστιαίος ρυθμός αύξησης του φορτίου,

$P_0$ : η ισχύς αιχμής στην αρχή της περιόδου μελέτης και

$\Delta L_k$ : η αναμενόμενη αύξηση φορτίου, που δίνεται από τον τύπο  $\Delta L_k = P_0 (1+r)^{k-1} r$ .

### **9.1.1. Ενδεικτικό παράδειγμα επιμερισμού κόστους-οφέλους**

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται για τον επιμερισμό του κόστους-οφέλους εφαρμόζεται σε ένα απλό παράδειγμα. Για το παράδειγμα αυτό έχουν γίνει οι παρακάτω παραδοχές [21]:

- Το έτος διαιρέθηκε σε τέσσερις περιόδους (A,B,C,D).
- Θεωρήθηκε περίοδος μίας τυπικής ημέρας.
- Μελετήθηκαν μόνο δύο τεχνολογίες μικροπαραγωγής (φωτοβολταϊκά και σύστημα συμπαραγωγής που βασίζεται σε μικροτουρμπίνα).
- Υποτέθηκαν τιμές για το  $r = 4\%$  και για το  $i = 6\%$ .
- Για το ανάντη δίκτυο οι τιμές του  $\gamma$  και του  $\xi$  λήφθηκαν ίσες με  $\gamma=6\%$  και  $\xi=1,3\%$ .
- Για το δίκτυο Χαμηλής Τάσης οι τιμές  $\gamma = 5\%$  και  $\xi = 1\%$  χρησιμοποιήθηκαν.
- Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θεωρούμε πως δεν έχουν ετήσια κόστη συντήρησης και λειτουργίας.

Η αξία των λιγότερο απτών οφελών, συμπεριλαμβανομένου του CC, που χρησιμοποιήθηκε ήταν  $\psi=0,2\text{€/kWh}$  για τα φωτοβολταϊκά συστήματα και  $\psi=0,015\text{€/kWh}$  για τα μικροσυστήματα συμπαραγωγής. Επίσης, υποτίθεται ότι η αιχμή ισχύος του συστήματος θα συμβεί το καλοκαίρι και ότι η συμβολή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στη μέγιστη μείωση είναι 77% της ονομαστικής του ισχύος (0% του συστήματος συμπαραγωγής). Οι επενδύσεις κεφαλαίου που σχετίζονται με την αύξηση του φορτίου, στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, θεωρήθηκαν σταθερές κατά μήκος μιας περιόδου μελέτης 30 ετών και ίσες με  $85 \cdot 10^6\text{€/έτος}$ . Το φορτίο αιχμής του συστήματος στην αρχή της περιόδου μελέτης είναι 9110MW και ο ρυθμός αύξησης του φορτίου υποτίθεται ότι είναι 3%. Η περίοδος αποπληρωμής για τις μικρογεννήτριες υποτίθεται ότι είναι ίση με 7 έτη και  $C_{\mu\text{CHP}}^{\text{cap}}=850\text{ €/kW}$ ,  $C_{\text{PV}}^{\text{cap}}=4000\text{€/kW}$ , και  $C_b^{\text{cap}}=150\text{€/kW}$ . Οι πίνακες 9.1. και 9.2. παρουσιάζουν άλλα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από τις παραπάνω εξισώσεις (σημειώστε ότι οι παράγοντες της παραγωγικής ικανότητας ορίστηκαν για τέσσερις διαφορετικές χρονικές περιόδους (A..D)) [21].

	A	B	C	D
PV	0,3	0,45	0,3	0,1
CHP	0,45	0,2	0,45	0,6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.1.: Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (CAPACITY FACTOR) ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΙΚΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

$\beta$ (€/έτος)	V (€/kWh)	$C_f$ (€/kWh)	$V_E$ (€/kg)	R (kg/kW)	e (kg/kW)	$n_{th}/n_e$	$n_b$
0	0,06	0,08	0,02	0,37	0,2	0,63/0,3	0,8

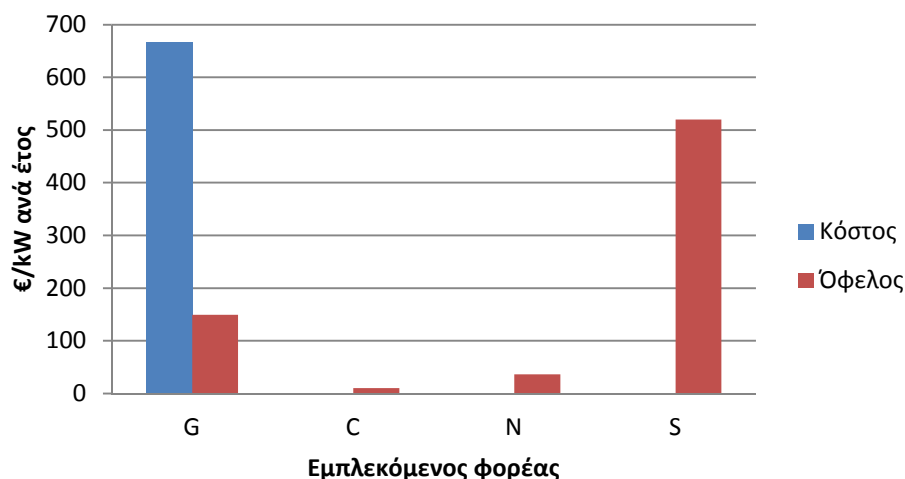
**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.2. : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

Από τις εξισώσεις (9.1) υπολογίζονται τα αντίστοιχα οφέλη και κόστη για κάθε ομάδα παραγόντων, που επηρεάζεται από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Παραγωγοί (G)	Καταναλωτές (C)	Διαχειριστές δικτύου (N)	Κοινωνία (S)	Σύνολο
Κόστος (C) (€/kW ανά έτος)	666,4384	0	0	0	666,4384
Όφελος (B) (€/kW ανά					

έτος)	149,04	10,25682	36,18537	519,64446	715,1267
Πλεόνασμα (€/kW ανά έτος)	-517,398	10,25682	36,18537	519,6445	48,6883

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.3. : ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ**



**Διάγραμμα 9.1. : Κόστη Και Οφέλη Για Τους Εμπλεκόμενους Φορείς, Από Την Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Παρατηρούμε πως, παρόλο που συνολικά προκύπτει πλεόνασμα, οι παραγωγοί έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης από τα οφέλη που αποκομίζουν. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να εισάγουμε μια μέθοδο καταμερισμού δαπανών και κερδών στα ενδιαφερόμενα μέρη. Μια πιθανή προσέγγιση για να μοιράζονται τα κόστη και τα οφέλη είναι:

$$B_j^f = C_j + \chi_j \left( \sum_j B_j - C_j \right) \quad (9.11)$$

όπου  $B_j^f$  είναι το τελικό όφελος για τον παράγοντα  $j$  και το  $\chi \in [0, 1]$  αντιπροσωπεύει το συντελεστή διαμοιρασμού.

