



# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ενεργειακές και Τιμολογιακές πολιτικές στα Μικροδίκτυα**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΜΠΟΥΤΡΟΣ**

Επιβλέπων

**Νικόλαος Χατζηαργυρίου**, Καθηγητής ΕΜΠ  
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

**Ανέστης Αναστασιάδης**, Διδάκτωρ ΕΜΠ  
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2015





## **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ενεργειακές και Τιμολογιακές πολιτικές στα Μικροδίκτυα**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΜΠΟΥΤΡΟΣ**

Επιβλέπων

**Νικόλαος Χατζηαργυρίου**, Καθηγητής ΕΜΠ  
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

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

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Π. Γεωργιάκης  
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2015

.....

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΜΠΟΥΤΡΟΣ

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

Copyright © Μπούτρος Ι. Κωνσταντίνος , 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε κατά το Ακαδημαϊκό Έτος 2014- 2015 στον Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π.

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

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ανέστη Αναστασιάδη για τις κατευθυντήριες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθώς και για την απρόσκοπτη πρόσβαση και παραχώρηση προγραμμάτων, δεδομένων και ερευνητικού υλικού του εργαστηρίου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2015

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΜΠΟΥΤΡΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## **Ενεργειακές και Τιμολογιακές πολιτικές στα Μικροδίκτυα**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΜΠΟΥΤΡΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής ΕΜΠ, Σχολή  
Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2014-15

### **Σύνοψη**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η οικονομική βελτιστοποίηση ενός μικροδικτύου με την εφαρμογή ενεργειακών και τιμολογιακών πολιτικών. Το προς μελέτη δίκτυο είναι ένα δίκτυο χαμηλής τάσης που αποτελείται από καταναλωτές (φορτία) και μικροπηγές ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικροτουρμπίνες και κυψέλες καυσίμου. Εφαρμόζονται πολιτικές που αφορούν την αύξηση των μικροπηγών όπου εξετάζονται σενάρια με διάφορα ποσοστά αύξησης και ως αποτέλεσμα εξάγεται το λειτουργικό κόστος που διαμορφώνεται σε κάθε περίπτωση. Στη συνέχεια εφαρμόζεται πολιτική ενεργειακής αναβάθμισης (βελτίωσης) για τους καταναλωτές του δικτύου όπου και πάλι παρουσιάζεται η νέα κατάσταση στην οποία λειτουργεί το δίκτυο. Επίσης, μελετάται το μικροδίκτυο με αλλαγές στις τιμολογιακές πολιτικές λειτουργίας του όπου και εισάγεται πλέον η μεταβλητή ελαστικότητα ζήτησης ενέργειας ως προς τιμή. Έτσι, διαμορφώνεται η νέα κατάσταση στη λειτουργία του δικτύου ως αποτέλεσμα διαφόρων μεταβολών που επιβάλλονται στην τιμολόγηση.

Για τη διαχείριση της εξαγόμενης πληροφορίας δημιουργείται ένας αριθμός από οικονομικοτεχνικούς δείκτες που εξάγονται για κάθε ένα από τα σενάρια, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η σύγκριση επιμέρους σεναρίων και κατά συνέπεια πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα δίκτυο Χαμηλής Τάσης. Κατά συνέπεια, μέσα από την αξιολόγηση συγκρίσιμων σεναρίων παρουσιάζονται οι πολιτικές που εμπεριέχουν εμφανώς μεγαλύτερη βιωσιμότητα και δυνατότητα υλοποίησης. Η όλη μοντελοποίηση έγινε με γνώμονα την οικονομική βελτιστοποίηση (ελαχιστοποίηση) του λειτουργικού κόστους του δικτύου με γνώμονα την όσο το δυνατόν αυτονόμη λειτουργία του από το ανάντη δίκτυο. Προφανώς η διαδικασία της προσομοίωσης και επίλυσης του δικτύου εμπεριείχε το σύνολο των ηλεκτρικών και τεχνικών χαρακτηριστικών που είναι απαραίτητα για να θεωρηθεί πλήρης και το όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματική κατάσταση ενός τέτοιου δικτύου. Τέλος, παράγοντες όπως οι απώλειες του δικτύου, οι υπερφορτίσεις, υπερτάσεις, περιορισμοί από τεχνικά ελάχιστα υπολογίστηκαν σε κάθε επίπεδο και βήμα επίλυσης.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την λειτουργία ενός δικτύου χαμηλής τάσης με την εφαρμογή ενεργειακών και τιμολογιακών πολιτικών. Το δίκτυο που προσομοιώθηκε είναι ένα δίκτυο χαμηλής τάσης που αποτελείται από καταναλωτές (φορτία) και μικροπηγές ενέργειας (παραγωγούς) όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικροτουρμπίνες και κυψέλες καυσίμου. Για την προσομοίωση των μονάδων ΑΠΕ χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές παραγωγής ενέργειας από πραγματικές φωτοβολταϊκές συστοιχίες και από μικρές ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Οι παραγωγές των μικροτουρμπίνων και των κυψελών καυσίμου αποτελούσαν αποτέλεσμα της ωριαίας βελτιστοποίησης κόστους που λάμβανε μέρος στο δίκτυο καθώς γνώμονας ήταν η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους. Υπολογίστηκαν προφανώς τα τεχνικά ελάχιστα και για τις δύο αυτές μορφές πηγών ενέργειας. Η μοντελοποίηση του δικτύου σε κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκε με ωριαίο βήμα για ένα ολόκληρο χρόνο. Καταστρώθηκε αντικειμενική συνάρτηση η οποία αναλόγως με το σενάριο μεταβαλλόταν, πάντα με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του κόστους εκτός από ορισμένες περιπτώσεις στις πολιτικές τιμολόγησης. Η αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποιείται λαμβάνοντας υπόψη για κάθε ώρα τους περιορισμούς που έχει. Το προς μελέτη δίκτυο συνδέεται με το ανάντη δίκτυο μέσω μετασχηματιστή ώστε στα σενάρια που μελετώνται, σε λειτουργίες που δεν μπορεί ως μικροδίκτυο να καλύψει συνολικά την παραγωγή του, να λαμβάνει ισχύ από το ανάντη. Επίσης, τα σενάρια σε κάθε περίπτωση συγκρίνονται με το απλό δίκτυο, δηλαδή με έλλειψη μονάδων διεσπαρμένη παραγωγής. Στις τιμολογιακές πολιτικές η εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο φανερώνει και τα μειονεκτήματα ή πλεονεκτήματα των διαχειριστών ενός δικτύου.

Οι καταναλωτές του μικροδικτύου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες φορτίων, τους οικιακούς, τους εμπορικούς και τους βιομηχανικούς-βιοτεχνικούς. Κάθε μια από αυτές τις τρεις κατηγορίες φέρει χρονοσειρές φορτίου που αντιστοιχούν σε όσο το δυνατό καλύτερη προσέγγιση μιας πραγματικής κατανάλωσης. Κάθε κατηγορία φέρει τα χαρακτηριστικά της και όλες μαζί συνθέτουν το συνολικό φορτίο του δικτύου 17 ζυγών. Σημειώνεται πως το φορτίο αυτό δεν αλλάζει από σενάριο σε σενάριο πέραν των σεναρίων που άπτονται ενεργειακής αναβάθμισης και τιμολογιακής πολιτικής καθώς υπεισέρχονται έννοιες και μεταβλητές που προσπαθούν να δείξουν την αντίδραση του φορτίου του κάθε καταναλωτή στις αλλαγές που επιβάλλονται στο δίκτυο (είτε ενεργειακές είτε τιμολογιακές). Κατά συνέπεια, στα σενάρια αυτά, αλλάζει η συμπεριφορά (ωριαία χρονοσειρά) των επιμέρους καταναλωτών αλλά προφανώς και του συνολικού φορτίου.

Σε ότι αναφορά το κόστος λειτουργίας του δικτύου, αυτό χωρίζεται σε κόστος από τις μικροπηγές και κόστος από το ανάντη δίκτυο για την επιπλέον ενέργεια που χρειάζεται για να καλυφθεί το φορτίο όταν οι μικροπηγές δεν μπορούν να προσφέρουν αυτόνομη λειτουργία. Τα κόστη αυτά αποτελούν και την αντικειμενική συνάρτηση την οποία βελτιστοποιεί ο αλγόριθμος, επαναληπτικά για ένα έτος με βήμα ώρας. Σημειώνεται πως για την τιμολόγηση από το ανάντη δίκτυο έχουν εφαρμοστεί δύο κυρίως πολιτικές. Η πρώτη πολιτική εφαρμόζει τιμολόγηση με την Οριακή Τιμή Συστήματος, όπου έχουν αντληθεί πραγματικές οριακές τιμές από το ΔΕΣΜΗΕ. Η δεύτερη προσέγγιση αφορά σταθερή τιμολόγηση σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ κατά το έτος 2014 για τις τρεις κατηγορίες καταναλωτών από τις οποίες αποτελείται το δίκτυο. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για να αντληθούν συμπεράσματα για τη λειτουργία του μικροδικτύου κάτω από δύο διαφορετικά καθεστώτα και να αναλυθούν τα πλεονεκτήματα, τα οφέλη και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται καταρχάς για τους καταναλωτές και κατά δεύτερον για τον διαχειριστή του δικτύου ή ιδιοκτήτη του ανάντη δικτύου. Το κόστος των μικροτουρμπίνων και των κυψελών καυσίμου μοντελοποιείται με δευτεροβάθμιες συναρτήσεις που εμπεριέχουν το κόστος του φυσικού αερίου ως καύσιμο. Το κόστος του ανάντη δικτύου μοντελοποιείται είτε με χρονοσειρές (ΟΤΣ) είτε με σταθερή τιμολόγηση. Τέλος, το κόστος των ΑΠΕ δεν θεωρήθηκε μηδενικό αλλά ως κόστος ορίστηκε το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας (O&M) σχετιζόμενο με το κόστος εγκατάστασης και την παραγωγή τους σε MWh, αφού οι παραγωγές των ΑΠΕ του μικροδικτύου είναι γνωστές από πριν ως χρονοσειρές. Το τελευταίο αυτό κόστος, προφανώς δεν συμπεριλήφθητε στη βελτιστοποίηση καθώς ήταν πολύ μικρό σε σχέση με τα άλλα κόστη άρα και αντιμετωπίζεται κατά προτεραιότητα αλλά και γιατί δεν μπορεί να μπει ως μεταβλητή η οποία χρήζει βελτιστοποίησης καθώς εξαρτάται από εξωγενείς παράγοντες και στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι δεδομένες χρονοσειρές που εισάγονται στο πρόγραμμα. Παρόλα αυτά αντιμετωπίστηκε με γραμμικές συναρτήσεις οι οποίες εξαρτώνται γραμμικά από την παραγωγή τους.

Για την ωριαία βελτιστοποίηση κόστους έχει χρησιμοποιηθεί το Module `fmincon` του περιβάλλοντος Matlab στο οποίο έχει αναπτυχθεί και η συνολική μοντελοποίηση του δικτύου καθώς και οι επίλυσης ροών φορτίου κλπ. Η μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί η `fmincon` είναι η Lagrange. Οι περιορισμοί που

οριοθετούν το πρόβλημα βελτιστοποίησης σε κάθε επανάληψη αποτελούνται από εξισώσεις ικανοποίησης της ζήτησης καθώς και από όρια παραγωγής των μικροπηγών.

Η πρώτη μοντελοποίηση που μελετάται είναι η λειτουργία του δικτύου με πλήρη απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Οι καταναλωτές ανήκουν στις τρεις διαφορετικές κατηγορίες όπως αναφέρθηκε πριν και ικανοποιούν όλη τη ζήτηση τους από το ανάντη δίκτυο. Η τιμολόγηση της ενέργειας αυτής γίνεται σύμφωνα με την ΟΤΣ. Σε κάθε σενάριο που επιλύεται για ένα έτος, πλην των αποτελεσμάτων που αφορούν το λειτουργικό κόστος, εξάγονται και αποτελέσματα την ηλεκτρική φύση του δικτύου όπως αποτελέσματα απωλειών, υπερφορτίσεων, υπερτάσεων κλπ. Μια επίσης μοντελοποίηση αφορά το δίκτυο όπως πριν, με απουσία μικροπηγών αλλά τιμολόγηση της ενέργειας από το ανάντη δίκτυο μέσω σταθερών τιμών (σύμφωνα με τιμολόγια ηλεκτρισμού), διαφορετική για κάθε καταναλωτή αναλόγως το είδος του.

Στη συνέχεια, υλοποιούνται σενάρια προσομοίωσης στα οποία εφαρμόζονται ενεργειακές πολιτικές που αφορούν την αύξηση των μικροπηγών. Σε αυτή την προσέγγιση εξετάζονται σενάρια με διάφορα ποσοστά αύξησης των μικροπηγών, μέσα από τα οποία ενισχύεται η αυτονομία του μικροδικτύου και ως αποτέλεσμα εξάγεται η νέα κατάσταση λειτουργίας σε κάθε περίπτωση. Τα σενάρια αυτά όπου δοκιμάζεται η αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής χωρίζονται σε αύξηση μέσω των ΑΠΕ και σε αύξηση μέσω των μικροτουρμπίνων για διάφορα ποσοστά καθώς και σενάρια για πλήρως αυτόνομη λειτουργία (μικροδίκτυο). Στο επόμενο στάδιο εφαρμόζεται στο δίκτυο πολιτική ενεργειακής αναβάθμισης (βελτίωσης) για τους καταναλωτές του. Σε αυτή την πολιτική καταστρώνεται πίνακας με την αρχική ενεργειακή κατηγορία στην οποία ανήκουν οι καταναλωτές (στα έως τώρα σενάρια) και την ενεργειακή αναβάθμιση την οποία εφάρμοσε ο κάθε καταναλωτής. Για την ενεργειακή βελτίωση και τα κόστη επένδυσης των λύσεων αυτών εφαρμόζεται μαθηματικό μοντέλο ώστε να διαμορφώσει την κατάσταση ζήτησης ενέργειας μετά την ενεργειακή αναβάθμιση. Για την ανάπτυξη του μοντέλου αυτού αντλούνται πληροφορίες από τον Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων) και από παραδοχές που γίνονται σύμφωνα με δεδομένα της έως τώρα εμπειρίας της αγοράς.

Τα επόμενα σενάρια που μελετώνται αφορούν αλλαγές στην τιμολογιακή πολιτική που εφαρμόζεται κατά τη λειτουργία του μικροδικτύου σε ότι αφορά τις τιμές ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Εισάγεται η έννοια της ελαστικότητας ζήτησης ενέργειας ως προς τιμή ξεχωριστά για κάθε καταναλωτή μέσω πίνακα ελαστικότητας. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η ελαστικότητα ζήτησης ως προς τιμή συγκεκριμένα για τον ενεργειακό κλάδο και τις αγορές ενέργειας είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, δύσκολο έως αδύνατο με τα σημερινά μέσα να προβλεφθεί σωστά και λεπτομερώς ή να ταυτοποιηθεί για τα είδη των καταναλωτών. Στο σημείο αυτό έγιναν όσο το δυνατό πιο πραγματικές παραδοχές με γνώμονα τη συμπεριφορά των διαφορετικών ειδών καταναλωτών στο προϊόν της ενέργειας. Το δίκτυο μοντελοποιείται για διάφορα σενάρια τιμολογήσεων όπου επιτυγχάνεται η σύγκριση και εκτίμηση αλλαγών της τιμολόγησης, τις περισσότερες φορές από τη σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου που ζητά τη μεγιστοποίηση του οφέλους του ανάντη δικτύου μέσα από την αλλαγή τιμολόγησης. Έτσι, στα διάφορα σενάρια διαμορφώνεται η νέα κατάσταση στη λειτουργία του δικτύου ως αποτέλεσμα διαφόρων μεταβολών που επιβάλλονται στην τιμολόγηση και αξιολογούνται τα αποτελέσματα.

Μετά τα αποτελέσματα που εξήχθησαν μέσω του προγράμματος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab, για κάθε μοντελοποίηση, δημιουργείται ένας αριθμός από οικονομικοτεχνικούς δείκτες που υπολογίζονται για κάθε ένα από τα σενάρια, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η σύγκριση επιμέρους σεναρίων και κατά συνέπεια πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα δίκτυο Χαμηλής Τάσης. Τέτοιοι δείκτες που φάνηκαν χρήσιμοι για να συγκριθούν ανομοιογενή εκ πρώτης όψεως σενάρια. Έτσι από τη σύγκριση των σεναρίων διαφαίνεται ποιες πολιτικές υπερτερούν και εμπεριέχουν μεγαλύτερη βιωσιμότητα.

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει σαν στόχο την ποσοτικοποίηση της ηλεκτρικής και οικονομικής αντίδρασης ενός δικτύου χαμηλής τάσης (και μικροδικτύου) σε ενεργειακές και τιμολογιακές πολιτικές, με δείκτες που σχετίζονται με την οικονομική και ηλεκτρική φύση του. Περαιτέρω ανάπτυξη μπορεί να επέλθει σε βελτίωση των μαθηματικών μοντέλων που δημιουργήθηκαν, η προσέγγιση με κάποιου άλλου είδους αλγόριθμο καθώς και η επέκταση τιμολογιακών πολιτικών με γνώμονα την αντίδραση των καταναλωτών στην τιμή της ενέργειας ίσως μέσα από δύο μικροδίκτυα που λειτουργούν στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας και το προϊόν τους (ηλεκτρική ενέργεια) είναι υποκατάστατο και κατά συνέπεια μεταβλητής εμπορευσιμότητας μεταξύ των δύο. Επίσης, έμφαση μπορεί να δοθεί στο κομμάτι έρευνας για την ελαστικότητα των καταναλωτών και ως προς άλλους δείκτες όπως το εισόδημα, κάτι που είναι φανερά ενδιαφέρον τη σημερινή εποχή.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, μικροδίκτυο, ενεργειακή αναβάθμιση καταναλωτών, τιμολογιακές πολιτικές, ενεργειακές πολιτικές, διείσδυση ΑΠΕ, οικονομική βελτιστοποίηση, ελαστικότητα ζήτησης ενέργειας.



DIPLOMA THESIS:       **Energy and Pricing Policies in Microgrids**

STUDENT:               **Konstantinos J. Boutros**

SUPERVISOR:           Nikolaos Hatziaargyriou, Professor NTUA, School of Electrical  
and Computer Engineering

ACADEMIC YEAR:       2014-15

## **Summary**

The present diploma thesis examines the economic optimization of a microgrid under the implementation of various energy and pricing policies. The simulated grid is a low-voltage grid that consists of consumers (loads) and microgeneration units like small solar parks, wind turbines, fuel cells and microturbines. Policies related to the increased penetration of microgeneration are applied. Furthermore, this thesis examines the application of energy upgrade (improvement) policies for consumers of the grid and reveals the new situation in which the grid operates. Pricing policies also modeled to present the changes in the operational cost of the grid through introducing the term of energy demand to price elasticity. Thus, the new situation is formed in the operation of the grid as a result of various changes imposed on the pricing.

To manage the large number of the exported information, a number of techno-economic indicators generated from each scenario, making it possible to compare different scenarios and therefore the policies that can be applied to such a grid. Consequently, through the evaluation of comparable scenarios policies that involve greater viability and feasibility are presented. The simulation in total was based on economic optimization (minimization) of the operating cost of the grid. The ultimate aim was to achieve autonomous grid operation, independent of the upstream network. It is apparent that the process of simulating the grid encloses all the electrical and technical characteristics which are necessary in order for the network to be as complete and realistic as possible. Finally, factors such as electrical losses, overloads on lines, overvoltages on buses and technical limitations, were calculated at each step of the simulation process.

## Abstract

The aim of this diploma Thesis is to examine the operation of a low voltage (LV) network under the application of energy and pricing policies. The simulated grid is a LV network consisted of customers (loads), microsourses of energy (producers) such as small scale solar parks, wind turbines, microturbines and fuel cells. In order to simulate the RES units time series of produced energy from real PV strings and small wind turbines were used. The energy produced from the microturbines and the fuel cells was the result of an hourly cost optimization that was implemented, since the ultimate goal was to minimize the operational cost. The technical minima for both the previously mentioned energy sources were calculated. Grid modeling was performed for each scenario by use of an hourly step method over a year. Moreover, an objective function was formed altering in relation to each scenario considering that the cost minimization was of high importance (exceptions are some particular cases in pricing policies). The objective function is optimized by taking into account that it is subjected to hourly limitations.

The grid under examination is connected to the upstream network through a transformer in a way that ensures that when the customer demand outperforms the produced energy the upstream network will handle the additional load. All the scenarios were compared to the plain grid that is the grid where there are no distributed generation units present. As far as the pricing policies are concerned, the level of dependence on the upstream network reveals the advantages and disadvantages of the grid administrators. The microgrid end- users are divided into three main categories. These categories are known as the residential, commercial, and industrial customers. Each category is supplied with load timeseries data, which are good approximation of actual energy consumption. Each category has its own characteristics and on the whole these categories represent the 17 busbars grid. It must be noted that the load remains the same for all the scenarios. The only case that is altered is when the scenarios deal with energy upgrade and specific pricing policies. This happens since variables that reveal the reaction of the customers to the changes imposed to the grid are introduced. As far as the operational cost is concerned it can be divided into two categories. The first category deals with the cost from the microsourses and the second category encloses the cost from the upstream network that provides the excess energy needed when the microsourses cannot guarantee an autonomous operation. These costs form the objective function that is repeatedly optimized by the algorithm over a year. It must be noted that two main policies have been implemented regarding the pricing of energy from the upstream network. The first one conducts pricing in relation to the system's marginal price. The other policy regards constant pricing based on the PPC receipts for year 2014 for the customer categories that form the grid. These two approximations are used in order to make conclusions on the microgrid's operation under the impact of two different situations and to analyze the advantages and disadvantages that arise for the customers and for the grid as well. The cost regarding the fuel cells and the microturbines is being modeled using second order functions that include the cost of using natural gas as the main fuel. The cost of the upstream network can be modeled either with timeseries or with constant pricing. Moreover, the RES cost was the annual maintenance and operation cost (O&M) regarding the installation cost and the production in MWh since the RES production are known beforehand. The latter cost is excluded from the optimization since it was negligible comparing to the other costs. Moreover, it cannot be used as a variable to be optimized since it depends from outer causes (known timeseries). However, it was dealt with functions that are linearly depended from their production.

The total modeling of the network was derived with Module `fmincon` (Matlab software) in order to optimize the cost on an hourly basis. The optimization method used is the Lagrange method. The limitations set to the optimization problem in each revision are formed from equations satisfying the demand as well as limits in the production from the microsourses. The first modeling to be studied is the network operation with no Distributed Energy Resources units. The customers regardless on which category they belong satisfy their demands from the upstream network. The energy pricing is related to

the marginal price.

Furthermore, simulation scenarios where energy policies regarding increase on microsources usage are implemented. For this approach different scenarios with varying amounts of microsources usage are being examined. Thus, the autonomous operation of the microgrid is being reinforced and the new operation state for each case is exported. The scenarios where the increased participation of DER units is being tested may be classified as follows. There is the scenario where the increased usage of DER units is due to the increase of RES units. Also there is the scenario where complete autonomous operation is achieved and the scenario where increase of DER units is due to the increase of microturbines.

The next stage deals with the energy upgrading that is being applied to the grid. A reference table is assembled, monitoring the initial energy class category for each customer and the policy of energy upgrading that was followed. A mathematical model is applied in order to build the energy demand following the energy upgrade the customers have undergone. All the required information needed to develop the model comes from the energy regulation.

The following scenarios under study are related to changes in pricing policy that are being applied during the microgrids' operation in terms of energy costs from the upstream network. The significance of energy elasticity demand is introduced. It must be noted that the energy elasticity demand is a very important unit impossible to be predicted sufficiently and correctly for the customers' class categories. The network is modeled on various pricing scenarios on which they can compare and assess changes in pricing, mostly from the perspective of the network administrator seeking to maximize the benefit of the upstream network by changing pricing.

This Diploma Thesis aims to quantify the reaction of a LV network to different energy and pricing policies with indicators relating to the network's economic and electrical nature. Further exploitation and development on the matter can be made to improve the mathematical models developed, the approach with another type of algorithm as well as the extension of pricing policies bearing in mind the reaction of customers to the increased energy costs. Emphasis may be given on investigating customer's elasticity with respect to other indicators such as income, a great concern these days. Once results are derived, for each simulation, a number of econotechnic indicators was created and calculated for every different scenario, in order to compare the scenarios and to explore the possible policies that can be applied to a LV network. By comparing the scenarios is becoming obvious which policies outperform others and which are the most sustainable.

## **Keywords**

Distributed Energy Resources, Energy Upgrade, Pricing Policies, Energy Policies, Renewable Energy Penetration, Economic optimization, Energy demand elasticity

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο</b>	13
<b>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΕ)</b>	13
1.1 Δομή Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας	13
1.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	14
1.3 Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	15
1.4 Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	15
1.5 Φορτία	16
1.6 Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας	17
1.7 Οικονομική Κατανομή Φορτίου	17
1.8 Λειτουργία και Έλεγχος ΣΗΕ	18
1.9 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	18
1.10 Το Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα	19
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο</b>	20
<b>ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	20
2.1 Ορισμός Διесπαρμένης Παραγωγής (DG)	20
2.1.1 Τεχνολογίες Διανεμημένης Παραγωγής και Κόστη Εγκατάστασης	21
2.1.2 Τεχνικά, Οικονομικά και Περιβαλλοντικά Οφέλη της Διесπαρμένης Παραγωγής	23
2.1.3 Μειονεκτήματα Διесπαρμένης Παραγωγής	25
2.2 Φωτοβολταϊκά (photovoltaics)	27
2.2.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	27
2.2.2 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου	28
2.2.3 Καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου	29
2.2.4 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φ/Β Στοιχείου	30
2.2.5 Η απόδοση του Φ/Β στοιχείου	31
2.2.6 Φωτοβολταϊκή Γεννήτρια	31
2.2.7 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Κυψελών	32
2.2.8 Σημείο Μέγιστης Λειτουργίας (Maximum Power Point Tracking - MPPT)	32
2.3 Μικρές Ανεμογεννήτριες (small windturbines)	33
2.3.1 Ταχύτητα Ανέμου	34
2.3.2 Μεταβολή Ταχύτητας Ανέμου με το Ύψος	35
2.3.3 Ενεργειακό Περιεχόμενο και Ισχύς Ανέμου	36
2.3.4 Υποσυστήματα Ανεμογεννητριών	38
2.3.4.1 Ηλεκτρικό Σύστημα	39
2.3.4.2 Σύστημα Ελέγχου	39
2.3.5 Σύνδεση Ανεμογεννήτριας στο Ηλεκτρικό Δίκτυο	40
2.4 Μικροτουρμπίνες (microturbines)	41
2.4.1 Εφαρμογές και Χαρακτηριστικά Λειτουργίας	43
2.4.2 Σταθερό και Λειτουργικό Κόστος	44
2.5 Κυψέλες Καυσίμου (fuel cells)	45
2.5.1 Περιγραφή της Αρχής Λειτουργίας των Στοιχείων Καυσίμου	46
2.5.2 Βασικά Μέρη Κυψελών Καυσίμου	48
2.5.3 Κατηγορίες Στοιχείων Καυσίμου	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο</b>	52
<b>ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ</b>	52
3.1 Ορισμός Μικροδικτύου	52
3.2 Επιδράσεις στη Λειτουργία ενός ΣΗΕ από τα Μικροδίκτυα	55

3.2.1 Συνολικά Πλεονεκτήματα Μικροδικτύου .....	55
3.2.2 Αξιοπιστία και Ποιότητα Ισχύος στα Μικροδίκτυα .....	56
3.2.3 Λειτουργικά Οφέλη για το Ανάντη Δίκτυο .....	57
3.2.4 Περιβαλλοντικά Οφέλη Μικροδικτύου .....	58
3.2.5 Τυπική Δομή Μικροδικτύου .....	58
3.3 Τα Μικροδίκτυα στην Ελληνική Πραγματικότητα .....	60
3.3.1 Το Μικροδίκτυο της Κύθου .....	60
3.3.2 Δεσμεύσεις Μείωσης των Εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου .....	61
3.4 Έξυπνα Δίκτυα (smart grids) .....	63
3.4.1 Ορισμός και Γενικά Χαρακτηριστικά Έξυπνων Δικτύων .....	64
3.4.2 Παράγοντες ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων .....	65
3.4.3 Η Μετάβαση στα Μελλοντικά Δίκτυα .....	65
3.4.4 Βασικά Στοιχεία Δημιουργίας Έξυπνων Δικτύων .....	66
3.4.5 Η Ανάγκη Χρήσης Έξυπνων Μετρητών .....	67
3.4.6 Ανάπτυξη Έξυπνων Δικτύων .....	68
3.4.7 Η Παγκόσμια Πραγματικότητα των Έξυπνων Δικτύων .....	68
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>70</b>
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>70</b>
4.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας .....	70
4.1.1 Υπολογισμός Ενεργειακού Κόστους .....	71
4.1.2 Περιβαλλοντική Διαχείριση .....	72
4.1.3 Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης .....	72
4.1.4 Στρατηγική Εξοικονόμησης Ενέργειας .....	73
4.1.5 Ενεργειακός Σχεδιασμός και Νέες Τεχνολογίες .....	74
4.2 Αποδοτική Διαχείριση Ενέργειας – Εταιρίες Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών .....	74
4.2.1 Λογισμικά Ενεργειακής Διαχείρισης .....	77
4.3 Κανονισμός Ενεργειακής Αναβάθμισης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) .....	78
4.3.1 Μεθοδολογία Υπολογισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων .....	79
4.4 Μοντέλα Ενεργειακής Συμπεριφοράς Καταναλωτών .....	82
4.4.1 Οικιακός Τομέας .....	82
4.4.2 Εμπορικός Τομέας .....	83
4.4.3 Βιοτεχνία - Βιομηχανία .....	84
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο .....</b>	<b>85</b>
<b>ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ .....</b>	<b>85</b>
5.1 Κατηγορίες Προβλημάτων Βελτιστοποίησης .....	85
5.1.1 Προβλήματα Μη Γραμμικού Προγραμματισμού .....	86
5.1.2 Προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού .....	86
5.1.3 Αλγόριθμοι Ολικής Βελτιστοποίησης .....	87
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο .....</b>	<b>90</b>
<b>ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ.....</b>	<b>90</b>
6.1 Το Δίκτυο Μελέτης .....	90
6.1.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Δικτύου .....	91
6.1.2 Ανάντη Ηλεκτρικό Σύστημα (Ανάντη Δίκτυο) .....	92
6.1.3 Οι Καταναλωτές του Δικτύου .....	92
6.1.4 Μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	94
6.1.4.1 Χρονοσειρές Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	94

6.1.4.2 Ηλεκτρικά και Οικονομικά Χαρακτηριστικά Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής	95
6.1.4.3 Λειτουργικά Κόστη Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής	96
6.2 Μεθοδολογία Προσομοίωσης	100
6.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά και Παραδοχές Μοντελοποίησης	100
6.2.2 Μαθηματική Προσέγγιση	102
6.2.3 Οικονομική Βελτιστοποίηση του Μικροδικτύου	104
6.2.4 Αλγόριθμος Προσομοίωσης	105
6.2.5 Τιμολόγηση Καταναλωτών	107
6.2.6 Ενεργειακή Αναβάθμιση Καταναλωτών	108
6.2.7 Ελαστικότητα Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	110
6.2.8 Πολιτικές και Σενάρια Λειτουργίας	112
6.3 Μοντελοποίηση Απλού Δικτύου	112
6.3.1 Απλό Δίκτυο με ΟΤΣ (No_DG OTS)	114
6.3.2 Απλό Δίκτυο με Σταθερή Τμηματική Τιμολόγηση (No_DG Fixed pricing)	115
6.4 Ενεργειακή Πολιτική 1 – Αύξηση Διείσδυσης Διεσπαρμένης Παραγωγής	115
6.4.1 Δίκτυο Βάσης Σύγκρισης με ΟΤΣ (DG_1 OTS)	115
6.4.2 Δίκτυο Βάσης με Σταθερή Τμηματική Τιμολόγηση (DG_1 Fixed pricing)	116
6.4.3 Δίκτυο με Επαυξημένη Διείσδυση 20% ως προς το DG_1 OTS από ΑΠΕ (DG_2 OTS)	117
6.4.4 Δίκτυο με Επαυξημένη διείσδυση 20% ως προς το DG_1 OTS από ΜΤ (DG_3 OTS)	118
6.4.5 Δίκτυο με Επαυξημένη Διείσδυση 50% ως προς το DG_1 OTS από ΑΠΕ (DG_4 OTS)	119
6.4.6 Δίκτυο με Επαυξημένη Διείσδυση 50% ως προς το DG_1 OTS από ΜΤ (DG_5 OTS)	120
6.4.7 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με ΟΤΣ (Microgrid_OTS)	122
6.4.8 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με Σταθερή Τιμολόγηση (Microgrid_Fixed)	123
6.5 Ενεργειακή Πολιτική 2 – Ενεργειακή Αναβάθμιση Καταναλωτών	124
6.5.1 Δίκτυο DG_1 με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (DG_1_energyUpgrade_OTS)	124
6.5.2 Απλό δίκτυο No_DG με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (No_DG_energyUpgrade_OTS)	126
6.6 Τιμολογιακή Πολιτική	127
6.6.1 Δίκτυο DG_1 με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG1_10% OTS)	127
6.6.2 Δίκτυο No_DG με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No_DG_10% OTS)	129
6.6.3 Δίκτυο No_DG με Αύξηση της Fixed Τιμολόγησης κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No_DG_10% Fixed)	130
6.6.4 Δίκτυο DG_1 με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG_1_Discrete)	131
6.6.5 Δίκτυο No_DG με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No_DG_Discrete)	132
6.6.6 Δίκτυο No_DG με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed Τιμές (No_DG_Zones)	132
6.6.7 Δίκτυο DG_1 με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed Τιμές (DG_1_Zones)	134

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο</b>	135
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</b>	135
7.1 Κριτήρια Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων	135
7.1.1 Λειτουργικό Κόστος Δικτύου (Operating Cost – OC)	135
7.1.2 Ανηγμένο Λειτουργικό Κόστος Δικτύου (NOC)	136
7.1.3 Ηλεκτρικές Απώλειες (Electrical Losses – EL)	136
7.1.4 Ποσοστό Μείωσης Λειτουργικού Κόστους (OCR)	136
7.1.5 Ποσοστό Μείωσης Απωλειών (LR)	137
7.1.6 Λόγος Ισχύος Διεσπαρμένων Μονάδων προς Αιχμή Μικροδικτύου (PADG)	137
7.1.7 Λόγος Ισχύος Διεσπαρμένων Μονάδων προς Μέσο Φορτίο Μικροδικτύου (PMDG)	138
7.1.8 Μείωση Λειτουργικού Κόστους ανά kW Διεσπαρμένης Παραγωγής (CSDG)	138
7.1.9 Ποσοστιαία Μείωση Λειτουργικού Κόστους ανά € που Επενδύθηκε (CAP)	138
7.1.10 Παραγωγή Ενέργειας ανά kW για το Σύνολο των Μικροπηγών (NEDG)	139
7.1.11 Λόγος Ενέργειας Διεσπαρμένων προς Ενέργεια Μικροδικτύου (ERDG)	139
7.1.12 Επένδυση Κεφαλαίου (Capital Expenditure – CapEx)	139
7.1.13 Επιστροφή Επένδυσης (Return On Investment – ROI)	140
7.1.14 Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value – NPV)	140
7.1.15 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR)	141
7.1.16 Περίοδος Αποπληρωμής (Payback period – PB)	141
7.1.17 Συνολικό Φορτίο Δικτύου και Κατανομή στα Είδη των Καταναλωτών	142
7.1.18 Τα Συμβάντα Υπερφόρτισης των Γραμμών	143
7.1.19 Οι Περιπτώσεις Υπερτάσεων σε Ζυγούς	143
7.1.20 Χαρτοφυλάκιο Μικροπηγών	143
7.1.21 Ποσοστό Απωλειών σε Σχέση με την Ετήσια Ενέργεια του Δικτύου (LR)	143
7.1.22 Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας DG ανά Εγκατεστημένο KW (NEDG)	144
7.2 Αποτελέσματα Απλού Δικτύου	144
7.2.1 Απλό δίκτυο με ΟΤΣ (No_DG OTS)	144
7.2.2 Απλό δίκτυο με σταθερή τμηματική τιμολόγηση (No_DG Fixed pricing)	147
7.3 Αποτελέσματα 1ης Ενεργειακής Πολιτικής – Διείσδυση DG	149
7.3.1 Δίκτυο βάσης σύγκρισης με ΟΤΣ (DG_1 OTS)	149
7.3.2 Δίκτυο βάσης με σταθερή τμηματική τιμολόγηση (DG_1 Fixed pricing)	153
7.3.3 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 20% ως προς το DG_1 OTS από ΑΠΕ (DG_2 OTS)	156
7.3.4 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 20% ως προς το DG_1 OTS από ΜΤ (DG_3 OTS)	159
7.3.5 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 50% ως προς το DG_1 OTS από ΑΠΕ (DG_4 OTS)	163
7.3.6 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 50% ως προς το DG_1 OTS από ΜΤ (DG_5 OTS)	166
7.3.7 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με ΟΤΣ (Microgrid_OTS)	169
7.3.8 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με Σταθερή Τιμολόγηση (Microgrid_Fixed)	173
7.4 Αποτελέσματα 2ης Ενεργειακής Πολιτικής – Ενεργειακή Αναβάθμιση Καταναλωτών	176
7.4.1 Δίκτυο DG_1 με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (DG_1_energyUpgrade_OTS)	176
7.4.2 Απλό δίκτυο No_DG με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (No_DG_energyUpgrade_OTS)	179
7.5 Αποτελέσματα Τιμολογιακής Πολιτικής	182
7.5.1 Δίκτυο DG_1 με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG1_10% OTS)	182
7.5.2 Δίκτυο No_DG με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No_DG_10% OTS)	185
7.5.3 Δίκτυο No_DG με Αύξηση της Fixed Τιμολόγησης κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No_DG_10% Fixed)	188
7.5.4 Δίκτυο DG_1 με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα	

Ελαστικότητων Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG_1_Discrete) .....	190
7.5.5 Δίκτυο No_DG με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα	
Ελαστικότητων Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No_DG_Discrete) .....	193
7.5.6 Δίκτυο No_DG με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed	
Τιμές (No_DG_Zones) .....	196
7.5.7 Δίκτυο DG_1 με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed	
Τιμές (DG_1_Zones) .....	198
7.6 Συγκριτικά Αποτελέσματα .....	201
7.6.1 Σύγκριση Απλού Δικτύου .....	201
7.6.2 Σύγκριση Σεναρίων Αύξησης Διείδυσης DG .....	203
7.6.3 Σύγκριση Ενεργειακών Πολιτικών .....	206
7.6.4 Σύγκριση Τιμολογιακών Πολιτικών .....	209
7.7 Συμπεράσματα Συνολικής Προσομοίωσης .....	212
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο</b> .....	216
<b>ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ</b> .....	216
8.1 Μελέτη Δικτύου με Ελαστικότητες Καταναλωτών ως προς Εισοδήματα .....	216
8.2 Λειτουργία Δικτύου με Demand Response από Ευφυής Καταναλωτές .....	216
8.3 Ανάλυση Ρίσκου για Μεγιστοποίηση Εσόδων του Λειτουργού Αγοράς .....	217
8.3.1 Δέντρα Αποφάσεων .....	217
8.3.2 Αναμενόμενη Αξία της Τέλειας Πληροφόρησης .....	217
8.3.3 Συμπεριφορές Απέναντι στο Ρίσκο και Μοντέλα Απόφασης .....	218
8.4 Λειτουργία Αγοράς δύο Μικροδικτύων με Υποκατάστατα Προϊόντα Ηλεκτρικής Ενέργειας ..	219
8.5 Επέκταση Μοντελοποίησης σε Μεγαλύτερα και Πολυπλοκότερα Δίκτυα .....	219
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	220





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΕ)

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης [1]. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. Η τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ: την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή [2].

Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί ως το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευθεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της είτε να μετατρέπεται σε κάποια αποθηκεύσιμη μορφή ενέργειας. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Η σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεμελιωθεί στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσεως.

### 1.1 Δομή Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η δομή του συστήματος έχει πρωτεύουσα σημασία για τη γεωγραφική διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Η δομή και η σύνθεση του ΣΗΕ εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το μέγεθός του. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι συνήθως οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και γι' αυτό ο τεχνικός και οικονομικός σχεδιασμός των σταθμών παραγωγής, κύριων γραμμών μεταφοράς και των κεντρικών υποσταθμών πρέπει να είναι ενιαίος, με στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της κατανάλωσης με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως. Η διανομή είναι μια διαφορετική λειτουργία που σχεδιάζεται και αναπτύσσεται χωριστά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής και των καταναλωτών που εξυπηρετεί. Η δομή του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρονική της μεταβολή κατά τη διάρκεια του 24ώρου και από τη χωροταξική της κατανομή. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60Hz, χρησιμοποιούνται όμως και συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση λειτουργίας και η συχνότητα πρέπει να

παραμένουν σταθερές. Οι γραμμές μεταφοράς και οι γραμμές διανομής μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης διαθέτουν επίσης και τον ουδέτερο αγωγό. Στα τριφασικά συστήματα η ροή της ενέργειας είναι συνεχής και κάνει τη λειτουργία τους πολύ πιο ομαλή και αποδοτική απ' ό,τι θα ήταν αν η ροή ήταν παλλόμενη, όπως συμβαίνει στα μονοφασικά συστήματα.

Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι στην πλειονότητά τους βιομηχανικοί καταναλωτές ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο μέρος των πελατών εμπορικής χρήσης. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζει την ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των σταθμών παραγωγής, ενώ η καμπύλη ζήτησης περιγράφει χρονικά την απασχόληση των εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής από τους καταναλωτές. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ζήτησης διαμορφώνουν το κόστος λειτουργίας μιας επιχείρησης ηλεκτρισμού. Το κόστος προοδευτικά αυξάνει από την παραγωγή προς τη διανομή, γιατί μεσολαβούν πρόσθετες εγκαταστάσεις.

## 1.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Σήμερα χρησιμοποιείται η μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον καταναλωτή προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς, πυρηνικούς σταθμούς με την πυρηνική σχάση και από σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι ο άνεμος, τα θαλάσσια κύματα, η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα κ.α. Η παραγωγή από την καύση ορυκτών καυσίμων, τη γεωθερμία και τη βιομάζα πραγματοποιείται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με τη χρησιμοποίηση ατμοηλεκτρικών και νηζελοηλεκτρικών σταθμών. Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι και αυτοί ατμοηλεκτρικοί σταθμοί που όμως ο λέβητας έχει αντικατασταθεί από τον πυρηνικό αντιδραστήρα. Οι νηζελοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Επίσης, θερμική παραγωγή πραγματοποιείται σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου, όπου έχουμε συνδυασμό λειτουργίας αεριοστροβίλου και ατμοστροβίλου όπου τα καυσαέρια του αεριοστροβίλου χρησιμοποιούνται στο ατμοηλεκτρικό μέρος του σταθμού. Η θερμική παραγωγή χαρακτηρίζεται ως ένας έμμεσος τρόπος παραγωγής, γιατί προηγούνται δύο στάδια μετατροπών. Άμεσο τρόπο παραγωγής έχουμε όταν παρακάμπτεται το στάδιο μετατροπής σε μηχανική ενέργεια, όπως συμβαίνει στις θερμοηλεκτρικές γεννήτριες. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς η κινητική και η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των υδροστροβίλων και των γεννητριών. Διακρίνονται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς φυσικής ροής και ρυθμιζόμενης ροής. Οι πιο διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών που συνδέονται σε κάποιον ζυγό του δικτύου. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο μέσω ανεμοπτερυγίων και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται συνήθως σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό για την οικονομική βιωσιμότητά τους. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απ' ευθείας σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των ηλιακών κυψελών. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών σταθμών είναι μέχρι σήμερα χαμηλή, περίπου 17%.

### 1.3 Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης απ' όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής [3].

Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και δικά τους εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης. Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς. Το σύστημα μεταφοράς πρέπει να παρέχει σταθερή τάση και οι τάσεις των τριών φάσεων να βρίσκονται σε ισορροπία. Η αποδοτικότητα θα πρέπει να πλησιάζει την τιμή, η οποία συνεπάγεται ελάχιστο ετήσιο κόστος μεταφοράς. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται υπό υψηλή τάση διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και αυξημένες δυνατότητες μεταφοράς ισχύος. Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς ανάλογα με την απόσταση και την ποσότητα της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί.

Η μορφή των δικτύων μεταφοράς μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική ανάλογα με τη σχετική θέση των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα καταναλώσεως. Η ισχύς η οποία μπορεί να μεταφερθεί από μια γραμμή μεταφοράς είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσεως γι' αυτό χρησιμοποιούνται υπερυψηλές τάσεις για την επίτευξη μεγάλων ισχύων μεταφοράς. Επιπλέον οι μειωμένες απώλειες τις οποίες συνεπάγεται η μεταφορά με υπερυψηλές τάσεις, καθιστούν οικονομικότερη τη λειτουργία με τις τάσεις αυτές λόγω μικρότερου ρεύματος.

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

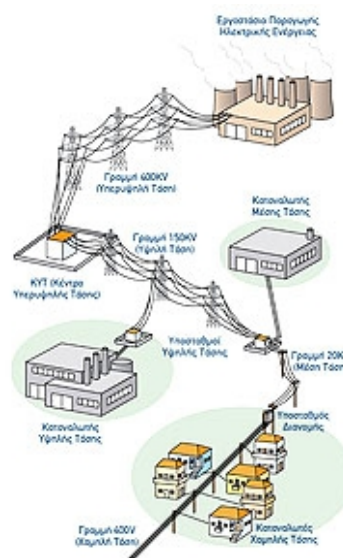
### 1.4 Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες λειτουργίας και ελέγχου που απαιτούνται ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να διανεμηθεί στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των οποίων αυτή φτάνει ως τους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς [4].

Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά το μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση του εκάστοτε καταναλωτή. Η διάκριση μεταξύ των δικτύων μεταφοράς και διανομής διαφέρει από χώρα σε χώρα. Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και η τεχνολογική εξέλιξη των υλικών οδήγησαν στη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων τάσεων για τη διανομή με αποτέλεσμα δίκτυα που παλαιότερα έπαιζαν το ρόλο μεταφοράς να χαρακτηρίζονται ως δίκτυα υπομεταφοράς και να αποτελούν μέρος της διανομής. Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας η αξία των εγκαταστάσεων διανομής κυμαίνεται στο 30% του συνόλου των εγκαταστάσεων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διανομής είναι

το πλήθος των στοιχείων που αποτελούν το δίκτυο. Οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες από το επίπεδο μεταφοράς κυρίως λόγω αυξημένων ρευμάτων. Η κατασκευαστική διαμόρφωση των δικτύων διανομής συνδέεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόμησης των πόλεων και του τρόπου χωροταξικής διαμόρφωσης. Τα δίκτυα διανομής χαρακτηρίζονται σε δίκτυα υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης. Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και υπόγεια. Τα εναέρια είναι λιγότερο δαπανηρά και σε αυτά η αποκατάσταση των βλαβών καθώς και η σύνδεση είναι ταχύτερη.

Ωστόσο στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων τα δίκτυα κατασκευάζονται υπόγεια, διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτίρια αλλά και για λόγους αισθητικής.



Σχήμα 1. Γενικευμένη Απεικόνιση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

## 1.5 Φορτία

Ο όρος φορτίο αναφέρεται σε μια συσκευή που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια. Ένα ΣΗΕ κατάλληλα σχεδιασμένο μπορεί να παρέχει ενέργεια σε διάφορα φορτία. Οι κύριες κατηγορίες των φορτίων είναι οι ακόλουθες:

- Κινητήρες
- Συσκευές Θέρμανσης
- Ηλεκτρονικές Συσκευές
- Φωτιστικά σώματα

Από ηλεκτρική άποψη υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των διαφόρων φορτίων σε ότι αφορά το μέγεθος, τη συμμετρία, τη σταθερότητα και την περίοδο λειτουργίας. Για τις μελέτες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η μεταβολή των φορτίων συναρτήσει της τάσεως και της συχνότητας. Τα φορτία στις μελέτες των ΣΗΕ συνήθως αναπαρίστανται με δύο τρόπους, ως φορτία σταθερής αντίστασης  $Z=R+j\omega L$ , ή ως φορτία σταθερής ισχύος  $S=P+jQ$ . Τα σύνθετα φορτία, όπως είναι τα περισσότερα φορτία στην πράξη, μεταβάλλονται με την τάση και τη συχνότητα. Σε πολλές περιπτώσεις ενδιαφέρουν οι μεταβολές  $\Delta P$ ,  $\Delta Q$  της ισχύος των φορτίων, που προκαλούνται από μικρές μεταβολές της συχνότητας και της τάσης. Σε πολλές μελέτες σύνθετων φορτίων προκύπτει ότι ένα μέσο φορτίο αποτελείται κατά 60% από επαγωγικούς κινητήρες, 20% από σύγχρονους κινητήρες και κατά 20% από διάφορα φορτία.