Ο προτεινόμενος τρόπος καταμερισμού εξασφαλίζει ότι κάθε παράγοντας ανακτά τη δαπάνη του και αποκομίζει ένα μέρος του υπάρχοντος πλεονάσματος. Ο συντελεστής διαμοιρασμού επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Αυτή η διάκριση μπορεί να γίνει σύμφωνα με τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο που αντιμετωπίζει κάθε παράγοντας, και με απώτερο στόχο την ενίσχυση της ελκυστικότητας της επένδυσης στην μικροπαραγωγή. Με βάση την (9.11), ένα τέλος που θα καταβάλλεται για ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από κάθε τεχνολογία  $G$  της μικροπαραγωγής, μπορεί να ορίζεται ως (€/kWh) [21]:

$$P_G = \frac{B_j^f}{\sum_p \sum_h F_p^h N_p^h} \quad (9.12)$$

Για την ανακατανομή των οφελών, χρησιμοποιώντας ως συντελεστές διαμοιρασμού τους εξής:  $\chi_G = 0.4$ ,  $\chi_S = 0.1$ ,  $\chi_N = 0.4$  και  $\chi_C = 0.1$ , υπολογίζουμε το τελικό κέρδος κάθε κατηγορίας, το οποίο είναι:

	<b>Παραγωγοί (G)</b>	<b>Καταναλωτές (C)</b>	<b>Διαχειριστές δικτύου (N)</b>	<b>Κοινωνία (S)</b>
<b>Τελικό όφελος (B<sup>f</sup>) (€/kW ανά έτος)</b>	685,9137	71,61267	286,8507	71,81267

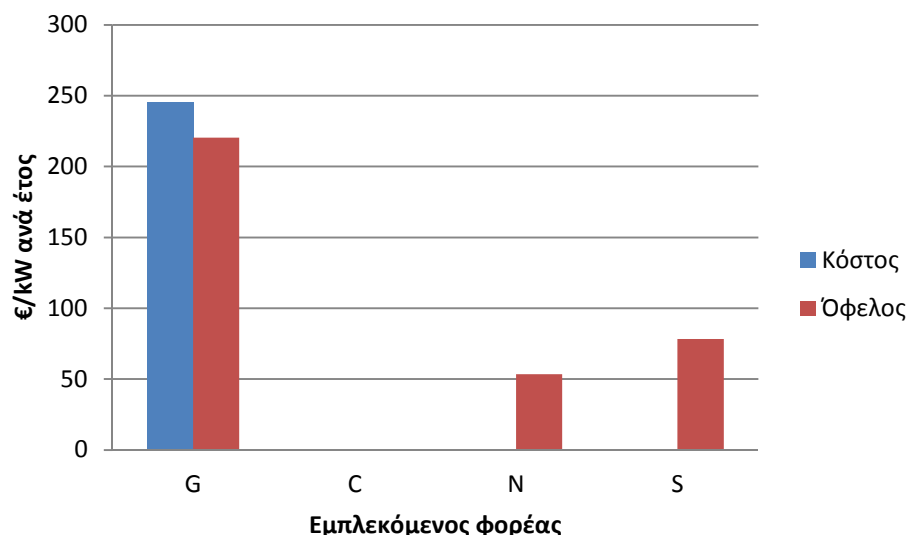
#### ΠΙΝΑΚΑΣ 9.4. : ΤΕΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΚΑΘΕ ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ

Για να προκύψουν τα παραπάνω οφέλη, η τιμή που πρέπει να καταβληθεί για ηλεκτρική ενέργεια από μικροπαραγωγή φωτοβολταϊκών υπολογίζεται από την εξίσωση (9.12) και είναι 0,276€/kWh.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα αντίστοιχα οφέλη και κόστη για κάθε ομάδα παραγόντων, που προέρχονται από την εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	<b>Παραγωγοί (G)</b>	<b>Καταναλωτές (C)</b>	<b>Διαχειριστές δικτύου (N)</b>	<b>Κοινωνία (S)</b>	<b>Σύνολο</b>
<b>Κόστος (C) (€/kW ανά έτος)</b>	244,9728	0	0	0	244,9728
<b>Όφελος (B) (€/kW ανά έτος)</b>	220,32	0	53,49142	78,446075	352,2575
<b>Πλεόνασμα (€/kW ανά έτος)</b>	-24,6528	0	53,49142	78,44608	107,2847

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 9.5.: ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



**Διάγραμμα 9.2. : Κόστη Και Οφέλη Για Τους Εμπλεκόμενους Φορείς Από Την Εγκατάσταση Συστήματος Συμπαράγωγής**

Και στον πίνακα 9.5., όπως και στο διάγραμμα 9.2., παρατηρούμε πως παρόλο που συνολικά προκύπτει πλεόνασμα, οι παραγωγοί έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης από τα οφέλη που αποκομίζουν. Για το λόγο αυτό, όπως είπαμε, είναι απαραίτητο να εισάγουμε μια μέθοδο καταμερισμού δαπανών και κερδών στα ενδιαφερόμενα μέρη. Για την ανακατανομή των οφελών, χρησιμοποιώντας ως συντελεστές διαμοιρασμού τους εξής:  $\chi_G = 0.4$ ,  $\chi_S = 0.1$ ,  $\chi_N = 0.4$  και  $\chi_C = 0.1$  [21], υπολογίζουμε το τελικό κέρδος κάθε κατηγορίας, το οποίο είναι:

	Παραγωγοί (G)	Καταναλωτές (C)	Διαχειριστές δικτύου (N)	Κοινωνία (S)
Τελικό όφελος (B <sup>f</sup> ) (€/kW ανά έτος)	287,8867	35,22575	140,903	35,22575

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.4. : ΤΕΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΚΑΘΕ ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ**

Για να προκύψουν τα παραπάνω οφέλη, η τιμή που πρέπει να καταβληθεί για ηλεκτρική ενέργεια από μικροπαραγωγή φωτοβολταϊκών, όπως υπολογίζεται από τη σχέση (9.12), είναι 0,0784€/kWh.

### **9.1.2. Κόστος ανάπτυξης ενός τυπικού μικροδικτύου**

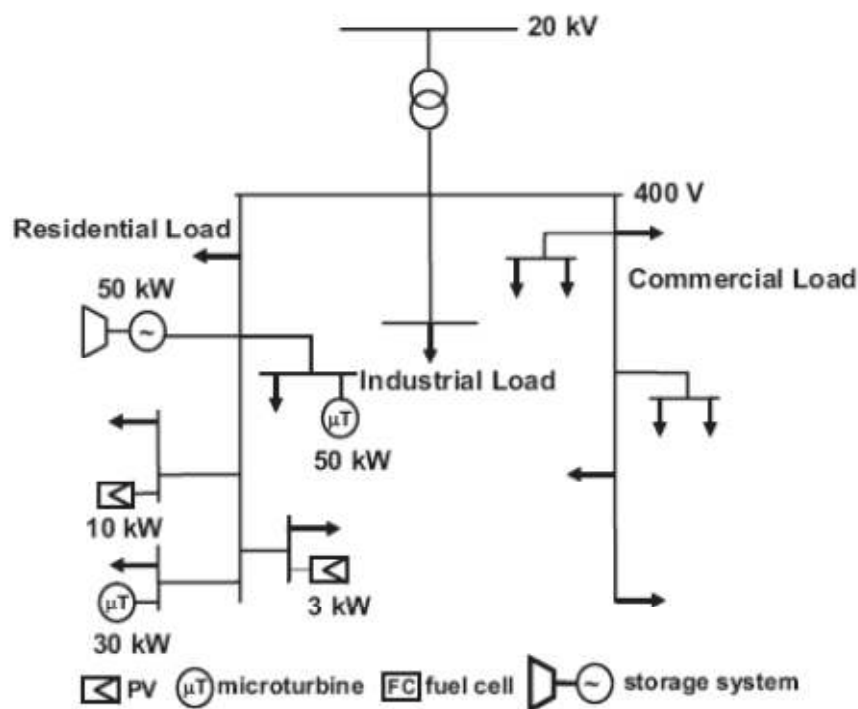
Για την ανάπτυξη ενός μικροδικτύου υπάρχει ένα σύνολο δαπανών, οι οποίες προέρχονται από επενδύσεις σε ελεγκτές, μέσα προστασίας, συστήματα αποθήκευσης κ.α. και συμπεριλαμβάνουν επίσης έξοδα εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Αυτές οι επενδυτικές ανάγκες εξοπλισμού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [21]:



Εξοπλισμός	Ποσότητα
Κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου	1
Ελεγκτής παραγωγής	1 για κάθε μικρογεννήτρια
Ελεγκτής φορτίου	1 για κάθε καταναλωτή
Συσκευές προστασίας χαμηλής τάσης	1 διακόπτης για κάθε κλάδο XT
Προστατευτική διάταξη μικροδικτύου-δικτύου μέσης τάσης	1 διακόπτης (static switch) με ηλεκτρονόμο
Σύστημα επικοινωνίας	1
Σύστημα αποθήκευσης	1
Εξοπλισμός μετρήσεων	Πολλοί

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.5.: ΑΝΑΓΚΕΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΕΝΑ ΤΥΠΙΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ**

Το μικροδίκτυο που απεικονίζεται στην εικόνα 9.1. αποτελείται από ένα σύνολο 44 καταναλωτών, εκ των οποίων 26 είναι οικιακοί, 17 εμπορικοί και 1 βιομηχανικός. Η εγκατεστημένη ισχύς της κάθε κατηγορίας καταναλωτών είναι αντίστοιχα 204, 113 και 70kW. Όσον αφορά τη μικροπαραγωγή, η εγκατεστημένη ισχύς της είναι 80kW για τα συστήματα μικροτουρμπίνων και 13kW για τα φωτοβολταϊκά συστήματα [21].



**ΕΙΚΟΝΑ 9.1.: ΤΥΠΙΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ**

Ο πίνακας 9.6. περιλαμβάνει μια εκτίμηση του κόστους των αναγκών που αναφέρονται στον πίνακα 9.5. για το τυπικό μικροδίκτυο της εικόνας 9.1. [21].

Εξοπλισμός	Κόστος (€)
Κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου	15000
Ελεγκτές παραγωγής	7800
Ελεγκτές φορτίου	13200
Διακόπτης χαμηλής τάσης	2000
Προστατευτική διάταξη μικροδικτύου-δικτύου μέσης τάσης	10000
Σύστημα επικοινωνίας	17200
Σύστημα αποθήκευσης	12500

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 9.6.: ΚΟΣΤΟΣ (€) ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Το κόστος κατασκευής του μικροδικτύου θεωρήθηκε ίσο με 20% του συνολικού επενδυτικού κόστους, ενώ οι ετήσιες λειτουργικές δαπάνες λήφθηκαν ίσες με 1% του επενδυτικού κόστους. Συνεπώς, θεωρώντας ως χρόνο ζωής της επένδυσης 20 έτη και επιτόκιο αναγωγής ίσο με 4%, το ετήσιο κόστος του μικροδικτύου, που υπολογίζεται από τη σχέση (9.7), φαίνεται στον επόμενο πίνακα:

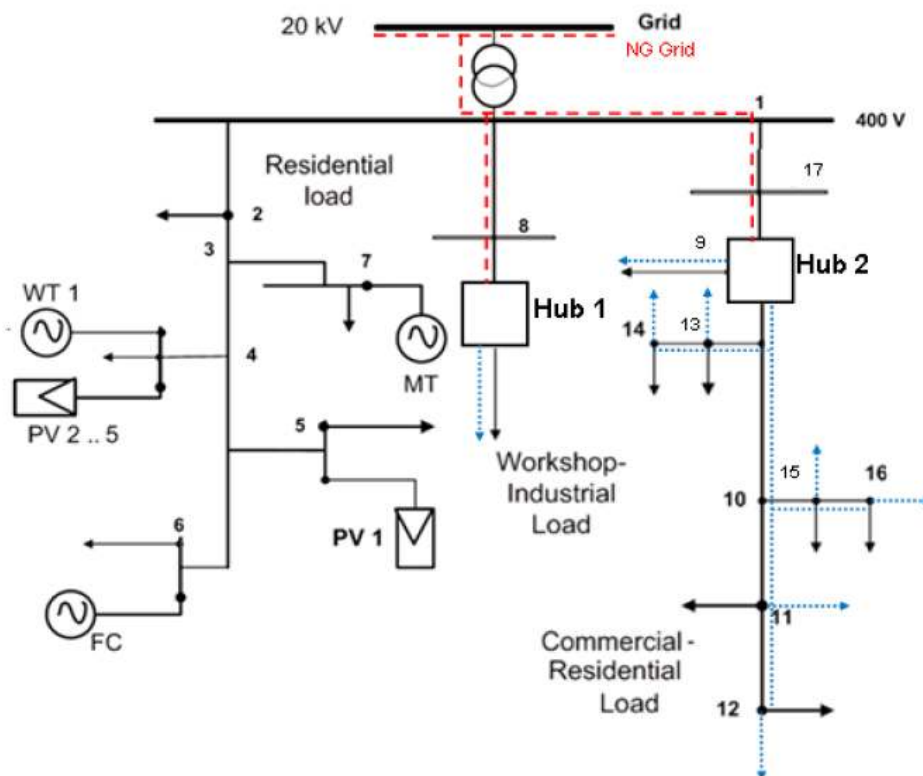
Κόστος επένδυσης (€)	777000
Κόστος κατασκευής (€)	15540
Κόστος κεφαλαίου (€)	93240
Λειτουργικές δαπάνες (€)	777
Ετήσιο κόστος (€)	7637,76