## 1.6 Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για την εξασφάλιση της σωστής σχεδίασης και της καλής και αξιόπιστης λειτουργίας των ΣΗΕ εκπονούνται εξειδικευμένες μελέτες. Οι μελέτες ανάλυσης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε μελέτες μόνιμης κατάστασης και σε μελέτες μεταβατικής κατάστασης. Οι μελέτες μόνιμης κατάστασης περιλαμβάνουν την ανάλυση ροών φορτίου και την οικονομική κατανομή φορτίου, ενώ οι μελέτες μεταβατικής κατάστασης περιλαμβάνουν την ανάλυση βραχυκυκλωμάτων, των ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και της ευστάθειας. Με τον όρο ανάλυση ροών φορτίου εννοούμε τον υπολογισμό των τάσεων, των ρευμάτων και των ροών ενεργού και αέργου ισχύος στα διάφορα σημεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από πραγματικές ή υποτιθέμενες συνθήκες φορτίσεως και λειτουργίας. Οι μελέτες αυτές είναι αναγκαίες τόσο κατά τη διάρκεια της καθημερινής λειτουργίας όσο και για τις μελέτες επέκτασης και ανάπτυξης του συστήματος. Η ανάλυση των ροών φορτίου χρειάζεται επίσης για να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις από τις διασυνδέσεις με άλλα συστήματα, την εισαγωγή νέων φορτίων, την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής, την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς.

## 1.7 Οικονομική Κατανομή Φορτίου

Το πρόβλημα της οικονομικής κατανομής φορτίου αναφέρεται στη βελτιστοποίηση της κατανομής του συνολικού φορτίου του συστήματος ανάμεσα στις μονάδες παραγωγής. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιώντας τις απαιτήσεις τάσεως και συχνότητας της ζήτησης με διάταξη ροών φορτίου κατά άπειρους τρόπους. Όμως, μόνο μία διάταξη θα δώσει την οικονομικότερη λειτουργία. Ένα σύστημα που λειτουργεί έτσι λέγεται ότι λειτουργεί με οικονομική κατανομή φορτίου. Η παραγωγή των γεννητριών του συστήματος καθορίζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το ελάχιστο συνολικό κόστος λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη τους τεχνικούς περιορισμούς του συστήματος. Οι περιορισμοί αυτοί περιλαμβάνουν τα θερμικά όρια των γραμμών μεταφοράς, τα επιθυμητά όρια τάσεων των υποσταθμών, τα όρια ενεργού και αέργου παραγωγής των μονάδων κ.ά.

## 1.8 Λειτουργία και Έλεγχος ΣΗΕ

Η διαχείριση της ενέργειας ενός μεγάλου διασυνδεδεμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με κεντρικά συστήματα εποπτείας και αυτομάτου ελέγχου, με τα οποία εξασφαλίζεται οικονομική λειτουργία, υψηλός δείκτης ασφάλειας και μεγάλη αξιοπιστία λειτουργίας. Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές υπό ορισμένη τάση και συχνότητα, οι τιμές των οποίων πρέπει να διατηρούνται σταθερές μέσα σε προκαθορισμένα όρια και η τήρηση αυτών των συνθηκών καθορίζει την ποιότητα ισχύος με την οποία εξυπηρετείται ο καταναλωτής. Η σχεδίαση του συστήματος και η λειτουργία του πρέπει να εξισορροπούν καλή ποιότητα εξυπηρέτησης και καλό δείκτη αξιοπιστίας με ικανοποιητικό κόστος λειτουργίας του συστήματος.

Ο έλεγχος της συχνότητας και της τάσης αποτελούν τις δύο βασικές διαδικασίες λειτουργίας ενός ΣΗΕ. Η συχνότητα συνδέεται με το ισοζύγιο πραγματικής ισχύος. Η συνεχής εξισορρόπηση του ισοζυγίου αυτού έχει σαν αποτέλεσμα τη σταθερή τιμή της συχνότητας. Σε κάθε μεταβολή του φορτίου η παραγωγή πρέπει να προσαρμόζεται άμεσα.

Η ρύθμιση αυτή γίνεται από τους ρυθμιστές στροφών των στροβίλων, οι οποίοι αποτελούν συστήματα κλειστού βρόχου και ανταποκρίνονται αυτόματα στις αλλαγές του φορτίου. Στα σύγχρονα διασυνδεδεμένα συστήματα το πρόβλημα του ελέγχου συχνότητας είναι σύνθετο και περιλαμβάνει την κατανομή των μεταβολών ζήτησης μεταξύ των διαφόρων μονάδων. Το πρόβλημα της διατήρησης της τάσης μεταξύ των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι η τάση δεν είναι ενιαία σε όλο το σύστημα, όπως η συχνότητα, αλλά ποικίλει από θέση σε θέση και σχετίζεται με την άεργο ισχύ, η οποία διακινείται από το σύστημα.

Επομένως η ρύθμιση της τάσης δεν μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες που είναι φυσιολογικά οι πηγές άεργου ισχύος, αλλά γίνεται και με άλλα μέσα σε περισσότερες θέσεις του δικτύου και συγκεκριμένα με τη ρύθμιση της σχέσης μεταφοράς των μετασχηματιστών, με τη σύνδεση και αποσύνδεση πυκνωτών, πηνίων και εξειδικευμένων διατάξεων.

## 1.9 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η κατάσταση στην ελληνική αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δείχνει πλέον σημεία ωριμότητας. Τα ηλιακά συστήματα αποτελούν ευρύτατα διαδεδομένες λύσεις που συνεχίζουν να βελτιώνονται τεχνικά και να αυξάνουν τη συμμετοχή τους. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραμένουν σχετικά δαπανηρά, κυρίως λόγω του υψηλού αρχικού κόστους αγοράς και εγκατάστασης, δεν θεωρούνται όμως πλέον ως εξεζητημένη τεχνολογία, κάτι που θεωρούσαν την προηγούμενη δεκαετία. Η αξιοποίηση της βιομάζας δείχνει να είναι, κυρίως σε εφαρμογές συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, μια συνεχώς αυξανόμενη σημασία. Τέλος, η αιολική ενέργεια αποτελεί την πλέον αξιόπιστη και οικονομικά ελκυστική πρόταση και από την μεριά του επενδυτή και του διαχειριστή συστήματος, καθώς η παραγόμενη αιολική ενέργεια αγοράζεται σε τιμές σχετικά κοντά στις οριακές τιμές συστήματος (ΟΤΣ) οι οποίες προκύπτουν από την εκκαθάριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία βάση. Όμως παρουσιάζονται δυσκολίες κυρίως από την απαίτηση εφαρμογής πολύπλοκων και μεγάλων μηχανισμών χρηματοδότησης για την επίτευξη σημαντικών έργων. Παρόλα αυτά η αιολική ενέργεια προσελκύει σημαντικό αριθμό επενδυτών. Το κόστος των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί, βέβαια με ποιο αργά βήματα απ' ότι τα φωτοβολταϊκά, ενώ πλέον χρησιμοποιούνται όλο και μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες, δημιουργώντας οικονομίες κλίμακας και βελτιώνοντας τις απαιτήσεις σε χώρο εγκατάστασης.

Η ηλεκτροπαραγωγή από τις κλασικές ΑΠΕ (αφορά κυρίως τα αιολικά, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά και σε μικρότερο βαθμό τη βιομάζα) στην Ελλάδα αυξάνεται σημαντικά τα τελευταία έτη λόγω κινήτρων κυρίως μέσα από ελκυστικές τιμές αγοράς της παραγόμενης από αυτές ενέργειας. Κινείται δε με τόσο γοργούς ρυθμούς που δείχνει να επιτυγχάνεται η δέσμευση για παραγωγή 20% του συνόλου της ενέργειας της χώρας από ΑΠΕ έως το 2020. Τα στατιστικά στοιχεία των τελευταίων ετών παρουσιάζουν διακύμανση του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή από 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.

## 1.10 Το Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα αναπτύχθηκε στην Ελλάδα από το 1960, με στόχο την ηλεκτροδότηση της χώρας μέσω της εκμετάλλευσης των εγχώριων πηγών ενέργειας. Μια σημαντική διαπίστωση για το ηλεκτρικό σύστημα στην Ελλάδα είναι ότι βρίσκεται στα όρια του ελλείμματος επενδύσεων. Οι ΑΠΕ έχουν ακόμη μεγαλύτερα καθότι υπάρχει πλούσιο δυναμικό και δυναμικές πολιτικές επιδότησης κατά τα τελευταία έτη.

Οι ενδογενείς ενεργειακοί πόροι και η ανησυχία για τη σταθεροποίηση της ασφάλειας εφοδιασμού οδηγούν στη διατήρηση σημαντικού μεριδίου του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή βέβαια με σχεδιασμό νέων καθαρότερων μονάδων. Η χρήση πετρελαιοειδών φαίνεται 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 παραγωγής λιγνίτη δεν είναι παρά προσωρινή επιλογή εξαιτίας της μείωσης των διαθέσιμων αποθεμάτων και της συνεχούς αύξησης του κόστους εξόρυξης και των δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Τελευταία εμφανίζονται επενδύσεις σε σταθμούς φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου, που θα διαμορφώσουν μακροπρόθεσμα έναν κύριο πυλώνα προμήθειας ενέργειας, επηρεαζόμενοι βέβαια από τις αυξομειώσεις της τιμής του φυσικού αερίου. Τα υδροηλεκτρικά έργα είναι ελκυστικά, αλλά τα περιθώρια ανάπτυξης τους είτε φυσικά είτε γεωγραφικά είναι περιορισμένα. Οι ΑΠΕ παρότι ωθούνται από το Σύστημα Συναλλαγών Δικαιωμάτων Εκπομπών (ETS, Emissions Trading Scheme), παραμένουν πιο ακριβές από τις παραδοσιακές μορφές ενέργειας.

Η πυρηνική ενέργεια δεν έχει προωθηθεί στην Ελλάδα και δεν συμπεριλαμβάνεται σε καμία έκθεση ενεργειακού σχεδιασμού σε επίπεδο χώρας, τουλάχιστον για τα επόμενα χρόνια. Τέλος, η Ελλάδα παρουσιάζει σχετικά μικρή ανάπτυξη της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Μεγάλο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος βρίσκεται στα διυλιστήρια, σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής και στη βιομηχανία τροφίμων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

### ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

#### 2.1 Ορισμός Διεσπαρμένης Παραγωγής (DG)

Με τον όρο, διεσπαρμένη ή κατανεμημένη (διανεμημένη) παραγωγή (DG – Distributed Generation) ορίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας, εντός ενός δικτύου διανομής. Διεσπαρμένες Πηγές Ενέργειας (Distributed Energy Resources) ορίζονται οι γεννήτριες μικρής ισχύος συνήθως (max~1MW) εγκατεστημένες στο χώρο του καταναλωτή [9]. Ομοίως, μικρές μονάδες παραγωγής εγκατεστημένες από εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας κοντά στις εγκαταστάσεις τους για να συμπληρώνουν την ισχύ του δικτύου ονομάζονται διεσπαρμένη παραγωγή κοινής ωφέλειας (utility DG). Συνήθως στον ορισμό συμπεριλαμβάνονται και κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως η ύπαρξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από τις οποίες οι σημαντικότερες είναι:

- i. αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες)
- ii. ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά)
- iii. κυψέλες καυσίμου
- iv. υδροηλεκτρικές πηγές (μικρές πηγές)
- v. ενέργεια από βιομάζα
- vi. γεωθερμικές πηγές
- vii. ενέργεια των θαλασσιών κυμάτων

Εκτός από τις ΑΠΕ, στη διεσπαρμένη παραγωγή εντάσσονται και άλλες τεχνολογίες, που η λειτουργία τους βασίζεται στη χρήση καυσίμων, όπως είναι οι μικροτουρμπίνες αερίου, οι εμβολοφόρες μηχανές κ.ά. Το Ινστιτούτο IEEE, καθορίζει τη διανεμημένη παραγωγή, ως παραγωγή ηλεκτρισμού από εγκαταστάσεις οι οποίες είναι σημαντικά μικρότερες από τα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διασύνδεσή τους σχεδόν σε κάθε σημείο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά στην κατάταξη των κατανεμημένων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορίζει την κατανεμημένη παραγωγή ως παραγωγή από μερικά kW έως 5 MW. Η CIGRE έχει δημιουργήσει επίσης ομάδα εργασίας στον τομέα της διανεμημένης παραγωγής όπου σύμφωνα με την οποία μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής συνιστούν μονάδες που δεν υπερβαίνουν τα 100MW, είναι συνήθως συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής και η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δεν γίνεται κεντρικά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ορισμός της διεσπαρμένης παραγωγής και τα συμπεράσματα στα οποία μπορεί να καταλήξει κανείς από τη νομοθετική θεώρηση της έννοιας στις διάφορες χώρες. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά διάφοροι ορισμοί που δίνονται:

**Ελλάδα:** Σύνδεση στο σύστημα διανομής, όχι κεντρικά σχεδιασμένο. Η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δε γίνεται κεντρικά.

**Αυστρία:** Παραγωγή συνήθως μέχρι 10 MW, συνδεδεμένη στο δίκτυο μέσης τάσης.

**Βέλγιο:** Δε συμπεριλαμβάνεται στην εθνική συντονισμένη παραγωγή.

**Γαλλία:** Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 132 kV), όπου παρέχεται η δυνατότητα άμεσης παροχής στο φορτίο του πελάτη. Παραγωγή που συνδέεται στα εξής επίπεδα τάσης (0,4, 15 και 20 kV).

**Γερμανία:** Δεν υπάρχει αυστηρός ορισμός. Οι κυριότερες τεχνολογίες είναι ήλιου, ανέμου και μικρών υδροηλεκτρικών (σύνδεση μέχρι 20 kV, ενώ για αιολικά πάρκα μέχρι 110 kV).

**Ολλανδία:** Ανήκει στην επιχείρηση δημόσιας ωφέλειας, στη βιομηχανία ή σε συνδυασμό αυτών, αλλά δε μετέχει στη βελτιστοποίηση τη εθνικής παραγωγής (σύνδεση μέχρι τα 150 kV).

**Πορτογαλία:** Όριο ισχύος τα 10 MW. Οι τεχνολογίες είναι συμπαραγωγή ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η σύνδεση μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης.

Οι λόγοι που οδηγούν στη διεσπαρμένη παραγωγή έχουν να κάνουν με τις ανάγκες ως προς:

- Ύπαρξη εγκατεστημένης ισχύος για παροχή εφεδρείας σε περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας ή και για ψαλιδισμό αιχμών του καταναλωτή (peak shaving).
- Αυξημένη αξιοπιστία και βελτίωση της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος σε τοπικό επίπεδο.
- Μείωση των απωλειών κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από ένα απομακρυσμένο κεντρικό σταθμό στο σημείο κατανάλωσης.
- Υποστήριξη δικτύου με βοηθητικές υπηρεσίες όπως είναι η παροχή έργου ισχύος και υποστήριξης τάσης, η παροχή παραγωγής με γρήγορη απόκριση για αποφυγή διακοπής της κατανάλωσης και η δυνατότητα επανεκκίνησης μετά από διακοπή.
- Εκμετάλλευση συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) η οποία γίνεται σε τοπικό επίπεδο π.χ. σε βιομηχανικές διεργασίες κτλ.
- Αποτελεσματική χρήση των δυνατοτήτων για φτηνά τοπικά παραγόμενα καύσιμα και η επί τόπου αξιοποίησή τους όπως για παράδειγμα το τοπικά παραγόμενο βιοαέριο στους βιολογικούς καθαρισμούς.
- Εξοικονόμηση αρχικού κόστους κεφαλαίου και χρόνου από τη δημιουργία ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ή νέων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξευγενισμένων καυσίμων.

### 2.1.1 Τεχνολογίες Διανεμημένης Παραγωγής και Κόστη Εγκατάστασης

Οι βασικότερες τεχνολογίες διανεμημένης παραγωγής που χρησιμοποιούνται σήμερα στον οικιακό τομέα είναι τα φωτοβολταϊκά (PV) και οι κυψέλες καυσίμου, αποδίδοντας ισχύ περίπου μερικών kW. Στον εμπορικό τομέα βρίσκουν εφαρμογή, εκτός από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες, και άλλες όπως οι παλινδρομικές μηχανές, οι μικροστρόβιλοι, ντιζελογεννήτριες, γεννήτριες από αξιοποίηση βιομάζας και μικρά υδροηλεκτρικά.

Το κόστος των τεχνολογιών PV, κυψελών καυσίμου και μικροστρόβιλων εμφανίζει σημαντικά φθίνουσα τάση και αναμένεται να έχει μειωθεί μέχρι το 2020 πάνω από 60% σε σύγκριση με τις τιμές του 2000. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα όπου φαίνεται η πιθανή εξέλιξη των παραπάνω τεχνολογιών στην εικοσαετία 2000 – 2020:

Technology Type	Size (kw)	Conversion Efficiency (%)		Equipment Cost(1999-\$/KW)		Lifetime (years)	CF (%)
		2000	2020	2000	2020		
Residential PV	2	14	20	7370	3814	30	100
Residential Fuel Cell	5	36	47	3674	1713	20	34
Commercial PV	10	14	22	7370	2872	30	100
Commercial Fuel Cell	200	36	50	3674	1433	20	86
Commercial Gas Engine	200	28	31	1390	990	20	86
Commercial Gas Turbine	1000	22	28	1600	1340	20	86
Commercial Microturbine	100	26	36	1970	915	20	86
Commercial Conventional Coal	200	30	30	-	-	20	86
Commercial Conventional MSW	200	24	24	-	-	20	86
Commercial Conventional Oil	200	31	31	1390	990	20	86
Commercial Biomass	1500	24	24	-	-	20	86
Commercial Hydro	1000	29	29	-	-	20	86
Utility DG-Base	2000	31	37	580	534	30	50
Utility DG-Peak	1000	32	32	521	387	30	5

**Πίνακας 2.1** Κόστος, ζωή και αποδοτικότητα τεχνολογιών DG

Ο ανωτέρω πίνακας αποτυπώνει το ενεργειακό κόστος για διάφορες τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής. Οι τιμές αυτές ήδη έχουν αλλάξει δραματικά προς τα κάτω ιδιαίτερα για τα φωτοβολταϊκά όπου έχουν αρχίσει να εισέρχονται ανταγωνιστικά πλέον (ως προς το κόστος επένδυσης) στην αγορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση ο πίνακας αποτυπώνει την κλίμακα κόστους, συγκριτικά, για τις διάφορες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής [10]. Πολύ ανταγωνιστικές τεχνολογίες DG παρουσιάζονται να είναι οι μικροστρόβιλοι, οι κυψέλες καυσίμου, (λιγότερο) οι συμβατικές γεννήτριες πετρελαίου και οι γεννήτριες φυσικού αερίου. Από τον πίνακα απουσιάζουν οι μικρές ανεμογεννήτριες (μέχρι 50KW) όπου κερδίζουν συνεχώς έδαφος στην ευρύτερη αγορά και πλέον αποτελούν μια πολύ δραστική λύση εφαρμογής ΑΠΕ σε μικροκλίμακα.

	Παλινδρομικές μηχανές(diesel)	Παλινδρομικές μηχανές(NG)	Μικροστρόβιλοι	Αεριοστρόβιλοι	Κυψέλες Καυσίμου
Ηλεκτρική ισχύς	30 - 6+MW	30 - 6+MW	30 - 400KW	0.5 - 30+MW	100 - 3000KW
Κόστος κεφαλαίου(\$/KW)	600 - 1000	700 - 1200	1200 - 1700	400 - 900	4000 - 5000
Ηλεκτρική απόδοση	30 - 43%	30 - 42%	14 - 30%	21 - 40%	36 - 50%
Κόστη συντήρησης (\$/KWh)	0.005 – 0.015	0.007 – 0.02	0.008 – 0.015	0.004 – 0.01	0.0019 – 0.0153
Μέγεθος(sqft/KW)	0.22 – 0.31	0.28 – 0.37	0.15 – 0.35	0.02 – 0.61	0.9

**Πίνακας 2.2** Ενδεικτικά χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε τεχνολογίας

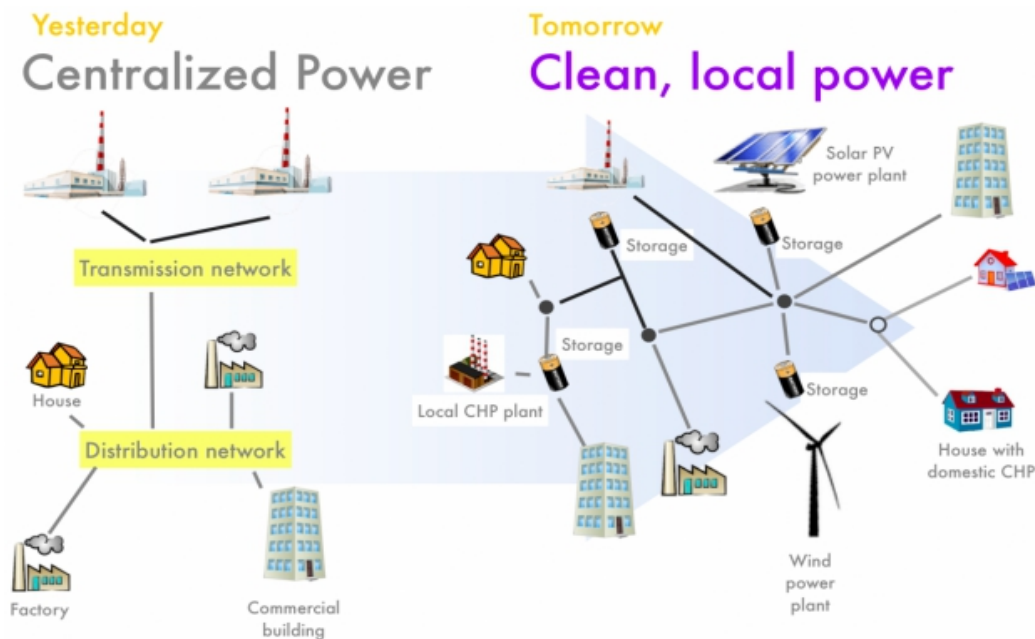
## 2.1.2 Τεχνικά, Οικονομικά και Περιβαλλοντικά Οφέλη της Διεσπαρμένης Παραγωγής

Η χρήση Διεσπαρμένης Παραγωγής παρουσιάζει σημαντικά τεχνικά (ηλεκτρικά κυρίως) και οικονομικά οφέλη. Τα δε περιβαλλοντικά οφέλη θεωρούνται σημαντικότερα και ως δεδομένο αποτέλεσμα μέσα από τη χρήση της. Η διεσπαρμένη παραγωγή οδηγεί στην μείωση της συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης (μείωση απωλειών μεταφοράς της ενέργειας καθώς η παραγωγή βρίσκεται ακριβώς δίπλα στην κατανάλωση), στη βελτίωση της αξιοπιστίας παροχής ενέργειας και ποιότητας ισχύος, εμφανίζει σαφώς μικρότερη επίδραση στο ενεργειακό αποτύπωμα στο περιβάλλον, βοηθά στην καλύτερη λειτουργία του δικτύου όσον αφορά τις απώλειες, συμφορήσεις, επαναφορά από διακοπή και αποτελεί πιο αποδοτική επένδυση κεφαλαίου για την αντικατάσταση παλαιωμένου εξοπλισμού.

Επίσης, η Διεσπαρμένη Παραγωγή είναι συμφέρουσα λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, την αύξηση της παροχής ενέργειας. Τέλος, το σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι πως αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την ανάπτυξη των μελλοντικών έξυπνων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας “SmartGrids”. Η χρήση Διεσπαρμένων Πηγών Ενέργειας διασφαλίζει απτά οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές, όπως, μικρότερο συνολικό λειτουργικό ενεργειακό κόστος δικτύου ή αποφυγή υψηλών τιμολογίων κατά τη διάρκεια της αιχμής φορτίου, αλλά και δυσδιάκριτα οφέλη, όπως βελτίωση της ποιότητας ισχύος. Επιπροσθέτως, η εξάπλωση της χρήσης των DER οδηγεί σε νέα οφέλη για τους καταναλωτές, τις εταιρείες παροχής υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας και το κοινό. Παραδείγματος χάριν, ένας καταναλωτής μπορεί να χρησιμοποιήσει DER για να μειώσει την αιχμή φορτίου του και να πληρώνει λιγότερο σε περιβάλλοντα σύγχρονων ηλεκτρικών δικτύων που θα πραγματοποιείται τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Αν περισσότεροι καταναλωτές κάνουν το ίδιο, θα μειωθεί το συνολικό φορτίο αιχμής της εταιρείας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να μην χρειαστεί να γίνει μία προβλεπόμενη αναβάθμιση, γεγονός το οποίο ωφελεί και τους άλλους καταναλωτές, οι οποίοι θα επιβαρύνονταν με το κόστος της αναβάθμισης της εταιρείας.

Εκτός από τα ευνόητα οικονομικά οφέλη, προκύπτουν και τα πιο πολύπλοκα οφέλη αξιοπιστίας χάρη στη χρήση DER. Υπό προϋποθέσεις, οι DER μπορούν 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. Τα σημαντικότερα, λοιπόν, οφέλη αξιοπιστίας που προσφέρουν είναι η υποστήριξη και σταθερότητα στην παροχή τάσης, αξιοπιστία αέργου ισχύος, εφεδρεία για απρόβλεπτα φαινόμενα, δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης (black start). Επιπροσθέτως, πολλοί καταναλωτές απαιτούν υψηλότερη ποιότητα ενέργειας από τη συνηθισμένη, που προμηθεύεται το μεγαλύτερο μέρος των καταναλωτών. Τέτοιοι είναι τα νοσοκομεία, τα τηλεπικοινωνιακά κέντρα, η βιομηχανία ημιαγωγών, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, κ.α. 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 DER να ικανοποιήσουν τις αυξημένες ανάγκες τους για ποιότητα ισχύος.

Οι καταναλωτές επωφελούνται από την μείωση του κόστους και την βελτίωση της ποιότητας και αξιοπιστίας ισχύος, ενώ επιπροσθέτως, αυξάνεται η ενεργειακή ασφάλεια. Τα διασυνδεδεμένα δίκτυα επίσης επωφελούνται από χρήστες DER, οι οποίοι “ανακουφίζουν” το σύστημα διανομής ενέργειας, παρέχουν υποστήριξη όσον αφορά την τάση και τη συχνότητα του δικτύου, βελτιώνουν τη σταθερότητα του συστήματος, μειώνουν τις απώλειες γραμμής και την πιθανότητα συμφόρησης στη γραμμή και συχνά καθιστούν αχρείαστες ορισμένες αναβαθμίσεις στις εγκαταστάσεις μεταφοράς και διανομής.



Σχήμα 2.1 Πλεονεκτήματα και δομή διεσπαρμένης παραγωγής

Στη συνέχεια κατηγοριοποιούνται και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα όπως αναφέρθηκαν και προηγουμένως:

### Οικονομικά

- Η διεσπαρμένη παραγωγή καλύπτει μία ευρεία γκάμα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών που παρέχουν ισχύ μικρής κλίμακας, σε τοποθεσία κοντά στους χρήστες. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό.
- Η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην τοποθεσία στην οποία χρησιμοποιείται ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, που αποτελεί ένα σημαντικό μέρος (πάνω από το 30%) του συνολικού κόστους του ηλεκτρισμού.
- Ένα ακόμα οικονομικό όφελος είναι η αύξηση της σταθερότητας στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και η μείωση της ζήτησης καυσίμου με μία επακόλουθη μείωση και στην τιμή τους και μια καθυστέρηση στις αυξήσεις των τιμών ενέργειας γενικότερα. Όλα αυτά οδηγούν σε μία γενική πτώση των τιμών, χάρη στο μικρότερο κόστος παραγωγής προϊόντων. Σχεδόν πάντα η διανεμημένη παραγωγή διασφαλίζει απτά οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές, όπως μικρότερο συνολικό ενεργειακό κόστος και αποφυγή υψηλών τιμολογίων κατά τη διάρκεια της αιχμής φορτίου.
- Χρησιμοποιώντας όλο και περισσότεροι καταναλωτές ανανεώσιμες πηγές με τη μορφή διεσπαρμένης παραγωγής, μειώνεται το συνολικό φορτίο αιχμής της εταιρείας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι δε χρειάζεται να γίνει καμία αναβάθμιση του δικτύου (το οποίο ωφελεί και τους άλλους καταναλωτές που θα επιβαρύνονταν με το κόστος της αναβάθμισης της εταιρείας), αφού η διεσπαρμένη παραγωγή βοηθά στην αποσυμφόρηση των ήδη υπάρχοντων γραμμών.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή παρέχει πολλά πλεονεκτήματα στους καταναλωτές θερμικών φορτίων, μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής (αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος), καθώς επίσης και σε εκείνους που έχουν πρόσβαση σε φτηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα στο φυσικό αέριο. Επιπλέον, προσφέρει πλεονεκτήματα στους καταναλωτές που

ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπου ζουν και μπορούν έτσι να αξιοποιήσουν τις ανανεώσιμες πηγές.

- Από επενδυτική σκοπιά είναι πρακτικά πιο εύκολο να βρεθούν τοποθεσίες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες μορφές διεσπαρμένης παραγωγής από ότι για ένα μεγάλο, κεντρικό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος, και μάλιστα οι μονάδες αυτές είναι πιο εύκολο και γρήγορο να συνδεθούν στο δίκτυο. Η έκθεση και το ρίσκο του κεφαλαίου μειώνονται, και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.

### **Περιβαλλοντικά**

- Η εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βοηθά στη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>) αλλά και άλλων επιβλαβών αερίων όπως είναι τα οξείδια του θείου και του αζώτου (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την μείωση των απωλειών στις γραμμές μεταφοράς λόγω της σωστής χωροθέτησης των μικροπηγών σε σχέση με την τοποθεσία και δυναμικότητα, μπορεί να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο το περιβαλλοντικό όφελος.

### **Ηλεκτρικά – Τεχνικά**

- Τα σημαντικότερα οφέλη αξιοπιστίας που προσφέρει η διεσπαρμένη παραγωγή είναι υποστήριξη και σταθερότητα στην παροχή τάσης, αξιοπιστία άεργου ισχύος, εφεδρεία για απρόβλεπτα φαινόμενα και δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης (black start). Κι αυτό γιατί υπό προϋποθέσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρική ισχύς σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, καθώς και σε περιπτώσεις βύθισης τάσης, ώστε να ενισχυθεί η ποιότητα της ισχύος που παρέχεται τοπικά.
- Επιπροσθέτως πολλοί καταναλωτές, όπως νοσοκομεία, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, βιομηχανίες ημιαγωγών, εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, κ.ά., απαιτούν υψηλότερη ποιότητα ενέργειας από τη συνηθισμένη που προμηθεύεται το μεγαλύτερο μέρος των καταναλωτών. Για τους καταναλωτές αυτούς η διακοπή ρεύματος ή η βύθιση τάσης μπορεί να έχει πολύ μεγάλες οικονομικές και όχι μόνο συνέπειες. Οι καταναλωτές αυτοί μπορούν με τη χρήση διανεμημένης παραγωγής να ικανοποιήσουν τις αυξημένες ανάγκες τους για ποιότητα ισχύος.
- Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών, αλλά και άλλων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, εκτός από την υψηλότερη απόδοση ενέργειας, θα κάνει και πιο ασφαλή αυτή την παρεχόμενη ενέργεια, καθώς μειώνονται οι εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας.

### **2.1.3 Μειονεκτήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής**

Η εισαγωγή μεγάλου αριθμού διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής ενέργειας, σε ευρεία κλίμακα, είναι πιθανό να οδηγήσει σε αστάθεια του δικτύου από τη μεγάλη στοχαστικότητα που χαρακτηρίζουν κυρίως τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παραγωγές που όταν χαθούν πρέπει να τις αναλάβουν συμβατικές μονάδες που έχουν όμως συγκεκριμένους χρόνους αντίδρασης. 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, κάθε μία από τις οποίες δεν μπορεί να εντοπίσει ανεξάρτητα τα εκάστοτε σφάλματα του δικτύου. Επίσης ένα

έως πρότινος ηλεκτρικό πρόβλημα για τους διαχειριστές δικτύων αποτελούσε η επίλυση του προβλήματος νησιδοποίησης (islanding) που πραγματοποιείτο όταν οι μονάδες συνέχιζαν να παράγουν ισχύ ενώ το δίκτυο βρισκόταν εκτός σύνδεσης με το ανάντη (κεντρικό σημείο διασύνδεσης). Τέλος η πολυπλοκότητα διαχείρισης πλήθους πλέον πηγών ενέργειας δυσκολεύει τον διαχειριστή και τον αναγκάζει σε επενδύσεις συστημάτων ελέγχου.

Τα μειονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής συγκεντρώνονται στα εξής:

- Η αυξανόμενη συμμετοχή της διεσπαρμένης παραγωγής στην εγκατεστημένη παραγωγή θα επιφέρει μικρότερη επιλογή μεταξύ των βασικών καυσίμων. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει τη διαφοροποίηση των πρωταρχικών αποθεμάτων ενέργειας. Δεδομένου ότι οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής βασίζονται πρωταρχικά στο αέριο, αναμένεται έντονα αυξημένη ζήτηση και εξάρτηση από αυτό.
- Το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στη διεσπαρμένη παραγωγή, προβλέπεται να είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με την κεντρική παραγωγή λόγω οικονομικών κλίμακας. Πολλές φορές δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής πρόβλεψη για την ικανότητα παραγωγής συγκεκριμένων εγκαταστάσεων παραγωγής. Πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, που δεν μπορεί όμως να προβλέψει ακριβώς την ποσότητα ισχύος που θα είναι δυνατό να παραχθεί. Σε μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και απώλεια της παραγωγής εξαιτίας της φύσης ορισμένων πηγών όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος ή ο ήλιος. Έτσι υπάρχει συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης που μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές, η διείσδυση είναι δηλαδή περιορισμένη και πρέπει να υπάρχει πάντα εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής. Αυτό το πρόβλημα αφορά κυρίως τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
- 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.
- Επιπλέον, η συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης από τις διεσπαρμένες γεννήτριες θα μπορούσε να προκαλέσει την αποσύνδεση υγιών γραμμών στις οποίες συνδέονται διεσπαρμένες γεννήτριες λόγω της γρήγορης αντίδρασης των 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 απόσβεση σφαλμάτων. Αφετέρου, μπορεί όμως να γίνει αυτόματη επανάζευξη της γραμμής όταν οι γεννήτριες έχουν χάσει το συγχρονισμό τους με το δίκτυο, με ενδεχόμενες καταστρεπτικές συνέπειες για τις γεννήτριες. Η τροφοδοσία γραμμών αποσυνδεδεμένων από το δίκτυο λόγω σφαλμάτων μέσης και χαμηλής τάσης από διεσπαρμένες γεννήτριες, μπορεί να προκαλέσει πιθανή ζημιά στους καταναλωτές λόγω των μεγάλων αποκλίσεων της τάσης και της συχνότητας από τις ονομαστικές τιμές τους.
- Για κάθε τεχνολογία παραγωγής υπάρχουν έμμεσες και άμεσες εκπομπές ρύπων. Οι έμμεσες εκπομπές είναι εκπομπές ρύπων κατά τη διαδικασία κατασκευής και μεταφοράς της μονάδας. Στοιχεία τα οποία επίσης κάνουν δύσκολη την περιβαλλοντική εκτίμηση, είναι οι διαφορετικές απόψεις που διατυπώνονται σε διάφορα σχετικά θέματα όπως η υψηλή στάθμη θορύβου και η οπτική ρύπανση που προκαλεί μια ανεμογεννήτρια.
- Το σχετικά υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, συγκριτικά με τα

μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής. Επιπλέον, διαφορές υπάρχουν και στα κόστη κεφαλαίου για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής που μπορούν να ποικίλουν από 1.000 €/kW έως 10.000 €/kW στις τουρμπίνες καύσης και σε κυψέλες καυσίμου αντίστοιχα.

## 2.2 Φωτοβολταϊκά (photovoltaics)

### 2.2.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

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 [5]. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί σε ελεύθερο 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 προσήμου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχτούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου.

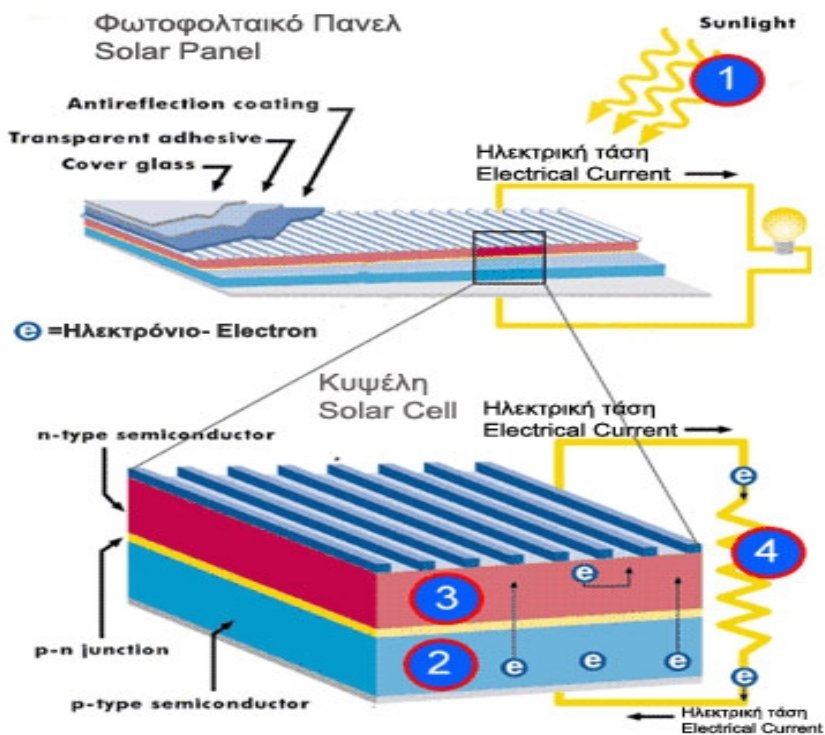
Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η 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 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.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η 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 το ημιαγωγικό υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του με αποτέλεσμα να το θερμαίνει [11]. 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.



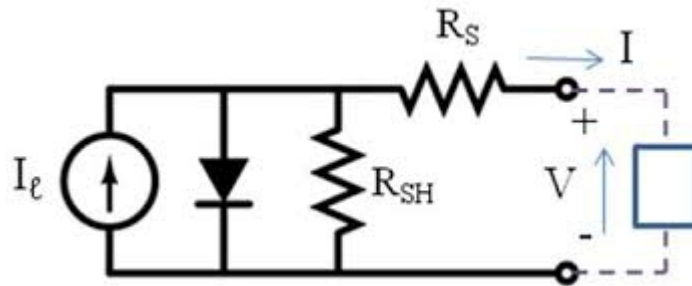
Σχήμα 2.2 Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα, που η τιμή του 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.

## 2.2.2 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου δίνεται στο Σχήμα 2.3 (πλήρες ισοδύναμο). Περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος ( $I_L$ ) σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο.

Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του Φ/Β στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει αφενός την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του Φ/Β στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της δίοδου, αφετέρου την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της δίοδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο.



**Σχήμα 2.3** Πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου

#### Παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση διαρροής, $R_{SH}$ (Shunt resistance)

Η αντίσταση αυτή συνδέεται με τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n. Αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Η τιμή της σε πολύ καλής απόδοσης Φ/Β στοιχείων είναι μεγαλύτερη των  $10^3 \Omega$ .

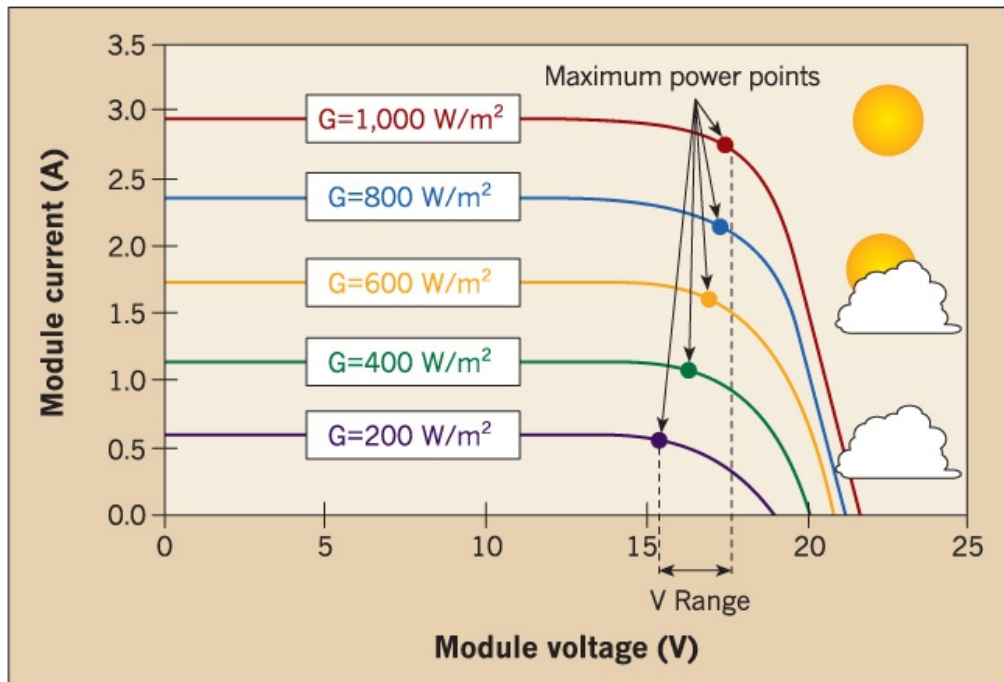
#### Σειριακή αντίσταση, $R_S$ (Series resistance)

Η συγκεκριμένη αντίσταση αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή κατά τη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα της διόδου και στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους. Άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της  $R_S$  είναι η δραστική ελάττωση της αντίστοιχης μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Τυπικές τιμές της  $R_S$ , για καλής ποιότητας Φ/Β στοιχεία, βρίσκονται στο εύρος  $0,1 \Omega$  έως  $0,3 \Omega$ .

### **2.2.3 Καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου**

Για τον έλεγχο της αποδοτικής λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου και για τον σχεδιασμό των ηλεκτρονικών που συνδυάζονται με αυτό πρέπει να προσδιορισθούν τα σημεία μέγιστης ισχύος, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου. Γενικότερη επιδίωξη είναι το σημείο λειτουργίας του στοιχείου σε κάθε διαφορετική κατάσταση, που θα προκύψει (π.χ. μεταβολή της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας) να αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος,  $P_m$ , για τη δεδομένη κατάσταση. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς αποδίδεται στην αντίσταση μόνο για ορισμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Σε διαφορετικές τιμές αποδίδεται ισχύς μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη ισχύ.

Στις υπόλοιπες καμπύλες I-V τα δύο σημεία δεν συμπίπτουν. Για να συμβεί κάτι τέτοιο πρέπει να αλλάξει η ωμική αντίσταση, έτσι ώστε η νέα ευθεία φορτίου να περνά από το αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος της νέας καμπύλης I-V. Οι τιμές ρεύματος-τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος συμβολίζονται με  $I_m$  και  $V_m$ . Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το Φ/Β στοιχείο, υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας  $E$ , ισούται με:  **$P_m = I_m \cdot V_m$**



Σχήμα 2.4 Η καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου

## 2.2.4 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φ/Β Στοιχείου

Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται σε ένα εργαστηριακό Φ/Β στοιχείο, καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό, είναι η ενεργειακή απόδοση  $\eta$ , ο παράγων πλήρωσης FF, το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  και η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού, πυκνότητας ισχύος και φάσματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και θερμοκρασίας του στοιχείου. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του Φ/Β στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  καθορίζεται αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n, όπως το βασικό υλικό, τη συγκέντρωση των προσμείξεων, τη θερμοκρασία, και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αρχικά αυξάνει καθώς αυξάνει και η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, παραμένοντας, στη συνέχεια για μεγαλύτερες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σχεδόν ανεξάρτητη αυτής.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης,  $I_{sc}$ , του Φ/Β στοιχείου είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος,  $E$ , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα. Ο παράγων πλήρωσης FF (Fill Factor) περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του Φ/Β στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος και οι τιμές του καθορίζονται από το υλικό του Φ/Β στοιχείου και τις συνθήκες και κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του FF, τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή τάσεων 0 -  $V_{oc}$ . Τυπικές τιμές όπως 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζουν Φ/β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση αντίστοιχα. Ο παράγων πλήρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$FF = I_m \cdot V_m / I_{sc} \cdot V_{oc}$$

Για την πραγματοποίηση αυξημένων αποδόσεων οι τιμές των FF,  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$  πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες.

## 2.2.5 Η απόδοση του Φ/Β στοιχείου

Πάνω στην επιφάνεια ενός Φ/Β στοιχείου εμβαδού  $S$  προσπίπτει ισχύς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας:  $P_{in} = E \cdot S$ , όπου  $E$  η πυκνότητα ισχύος της. Το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$ , που αποδίδεται από το Φ/Β στοιχείο στο αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος, προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας  $P_{in}$  καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής (energy conversion efficiency),  $n$ , του Φ/Β στοιχείου:

$$n = P_m / P_{in} = I_m \cdot V_m / P_{in} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} / P_{in}$$

Η απόδοση του Φ/Β στοιχείου εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό, αυξάνεται με αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας και μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. 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 οπότε παράλληλα μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Αυτό σημαίνει ότι 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 0,5% ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας.

## 2.2.6 Φωτοβολταϊκή Γεννήτρια

Το βασικό στοιχείο κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες (panels) με τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία (cells). 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 0,5 V και η ισχύς του φτάνει μέχρι τα 0,4 W. Για αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για την συγκρότηση των γεννητριών τοποθετούνται ανά 10 έως 70 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 του συνόλου των στοιχείων που περιέχουν. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχείς.

Συνώνυμο σχεδόν με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι το φωτοβολταϊκό πανέλο (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 πάνελ 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 πάνελου 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 πάνελ. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων φωτοβολταϊκών πλαισίων τοποθετούνται σε κατασκευή στήριξης πχ. μεταλλικά κριώματα 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. Στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος αιχμής πάνω από 20 kWp, πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες (strings) σχηματίζουν ένα υποσυγκρότημα συστοιχιών (array subfield) και το σύνολο των υποσυστημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών ή το φωτοβολταϊκό πάρκο του φωτοβολταϊκού σταθμού.

### 2.2.7 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Κυψελών

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

- Φωτοβολταϊκά συστήματα πυριτίου "μεγάλου πάχους"
- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου.

Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film:

- Άμορφου Πυριτίου
- Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
- Τελουριούχου Κάδμιου (CdTe)
- Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

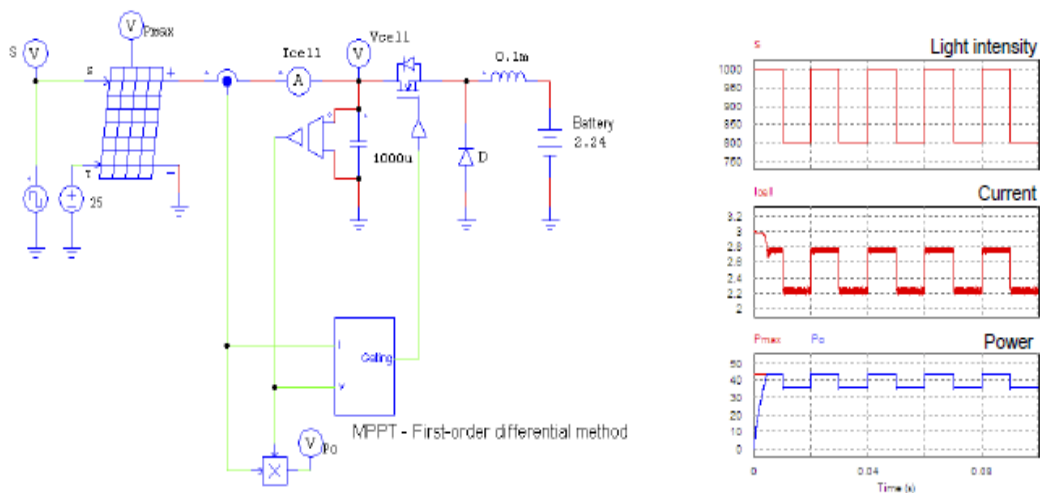
Υβριδικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία και άλλες τεχνολογίες.

### 2.2.8 Σημείο Μέγιστης Λειτουργίας (Maximum Power Point Tracking - MPPT)

Η τεχνολογία της ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος άρχισε να χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών και αποτελεί πλέον χαρακτηριστικό κάθε καλού αντιστροφέα για

σύνδεση με το δίκτυο ή φόρτιση συσσωρευτών. Η λογική πίσω από τη λειτουργία τους βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση των τιμών τάσης και έντασης εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προκαλώντας ανά τακτά χρονιά διαστήματα μια διαταραχή των τάσεων εξόδου. Αν διαπιστωθεί ότι με την ανύψωση της τάσης, αυξάνεται η ισχύς που παρέχει η γεννήτρια τότε αυξάνουν την τάση προς τα πάνω ώσπου να έρθει μια ισορροπία. Αυτό είναι και το σημείο μέγιστης λειτουργίας.

Η ένταση που παράγεται από ένα Φ/Β στοιχείο δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται αντίστροφα απ' ότι μεταβάλλεται η τάση. Για κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος τάσης – έντασης το στοιχείο δίνει τη μέγιστη ισχύ του. Ωστόσο, επειδή κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο στοιχείο δεν είναι σταθερή, δεν είναι σταθερή και η τάση εξόδου του. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης – έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα κύκλωμα DC/DC μετατροπέα ανύψωσης-υποβιβασμού τάσης στα άκρα της ηλεκτρονικής συσκευής στην οποία εισέρχεται η ισχύς του φωτοβολταϊκού. Ένα απλοποιημένο σχεδιάγραμμα ελέγχου που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της μέγιστης ισχύς εξόδου της Φ/Β γεννήτριας φαίνεται παρακάτω.



**Σχήμα 2.5 - Έλεγχος MPPT**

Όταν η λειτουργία του στοιχείου μετατοπιστεί σε διαφορετικό σημείο της καμπύλης V-I λόγω μεταβολής στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ή μεταβολή του φορτίου, τότε η τάση μεταβάλλεται κατά  $dV$  και η ένταση κατά  $dI$ .

### 2.3 Μικρές Ανεμογεννήτριες (small windturbines)

Οι μικρές ανεμογεννήτριες (Α/Γ) έως 50 kW αποτελούν μια νέα τάση στην αγορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, αυτή η κατηγορία ισχύος ανεμογεννητριών ενδείκνυται για εγκατάσταση καταρχάς στην Χαμηλή Τάση και κατά συνέπεια σε σημεία του δικτύου στα οποία μεγιστοποιούνται τα οφέλη της διεσπαρμένης παραγωγής, καθώς στην πραγματικότητα ένα μεγάλο αιολικό πάρκο λόγω της τάσης σύνδεσης όσο και του μεγέθους ισχύος, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως

τέτοιο. Στη χώρα μας οι επικρατούσες συνθήκες στα πελάγη, 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 (αυξημένο capacity factor). 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 [6]. Οι συνθήκες στις περιοχές αυτές είναι αρκετά ευνοϊκές διότι υπάρχει συνεχής πνοή καλής ποιότητας ανέμου, ελάχιστες μέρες άπνοιας και ανυπαρξία τυφώνων.

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

- Η τεχνολογία που αναπτύσσεται είναι μια από τις πιο οικονομικές στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (χαμηλό κόστος ανά kWh και kWeγκ).
- 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.

Κύρια μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η αιολική ενέργεια πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους.
- Δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι και οι θέσεις να καθιστούν βιώσιμοι.
- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα είναι συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές οπότε και χρειάζονται επενδύσεις δικτύων.
- 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).

### 2.3.1 Ταχύτητα Ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου σε ένα τόπο καθορίζεται από τις διαφορές πίεσης στην ατμόσφαιρα σε μεγάλη κλίμακα και διαμορφώνεται από το ανάγλυφο της περιοχής και την τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους. Το μέτρο και η κατεύθυνσή της εμφανίζουν συχνές μεταβολές. Εμφανίζονται διακυμάνσεις της μέσης ημερήσιας ταχύτητας από μέρα σε μέρα μέσα στο έτος και της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου, από έτος σε έτος. Παρόλα αυτά, η άμεση σχέση του ανέμου και της περιοδικής εμφάνισης του ήλιου σε ένα τόπο, έχει ως αποτέλεσμα την εποχική και ετήσια περιοδικότητα της εμφάνισης της μέσης ταχύτητάς του. Συνεπώς για την μελέτη και τον υπολογισμό των κατάλληλων σε κάθε περίπτωση αιολικών συστημάτων, ενδιαφέρον παρουσιάζει η γνώση της περιοδικής εμφάνισης της μέσης ταχύτητας του ανέμου, σε χαρακτηριστικές χρονικές περιόδους π.χ. μέσα στο μήνα ή το έτος.

Η στιγμιαία ταχύτητα,  $u$ , μετριέται με τα ανεμόμετρα και η κατεύθυνση με ειδικό αισθητήρα ενσωματωμένο σε αυτά (ανεμοδείκτη). Δίνεται δε από την παρακάτω μορφή:

$$u = \hat{u} + v(t)$$

όπου  $\hat{u}$  η μέση ταχύτητα για το χρονικό διάστημα που εξετάζουμε και  $v(t)$  η τυρβώδης συνιστώσα.

Η μέση τιμή  $\hat{u}$  του μέτρου της ταχύτητας μέσα σε ένα χρονικό διάστημα  $T$ , δίνεται εξ ορισμού από την σχέση:

$$\hat{u} = 1/T \cdot \int u \cdot dt$$

Η μέση ταχύτητα καθορίζει την ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτριας και ακολουθεί την κατανομή Weibull:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right)$$

όπου  $k$  η παράμετρος μορφής, που παίρνει συνήθως τιμές από 1,5 έως 2,5, και  $c$  η παράμετρος κλίμακας.

Όταν  $k=1$  η κατανομή γίνεται εκθετική και όταν  $k>3$  η κατανομή γίνεται κανονική. Για την τυπική τιμή  $k=2$  η κατανομή γίνεται Rayleigh. Η μέγιστη ημερήσια ταχύτητα ανέμου και η συχνότητα εμφάνισης ριπών του ανέμου, που είναι έντονες αυξήσεις της ταχύτητας, βραχείας διάρκειας, συνήθως μικρότερης των 20sec, αποτελούν στοιχεία του αιολικού δυναμικού ενός τόπου. Μέσες τιμές ταχυτήτων μεγαλύτερων διαστημάτων ( λεπτού, πεντάλεπτου ή δεκαλέπτου) χρησιμεύουν για τη συσχέτιση της αποδιδόμενης στο διάστημα αυτό μέσης ηλεκτρικής ισχύος με τη μέση ταχύτητα του διαστήματος αυτού. Η τυρβώδης συνιστώσα  $v(t)$  αντιπροσωπεύει τις ταχείες διακυμάνσεις του ανέμου και επηρεάζει την ποιότητα ισχύος και τα κοπωτικά φορτία. Περιγράφεται από φάσμα τύπου Von Karman:

$$S_v = \frac{\sigma}{f} \frac{4n}{(1+70.8n^2)^{5/6}}$$

όπου  $\sigma = \frac{\bar{u}}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ , η διασπορά τύρβης και  $n = f \cdot L_v / \bar{u}$ , με  $L_v = 25 \cdot \frac{z^{0.35}}{z_0^{0.063}}$ , τη διαμήκη κλίμακα τύρβης.

### 2.3.2 Μεταβολή Ταχύτητας Ανέμου με το Ύψος

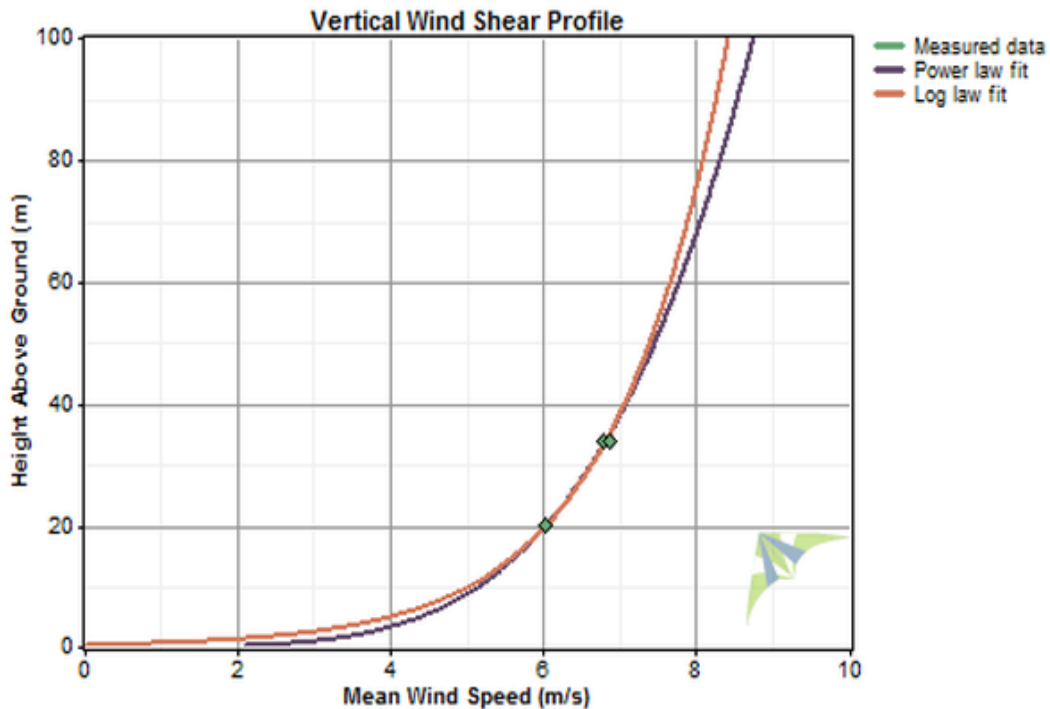
Η ταχύτητα  $u$ , του ανέμου, σε ύψος  $z$  πάνω από το έδαφος, το οποίο θεωρούμε επίπεδο, απείρου εκτάσεως, με ομοιογενώς διεσπαρμένες διαταραχές, προσεγγίζεται από τη σχέση:

$$u = u_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_{ref}}\right)}$$

όπου  $z_{ref}$ , το ύψος αναφοράς, που είναι το ύψος όπου γνωρίζουμε πειραματικά την ταχύτητα του ανέμου  $u_{ref}$ . Το ύψος  $z_0$ , αφορά στο μέσο ύψος του διαταραγμένου στρώματος του αέρα, εξ' αιτίας



των ανωμαλιών του εδάφους, και ονομάζεται μήκος τραχύτητας. Στο επόμενο σχήμα δίνεται η τυπική μορφή της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.



Σχήμα 2.6 Τυπική μορφή μεταβολής της ταχύτητας ανέμου συναρτήσει του ύψους

### 2.3.3 Ενεργειακό Περιεχόμενο και Ισχύς Ανέμου

Η αιολική ενέργεια αφορά στην κινητική ενέργεια των κινούμενων αερίων μαζών, δηλαδή του ανέμου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ρυθμός με τον οποίο η αιολική ενέργεια διέρχεται από ορισμένη διατομή. Εάν υπάρχει μια ποσότητα ανέμου μάζας  $dm = \rho \cdot dV$ , όπου  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα και  $dV$  ο όγκος του τμήματος αυτού, εμβαδού διατομής  $S$  και μήκους  $dl$  ( $dV = S \cdot dl$ ), σε σημείο του πεδίου ροής του ανέμου όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι  $u$ . Σε χρόνο  $dt$ , η μάζα αυτή περνά από τη διατομή της βάσης του πρισματικού αυτού τμήματος κινούμενη σε μήκος  $dl = u \cdot dt$ . Άρα, η κινητική ενέργεια του τμήματος αυτού είναι:

$$dE_k = \frac{1}{2} \times dm \times u^2 = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times dl \times u^2 = \frac{1}{2} \rho \times S \times u \times dt \times u^2 = \frac{1}{2} \rho \times S \times u^3 \times dt$$

Συνεπώς, η ισχύς κινητικής ενέργειας της ποσότητας αυτής του ανέμου, εμβαδού  $S$ ,  $P_a = dE_k / dt$ ,

προκύπτει ίση με

$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times u^3$$

Η πυκνότητα του αέρα,  $\rho$ , εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση, σύμφωνα με τη σχέση

$$\rho = 348.8 \cdot 10^3 \frac{Pa}{\Theta} = 1.2 \div 1.3 \text{ kg/m}^3$$

όπου  $P_a$  η ατμοσφαιρική πίεση σε mbar και  $\Theta$  η θερμοκρασία σε °C.

Τελικά, η ισχύς κινητικής ενέργειας του ανέμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα καθώς και από την ατμοσφαιρική πίεση στον συγκεκριμένο τόπο.

Στην πτερωτή η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται, με ορισμένο ρυθμό, σε περιστροφική ενέργεια. Η ισχύς  $P_m$ , με την οποία αποδίδεται έργο στην αιολική μηχανή, χαρακτηρίζει τη δυνατότητά της για παραγωγή περαιτέρω μηχανικού έργου. Επειδή, όμως, ένα τμήμα της μάζας του αέρα που προσπίπτει στη πτερωτή τη διαπερνά χωρίς να αποδίδει σε αυτήν κατ' ανάγκη όλη την ενέργειά του, η μέγιστη μηχανική ισχύς,  $P_{m,max}$ , που θα μπορούσε να αποδώσει θεωρητικά ο άνεμος στην πτερωτή της αιολικής μηχανής είναι μικρότερη της  $P_a$  και είναι ίση με:

$$P_{m,max} = C_{p,max} \cdot P_a$$

,όπου  $C_{p,max}$  ο ιδανικός συντελεστής (μηχανικής) απόδοσης της πτερωτής.

Η τιμή του, όπως αποδεικνύεται, ισούται με 0,593 και ονομάζεται όριο Betz. Δηλαδή, ιδανικά, μόνο το 59,3% της  $P_a$  θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από μια πτερωτή. Στην πράξη, ο συντελεστής απόδοσης πτέρυγας ή αιολικής μηχανής,  $C_p = P_m / P_a$ , είναι μικρότερος του ορίου Betz και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της αιολικής μηχανής.

Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς από μια Α/Γ δίνεται από τη σχέση:

$$P_{A/\Gamma} = \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot P_m = C_p \cdot \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot P_a = 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot C_p \cdot \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot u^3$$

όπου:  **$C_p$** : συντελεστής απόδοσης της αιολικής μηχανής και αφορά στο ποσοστό μετατροπής της, ανά μονάδα χρόνου, κινητικής ενέργειας της ποσότητας του ανέμου, που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, σε περιστροφική ενέργεια

**$\eta_{μηχ}$** : συντελεστής απόδοσης μηχανικών μερών της Α/Γ στην είσοδο της ηλεκτρογεννήτριας. Η μεταβιβαζόμενη ενέργεια προς την ηλεκτρογεννήτρια μειώνεται εξ αιτίας των τριβών στα σημεία έδρασης του άξονα περιστροφής των πτερυγίων και στα γρανάζια του κιβωτίου μετατροπής στροφών, με τιμή ~95%

**$\eta_{ηλ}$** : συντελεστής απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας, με τιμή ~ 80%

Βασικό χαρακτηριστικό κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς της,  $P_R$ , η οποία αφορά στην αποδιδόμενη ισχύ όταν λειτουργεί σε αιολικό πεδίο ονομαστικής ταχύτητας ανέμου

$u_R$ . Ένα σχετικά αυστηρό κριτήριο καθορισμού της είναι η επιλογή εκείνης της ταχύτητας ανέμου στην οποία ο λόγος  $P_{A/G}/P_a$  παίρνει μέγιστη τιμή. Επίσης σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου, μέχρι την ορισμένη χαρακτηριστική τιμή  $u_{ci}$  (ταχύτητα έναρξης λειτουργίας, cut-in wind speed), η αποδιδόμενη ισχύς είναι μηδενική, δηλαδή η Α/Γ δε λειτουργεί. Ομοίως, σε πολύ υψηλές ταχύτητες, μεγαλύτερες ενός ορίου  $u_{co}$  (ταχύτητα εξόδου, cut-out wind speed), η Α/Γ ακινητοποιείται για λόγους προστασίας της. Σε ορισμένη ταχύτητα ανέμου  $u_F$  (Furling wind speed), λίγο πάνω από την  $u_R$ , τίθεται σε λειτουργία κατάλληλη μηχανική διάταξη μείωσης του ρυθμού περιστροφής της Α/Γ, παρά την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.

Μια συνήθης τεχνική περιορισμού των στροφών της Α/Γ, που αφορά στη χρήση μηχανισμού αυτόματης απόκλισης του ουραίου πτερυγίου της από τη διεύθυνση του άξονά της, είναι οι ανεμογεννήτριες με ουραίο πτερύγιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, τόσο το επίπεδο της πτερωτής τείνει να προσανατολιστεί παράλληλα προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου, ώστε τελικά ο ρυθμός περιστροφής της Α/Γ να μειώνεται ισχυρά.. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι που οδηγούν σε παρόμοιο αποτέλεσμα, π.χ. με κατακόρυφη κλίση ολόκληρης της Α/Γ προς τα πίσω ή με στροφή των πτερυγίων περί τον άξονά τους. Μετά την ταχύτητα  $u_F$  και πολύ κοντά σε αυτήν, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς παίρνει τη μέγιστη τιμή της  $P_{max}$  ή  $P_p$  (Peak Power). Συχνά, όσο αφορά στη χαρακτηριστική καμπύλη της Α/Γ, το πέραν της  $u_R$  τμήμα της σχεδιάζεται ως ευθύγραμμο, παράλληλο στον άξονα των ταχυτήτων, σε ισχύ  $P_R$ , μέχρι την ταχύτητα αποκοπής  $u_{co}$ .

### 2.3.4 Υποσυστήματα Ανεμογεννητριών

Τα τρία βασικά υποσυστήματα μιας ανεμογεννήτριας είναι το μηχανικό, το ηλεκτρικό και το σύστημα ελέγχου. Το μηχανικό σύστημα περιλαμβάνει κυρίως τον ανεμοκινητήρα, δηλαδή το σύστημα μετατροπής της ενέργειας του ανέμου σε μηχανική [7]. Συνήθως μεταξύ του ανεμοκινητήρα και της γεννήτριας μεσολαβεί μία διάταξη μεταφοράς της κίνησης, η οποία περιλαμβάνει έναν πολλαπλασιαστή στροφών καθώς και συνδέσμους προς τον ανεμοκινητήρα ή και τη γεννήτρια. Το ηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει τη γεννήτρια και ενδεχομένως ένα μετατροπέα ισχύος, που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου ή του φορτίου, όπως ένα μετατροπέα AC-DC-AC για τον έλεγχο της ροής ισχύος. Η γεννήτρια μπορεί να είναι σύγχρονη, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης είναι ακριβώς ανάλογη των στροφών, ή ασύγχρονη, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης δεν είναι μεν ακριβώς ανάλογη των στροφών αλλά αυξάνεται πολύ λίγο με το φορτίο (μέχρι 3%) ώστε και πάλι να μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή. Μία εναλλακτική επιλογή είναι η χρησιμοποίηση γεννήτριας Συνεχούς Ρεύματος με παρεμβολή αντιστροφέα. Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ είναι το συνολικό σύστημα εποπτείας και περιλαμβάνει και επιμέρους συστήματα ελέγχου, όπως αυτό της κλίσης των πτερυγίων (pitch control), των μετατροπέων ισχύος, της γεννήτριας και της περιστροφής της ατράκτου (yaw control). Το σύστημα ελέγχου προσαρμόζει τη λειτουργία της Α/Γ στις εκάστοτε συνθήκες ανέμου, επιτηρεί την ασφάλεια και μεγιστοποιεί την απόδοσή της. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου παρουσιάζει συνεχή αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια και αποτελεί βασικό κριτήριο εξέλιξης των Α/Γ. Για τη σύνδεση της Α/Γ στο δίκτυο μέσης τάσης υπάρχουν επίσης διατάξεις αντιστάθμισης και φίλτρα, διατάξεις ζεύξης και προστασίας (διακόπτης ισχύος, ηλεκτρονόμος προστασίας, σύστημα ομαλής εκκίνησης soft-starter, κ.ά.) καθώς και μετασχηματιστής ΧΤ/ΜΤ.

### 2.3.4.1 Ηλεκτρικό Σύστημα

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι σύνδεσης είναι οι ακόλουθες:

1. Η ασύγχρονη γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα, μεταβλητής αντίστασης, απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο.
2. Η σύγχρονη γεννήτρια με τύλιγμα διεγέρσεως.
3. Η σύγχρονη γεννήτρια μονίμων μαγνητών.
4. Πιο σπάνια η ασύγχρονη γεννήτρια με δρομέα κλωβού, απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο.

### 2.3.4.2 Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί την σημαντικότερη διάταξη για την εύρυθμη λειτουργίας της και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής της. Πρώτος έλεγχος που υλοποιείται αφορά κυρίως στην ταχύτητα του δρομέα η οποία ελέγχεται για τρεις λόγους:

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

Διακρίνονται οι εξής περιοχές για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου :

- Την ταχύτητα σύνδεσης της ανεμογεννήτριας ( $V_{cut-in}$ ), στην οποία αρχίζει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ.
- Την περιοχή βέλτιστου αεροδυναμικού συντελεστή (maximum  $C_p$  region,  $V_{cut-in} - V_{nom}$ ), όπου η ταχύτητα περιστροφής μεταβάλλεται (όσον αφορά ανεμογεννήτρια μεταβλητών) ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου έτσι ώστε η απόληψη ισχύος από τον άνεμο να μεγιστοποιείται.
- Την περιοχή σταθερής ονομαστικής ισχύος εξόδου (nominal power output  $V_{nom}$ ).
- Την ταχύτητα αποσύνδεσης ( $V_{cut-out}$ )

Κατά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης 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 (φρένα κλπ). 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, κάνοντας τον έλεγχο της ανεμογεννήτριας πιο ευέλικτο και αξιόπιστο.

Στις σημερινές ανεμογεννήτριες οι βασικές λειτουργίες ελέγχου είναι οι ακόλουθες:

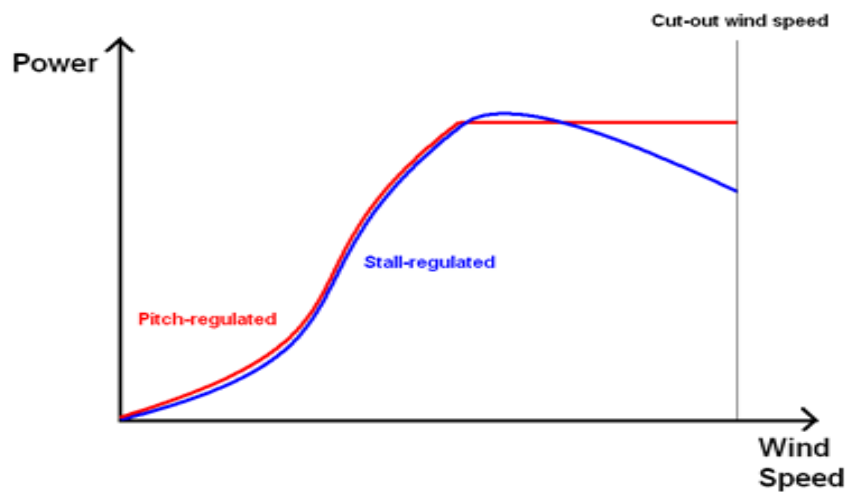
- i. Οι λειτουργίες που αφορούν στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας, όταν η ταχύτητα του ανέμου σταθεροποιηθεί πάνω από ένα όριο, και αντίστοιχα το σταμάτημά της, όταν η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί κάτω από ένα όριο.
- ii. Οι λειτουργίες ελέγχου που αποσκοπούν στον προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας ώστε 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 κανένα σύστημα προσανατολισμού, πράγμα που αποτελεί και ένα από τα πλεονεκτήματά τους

σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

- iii. 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 από μηχανική καταπόνηση.
- iv. Οι λειτουργίες ελέγχου στροφών της ανεμογεννήτριας, όταν πρόκειται για ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών.
- v. Οι λειτουργίες ελέγχου για τη 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:

a. 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

b. 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.



Σχήμα 2.7 Τυπική καμπύλη ισχύος – ταχύτητας Α/Γ με pitch control με Α/Γ stall

Εκτός από τις δύο αυτές μεθόδους ελέγχου μη υπερβάσεως της ονομαστικής ισχύος, οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω του μηχανικού μέρους, το αντίστοιχο μπορεί να γίνει και μέσω του ηλεκτρικού μέρους όταν εγκαθίσταται μετατροπέας.

### 2.3.5 Σύνδεση Ανεμογεννήτριας στο Ηλεκτρικό Δίκτυο

Οι διαταραχές που προκαλούν οι Α/Γ είναι ανάλογες εκείνων που προκαλούνται από τα συνήθη φορτία και αναφέρονται στο σημείο σύνδεσής τους στο δίκτυο διανομής (ΧΤ ή ΜΤ). Ανεξάρτητα,

ωστόσο, από το σημείο σύνδεσής τους, οι διαταραχές αυτές διακρίνονται ως εξής:

- Στις διαταραχές που συμβαίνουν κατά την κανονική λειτουργία και έχουν επίπτωση στην σταθερότητα της τάσης του δικτύου. Οι διαταραχές αυτές μπορούν να διακριθούν ως εξής:
  - i. Αργές μεταβολές της τάσης, οι οποίες προκαλούνται λόγω της αλλαγής στην ροή των φορτίων κατά την λειτουργία των Α/Γ.
  - ii. Ταχείες μεταβολές της τάσης, οι οποίες διατηρούνται για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.
  - iii. Διακυμάνσεις της τάσης, λόγω των συνεχών ταχέων μεταβολών της παραγόμενης ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις αντίστοιχες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου ή και σε συνεχείς ταλαντώσεις.
  
- Στις επιπτώσεις που έχει η ύπαρξη των Α/Γ κατά τη διάρκεια μη ομαλής λειτουργίας του δικτύου, οπότε η ύπαρξη τους είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει:
  - i. Ανωμαλίες στην ορθή λειτουργία των προστασιών του δικτύου.
  - ii. Καταπονήσεις των στοιχείων του δικτύου.
  - iii. Επικίνδυνες καταστάσεις λόγω "απομονωμένης λειτουργίας" (islanding) τμήματος του δικτύου, το οποίο απομονώνεται από την κύρια τροφοδότηση του, αλλά παραμένει τροφοδοτούμενο από τις Α/Γ με τάση και συχνότητα που μπορεί να απέχουν σημαντικά από τις ονομαστικές τους τιμές.

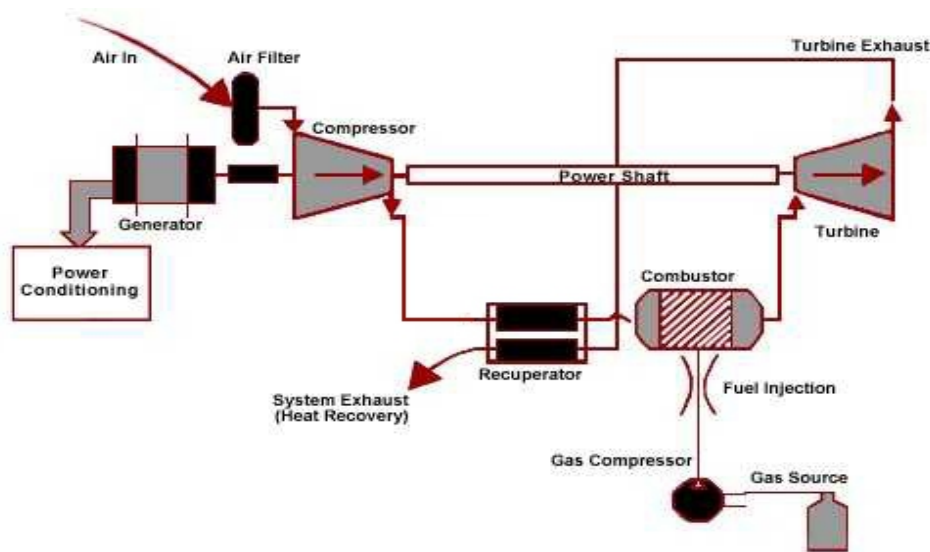
## 2.4 Μικροτουρμπίνες (microturbines)

Οι μικροστρόβιλοι ή μικροτουρμπίνες είναι μικρές ηλεκτρικές μηχανές που χρησιμοποιούν αέρια και υγρά καύσιμα προκειμένου να περιστρέψουν μια γεννήτρια. Η παραγόμενη ισχύς τους κυμαίνεται μεταξύ 25-500kW. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο κύκλο Brayton, στον οποίο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή, θερμαίνεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης, όπου αναμιγνύεται με το καύσιμο και στη συνέχεια εκτονώνεται στο στρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του περιστρέφει τη γεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η σχεδίαση των μικροστρόβιλων είναι απλή με μόνο έναν άξονα, στον οποίο είναι προσαρτημένος ο συμπιεστής, ο στρόβιλος και η γεννήτρια με μόνιμο μαγνήτη, που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα (μέχρι 120k r/min) με ρουλεμάν αέρα. Οι μικροστρόβιλοι μπορούν να λειτουργήσουν με διάφορα είδη καυσίμων, όπως φυσικό αέριο, βενζίνη, πετρέλαιο, αλκοόλ και προπάνιο. Οι μικροστρόβιλοι συνήθως περιλαμβάνουν έναν αναγεννητικό προθερμαντή-recuperator, ο οποίος προθερμαίνει τον εισερχόμενο συμπιεσμένο αέρα, γεγονός το οποίο αυξάνει την ηλεκτρική τους απόδοση. Οι αναγεννητικοί προθερμαντές, ωστόσο, ψύχουν τα καυσαέρια, επομένως, περιορίζουν την θερμότητα που παραμένει διαθέσιμη στο σύστημα.

Μερικοί κατασκευαστές περιλαμβάνουν τη δυνατότητα παράκαμψης του αναγεννητικού προθερμαντή, η οποία μειώνει μεν την ηλεκτρική απόδοση, αλλά οδηγεί στην επιτυχία καλύτερου συνολικού βαθμού απόδοσης δε, καθώς αυξάνεται η διαθέσιμη, ανακτήσιμη θερμότητα. Αυτή η επιλογή προσφέρει περισσότερη ελαστικότητα στην εξισορρόπηση της παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού ανάλογα με τις ανάγκες. 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 ενέργεια με καύση βιοαερίου. 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 μέσα στον καυστήρα 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 την πτερωτή 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.



**Σχήμα 2.8** Δομή γεννήτριας με μικροτουρμπίνας αερίου με ανάκτηση θερμότητας

Ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια στις μονάδες ανάκτησης θερμότητας έχει υψηλότερη τιμή από τις μονάδες χωρίς ανάκτηση. 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 15-30%, βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης της τάξης του 28-30%, υψηλές ταχύτητες της τάξης των 60.000 rpm, μικρές ανάγκες συντήρησης και ταυτόχρονα υψηλή αξιοπιστία. Σε περιπτώσεις όπου τα τιμολόγια του αερίου είναι χαμηλά ενώ η ηλεκτρική ενέργεια είναι 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. Καταλαμβάνουν όγκο όχι μεγαλύτερο από έναν τηλεφωνικό θάλαμο και παράγουν ισχύ εύρους συνήθως από 25 ως 300kW. 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 κατάστασης τους.

Όταν το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί είναι αέριο όπως φυσικό αέριο, προπάνιο ή αέριο αναερόβιας επεξεργασίας λυμάτων πρέπει να συμπιεστεί. Η συνήθης συμπίεση ανέρχεται στο ύψος των 5-6 bar. Η ανάγκη συμπίεσης του αερίου καυσίμου αποτελεί το χαμένο φορτίο αυτής της μονάδας. Μονάδες ΜΤ έχουν εγκατασταθεί σε εφαρμογές σε βιολογικούς καθαρισμούς και σε μία τέτοια περίπτωση μπορούν να θεωρηθούν μονάδες ΑΠΕ. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά μιας μικροτουρμπίνας ως προς την λειτουργία και το κόστος της.

Εύρος ισχύος	15-250 KW
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
Κόστος επένδυσης (μόνο μηχανής)	700- 1.100€/kW
O&M Κόστος	0,005- 0,016€/kW
Χρόνος μεταξύ συντηρήσεων	5.000- 8.000hrs

**Πίνακας 2.3** Σημαντικά χαρακτηριστικά μικροτουρμπίνας

#### 2.4.1 Εφαρμογές και Χαρακτηριστικά Λειτουργίας

Εφαρμογές των μικροστροβίλων συναντώνται στη διανεμημένη παραγωγή, στην παραγωγή ισχύος καλύτερης ποιότητας και αξιοπιστίας, στην παραγωγή ισχύος εφεδρείας και σε περίπτωση αυξημένης ζήτησης (αιχμή). Ωστόσο σημαντικότερη εφαρμογή έχουν στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Στη συμπαραγωγή η αποβαλλόμενη ενέργεια του αέρα που εκτονώνεται στο στροβίλο ή του αέρα που εξέρχεται από τον αναγεννητικό προθερμαντή (αν αυτός υπάρχει) μεταφέρεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας σε ένα σύστημα θερμού νερού. Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηρισθούν, είτε ως συστήματα «κορυφής», είτε ως συστήματα «βάσης». Στα συστήματα «κορυφής» ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την



παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες ή ακόμα και για θέρμανση χώρων. Στα συστήματα «βάσης» παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται, συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός, που κινεί ατμοστροβιλογεννήτρια.

Κάποια συστήματα συμπαραγωγής (τριπαραγωγή) παράγουν κρύο νερό, το οποίο χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει τα συστήματα ψύξης, όπου η ψύξη είναι επιθυμητή. Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων συμπαραγωγής είναι η αύξηση του βαθμού απόδοσης και η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Ο αναγεννητικός προθερμαντής χρησιμοποιεί τη θερμότητα από την καύση, για να προθερμάνει τον αέρα στην είσοδο της καύσης και αυξάνει την ηλεκτρική απόδοση κατά 20 με 30% LHV. Όταν ενεργοποιείται η παράκαμψή του, η ηλεκτρική απόδοση μειώνεται περίπου στο μισό. Στην περίπτωση αυτή, όμως, η συνολική θερμική απόδοση μπορεί να αυξηθεί μέχρι και το 80%. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι συνήθως περίπου 260 C με χρήση του αναθερμαντήρα, ενώ ανέρχεται στους 870 C με την παράκαμψη του αναθερμαντήρα, θερμοκρασία χαμηλότερη από τα επίπεδα σχηματισμού οξειδίων του αζώτου NOx . Επίσης οι μικροστρόβιλοι έχουν εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και αμελητέα ποσότητα διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>).

#### 2.4.2 Σταθερό και Λειτουργικό Κόστος

Στην οικονομική ανάλυση μιας εγκατάστασης μικροστρόβιλου πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες κόστους κεφαλαίου, κόστους συντήρησης, κόστους καυσίμου σε συνδυασμό με την τιμή της kWh και τα οφέλη της συμπαραγωγής. Είναι φανερό ότι με τη συμπαραγωγή, το κόστος είναι πολύ μικρότερο εξαιτίας της εξοικονόμησης ενέργειας. Συνήθως οι μικροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται σε συστήματα συμπαραγωγής και λειτουργούν με φυσικό αέριο. Ορισμένοι περιοριστικοί παράγοντες στην προώθησή τους στην αγορά είναι η χαμηλή απόδοση στη μετατροπή καυσίμου σε ηλεκτρισμό, η χαμηλή αξιοπιστία, η μικρή διάρκεια ζωής, το υψηλό κόστος επένδυσης και συντήρησης καθώς και η έλλειψη τεχνογνωσίας και ενημέρωσης των καταναλωτών.

Οι τιμές στην αγορά κυμαίνονται μεταξύ των €800-1500/kW εγκατεστημένης ισχύος, αλλά ένα πάγιο κόστος της τάξης των €400-9000/kW εγκατεστημένης ισχύος αναμένεται για τις εφαρμογές CHP, όταν οι μικροτουρμπίνες θα μπουν σε μαζική παραγωγή. Η εκτιμώμενη διαθεσιμότητα θα είναι από 90 έως 95%. Όσον αφορά το λειτουργικό κόστος, οι μικροστρόβιλοι χρησιμοποιούν ένα απλό σχέδιο με λίγα κινητά μέρη, ώστε να αυξάνεται η αξιοπιστία και να μειώνεται το κόστος συντήρησης.

Οι περισσότεροι μικροστρόβιλοι χρησιμοποιούν ρουλεμάν αέρα και ψυκτικό σύστημα με αέρα, εξαλείφοντας την ανάγκη για ψυκτικό υγρό ή έλαιο. Οι αλλαγές στο φίλτρο καύσης και ο οπτικός έλεγχος είναι οι συνηθισμένες εργασίες συντήρησης. Εφόσον οι μικροτουρμπίνες δεν έχουν τεθεί σε εφαρμογή για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι εκτιμήσεις για το κόστος συντήρησης κυμαίνονται από €0,005- 0,020/kWh. Μελλοντικά, εφόσον μειωθεί το κόστος και οι εκπομπές ρύπων, ενώ ταυτόχρονα επιτευχθεί η αποτελεσματικότητα, η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής, υπάρχει η δυνατότητα σημαντικής αύξησης στην αγορά μικροστρόβιλων.

## 2.5 Κυψέλες Καυσίμου (fuel cells)

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν σχετικά μια νέα τεχνολογία παραγωγής ενέργειας [8]. Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη τους είναι ραγδαία. 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 διανεμημένης παραγωγής και στα μικροδίκτυα στο άμεσο μέλλον. Η αρχή λειτουργίας των κυψελών καυσίμου βασίζεται στη λογική ότι αντιστρέφοντας τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης του νερού μπορεί να παραχθεί ρεύμα, με τη λογική ότι για την ηλεκτρόλυση χρειάζεται παροχή 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 δίδοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη και φτάνουν στην κάθοδο, όπου ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο, παράγοντας νερό. Για να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου χρησιμοποιείται ένας καταλύτης υψηλής αγωγιμότητας στα ηλεκτρόδια (π.χ. πλατίνα), χωρίς να επηρεάζει την άνοδο ή την κάθοδο. Ο καταλύτης είναι συνήθως μια σκληρή και πορώδης σκόνη που καλύπτεται από χαρτί άνθρακα ή ύφασμα έτσι ώστε η μέγιστη δυνατή επιφάνεια να είναι εκτεθειμένη στο υδρογόνο ή το οξυγόνο.

Όταν το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι καθαρό υδρογόνο, τα μόνα παράγωγα της διεργασίας αυτής είναι ηλεκτρικό ρεύμα, καθαρό νερό και θερμότητα. Αν το υδρογόνο παράγεται με ηλεκτρόλυση νερού με τη βοήθεια ΑΠΕ τότε η εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως εγκατάσταση ΑΠΕ. Αν και το καταλληλότερο καύσιμο για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου είναι το καθαρό υδρογόνο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα άλλα καύσιμα που είναι φορείς υδρογόνου. 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%) 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 διαρκώς εξελισσόμενες 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.

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν τον τυπικότερο εκπρόσωπο των άμεσων ενεργειακών μεθόδων. Η σχετική αρχική ιδέα ανάγεται στον Βρετανό Walter Grove (1839) και η πρώτη θεωρητική διαπραγμάτευση τού θέματος οφείλουμε στον Γερμανό Wilhelm Ostwald (1894). Εκτοτε το θέμα απασχόλησε κατά καιρούς πολλούς επιστήμονες, μόλις όμως τα τελευταία 65 χρόνια το θέμα έτυχε συστηματικής, θεωρητικής και πειραματικής διαπραγμάτευσης με αξιόλογα αποτελέσματα. Δεν έχει

όμως επιτευχθεί ακόμη ευρεία χρήση της νέας αυτής ενεργειακής πηγής σε βιομηχανική κλίμακα, λόγω των πολλών σχετικών προβλημάτων. Όμως η χρήση των στοιχείων καυσίμου σε εμπορικές εφαρμογές έχει ήδη ξεκινήσει και έχουν αναπτυχθεί μονάδες με ισχύ της τάξης των μερικών δεκάδων MW. Οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν εφ' όσον εφοδιάζονται με καύσιμο, σε αντίθεση με το σταθερό απόθεμα σε χημική ενέργεια μίας μπαταρίας. Επίσης, λειτουργούν με απουσία θορύβου και είναι αρκετά καθαρές πηγές ενέργειας, ανάλογα με την πηγή του καυσίμου. Λειτουργούν με ηλεκτρικές αποδόσεις περίπου 40 με 60%, ενώ σε εφαρμογές CHP ανέρχονται στο 85%. Η απόδοσή τους εξαρτάται από την εγκατεστημένη ισχύ. Εξαιτίας της υψηλής τιμής κτίσης των κυψελών καυσίμου, εισέρχονται στην αγορά κυρίως σε ειδικές εφαρμογές όπου απαιτούνται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.

Μία κυψέλη καυσίμου αποτελείται από αρκετά μέρη: έναν μετατροπέα καυσίμου, ο οποίος δημιουργεί ένα αέριο πλούσιο σε υδρογόνο, ένα τμήμα ισχύος όπου πραγματοποιείται η ηλεκτρομηχανική διαδικασία και ένα ρυθμιστή ισχύος για να μετατρέψει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται στην κυψέλη καυσίμου σε εναλλασσόμενο (AC). Το καύσιμο αναμορφώνεται εξωτερικά σε κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας και μπορεί να αναμορφωθεί εσωτερικά σε κυψέλες καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας. Η κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρισμό, όταν ο καταλύτης διαχωρίζει τα ηλεκτρόνια σε ένα μόριο υδρογόνου και το ιόν περνά από έναν ηλεκτρολύτη. Η ροή ηλεκτρονίων από τον ηλεκτρολύτη της ανόδου προς αυτόν της καθόδου, δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Το ιόν υδρογόνου και τα ηλεκτρόνια ενώνονται με το οξυγόνο O<sub>2</sub>, που τροφοδοτείται από την κάθοδο και δημιουργείται νερό H<sub>2</sub>O, ενώ παράλληλα απελευθερώνεται θερμότητα.

### **Χαρακτηριστικά Λειτουργίας**

- Η απ' ευθείας μετατροπή ενέργειας (χωρίς καύση) έχει ως αποτέλεσμα αφ' ενός την αθόρυβη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς κινητά μέρη, και αφ' ετέρου την υψηλή αξιοπιστία, και τις χαμηλές ρυπογόνες εκπομπές.
- Η δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ υπομονάδων επιτρέπει το συνδυασμό κυψελών καυσίμου, ώστε να είναι δυνατή η αύξηση της συνολικής δυνατότητας παραγωγής ισχύος και να μπορεί η παραγωγή να ακολουθεί το φορτίο πιο αποδοτικά εντός του εύρους ισχύος της.
- Η παραγωγή θερμότητας είναι διαθέσιμη σε διάφορα επίπεδα, ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης καυσίμου και της θερμοκρασίας λειτουργίας. Οι κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν σε υψηλότερη θερμοκρασία, όπως οι MCFC και οι SOFC, μπορούν να παράγουν ατμό υψηλής πίεσης.

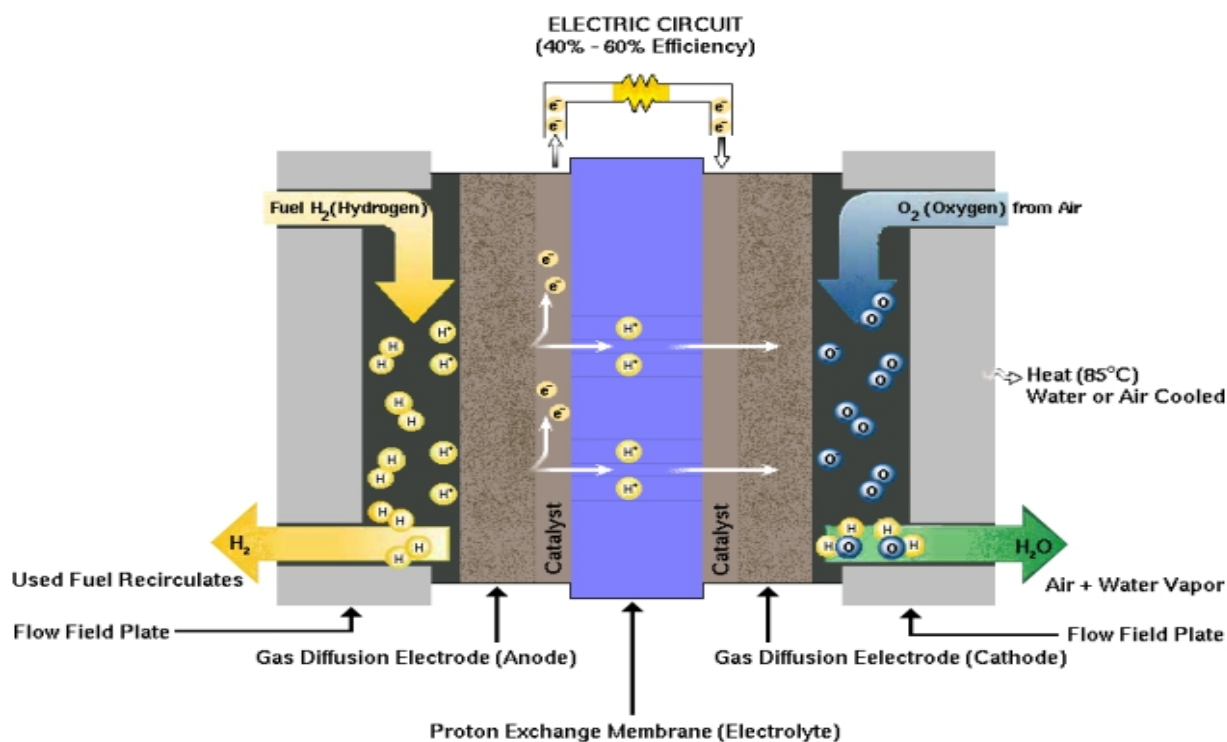
### **Σταθερό και Λειτουργικό Κόστος**

Η αυξημένη ζήτηση για κυψέλες καυσίμου σε σταθερές και κινητές εφαρμογές παραγωγής ενέργειας αναμένεται να μειώσει το σταθερό κόστος, καθώς αυξάνεται ο όγκος της παραγωγής. Το κόστος εμπορικά διαθέσιμων PAFC είναι περίπου €2500/kW – πολύ περισσότερο από άλλες ανταγωνιζόμενες τεχνολογίες DER. Το κόστος συντήρησης για μία μονάδα PAFC εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δεδομένα της εκάστοτε εγκατάστασης και κυμαίνεται από €0,02-5/kWh. Μέσος χρόνος ζωής των FC αναμένεται μεγαλύτερος των 20 ετών.

### **2.5.1 Περιγραφή της Αρχής Λειτουργίας των Στοιχείων Καυσίμου**

Μέσω της ηλεκτροχημικής αυτής μεθόδου επιδιώκεται, και επιτυγχάνεται σε πολλές περιπτώσεις σήμερα, η άμεση μετατροπή σε ηλεκτρική της χημικής ενέργειας που εκλύεται κατά την εξέλιξη μίας

χημικής αντίδρασης. Αυτή είναι πάντοτε οξείδωση, δηλ. ένωση ενός καυσίμου με το  $O_2$  και γενικώς με ένα οξειδωτικό μέσο. Προχωρά δε κατά τρόπο ελεγχόμενο ώστε η εκλυόμενη χημική ενέργεια να εμφανίζεται ως ηλεκτρική. Ως εκ τούτου αποφεύγονται τα γνωστά ζωηρά και μη ελεγχόμενα φαινόμενα της συνήθους καύσης δηλ. ανάπτυξη θερμικής ενέργειας και ανύψωση της θερμοκρασίας, επιτυγχάνοντας έτσι την λεγομένη ψυχρή καύση. Αυτή, στην ιδανική περίπτωση, είναι πλήρως αναστρέψιμη, δίνοντας τη μέγιστη δυνατή ευγενή ενέργεια που λαμβάνεται ως ηλεκτρική μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Στο επόμενο σχήμα δίνεται μια εικόνα που παρουσιάζει μια τομή ενός τυπικού στοιχείου καυσίμου.



Σχήμα 2.10 Τομή στοιχείου καυσίμου

Και τα δύο χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια, το καύσιμο και το οξειδωτικό μέσο είναι αέρια ή υγρά που βρίσκονται στη μορφή διαλύματος. Η βασική αρχή λειτουργίας των στοιχείων καυσίμου αναφέρεται στο απλούστερο, κλασικό πλέον, αποδοτικό και ανεπτυγμένο στοιχείο που είναι αυτό του  $H_2/O_2$ .

Το  $H_2$  προσάγεται σε μόνιμη ροή από τη μια πλευρά και έρχεται σε επαφή με την άνοδο εντός των πόρων της οποίας λαμβάνει χώρα με την μεσολάβηση κατάλληλου πολύ δραστικού καταλύτη η οξείδωση του  $H_2$  κατά την εξίσωση.

Το παραγόμενο  $H_2O$  απομακρύνεται από το στοιχείο συνεχώς ώστε να μην επηρεάζεται ή πυκνότητα του ηλεκτρολύτη. Ο τελευταίος πρέπει να έχει πάντοτε καλή αγωγιμότητα σε ιόντα, όπως έχει π.χ. το διάλυμα  $KOH$  σε  $OH^-$ , κακή δε σε ηλεκτρόνια, των οποίων η κυκλοφορία μεταξύ ανόδου και καθόδου περιορίζεται στο εξωτερικό κύκλωμα. Επίσης δεν πρέπει να επιτρέπει την διάχυση των

αντιδραστηρίων δια μέσω αυτού.

Σημαντικό τμήμα του στοιχείου αποτελούν και τα ηλεκτρόδια, που αποτελούν την έδρα των ηλεκτροχημικών δράσεων και τα στοιχεία συλλογής του ρεύματος. Ως εκ τούτου, αυτά πρέπει να πληρούν μια σειράν σοβαρών απαιτήσεων. Με βάση αυτή την αρχή λειτουργούν και τα στοιχεία με άλλα αντιδραστήρια (τα οποία ευρίσκονται σήμερα σε διάφορα στάδια εξέλιξης και επιτυχίας), ως π.χ. Μεθάνιο, Μεθανόλη, Υδραζίνη, διάφορους υδρογονάνθρακες, Αμμωνία κ.λ.π. με  $O_2$  ή και αέρα.