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 9.7.: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

Όπως συχνά συμβαίνει με τη Διεσπαρμένη Παραγωγή, τα κόστη και τα οφέλη που προκύπτουν από ανάπτυξη μικροπαραγωγής και μικροδικτύων δεν κατανέμονται δίκαια στους διαφορετικούς φορείς (καταναλωτές, μικροπαραγωγούς και ιδιοκτήτες μικροδικτύων, κοινωνία, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας), γεγονός που δυσκολεύει την ανάπτυξή τους. Ως εκ τούτου, τα παραπάνω κόστη και οφέλη πρέπει να διαμοιραστούν στους εμπλεκόμενους παράγοντες με τρόπο που να εξασφαλίζεται ένα καθαρό όφελος για τον καθένα και να προωθείται η καθιέρωση των μικροδικτύων. Δηλαδή, ορισμένα οφέλη που θα αφορούσαν μερικούς παράγοντες μεταφέρονται σε άλλους, προκειμένου το σύνολο της λειτουργίας να είναι εφικτό και συμφέρον σε όλους τους συμμετέχοντες. Η επιτυχής ανάπτυξη της μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων εξαρτάται από το οικονομικό ρυθμιστικό πλαίσιο που ορίζεται για τη λειτουργία τους. Ο κανονισμός αυτός θα πρέπει να περιλαμβάνει μηχανισμούς κινήτρων προκειμένου να δημιουργηθούν οι συνθήκες για τον ανταγωνισμό μεταξύ των καθιερωμένων τεχνολογιών και της μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων.

## 9.2. Εφαρμογή στο Δίκτυο 17 ζυγών

Το βασικό δίκτυο το οποίο μελετήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το ακόλουθο:



ΕΙΚΟΝΑ 9.2.: ΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΚΤΥΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Υπάρχουν τρεις αναχωρήσεις/κλάδοι κατανάλωσης, με τον δεξί να είναι ένας εμπορικός καταναλωτής, τον μεσαίο να είναι βιομηχανικός καταναλωτής και τέλος, ο αριστερός κλάδος μία κατοικημένη περιοχή. Πέραν του ηλεκτρικού φορτίου, θεωρήθηκε και η ύπαρξη θερμικού φορτίου για τον μεσαίο και τον δεξί κλάδο. Το φορτίο αυτό καλύπτεται από μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Οι μονάδες θερμικής παραγωγής, όπως απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα, είναι συνδεδεμένες στον ζυγό 8 και στον ζυγό 9.

Οι μονάδες μικροπαραγωγής περιλαμβάνουν ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά, κυψέλη καυσίμου και μικροτουρμπίνα, όπως φαίνεται στο δίκτυο της εικόνας 9.2. Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλων των μικροπηγών:

Τύπος Μονάδας	Τεχνικό Ελάχιστο (kW)	Τεχνικό Μέγιστο (kW)
MT	6	30
FC	3	30
WT	0	15
PV1	0	3
PV2..5	0	2,5

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.8.: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΚΡΟΠΗΓΩΝ.

Τα boilers θεωρήθηκαν βαθμού απόδοσης 80% και λειτουργούν με φυσικό αέριο. Το κόστος κεφαλαίου για το boiler θεωρήθηκε ίσο με 200€/kW. Με φυσικό αέριο λειτουργούν και η κυψέλη καυσίμου και η μικροτουρμπίνα. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής θεωρήθηκε ίσος με 0,27 και ο θερμικός ίσος με 0,35 και η εγκατεστημένη ισχύς τους ίση με 40kW.

Το κόστος λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής θεωρήθηκε ως το 1% του κόστους εγκατάστασης, ενώ το κόστος λειτουργίας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, δηλαδή της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών, θεωρήθηκε μηδενικό.

Στον επόμενο πίνακα αναφέρονται οι τιμές κόστους κεφαλαίου και ο χρόνος ζωής των διαφόρων τύπων μονάδων του συστήματος υπό μελέτη:

	<b>Κόστος κεφαλαίου (€/kWe)</b>	<b>Χρόνος αποπληρωμής επένδυσης (έτη)</b>
<b>Μικροτουρμπίνα</b>	1500	10
<b>Κυψέλη καυσίμου</b>	2500	10
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	2000	8
<b>Ανεμογεννήτριες</b>	3000	8
<b>Συστήματα συμπαραγωγής</b>	1300	8

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 9.9.: ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΜΙΚΡΟΠΗΓΩΝ.**

Για το δίκτυο της εικόνας 9.2. και τις τεχνολογίες μικροπαραγωγής που διαθέτει, υπολογίσαμε τα παρακάτω μεγέθη [21]:

- Το κόστος εγκατάστασης ( $\lambda$ ), το οποίο υπολογίζεται από την εξίσωση (9.7) για κάθε τεχνολογία μικροπαραγωγής, εκτός από το σύστημα συμπαραγωγής, το κόστος εγκατάστασης του οποίου υπολογίζεται από τη σχέση (9.8).
- Το ετήσιο όφελος ( $B_w$ ), που προκύπτει από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μία συγκεκριμένη τεχνολογία μικροπαραγωγής, και υπολογίζεται από τη σχέση (9.2).
- Το ετήσιο όφελος ( $B_E$ ), που προκύπτει από τις αποφευγόμενες εκπομπές, και υπολογίζεται από τη σχέση (9.3) για σύστημα χωρίς συμπαραγωγή και από τη σχέση (9.4) για σύστημα με συμπαραγωγή.
- Το ετήσιο όφελος ( $B_{L1}$ ), που προκύπτει από τις αποφευγόμενες απώλειες και υπολογίζεται από τη σχέση (9.9).