Με την κατάλληλη διάταξη μεγάλου αριθμού στοιχείων (εν παραλλήλω και εν σειρά) δημιουργούνται Συστοιχίες Στοιχείων Καυσίμου με τις αναγκαίες τάσεις και ισχύ που μαζί με τις βοηθητικές συσκευές και εγκαταστάσεις, συγκροτούνται σε ανεξάρτητες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τη σημερινή εξέλιξη στον τομέα χαρακτηρίζει η μεγάλη ποικιλία πειραματικών τύπων που προκύπτει από την αναζήτηση διαφόρων συνδυασμών μεταξύ κατάλληλων κυρίων παραμέτρων του στοιχείου (αντιδραστηρίων, ηλεκτρολύτη, καταλύτη. Θερμοκρασίας λειτουργίας κλπ) που οδηγεί στην ανάπτυξη μιας αρκετά εξελιγμένης τεχνολογίας.

## 2.5.2 Βασικά Μέρη Κυψελών Καυσίμου

Τα βασικά μέρη μιας κυψέλης καυσίμου παρουσιάζονται στη συνέχεια:

### Αντιδραστήρια

Ως καταλληλότερο καύσιμο εμφανίζεται το  $H_2$  λόγω της μεγάλης δραστηριότητας, της ευνοϊκής τιμής και των λοιπών καλών ιδιοτήτων του. Είναι όμως πάντως ειδικό και όχι κοινό καύσιμο. Ιδιαίτερα δραστικό καύσιμο είναι επίσης η Υδραζίνη ( $N_2H_4$  ή  $H_2NNH_2$ ) η οποία δίνει τεχνικώς ένα πολύ επιτυχημένο στοιχείο (με πυκνότητα ρεύματος έως  $100mA/cm^2$ ). Όμως αυτή είναι τοξική και ακόμη αρκετά ακριβή, ως εκ τούτου αυτό το στοιχείο δεν μπορεί να έχει σοβαρή εφαρμογή εκτός εάν βρεθούν μέθοδοι οικονομικής παραγωγής της Υδραζίνης.

Όπως είδαμε η καλύτερη απόδοση του στοιχείου εξασφαλίζεται όταν έχουμε ως αντιδραστήριο υδρογόνο. Όμως για πρακτικές εφαρμογές προσπαθούμε να χρησιμοποιούμε κοινούς υδρογονάνθρακες. Σημαντική εξέλιξη έχει σημειωθεί με στοιχεία που λειτουργούν με κλασσικούς υδρογονάνθρακες όπως Φυσικό Αέριο ακόμη και Βενζίνη, Μεθανόλη η και άλλα συγγενή προς αυτή καύσιμα και αέρα. Στα στοιχεία αυτά γίνεται μια διεργασία «μετατροπής» κατά την οποία παράγεται  $H_2$  το οποίο χρησιμοποιείται στην συνέχεια σε κλασσικό στοιχείο. Οι μεγαλύτερες υποσχέσεις για το μέλλον προκύπτουν για τα στοιχεία αυτά και γίνονται πλέον προσπάθειες για την εξέλιξη τους ώστε να έχουν αυξημένη συγκέντρωση ισχύος, αξιοπιστία και κύρια για την μείωση της απαιτούμενης συγκέντρωσης του καταλύτη που είναι ευγενές μέταλλο ή ακόμη και η αντικατάστασή του με άλλους φθηνότερους. Μια άλλη κατηγορία στοιχείων είναι αυτά της Αμμωνίας τα οποία δεν έχουν ακόμη εξελιχθεί τόσο πολύ παρά το γεγονός ότι η  $NH_3$  αποτελεί ουσία δραστική, εύχρηστη και φθηνή.

### Ηλεκτρολύτες

Για θερμοκρασίες λειτουργίας μικρότερες από το σημείο ζέσης του νερού (δηλ. υπό συνήθη πίεση <  $90^\circ C$ ) είναι κατάλληλα εν γένει πυκνά διαλύματα βασικά ή όξινα (ως π.χ.  $KOH$ ,  $NaOH$ ,  $H_2SO_4$  κ.λ.π.). Τα πρώτα είναι ακατάλληλα για καύσιμα περιέχοντα C λόγω της χημικής συγγένειας τους προς το παραγόμενο  $CO_2$ . Αφ' ετέρου τα όξινα διαλύματα πρέπει να συνδυάζονται με καταλύτες και ηλεκτρόδια απρόσβλητα από αυτά. Υφίσταται επίσης η δυνατότητα χρησιμοποίησης στερεών ηλεκτρολυτών με βάση κατάλληλη Ιοντεναλλακτική μεμβράνη κοκκώδους σύστασης συμπιεζόμενη ανάμεσα στα δυο ηλεκτρόδια, των οποίων μάλιστα ή κατασκευή καθίστανται έτσι απλούστερη και

ευχερέστερη. Λεπτομερής περιγραφή για αυτή την κατηγορία των ηλεκτρολυτών θα δώσουμε στην συνέχεια όταν θα αναφερθούμε στην χρήση των στοιχείων στην περιοχή της αυτοκίνησης. Παρόμοιες ιδιότητες έχουν και άλλα αρκετά επιτυχημένα στοιχεία με αντιδραστήρια διαλυμένα εντός του γενικώς αραιωμένου ηλεκτρολύτη. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν δύο διακεκριμένα ρεύματα ηλεκτρολύτη καθένα των οποίων περιέχει εν διαλύσει το ένα εκ από τα δύο αντιδραστήρια και κυκλοφορεί συνεχώς μέσα από το στοιχείο (ή των στοιχείων μίας συστοιχίας) και μάλιστα σε ένα πολύ στενό χώρο, σχηματιζόμενο μεταξύ του οικείου ηλεκτροδίου και ενός ημι-περατού διαφράγματος, που επιτρέπει την διέλευση μόνον ορισμένων Ιόντων (ως π.χ. των  $H^+$  ή των  $OH$  κλπ). Έτσι επιτυγχάνεται, μεταξύ άλλων, και η δημιουργία στοιχείων ελάχιστου πάχους (περί 0,5 mm) και επομένως συστοιχίες με μεγάλη συγκέντρωση Ισχύος.

## Ηλεκτρόδια-Καταλύτες

Την σχετική εξέλιξη χαρακτηρίζει κύρια ή προσπάθεια διαμόρφωσης λεπτών ηλεκτροδίων και διάταξης αυτών σε ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους ώστε να επιτύχουμε όσο το δυνατό ελάχιστο πάχος στοιχείου με απώτερο σκοπό την μείωση του όγκου τους. Ταυτόχρονα επιδιώκεται η δημιουργία νέων δραστικών και ταυτόχρονα μη δαπανηρών καταλυτών, δεδομένου ότι οι σήμερα ιστάμενοι είναι οι περισσότεροι ακριβά μέταλλα που ανήκουν στα στοιχεία μετάπτωσης του περιοδικού συστήματος. Η επιτυχής έκβαση των προσπαθειών αυτών θα αποτελέσει ένα σημαντικό βήμα, ίσως δε μάλιστα σημάνει την αρχή μια νέας εποχής στο πεδίο αυτό τα επόμενα χρόνια.

### 2.5.3 Κατηγορίες Στοιχείων Καυσίμου

Με βάση τα προαναφερθέντα φαίνεται ότι τα στοιχεία καυσίμου χαρακτηρίζονται κυρίως από τον χρησιμοποιούμενο ηλεκτρολύτη καθώς αυτός καθορίζει ακόμη και την θερμοκρασία λειτουργίας τους. Οι κύριες κατηγορίες στοιχείων καυσίμου που έχουν αναπτυχθεί έως τώρα και έχουν χρησιμοποιηθεί ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κάποια σημαντική εφαρμογή είναι οι ακόλουθες:

**A) Πολυμερούς Ηλεκτρολυτικής Μembrάνης (PEM)** Τα στοιχεία αυτά λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες όπως φαίνεται παρακάτω και στον Πίνακα όμως έχουν μεγάλη συγκέντρωση ισχύος, μπορούν να παρακολουθήσουν γρήγορα τις μεταπτώσεις φορτίου και έχουν ταχεία εκκίνηση. Αυτό τις κάνει ιδανικές για χρήση στην περιοχή της αυτοκίνησης.

**B) Αλκαλικά Στοιχεία (AFC)** Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν επί μακρόν στις αποστολές της NASA και έχουν βαθμούς μετατροπής της ενέργειας (απόδοσης) έως και 70%. Έως τώρα ήσαν πολύ ακριβά για εμπορική χρήση, όμως μερικές εταιρείες εξετάζουν μεθόδους για την μείωση του κόστους και την βελτίωση της ελαστικότητας λειτουργίας.

**Γ) Φωσφορικού Οξέως (PAFC)** Αυτό είναι και το πλέον διαδεδομένο εμπορικά στοιχείο. Χρησιμοποιείται σε κλινικές, οικίες, κτίρια γραφείων, σχολεία και μονάδες παραγωγής ενέργειας. Επίσης χρησιμοποιείται αρκετά και σε αεροδρόμια. Ο βαθμός μετατροπής τους αγγίζει το 40% ενώ ο βαθμός απόδοσης μπορεί να προσεγγίσει το 85% εάν γίνει χρήση της θερμικής ενέργειας μέσω συμπαραγωγής. Επίσης είναι εφικτή και η χρήση τους σε μεγάλα οχήματα.

**Δ) Τηγμένου Αλκαλικού Άλατος (MCFC)** Τα στοιχεία αυτά υπόσχονται αρκετά για το μέλλον καθώς

έχουν μεγάλο βαθμό μετατροπής και μπορούν να χρησιμοποιήσουν καύσιμα που βασίζονται στον άνθρακα. Οι πρώτες μονάδες αυτού του τύπου έχουν ήδη κατασκευαστεί και ευρίσκονται υπό δοκιμή από το 1996 στις ΗΠΑ.

**Ε) Στερεού Οξειδίου (SOFC)** Είναι ένα από τα πλέον υποσχόμενα στοιχεία καυσίμου. Η χρήση του ενδείκνυται κύρια για μεγάλες ισχύεις και γενικά σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η χρήση τους σε οχήματα αν και δεν έχει αποκλεισθεί δεν έχει διερευνηθεί ιδιαίτερα. Ήδη στην Ευρώπη υπάρχει μια μονάδα των 100KW ενώ άλλες δύο μονάδες των 25 KW χρησιμοποιούνται κανονικά στην Ιαπωνία. Ο βαθμός μετατροπής τους μπορεί να φθάσει και το 60%. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούν στερεό κεραμικό υλικό αντί κλασσικού ηλεκτρολύτη το οποίο επιτρέπει την αύξηση των θερμοκρασιών έως τους 1000-1100 C.

Στον επόμενο πίνακα δίνονται συνοπτικά τα στοιχεία, η θερμοκρασία λειτουργίας τους, η σύσταση του ηλεκτρολύτη καθώς και οι αντιδράσεις στην άνοδο, την κάθοδο και σε όλο το στοιχείο.

Είδος στοιχείου	Ηλεκτρολύτης	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Ηλεκτροχημικές αντιδράσεις
<b>Πολυμερούς Ηλεκτρολυτικής Μembrάνης (PEM)</b>	Στερεό οργανικό πολυμερές	60 - 100	Άνοδος: $H_2 \rightarrow 2H(+) + 2e(-)$ Κάθοδος: $1/2H_2 + 2H(+) + 2e(-) \rightarrow H_2O$ Στοιχείο: $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$
<b>Αλκαλικά Στοιχεία (AFC)</b>	Υδατικόδιάλυμα υδροξειδίου του Καλίου εμποτισμένο σε μήτρα	90 - 100	Άνοδος: $H_2 + OH(-) \rightarrow 2H_2O + 2e(-)$ Κάθοδος: $1/2O_2 + H_2O + 2e(-) \rightarrow 2OH$ Στοιχείο: $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$
<b>Φωσφορικού Οξέως (PAFC)</b>	Υγρό Φωσφορικό οξύ εμποτισμένο σε μήτρα	175 - 200	Άνοδος: $H_2 \rightarrow 2H(+) + 2e(-)$ Κάθοδος: $1/2O_2 + 2H(+) + 2e(-) \rightarrow H_2O$ Στοιχείο: $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$
<b>Τηγμένου Αλκαλικού Αλατος (MCFC)</b>	Υγρό διάλυμα αλάτων Λιθίου, Νατρίου ή και Καλίου εμποτισμένων σε μήτρα	600 - 1000	Άνοδος: $H_2 + CO_3(-) \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e(-)$ Κάθοδος: $1/2O_2 + CO_2 + 2e(-) \rightarrow CO_3(-)$ Στοιχείο: $H_2 + 1/2O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$
<b>Στερεού Οξειδίου (SOFC)</b>	Στερεό οξείδιο Ζιρκονίτη με προσθήκη μικρής ποσότητας yttria	600 - 1000	Άνοδος: $H_2 + O(-) \rightarrow H_2O + 2e(-)$ Κάθοδος: $1/2H_2 + 2e(-) \rightarrow O(-)$ Στοιχείο: $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$

**Πίνακας 2.4 Σύγκριση Τεχνολογιών Στοιχείων Καυσίμου**

Ο επόμενος πίνακας δείχνει στοιχεία απόδοσης και κόστους για τον κάθε τύπο κυψέλης καυσίμου

	Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου PEMFC	Φωσφορικού οξέος PAFC	Χυτού ανθρακικού άλατος MCFC	Στερεού οξειδίου SOFC
Τυπικά μεγέθη μονάδων (kW)	0.1 - 500	5 - 200 (εώς 5000 σε εργοστάσιο παραγωγής)	800 – 2000 (εώς 100000 σε εργοστάσιο παραγωγής)	2.5 - 100000
Ηλεκτρική απόδοση (%)	50	40 - 45	50 - 55	45 - 50
Εγκατεστημένο κόστος (\$/kW)	4000	3000 - 3500	800 - 2000	1300 - 2000
Εμπορική διαθεσιμότητα	Ναι	Ναι	R&D	Ναι(R&D σε εξέλιξη)

**Πίνακας 2.5 Σύγκριση κόστους τύπων κυψελών καυσίμου**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

### ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

Εστιάζοντας στην αποδοτική λειτουργία των νέων γεννητριών συμβατικών καυσίμων, την χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την μείωση των απωλειών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την αύξηση της αξιοπιστίας, τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα μοντέλο δικτύου που συμβάλλει καθοριστικά στην εξέλιξη των ενεργειακών συστημάτων. Υπό την έννοια της εφαρμογής πλήθους μορφών και ισχύων διεσπαρμένης παραγωγής, το μικροδίκτυο αποτελεί την βέλτιστη μορφή ανάπτυξης ενός σύγχρονου δικτύου με χαρακτηριστικά που το μετατρέπουν σε άμεσο όφελος για την συνολική οντότητα του δικτύου.

#### 3.1 Ορισμός Μικροδικτύου

Ως μικροδίκτυο (microgrid) ορίζεται ένα ηλεκτρικά απομονωμένο σύνολο καταναλωτών (φορτίων) και παραγωγών (γεννητριών) που δύναται να τροφοδοτήσουν ακόμη και κατ' αποκλειστικότητα το σύνολο της ζήτησης των καταναλωτών και κατά συνέπεια να εξασφαλίσουν αυτονομία στο δίκτυο αυτό. Σε ένα μικροδίκτυο συμπεριλαμβάνονται πηγές διεσπαρμένης παραγωγής (distributed generation) από λίγα kW μέχρι μερικά MW, συσκευές αποθήκευσης (πυκνωτές, μπαταρίες, σφονδύλους κ.α). Τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα είδος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε συνδυασμό με την εξέλιξή του σε έξυπνο δίκτυο που αναφέρεται κυρίως σε συστήματα και λειτουργίες ελέγχου παρά σε δομή δικτύου. Ο σχεδιασμός ενός μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο (ανάντη δίκτυο), παρόλα αυτά μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας.

Τυπικές πηγές ενός μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντήζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντήζελ ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας. Ένα μικροδίκτυο θα μπορούσε να εγκατασταθεί σε σημείο όπου υπάρχει διαθέσιμη μια από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή της και να καλύπτει αποδοτικότερα τις καταναλώσεις της περιοχής που εγκαθίσταται.

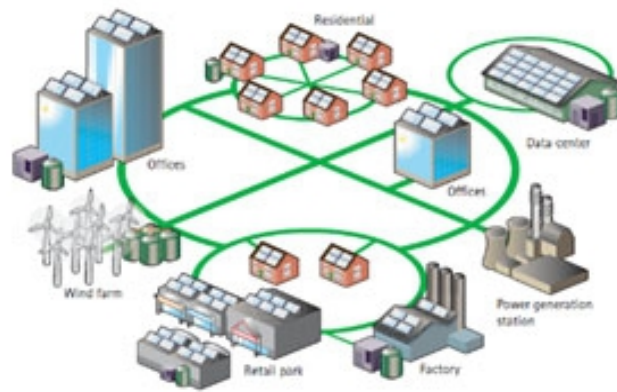
Η κλίμακα του μικροδικτύου ποικίλει από μια οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντήζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μια πόλη που

τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Σημαντικό είναι πως μια συνδυασμένη χρήση ανανεώσιμων πηγών με νέες τεχνολογίες συμπαραγωγής θα μπορούσε να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική σε σχέση με αυτή των κεντρικών δικτύων.

Το μέγεθος και η φιλοσοφία του μικροδικτύου που εμπεριέχει την έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και οι μικρής ισχύος μονάδες παραγωγής που ενσωματώνει, οδηγούν την υλοποίησή του (παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας) σε επίπεδο χαμηλής τάσης, όπου εξ' ορισμού δεν γίνεται μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος βέβαια των μονάδων παραγωγής και των καταναλωτών (φορτίων) είναι ουσιαστικά αυτό που καθορίζει το επίπεδο τάσης. Βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος τους, ώστε τελικά να εμφανίζονται στο ανάντη δίκτυο ως μία ενιαία οντότητα (φορτίο ή παραγωγή ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας τους) μέσω του δικού τους αποκεντρωμένου συστήματος ελέγχου το οποίο δεν επιβαρύνει τα συστήματα ελέγχου του ανάντη ευρισκόμενου δικτύου. Έτσι, με τοπική διαχείριση επιτυγχάνεται ο συντονισμός του μικροδικτύου και η εμφάνιση στο ανάντη μίας, συνολικής κατάστασης.

Ένα άλλο εξίσου βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων όπως και προαναφέρθηκε είναι η δυνατότητα τους να λειτουργούν όχι μόνο διασυνδεδεμένα με το ανάντη δίκτυο μέσης τάσης (μέσω μετασχηματιστή XT/MT), που είναι και η συνήθης λειτουργία τους, αλλά και απομονωμένα (νησιδοποιημένα) όταν διακοπεί η διασύνδεσή τους με το κύριο δίκτυο. Παρόλα αυτά και στη δεύτερη περίπτωση επιτυγχάνουν με οργανωμένο και ελεγχόμενο τρόπο να παρέχουν στους καταναλωτές αυξημένη αξιοπιστία και σημαντική ποιότητα ισχύος. Σαφώς αυτή τους η δυνατότητα απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας, ελέγχου, τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής προκειμένου να είναι σε θέση να παράσχουν όσο το δυνατό πιο σταθερή και αυτόνομη λειτουργία. Από την πλευρά του κυρίως ηλεκτρικού δικτύου (ανάντη), ένα μικροδίκτυο αντιμετωπίζεται σαν μια ελεγχόμενη οντότητα η οποία μπορεί να λειτουργεί όπως ένα συγκεντρωμένο φορτίο ή μια πηγή ενέργειας, συνεπώς και ως βοηθητική υπηρεσία που υποστηρίζει το δίκτυο εάν είναι δυνατό. Από την πλευρά του καταναλωτή, τα μικροδίκτυα εκπληρώνουν τις ανάγκες για ηλεκτρισμό (και θερμότητα μέσω μονάδων συμπαραγωγής), ακριβώς όπως τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής, επιπροσθέτως δε ενισχύουν την τοπική αξιοπιστία ηλεκτροδότησης (μέσω της διεσπαρμένης παραγωγής), μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>) και βελτιώνουν την ποιότητα ισχύος υποστηρίζοντας κυρίως τη σταθεροποίηση της τάσης, μειώνοντας τις βυθίσεις της.

Όπως προαναφέρθηκε το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι η διπλή φύση λειτουργίας του που του δίνει τη δυνατότητα υπό ομαλές συνθήκες να λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το ανάντη δίκτυο και να ανταλλάσει ενέργεια με αυτό και αυτόματα να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου. Συνεπώς ένα μικροδίκτυο για το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο του αντιμετωπίζεται τόσο από άποψης αγοράς όσο και από τεχνική άποψη σαν ένα σημειακό φορτίο ή σαν μία αντίστοιχη παραγωγή η οποία με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα μπορεί να προσφέρει και βοηθητικές υπηρεσίες (στήριξη) στο δίκτυο ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής.



**Σχήμα 3.1 Τυπική μορφή μικροδικτύου**

Η προσδοκία ότι οι διεσπαρμένες πηγές ενέργειας ( Distributed Energy Resources) όπου αποτελούν το κύριο χαρακτηριστικό ενός μικροδικτύου, μέσα κατά τις επόμενες δεκαετίες θα διαμορφώσουν τον τρόπο με τον οποίο θα παρέχεται πλέον η ηλεκτρική ενέργεια στηρίζεται στις εξής υποθέσεις:

- Η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας σε μικρή κλίμακα, ανανεώσιμων αλλά και συμβατικών πηγών, έχει βελτιωθεί σημαντικά και όλες οι ενδείξεις συντείνουν στην προσδοκία για ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση στο μέλλον.
- Χωροταξικοί περιορισμοί, περιβαλλοντικά θέματα, ανεπάρκεια ορυκτών καυσίμων και άλλοι περιορισμοί θα επιδράσουν αρνητικά στην εξάπλωση της υπάρχουσας υποδομής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η επιθυμία των καταναλωτών να ελέγχουν την ποιότητα και αξιοπιστία των υπηρεσιών που τους προσφέρονται θα ενισχυθεί.
- Τα ηλεκτρονικά ισχύος μπορούν να επιτρέψουν τη λειτουργία ημιαυτόνομων συστημάτων.
- Η δυναμική εφαρμογή τεχνολογιών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης (CHP) μικρής κλίμακας θα οδηγήσει στην μετάθεση της παραγωγής πιο κοντά σε θερμικά φορτία.

Η σημαντικότερη προϋπόθεση για την αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής είναι η ύπαρξη μικροδικτύων με την έννοια περιορισμένων σε χώρο, ημιαυτόνομων συνόλων φορτίων και παραγωγών που λειτουργεί υπό συντονισμένο τοπικό έλεγχο. Οι γεννήτριες και τα φορτία του μικροδικτύου τοποθετούνται και λειτουργούν με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους τροφοδοσίας της ζήτησης ηλεκτρισμού διατηρώντας παράλληλα ισορροπία ισχύος και προσφέροντας ασφάλεια και ποιότητα κατά τη λειτουργία.

Το άνοιγμα της αγοράς ενέργειας είναι το πρώτο βήμα προς την σταδιακή απομάκρυνση από το κεντρικό πρότυπο ανάπτυξης ηλεκτρικών δικτύων. Κατά συνέπεια, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα εξαπλώνεται με βάση τους στόχους των καταναλωτών και όχι σύμφωνα με τους συγκεντρωμένους στόχους μιας κεντρικής αρχής. Τέλος, παρότι με βάση το καθαρό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το μικροδίκτυο φαίνεται να υστερεί ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής, μπορεί να προσφέρει μερικά πλεονεκτήματα που εξισορροπούν τον παραπάνω ισχυρισμό και θα μπορούσαν να

το καταστήσουν πολύ πιο ελκυστικό οικονομικά. Καταρχάς, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου συγκρίνεται μόνο με τις λιανικές τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας και όχι με το καθαρό κόστος παραγωγής ενός κεντρικού σταθμού.

### 3.2 Επιδράσεις στη Λειτουργία ενός ΣΗΕ από τα Μικροδίκτυα

Τα μικροδίκτυα ως ξεχωριστή οντότητα αλλά και μέρος τους συνολικού δικτύου επιδρούν στη γενικότερη λειτουργία του ΣΗΕ κυρίως αποφεύγοντας τη δημιουργία επιπρόσθετων προβλημάτων και δημιουργώντας συνθήκες αντιμετώπισής τους ως μίας συνολικής οντότητας [13].

#### 3.2.1 Συνολικά Πλεονεκτήματα Μικροδικτύου

Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρέχει η δομή ενός μικροδικτύου στη λειτουργία του συνολικού ηλεκτρικού συστήματος συμπεριλαμβάνεται ένα ευρύ φάσμα περιοχών και αναφέρονται στη συνέχεια:

- Η συνέχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου σε περιπτώσεις κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (νησιδοποίηση). 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). Η αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές είναι ύψιστης σημασίας ζήτημα ιδιαίτερα για τους καταναλωτές, όπως νοσοκομεία, για τους οποίους είναι σημαντική η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.
- Η αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος μέσω της διεσπαρμένης παραγωγής που εγκαθίστανται κοντά στους καταναλωτές. Έτσι, ευεργετική αποδεικνύεται η τοπική κάλυψη του φορτίου που δεν συνεπάγεται μικρά μήκη γραμμών όπως και λίγους ενδιάμεσους καταναλωτές που αλλοιώνουν με τη χωρητική (ή επαγωγική για φορτία) συμπεριφορά τους τον συντελεστή ισχύος.
- Η μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση χρησιμοποιώντας σε μεγάλο βαθμό ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μικροτουρμπίνες και εν γένει καθαρές, νέες τεχνολογίες, φιλικότερες προς το περιβάλλον.
- Η μείωση του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών, όταν το μικροδίκτυο συμμετέχει σε πλήρως απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.
- Η άμεση και εύκολη διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων), διαδικασία που βοηθά σημαντικά την ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος σε περιόδους αιχμιακής λειτουργίας.
- Από την πλευρά του διαχειριστή του Δικτύου Διανομής, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου από το Μικροδίκτυο προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα που εκτίνονται από τη δυνατότητα αναβολής επενδύσεων προς ενίσχυση του δικτύου και των κεντρικών σταθμών παραγωγής έως τη μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα κατά τον χειρισμό των οριακών καταστάσεων όπως προαναφέρθηκε.

Επίσης, κάποιες από τις μεταβλητές που επηρεάζουν και χαρακτηρίζουν τις δυνατότητες ενός μικροδικτύου, από οικονομικής και τεχνικής απόψεως, αποτελούν:

- Ο τύπος των φορτίων του (οικιακό, βιομηχανικό, εμπορικό ή συνδυασμός τους).

- Το πλήθος των καταναλωτών.
- Ο τύπος των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής (φωτοβολταϊκές πηγές, αιολική ενέργεια, κυψέλες καυσίμου, μικροτουρμπίνες κλπ).
- Το μέγεθος (ισχύς), ο αριθμός των μονάδων παραγωγής και το προφίλ παραγωγής τους.
- Το επίπεδο της αξιοπιστίας του μικροδικτύου. Μια μέθοδος μέτρησης του συγκεκριμένου μεγέθους είναι και το ποσοστό ανεπάρκειας τροφοδοσίας των προβλεπόμενων φορτίων.

Όπως προαναφέρθηκε το μικροδίκτυο είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί τόσο σε αμφίδρομη σύνδεση με το δίκτυο όσο και σε απομονωμένη κατάσταση, σε έκτακτες περιπτώσεις. Η δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ενέργειας όπως την επιστροφή πλεονάζουσας ενέργειας σ' αυτό ή την απορρόφηση ενέργειας όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν την τοπική ζήτηση. Σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το ανάντη δίκτυο, αυτό που επιδιώκεται είναι να αποφεύγονται προβλήματα που δύναται να προκαλεί το μικροδίκτυο, κάτι που σημαίνει πως η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου και η απορροφούμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις (σε όρους ποιότητας) ενός τυπικού καταναλωτή. Σε δεύτερο χρόνο, το μικροδίκτυο μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να διαδραματίζει υποστηρικτικό ρόλο στο ανάντη δίκτυο. Λειτουργία που μπορεί να σημαίνει ότι το μικροδίκτυο θα απορροφά ή θα παρέχει ενεργό ή άεργο ισχύ όταν χρειάζεται για ρύθμιση τάσης ή αποφόρτιση στο σημείο σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο. Σαφώς, στην ανωτέρω λειτουργία προαπαιτείται συντονισμένη επικοινωνία και χειρισμοί αμφότερον των μονάδων ελέγχου του μικροδικτύου και του κεντρικού συστήματος.

### 3.2.2 Αξιοπιστία και Ποιότητα Ισχύος στα Μικροδίκτυα

Η αυξημένη αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος που προσφέρουν οι δομές των μικροδικτύων έχει ως βάση τη διαθεσιμότητα ισχύος όμως περιλαμβάνει επίσης και δευτερεύουσες λειτουργίες, όπως είναι ο έλεγχος ευστάθειας τάσης και ο περιορισμός των αρμονικών. Στις ανεπτυγμένες οικονομίες παγκοσμίως, χρησιμοποιείται σχεδόν καθολικά το μοντέλο ενιαίου συστήματος τροφοδότησης ηλεκτρικής ισχύος. Το κυρίαρχο αυτό πρότυπο ενεργειακού συστήματος βασίζεται σε μεγάλης κλίμακας κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, στη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλες αποστάσεις μέσω δικτύων υψηλής τάσης και μετέπειτα στην τοπική διανομή σε χαμηλότερες πλέον τάσεις, τοπικά ελεγχόμενων, γραμμών. Βασικό χαρακτηριστικό της προαναφερθείσας δομής είναι ότι η παροχή ηλεκτρικής ισχύος πραγματοποιείται σε ένα σταθερό και συνεπές επίπεδο ποιότητας και αξιοπιστίας για τις περισσότερες περιοχές [15].

Το συγκεκριμένο πρότυπο ομοιογενούς ποιότητας ισχύος και αξιοπιστίας έχει ωφελήσει τις ανεπτυγμένες οικονομίες του πλανήτη για μεγάλες χρονικές περιόδους παρόλα αυτά 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 πιθανώς σε νέα πρότυπα. Σε αντίθεση με το σημερινό πρότυπο ομοιογενούς ποιότητας παρεχόμενου ρεύματος, οι πραγματικές απαιτήσεις PQR (απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας ισχύος) των καταναλώσεων είναι εξαιρετικά ετερογενείς. Για παράδειγμα, η άντληση νερού έχει χαμηλές PQR απαιτήσεις σε αντίθεση με άλλα κρίσιμα φορτία που η υποστήριξή τους είναι υψηλής ευαισθησίας και συνεπώς υψηλών απαιτήσεων ως προς την ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία παροχής.

Ενώ η εφαρμογή διανεμημένης αξιόπιστης παραγωγής είναι δυνητικά σε θέση να μειώσει την

ανάγκη για επέκταση του παραδοσιακού συγκεντρωτικού συστήματος, ο έλεγχος ενός τεράστιου αριθμού διεσπαρμένων πηγών αποτελεί από μόνο του πρόκληση που μπορεί εν μέρει να αντιμετωπιστεί από την τεχνολογία του δικτύου. Διαφαίνεται πως αυτή η πρόκληση μπορεί να υλοποιηθεί ευκολότερα από την τεχνολογία των μικροδικτύων, τα οποία συνίστανται σε οντότητες που συντονίζουν τις εκάστοτε πηγές ενέργειας σε ένα πιο αποκεντρωμένο πλαίσιο. Η προδιαγραφείσα αυτή λειτουργία αποσυμφωρεί τον έλεγχο του κεντρικού δικτύου και επιτρέπει στις μικροπηγές να αποδώσουν τα οφέλη τους στο μέγιστο.

Κατά συνέπεια τα μικροδίκτυα σε συνδυασμό με χαρακτηριστικά ελέγχου και τεχνολογίες που τους προσδίδουν τον επιπρόσθετο χαρακτηρισμό ως “έξυπνα” θεωρούνται βασικό συστατικό των μελλοντικών ενεργειακών δικτύων διανομής αφού είναι σε θέση, αν συντονίζονται και λειτουργούν αποτελεσματικά, να εκμεταλλεύονται στο έπακρο τη διανεμημένη παραγωγή ελαχιστοποιώντας ενδεχόμενους κινδύνους από τη λειτουργίας τους.

### 3.2.3 Λειτουργικά Οφέλη για το Ανάντη Δίκτυο

Η παραγωγή μικροπηγών σε ένα μικροδίκτυο μπορεί να αλλάξει τις ροές ισχύος στο δίκτυο και κατ’ επέκταση τις απώλειες του δικτύου. Αν μια μικρή παραγωγή εγκατασταθεί κοντά σε ένα μεγάλο φορτίο τότε οι απώλειες δικτύου μπορούν να μειωθούν διότι τόσο η πραγματική όσο και η άεργος ισχύς μπορεί να παρασχεθεί στο φορτίο από τις παρακείμενες γεννήτριες του. Αντίθετα, αν μια μεγάλη μικροδικτυακή παραγωγή εγκατασταθεί μακριά από τα φορτία του δικτύου τότε είναι πιθανό να αυξηθούν τοπικά οι απώλειες στο σύστημα διανομής. Γενικά, υπάρχει άμεση εξάρτηση μεταξύ της ζήτησης σε ένα δίκτυο διανομής, και κατά συνέπεια μικροδίκτυο, και τη χρήση αντίστοιχων εγκαταστάσεων διεσπαρμένης παραγωγής.

Μάλιστα η βέλτιστη τοπολογία και ο πειραματισμός με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των απωλειών αποτελεί μεγάλο πεδίο έρευνας και εμπερικλείεται σε σημαντικό βαθμό και στην μοντελοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η μικροδικτυακή παραγωγή επιλέγει να λειτουργεί με ένα παράγοντα 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 παράγοντα ισχύος της μονάδας, τα προφίλ τάσης είναι πολύ πιο ικανοποιητικά. Η συνολική εγγεόμενη μιγαδική ισχύς στο ζυγό  $i$ , συμβολίζεται με  $S_i$  και δίνεται από τον τύπο:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^*$$

Το άθροισμα της ισχύος όλων των κλάδων δίνει τις συνολικές απώλειες του συστήματος. Ο παρακάτω τύπος, όπου  $P_L$ ,  $Q_L$  είναι οι ενεργές και άεργες απώλειες του δικτύου  $V_i$ ,  $I_i$  οι τάσεις και τα ρεύματα στους κόμβους και  $n$  ο αριθμός των κλάδων, είναι αντιπροσωπευτικός:

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n V_i^* \cdot I_i = V_{bus}^* \cdot I_{bus}$$

Η συνδυασμένη χρήση των νέων τεχνολογιών μικροπαραγωγής και των ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων. Η αξιόπιστη λειτουργία ενός μικροδικτύου, συνεπάγεται εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων ενεργού και άεργου ισχύος, και τη συνεχή ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας αυτού. Τέλος πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

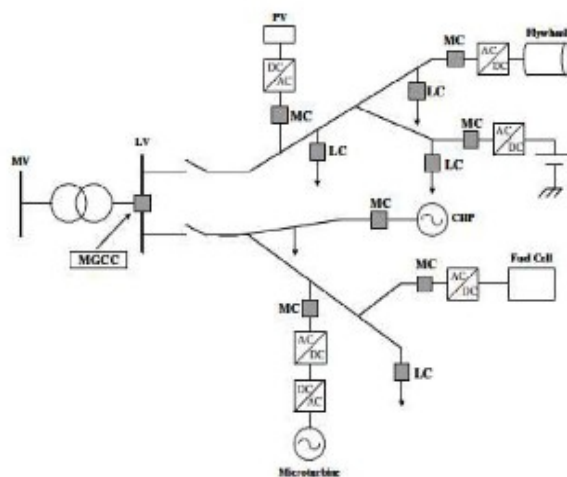
### 3.2.4 Περιβαλλοντικά Οφέλη Μικροδικτύου

Είναι σαφές πως η λειτουργία των μικροδικτύων συμβάλλει στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων υπό την έννοια ότι οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, όπως είναι οι τεχνολογίες συμπαραγωγής και το σύνολο των ΑΠΕ, είναι ελάχιστα ρυπογόνες. Παράλληλα με τα μικροδίκτυα, όπως έχει αναφερθεί, μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας αφού η παραγωγή γίνεται στο σημείο ή πολύ κοντά στο σημείο της κατανάλωσης. Έτσι για την κάλυψη του ίδιου φορτίου απαιτείται η παραγωγή μικρότερης ποσότητας ενέργειας με άμεση συνέπεια τις μειωμένες εκπομπές ρύπων.

Βέβαια η δημιουργία μικροδικτύων μπορεί να δημιουργεί τοπικά ένα είδος ρύπανσης, ειδικά αν δεν έχει γίνει σωστός σχεδιασμός των πηγών παραγωγής. Αυτό οφείλεται καταρχάς σε πιθανή ηχορύπανση που μπορεί να προκαλούν οι γεννήτριες των μικροπηγών καθώς επίσης και σε οπτική ρύπανση από την τοποθέτησή τους σε μη εμφανή σημεία, ακόμη και των πλέον διαδεδομένων όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες. Κατά συνέπεια, η παραγωγή δίπλα στο φορτίο, για τα αστικά κυρίως κέντρα που εμφανίζουν έλλειψη χώρου, συνεπάγεται τα ανωτέρω είδη ρύπανσης σε αντίθεση με τους έως τώρα συμβατικούς σταθμούς παραγωγής που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές όσο και αν αποτελούν εστίες ρύπανσης. Συνολικά όμως, αν γίνει σωστός σχεδιασμός, τα περιβαλλοντικά οφέλη από ένα μικροδίκτυο είναι ουσιώδη και υπερτερούν με σαφή τρόπο έναντι των ελάχιστων έως ανύπαρκτων μειονεκτημάτων που εμφανίζουν στην υλοποίησή τους.

### 3.2.5 Τυπική Δομή Μικροδικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια τυπική – γενική μορφή ενός μικροδικτύου όπως επίσης και η σύνδεσή του με το ανάντη δίκτυο. Φαίνονται επίσης το σύνολο των στοιχείων – ελεγκτών που αποτελούν το σύστημα διαχείρισης των δικτύων διανομής DMS (Distribution Management System).



Σχήμα 3.2 Τυπική δομή ενός μικροδικτύου και επίπεδα ελέγχου

Όσο αφορά στον έλεγχο του, όπως απεικονίζεται και στο ανωτέρω σχήμα, ένα μικροδίκτυο μπορεί να διακριθεί σε τρία ιεραρχικά επίπεδα ελέγχου.

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

Τα ανωτέρω επίπεδα ελέγχου παρουσιάζονται στο σχήμα μαζί με μικροπηγές, φορτία και διατάξεις αποθήκευσης καθώς και τη σύνδεση με το ανάντη δίκτυο μέσω ζυγών και μετασχηματιστή ΧΤ/ΜΤ.

Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα τυπικό μικροδίκτυο, πέραν των μικροπηγών και των καταναλωτών είναι τα εξής:

### **Αντιστροφείς**

Οι περισσότερες μικροπηγές του μικροδικτύου συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω μετατροπέων διότι η ισχύς που παράγουν σε πρώτο στάδιο δεν διαθέτει τα αναγκαία χαρακτηριστικά ώστε να αξιοποιηθεί από το δίκτυο (τάση, συχνότητα κλπ). Οι αυξημένες όμως 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.

### **Μονάδες Αποθήκευσης**

Το βασικό πρόβλημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί εύκολα και οικονομικά σε μεγάλες ποσότητες. Σχεδόν όλη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί, ταυτόχρονα, ακριβώς την κατανάλωση της (φορτία, απώλειες). Ωστόσο για τη λειτουργία των μικροδικτύων, εφόσον αυτά περιλαμβάνουν μεγάλη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή η παρουσία μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Οι βασικές σύγχρονες 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 (εφαρμογές αντλιοσταμείωσης). Η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται για άντληση νερού σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη. Κατόπιν ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν ζητηθεί με έναν υδροστρόβιλο.

### **Μονάδες Ελέγχου**

Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη μέσω των διατάξεων ελέγχου που ενσωματώνει ένα σύγχρονο μικροδίκτυο, το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα τοπικά φορτία.
- Συμμετοχή στις ενεργειακές αγορές με στόχο τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την



αύξηση των κερδών των ιδιοκτητών διεσπαρμένης παραγωγής.

- Κατά το δυνατόν αδιάλειπτη παροχή ενέργειας σε κρίσιμα φορτία.
- Συνεισφορά στη μείωση των ρύπων που οφείλονται στην τοπική ζήτηση.
- Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο τοπικό δίκτυο διανομής όπως έλεγχος τάσης και αέργου ισχύος.
- Νησιδοποίηση και επανεκκίνηση του δικτύου μετά από σφάλμα στο ανάντη δίκτυο.

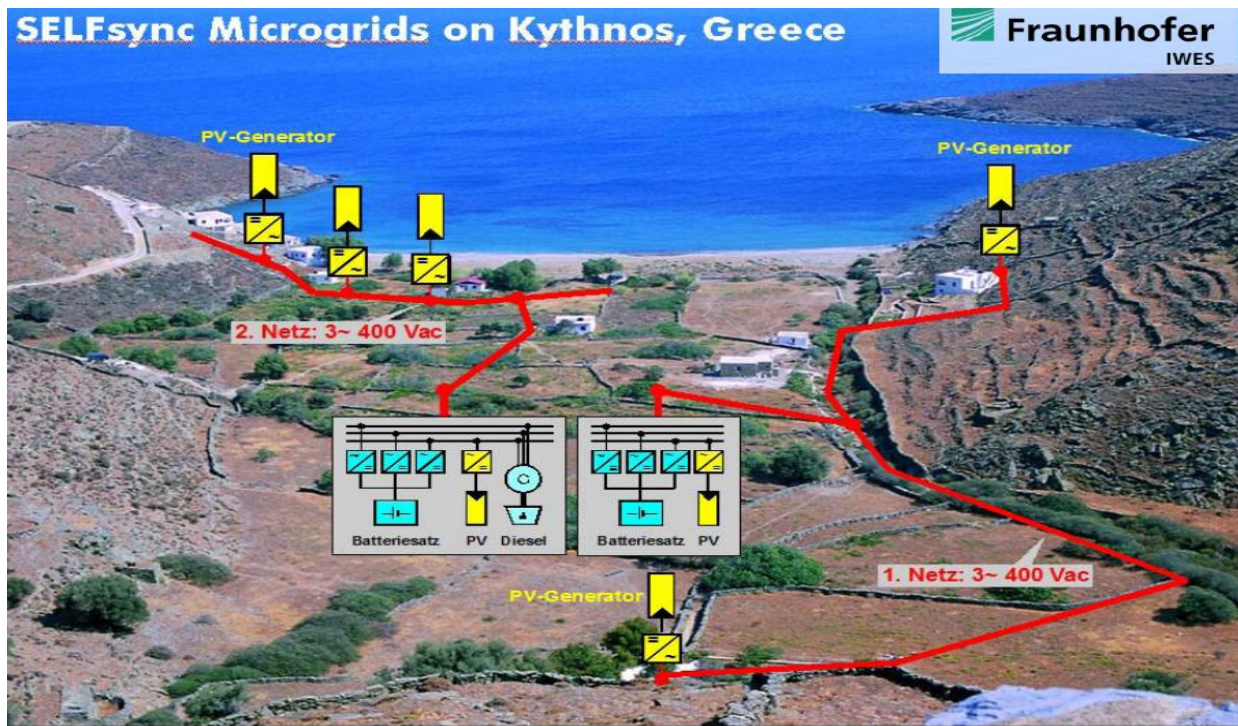
### 3.3 Τα Μικροδίκτυα στην Ελληνική Πραγματικότητα

#### 3.3.1 Το Μικροδίκτυο της Κύθνου

Πέρα από την θεωρητική προσέγγιση των μικροδικτύων, πολλά είναι τα προβλήματα που συνδέονται με την διείσδυση των ΑΠΕ και άλλων μικρών μονάδων στο εγχώριο σύστημα παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση στη δημιουργία των μικροδικτύων στην πράξη [12]. Βασικός παράγοντας είναι η διαφορετική φιλοσοφία πάνω στην οποία χτίστηκε το ελληνικό σύστημα το οποίο είναι σύστημα που μέχρι σήμερα βασίζεται πάνω στην συγκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς (κυρίως λιγνιτικούς) και ακτινωτή μεταφορά προς τις καταναλώσεις με μονόδρομη ροή ισχύος. Αυτού του είδους αρχιτεκτονικής δικτύου συναντά μια σειρά εμποδίων που έχουν να κάνουν με τον έλεγχο, την ευστάθεια, τις προστασίες και την αξιοπιστία στην μετατροπή του σε ένα δίκτυο διανεμημένης παραγωγής παρά το γεγονός πως το μεγαλύτερο ποσοστό του δικτύου διανομής, στο οποίο και αναφέρονται κατά το πλείστον τα μικροδίκτυα, είναι ακτινωτό.

Επιπλέον απαιτούνται σημαντικές παρεμβάσεις στο δίκτυο διανομής και ελέγχου, ώστε να μπορούν να διαχειριστούν την διανεμημένη παραγωγή τόσο από τις μονάδες ανανεώσιμων πηγών όσο και από τις άλλες μικρές μονάδες. Θέματα που επίσης χρειάζονται μελέτη είναι η συμβολή των μικροδικτύων που διασυνδέονται με το κεντρικό δίκτυο μέσης ή χαμηλής τάσης στη στάθμη βραχυκύκλωσης αυτού, καθώς και η συμπεριφορά τους σε σφάλματα ή γενικές διακοπές (blackouts). Παρά τις δυσκολίες γίνονται προσπάθειες και στην Ελλάδα για την ένταξη των μικροδικτύων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Μία από αυτές είναι το πιλοτικό μικροδίκτυο που αναπτύχθηκε στο νησί της Κύθνου. Βρίσκεται στην περιοχή Γαϊδουρομάντρα της Κύθνου και είναι ένα μονοφασικό μικροδίκτυο. Ηλεκτροδοτεί δώδεκα σπίτια σε μία μικρή κοιλάδα της Κύθνου. Το μικροδίκτυο πληρεί τις προϋποθέσεις ασφαλείας που προβλέπονται από τη ΔΕΗ για τη σύνδεση με τα σπίτια. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι γιατί μελλοντικά το μικροδίκτυο μπορεί να συνδεθεί με το υπόλοιπο δίκτυο του νησιού. Η ισχύς σε κάθε σπίτι που ηλεκτροδοτείται από το μικροδίκτυο ελέγχεται από μία ασφάλεια των 6 Ampere. Ο οικισμός βρίσκεται περίπου 4 χιλιόμετρα μακριά από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής μέσης τάσης του νησιού. Ένα κτήριο είκοσι τετραγωνικών μέτρων κατασκευάστηκε στη μέση του οικισμού για να τοποθετηθούν οι μπαταρίες και οι αντιστροφείς τους, η νητζελογεννήτρια καθώς και ο υπολογιστής ελέγχου και το υλικό επικοινωνίας.



Σχήμα 3.3 Το πρότυπο μικροδίκτυο της Κύθνου

Κάθε αντιστροφέας μπαταριών έχει μέγιστη ισχύ εξόδου 3,6 kW. Είναι συνδεδεμένοι παράλληλα επιτρέποντας τη χρήση ενός ή περισσότερων ανάλογα με τις ανάγκες των καταναλωτών. Υπάρχουν επίσης διακόπτες ελέγχου φορτίου που χρησιμοποιούνται στο να μην υποφορτίζονται ή υπερφορτίζονται οι μπαταρίες. Το σύστημα αποτελείται από 10 kWp φωτοβολταϊκών διαχωρισμένα σε μικρότερα υποσυστήματα, από μία μπαταρία ονομαστικής χωρητικότητας 53 kWh και από μια γεννήτρια diesel με ονομαστική έξοδο 5 kVA. Ένα δεύτερο σύστημα με περίπου 2 kWp βρίσκεται στην ταράτσα του κτηρίου που στεγάζεται ο εξοπλισμός και συνδέεται με ένα αντιστροφέα και μία μπαταρία των 32 kWh. Αυτό το δεύτερο σύστημα παρέχει την απαιτούμενη ισχύ για τον έλεγχο και την επικοινωνία του συστήματος. Το μικροδίκτυο της Κύθνου αποτελεί σημαντικό παράδειγμα αναφοράς ακόμη και σε παγκόσμιο επίπεδο διότι αποδεικνύει στην πράξη τις δυνατότητες και τα οφέλη που παρουσιάζει μια αντίστοιχη υλοποίηση σε ευρεία κλίμακα.

### 3.3.2 Δεσμεύσεις Μείωσης των Εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου

Οι υποχρεώσεις της Ελλάδας που απορρέουν από τη δέσμευσή της στα πλαίσια της συμφωνίας για τη μείωση των εκπομπών των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως αυτά διασαφηνίστηκαν στο πρωτόκολλο του Κιότο, με τη συγκράτηση του ρυθμού αύξησης κατά το έτος του 2010 του διοξειδίου του άνθρακα κατά 25% σε σχέση με το έτος βάση 1990. Επιπλέον, η ΕΕ είναι έτοιμη να αναβαθμίσει τις προσπάθειές της για μια μείωση των εκπομπών ως και 30% έως το 2020, υπό την προϋπόθεση ότι και οι λοιπές βιομηχανικές χώρες δεσμευτούν για ανάλογες μειώσεις εκπομπών και οι αναπτυσσόμενες χώρες θα συμβάλουν επαρκώς στην παγκόσμια προσπάθεια για μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Δεδομένου ότι κατά το έτος 2001 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ κυμαινόταν σε ποσοστό 8,4% της συνολικής κατανάλωσης (6,8% από μεγάλα υδροηλεκτρικά και 1,6% από μικρά υδροηλεκτρικά, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά και βιομάζα), είναι εμφανής η ανάγκη για περαιτέρω διεύθυνση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Υπουργείου Ανάπτυξης και της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα συνεχίσει να αυξάνεται τόσο για το ηπειρωτικό σύστημα όσο και για τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα με ενιαίο ποσοστό αύξησης 3,6% για όλη τη χώρα. Βέβαια αυτό απέχει σχετικώς από τη συμπεριφορά του συστήματος λόγω παραγόντων οικονομικής ύφεσης (μειωμένος ρυθμός αύξησης).

Αυτό συνεπάγεται συνεχή επέκταση των εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που αντιτίθεται στις δεσμεύσεις της Ελλάδας για συγκράτηση των αερίων του θερμοκηπίου. Ήδη η Ελλάδα κινείται εκτός των προβλεπόμενων ορίων, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να αναζητηθούν στρατηγικές συγκράτησης της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, του βασικότερου των αερίων του θερμοκηπίου, προκαλούνται στην Ελλάδα κατά 77,9% από την καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα παραπάνω στοιχεία είναι αρκετά για να δικαιολογήσουν την σταδιακή εγκατάλειψη νέων σχεδίων κατασκευής μεγάλων μονάδων παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη και να σημάνουν την στροφή προς την διανεμημένη παραγωγή. Η κατασκευή σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο, μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας και η κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών και αιολικών πάρκων είναι από τα μέτρα που κινούνται προς την κατεύθυνση μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, ταυτόχρονα με την προσπάθεια κάλυψης της συνεχώς αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Μια σειρά παραγόντων καθιστούν ευνοϊκότερη τη δημιουργία διεσπαρμένων μονάδων και μικροδικτύων στον ελληνικό χώρο. Με δεδομένο ότι το 60% της ενέργειας που δαπανάται για οικιακή χρήση καθώς και το 50% της ενέργειας για εμπορική χρήση καταναλώνεται για την θέρμανση των κτιρίων, είναι εμφανής η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει με την εγκατάσταση περισσότερων μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας κοντά σε αστικά κέντρα ή επαρχιακές πόλεις. Σήμερα, σε λίγες μόνο πόλεις που βρίσκονται κοντά σε θερμικούς σταθμούς στη βόρεια Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί δίκτυα τηλεθέρμανσης, ενώ δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις των σταθμών που απάγουν την θερμότητα σε θάλασσες ή ποτάμια, επηρεάζοντας αρνητικά τα τοπικά οικοσυστήματα.

Για το ηπειρωτικό σύστημα μια στροφή στη διανεμημένη παραγωγή θα εξομάλυνε την ανισοροπία μεταξύ του τύπου παραγωγής και κατανάλωσης καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται στη βόρεια Ελλάδα και το ένα τρίτο της κατανάλωσης πραγματοποιείται στην Αττική, κάτι που συμβάλλει στις μεγάλες απώλειες κατά την μεταφορά της ενέργειας. Για το ελληνικό σύστημα οι απώλειες ανέρχονται περί το 12% της παραγόμενης ενέργειας, σημαντικό μέρος των οποίων θα μπορούσε να αποφευχθεί αν μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας παράγονταν πιο κοντά στους τόπους κατανάλωσης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κοντά στον τόπο κατανάλωσης, θα μπορούσε επίσης να συμβάλει σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς θα ενυαίσθητοποιούσε περισσότερο τους καταναλωτές.

Τέλος, ο νησιωτικός χαρακτήρας της Ελλάδας καθιστά αναπόφευκτη την ύπαρξη πολλών μικρών αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων. Η παραγωγή ενέργειας στα νησιά γίνεται ως επί το πλείστο από ντίζελ. Η παραγωγή αυτή αντιστοιχεί στο 7,1% της εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τόσο το ντίζελ όσο και το αργό πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται εισάγονται. Δεδομένου του μεγάλου ρυθμού αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας 5,5% για το μη διασυνδεδεμένο σύστημα, είναι αυτονόητη η ωφέλεια που θα προέκυπτε για την ενεργειακή απεξάρτηση της Ελλάδας από τη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά επιτρεπτό μέσω ταυτόχρονα και συνολικής (όσο το δυνατό) διασύνδεσής τους. Δεδομένη είναι εξάλλου η μειωμένη αξιοπιστία των μικρών συστημάτων που αποτελούνται μόνο από ντίζελογεννήτριες, με συνεχείς βυθίσεις της τάσης, μεταβολή της συχνότητας και διακοπές. Η δημιουργία μικροδικτύων με διεσπαρμένες μονάδες ανανεώσιμων πηγών σε συνδυασμό με μικροστροβίλους μπορεί να αποδειχθεί

πιο οικονομική λύση ακόμη και από διασύνδεση μιας περιοχής με το υπάρχον δίκτυο.

### 3.4 Έξυπνα Δίκτυα (smart grids)

Η ιδέα των έξυπνων δικτύων γεννιέται μέσα από τις νέες προκλήσεις που προέρχονται από την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και από τις τεχνολογικές εξελίξεις οι οποίες επιβάλλουν την αναθεώρηση των έως πρότινος δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας [14]. Τα υπάρχοντα δίκτυα παρότι έχουν λειτουργήσει ικανοποιητικά έως τώρα, δεν θα είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες που επιτάσσει το μέλλον της ενέργειας. Θα πρέπει τουλάχιστον να εξασφαλίσουν ασφάλεια και σταθερότητα στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, να εκμεταλλευτούν τις νέες τεχνολογίες και να συμβαδίσουν με τις νέες πολιτικές και τα νέα επιχειρηματικά πλαίσια. Ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζει πλέον νέες ευκαιρίες και προκλήσεις και πρέπει να ανταποκριθεί σε ένα νέο όραμα το οποίο περιλαμβάνει:

- Απελευθερωμένες αγορές – Διαχείριση ζήτησης και παραγωγής σε πραγματικό χρόνο
- Ανανέωση και καινοτομία στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας
- Ασφάλεια παροχής ενέργειας
- Διαλειτουργικότητα μεταξύ των δικτύων
- Διεσπαρμένη παραγωγή και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Περιβαλλοντικά θέματα
- Πολιτικά και νομικά θέματα
- Κοινωνικά και δημογραφικά ζητήματα

Στην πραγματοποίηση αυτού του οράματος συνδράμουν οι απλοί καταναλωτές, οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας, οι ερευνητές και όσοι σχετίζονται με τη δημιουργία των νόμων. Το μέλλον της ενέργειας προβλέπει τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας να είναι:

- Ευέλικτα, δηλαδή να καλύπτουν τις ανάγκες των καταναλωτών και να ανταποκρίνονται στις αλλαγές και τις προκλήσεις του μέλλοντος.
- Προσβάσιμα, δηλαδή να εγγυούνται πρόσβαση των χρηστών σε όλα τα δίκτυα, κυρίως σε ΑΠΕ και σε δίκτυα τοπικής παραγωγής με υψηλή απόδοση και χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές άνθρακα.
- Αξιόπιστα, δηλαδή να διασφαλίζουν και να βελτιώνουν την ασφάλεια και την ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζοντας με τις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής.
- Οικονομικά, δηλαδή παροχή της καλύτερης αξίας μέσω καινοτομιών, αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας και ανταγωνισμός επί ίσοις όροις μέσω νομοθετικών ρυθμίσεων.

Η νέα φιλοδοξία είναι τα παγκόσμια δίκτυα ηλεκτρισμού να γίνουν έξυπνα, έτσι ώστε οι καταναλωτές να μπορούν στο μέλλον να παρακολουθούν και να ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας, κάτι που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων, περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος.

### 3.4.1 Ορισμός και Γενικά Χαρακτηριστικά Έξυπνων Δικτύων

Η αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου με εξυπνότερες τεχνολογίες είναι μία από τις βασικότερες προτεραιότητες ώστε να επιτευχθεί ο τριπλός στόχος που έχει τεθεί ως το 2020, μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 20%, χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%. Ταυτόχρονα, σκοπός της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας υιοθετώντας τις δομές και τις διαδικασίες, λαμβάνοντας υπόψη την νέα προσέγγιση της αγοράς ενέργειας και τις νέες νομοθεσίες, δηλαδή ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα και αύξηση της απόδοσης μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα έξυπνα δίκτυα (smart grids) είναι ένα μέσο που θα συνδράμει στην επίτευξη του τριπλού αυτού στόχου. 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. Ένα έξυπνο δίκτυο, που περιλαμβάνει ένα συνδυασμό λογισμικού και υλικού επιτρέπει αποτελεσματικότερη ροή ισχύος και δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν τη ζήτηση ενέργειας. Τα έξυπνα ή αλλιώς ευφυή δίκτυα έχουν ως κύριους άξονες την:

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



Σχήμα 3.4 Δομή έξυπνου δικτύου

### 3.4.2 Παράγοντες ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων

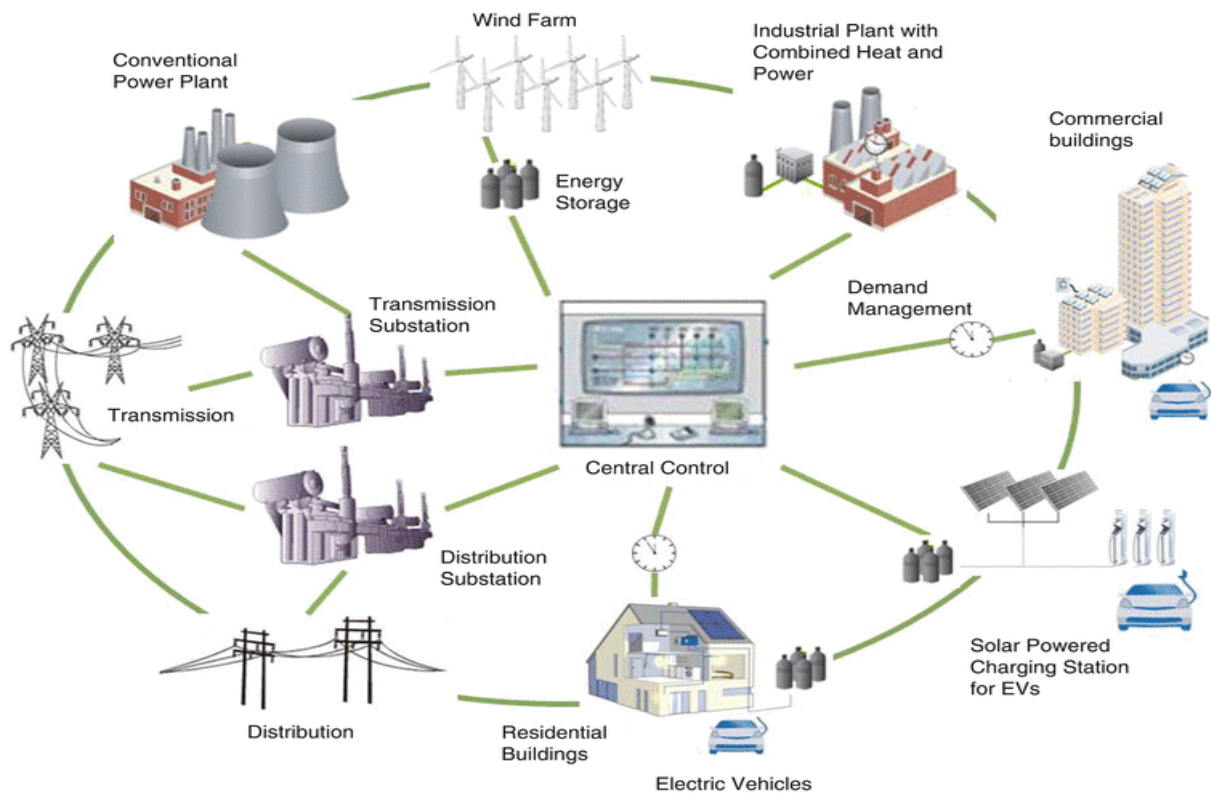
Η σημερινή εποχή είναι ίσως η πλέον κατάλληλη για την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σε συνδυασμό με το αυξανόμενο ενδιαφέρον για ενεργειακά θέματα καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις συντελούν προς αυτή την κατεύθυνση. Οι πολιτικές που ακολουθούνται από τις κυβερνήσεις ενθαρρύνουν τις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας με μειωμένες εκπομπές άνθρακα καθώς και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Παράλληλα οι εξελίξεις στον τομέα της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, της διαχείρισης φορτίου και της επικοινωνίας καθώς και η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθιστούν επιτακτική ανάγκη την επένδυση στην κατεύθυνση της δημιουργίας νέων δικτύων. Τα "έξυπνα" αυτά δίκτυα πρέπει να είναι ασφαλή, φιλικά προς το περιβάλλον και να συμφέρουν οικονομικά. Οι παράγοντες που πρέπει να απασχολήσουν τα δίκτυα του μέλλοντος έχουν να κάνουν με:

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

### 3.4.3 Η Μετάβαση στα Μελλοντικά Δίκτυα

Η μετάβαση από τα σημερινά δίκτυα στα μελλοντικά που προαναφέρονται αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση διότι δεν υπάρχουν πολλά κοινά στην φιλοσοφία ανάπτυξης και λειτουργίας μεταξύ τους. Τα υπάρχοντα δίκτυα βασίζονται κυρίως σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής που σε συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με συστήματα μέσης και χαμηλής τάσης δίκτυα διανομής. 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 μέρος. Σχεδόν απουσιάζει η συμμετοχή του καταναλωτή και η επικοινωνία. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται υπάρχουν πολλά χρόνια και τα δίκτυα έχουν σχεδιαστεί 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.



**Σχήμα 3.5 Διαδραστικότητα και επικοινωνία μελλοντικών ηλεκτρικών δικτύων**

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). Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα διανομής δεν έχουν αλλάξει πολύ και τείνουν να είναι ακτινικά με ροή ισχύος προς μία κατεύθυνση, την παροχή ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές.

Στα μελλοντικά δίκτυα μεγάλη ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται τώρα από μεγάλους συμβατικούς σταθμούς θα προέρχεται από διεσπαρμένη παραγωγή και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης θα πραγματοποιείται ηλεκτρική αποθήκευση και διαχείριση ζήτησης ενέργειας. Επιπλέον δυνατή θα είναι η ύπαρξη εφεδρείας σε περίπτωση ελλειπών παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Επίσης είναι οικονομικά αποδοτικότερο να βρεθεί μία λύση για εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου, αυτό όμως προϋποθέτει πολλές αλλαγές στα υπάρχοντα δίκτυα διανομής και μεταφοράς.

### 3.4.4 Βασικά Στοιχεία Δημιουργίας Έξυπνων Δικτύων

Τα ηλεκτρικά δίκτυα του μέλλοντος θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ευφυή για διάφορους λόγους. Πρώτο απ' όλα επιτρέπουν την ενεργό συμμετοχή του καταναλωτή στην παροχή ηλεκτρισμού. Η διαχείριση φορτίου βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας η οποία ανταμείβεται. Ακόμη, καθώς γίνονται νέες διασυνδέσεις μεταξύ των χωρών καθίσταται δυνατή η αποτελεσματικότερη λειτουργία του δικτύου λόγω της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των χωρών.

Παράλληλα με τη χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα επιτευχθεί μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Ο στόχος των έξυπνων δικτύων είναι η αειφόρος ανάπτυξη με τη δημιουργία ενός αποδοτικού δικτύου διανομής δίνοντας έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στη διεσπαρμένη παραγωγή. Θα διευκολυνθεί η διασύνδεση περιοχών που έχουν διαφορετικές αλλά συμπληρωματικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως είναι η αιολική ενέργεια και η ενέργεια από αντλιοσταμείωση. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας δίνει ώθηση να εκμεταλλευθούν οι εμπορικές ευκαιρίες που παρουσιάζονται. Το ηλεκτρικό δίκτυο θα γίνει όπως το διαδίκτυο (internet).

Μέχρι το 2020 οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας θα επιτρέπουν σε όλους να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες τους όπως είναι η διαχείριση του φορτίου. Οι έξυπνοι μετρητές, τα ηλεκτρονικά ισχύος, τα νέα μέσα επικοινωνίας και η αυξανόμενη συμμετοχή των καταναλωτών θα βοηθήσουν στο να αναπτυχθεί η διαχείριση της κάλυψης ζήτησης σε τοπικό επίπεδο. Οι υπηρεσίες μέτρησης θα ανοίξουν το δρόμο για πρόσβαση στο δίκτυο του μέλλοντος και θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του τομέα της διαχείρισης φορτίου. Έτσι ηλεκτρονικοί μετρητές, αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης μετρητών και τηλεπικοινωνιακά συστήματα θα βοηθήσουν προς αυτή την κατεύθυνση.

Το σημαντικό πλεονέκτημα των έξυπνων μετρητών είναι ότι όχι μόνο υπολογίζουν τις καταναλώσεις πολύ πιο αυτοματοποιημένα από τους κλασσικούς μετρητές αλλά επικοινωνούν με το ηλεκτρικό δίκτυο και αποστέλλουν τις πληροφορίες που συλλέγουν για σκοπούς παρακολούθησης και χρεώσεων. Σύμφωνα με το τρίτο ενεργειακό πακέτο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έξυπνοι μετρητές πρέπει να έχουν εγκατασταθεί τουλάχιστον στο 80% των οικιακών καταναλωτών μέχρι το 2020 και στο 100% μέχρι το 2022. Τα ηλεκτρονικά ισχύος θα επιτρέπουν τη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών και των κινητήρων σε μεταβλητές στροφές ώστε να αυξηθεί συνολικά η απόδοση και η ποιότητα της ισχύος.

Παράλληλα μπορεί να επεκταθεί η ανάπτυξη γραμμών υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC), χρησιμοποιώντας για υπεραγώγιμα καλώδια τα οποία θα βελτιώσουν τη μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ευρυζωνικές επικοινωνίες θα χρησιμοποιηθούν για πρόσβαση και έλεγχο σε όλους τους σταθμούς παραγωγής και σε όλα τα φορτία σε κάθε επίπεδο ισχύος με πολύ χαμηλό κόστος. Αυτό θα οδηγήσει στην εφαρμογή νέων στρατηγικών, όπως είναι η δημιουργία εικονικών σταθμών παραγωγής ή η καθιέρωση αγορών ακόμη και για μικρούς παραγωγούς ή καταναλωτές. Για την επιτυχή μετάβαση στα έξυπνα πλέον δίκτυα είναι απαραίτητη η συμμετοχή κυβερνήσεων, νομοθετών, καταναλωτών, παραγωγών, εμπόρων, εταιριών διανομής και μεταφοράς ενέργειας, κατασκευαστών ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και παρόχων υπηρεσιών πληροφορικής και επικοινωνιών. Για την επιτυχή ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων πρέπει:

- Οι υποδομές και ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί να μην χρειάζονται συχνή αντικατάσταση και να αντέχουν στο χρόνο.
- Να γίνει μία εναρμόνιση των αγορών, των τεχνικών προδιαγραφών και των νομοθετικών πλαισίων κάθε χώρας.
- Να αποφευχθεί η δημιουργία απομονωμένων εξελίξεων αφού δεν θα είναι αποτελεσματικές εξαιτίας της πολυπλοκότητας των δικτύων.
- Να αντιμετωπισθεί το ζήτημα της επάρκειας του εξειδικευμένου προσωπικού που θα βοηθήσει στην ανάπτυξη πρωτοποριακών τεχνολογιών.

### 3.4.5 Η Ανάγκη Χρήσης Έξυπνων Μετρητών

Προϋπόθεση για την ανάπτυξη και εύρυθμη λειτουργία των έξυπνων δικτύων και των νέων δομών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές. Στην ουσία ένας έξυπνος μετρητής είναι μία συσκευή η οποία μετράει την ενέργεια που χρησιμοποιείται ή παράγεται καθώς και πλήθος άλλων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών. Στη συνέχεια με πρωτόκολλα επικοινωνίας και ασύρματες ζεύξεις



στέλνει τις πληροφορίες στο κεντρικό σύστημα συλλογής τους και από εκεί καταλήγουν είτε στον πελάτη, ενημερώνοντας τον για την εκάστοτε κατανάλωση του και το αντίστοιχο κόστος αυτής, αλλά κυρίως στον διαχειριστή των μικροδικτύων και κατ' επέκταση του συνολικού ΣΗΕ όπου καλείται μέσω μοντέλων πρόβλεψης να πάρει τις απαραίτητες αποφάσεις ώστε το συνολικό σύστημα να λειτουργεί με αξιοπιστία.

Οι έξυπνοι μετρητές έχουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, δηλαδή εκτός από την αποστολή δεδομένων και τη λήψη εντολών. Αποτελούν έναν οικονομικό τρόπο για μέτρηση και παρακολούθηση της κατανάλωσης, που επιτρέπει στην καλύτερη ρύθμιση της παραγωγής βασισμένη σε ημερήσια δεδομένα πραγματικού χρόνου (εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων). Στόχος είναι μέσα από τη χρήση έξυπνων μετρητών οι χρεώσεις στους καταναλωτές να γίνονται βάσει του ακριβούς ποσού ενέργειας που έχει καταναλωθεί.

Οι έξυπνοι μετρητές 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 και να προσφέρουν μειωμένες χρεώσεις ενέργειας ή να κάνουν προσφορές ώστε να καταρτίσουν ειδικά προγράμματα χρέωσης με βάση τις ώρες κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας (βάση, αιχμή).

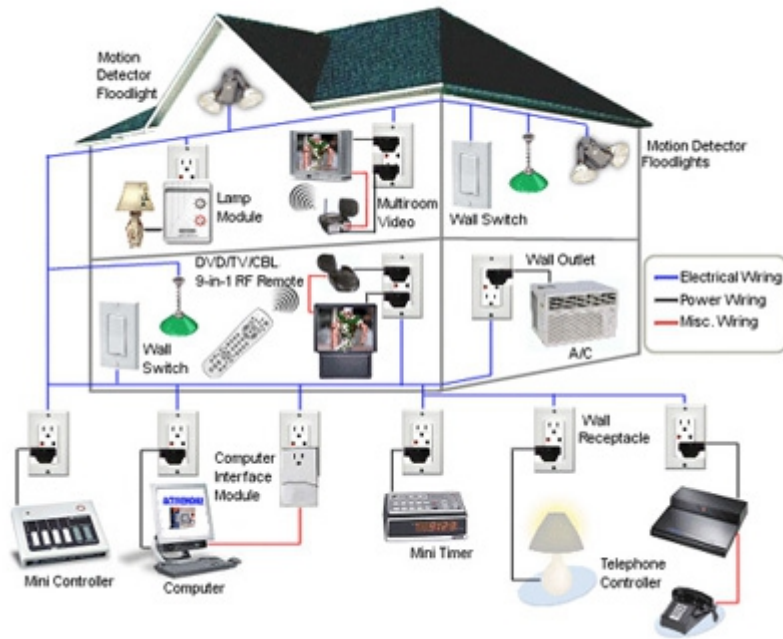
Η αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας σε περιόδους αιχμής είναι μια μέθοδος που μπορεί να μειώσει την αντίστοιχη ζήτηση με αποτέλεσμα τεράστιο όφελος τόσο για τον παραγωγό όσο και την γενικότερη πολιτική εξοικονόμησης. Με την αυτόματη μέτρηση, ο διαχειριστής θα είναι σε θέση να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας κάθε οικίας, επιχείρησης, βιομηχανίας, γεγονός που αποτελεί τεράστιο όφελος και εξοικονόμηση οικονομικών και ανθρωπίνων πόρων, αφού έως τώρα υποθέτει ένα ποσό κατανάλωσης με βάση ιστορικά δεδομένα και σε επόμενους λογαριασμούς διορθώνονται οι αποκλίσεις από την πραγματικότητα, γεγονός που μειώνει την αξιοπιστία του παρόχου και προβληματίζει τους πελάτες ως προς την ακρίβεια των λογαριασμών τους.

### **3.4.6 Ανάπτυξη Έξυπνων Δικτύων**

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA – International Energy Agency) οι επενδύσεις για τις υποδομές στον ενεργειακό τομέα από το 2005 έως το 2030 θα ανέλθουν στα 20,2 τρισεκατομμύρια δολάρια εκ των οποίων πάνω από τα μισά θα διατεθούν για τον τομέα του ηλεκτρισμού.

### **3.4.7 Η Παγκόσμια Πραγματικότητα των Έξυπνων Δικτύων**

Η ανάπτυξη ευφυών δικτύων δεν γίνεται μόνο στην Ευρώπη αλλά και σε ολόκληρο τον κόσμο. Σε αυτό τον τομέα δραστηριοποιούνται πολύ μεγάλες εταιρείες τεχνολογιών αιχμής κυρίως πάροχοι τεχνολογίας και εξοπλισμού για τα δίκτυα Ίντερνετ. Στην πόλη Boulder, Colorado, USA πραγματοποιείται πιλοτικό πρόγραμμα για τη δημιουργία μιας έξυπνης πόλης. Βασικό συστατικό αυτής της πόλης είναι τα έξυπνα σπίτια, μία μορφή των οποίων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 3.6 Έξυπνο σπίτι (smart home)**

Κύριο όραμα για τα έξυπνα σπίτια είναι η επικοινωνία μέσω δικτύου ώστε να λαμβάνουν οι καταναλωτές ενημέρωση και τιμολόγια βάσει των προσωπικών τους αναγκών. Θα έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν αν θέλουν να τροφοδοτούνται τα σπίτια τους από 100% πράσινη ενέργεια ή από ένα μίγμα διαφόρων πηγών ενέργειας ή από τη φθηνότερη μορφή ενέργειας. Τεχνολογίες όπως οι έξυπνοι μετρητές που δίνουν στον πελάτη την δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε διάφορα τιμολόγια πραγματικού χρόνου, καθώς και οι έξυπνες συσκευές, οι οποίες επικοινωνούν με το δίκτυο και αυτόματα τίθενται εντός και εκτός λειτουργίας είναι απαραίτητες για την λειτουργία των έξυπνων κτιρίων. Επίσης, μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο πως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα αποθηκεύουν ενέργεια κατά τις νυχτερινές ώρες και θα τη δίνουν στο σπίτι σε ώρες αιχμής φορτίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ενεργειακή αποδοτικότητα, η εξοικονόμηση και διαχείριση ενέργειας αποτελούν μια νέα τάση στην ενεργειακή αγορά και βιομηχανία και αποτελούν δραστηριότητες που προωθούνται μέσω των νέων μορφών εταιριών παροχής ενεργειακών υπηρεσιών, γνωστές και ως ESCOs (Energy Service Companies). Ταυτόχρονα αυτές οι ενέργειες προωθούνται μέσα από προγράμματα υπουργείων που στηρίζουν την ενεργειακή αναβάθμιση και βελτίωση κτιριακών δομών. Στόχος όλων των δραστηριοτήτων, προγραμμάτων και εταιριών που δραστηριοποιούνται στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με τα οφέλη να μοιράζονται και στις δύο πλευρές, ο καταναλωτής να πετυχαίνει μείωση κόστους ενέργειας και η πολιτεία ή οι εταιρίες να επιτυγχάνουν μειωμένη ζήτηση ενέργειας και οικονομικά οφέλη αντίστοιχα.

Ο τομέας της εξοικονόμησης και της αποδοτικής διαχείρισης της ενέργειας αναπτύχθηκε παράλληλα αλλά με πολύ πιο αργούς ρυθμούς από τον δεύτερο πυλώνα της ενεργειακής ανάπτυξης που είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Παρόλα αυτά, αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο τομέα που θα διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην τοπική και παγκόσμια οικονομία τα προσεχή έτη. Στη συνέχεια αναλύονται μέσα από υποκεφάλαια τα κύρια χαρακτηριστικά που απαρτίζουν αυτόν τον κλάδο της ενέργειας, τις πολιτικές και τις προοπτικές του.

#### 4.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί μια δραστική λύση μείωσης του κόστους ενέργειας στον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα [20]. Η εξοικονόμηση προέκυψε ως επακόλουθο παρατήρησης και συνειδητοποίησης πως το κόστος ενέργειας δεν ήταν ένα σταθερό – πάγιο κόστος παρά ένα λειτουργικό και αρκετά μεταβλητό κόστος για τον καταναλωτή. Ο καθένας από τους τομείς (οικιακός, εμπορικός και βιομηχανικός) εφάρμοσε διαφορετικές τακτικές μείωσης του ενεργειακού κόστους κάτι που οφείλεται στην διαφοροποίηση των διαδικασιών, λειτουργιών και πρακτικών που τον χαρακτηρίζει. Αυτό που αποδεικνύεται πάντως είναι πως ασχέτως με το ύψος του ενεργειακού κόστους κάθε καταναλωτή, τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας ως απόλυτα ποσοστά παραμένουν ίδια και κυμαίνονται από 5% έως και 50%. Σαφώς τα ποσοστά αυτά σε μεγάλες βιομηχανικές καταναλώσεις έχουν διαφορετικό οικονομικό ενδιαφέρον από μια απλή οικία.

Οι διατάξεις και μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για κάθε κατηγορία καταναλωτή είναι διαφορετικές αλλά έχουν όλες στόχο τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Επίσης, σημαντική διαπίστωση είναι πως όσο πιο πολύπλοκη και μεγάλη γίνεται η κατανάλωση, οι τακτικές και διαδικασίες που εφαρμόζονται σε μικρότερου μεγέθους περιπτώσεις ενσωματώνονται σίγουρα σε αυτήν. Έτσι, μια σύνθετη βιομηχανική διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας σίγουρα περιέχει απλές πρακτικές που συναντώνται σε οικιακές μεθοδολογίες, όπως για παράδειγμα οι αλλαγή των λαμπτήρων με σύγχρονους φθορισμού ή ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης φωτισμού.

Η αποτελεσματική διαχείριση του ενεργειακού κόστους έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία για τις Ευρωπαϊκές επιχειρήσεις λόγω των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν από την ύφεση, επακόλουθο της

ενεργειακής και χρηματοοικονομικής κρίσης. Η συμπίεση του ενεργειακού κόστους των επιχειρήσεων είναι επιτακτική λόγω της εξοικονόμησης των πόρων που συνεπάγεται κάτι τέτοιο. Παράλληλα αυτό συντείνει στην αποτροπή των κλιματικών αλλαγών και της δραματικής μείωσης των ενεργειακών πρώτων υλών.

Υπάρχουν κάποιες προτεινόμενες κινήσεις και στρατηγικές που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να επιτευχθεί η ορθολογική χρήση ενέργειας κυρίως στον τριτογενή τομέα. Η υιοθέτηση μίας πολιτικής για ορθολογική χρήση ενέργειας και άρα εξοικονόμηση ενέργειας προϋποθέτει δέσμευση όλων των ενεργά εμπλεκόμενων, δηλ. των στελεχών, της διοίκησης και των εργαζομένων για την υλοποίηση ενός προγράμματος που θα αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η υλοποίηση μίας τέτοιας πολιτικής είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί από τις μεγάλες επιχειρήσεις που έχουν τεράστια κόστη όσον αφορά στις δαπάνες της Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα που έχει όποιος ακολουθήσει πιστά μία πολιτική με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας είναι σίγουρα πολλά. Με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν για τις τάσεις του κόστους ενέργειας και ειδικότερα της ηλεκτρικής ενέργειας στην εγχώρια και Διεθνή αγορά μπορούν να υποστηριχθούν τα ακόλουθα. Η ταχύτερη αύξηση της διεθνούς ζήτησης ενεργειακών πρώτων υλών σε σχέση με την συνολική προσφορά αναπόφευκτα οδηγούν σε αύξηση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και άρα των τιμών ηλεκτρικού ρεύματος. Αν και οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας είναι από τις κατώτερες σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, αναπόφευκτα θα αυξηθούν με τη συνεχή άνοδο του κόστους παραγωγής.

Η πολιτική που ακολουθεί η ευρωπαϊκή ένωση για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εκ των πραγμάτων θα επιφέρει και αυτή με τη σειρά της αυξήσεις στις τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος. Η πλήρης απελευθέρωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου αποτελεί σημαντικό κίνητρο ώστε να στραφούν οι επιχειρήσεις σε προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας που θα προσφέρουν καλύτερους όρους και τιμές. Συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα που αποκτούν οι επιχειρήσεις ακολουθώντας ορθολογική χρήση ενέργειας είναι:

- Η συγκράτηση των συνολικών δαπανών της ηλεκτρικής ενέργειας ως ποσοστού συνολικών δαπανών των επιχειρήσεων.
- Συγκράτηση συμμετοχής του κόστους ενέργειας στο μέσο κόστος παραγωγής προϊόντος ή υπηρεσίας.
- Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας έναντι των επιχειρήσεων που δεν ασκούν συγκεκριμένοι πολιτική εξοικονόμησης ενέργειας.
- Απόδειξη περιβαλλοντικής ευαισθησίας με συμμετοχή στις κοινές προσπάθειες προστασίας του περιβάλλοντος και αποτροπής της κλιματικής αλλαγής.

#### 4.1.1 Υπολογισμός Ενεργειακού Κόστους

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και το ποσοστό συμμετοχής του στο τελικό προϊόν διαφέρει ανάλογα με την επιχείρηση. Ενώ η ετήσια δαπάνη για ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να υπολογισθεί με βάση τις τρέχουσες τιμές υπάρχουν δυσκολίες στην εκτίμηση των μακροχρόνιων δαπανών με βάση την ενεργειακή συμπεριφορά αλλά και τις μελλοντικές τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος που εξαρτάται από:

- Την πορεία των τιμών ενέργειας για τις ενεργοβόρες επιχειρήσεις και βιομηχανίες.
- Τα οφέλη για τις επιχειρήσεις που θα προκύψουν από τον ανταγωνισμό μεταξύ προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας ή φυσικού αερίου.
- Τα σχέδια των επιχειρήσεων για πραγματοποίηση νέων επενδύσεων εκσυγχρονισμού και

επέκτασης στις ΑΠΕ καθώς επίσης και στην ανάπτυξη συνεργασιών με άλλες επιχειρήσεις για αξιοποίηση δυνατοτήτων αυτοπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι διοικήσεις των σύγχρονων επιχειρήσεων οφείλουν να αντιμετωπίζουν τα θέματα εξοικονόμησης ενέργειας σαν το σπουδαιότερο κομμάτι της περιβαλλοντικής στρατηγικής τους.

#### **4.1.2 Περιβαλλοντική Διαχείριση**

Κάποιες μικρομεσαίες επιχειρήσεις είναι πιθανό να αρκούνται σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας χωρίς να ακολουθήσουν μία ολοκληρωμένη περιβαλλοντική πολιτική. Όσες διοικήσεις επιχειρήσεων αποφασίσουν να χαράξουν μία τέτοια πολιτική θα πρέπει να είναι σε θέση να πετύχουν τους επιμέρους στόχους που παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Υιοθέτηση μίας νέας φιλοσοφίας που έχει να κάνει με την ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης σε όλα τα επίπεδα ιεραρχίας
- Σωστός προγραμματισμός για την υλοποίηση μιας περιβαλλοντικής πολιτικής που συνδέεται με την εξοικονόμηση ενέργειας
- Ανάθεση του έργου του προγραμματισμού σε μία συγκεκριμένη ομάδα με μέλη που θα διαθέτουν απαιτούμενες γνώσεις και εμπειρίες
- Υπολογισμός κόστους που θα απαιτηθεί εις βάθος χρόνου για την υλοποίηση του συγκεκριμένου προγράμματος
- Σχεδιασμός κατάλληλων μηχανισμών και τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας και αποτελεσματικότερης προστασίας περιβάλλοντος
- Οριστικοποίηση κεφαλαίων που θα απαιτηθούν
- Σχεδιασμός μηχανισμού διαρκούς ελέγχου της πορείας του προγράμματος

Οι βασικές διαφορές μεταξύ ενεργειακής και περιβαλλοντικής διαχείρισης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η ενεργειακή διαχείριση μπορεί να περιοριστεί μόνο σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας χωρίς να υπάρχει ολοκληρωμένο περιβαλλοντικό πρόγραμμα
- Η περιβαλλοντική διαχείριση καλύπτει μία σειρά από θέματα που αφορούν τις διαδικασίες μετατροπής της επιχείρησης σε μία πράσινη επιχείρηση με την εξοικονόμηση ενέργειας να αποτελεί μέρος μόνο του συνολικού περιβαλλοντικού προγράμματος

#### **4.1.3 Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης**

Η αποτελεσματικότερη περιβαλλοντική διαχείριση μπορεί να οδηγήσει στην υιοθέτηση συστημάτων Περιβαλλοντικής διαχείρισης (ΣΠΔ). Αυτό όμως θα εξαρτηθεί αφού ληφθούν υπόψη και σταθμισθούν όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από μία τέτοια επιλογή. Η ορθολογική χρήση ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ως ο ταχύτερος, αποτελεσματικότερος και οικονομικά αποδοτικότερος τρόπος για τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας και κατ' επέκταση της κατανάλωσης των καυσίμων. Επίσης η

εξοικονόμηση ενέργειας εξασφαλίζει τον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για το οποίο έχουν τεθεί αυστηρά νομοθετικά πλαίσια. Η ραγδαία αύξηση των τιμών των καυσίμων τα προβλήματα ομαλού εφοδιασμού σε καύσιμα με πιθανή μείωση των αποθεμάτων και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί έκαναν επιτακτική την ανάγκη οργανωμένης και συνεχούς δραστηριότητας για την αποδοτικότερη χρήση ενέργειας χωρίς την μείωση των επιπέδων παραγωγής μίας επιχείρησης και χωρίς να θυσιάσει η ασφάλεια ή η ποιότητα του περιβάλλοντος.

Η αποδοτική εξοικονόμηση ενέργειας συνεπάγεται για την ευρωπαϊκή ένωση μικρότερη εξάρτηση από εισαγωγές, μεγαλύτερο σεβασμό προς το περιβάλλον και μειωμένη δαπάνη για την κοινοτική οικονομία σε μία εποχή αυξημένης ανταγωνιστικότητας. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις των επιχειρήσεων αποτελούν σημαντικό περιουσιακό στοιχείο και μία ορθολογική πολιτική χρήσης της ενέργειας που απαιτούν θα μπορούσε να συμβάλει πολύ θετικά στη γενικότερη προσπάθεια για μείωση της ενεργειακής εξάρτησης. Επιπλέον, η εξοικονόμηση ενέργειας που θα προκύψει στο κτιριακό τομέα πέραν του κοινωνικού οφέλους που θα προκύψει θα έχει άμεσα θετικά οφέλη για τις ίδιες της επιχειρήσεις.

#### 4.1.4 Στρατηγική Εξοικονόμησης Ενέργειας

Η στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας που πρέπει να υιοθετηθεί στον κτιριακό τομέα πρέπει να βασίζεται οπωσδήποτε στις παρακάτω αρχές:

- Ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας κτιρίου.
- Άριστη ποιότητα εσωτερικού αέρα για τη διασφάλιση της υγείας των ανθρώπων που ζουν και εργάζονται στα κτίρια.
- Θερμική και Οπτική άνεση εντός των χώρων.

Το συνολικό σχέδιο στρατηγικής που θα πρέπει να εφαρμοστεί για την επίτευξη μειωμένης ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια τα οποία στεγάζουν επιχειρήσεις πρέπει να βασίζεται στην εφαρμογή κατάλληλων ενεργειακών και παθητικών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας [18]. Οι κυριότερες ηλεκτρικές καταναλώσεις σε μία επιχείρηση αντιστοιχούν σε μία επιχείρηση αντιστοιχούν στις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

- Κλιματισμός Θέρμανση Ψύξη
- Ηλεκτρικές συσκευές
- μηχανικός εξοπλισμός
- Φωτισμός (επιλογή λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας)

Συνεπώς, η ενεργειακή πολιτική σχετικά με τις παραπάνω κατηγορίες είναι εκ των ουκ άνευ. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει στο σχεδιασμό και στην επιλογή του συστήματος θέρμανσης – ψύξης να επιλέγονται μονάδες υψηλής ενεργειακής κλάσης με βελτιωμένους βαθμούς απόδοσης. Ομοίως, οι ηλεκτρικές συσκευές που θα χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι φιλικές προς το περιβάλλον, αποδοτικές και μη ενεργοβόρες. Ο φωτισμός ο οποίος ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλώσεων είναι η αντικατάσταση των λαμπτήρων με νέους χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

#### 4.1.5 Ενεργειακός Σχεδιασμός και Νέες Τεχνολογίες

Ο βασικός στόχος στον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων του τριτογενούς τομέα είναι η δημιουργία άνετων χώρων εργασίας με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και του φυσικού φωτισμού και αερισμού. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται η εξάρτηση τους από καύσιμα και ηλεκτρισμό. Η δημιουργία τέτοιων κτηρίων είναι επιβεβλημένη λόγω του μεγάλου ενεργειακού προβλήματος που αντιμετωπίζει η διεθνής οικονομία. Πέρα από την άνεση που προσφέρουν τα κτήρια στους χρήστες επιτυγχάνεται η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης με περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη με στόχο τη δημιουργία zero energy buildings.

Το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με πραγματοποίηση κατάλληλων επεμβάσεων σε παλιότερα κτήρια που αποδεικνύονται ιδιαίτερα ενεργοβόρα. Η υλοποίηση παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας θα πρέπει να είναι εφικτή, οικονομικά βιώσιμη και να αποδίδει σημαντικά αποτελέσματα. Προκειμένου τέτοιες παρεμβάσεις να γίνουν ευκολότερα η Ευρωπαϊκή, Κοινοτική και Εθνική Νομοθεσία εμπλουτίζονται με νέους νόμους που αφορούν σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και σχεδιασμού κτηρίων και αναφέρονται στη συνέχεια.

#### 4.2 Αποδοτική Διαχείριση Ενέργειας – Εταιρίες Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών

Οι εταιρίες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών ήρθαν να καλύψουν το κενό που εμφανίστηκε στην αγορά από την νέα τάση της εξοικονόμησης ενέργειας [19]. Είναι ενεργειακές εταιρίες που ειδικεύονται στην παροχή συμβουλών και μεθοδολογιών εξοικονόμησης και ευρύτερης διαχείρισης της ενέργειας.

Μερικοί από τους στόχους που επιτυγχάνουν και για τους οποίους δεσμεύονται όπως και τα αντίστοιχα οφέλη από την εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι τα εξής :

- Σύστημα καταγραφής ενεργειακών αναγκών
- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έως και 50%.
- Εύρεση σφαλμάτων στους λογαριασμούς των παρόχων ενέργειας.
- Αυτοματοποιημένη διαχείριση μετρητών και καταγραφή ενεργειακού προφίλ.
- Εξάλειψη παραδοσιακών τρόπων μέτρησης.
- Μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> για να επιτευχθούν οι στόχοι εκπομπών.
- Ειδοποιήσεις με SMS και e-mail όταν εμφανίζονται προβλήματα ασυνήθιστων καταναλώσεων.
- Αυτόματες αναφορές ενεργειακής κατάστασης.
- Μετατροπή ενεργειακών μεγεθών σε οικονομικά στοιχεία.
- Εβδομαδιαίες, μηνιαίες, ετήσιες προβλέψεις και προϋπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας.

Η συνηθισμένη μεθοδολογία που εφαρμόζεται στις εταιρίες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών βασίζεται σε μια κυκλική, συνεχόμενη διαδικασία η οποία θα πρέπει να επαναλαμβάνεται διαρκώς στην κατανάλωση στην οποία θα εγκατασταθεί προκειμένου να είναι εφικτή συνεχώς η ορθολογική χρήση ενέργειας. Τα διακριτά βήματα της μεθοδολογίας είναι κυρίως τέσσερα:

### **Συλλογή δεδομένων**

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας αφορά στην αυτοματοποιημένη συλλογή ενεργειακών δεδομένων (όπως είναι η ενέργεια, η εσωτερική θερμοκρασία, ο τεχνητός φωτισμός, στοιχεία παραγωγής και πολλά άλλα). Οι μετρήσεις γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα π.χ. ανά μισή ώρα (half hour interval) ή και ανά μικρότερα διαστήματα (αν απαιτείται) με την βοήθεια ειδικών ψηφιακών μετρητών και αισθητήρων. Τα δεδομένα που παράγονται από τους μετρητές και τους αισθητήρες συλλέγονται ασύρματα ή ενσύρματα σε έναν κεντρικό ελεγκτή, ο οποίος τα μορφοποιεί και τα αποστέλλει μέσω του Internet σε ασφαλή βάση δεδομένων προς επεξεργασία. Η διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων με ακρίβεια και συνέχεια είναι συνήθως το πιο δυνατό χαρακτηριστικό των εφαρμογών αυτών.

### **Ανάλυση Στοιχείων**

Η ανάλυση των στοιχείων αφορά στην μετατροπή των μεγάλων όγκων δεδομένων σε κατανοητή και αξιοποιήσιμη πληροφορία για τον χρήστη. Μέσα από την γραφική αναπαράσταση των ενεργειακών δεδομένων για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, προκύπτει η απεικόνιση πιθανών προβλημάτων στην ενεργειακή λειτουργία ενός κτιρίου. Τα προβλήματα που προκύπτουν μπορεί να οφείλονται σε κακό προγραμματισμό λειτουργιών και κακή ενεργειακή συμπεριφορά του ανθρώπινου δυναμικού αλλά και σε προβλήματα λανθασμένης διαχείρισης και σπατάλης ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση η ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων γίνεται από τους ενεργειακούς μηχανικούς και προτείνονται διάφορα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς ταυτόχρονα χτίζεται το ενεργειακό προφίλ της κατανάλωσης.

### **Μέτρα Εξοικονόμησης**

Αφού προκύψουν τα αρχικά προβλήματα στο ενεργειακό προφίλ του κτιρίου, προτείνονται βελτιωτικές λύσεις – μεθοδολογίες για την αρχική αποφυγή σπατάλης ενέργειας. Επίσης, προτείνεται ένας στόχος εξοικονόμησης ενέργειας που είναι εφικτός και πρέπει να υποστηριχθεί από όλους τους εργαζόμενους ή κατοίκους (αναλόγως του είδους καταναλωτή) προκειμένου να επιτευχθεί σε χρονικό διάστημα που καθορίζεται από κοινού. Σε πολλές περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας με βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς, προτείνονται αυτοματισμοί. (π.χ. στην θέρμανση, στην ψύξη, στον εξαερισμό, τον φωτισμό κ.λπ.). Με συναντήσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα εξετάζονται προσεκτικά οι αναλύσεις των διαφόρων καταναλώσεων ενέργειας σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, (π.χ. εξωτερική θερμοκρασία, βαθμοημέρες) και προτείνονται διάφορες διορθωτικές ενέργειες.

### **Αξιολόγηση του αποτελέσματος**

Το τέταρτο βήμα της μεθοδολογίας είναι και το πιο σημαντικό δεδομένου ότι σε αυτό μετράται το ποσοστό επίτευξης του στόχου εξοικονόμησης που έχει τεθεί. Ο τρόπος υπολογισμού της εξοικονόμησης πραγματοποιείται μέσω σύγκρισης με τις καταναλώσεις ενέργειας που είχαν αποτυπωθεί πριν την ενεργοποίηση της διαδικασίας εξοικονόμησης ενέργειας. Οι αρχικές καταναλώσεις ορίζονται ως βάση υπολογισμού (baseline), δηλαδή η ενεργειακή κατάσταση στην οποία παραλήφθηκε το κτίριο ή βιομηχανία, η οποία αναπροσαρμόζεται ανάλογα με τις μεταβολές στον τρόπο χρήσης του κτιρίου (προσθήκη ή αφαίρεση εργαζομένων, φορτίων κ.λπ.). Η συγκρίσεις της baseline με τις αυτόματα καταγεγραμμένες μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας υπολογίζουν το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται. Με την υλοποίηση του τέταρτου βήματος, ολοκληρώνεται πρακτικά ένας πλήρης κύκλος της μεθοδολογίας [21]. Όμως για να μην υπάρξει μελλοντικά αύξηση στην κατανάλωση, ο κύκλος αυτός θα πρέπει συνεχώς να επαναλαμβάνεται παράλληλα με την λειτουργία του κτιρίου – κατανάλωσης.

Μια τυπική λύση εξοικονόμησης ενέργειας αποτελείται κυρίως από τρία βασικά μέρη:



Στο 1ο επίπεδο περιλαμβάνονται όλοι οι μετρητές και αισθητήρες που εφαρμόζονται σε μια κατανάλωση για την συλλογή των ενεργειακών δεδομένων.

Στο 2ο επίπεδο περιλαμβάνονται ο/οι ελεγκτές που συλλέγουν και μορφοποιούν τα ενεργειακά δεδομένα.