Για τον υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών έχουν γίνει οι παρακάτω απλοποιήσεις:

- Θεωρήθηκε περίοδος μίας τυπικής ημέρας και μια τυπική ετήσια περίοδος.
- Υποτέθηκε τιμή για το  $r=5\%$ .
- Για το ανάντη δίκτυο οι τιμές του  $\gamma$  και του  $\xi$  λήφθηκαν ίσες με  $\gamma=6\%$  και  $\xi=1,3\%$  [21].
- Για το δίκτυο Χαμηλής Τάσης οι τιμές  $\gamma=5\%$  και  $\xi=1\%$  χρησιμοποιήθηκαν [21].

Οι πίνακες 9.10. και 9.11. παρουσιάζουν άλλα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από τις παραπάνω εξισώσεις.

	PV	WT	MT	FC	CHP
F	0,15	0,3	0,7	0,8	0,8

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.10.: Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (CAPACITY FACTOR) ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΙΚΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

$C_f$ (€/kWh)	$V_E$ (€/kg)	R (kg/kW)	e (kg/kW)	$\eta_{th}/\eta_e$	$\eta_b$
0,08	0,02	1	0,2	0,35/0,27	0,8

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.11.: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών έχουν προσαρμοστεί στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα και φαίνονται στον πίνακα 9.12.

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/kWh)
PV	0,47 έως 10 kWp στον οικιακό τομέα
	0,25 για επίγειες εγκαταστάσεις ισχύος > 10 kW
WT	0,25 για εγκαταστάσεις ισχύος $\leq 50$ kW
MT	0,12
FC	0,12
CHP	87,85 x ΣΡ

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12.: ΤΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

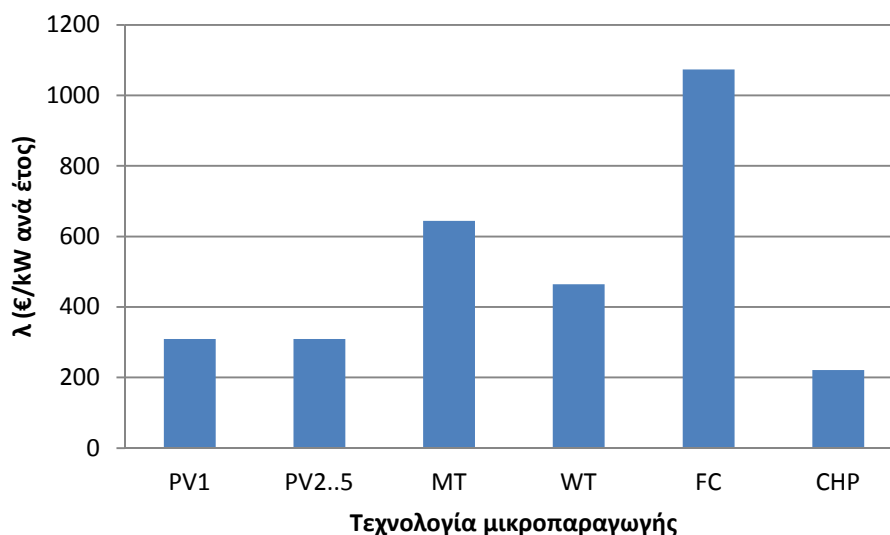
Ο συντελεστής ρήτρας φυσικού αερίου ορίζεται ως εξής:  
 $\Sigma P = 1 + (MT\Phi A - 26) / (100 \cdot \eta_e)$ , όπου MTΦΑ είναι η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης του φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης για τους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα. Η MTΦΑ λήφθηκε ίση με 36,54€/MWh και η τιμή του φυσικού αερίου ίση με 0,115962€/kWh.

Ο πίνακας 9.13. παρουσιάζει τα κόστη και τα οφέλη για κάθε τεχνολογία μικροπαραγωγής, όπως υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις.

<b>Τεχνολογία</b>	<b>λ (€/kW ανά έτος)</b>	<b>B<sub>w</sub> (€/kW ανά έτος)</b>	<b>B<sub>E</sub> (€/kW ανά έτος)</b>	<b>B<sub>L1</sub> (€/kW ανά έτος)</b>
<b>MT</b>	644,2569	735,84	152,4158	178,6546
<b>FC</b>	1073,761	840,96	174,1894	204,1767
<b>WT</b>	464,1654	657	65,32104	159,513
<b>PV1</b>	309,4436	617,58	32,66052	149,9422
<b>PV2..5</b>	309,4436	617,58	32,66052	149,9422
<b>CHP</b>	220,7885	812,6617	115,7894	197,3061

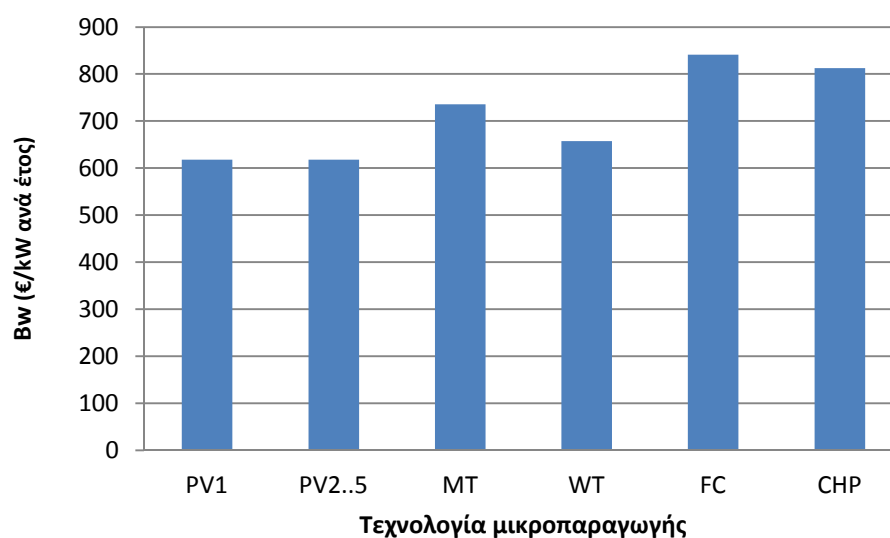
**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.13.: ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΚΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκριτικά τα ετήσια κόστη εγκατάστασης για κάθε τεχνολογία μικροπαραγωγής. Το μεγαλύτερο κόστος παρατηρείται για την κυψέλη καυσίμου, γεγονός που έγκειται στο αυξημένο κόστος κεφαλαίου και στα λειτουργικά έξοδα. Σημειώνεται ότι, παρόλο που η ανεμογεννήτρια έχει το μεγαλύτερο κόστος κεφαλαίου, δεν έχει το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης, κάτι που οφείλεται στο μηδενικό λειτουργικό κόστος. Τέλος το σύστημα συμπαραγωγής και τα φωτοβολταϊκά έχουν πολύ μικρό κόστος εγκατάστασης και αποτελούν τις πιο ελκυστικές επενδύσεις, από αυτήν την σκοπιά.