Το 3ο επίπεδο περιλαμβάνει το λογισμικό Ενεργειακής Διαχείρισης που αναλύει και στοχοποιεί την ενεργειακή κατανάλωση. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον λογισμικά απεικόνισης και στοχοποίησης (Monitoring & Targeting) για να διευκολύνουν το έργο των μηχανικών και των καταναλωτών.

Στη συνέχεια φαίνεται λεπτομερέστερα μια τυπική τοπολογία ενός ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής ενεργειακών δεδομένων. Από το σχήμα φαίνεται καθαρά η συσχέτιση και ανάγκη της επιστήμης της πληροφορικής σε συνεργασία με αυτήν της ενέργειας ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

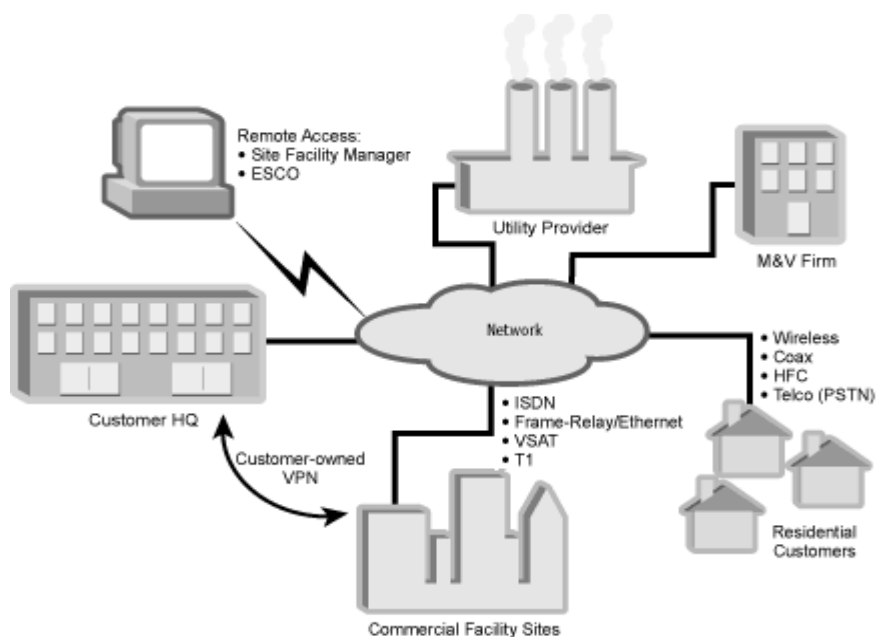


Figure 1 — High-level View of Energy Management Information Systems (EMIS)

#### Σχήμα 4.1 Τοπολογία τυπικού συστήματος καταγραφής ενεργειακών δεδομένων

Μερικούς από τους στόχους της ενεργειακής αποδοτικότητας μέσω της διαχείρισης της ενέργειας είναι οι παρακάτω:

- Ενημέρωση για επιμέρους καταναλώσεις, κοστολόγηση, ανάλυση δεδομένων, διαδικασία αναφορών (εβδομαδιαίων, μηνιαίων, ετήσιων), ειδοποιήσεις. Τεχνοοικονομικές αναλύσεις και συγκρίσεις. Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου – καταναλωτή.
- Παρακολούθηση καταναλώσεων και σε σύγκριση με ιστορικά δεδομένα. Σύγκριση μεταξύ ίδιων κτιρίων ή χώρων με δείκτες kWh/year/m<sup>2</sup> που κάνουν αισθητή τη διαφορά μεταξύ ενός αποδοτικού και ενός ενεργοβόρου κτιρίου. Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης και συμπεράσματα χρήσης των επαγγελματικών χώρων.
- Συσχετίσεις μεταβλητών π.χ. θερμοκρασίας-κατανάλωσης ενέργειας ή βαθμοημερών κατανάλωσης ενέργειας. Ιδεατές ευθείες κατανάλωσης ενέργειας, φυσικού αερίου και διαγράμματα αποκλίσεων από τον στόχο ώστε να φαίνεται πότε ένα κτίριο εξοικονομεί και

πότε σπαταλά ενέργεια σε σύγκριση με την ιδανική συμπεριφορά. Πρόβλεψη ζήτησης σύμφωνα με το ιδεατό.

- Ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία και ετήσια τιμολόγηση καταναλώσεων σύμφωνα με τα πραγματικά τιμολόγια του παρόχου. Σύγκριση με τα τιμολόγια που αποστέλλονται και επαλήθευση της ορθότητάς τους. Σύγκριση δαπανών μεταξύ κτιρίων – χώρων με δείκτες €/m<sup>2</sup>. Δημιουργία μηνιαίων, τριμηνιαίων και ετήσιων οικονομικών προϋπολογισμών κατανάλωσης και σύγκριση για να ελεγχθεί η επαλήθευση ή η αστοχία τους.
- Δημιουργία αναφορών κατανάλωσης, προϋπολογισμού, οικονομικών. Αναφορές μηνιαίας και ετήσιας ζήτησης με δυνατότητα εντοπισμού της πιο ενεργοβόρας ημέρας. Επίσης, δημιουργία της μέσης τυπικής ημερήσιας κατανάλωσης για το αντίστοιχο διάστημα. Αναφορές τιμολόγησης ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, νερού σε πολλές επιλογές χρονικών διαστημάτων.
- Έλεγχος οποιουδήποτε μετρητή (θερμοκρασίας εντός, εκτός, ηλεκτρισμού, νερού, φυσικού αερίου) και ειδοποίηση σε περιπτώσεις που οι τιμές του μετρητή υπερβούν κάποιο κατώτατο ή ανώτατο όριο ή ξεπεράσουν ένα μέσο όρο που έχει ορισθεί. Ένας τρόπος για να εντοπίζονται χρονικές στιγμές ιδιαίτερα αυξημένης ζήτησης ή ακόμη και διαρροές (π.χ. νερού). Άμεση ειδοποίηση στο περιβάλλον του λογισμικού αλλά και με email.
- Ενεργειογράφημα κτιρίου, ενημέρωση ηλεκτρικού φορτίου και άλλων ηλεκτρικών μεγεθών. Εύκολη διαχείριση ιστορικών δεδομένων οποιασδήποτε κατανάλωσης για εξαγωγή συμπερασμάτων. Αθροιστική εμφάνιση κατανάλωσης ολόκληρης της εταιρίας, ξεχωριστού χώρου. Κατανάλωση ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m<sup>2</sup>).

#### 4.2.1 Λογισμικά Ενεργειακής Διαχείρισης

Τα συνήθη λογισμικά ενεργειακής διαχείρισης που χρησιμοποιούνται από εταιρείες ενεργειακών υπηρεσιών προσφέρουν μερικές από τις παρακάτω αυτοματοποιημένες δυνατότητες αξιοποιώντας την πληθώρα ενεργειακών δεδομένων που αντλούν με αδιάλειπτη διαδικασία από τους καταναλωτές – πελάτες τους.

##### **Ενεργειακή ανάλυση**

Εκτελεί περιεκτική ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων περιλαμβάνοντας ανάλυση βαθμομερών, ειδική κατανάλωση ενέργειας, ανάλυση συσχέτισης και CUSUM. Η ανάλυση συσχέτισης καθορίζει τη σχέση μεταξύ της ενέργειας που καταναλώθηκε και της δραστηριότητας που απαιτεί αυτή την ενέργεια και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό στόχων επίδοσης. Η CUSUM ανάλυση παρέχει πληροφορίες στη συνεχή επίδοση ενέργειας και επιτρέπει τον υπολογισμό της επιστροφής του κεφαλαίου επένδυσης.

##### **Οικονομική ανάλυση**

Απεικόνιση της κατανάλωσης ενέργειας σε νομισματικούς όρους. Προσδιορίζει τα σύνθετα τιμολόγια (STOD). Εισάγει ιστορικές πληροφορίες τιμολογίων για αναδρομική ανάλυση. Εισάγει πληροφορίες προϋπολογισμού για ανάλυση επιδόσεων.

##### **Αναφορές (reports)**

Σχεδιάζει αναφορές περιέχοντας κείμενο, πίνακες και διαγράμματα. Ενσωμάτωση νέων αναφορών και προγραμματισμός της αυτόματης αποστολής και διανομής τους μέσω e-mail. Οι αναφορές μπορούν να προγραμματιστούν για αυτόματη δημιουργία και διανομή σε οποιαδήποτε διεύθυνση e-mail για ημερήσια, εβδομαδιαία ή μηνιαία χρήση.

### **Υπολογιστικοί μετρητές**

Δημιουργία εικονικών μετρητών με φόρμουλα που καθορίζεται από το χρήστη και βασίζεται στους πραγματικούς μετρητές. Οι υπολογιστικοί μετρητές χρησιμοποιούνται για να υπολογίζονται η απόδοση του κτιρίου μέσω δεικτών (KPI's), να συγκρίνονται προφίλ με άλλα αντίστοιχα κτίρια ή για να αθροίζονται δεδομένα.

### **Επικύρωση τιμολογίων**

Αυτόματη εισαγωγή EBD (Ηλεκτρονικά Δεδομένα Λογαριασμών) από παρόχους. Σύγκριση των δεδομένων τιμολόγησης των παρόχων και εκτέλεση επικύρωσης για τα ανεξάρτητα δεδομένα μέτρησης του χώρου.

### **Εμπορία εκπομπής ρύπων**

Αυτόματη διαχείριση εκπομπών CO<sub>2</sub> σε σχέση με τη νομοθεσία EUETS. Δεδομένα παρακολούθησης της δραστηριότητας του CO<sub>2</sub>, προγνώσεις και εμπορία CO<sub>2</sub>.

## **4.3 Κανονισμός Ενεργειακής Αναβάθμισης Κτιρίων (KENAK)**

Οι ανάγκες βελτίωσης των ενεργειακών προφίλ των κτιριακών δομών της χώρας έφεραν στο προσκήνιο την έννοια της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων μέσα από την πολιτική και τεχνολογική πρωτοβουλία του Κανονισμού Ενεργειακής Αναβάθμισης Κτιρίων (KENAK). Ο παραπάνω κανονισμός τέθηκε σε εφαρμογή τον Οκτώβριο του 2010 με σκοπό να ενισχύσει την συλλογική στροφή της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς την εξοικονόμηση ενέργειας μέσα από συγκεκριμένους δεσμευτικούς δείκτες και ποσοστά κατά την διάρκεια των ετών [16].

Ο ΚΕΝΑΚ έχει ως σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εισάγοντας τον ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό των υπό μελέτη κτιρίων και όσων υφίστανται ριζική ανακαίνιση, την εξοικονόμηση ενέργειας, την προστασία του περιβάλλοντος και γενικότερα τη θεσμοθέτηση του ενεργειακού σχεδιασμού του κτιριακού τομέα (οικιακού και τριτογενούς).

Πρωταρχικός στόχος του ΚΕΝΑΚ αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της εισαγωγής αρχών της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων, εισαγωγή τεχνολογιών ΑΠΕ στο σχεδιασμό των κτιρίων.

Οι δράσεις που αφορούν στον νέο Κανονισμό περιλαμβάνουν σε επίπεδο μελέτης και σχεδιασμού, την εκπόνηση της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίων, τη θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, την ενεργειακή κατάταξη όλων των κτιρίων (έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης) καθώς και τη διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Σχετικά με τα παραπάνω, η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων αντικαθιστά τη μελέτη θερμομόνωσης που ίσχυε από το 1980. Η Μελέτη ενεργειακής Απόδοσης εξετάζει την κάλυψη των ελάχιστων προδιαγραφών ενός νεόδμητου κτιρίου όσον αφορά στο σχεδιασμό του κτιριακού κελύφους και στην επιλογή των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Επίσης το υπό μελέτη κτίριο κατά την εκπόνηση της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης συγκρίνεται με το «κτίριο αναφοράς» το

οποίο είναι ένα κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο που πληροί όμως ελάχιστες προδιαγραφές και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

#### 4.3.1 Μεθοδολογία Υπολογισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

Βασικές παράμετροι που παίρνουν μέρος στην μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης αναφέρονται παρακάτω [17]:

- Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Η μεθοδολογία υπολογισμού περιλαμβάνει τουλάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

- i. Τη χρήση του κτιρίου, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό χρηστών.
  - ii. Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
  - iii. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (σχήμα και μορφή κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.α.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.α).
  - iv. Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.α.).
  - v. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης θέρμανσης χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
  - vi. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης ψύξης/κλιματισμού χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
  - vii. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης μηχανικού αερισμού (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
  - viii. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης παραγωγής ZNX (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
  - ix. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης φωτισμού για τα κτίρια του τριτογενή τομέα.
  - x. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα.
- Στη μεθοδολογία υπολογισμού συνεκτιμάται, κατά περίπτωση, η θετική επίδραση των ακόλουθων συστημάτων:
- i. Ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων παραγωγής θερμότητας, ψύξης και ηλεκτρισμού με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
  - ii. Ενέργεια παραγόμενη με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).
  - iii. Κεντρικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου (τηλεθέρμανση).

Η ενεργειακή επιθεώρηση και η έκδοση του, υποχρεωτικού πλέον, Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης αποτελούν το σημαντικότερο εργαλείο διάγνωσης της ενεργειακής κατάστασης των υφιστάμενων κτιρίων και των δυνατοτήτων βελτίωσής της, αλλά και της εφαρμογής της νομοθεσίας για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων.

Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του ενεργειακού επιθεωρητή και συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του εξεταζόμενου κτιρίου. Έτσι οι καταναλωτές είναι σε θέση να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν την πραγματική τους κατανάλωση και τις τυχόν δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και άρα την γενικότερη οικονομία που θα μπορούσαν να επωφεληθούν.

Η μορφή του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) είναι όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα:

The image shows two forms for the Energy Performance Certificate (PEA). The left form is titled 'ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ' and includes fields for building details, energy class (B), and energy consumption. The right form is also titled 'ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ' and includes a table for energy sources and their final use, and a table for CO2 emissions.

Σχήμα 4.2 Μορφή Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίου

Στο ΠΕΑ αναφέρονται, μεταξύ άλλων, τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και του εξεταζόμενου κτιρίου (kWh/m<sup>2</sup>), η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή ενέργειας (Ηλεκτρική, Ορυκτά Καύσιμα, ΑΠΕ) και τελική χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ZNX, φωτισμός), η πραγματική ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας, οι υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Η συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου ορίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους υπολογιζόμενων ενεργειακών καταναλώσεων ενός κτιρίου για τη ΘΨΚ, παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) και

φωτισμό, εκφραζόμενο σε ενέργεια ανά μονάδα μικτής επιφάνειας των θερμαινόμενων χώρων του κτιρίου ανά έτος σε kWh/(m<sup>2</sup> · έτος). Ειδικά για τα κτίρια κατοικίας στη συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση δεν συνυπολογίζεται ο φωτισμός. Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίου νοούνται το άθροισμα των προαναφερόμενων επιμέρους ενεργειακών καταναλώσεων, μετά από την αναγωγή τους σε μεγέθη πρωτογενούς ενέργειας σύμφωνα με τους συντελεστές μετατροπής.

Στο ΠΕΑ είναι διακριτές οι 5 ενεργειακές κατηγορίες - προφίλ στις οποίες μπορεί να καταταγεί ένα κτίριο βάσει της ενεργειακής του κατανάλωσης. Οι κατηγορίες για την ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων δίνονται στη συνέχεια. Ο δείκτης RR λαμβάνεται ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης.

*Κατηγορίες Και Όρια Κατηγοριών Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*

<b>A+</b>	EP ≤ 0,33R <sub>R</sub>	T ≤ 0,33
<b>A</b>	0,33R <sub>R</sub> < EP ≤ 0,50R <sub>R</sub>	0,33 < T ≤ 0,50
<b>B+</b>	0,50R <sub>R</sub> < EP ≤ 0,75R <sub>R</sub>	0,50 < T ≤ 0,75
<b>B</b>	0,75R <sub>R</sub> < EP ≤ 1,00R <sub>R</sub>	0,75 < T ≤ 1,00
<b>Γ</b>	1,00R <sub>R</sub> < EP ≤ 1,41R <sub>R</sub>	1,00 < T ≤ 1,41
<b>Δ</b>	1,41R <sub>R</sub> < EP ≤ 1,82R <sub>R</sub>	1,41 < T ≤ 1,82
<b>E</b>	1,82R <sub>R</sub> < EP ≤ 2,27R <sub>R</sub>	1,82 < T ≤ 2,27
<b>Z</b>	2,27R <sub>R</sub> < EP ≤ 2,73R <sub>R</sub>	2,27 < T ≤ 2,73
<b>H</b>	2,73R <sub>R</sub> < EP	2,73 < T

**Πίνακας 4.1 Κατηγορίες & όρια κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων**

Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας B. Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία. Η κατώτερη αποδεκτή κατηγορία στην οποία μπορεί να καταταχθεί ένα νεόδμητο κτίριο είναι η B. Ένα τυπικό κτίριο προκειμένου να καταταχθεί στην κατηγορία B θα πρέπει να συγκεντρώνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Θερμομόνωση και θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους:

**α)** Το κτίριο αναφοράς διαθέτει θερμομονωμένα εξωτερικά δομικά στοιχεία με ελάχιστη απαίτηση να είναι σωστά θερμομονωμένο ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία θερμογεφυρών. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων πρέπει να είναι σύμφωνοι με τα όσα προβλέπονται στον ΚΕΝΑΚ. Για τη Ζώνη Β όπου ανήκει και η Αθήνα, ένα νεόδμητο κτίριο θα πρέπει να έχει κατ' ελάχιστον δεκ. μόνωσης στον πυρήνα προκειμένου να είναι ο δείκτης θερμοπερατότητας εντός επιτρεπτών ορίων.

**β)** Το κτίριο αναφοράς θα πρέπει να είναι χωροθετημένο στο οικοπέδο ακολουθώντας τις αρχές της Βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής με ελάχιστα ανοίγματα στη Βορινή πλευρά, ανοίγματα στην Ανατολική και Δυτική πλευρά για φυσικό αερισμό και δροσισμό και ανοίγματα στη Νότια πλευρά. Θα πρέπει να περιλαμβάνει εξωτερικές επιφάνειες με συντελεστή απορροφητικότητας ηλιακής ακτινοβολίας 0,40 για τοιχοποιίες, 0,40 για δώματα και 0,60 για επικλινείς στέγες. Αντίστοιχα, ο συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας για τις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου αναφοράς είναι 0,80.

**γ)** Τα ανοίγματα του κτιρίου αναφοράς διαθέτουν τα απαραίτητα σταθερά εξωτερικά σκίαστρα

(πρόβολοι, περσίδες, πέργκολες, μπαλκόνια κ.α.), λόγω των οποίων ο μέσος συντελεστής σκίασής τους κατά τη θερινή περίοδο είναι τουλάχιστον 0,70 για τις νότιες όψεις και 0,75 για τις όψεις με δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό.

δ) Το σύστημα κλιματισμού θα αποτελείται από τοπικές αντλίες θερμότητας (ενός ή πολλαπλών εσωτερικών στοιχείων) με δυνατότητα κάλυψης 50% των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου. Τα πρότυπα χαρακτηριστικά του συστήματος ψύξης / κλιματισμού είναι τα εξής: – Τοπικά συστήματα ψύξης με βαθμό ενεργειακής απόδοσης EER = 3,0.

ε) Το σύστημα θέρμανσης διαθέτει κεντρικό σύστημα θέρμανσης μονοσωλήνιου συστήματος με λέβητα πετρελαίου. Εφόσον στην περιοχή οικοδόμησης του κτιρίου υπάρχει υποδομή για τηλεθέρμανση, τότε στο κτίριο αναφοράς θα λαμβάνονται υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εναλλάκτη θερμότητας τηλεθέρμανσης.

Τα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος κεντρικής θέρμανσης για το κτίριο αναφοράς είναι τα εξής:

- Ο κεντρικός λέβητας είναι πιστοποιημένος με βαθμό ενεργειακής απόδοσης τριών αστέρων.
- Η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης θέρμανσης καθορίζεται με σχετικές TOTEE, ώστε να διασφαλίζεται η πλήρης κάλυψη των φορτίων, ακόμα και στις πιο δυσμενείς ημέρες του χειμώνα.
- Το κτίριο αναφοράς διαθέτει θερμοστατικό έλεγχο της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ανά ελεγχόμενη θερμική ζώνη του. Το κτίριο αναφοράς διαθέτει σύστημα αντιστάθμισης. Οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης της κατοικίας (ZNX) θα καλύπτονται υποχρεωτικά σε ποσοστό 60% κατ' ελάχιστον από ηλιακούς συλλέκτες.

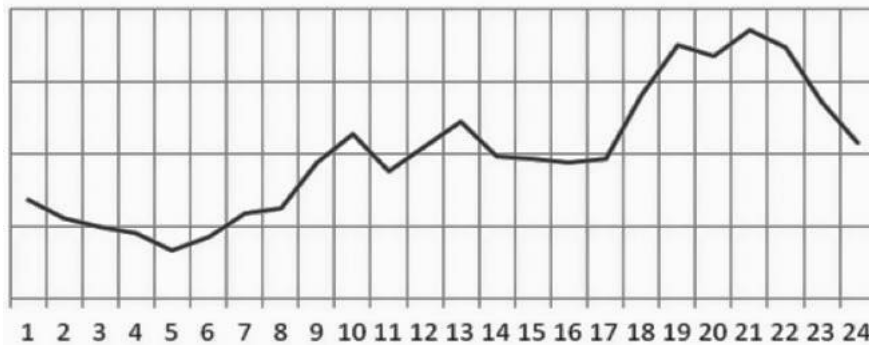
#### 4.4 Μοντέλα Ενεργειακής Συμπεριφοράς Καταναλωτών

Οι καταναλωτές ενός ηλεκτρικού δικτύου κατηγοριοποιούνται επί το πλείστον σε τρεις κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες είναι οι οικιακοί καταναλωτές (Residential), οι εμπορικοί (Commercial) και οι βιομηχανικοί – βιοτεχνικοί (Industrial). Κάθε ένας τύπος καταναλωτή παρουσιάζει ενεργειακά προφίλ που του προσδίδουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στον τρόπο με τον οποίο καταναλώνει ενέργεια. Κατά συνέπεια άλλη καμπύλη φορτίου αναμένεται να έχει ένα οικιακό συγκρότημα κατοικιών, άλλη ένα κατάστημα και άλλη μια βιοτεχνία ή νοσοκομείο άσχετα με τη συνολική τους καταναλισκόμενη ενέργεια που μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να είναι ίδια. Έτσι, η ανάγκη ουσιαστικής διαφοροποίησης στη μοντελοποίηση των τριών ειδών καταναλωτών πηγάζει από το συμπέρασμα πως η συνολική ενέργεια ενός καταναλωτή (πχ. για ένα έτος) δεν δίνει καμία εικόνα όσον αφορά την καθημερινή και ωριαία ζήτησή του. Η διαφοροποίηση αυτή τονίζεται στη συνέχεια με τυπικά ημερήσιες ή εβδομαδιαίες χρονοσειρές ζήτησης φορτίου για κάθε μία από τις τρεις ανωτέρω κατηγορίες, τονίζοντας έτσι την ενεργειακή συμπεριφορά που ακολουθείται.

##### 4.4.1 Οικιακός Τομέας

Ο οικιακός τομέας εμφανίζει στους καταναλωτές του μια, ως επί το πλείστον, συγκεκριμένη ενεργειακή απαίτηση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η παρακάτω χρονοσειρά ζήτησης φορτίου αφορά στους οικιακούς καταναλωτές και εκφράζει τον μέσο οικιακό καταναλωτή που η κύρια φορτιακή του

ανάγκη εμφανίζεται τις πρωινές ώρες λόγω μαγειρέματος αλλά κυρίως τις βραδυνές ώρες στις οποίες βρίσκεται στο σπίτι το σύνολο της οικογένειας.

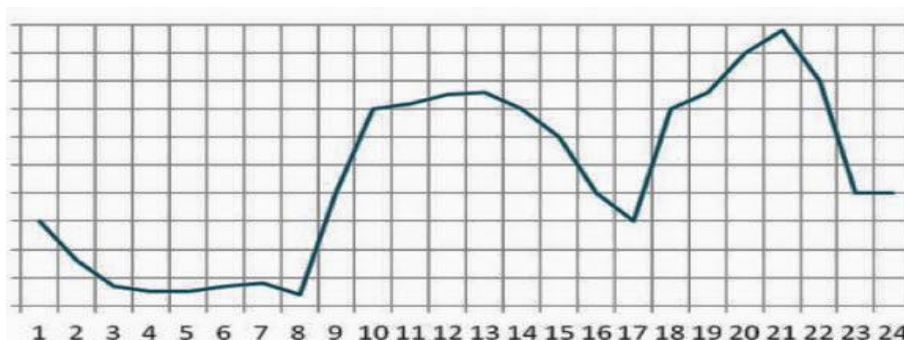


Σχήμα 4.3 Αντιπροσωπευτική ημερήσια χρονοσειρά ζήτησης φορτίου οικιακών καταναλωτών

Βέβαια οι οικιακοί καταναλωτές δείχνουν συχνά μη προβλέψιμη ενεργειακή συμπεριφορά (ωράρια λειτουργίας) σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες που αναλύονται στη συνέχεια. Το φορτίο βάσης οφείλεται κυρίως στις καταναλώσεις των συνήθων οικιακών συσκευών (τηλεοράσεις, ψυγεία κλπ) .

#### 4.4.2 Εμπορικός Τομέας

Οι εμπορικοί καταναλωτές εμφανίζουν χαρακτηριστικά που διαφοροποιούνται από τους οικιακούς και σε ένα βαθμό μπορεί κανείς να υποθέσει πως σε κάποιες περιπτώσεις τα δύο είδη καταναλωτών είναι σχεδόν συμπληρωματικά. Κατά συνέχεια μεγάλα φορτία παρουσιάζονται τις πρωινές και απογευματινές ώρες έως τις πρώτες βραδινές και υπάρχει απουσία κατανάλωσης τις Κυριακές και τις βραδινές ώρες..



Σχήμα 4.4 Αντιπροσωπευτική ημερήσια χρονοσειρά ζήτησης φορτίου εμπορικών καταναλωτών

#### Ιδιάζον ενεργειακό προφίλ – Νοσοκομείο

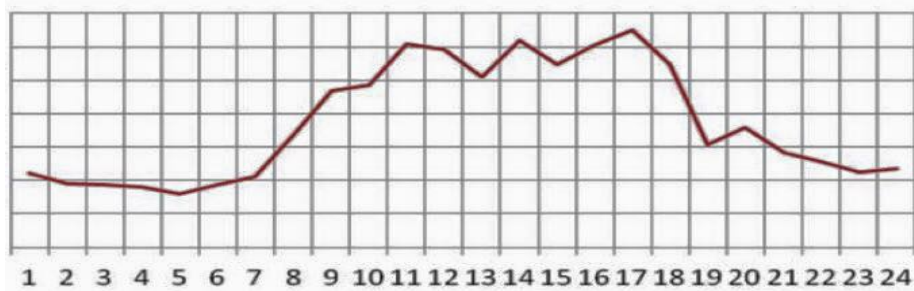
Τα ενεργειακά προφίλ που εμφανίζονται στα κτίρια του τριτογενούς τομέα και δη στα νοσοκομεία είναι πολύ διαφορετικά από οποιαδήποτε τυπική κατηγορία. Μπορούν να εγκατασταθούν μετρητές για να μετρήσουν τις καταναλώσεις που έχουν οι ψύκτες, ο φωτισμός τα μεγάλα ιατρικά μηχανήματα. Μετά από εβδομάδες μέτρησης εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά και τα προβλήματα κάθε κατανάλωσης. Υπάρχουν ιατρικά φορτία βάσης όπου ευθύνονται για τη μεγαλύτερη κατανάλωση

Λόγω της ιδιαιτερότητας του νοσοκομείου, το ενεργειακό προφίλ αλλάζει ελάχιστα μέσα στην εβδομάδα έτσι οι καθημερινές εμφανίζονται περίπου ίδιες με τα Σαββατοκύριακα. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό στοιχείο των νοσοκομείων λόγω της αδιάλειπτης, καθημερινής τους λειτουργίας.



### 4.4.3 Βιοτεχνία - Βιομηχανία

Η τρίτη κατηγορία καταναλωτών αποτελείται από τις βιοτεχνίες και βιομηχανίες. Η κύρια φορτιακή ανάγκη παρουσιάζεται κατά το τυπικό ωράριο εργασίας και “σβήνει” εκατέρωθεν αυτού (πρώτες πρωινές και βραδινές ώρες). Αυτό βέβαια δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις καθότι βιομηχανίες λειτουργούν πολλές φορές υπό εικοσιτετράωρη βάση.



Σχήμα 4.5 Ημερήσια χρονοσειρά ζήτησης φορτίου βιομηχανικών καταναλωτών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

### ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ

#### 5.1 Κατηγορίες Προβλημάτων Βελτιστοποίησης

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μεθόδους βελτιστοποίησης και κυρίως στις αλγοριθμικές διαδικασίες οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα εύρεσης λύσης στα προβλήματα που θα αντιμετωπιστούν [23]. Βελτιστοποίηση ορίζεται η διαδικασία εύρεσης της καλύτερης δυνατής λύσης ενός προβλήματος υπό συγκεκριμένες συνθήκες και περιορισμούς. Στόχος μίας διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι είτε η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης στόχου (κόστος, διεργασία κ.λ.π) που πρέπει να καταβληθεί για μία προσπάθεια, είτε δυνάμει, η μεγιστοποίηση της ωφέλειας που μπορούμε να έχουμε από μία διαδικασία.

Αυτή η απαιτούμενη προσπάθεια – κόστος ή το επιθυμητό όφελος μιας διεργασίας μπορεί να προσεγγισθεί από την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος. Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης τότε μπορεί να οριστεί ως η εύρεση του μέγιστου ή του ελάχιστου αυτής της συγκεκριμένης συνάρτησης που περιγράφει το πρόβλημα με κάποιες συγκεκριμένες μεταβλητές απόφασης. Η βελτιστοποίηση σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχει συνήθως σκοπό της όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες σε συνδυασμό με το μικρότερο δυνατό κόστος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται κάθε στιγμή το σύστημα. Κατά συνέπεια η αντικειμενική συνάρτηση περιέχει την ενεργό ισχύ κάθε μικροπηγής, η οποία δίνεται για κάθε μία συνάρτηση κόστους που τη χαρακτηρίζει. Σκοπός ανάλογα με την περίπτωση, είναι είτε να δοθεί προτεραιότητα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (για λόγους περιβαλλοντικής πολιτικής) είτε να βελτιστοποιηθεί βάσει κόστους οι παραγωγές και οι απώλειες βρίσκοντας το ελάχιστο σημείο του προβλήματος.

Σε κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης σκοπός είναι η εύρεση ενός διάνυσματος  $x$  το οποίο αποτελεί τη βέλτιστη λύση ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης  $f(x)$

(μέσω βελτιστοποίησης)

$$f(X) \rightarrow X = [X1, X2 \dots Xn]$$

Το διάνυσμα  $x$  καλείται διάνυσμα σχεδιασμού και έχει διαστάσεις ανάλογα με το πόσες είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές μεταξύ τους. Εάν αυτό το πρόβλημα δεν έχει επιπρόσθετους περιορισμούς τότε αρκεί να βρεθεί το διάνυσμα  $x$  και συνεπώς το πρόβλημα καλείται πρόβλημα χωρίς περιορισμούς. Συνήθως όμως υπάρχουν περιορισμοί, ισοτικοί, ανισοτικοί ή ακόμα και συνύπαρξη αυτών. Έτσι αν έχουμε για παράδειγμα και τους περιορισμούς που περιγράφονται από τις  $g(i), y(i)$  τότε το πρόβλημα κατά την προσπάθεια εύρεσης του  $x$  θα πρέπει να λάβει υπόψη του και τους συγκεκριμένους περιορισμούς.

$$\left. \begin{array}{l} g(i)=0, i=1,2,\dots,k \\ y(i)\leq 0, i=1,2,\dots,m \end{array} \right\} k, m \in \mathbb{Z}$$

Οι περιορισμοί αυτοί μπορεί να είναι περιορισμοί σχεδίασης, περιορισμοί γεωμετρικοί ή άλλοι περιορισμοί τους οποίους θέτουμε, έτσι ώστε να περιορίσουμε την λύση μας βάσει κάποιων επιθυμητών χαρακτηριστικών που θέλουμε να έχει το σύστημα που προσπαθούμε να βελτιστοποιήσουμε. Είναι κατανοητό πως η σημασία της σωστής επιλογής/διαμόρφωσης της αντικειμενικής συνάρτησης είναι μείζονος σημασίας εάν θέλουμε αξιόπιστα και σωστά αποτελέσματα. Συχνά επίσης μπορούν να χρησιμοποιούνται αντικειμενικές συναρτήσεις οι οποίες να προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν περισσότερο από ένα διαφορετικά κριτήρια, ενώ ταυτόχρονα είναι δυνατόν μία αντικειμενική συνάρτηση να περιέχει δύο ή και περισσότερες αντικειμενικές συναρτήσεις οι οποίες έχουν συμπυκωθεί κατάλληλα για παράλληλη βελτιστοποίηση. Σε αυτή την περίπτωση όμως να σημειωθεί πως όσο πιο μεγάλη και πολύπλοκη είναι η αντικειμενική συνάρτηση, καθώς και όσο περισσότεροι περιορισμοί, τόσο η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνεται καθιστώντας δύσκολη την εύρεση μιας γρήγορης λύσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κατηγορίες προβλημάτων βελτιστοποίησης με βάσει την μορφή των εξισώσεων που μας καθοδηγούν ώστε να γίνει σωστή επιλογή για το εκάστοτε πρόβλημα. Σε κάθε περίπτωση, η κατηγοριοποίηση δεν είναι και η μοναδική, καθώς αναλόγως τα κριτήρια οι κατηγορίες προβλημάτων βελτιστοποίησης ποικίλουν. Τα προβλήματα βελτιστοποίησης ανήκουν κυρίως στις παρακάτω δύο κατηγορίες.

### 5.1.1 Προβλήματα Μη Γραμμικού Προγραμματισμού

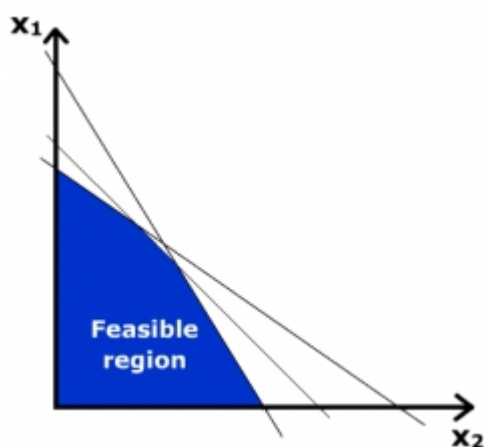
Τα προβλήματα μη γραμμικού προγραμματισμού όπως υποδηλώνει και το όνομα τους, είναι τα προβλήματα στα οποία η αντικειμενική συνάρτηση περιέχει μη γραμμικές εξισώσεις συνήθως αλλά θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ως προβλήματα μη γραμμικού προγραμματισμού και τα προβλήματα των οποίων περιέχουν περιορισμούς οι οποίοι είναι μη γραμμικοί [25]. Εκτός από τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού θα ήταν ορθό να πούμε πως τα υπόλοιπα προβλήματα είναι υποκατηγορίες του μη γραμμικού προγραμματισμού και διακρίνονται ανάλογα με το είδος των μη γραμμικών εξισώσεων όπως για παράδειγμα γεωμετρικού προγραμματισμού (ύπαρξη συναρτήσεων ως αθροίσματα γινομένων δυνάμεων του διανύσματος  $x$ ) ή τετραγωνικού προγραμματισμού (γραμμικοί περιορισμοί με τετραγωνικά ορισμένη αντικειμενική συνάρτηση) κ.ά.

### 5.1.2 Προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού

Ως γραμμικού προγραμματισμού προβλήματα χαρακτηρίζονται τα προβλήματα τα οποία έχουν γραμμικές εξισώσεις στην αντικειμενική συνάρτηση αλλά και στους περιορισμούς. Αυτά τα προβλήματα συνήθως λύνονται πιο εύκολα και γρήγορα σε σχέση με τα προβλήματα μη γραμμικού προγραμματισμού καθώς και πιο γρήγορα.

Στα προβλήματα βελτιστοποίησης γίνονται και διαχωρισμοί παρατηρώντας τα προβλήματα τα οποία χρειάζονται να επιλυθούν. Έτσι έχουμε προβλήματα που ανάλογα τις επιτρεπτές τιμές που μπορούν να λάβουν χωρίζονται σε προβλήματα ακεραίου και συνεχών τιμών προγραμματισμού. Ακόμα υπάρχουν τα ντετερμινιστικά και τα στοχαστικά προβλήματα, αναλόγως την φύση των μεταβλητών που εξετάζονται, και αν αυτές είναι πλήρως καθορισμένες ή λαμβάνεται υπόψη και μία πιθανοτική παράμετρος μέσω της στοχαστικότητας. Μία ακόμα διάκριση μπορεί να γίνει αναλόγως με τον αριθμό των αντικειμενικών συναρτήσεων που βελτιστοποιούνται την ίδια στιγμή :

- Μία αντικειμενική συνάρτηση η βελτιστοποίηση της οποίας μας δίνει την επιθυμητή απάντηση.
- Περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις που βελτιστοποιούνται ταυτόχρονα (Multi-Objective Optimization) και ανταγωνιστικά η μία προς την άλλη έχοντας υπόψη την έννοια της ανταπόδοσης (trade-off). Με βάση την αριστεία κατά Pareto παράγεται ένα σύνολο από μη κυριαρχούμενες λύσεις (non-dominated solutions) που ονομάζεται μέτωπο Pareto (Pareto front).



Σχήμα 5.1 Περιοχή εφικτών λύσεων γραμμικού προγραμματισμού

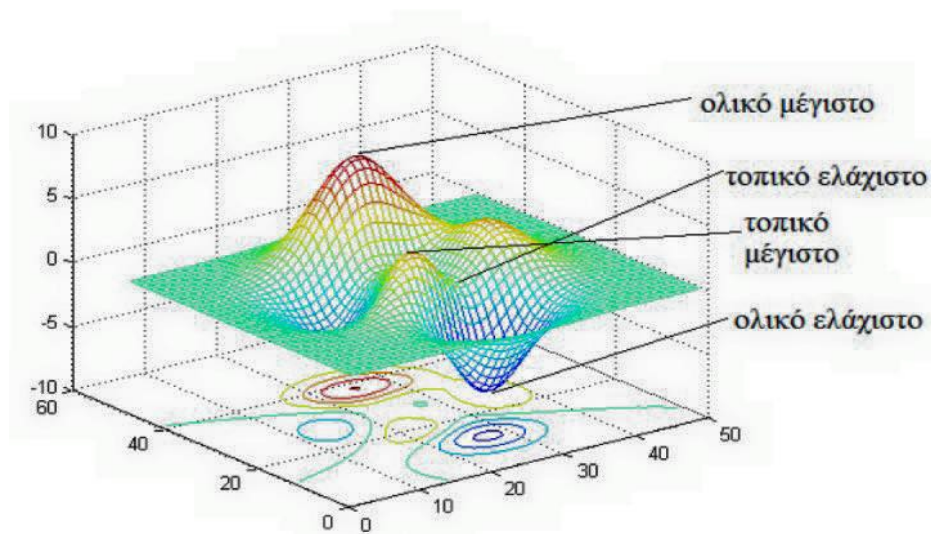
Στην συνέχεια ακολουθεί μία ανάλυση πάνω στον μη γραμμικό προγραμματισμό και τις μεθόδους που χρησιμοποιούμε με σκοπό να βρεθούν οι λύσεις σε ένα μη γραμμικό πρόβλημα.

### 5.1.3 Αλγόριθμοι Ολικής Βελτιστοποίησης

Οι αλγόριθμοι ολικής βελτιστοποίησης έχουν δημιουργηθεί έτσι ώστε να βρίσκεται λύση σε προβλήματα τα οποία έχουν αντικειμενικές συναρτήσεις αλλά και περιορισμούς οποιουδήποτε είδους. Δηλαδή είναι αλγόριθμοι, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση, ειδικά μελετημένοι έτσι ώστε να αντιμετωπίζουν ασυνέχειες στους περιορισμούς ή άλλους αλγορίθμους ως περιοριστικούς παράγοντες κ.ά. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι αλγόριθμοι που έχουν δημιουργηθεί ακριβώς για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων και διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους ντετερμινιστικούς αλγορίθμους και τους μη ντετερμινιστικούς ή στοχαστικούς αλγορίθμους.

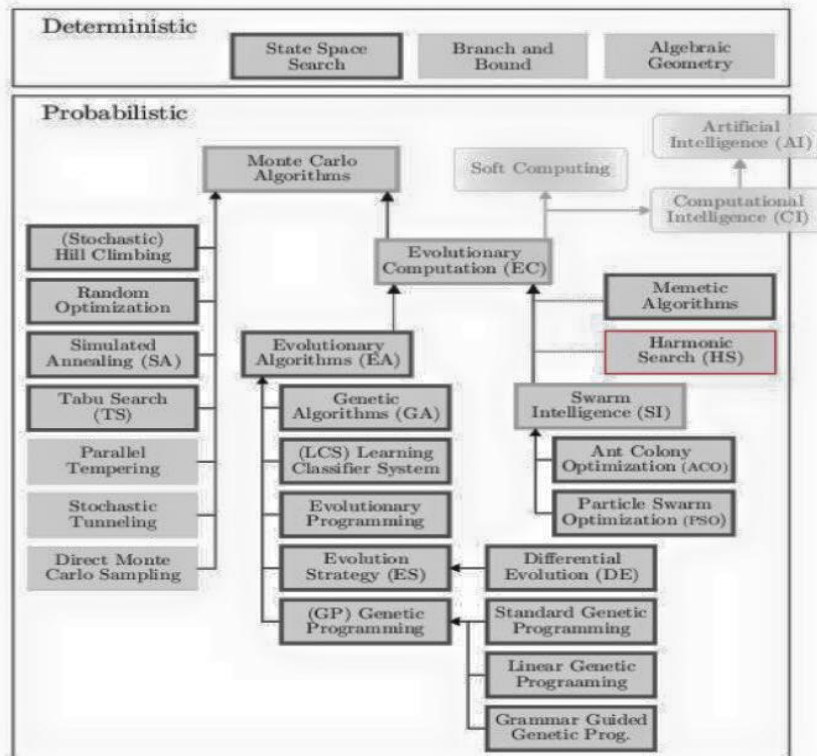
## Ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι

Ως ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι, ορίζονται οι αλγόριθμοι οι οποίοι συμπεριφέρονται με έναν τρόπο ο οποίος είναι προβλέψιμος. Με μία δεδομένη είσοδο παράγεται η ίδια έξοδος περνώντας πάντα από τις ίδιες ενδιάμεσες καταστάσεις. Αναφορικά με τις μαθηματικές εξισώσεις ένας ντετερμινιστικός αλγόριθμος έχει μία συγκεκριμένη τιμή για κάθε συγκεκριμένη είσοδο και συνεπώς μία συγκεκριμένη έξοδο. Ο χώρος αναζήτησης μπορεί να εξερευνηθεί αποδοτικά με χρήση της τεχνικής "διαίρει και βασίλευε" (divide and conquer). Όταν όμως η αξιολόγηση μίας πιθανής λύσης είναι πολύπλοκη ή όταν οι διαστάσεις του προβλήματος είναι πολλές, τότε η επίλυση γίνεται δύσκολη και καταλήγει στην πλήρη αναζήτηση του χώρου εφικτών λύσεων αυξάνοντας έτσι και την πολυπλοκότητα της επίλυσης του προβλήματος με ότι αυτό συνεπάγεται για τον υπολογιστικό χρόνο που χρειάζεται για να βρεθεί η λύση.



Σχήμα 5.2 Ολικά και τοπικά μέγιστα

Ομοίως οι μετευριστικοί αλγόριθμοι βελτιστοποιούν ένα πρόβλημα χρησιμοποιώντας επαναληπτικές μεθόδους και έχοντας ως αναφορά κάποιες υποψήφιες περιοχές στις οποίες μπορεί να εμφανίζεται η λύση. Μπορούν να αναζητούν μέσα σε μεγάλες περιοχές για την απαιτούμενη λύση όμως δεν εξασφαλίζουν πως αυτή θα βρεθεί.



Σχήμα 5.3 Κατηγοριοποίηση Μεθόδων ολικής βελτιστοποίησης

Δείγματα του χώρου αναζήτησης ή μοντέλα τα οποία βασίζονται σε φυσικά φαινόμενα συνιστούν τον κατάλληλο συνδυασμό βάσει του οποίου ο ευριστικός αλγόριθμος επιλέγει ποια είναι η επόμενη υποψήφια λύση. Για παράδειγμα η προσομοιωμένη απόσχιση (simulated annealing) χρησιμοποιεί την αξιολόγηση λύσεων σύμφωνα με μία συνάρτηση πιθανότητας που εντοπίζεται σε φυσικές διεργασίες δημιουργίας κρυσταλλικών δομών στη φύση. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο αλγόριθμος αναρρίχησης λόφων (hill-climbing search), ο οποίος προσομοιώνει την αναζήτηση του βέλτιστου σημείου με την εύρεση του υψηλότερου σημείου ενός λόφου, ενώ ο αλγόριθμος Tabu search επεκτείνει αυτή τη λογική προσθέτοντας τον όρο tabu (απαγορευμένη κατάσταση) στις περιοχές που έχουν ήδη εξεταστεί. Επιπρόσθετα υπάρχουν οι εξελικτικοί αλγόριθμοι (evolutionary algorithms) που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά της φυσικής εξέλιξης. Με αυτό τον τρόπο κατάλληλα δημιουργημένοι αλγόριθμοι προσομοιώνουν λειτουργίες όπως η διασταύρωση, η μετάλλαξη, η φυσική επιλογή και η επιβίωση για να καταλήξει ο αλγόριθμος στη βέλτιστη λύση μέσω πολλών γενεών απογόνων. Σε διάφορα προβλήματα συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχουν βρει εφαρμογή οι εξελικτικοί αλγόριθμοι, όπως στο σχεδιασμό επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς, στο σχεδιασμό της αέργου ισχύος, στην οικονομική κατανομή φορτίου αλλά και αλλού. Τέλος, να σημειωθεί πως υπάρχουν τεχνικές ολικής βελτιστοποίησης οι οποίες δεν είναι κατασκευασμένες για να βρίσκουν ένα ελάχιστο ή ένα μέγιστο αλλά για να μπορούν να αποφασίζουν σε προβλήματα αποφάσεων και σύνθετα προβλήματα βελτιστοποίησης όπου βελτιστοποιείται ένα σύνολο  $F$  από αντικειμενικές συναρτήσεις  $f_i$ , και καθεμία αντιπροσωπεύει ένα κριτήριο προς βελτιστοποίηση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο**

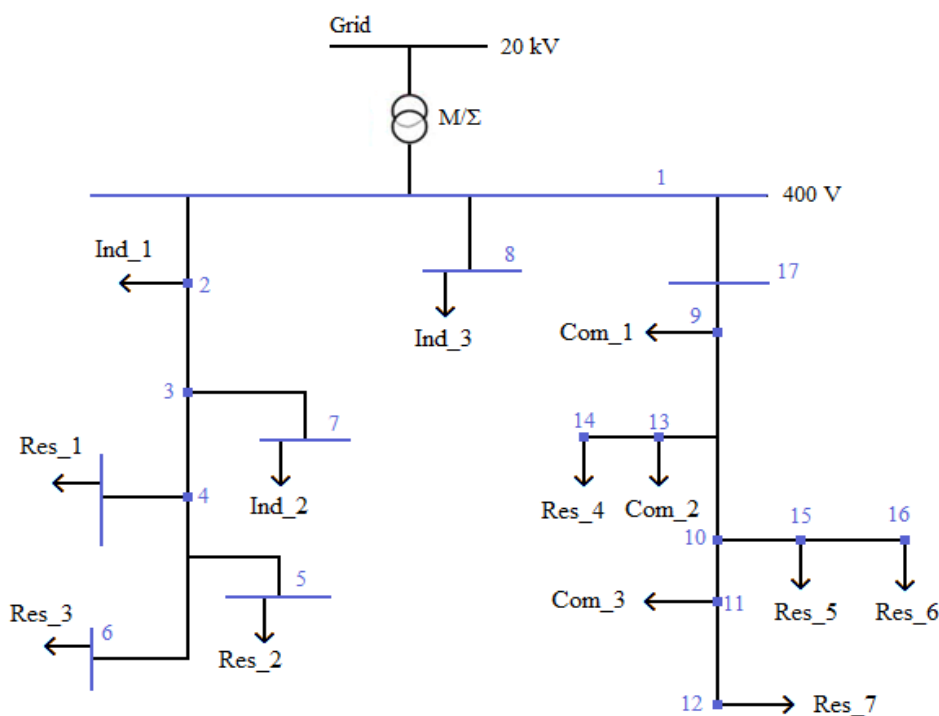
### **ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ**

Τα ανωτέρω κεφάλαια συνδυάζονται για να υλοποιηθεί η μοντελοποίηση ενός μικροδικτύου στο οποίο εφαρμόζεται ένα σύνολο πολιτικών (ενεργειακών και τιμολογιακών) και σεναρίων ώστε να μελετηθεί με γνώμονα την οικονομική βελτιστοποίηση η λειτουργία του, κάτω από νέα μοντέλα καταναλωτών και παραγωγής διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής.

#### **6.1 Το Δίκτυο Μελέτης**

Για την μοντελοποίηση του ανωτέρω σκοπού επιλέχθηκε μια δομή δικτύου Χαμηλής Τάσης 17 ζυγών. Η τοπολογία του μικροδικτύου παρουσιάζεται παρακάτω σε αρχική μορφή, χωρίς καμία μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής (ΑΠΕ ή συμβατικές). Φαίνονται βέβαια τα σημεία (ζυγοί) στα οποία υπάρχει παρουσία φορτίου με τις τρεις κατηγοριοποιήσεις καταναλωτών που εμφανίζει ταυτό (residential, commercial, industrial).

Το δίκτυο το οποίο μελετήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το ακόλουθο:



**Σχήμα 6.1** Το υπό μελέτη δίκτυο με τους καταναλωτές και τις αριθμήσεις των ζυγών

Το προς μελέτη δίκτυο αποτελεί ένα τυπικό δίκτυο χαμηλής τάσης. Ο κάθε ένας από τους ζυγούς του μικροδικτύου δύναται να έχει καταναλωτές οικιακούς, εμπορικούς και βιοτεχνικούς. Για τη βελτιωμένη υλοποίηση κάθε ζυγός φέρει φορτίο μόνο μίας από τις τρεις κατηγορίες καταναλωτών, κάτι που συναντά την πραγματικότητα σε παρόμοιες υλοποιήσεις δικτύων. Οι ηλεκτρικές γραμμές του δικτύου μπορούν να είναι υπόγεια καλώδια, τα οποία συναντώνται κυρίως σε αστικές περιοχές με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, εναέριες γραμμές, οι οποίες συναντώνται σε περιοχές όπως οι αγροτικές με μάλλον χαμηλή πυκνότητα. Στο παρόν δίκτυο γίνεται μια μείξη δικτύων ανάλογα με το φορτίο που εξυπηρετούν.

### 6.1.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Δικτύου

Στη συνέχεια ακολουθεί σχετικός πίνακας που περιέχει τα ηλεκτρικά δεδομένα του δικτύου. Ο πίνακας αυτός, μαζί με τα δεδομένα ζήτησης και παραγωγής των ζυγών σε κάθε περίπτωση, αποτελεί και την είσοδο του υπολογιστικού εργαλείου επίλυσης της ροής φορτίου (matlab). Η πρώτη στήλη δηλώνει τις συνδέσεις που υπάρχουν μεταξύ των ζυγών του δικτύου. Τα στοιχεία του πίνακα περιέχουν τα δεδομένα της αντίστασης  $R$ , την αντίδραση  $X$  και το ήμισυ της συνολικής εγκάρσιας επιδεκτικότητας  $\frac{1}{2} B$  της κάθε γραμμής, το φανταστικό δηλαδή μέρος της σύνθετης αγωγιμότητας της γραμμής χρησιμοποιώντας ισοδύναμο μοντέλο-π. Η τελευταία στήλη αναφέρεται σε γραμμή με μετασηματιστές που έχουν μεταβολή της σχέσης μετασηματισμού [27]. Συνήθως θεωρούνται ονομαστικές λήψεις με  $t=1$ .

Οι παρακάτω τιμές που εμφανίζονται στον πίνακα είναι σε ανά μονάδα (p.u.) τιμές και ως βασική ισχύ έχουν επιλεγεί τα 100 kVA, ενώ ως βασική τάση τα 400V, η πολιτική τάση των δικτύων Χαμηλής Τάσης.



Σύνδεση	R (p.u.)	X (p.u.)	½ B	Λήψεις M/Σ (t)
1-2	0,0001	0,0001	0	1
2-3	0,0125	0,00375	0	1
3-4	0,0125	0,00375	0	1
4-5	0,0125	0,00375	0	1
5-6	0,0125	0,00375	0	1
3-7	0,021875	0,004375	0	1
1-8	0,033125	0,00875	0	1
1-9	0,0075	0,005	0	1
9-10	0,015	0,010625	0	1
10-11	0,02125	0,005625	0	1
11-12	0,02125	0,005625	0	1
9-13	0,010625	0,005625	0	1
13-14	0,010625	0,005625	0	1
10-15	0,023125	0,00625	0	1
15-16	0,023125	0,00625	0	1
17-1	0,0025	0,01	0	1

**Πίνακας 6.1 Οι χαρακτηριστικές ηλεκτρικές τιμές των συνδέσεων του δικτύου**

### 6.1.2 Ανάντη Ηλεκτρικό Σύστημα (Ανάντη Δίκτυο)

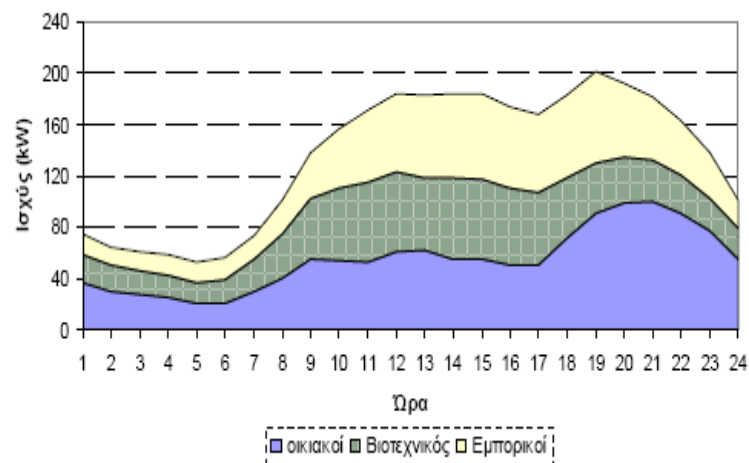
Το ανωτέρω δίκτυο που δημιουργήθηκε για να χρησιμοποιηθεί στη μοντελοποίηση συνδέεται μέσω Μετασχηματιστή με το δίκτυο Μέσης Τάσης. Έτσι, στην περίπτωση που η παραγόμενη ισχύς από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν επαρκεί για την κάλυψη των φορτίων, εισάγεται ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Για μια καλύτερη προσέγγιση της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας στην οποία αυτό το δίκτυο ΧΤ θα μπορούσε να λειτουργεί, χρησιμοποιήθηκαν οι Οριακές Τιμές του ελληνικού Συστήματος (ΟΤΣ), όπως δίνονται από τον ΔΕΣΜΗΕ, και αναφέρονται σε όλο το 2014. Επίσης εφαρμόστηκε και επιλογή σταθερής τιμολόγησης ως προς τον μέσο όρο των τιμολογίων των καταναλωτών. Τα ανωτέρω πραγματοποιήθηκαν ώστε να εντοπιστούν κατά τα διάφορα σενάρια οι διαφορές που προκύπτουν στην τιμή της αντικειμενική συνάρτησης και εν τέλει στο λειτουργικό κόστος του δικτύου.

### 6.1.3 Οι Καταναλωτές του Δικτύου

Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 4, οι καταναλωτές του προς μελέτη δικτύου κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες – τύπους. Αυτές οι κατηγορίες είναι οι οικιακοί καταναλωτές (Residential), οι εμπορικοί (Commercial) και οι βιομηχανικοί – βιοτεχνικοί (Industrial). Κάθε ένας τύπος καταναλωτή μοντελοποιείται με ενεργειακά προφίλ που προσεγγίζουν την πραγματική συμπεριφορά του σε ένα αληθινό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά συνέπεια αγνοώντας την

σημασία της εγκατεστημένης ισχύος του καθενός (μπορεί μια μικρή βιοτεχνία να έχει εγκατεστημένη ισχύ ή να καταναλώνει πολύ λιγότερη ενέργεια από ένα οικιακό συγκρότημα), η μοντελοποίηση που πραγματοποιείται διαφοροποιεί τους τρεις τύπους αυτούς καταναλώσεως σύμφωνα με της καμπύλες φορτίου τους. Έτσι, άλλη καμπύλη αναμένεται να έχει ένα οικιακό συγκρότημα κατοικιών, άλλη ένα κατάστημα και άλλη μια μικρή βιοτεχνία ή κέντρο υγείας [44]. Η διαφοροποίηση αυτή εμφανίζει μεγάλες ομοιότητες με τα πραγματικά δίκτυα χαμηλής τάσης και επιλέχθηκε με ποσοστά κάθε κατηγορίας που να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν την πραγματική κατάσταση ενός τυπικού ηλεκτρικού δικτύου.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το συνολικό φορτίο του δικτύου παρουσιάζει τη μορφή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου γίνεται διάκριση των τριών κατηγοριών καταναλωτών [26]. Η παρακάτω χρονοσειρά αναφέρεται σε μια ημέρα του Απριλίου με ωριαίο βήμα.



**Σχήμα 6.2** 24-ωρη Καμπύλη ζήτησης για το Δίκτυο ΧΤ (Μικροδίκτυο) και για κάθε τύπο καταναλωτή. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ηλεκτρικού φορτίου του προς μελέτη δικτύου αναφέρονται στη συνέχεια.

- Η αιχμή του φορτίου είναι  $P_A = 229,30 \text{ kW}$
- Το ελάχιστο φορτίο είναι  $P_{\min} = 41,10 \text{ kW}$
- Η περίοδος φορτίου είναι  $T = 8.640 \text{ h}$  (θεώρηση 30ημέρες/μήνα)
- Η ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια είναι  $E = 1.136,44 \text{ MWh}$
- Το μέσο φορτίο είναι  $P_{\mu} = E / T = 1.136,44 / 8640 = 131,53 \text{ kW}$
- Ο μέσος χρόνος φορτίου είναι  $T_A = E / P_A = 1.136,44 / 229,30 \cdot 10^{-3} = 4.956 \text{ h}$
- Ο συντελεστής φορτίου είναι  $m = E / P_A \cdot T = P_{\mu} / P_A = 131,53 / 229,30 = 57,36\%$

Η ετήσια ενέργεια σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των καταναλωτών σε τρία διαφορετικά είδη μοιράζεται ως εξής. Ενέργεια σε οικιακούς καταναλωτές **338,09 MWh (29,75%)**, ενέργεια σε εμπορικούς καταναλωτές **195,24 (17,18%)** και ενέργεια σε βιοτεχνικούς καταναλωτές **603,10 (53,07%)**. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως τα μεγέθη αυτά αφορούν το αρχικό δίκτυο καθώς σε μερικά σενάρια όπου εξετάζονται η συμπεριφορά των καταναλωτών σε ενεργειακή αναβάθμιση ή σε

τιμολογιακές πολιτικές τα φορτία αλλάζουν σύμφωνα με μεθόδους και μαθηματικές προσεγγίσεις όπου αναλύονται στη συνέχεια. Κατά συνέπεια, αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά του δικτύου όσο αναφορά το φορτίο. Όταν πραγματοποιείται κάτι τέτοιο αναφέρονται τα νέα χαρακτηριστικά φορτίου σε σύγκριση με τα αρχικά.

## 6.1.4 Μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής

Στο δίκτυο που μελετάται, μέσω των πολιτικών που εφαρμόζονται, εισάγονται μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής όπως φωτοβολταϊκά (PV), μικρές ανεμογεννήτριες (WT), μικροτουρμπίνες (MT) και κυψέλες καυσίμου (FC). Στη συνέχεια αναλύονται οι χρονοσειρές παραγωγής των ΑΠΕ και διαμορφώνεται το πλαίσιο στο οποίο παράγουν ενέργεια οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου. Κατά τη μοντελοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναπτύχθηκαν παραγωγές με προφίλ, για τα μεν φωτοβολταϊκά, δύο πραγματικών συστημάτων και για την ανεμογεννήτρια ενός πραγματικού συστήματος. Η χρήση δύο φωτοβολταϊκών καμπυλών προσδίδει ακόμη μεγαλύτερη αξιοπιστία στη συνολική μοντελοποίηση παραγωγής από ΑΠΕ καθώς χρησιμοποιείται εύλογο πλήθος πηγών που κάθε άλλο από ομοιογένεια παραγωγής θα μπορούσε να τους χαρακτηρίζει.

### 6.1.4.1 Χρονοσειρές Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής

#### Τυπικές Χρονοσειρές Παραγωγής Φωτοβολταϊκών

Για τη μοντελοποίηση των φωτοβολταϊκών θεωρήθηκε πως η ονομαστική ισχύς, ταυτίζεται με τη μέγιστη (peak) και την εγκατεστημένη.

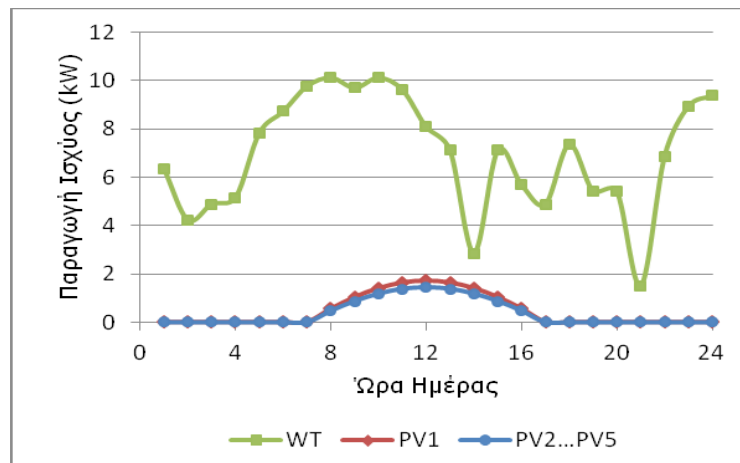
$$p^{pv} nom = p^{pv} εγκ.$$

#### Τυπικές Χρονοσειρές Παραγωγής Ανεμογεννητριών

Για τη μοντελοποίηση των ανεμογεννητριών επίσης θεωρήθηκε πως η ονομαστική ισχύς, ταυτίζεται με τη μέγιστη (peak) και την εγκατεστημένη.

$$p^{wt} nom = p^{wt} εγκ.$$

Στα παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται στιγμιότυπα από δύο καμπύλες παραγωγής φωτοβολταϊκού συστήματος και μια καμπύλη παραγωγής ανεμογεννήτριας για την ίδια ημέρα (1η Απριλίου). Η εγκατεστημένη ισχύς στον άξονα y με παραδοχή ταυτίζεται πλέον με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ. Τα δεδομένα έχουν αντληθεί από μικρή ανεμογεννήτρια που υφίστανται στο Ε. Μ. Πολυτεχνείο και σε κάθε σενάριο προσομοιώνονται αναλόγως για να προσομοιώσουν ανεμογεννήτρια μεγαλύτερης ισχύος.



**Σχήμα 6.3 Παραγόμενη Ισχύς Από Την Ανεμογεννήτρια Και Τα Φωτοβολταϊκά**

Το Capacity Factor (CF) των ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση είναι για τα φωτοβολταϊκά γύρω στο 16,9% και για τις ανεμογεννήτριες γύρω στο 38%. Κατά συνέπεια επιβεβαιώνει την ορθότητα των δεδομένων εισαγωγής.

Σε αμφότερες τις ανανεώσιμες μικροπηγές (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) χρησιμοποιήθηκαν, όπως προαναφέρθηκε, καμπύλες ως προς την εγκατεστημένη ισχύ (θεωρήθηκε ίση με τη μέγιστη κάθε μηχανής) όπως φαίνεται και από τα σχήματα. Αυτό πραγματοποιήθηκε για να επιτευχθεί ευκολία επέκτασης της εκάστοτε καμπύλης από όποιου μεγέθους σύστημα επιθυμούμε.

#### Λειτουργία Μικροτουρμπίνας

Οι μικροτουρμπίνες που χρησιμοποιούνται σε κάθε σενάριο του μικροδικτύου έχουν πολιτική λειτουργίας την κάλυψη ενεργειακών αναγκών στην χαμηλότερη δυνατή τιμή, κατά συνέπεια συμπεριλαμβάνονται στην ωριαία βελτιστοποίηση που πραγματοποιείται και με γνώμονα το πόσο φθηνή (καμπύλη κόστους) και πόση ισχύ (τεχνικά ελάχιστα, ονομαστική ισχύς) μπορούν να διαθέσουν, εντάσσονται στην παραγωγή.

#### Λειτουργία Κυψέλης Καυσίμου

Αντίστοιχη λειτουργία με τις μικροτουρμπίνες εμφανίζουν και οι κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιούνται στο εκάστοτε σενάριο. Με πολιτική λειτουργίας την κάλυψη ενεργειακών αναγκών στην χαμηλότερη δυνατή τιμή, συμπεριλαμβάνονται και αυτά στην ωριαία βελτιστοποίηση που πραγματοποιείται και με γνώμονα το πόσο φθηνή (καμπύλη κόστους) και πόση ισχύ (τεχνικά ελάχιστα, ονομαστική ισχύς) μπορούν να διαθέσουν, εντάσσονται στην παραγωγή.

### **6.1.4.2 Ηλεκτρικά και Οικονομικά Χαρακτηριστικά Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής**

Οι μονάδες διανεμημένης παράγωγης που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του δικτύου αποτελούνται από τέσσερις κυρίως μορφές με γνώμονα όσο το δυνατόν καλύτερη απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης των πηγών που τοποθετούνται σε ένα σύγχρονο δίκτυο ΧΤ. Στον παρακάτω

πίνακα παρουσιάζονται τα είδη μονάδων διανεμημένης παραγωγής (ΑΠΕ, Μικροτουρμπίνες και Κυψέλες Καυσίμου) που εφαρμόζονται με διάφορες αναλογίες και μεγέθη στο μοντέλο του μικροδικτύου που προσομοιώνεται. Η ελάχιστη παραγόμενη και η μέγιστη παραγόμενη ισχύς αναφέρονται στις ακραίες περιπτώσεις του συνόλου των μικροπηγών που εφαρμόζονται. Κατά συνέπεια κάθε φωτοβολταϊκό που εφαρμόζεται στο δίκτυο μπορεί να έχει οποιαδήποτε εγκατεστημένη ισχύ μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης και είναι το χαρακτηριστικό του καθώς από εκεί και έπειτα μοντελοποιείται μέσω χρονοσειρών πραγματικών φωτοβολταϊκών παρόμοιας κλίμακας. Επίσης περιέχονται κόστη εγκατάστασης από τρέχουσες μέσες τιμές της αγοράς.

Μονάδα	Ελάχιστη Παραγόμενη Ισχύς (kW)	Μέγιστη Παραγόμενη Ισχύς (kW)	Κόστος εγκατάστασης (€/kW)
MT	6	30	900
FC	3	30	3500
WT	0	15	1800
PV	0	3	1500

**Πίνακας 6.2 Τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μικροπηγών δικτύου**

Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τους συντελεστές ισχύος που εμφανίζουν οι παραπάνω μικροπηγές σύμφωνα με τις γεννήτριες που ενσωματώνουν και από τεχνικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η πλειονότητα των πηγών αυτών.

Είδος Μικροπηγής	Συντελεστής ισχύος
PV (photovoltaic)	1
WT (wind turbine)	1
MT (microturbine)	1
FC (fuel cell)	1

**Πίνακας 6.3 Συντελεστές ισχύος μικροπηγών δικτύου**

### 6.1.4.3 Λειτουργικά Κόστη Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής

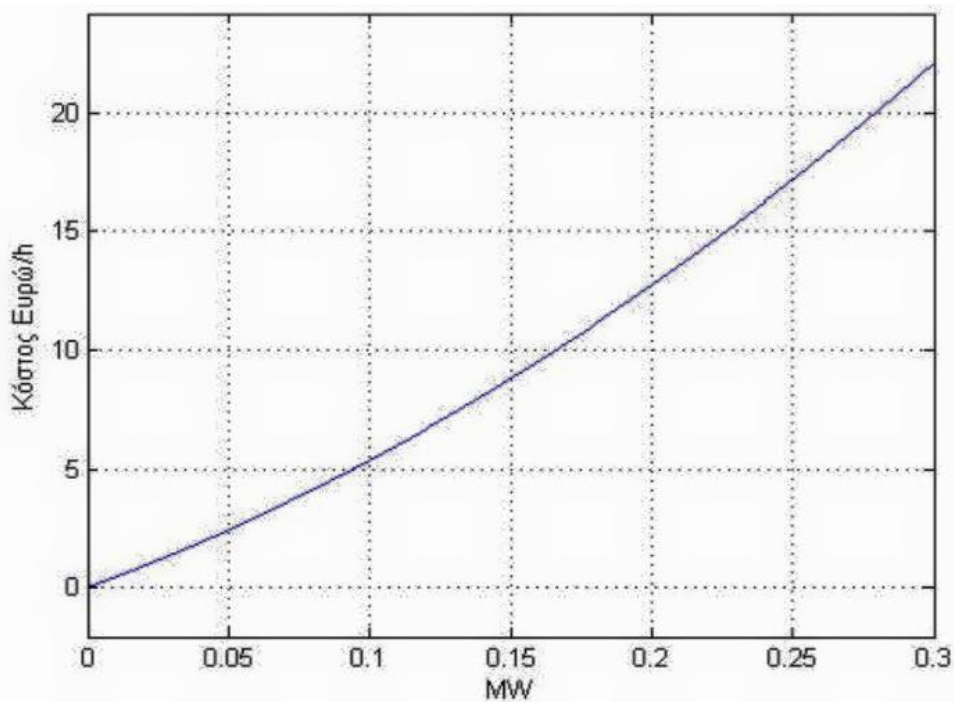
Τα λειτουργικά κόστη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μοντελοποιήθηκαν ως εξής [41]. Για τις μονάδες κυψελών καυσίμου και τις μικροτουρμπίνες καταστρώθηκαν πολυωνυμικές συναρτήσεις κόστους στη μορφή που φαίνεται στην παρακάτω συνάρτησης. Οι συναρτήσεις ατές για τις ανωτέρω μικροπηγές εμπεριέχουν το πραγματικό κόστος λειτουργίας του με φυσικό αέριο. Για τις μονάδες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) υπολογίστηκε το κόστος που επιφορτίζονται για την λειτουργία και συντήρησή τους (Operation & Maintenance) και κατά συνέπεια καταστρώθηκαν γραμμικές συναρτήσεις κόστους σύμφωνα με την παραγωγή τους. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται σε επόμενη παράγραφο στη συνέχεια της υποενότητας.

$$C_i = a_i + b_i \cdot P_i + c_i \cdot P_i^2$$

Μονάδα	$a_i$ (€/h)	$b_i$ (€/MWh)	$c_i$ (€/MWh <sup>2</sup> )
MT	0,0001	43,7	100
FC	0,8415	24,1	330
WT	0	14,21	0
PV	0	31,03	0

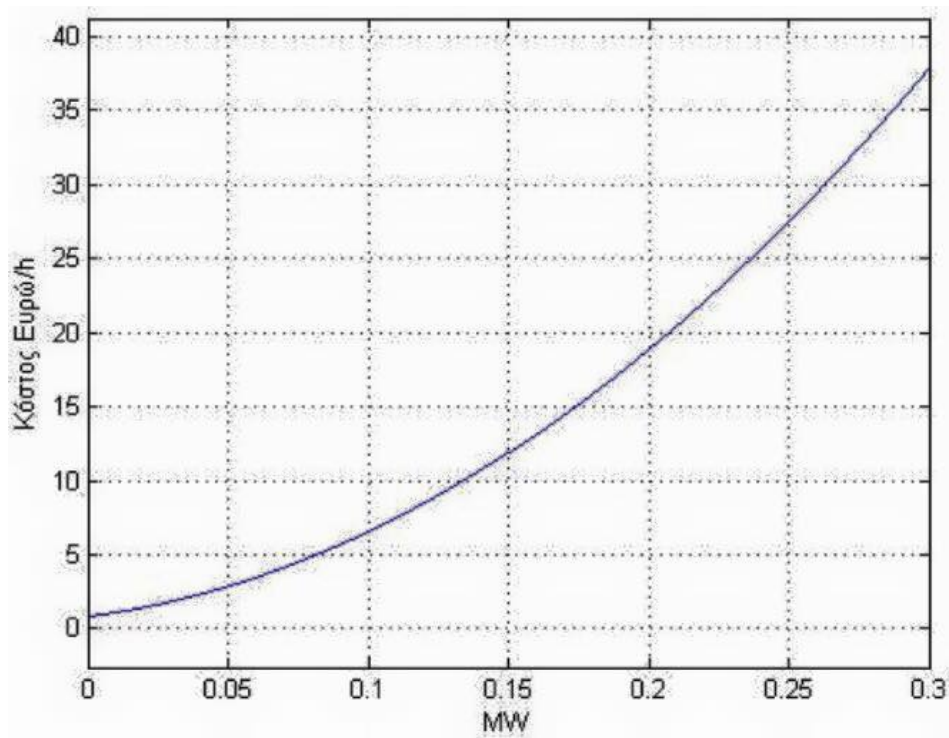
**Πίνακας 6.4 Συντελεστές πολυωνυμικών συναρτήσεων κόστους λειτουργίας**

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η πολυωνυμική συνάρτηση κόστους για τις μικροτουρμπίνες.



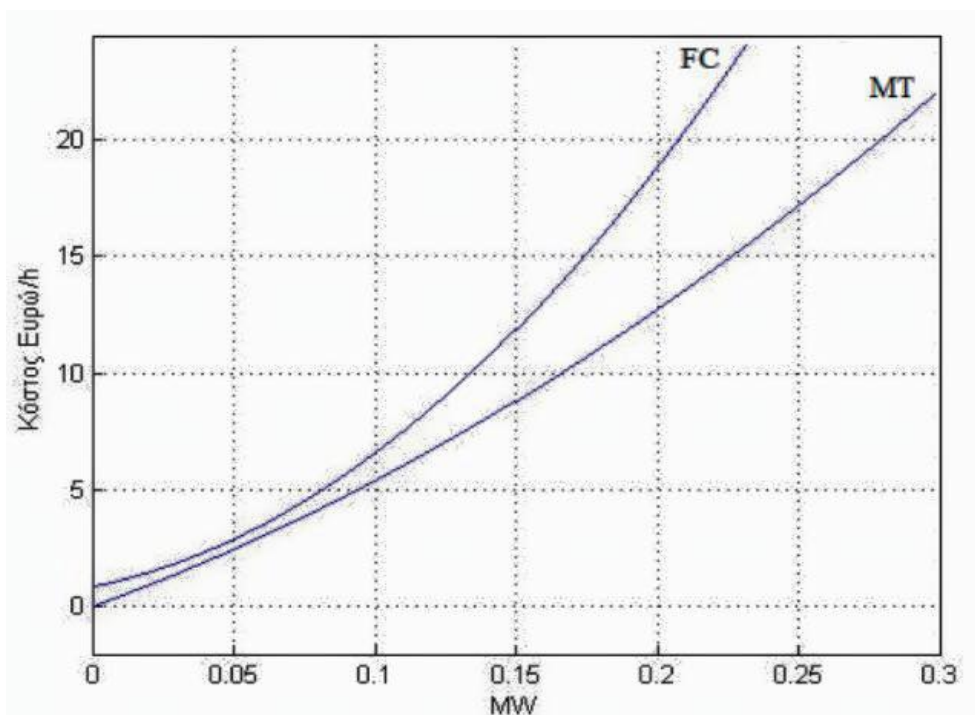
**Σχήμα 6.4 Καμπύλη κόστους μικροτουρμπίνας (MT)**

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η πολυωνυμική συνάρτηση κόστους για τις κυψέλες καυσίμου που τοποθετούνται στο προς μελέτη δίκτυο.



Σχήμα 6.5 Καμπύλη κόστους κυψέλης καυσίμου (FC)

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η συνάρτηση λειτουργικού κόστους μικροτουρμπίνων και κυψέλης καυσίμου στο ίδιο διάγραμμα.



Σχήμα 6.6 Καμπύλη κόστους κυψέλης καυσίμου/μικροτουρμπίνας

Όπως προαναφέρθηκε, οι ΑΠΕ δεν θεωρήθηκαν πως έχουν μηδενικό κόστος για τη λειτουργία τους,

απεναντίας, για την επιλογή λειτουργικού κόστους σε αυτές τις πηγές ορίστηκε το 3% ετησίως του κόστους εγκατάστασης για τα φωτοβολταϊκά και 3% για τις ανεμογεννήτριες, τιμές που αντικατοπτρίζουν σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα από κόστη συντήρησης που εμφανίζουν οι ΑΠΕ. Αυτό το κόστος μετατράπηκε σε €/MWh μέσω της γνώσης (από τις χρονοσειρές παραγωγής) της ετήσιας παραγωγής ενέργειας της κάθε τεχνολογίας. Οι αντίστοιχοι υπολογισμοί φαίνονται στη συνέχεια:

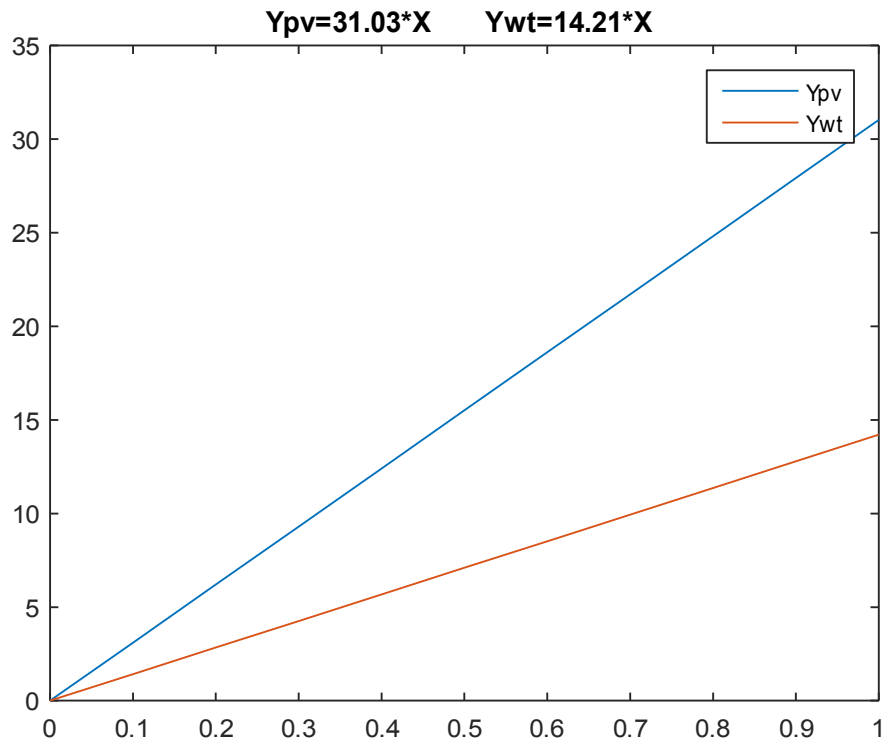
Ετήσια παραγωγή PV : 1,45 MWh / kW  
Κόστος εγκατάστασης PV : 1500 €/kW  
Λειτουργικό κόστος PV : 3 % του κόστους εγκατάσταση ετησίως (O&M) = **31,03 €/ MWh**

Ετήσια παραγωγή WT : 3,80 MWh / kW  
Κόστος εγκατάστασης WT : 1800 €/kW  
Λειτουργικό κόστος WT : 3 % του κόστους εγκατάσταση ετησίως (O&M) = **14,21 €/ MWh**

Κατά συνέπεια το λειτουργικό κόστος των ΑΠΕ είναι γραμμική συνάρτηση της παραγωγής ενέργειας όπως φαίνεται στις παρακάτω καμπύλες. Επίσης, αυτό το λειτουργικό κόστος δεν συμπεριλήφθηκε στη διαδικασία βελτιστοποίησης καθώς πρώτον οι παραγωγές των ΑΠΕ είναι προκαθορισμένες μέσω χρονοσειρών και δεύτερον ούτως ή άλλως το λειτουργικό αυτό κόστος είναι πολλές φορές μικρότερο από το αντίστοιχο των μικροτουρμπίνων και των κυψελών καυσίμου, οπότε και θα εντάσσονταν κατά προτεραιότητα. Παρόλα αυτά, το κόστος αυτό προφανώς και προστίθεται στο συνολικό λειτουργικό κόστος του μικροδικτύου, κάτι που το κάνει αρκετά ποιο πραγματικό. Τέλος, με τις τιμές που έχουν διαμορφωθεί πλέον στην αγορά μικρών πηγών ΑΠΕ, οι ανεμογεννήτριες (έως 50KW) φαίνεται να είναι εξίσου ή και ποιο ακριβή, σε ορισμένες περιπτώσεις, λύση από τα φωτοβολταϊκά ως κόστος κτίσης και εγκατάστασης. Παρόλα αυτά, η παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο είναι σαφώς ποιο αποδοτική. Έτσι, ενώ τα φωτοβολταϊκά σε κάποιες περιπτώσεις έχουν μια μικρότερο κόστος κτίσης, η ανεμογεννήτρια παράγει περισσότερη ενέργειας ανά kW με συνέπεια το λειτουργικό κόστος να είναι μικρότερο ανά MWh.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στο ίδιο σχήμα οι συναρτήσεις κόστους που θεωρήθηκαν για τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες που τοποθετήθηκαν στο προς μελέτη δίκτυο.





**Σχήμα 6.7 Καμπύλη λειτουργικού κόστους ΑΠΕ**

Είναι σημαντικό επίσης να σημειωθεί, όπως θα φανεί και κατά την ανάπτυξη των σεναρίων, πως οι ΑΠΕ κατά τη μοντελοποίηση δεν ενσωματώνουν κανένα έσοδο από το διαχειριστή δικτύου (όπως πολιτικές feed-in tariff) εκτός και αν αναφέρεται στις παραδοχές του σεναρίου. Αυτό θεωρείται διότι σε πρώτη ανάλυση, η όλη διαδικασία πραγματοποιείται από τη σκοπιά του μικροδικτύου ως συνολική οντότητα. Κατά συνέπεια αξιολογούνται μόνο ως προς το κόστος αποφυγής συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Η διαθεσιμότητα της μικροτουρμπίνας είναι 95% και η απόδοσή της θεωρήθηκε ίση με 26%. Η διαθεσιμότητα της κυψέλης καυσίμου είναι 90% και η απόδοσή της 45%. Τόσο η μικροτουρμπίνα όσο και η κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιούν ως καύσιμο φυσικό αέριο, του οποίου η τιμή είναι περίπου 0,07 €/kWh .

## 6.2 Μεθοδολογία Προσομοίωσης

### 6.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά και Παραδοχές Μοντελοποίησης

Στο δίκτυο που μελετάται μπορεί να πραγματοποιηθεί η κατηγοριοποίηση κυρίως δύο σημαντικών οντοτήτων που η κάθε μία περιέχει επιμέρους κατηγοριοποίηση. Πρώτο σημαντικό χαρακτηριστικό μέρος του προς μελέτη μικροδικτύου είναι οι παραγωγές (μονάδες) διεσπαρμένης παραγωγής [32]. Δεύτερο και κύριο στη συγκεκριμένη εργασία αποτελούν οι καταναλώσεις. Τα δύο αυτά μέρη

διαφοροποιούνται αισθητά και χρήζουν ξεχωριστής μελέτης. Ιδιαίτερα οι καταναλώσεις (φορτία) του μικροδικτύου, στις οποίες και επικεντρώνεται αυτή η μελέτη, τροποποιούνται σημαντικά καθώς τοποθετούνται σε μια λογική ανάλυσης των ενεργειακών προφίλ. Οι ενέργεια που παράγεται από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής τροποποιείται και σε μέγεθος (εγκατεστημένη ισχύς μικροπηγών) αλλά και σε τοπολογία του μικροδικτύου καθώς πέρα από την αλλαγή των ισχύων τους τροποποιείται και η θέση τους μέσω της προσθαφαίρεσης τους σε διαφορετικούς ζυγούς. Η φιλοσοφία μοντελοποίησης που ακολουθείται στοχεύει στην ανάδειξη των πλεονεκτημάτων από την υλοποίηση διαφόρων πολιτικών σε μικροδίκτυο. Κατά συνέπεια, το αρχικό δίκτυο υφίσταται αλλαγές και σε διάφορα στάδια επηρεάζοντας τα προφίλ των καταναλώσεων μέσα από κανόνες που διέπουν την εξοικονόμηση ενέργειας, τις ισχύς καθώς και την τοπολογία με βασικότερο γνώμονα την συνολική αντίδραση τόσο σε ηλεκτρικούς όσο και σε οικονομικούς όρους [33]. Έτσι, εξάγεται μια γκάμα ηλεκτρικών και οικονομικών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη συμπεριφορά του μικροδικτύου σε διάφορες αλλαγές οι οποίες με τη σειρά τους ακολουθούν κανόνες που βελτιστοποιούν τη λειτουργία του μικροδικτύου τόσο ως μέρος του ανάντη δικτύου όσο και σε στιγμές και κατάστασης αποκοπής και απομονωμένης λειτουργίας. Πραγματοποιείται η οικονομική αποτίμηση παρόμοιων επενδύσεων μέσα από χρηματοδοτικά σχήματα και παραδείγματα που υπάρχουν αυτή την εποχή, αυτό πραγματοποιείται για κάθε μικροπηγή ξεχωριστά προσδίδοντας της μια οικονομική ταυτότητα σε όρους κόστους επένδυσης.

Σε επόμενο στάδιο, τη δεύτερη αρνητική χρηματοροή μετά το κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση των εκάστοτε μικροπηγών (βλέποντας το μικροδίκτυο και τους μικροπαραγωγούς του ως μια οντότητα με οικονομικούς – επενδυτικούς όρους) αποτελούν τα κόστη βελτίωσης του ενεργειακού τους προφίλ. Το τελευταίο στάδιο ακολουθεί την κατηγοριοποίηση που έχει ήδη αρχίσει να εφαρμόζεται στο σύνολο του κτηριακού τομέα. Μεταφράζοντας την ενεργειακή κατηγορία στην οποία ανήκει ο κάθε καταναλωτής (φορτίο) του μικροδικτύου και το αντίστοιχο κόστος που απαιτείται για να την επιτύχει, σε διάφορα στάδια μεταβολής μεγεθών κατά τη μοντελοποίηση, σε συνδυασμό με τα κόστη και τα οφέλη (έσοδα) από την εγκατάσταση και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες διανεμημένης παραγωγής αντίστοιχα (Distributed Generation), διαφαίνονται τα συνολικά οικονομικά οφέλη του κάθε καταναλωτή αλλά και του μικροδικτύου συνολικά. Δεδομένη θεωρείται η μελέτη των ηλεκτρικών μεγεθών και της συνολικής ενεργειακής και ηλεκτρικής συμπεριφοράς του μικροδικτύου ως ξεχωριστή οντότητα αλλά και ως παράλληλης λειτουργίας ανάντη δικτύου.

Η μοντελοποίηση του δικτύου με διάφορες πολιτικές έγινε με γνώμονα τα κάτωθι:

- Βελτιστοποίηση ηλεκτρικών μεγεθών (απώλειες, μέγιστο φορτίο) με περιορισμούς τάσεων, θερμικών και ηλεκτρικών ορίων γραμμών κτλ
- Οικονομική βελτιστοποίηση για οικονομική αποτίμηση και αποπληρωμή επενδύσεων σε DG και εξοικονόμησης Ενέργειας (βελτίωση ενεργειακού προφίλ – πιστοποιητικού)
- Κατανομή μονάδων MT, FC
- Συναρτήσεις στοχαστικών δεδομένων όπως του ανέμου, ήλιου
- Τροποποίηση τοπολογίας και ισχύος των ΑΠΕ με γνώμονα το βέλτιστο σημείο και τη διασπορά
- Αντίδραση συνολικού μικροδικτύου στις ανωτέρω μεταβολές
- Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων με γνώμονα τη συνολική κάλυψη ισχύος (καμπύλες με ΑΠΕ και ανάντη δίκτυο για κάλυψη της ζήτησης)
- Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων από τροποποίηση διεύθυνσης και τοπολογίας ΑΠΕ με γνώμονα το συντελεστή φορτίου

Στην υλοποίηση της μοντελοποίησης και βέλτιστης επίλυσης του μικροδικτύου που προαναφέρθηκε συμπεριλαμβάνονται τα στοιχεία και οι θεωρίες των πρότερων κεφαλαίων που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία. Αναλυτικότερα, το μικροδίκτυο ακολουθεί της παραδοχές και τη δομή ενός δικτύου 17 ζυγών του οποίου η τοπολογία διαμορφώνεται ανάλογα με τα σενάρια που παρουσιάζονται. Κατά συνέπεια γίνεται λόγος για ένα δυναμικό μικροδίκτυο το οποίο χαρακτηρίζεται από ευελιξία σχεδιασμού ώστε να ανταποκριθεί στην βελτιστοποίηση μέσα από την οποία αναμένονται τα επιθυμητά αποτελέσματα που αποτελούν την μέτρηση, ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση πολιτικών και στρατηγικών επιλογών αύξησης της διείσδυσης ΑΠΕ και βελτίωσης του ενεργειακού προφίλ των καταναλωτών εντός ενός μικροδικτύου. Επίσης, το συγκεκριμένο μικροδίκτυο αποτελείται από καταναλωτές που ταυτοποιούνται με ένα δείκτη κατανάλωσης ενέργειας ο οποίος σχετίζεται με την ενεργειακή τους αποδοτικότητα και μπορεί να αλλάζει σύμφωνα με τα σενάρια μοντελοποίησης. Τέλος, οι πηγές παραγωγής είναι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που συναντώνται ευρέως ακόμη και στην σημερινή κατάσταση των δικτύων, όπως φωτοβολταϊκά, μικρές ανεμογεννήτριες, μικροτουρμπίνες.

## 6.2.2 Μαθηματική Προσέγγιση

Οι αρχές που διέπουν την ηλεκτρική συμπεριφορά του προς μελέτη δικτύου συνοψίζονται σε ένα σύνολο μαθηματικών τύπων οι οποίοι και εμπεριέχονται στα αρχεία .m του περιβάλλοντος Matlab με το οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη.

### Αντικειμενικές συναρτήσεις

Οι αντικειμενικές συναρτήσεις αλλάζουν από σενάριο σε σενάριο και αποτελούν κατά κύριο λόγο το λειτουργικό κόστος του δικτύου το οποίο και βελτιστοποιείται [34].

Στη συνέχεια παρουσιάζονται η αντικειμενική συνάρτηση ενός σεναρίου και οι περιορισμοί βελτιστοποίησης όπως συντάσσονται στο περιβάλλον matlab.

$$\begin{aligned} \mathbf{f} = & a_{SB} + b_{SB} \cdot x(1) + c_{SB} \cdot x(1)^2 \dots \\ & + a_{MT} + b_{MT} \cdot x(2) + c_{MT} \cdot x(2)^2 \dots \\ & + a_{FC} + b_{FC} \cdot x(3) + c_{FC} \cdot x(3)^2 \dots \\ & + a_{MT} + b_{MT} \cdot x(4) + c_{MT} \cdot x(4)^2 \dots \\ & + a_{MT} + b_{MT} \cdot x(5) + c_{MT} \cdot x(5)^2; \end{aligned}$$

### Ισοζύγιο ισχύος

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ισοζύγιο ισχύος για ένα σενάριο όπου φαίνονται τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες και οι μεταβλητές  $x(i)$  που αποτελούν της καθοδηγούμενες πηγές (MT, FC) [35]. Το ισοζύγιο ισχύος πρέπει να ικανοποιείται σε κάθε ωριαίο βήμα για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου.

$$\begin{aligned} \mathbf{Ceq} = & x(1) + PV6(\text{Period}, \text{day}) + PV15(\text{Period}, \text{day}) + WT7(\text{Period}, \text{day}) \\ & + WT12(\text{Period}, \text{day}) + x(2) + x(3) + x(4) + x(5) - T1el; \end{aligned}$$

### Ανισοτικοί περιορισμοί

Στη συνέχεια παρουσιάζεται οι ανισοτικοί περιορισμοί του ίδιου σεναρίου όπου αφορούν την ισχύ από το ανάντη δίκτυο, τα τεχνικά ελάχιστα και μέγιστη ισχύ των μικροτουρμπίνων και της κυψέλης καυσίμου, δηλαδή όλες τις μεταβλητές που καθορίζονται έπειτα από τη βελτιστοποίηση (είναι το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης).

```
C = [ x(1) - SblimitUp ; SBlimitDo - x(1); % x(1)>=0 <=> -x(1)<=0
      x(2) - MTlimitUp ; MTlimitDo - x(2); % όρια για MT
      x(3) - FClimitUp ; FClimitDo - x(3); % όρια για FC
      x(4) - MTlimitUp ; MTlimitDo - x(4)];
```

### Βασικοί ηλεκτρικοί περιορισμοί

Κάποιοι από τους βασικούς περιορισμούς που εισάγονται στην επίλυση του μικροδικτύου είναι οι παρακάτω:

- Να ικανοποιείται η ζήτηση από τις μικροπηγές και το ανάντη μαζί
- Οι τάσεις να είναι μέσα στα όρια
- Οι γραμμές να αποφεύγουν την υπερφόρτιση (αυστηρή τήρηση ορίων)

Αφότου σχηματιστούν οι εξισώσεις κόστους για όλο το σύστημα, ανάλογα με τις μικροπηγές που συμμετέχουν στο εκάστοτε σενάριο, διαμορφώνουμε το αντίστοιχο πρόβλημα [48]. Αυτό αποτελεί πρόβλημα Οικονομικής Κατανομής Φορτίου (Economic Dispatch, ED), με την επίλυση του οποίου καταλήγουμε στο ποσό ισχύος που θα πρέπει κάθε μονάδα να εγγχεί στο δίκτυο, ανάλογα πάντα με τις συνθήκες που επιβάλλει το εκάστοτε σενάριο. Εδώ να σημειώσουμε ότι η παραγωγή των ΑΠΕ δεν υπόκειται σε περιορισμό, με άλλα λόγια όση ισχύ έχουν διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή, με αυτή τροφοδοτούν τα φορτία.

Για την επίλυση όλων των προβλημάτων χρησιμοποιήθηκε όπως προαναφέρθηκε το περιβάλλον Matlab. Αφού πρώτα διατυπώθηκε το ανάλογο πρόβλημα για κάθε σενάριο, τροφοδοτήθηκαν τα δεδομένα των συνδέσεων μεταξύ των ζυγών, η ζήτηση σε κάθε ζυγό αλλά και η παραγωγή του κάθε ζυγού τη δεδομένη ώρα της ημέρας μαζί με τους περιορισμούς αέργου ισχύος όλων των ζυγών σε πρόγραμμα που υπολογίζει τη ροή φορτίου σε κάθε κλάδο του δικτύου με τη μέθοδο Newton-Raphson. Από αυτό εξάγονται σημαντικά δεδομένα όπως η ισχύς κάθε ζυγού, οι απώλειες μεταξύ των γραμμών, οι συνολικές απώλειες του δικτύου, κ.ά [46]. Σε περίπτωση που η εισαγωγή ισχύος από το σύστημα που υπολόγιζε το πρόγραμμα μας απέκλινε σημαντικά από αυτή που υπολόγιζε το πρόγραμμα ροής φορτίου, τότε επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία μέχρι οι δύο τιμές να συγκλίνουν αισθητά.

### Εξαγόμενα Μεγέθη

Μερικά από τα σημαντικότερα μεγέθη, ηλεκτρικά και οικονομικά που εξάγονται μετά την επαναληπτική διαδικασία επίλυσης του εκάστου σεναρίου είναι τα παρακάτω.

- Κόστος λειτουργίας
- Απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές μεταφοράς
- Εγγεόμενη ισχύς από το ανάντη δίκτυο
- Παραγωγή των μικροτουρμπίνων

- Παραγωγή της κυψέλης καυσίμου
- Υπερφορτίσεις γραμμών μεταφοράς
- Προβλήματα τάσεων στους ζυγούς (όριο  $\pm 3\%$  στην p.u. τιμή)

### 6.2.3 Οικονομική Βελτιστοποίηση του Μικροδικτύου

Ακολουθείται μοντελοποίηση του μικροδικτύου που λαμβάνει διάρκεια ενός έτους (12 μήνες x 30 ημέρες) με παραδοχές που αφορούν:

- Τη λειτουργία του μικροδικτύου η οποία μοντελοποιείται ως συνολικό δίκτυο που ζητά. Βεβαίως ο διαχωρισμός και η επιμέρους παραγωγή ή κατανάλωση παρουσιάζεται στην ανάλυση των επιμέρους στοιχείων του.
- Τη σταθερότητα από πλευράς εγκαταστάσεων (δεν μεταβάλλονται οι μικροπηγές και οι καταναλωτές) του μικροδικτύου κατά τη χρονική περίοδο αυτή.
- Την τιμολογιακή του πολιτική και λειτουργία ως μικροπηγές που είναι συνδεδεμένες οπουδήποτε στο δίκτυο, χωρίς δηλαδή να διέπονται από έλεγχο και ενεργειακές αγορές σε επίπεδο μικροδικτύου.

Με γνώμονα την οικονομική αποτίμηση της συνολικής μοντελοποίησης των διαφόρων πολιτικών που θα δοκιμαστούν, παρουσιάζονται παρακάτω τα κύρια μεγέθη που επηρεάζουν το μικροδίκτυο από οικονομική σκοπιά και κυρίως βιώσιμη επενδυτικά οπτική. Οι τιμές για τα οικονομικά μεγέθη που παρουσιάστηκαν για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και άλλα που διατυπώνονται στη συνέχεια, συλλέχτηκαν και επιλέχτηκαν βάση τιμών που υπάρχουν τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο στην αγορά (για τα μεν κόστη επενδύσεων και υλοποίησης μονάδων ΑΠΕ και ενεργειακών βελτιώσεων) και στους εμπλεκόμενους φορείς ενέργειας (για τις τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας) μέσω τιμολόγιων και νόμων που έχουν εγκριθεί.