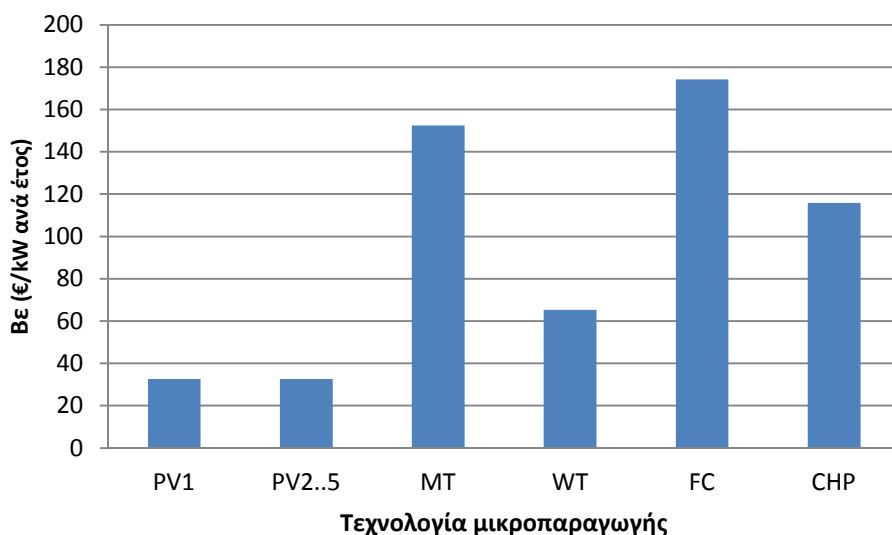
*Διάγραμμα 9.3.: Κόστος Εγκατάστασης Για Κάθε Τεχνολογία Μικροπαραγωγής*

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, συγκρίνονται τα κέρδη των μικροπαραγωγών ανάλογα με την τεχνολογία παραγωγής. Αν και η κυψέλη καυσίμου έχει το μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης, βλέπουμε ότι αποφέρει και τα μεγαλύτερα οφέλη. Επιπλέον, το σύστημα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού εμφανίζει το υψηλότερο πλεόνασμα κέρδους έναντι κόστους.



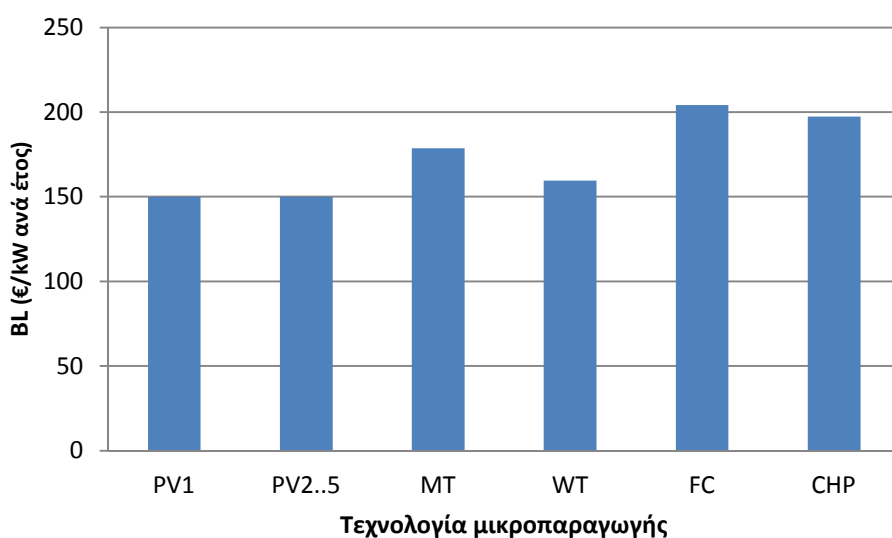
*Διάγραμμα 9.4.: Όφελος Από Την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Για Κάθε Τεχνολογία Μικροπαραγωγής*

Το διάγραμμα 9.5. δείχνει ότι οι τεχνολογίες με το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος, λόγω των αποφευγόμενων εκπομπών, είναι η κυψέλη καυσίμου, η μικροτουρμπίνα και το σύστημα συμπαραγωγής. Επειδή το όφελος αυτό εξαρτάται από τον συντελεστή παραγωγικής ικανότητας της μονάδας, τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα.



*Διάγραμμα 9.5.: Όφελος Από Τις Αποφευγόμενες Εκπομπές Για Κάθε Τεχνολογία Μικροπαραγωγής*

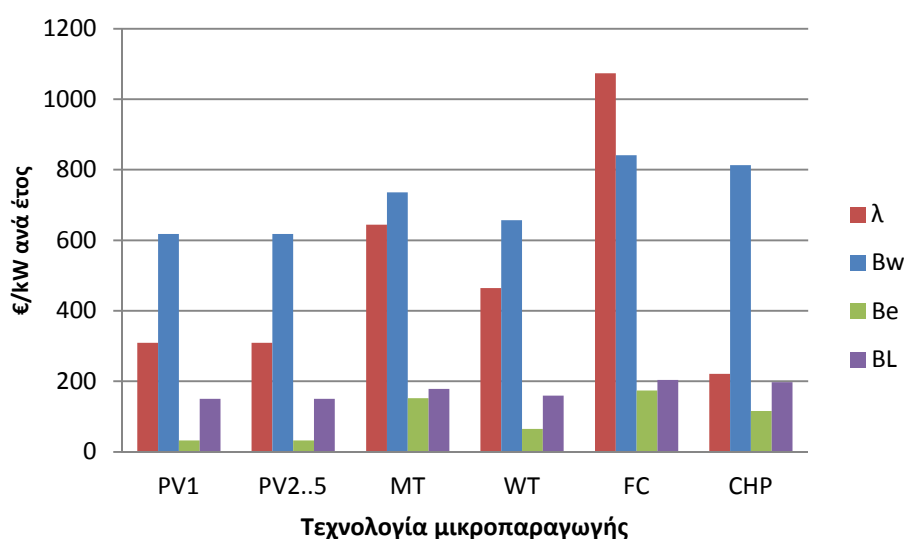
Το όφελος που αποκομίζει ο διαχειριστής του δικτύου από τις αποφευγόμενες απώλειες, λόγω της εγκατάστασης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, φαίνεται στο διάγραμμα 9.6. Το όφελος αυτό, εξαρτάται από τον συντελεστή παραγωγικής ικανότητας κάθε τεχνολογίας και την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την τεχνολογία αυτή. Για αυτό το λόγο οι τεχνολογίες που παρουσιάζουν το υψηλότερο κέρδος είναι η κυψέλη καυσίμου, το σύστημα συμπαραγωγής και η μικροτουρμπίνα.



*Διάγραμμα 9.6.: Όφελος Από Τις Αποφευγόμενες Απώλειες Για Κάθε Τεχνολογία Μικροπαραγωγής*

Το διάγραμμα 9.7 απεικονίζει συγκεντρωτικά όλα τα οφέλη και το ετήσιο κόστος για όλες τις τεχνολογίες που εξετάστηκαν. Οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών μικρής κλίμακας και συμπαραγωγής παρουσιάζονται να είναι οι πιο επικερδείς για τους παραγωγούς. Αν αθροίσουμε τα συνολικά οφέλη και τα συγκρίνουμε με το κόστος, οι δύο αυτές τεχνολογίες εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διαφορά.





*Διάγραμμα 9.7.: Σύγκριση Κόστους Και Οφελών Για Κάθε Τεχνολογία Μικροπαραγωγής*

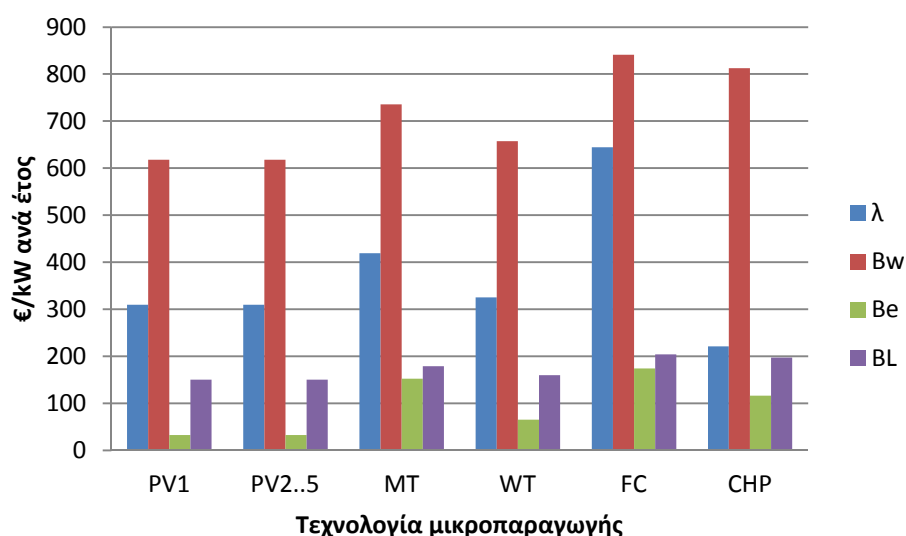
Στο διάγραμμα 9.7. διακρίνουμε ότι κάποιες τεχνολογίες μικροπαραγωγής, όπως είναι η κυψέλη καυσίμου, έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης συγκριτικά με το κέρδος που αποφέρουν στον ιδιοκτήτη της μονάδας. Επιπλέον, άλλες τεχνολογίες, όπως η μικροτουρμπίνα και η ανεμογεννήτρια, αν και εξασφαλίζουν ένα κέρδος για τον παραγωγό, πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος μείωσης του κόστους για να αποπληρωθεί πιο γρήγορα η επένδυση στις τεχνολογίες αυτές. Γι αυτό το λόγο θα πρέπει να δοθούν κίνητρα, προκειμένου να γίνουν ελκυστικές οι επενδύσεις στις μονάδες αυτές.

Ένας πιθανός μηχανισμός κινήτρων είναι να επιδοτηθεί το κόστος κεφαλαίου των παραπάνω τεχνολογιών, ώστε η επένδυση να καταστεί συμφέρουσα. Έχοντας υποθέσει ότι η επιδότηση της κυψέλης καυσίμου φθάνει το 40%, της μικροτουρμπίνας το 35% και της ανεμογεννήτριας το 30%, το νέο κόστος κεφαλαίου για αυτές τις τεχνολογίες φαίνεται στον πίνακα 9.14. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται, επίσης, το κόστος εγκατάστασης τους, το οποίο υπολογίστηκε για το καινούργιο κόστος κεφαλαίου.

	Αρχικό Κόστος κεφαλαίου (€/kW)	Ποσοστό επιδότησης	Τελικό Κόστος κεφαλαίου (€/kW)	Κόστος εγκατάστασης (€/kW ανά έτος)
<b>Μικροτουρμπίνα</b>	1500	35%	975	418,767
<b>Κυψέλη καυσίμου</b>	2500	40%	1500	644,26
<b>Ανεμογεννήτρια</b>	3000	30%	2100	324,9158

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.14.: ΝΕΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΙΚΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Στο κάτωθι διάγραμμα απεικονίζονται όλα τα οικονομικά οφέλη και το κόστος εγκατάστασης για τις τεχνολογίες μικροπαραγωγής που εξετάστηκαν στην Εφαρμογή αυτή, μετά τον επαναπροσδιορισμό τους.



*Διάγραμμα 9.8.: Σύγκριση Κόστους Και Οφελών Για Κάθε Τεχνολογία Μικροπαραγωγής Μετά Την Επιδότηση Τους*

Γνωρίζοντας ότι, το κόστος εγκατάστασης της μονάδας και το κέρδος που προέρχεται από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας αφορά τους παραγωγούς, το όφελος από τις αποφευγόμενες απώλειες αποκομίζει ο διαχειριστής του δικτύου, ενώ το όφελος από τις αποφευγόμενες εκπομπές η κοινωνία, παρατηρούμε πως με τη νέα προσέγγιση όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς απολαμβάνουν επαρκές κέρδος ώστε να συμμετάσχουν σε μια επένδυση σε τεχνολογίες μικροπαραγωγής.

Συνοψίζοντας, η επιτυχημένη ανάπτυξη της μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων εξαρτάται από το ρυθμιστικό πλαίσιο που ορίζεται για τη λειτουργία τους. Ορίζοντας το πλαίσιο αυτό, είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας ότι η μικροπαραγωγή και τα μικροδίκτυα είναι στη δυσμενή θέση να ανταγωνίζονται εδραιωμένες τεχνολογίες κεντρικής παραγωγής. Όπως άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες, η μικροπαραγωγή και τα μικροδίκτυα δεν έχουν φθάσει ακόμα σε ένα αξιόλογο επίπεδο ανάπτυξης και στην βέλτιστη απόδοσή τους, όσον αφορά το κόστος και την αξιοπιστία. Κατά συνέπεια, απαιτούνται κίνητρα ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού ανάμεσα στην κεντρική παραγωγή και την μικροπαραγωγή ή τα μικροδίκτυα, κάνοντας ελκυστική την επένδυση σε αυτές τις νέες τεχνολογίες. Οι κύριοι μηχανισμοί κινήτρων (τουλάχιστον στην Ευρωπαϊκή Ένωση), που χρησιμοποιούνται για την προώθηση της Διεσπαρμένης Παραγωγής, περιλαμβάνουν επιδοτήσεις για την εγκατάσταση νέων μονάδων και αγορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τους διαχειριστές του δικτύου σε αυξημένες τιμές.

Οποιοσδήποτε μηχανισμός παροχής κινήτρων υιοθετηθεί πρέπει να είναι απλός, αποδοτικός, οικονομικά αποτελεσματικός, και εύκολος στην εφαρμογή του. Ο προσδιορισμός του κόστους και των κερδών που προκύπτουν από την εγκατάσταση των μονάδων μικροπαραγωγής και των μικροδικτύων είναι το πρώτο βήμα της διαδικασίας προσδιορισμού ενός μηχανισμού παροχής κινήτρων. Το επόμενο βήμα είναι ο ορισμός των αρχών με βάση τις οποίες ποσοτικοποιούνται και διαμοιράζονται αυτά τα κόστη και τα οφέλη. Η διαδικασία διαμοιρασμού αντιστοιχεί στη μεταβίβαση

των οφελών με έναν τέτοιο τρόπο ώστε όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς να λαμβάνουν ένα καθαρό κέρδος. Αν αυτή η μεταβίβαση δεν γίνεται, κάποιοι παράγοντες που έχουν μεγαλύτερο κόστος παρά όφελος δεν θα θεωρήσουν ελκυστικές τις επενδύσεις στη μικροπαραγωγή και τα μικροδίκτυα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Βασίλειος Παπαδιάς, Ανάλυση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: Μόνιμη κατάσταση, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1985.
- 2) Βασίλειος Παπαδιάς, Ανάλυση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: Ασύμμετρες και μεταβατικές καταστάσεις, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1993.
- 3) Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2001.
- 4) Ιωάννης Ψαρράς, Κωνσταντίνος Πατλιτζιάνας, Διαχείριση ενέργειας και περιβαλλοντική πολιτική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2006.
- 5) Μ. Σαμουηλίδης, Κ. Βλάχος, Γ.Ψαρράς, Συστήματα Αποφάσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1986.
- 6) Κάπρος Π., Ντελκής Κ., Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2003.
- 7) Μιχαήλ Παπαδόπουλος, Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1997.
- 8) Σταύρος Παπαθανασίου, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2008.
- 9) Κ. Καγκαράκη, Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1987.
- 10) Κωνσταντίνος Δέρβος, Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2009.
- 11) Hadi Saadat, Mc Graw-Hill, Power system analysis, second edition, PSA Publishing, 2004.
- 12) Αικατερίνη Βαλαλάκη, Επίδραση της τιμολόγησης των ΑΠΕ στα Μικροδίκτυα, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 2010.
- 13) Έλλη Ντάκου, Οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη των Μικροδικτύων με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2011.
- 14) Κωνσταντίνος Πιέρρος, Συστήματα υβριδικών ενεργειακών διανομέων, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2009.
- 15) Βασιλική Κατσίκη, Οικονομική επίδραση της αυξημένης διείσδυσης των ΑΠΕ στα μεγέθη ενός Μικροδικτύου, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 2010.
- 16) Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης, Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης και ανανεώσιμης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- 17) Θωμάς Κασσελάς, Η χρονική επίδραση της Διεσπαρμένης Παραγωγής στις επενδύσεις ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- 18) Γεώργιος Αναγνώστου, Οικονομικά οφέλη από την αυξημένη διείσδυση μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2011.
- 19) Βιολέτα Αργυροπούλου, Οικονομικά οφέλη Μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής-Στοχαστική προσέγγιση, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Νοέμβριος 2011.
- 20) ABB, Smart Grids, ABB review: The corporate technical journal, 2010.

- 21) Paulo Moisés Costa, Manuel A. Matos, J.A. Peças Lopes, Regulation of microgeneration and microgrids, *Energy Policy*, Volume 36, Issue 10, October 2008, Pages 3893-3904, ISSN 0301-4215.
- 22) Ashoke Kumar Basu, S.P. Chowdhury, S. Chowdhury, S. Paul, Microgrids: Energy management by strategic deployment of DERs-A comprehensive survey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 9, December 2011, Pages 4348– 4356, ISSN 1364-0321.
- 23) N.D. Hatziargyriou, A.G. Anastasiadis, A.G. Tsikalakis, J. Vasiljevska, Quantification of economic, environmental and operational benefits due to significant penetration of Microgrids in a typical LV and MV Greek network, *European Transactions On Electrical Power*, Volume 21, Issue 2, March 2011, Pages 1217–1237.
- 24) Anestis G. Anastasiadis, Nikolaos D. Hatziargyriou, Added value of economic operation to Microgrids.
- 25) Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid, A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and The Resultant Benefits of A Fully Functioning Smart Grid, Technical Report, 2011, Electric Power Research Institute.
- 26) Anestis G. Anastasiadis, Nikolaos D. Hatziargyriou, A Business Case for Microgrids.
- 27) Hugo A. Gil and Geza Joos, Models for Quantifying the Economic Benefits Of Distributed Generation, *IEEE Transactions On Power Systems*, Volume 23, Issue 2, May 2008, Pages 327– 335, ISSN 0885-8950.
- 28) Hugo A. Gil and Geza Joos, On the Quantification of the Network Capacity Deferral Value of Distributed Generation, *IEEE Transactions On Power Systems*, Volume 21, Issue 4, November 2006, Pages 1592– 1599, ISSN 0885-8950.
- 29) Διάφορες ιστοσελίδες όπως:
- [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
  - [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)
  - [www.iea.org](http://www.iea.org)
  - [www.desmie.gr](http://www.desmie.gr)
  - [www.kape.gr](http://www.kape.gr)
  - [el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)
  - [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
  - [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