Για τη δομή του μικροδικτύου που επιλέχτηκε θεωρείται σε κάθε σενάριο πως οι καταναλωτές ικανοποιούν τις θερμικές τους ανάγκες μέσω αντλιών θερμότητας που αποτελούν την πλέον σύγχρονη και αποδοτική αντιμετώπιση των θερμικών αναγκών (πλην CHP) και κατά συνέπεια κάθε σενάριο που μελετάται δεν παρουσιάζει θερμικές ανάγκες διότι αυτές θεωρείται πως έχουν ενσωματωθεί στις ηλεκτρικές ανάγκες του κάθε καταναλωτή.

#### Αντικειμενικές Συναρτήσεις

Η μοντελοποίηση του δικτύου έγινε με γνώμονα την οικονομική βελτιστοποίηση (ελαχιστοποίηση) του λειτουργικού του κόστους για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών του. Για την επίτευξη βελτιστοποίησης καταστρώνεται σε κάθε σενάριο αντικειμενική συνάρτηση λειτουργικού κόστους, η οποία και βελτιστοποιείται σε ωριαία βάση για ένα ολόκληρο χρόνο. Η αντικειμενική συνάρτηση σχεδόν σε κάθε σενάριο αποτελεί το λειτουργικό κόστος του μικροδικτύου και περιέχει τα επιμέρους λειτουργικά κόστη των μικροπηγών και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Η γενικευμένη αντικειμενική συνάρτηση παρουσιάζεται παρακάτω:

$$f(P_i, P_{\text{ανάντη}}) = \sum (a_i + b_i * P_i + c_i * P_i^2) + price * P_{\text{ανάντη}}$$

Όπου το  $f$  είναι η αντικειμενική συνάρτηση (συνάρτηση λειτουργικού κόστους των μονάδων που ελέγχονται) του μικροδικτύου και η οποία για κάθε ώρα βελτιστοποιείται (ελαχιστοποίηση). Τα  $a$ ,  $b$ ,  $c$  είναι οι συντελεστές κόστους στις πολυωνυμικές συνάρτησης κόστους των μικροπηγών όπως έχουν προαναφερθεί.  $P_i$  είναι η παραγωγή ισχύος της κάθε μικροπηγής,  $P_{ανάντη}$  η ισχύς από το ανάντη δίκτυο και  $p_{price}$  η τιμή αγοράς της ενέργειας αυτής (θεωρείται σταθερή ισχύς για μίας ώρα) και μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε μια χρονοσειρά που διατυπώνει την ΟΤΣ (οριακή τιμή συστήματος).

Πρέπει να σημειωθεί πως οι μικροπηγές που λαμβάνουν μέρος στην αντικειμενική σε ότι αφορά τη βελτιστοποίηση της είναι οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου καθώς η παραγωγή των ΑΠΕ είναι στοχαστική και σε οποιαδήποτε περίπτωση προκαθορισμένη στην όλη διαδικασία μέσω χρονοσειρών εισόδου. Παρόλα αυτά, όπως έχει ειπωθεί σε προηγούμενη υποενότητα, το κόστος αυτό συμπεριλαμβάνεται στο τελικό συνολικό κόστος λειτουργίας, προσθετικά, μετά τη διαδικασία βελτιστοποίησης.

Η βελτιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης επιτυγχάνεται με τη συνάρτηση `fmincon` του περιβάλλοντος `matlab` όπου ελαχιστοποιεί μια οποιαδήποτε συνάρτηση (εδώ την αντικειμενική) ικανοποιώντας ισοτικούς και ανισοτικούς περιορισμούς που εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση. Από μαθηματική σκοπιά η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται με μέθοδο Lagrange καθώς σε κάθε σενάριο το πρόβλημα που καταστρώνεται είναι πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού χωρίς ασυνέχειες [45]. Κατά συνέπεια η μέθοδος Lagrange ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια και την ταχύτητα που χρειάζεται η προσομοίωση για την διαχείρισης τόσων πολλών δεδομένων και επαναλήψεων. Περισσότερη ανάλυση για μεθοδολογίες βελτιστοποίησης έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 5. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος από την χρήση της συνάρτησης `fmincon` όπως αναφέρεται στο περιβάλλον `Matlab` με αντίστοιχη επεξήγηση της διαδικασίας που πραγματοποιεί [30].

## Equation

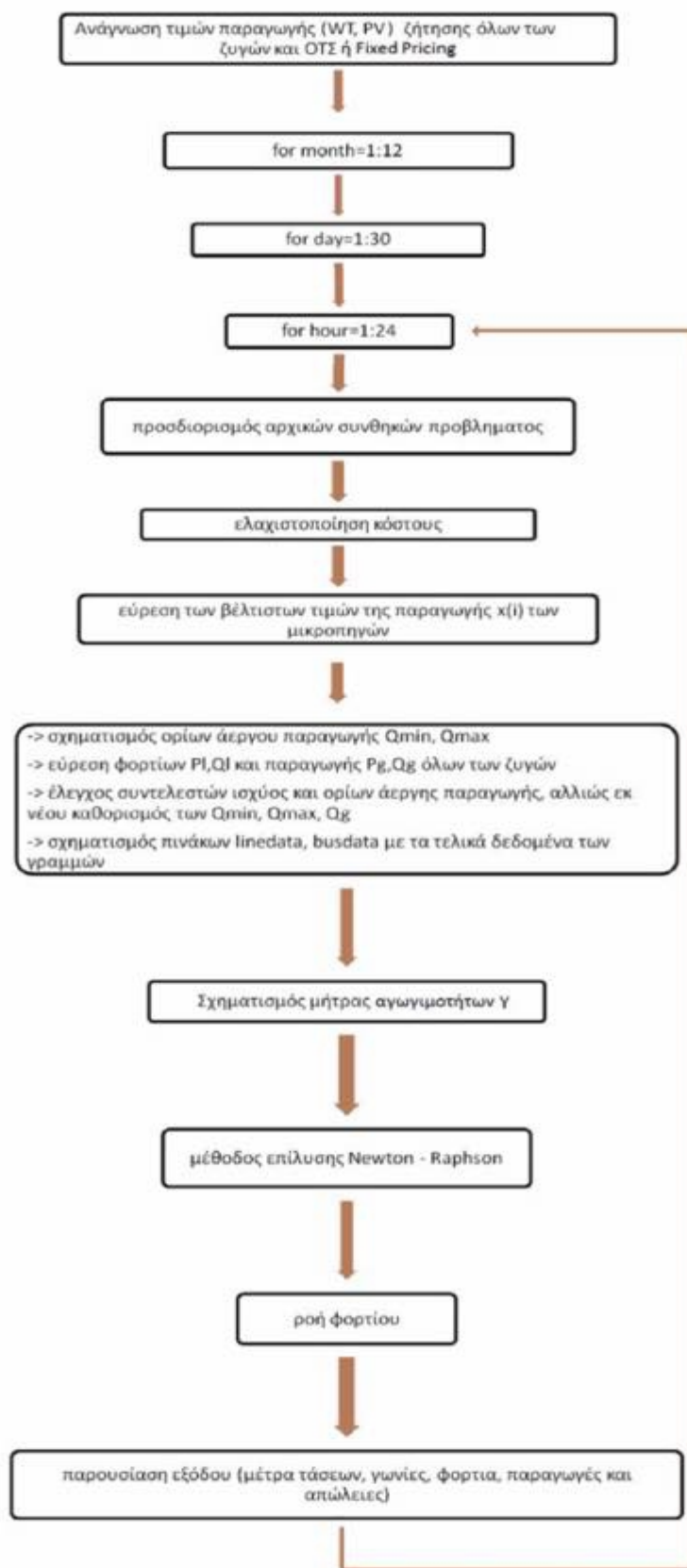
Finds the minimum of a problem specified by

$$\min_x f(x) \text{ such that } \begin{cases} c(x) \leq 0 \\ ceq(x) = 0 \\ A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq \\ lb \leq x \leq ub, \end{cases}$$

$b$  and  $beq$  are vectors,  $A$  and  $Aeq$  are matrices,  $c(x)$  and  $ceq(x)$  are functions that return vectors, and  $f(x)$  is a function that returns a scalar.  $f(x)$ ,  $c(x)$ , and  $ceq(x)$  can be nonlinear functions.

### 6.2.4 Αλγόριθμος Προσομοίωσης

Για την πραγματοποίηση της επίλυσης του δικτύου σε κάθε περίπτωση – σενάριο χρησιμοποιήθηκε επαναληπτική διαδικασία κλήσεις αρχείων στο περιβάλλον `matlab`. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο επαναληπτικός αλγόριθμος που ακολουθήθηκε σε επίπεδο κλήσης αρχείων και λογικής ροής για την ωριαία βελτιστοποίηση του δικτύου.



Σχήμα 6.8 Λογικό διάγραμμα αλγορίθμου προσομοίωσης σεναρίων

## 6.2.5 Τιμολόγηση Καταναλωτών

Στα σενάρια μοντελοποίησης (πλην των τιμολογιακών πολιτικών) εφαρμόζονται δύο μοντέλα τιμολόγησης των καταναλωτών για την ενέργεια που λαμβάνεται από το ανάντη δίκτυο.

Το πρώτο είναι η σταθερή τμηματική τιμολόγηση σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση τους σε οικιακούς (res), εμπορικούς (com) και βιοτεχνικούς- βιομηχανικούς (ind). Στην τιμολόγηση αυτή εφαρμόζονται τιμές μέσα από τα τρέχοντα τιμολόγια της ΔΕΗ για τις αντίστοιχες κατηγορίες καταναλωτών [47]. Κατά συνέπεια οι τιμές αγοράς ενέργειας από το ανάντη δίκτυο είναι αυτές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Είδος Καταναλωτή	Κόστος Ενέργειας (€/kWh)
Οικιακό (Γ1)	0,09460
Εμπορικό (Γ21)	0,10153
Βιοτεχνικό (Γ21B)	0,10153

Πίνακας 6.5 Σταθερές τιμές τιμολόγησης ενέργειας από το ανάντη δίκτυο

Το δεύτερο μοντέλο τιμολόγησης το οποίο και χρησιμοποιείται σε όλα τα σενάρια για λόγους σύγκρισης, αφορά τιμές που αλλάζουν ανά ώρα (ΟΤΣ – οριακές τιμές συστήματος) και κατά συνέπεια επηρεάζουν ανά ώρα τη βελτιστοποίηση του προς μελέτη δικτύου.



Σχήμα 6.9 Οριακή Τιμή ανάντη δικτύου για μια καλοκαιρινή και μια χειμερινή ημέρα



## 6.2.6 Ενεργειακή Αναβάθμιση Καταναλωτών

Για την επιλογή μοντέλου που να προσομοιώνει τη συμπεριφορά των καταναλωτών ως προς την ενεργειακή αναβάθμιση (το εάν και πόσο αναβαθμίστηκαν ενεργειακά), επιλέχθηκαν τρεις κανονικές κατανομές για κάθε κατηγορία καταναλωτή. Οι μέσοι όροι  $\mu$  και οι τυπικές αποκλίσεις  $\sigma$  παρουσιάζονται σε παρακάτω πίνακα. Η κατανομή καθόρισε το πώς θα κινηθούν οι ενεργειακές αναβαθμίσεις (κατά συνέπεια μειώσεις του φορτίου) με γνώμονα της ετήσιες MWh που εξοικονομούνται από την αυτή τη διαδικασία ως προς το κτήριο αναφοράς της κάθε κατηγορίας καταναλωτών. Το μείγμα αναβαθμίσεων που επετεύχθη μέσα από την κατανομή αυτή, μας δίνει μια συνολική μείωση (εξοικονόμηση ενέργειας) ως προς τα αρχικά φορτία της τάξης του 26,52% στο συνολικό φορτίο δικτύου. Η τιμές της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης έδωσαν το ποσοστό αυτό που είναι πολύ κοντά σε πραγματικά δεδομένα που θα επιθυμούσε να επιτύχει μια χώρα μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Αυτό το ποσοστό είναι :

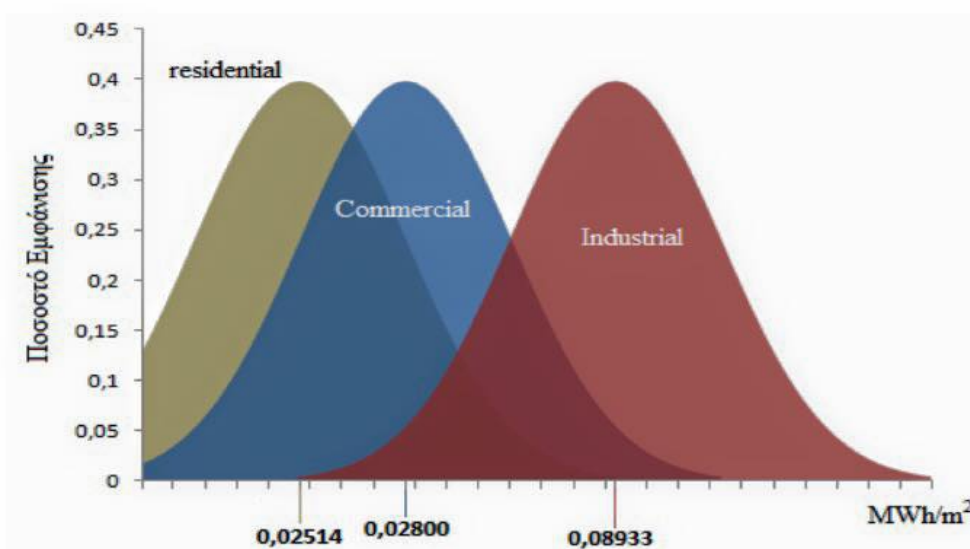
$$y = f(x | \mu, \sigma) = (1/\sigma * \sqrt{2\pi}) e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της κανονικής κατανομής που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς αντίδρασης στην ενεργειακή αναβάθμιση για κάθε κατηγορία.

Κατηγορία	Μέσος Όρος ( $\mu$ ) MWh/m <sup>2</sup>	Τυπική Απόκλιση ( $\sigma$ ) $\sqrt{\text{MWh/m}}$
Residential	0,02514	0,01764
Commercial	0,02800	0,02751
Industrial	0,08933	0,04062

Πίνακας 6.6 Οι μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για κάθε κατηγορία

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι 3 κανονικές κατανομές της συμπεριφοράς των καταναλωτών στην ενεργειακή αναβάθμιση.



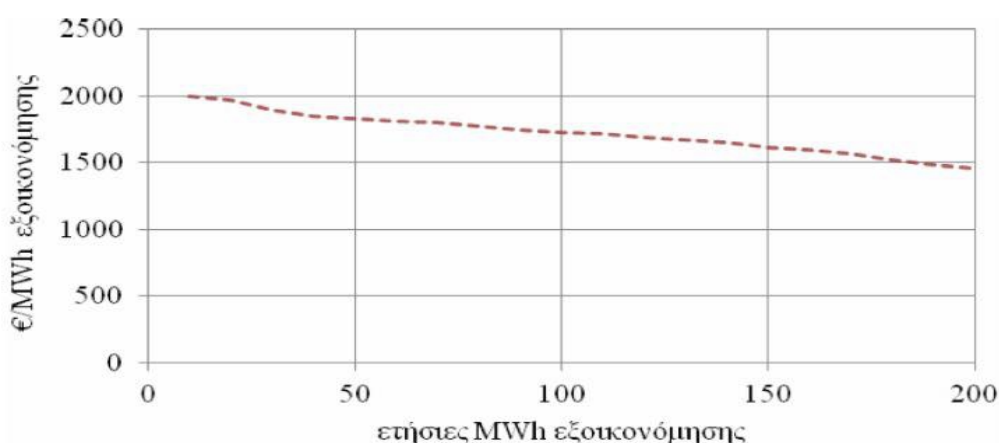
Σχήμα 6.10 Οι κανονικές κατανομές συμπεριφοράς καταναλωτών στην ενεργειακή αναβάθμιση

Κατά συνέπεια με την υπόδειξη της συμπεριφοράς από τις κατανομές που περιγράφηκαν, επιλέγονται οι αλλαγές σε ενεργειακή κατηγορία που θα γίνει σε κάθε έναν από τους καταναλωτές του δικτύου. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, οι καταναλωτές θεωρείται πως καλύπτουν της θερμικές τους ανάγκες μέσω αντλιών θερμότητας υψηλής απόδοσης και κατά συνέπεια τα μεγέθη ενέργειας που εξοικονομούν εμφανίζουν αρκετά μεγάλα ποσοστά εξοικονόμησης που είναι σχετικώς δύσκολα να εμφανιστούν σε αμιγώς ηλεκτρικά φορτία. Ούτως, σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρεται πως η ενεργειακή αναβάθμιση αφορά πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας σε ηλεκτρικά συστήματα, πρωτίστως βελτιώσεις στις θερμικές ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου. Στο αντίστοιχο σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης που μελετάται στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με την ενεργειακή αναβάθμιση του κάθε καταναλωτή του δικτύου ως πέρασμα από τη μια κατηγορία στην άλλη και ως ποσοστό ενέργειας που μειώθηκε μετά την εκάστοτε επεμβατική λύση. Στο σενάριο της ενεργειακής βελτίωσης των προφίλ ζήτησης των καταναλωτών θεωρείται πως η μείωση στην ενέργεια αφορά κάθε στιγμή κατά συνέπεια είναι μια μετατόπιση της χρονοσειράς φορτίου για τον κάθε καταναλωτή ως προς την εξοικονόμηση όπου επιτεύχθηκε μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης.

Κατά την πολιτική ενεργειακής αναβάθμισης των καταναλωτών του δικτύου, ο υπολογισμός κόστους για αλλαγή ενεργειακής κατηγορίας εξετάστηκε σύμφωνα με την παρακάτω μεθοδολογία. Θεωρείται πως το κτίριο αναφοράς (ενεργειακή κατηγορία B) για κάθε μια από τις τρεις κατηγοριοποιήσεις καταναλωτών αποτελεί τη βάση κατανάλωσης ενέργειας. Οποιαδήποτε άλλη κατηγορία αποτελεί αυξομείωση των συνολικών ενεργειακών αναγκών της κατηγορίας αναφοράς (B). Για το συγκεκριμένο πρόβλημα προσδιορισμού του κόστους ενεργειακής αναβάθμισης αναπτύχθηκε ένα μοντέλο που βασίζεται στην ενεργειακή κατηγορία αναφοράς και επηρεάζεται άμεσα από την συνολική κατανάλωση που εμφανίζει κάθε καταναλωτής ώστε να γίνει αναγωγή και τιμολόγηση κόστους επένδυσης σύμφωνα με τον καταναλωτή βάσης.

Έτσι, διατυπώνεται το κόστος βελτίωσης από την ενεργειακή κατηγορία  $i$  στην ενεργειακή κατηγορία  $j$  για κάθε καταναλωτή δίνεται από τη σχέση:

$$Cost_{i \rightarrow j} = a * (i - j) * (0,0003 s^3 - 2,6106 s^2 + 1989,4 s) \quad (\text{€})$$



Σχήμα 6.11 Διακύμανση κόστους αναβάθμισης €/MWh

Με  $i$  την αρχική κατηγορία του καταναλωτή,  $j$  την κατηγορία έπειτα από την ενεργειακή αναβάθμιση. Όπου τα  $i, j$  παίρνουν τιμές σύμφωνα με τον αύξοντα αριθμό της ενεργειακής κατηγορίας όπου  $A \rightarrow 1, B \rightarrow 2, \Gamma \rightarrow 3, \Delta \rightarrow 4, E \rightarrow 5$ . Επίσης το  $a$  παίρνει την τιμή 1 για τους οικιακούς καταναλωτές, 1,1 για τους εμπορικούς και 1,2 για τους βιοτεχνικούς καταναλωτές.

Τέλος, το  $s$  υποδηλώνει τις MWh που εξοικονομήθηκαν (MWh saving) μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης. Έτσι, για κάθε είδος καταναλωτή, με υπολογισμούς από τιμές αγοράς και πληροφορίες από αντίστοιχες αναβαθμίσεις ενεργειακών κατηγοριών και με τις παραδοχές του δικτύου προς μοντελοποίηση δημιουργούνται οι πίνακες κόστους αναβάθμισης ενεργειακής κατηγορίας για όλους τους συνδυασμούς.

### 6.2.7 Ελαστικότητα Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται ένα μοντέλο αντίδρασης των καταναλωτών σε αυξήσεις της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας [42]. Από μόνο του το πρόβλημα της συμπεριφοράς ενός καταναλωτή σε οποιοδήποτε προϊόν αποτελεί πολύ σημαντική πληροφορία για τον κλάδο του προϊόντος και σχετίζεται με την ανάπτυξη του αλλά και την ικανοποίηση του καταναλωτή. Στην περίπτωση της ενέργειας, οι συμπεριφορές των καταναλωτών δεν έχουν έως τώρα αποτυπωθεί μέσω κάποιας ενδεδειγμένης μελέτης, ούτε είναι εύκολο και οικονομικό αυτό να γίνει. Μια προϋπόθεση της άντλησης τέτοιου είδους νευραλγικής πληροφορίας αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές και κατ' επέκταση τα έξυπνα δίκτυα όπου η πληροφορία της κατανάλωσης είναι διαθέσιμη σε πραγματικό χρόνο αλλά και υποθηκεύσιμη για οποιαδήποτε ιστορική χρήση.

Στα σενάρια που μελετούνται και αφορούν τιμολογιακές πολιτικές εισάγεται η έννοια της ελαστικότητας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τιμή, με χρήση της έννοιας όπως και σε οποιοδήποτε άλλο προϊόν. Γενικότερα, ελαστικότητα αποτελέσματος  $Y$  ως προς αιτία  $X$ , ορίζεται η ποσοστιαία μεταβολή του  $Y$  εφόσον το  $X$  μεταβληθεί 1% και όλοι οι άλλοι παράγοντες που ενδεχομένως επηρεάζουν το  $Y$  παραμένουν αμετάβλητοι. Η ζήτηση αγαθού όπως ορίζεται από τη συνάρτηση ζήτησης εξαρτάται από το εισόδημα και τις τιμές των αγαθών. Στη συνέχεια ορίζεται η ελαστικότητα ζήτησης ως προς ίδια τιμή:

Ελαστικότητα ζήτησης ως προς την ίδια τιμή του (own price-elasticity) ως προς την κοινή συνάρτηση ζήτησης:

$$\varepsilon_{y/x} = \frac{\frac{Y_1 - Y_0}{Y_0}}{\frac{X_1 - X_0}{X_0}} = \frac{\frac{\Delta Y}{Y}}{\frac{\Delta X}{X}} = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln X}$$

Αν  $\varepsilon_{y/x} > 0$  τα δύο μεγέθη αλλάζουν προς την αντίθετη κατεύθυνση ενώ αν  $\varepsilon_{y/x} = 0$  τα δύο μεγέθη είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους. Επίσης, αν  $|\varepsilon_{y/x}| > 1$  η συσχέτιση των δύο μεγεθών είναι μεγεθυντική, αν  $|\varepsilon_{y/x}| < 1$  η συσχέτιση των δύο μεγεθών είναι προς σμίκρυνση και αν  $|\varepsilon_{y/x}| = 1$  η συσχέτιση των δύο μεγεθών είναι γραμμική.

Συγκεκριμένα για το πρόβλημα της κατάστρωσης πίνακα ελαστικότητας ζήτησης ενέργειας ως προς την τιμή ενέργειας για κάθε καταναλωτή του δικτύου, η ελαστικότητα ορίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_D / P_{D1}}{\Delta Price / Price1}$$

Όπου  $\Delta P_D$  είναι η αύξηση/μείωση της ζήτησης ενέργειας,  $P_{D1}$  είναι η αρχική ζήτηση,  $\Delta Price$  δηλώνει την αύξηση της τιμής ενέργειας και  $Price1$  είναι η αρχική τιμή.

Στην εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής, ο κάθε καταναλωτής ταυτίζεται πέραν από τις προηγούμενες ιδιότητες του και με μία ενεργειακή ελαστικότητα [38]. Ως ενεργειακή ελαστικότητα ορίζεται η ποσοστιαία αντίδραση (ευαισθησία) του εκάστοτε καταναλωτή στην αυξομείωση της τιμολόγησης της ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Κατά συνέπεια δημιουργείται πλέον ένα διάνυσμα ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν κάθε καταναλωτή και αποτελεί μοναδικό χαρακτηριστικό για τον καθένα [39]. Αυτό το διάνυσμα αποτελείται από το ζυγό στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο καταναλωτής, το είδος του καταναλωτή, την ενεργειακή κατηγορία στην οποία ανήκει και την ενεργειακή ελαστικότητα που τον χαρακτηρίζει.

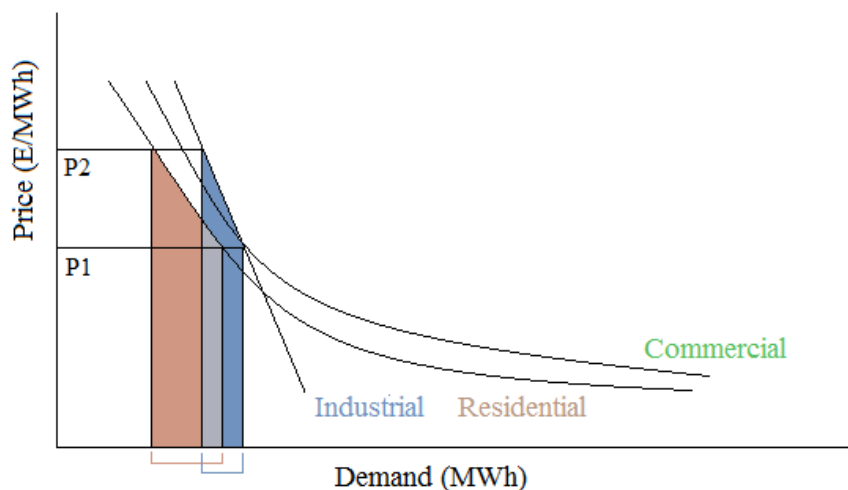
$$W_i = [n, p, d, t, k, e]_i$$

Όπου, **n** είναι ο ζυγός του καταναλωτή (Ζυγός Αναφοράς, Ζυγός Παραγωγής, Ζυγός Φορτίου), **p** η ωριαία ηλεκτρική ή/και θερμική παραγωγή της μονάδας ή των μονάδων ΔΠ του εξεταζόμενου καταναλωτή, **d** η ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ή/και θερμικής ενέργειάς του, **t** το είδος του καταναλωτή (Οικιακός, Εμπορικός, Βιοτεχνικός/Βιομηχανικός), **k** η ενεργειακή κατηγορία που χαρακτηρίζει τον καταναλωτή (A<sup>+</sup>, B, Γ, Δ, E), **e** η ελαστικότητα κατανάλωσης ενέργειας προς την τιμή (για δεδομένα **p**, **d**, **t**, **k**).

Στα σενάρια που αφορούν ελαστικότητα εφαρμόζονται ποσοστιαίες αυξήσεις στην τιμολόγηση της ενέργειας και παρατηρείται η αντίδραση του Μικροδικτύου και το σημείο στο οποίο αρχίζει και γίνεται επιτακτική η ανάγκη αύξησης της διείσδυσης μονάδων ΔΠ ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος λειτουργίας του δικτύου. Σημαντικό πρόβλημα για τη συγκεκριμένη μοντελοποίηση αποτελεί η συμπεριφορά των καταναλωτών σε αύξηση της τιμής, ουσιαστικά η κατάστρωση του πίνακα ελαστικοτήτων για κάθε έναν από τους καταναλωτές του δικτύου. Κατά αυτή την έννοια πρέπει να αντιμετωπιστούν δύο προβλήματα που εμπεριέχουν μεγάλη ασάφεια και στοχαστικότητα. Το πρώτο είναι με ποιο τρόπο συμπεριφέρεται ο καταναλωτής και το δεύτερο ο βαθμός αντίδρασης του ως τιμή πλέον της ελαστικότητάς του. Με την προηγούμενη μαθηματική διατύπωση της ελαστικότητας αυτά τα δύο προβλήματα καταλήγουν σε έναν πίνακα ελαστικοτήτων που το πρόσημο και η απόλυτη τιμή τους εμπεριέχουν τα ανωτέρω χαρακτηριστικά. Για την επιλογή ελαστικοτήτων για κάθε καταναλωτή χρησιμοποιήθηκε, όπως και για την επιλογή στην κατάστρωση του πίνακα ενεργειακής αναβάθμισης, η κανονική κατανομή με επιλογές όμως αυτή τη φορά που να υποδηλώνουν μεγαλύτερη αντίδραση συνολικά ως οικιακών καταναλωτών, λιγότερο για τον εμπορικό κλάδο και σχετική ανελαστικότητα στους βιομηχανικούς καταναλωτές.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα που αναφέρει τις γενικές αρχές αντίδρασης (ευαισθησίας) στην αύξηση τιμών ενέργειας και το οποίο ακολουθήθηκε για την γενικευμένη συμπεριφορά του εκάστοτε είδους καταναλωτή [40].

Στα αντίστοιχα σενάρια τιμολογιακής πολιτικής καταστρώνονται οι πίνακες και η ταυτοποίηση με τη χρήση ελαστικοτήτων, της συμπεριφοράς κάθε καταναλωτή ξεχωριστά στην αύξηση της τιμής της ενέργειας με όποιο τρόπο και αν αυτή εφαρμοστεί (ΟΤΣ, σταθερά τιμολόγια, διακριτική τιμολόγηση).



Σχήμα 6.12 Ελαστικότητες ζήτησης ενέργειας ως προς τιμή

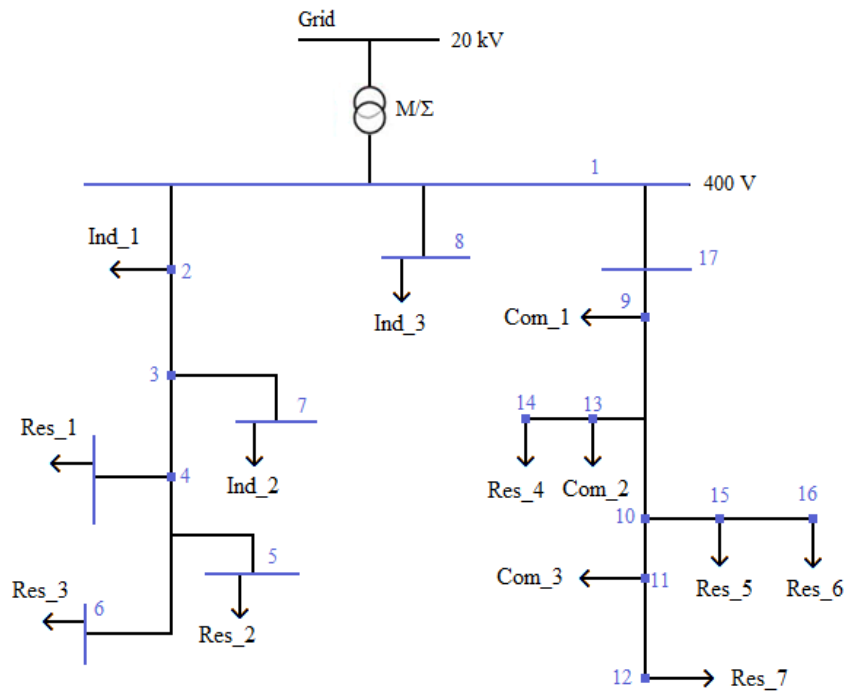
### 6.2.8 Πολιτικές και Σενάρια Λειτουργίας

Τα σενάρια που αναπτύσσονται στην μοντελοποίηση του ανωτέρω μικροδικτύου εμπεριέχονται όλα τα αληθινά σενάρια εξέλιξης ενός σημερινού μικροδικτύου [28]. Κατά συνέπεια, αναλύεται η σημερινή κατάσταση ενός μικροδικτύου χωρίς μικροπηγές (δισπαρμένη παραγωγή) και καταναλωτές που έχουν ένα ενεργοβόρο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας [36]. Στη συνέχεια με βήματα που καθορίζονται από σαφή επεξήγηση η ηλεκτρική δομή του μικροδικτύου βελτιώνεται εντάσσοντας μονάδες δισπαρμένης παραγωγής και βελτιώνοντας το ενεργειακό προφίλ των καταναλωτών του οι οποίοι εναρμονίζονται σε νέα πρότυπα ενεργειακής διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας [43].

Τέλος, μελετούνται οι αντιδράσεις του δικτύου και των καταναλωτών του στην τιμολόγηση της ενέργειας σύμφωνα με μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών στην αλλαγή τιμολογιακών πολιτικών λειτουργίας. Αναλυτικότερα, παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες οι πολιτικές μοντελοποίησης και τα εκάστοτε σενάρια λειτουργίας του μικροδικτύου.

### 6.3 Μοντελοποίηση Απλού Δικτύου

Το απλό δίκτυο είναι όπως έχει προαναφερθεί και αναλυθεί. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στη συνέχεια.



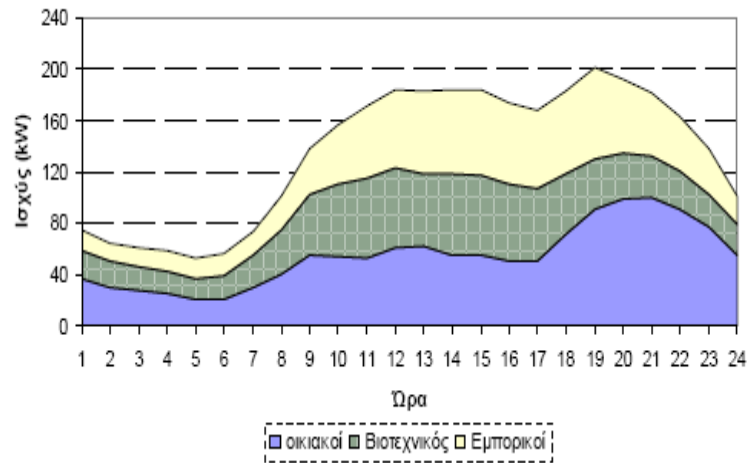
Σχήμα 6.13 Αρχικό δίκτυο με κατηγοριοποιημένους καταναλωτές

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τις αρχική ενεργειακή κατηγορία που φέρει ο κάθε καταναλωτής και αποτελεί χαρακτηριστικό του.

Ζυγός	Καταναλωτής	Αρχική Ενεργειακή Κατηγορία
4	Res 1	A
5	Res 2	Δ
6	Res 3	Γ
14	Res 4	B
15	Res 5	E
16	Res 6	Δ
12	Res 7	Γ
9	Com 1	B
13	Com 2	Γ
11	Com 3	E
2	Ind 1	Γ
7	Ind 2	B
8	Ind 3	E

Πίνακας 6.7 Αρχικές ενεργειακές κατηγορίες καταναλωτών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το φορτίο του μικροδικτύου και χρωματικά κατηγοριοποιούνται οι καταναλωτές σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς [37].



Σχήμα 6.14 Συνολικό φορτίο δικτύου και κατηγοριοποίησή του (1 Απριλίου)

### 6.3.1 Απλό Δίκτυο με ΟΤΣ (No\_DG OTS)

Στο σενάριο αυτό υπάρχει παντελής έλλειψη οποιασδήποτε μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικροτουρμπίνες και κυψέλες καυσίμου). Οι καταναλωτές είναι μοιρασμένοι όπως έχει προαναφερθεί σε τρεις κατηγορίες και όλοι ικανοποιούν τη ζήτησης φορτίου με ενέργεια αποκλειστικά από το ανάντη δίκτυο. Η τιμολόγηση αυτής της ενέργειας ακολουθεί τις αυξομειώσεις της οριακής τιμής συστήματος όπως προαναφέρθηκε. Στο σενάριο αυτό δεν έχει εφαρμογή η έννοια της βελτιστοποίησης λειτουργικού κόστους καθώς δεν υπάρχει άλλη επιλογή πέραν αυτής του ανάντη δικτύου. Κατά συνέπεια με εκτέλεση αλγορίθμων ροής φορτίου υπολογίζονται οι τάσεις των ζυγών, οι φορτίσεις των γραμμών, η ικανοποίηση φορτίων και οι απώλειες στο δίκτυο για ένα έτος με ωριαίο βήμα επανάλυσης.

Το σενάριο αυτό αποτελεί τη βάση σύγκρισης για οποιαδήποτε άλλη πολιτική εφαρμόζεται στο δίκτυο διότι είναι η εικόνα του απλού δικτύου που δεν φέρει κανένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ως προς την αυτονομία του και τη φιλοσοφία διεσπαρμένης παραγωγής. Ένα χαρακτηριστικό που αναμένεται να έχει μεγάλη σημασία κατά τη σύγκριση των σεναρίων είναι η τιμή των απωλειών που θα εμφανίζει αυτό το σενάριο. Αναμένεται οι απώλειες να είναι μεγαλύτερες από οποιαδήποτε άλλη τοπολογία δικτύου με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Το σχήμα του δικτύου του βασικού αυτού σεναρίου παρουσιάζεται στη συνέχεια. Φαίνονται οι καταναλωτές με τις κατηγοριοποιήσεις που έχουν ταυτιστεί και επίσης η πλήρης έλλειψη ΑΠΕ, μικροτουρμπίνων και κυψελών καυσίμου.

Σε αυτό το σενάριο λαμβάνεται υπόψη μια χρονοσειρά τιμών ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου αλλάζει σε επίπεδο ώρας και αποτελεί την Οριακή Τιμή Συστήματος όπου τις ώρες αιχμής (και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες) είναι υψηλή ενώ της ώρες που το φορτίο βρίσκεται στη ζώνη βάσης μειώνεται. Έχει ήδη παρουσιαστεί ενδεικτικό σχήμα με χρονοσειρά ΟΤΣ για μια ημέρα καλοκαιριού και μια ημέρα χειμώνα στο ίδιο διάγραμμα ώστε να φανεί η ανωτέρω διαφορά.

### 6.3.2 Απλό Δίκτυο με Σταθερή Τμηματική Τιμολόγηση (No\_DG Fixed pricing)

Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με τιμολόγηση ενέργειας μέσω fixed τιμών για κάθε ένα από τα τρία είδη καταναλωτή.

Σε αυτό το σενάριο μοντελοποιείται το δίκτυο ως απλό μέρος δικτύου με Μ/Σ Μ.Τ/Χ.Τ. όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Το υπό εξέταση δίκτυο αποτελείται από καταναλωτές Χ.Τ. όπου κατηγοριοποιούνται σε τρία είδη (οικιακοί, εμπορικοί και βιοτεχνικοί – βιομηχανικοί) όπου ο καθένας εμφανίζει μία διαφορετική ενεργειακή συμπεριφορά (ετήσιο ενεργειακό προφίλ). Επιπλέον αν και δεν έχει ενδιαφέρον για αυτό το σενάριο ο κάθε καταναλωτής πλην της ανωτέρω κατηγοριοποίησης, φέρει και την ένδειξη της ενεργειακής κατηγορίας στην οποία ανήκει όπως ακολουθείται και από την νομοθεσία του Κανονισμού ενεργειακής Απόδοσης (Κ.Εν.Α.Κ). Η ενέργεια για την ικανοποίηση των καταναλωτών εισέρχεται αποκλειστικά μέσω του ανάντη δικτύου καθώς υπάρχει απουσία οποιασδήποτε μικροπηγής.

Για την τιμολόγηση αυτής της ενέργειας εισάγεται η μεθοδολογία τμηματικής τιμολόγησης ακολουθώντας την ανωτέρω κατηγοριοποίηση. Δηλαδή εφαρμόζεται ξεχωριστή τιμολόγηση για κάθε ένα είδος από τα τρία των ανωτέρω καταναλωτών σύμφωνα με τρέχοντα τιμολόγια της ΔΕΗ. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το δίκτυο όπως περιγράφηκε πριν. Η μοντελοποίηση του δικτύου αποτελεί σενάριο βάσης για σύγκριση κάθε ενέργειας ή μεταβολής με αυτό. Στόχος μέσα από αυτή τη σύγκριση είναι η ποσοτικοποιημένη εμφάνιση των αποτελεσμάτων (θετικών ή αρνητικών) που έχουν οι πολιτικές που θα εφαρμοστούν στη συνέχεια και κυρίως αφορά την τιμολογιακή πολιτική. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το αρχικό δίκτυο όπου φέρει τους καταναλωτές σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση τους σε οικιακούς, εμπορικούς και βιοτεχνικούς, με τις αντίστοιχα ετήσια ενεργειακά προφίλ – συμπεριφορά, του καθενός.

## 6.4 Ενεργειακή Πολιτική 1 – Αύξηση Διείδυσης Διεσπαρμένης Παραγωγής

Εδώ αναπτύσσεται η πρώτη πολιτική λειτουργίας που εφαρμόζεται στο δίκτυο. Στα σενάρια ενεργειακής πολιτικής δοκιμάζονται διάφορα σενάρια που στόχο έχουν την αύξηση της διείδυσης των μικροπηγών. Δοκιμάζονται διάφορα μείγματα από εγκατάσταση μικροπηγών ώστε να γίνεται εμφανής η βέλτιστη επιλογή λειτουργίας το μικροδικτύου.

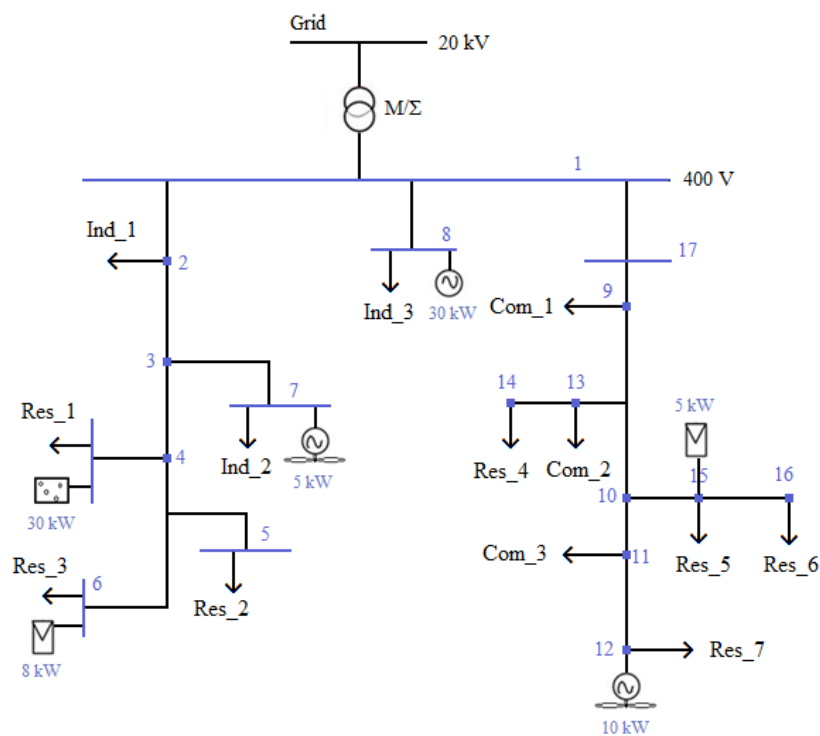
### 6.4.1 Δίκτυο Βάσης Σύγκρισης με ΟΤΣ (DG\_1 OTS)

Το πρώτο σενάριο που υλοποιείται στα πλαίσια της ενεργειακής αυτής πολιτικής είναι το σενάριο όπου σε διάφορους ζυγούς του δικτύου εγκαθίστανται μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Η συνολική ισχύς των μονάδων είναι 88 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και στα προηγούμενα σενάρια, χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της μικροτουρμπίνας, της κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο



όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ, με τιμή που μεταβάλλεται σύμφωνα με τη χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος όπως έχει προαναφερθεί. Στη βελτιστοποίηση λαμβάνονται υπόψη όλοι οι περιορισμοί για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Δηλαδή η κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, τα τεχνικά ελάχιστα των μικροπηγών, οι υπερφορτίσεις των γραμμών και οι υπερτάσεις στους ζυγούς. Οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίηση καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικό λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα. Το σενάριο αυτό αποτελεί επίσης βάση σύγκρισης και επέκτασης για κάθε άλλη επιλογή μικροδικτύου. Χρησιμοποιείται δε ως αναφορά για την αύξηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.



Σχήμα 6.15 Δίκτυο σεναρίου βάσης

#### 6.4.2 Δίκτυο Βάσης με Σταθερή Τμηματική Τιμολόγηση (DG\_1 Fixed pricing)

Το σενάριο αυτό υλοποιείται στα πλαίσια ακριβώς της προηγούμενης μοντελοποίησης. Εγκαθίστανται ακριβώς οι ίδιες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Η συνολική ισχύς των μονάδων είναι 88 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και πριν, δηλαδή χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα και για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της μικροτουρμπίνας, της

κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Αυτή τη φορά όμως εφαρμόζεται μια διαφορετική προσέγγιση ως προς την τιμολόγηση της ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Εφαρμόζονται διαφορετικές τιμές για την ενέργεια που καταναλώνει το κάθε είδος φορτίου (οικιακό, εμπορικό, βιοτεχνικό). Στη βελτιστοποίηση ως τιμή του ανάντη νοείται ο σταθμισμένος μέσος όρος (ως προς τα μεγέθη κατανάλωσης ενέργειας) των τιμών των τριών ειδών καταναλωτών. Στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη όλοι οι περιορισμοί για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Δηλαδή η κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, τα τεχνικά ελάχιστα των μικροπηγών, οι υπερφορτίσεις των γραμμών και οι υπερτάσεις στους ζυγούς.

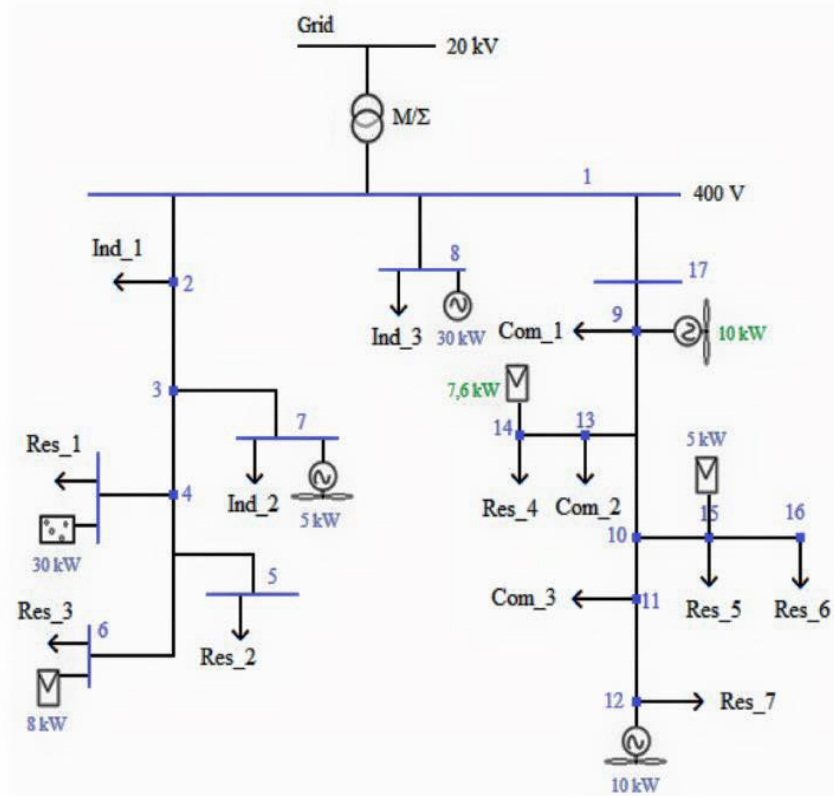
Το τελικό λειτουργικό κόστος, μετά τη βελτιστοποίηση, υπολογίζεται με την ξεχωριστή (διακριτική) τιμολόγηση, σύμφωνα με τα διαφορετικά τιμολόγια που εφαρμόζονται, της ενέργειας που καταναλώθηκε από κάθε είδος καταναλωτή. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.

### **6.4.3 Δίκτυο με Επαυξημένη Διείσδυση 20% ως προς το DG\_1 OTS από ΑΠΕ (DG\_2 OTS)**

Στο σενάριο αυτό υλοποιείται επαύξηση των εγκατεστημένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής με σκοπό την αύξηση της αυτονομίας του μικροδικτύου. Σε αυτό το σενάριο η αύξηση πραγματοποιείται μόνο από μονάδες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες). Εγκαθίστανται μονάδες ΑΠΕ ώστε να αυξηθεί κατά 20% η ισχύς από το προηγούμενο σενάριο. Η συνολική πλέον ισχύς των μονάδων είναι 105,6 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6, 15 και 14 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW, 5 kW και 7,6 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7, 12 και 9 ανεμογεννήτρια 5 kW, 10 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και πριν, δηλαδή χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα και για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της μικροτουρμπίνας, της κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Ως προς την τιμολόγηση της ενέργειας που αντλείται από το ανάντη δίκτυο εφαρμόζεται η φιλοσοφία του αρχικού σεναρίου μοντελοποίησης που υποδεικνύει τιμολόγηση με χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος.

Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.



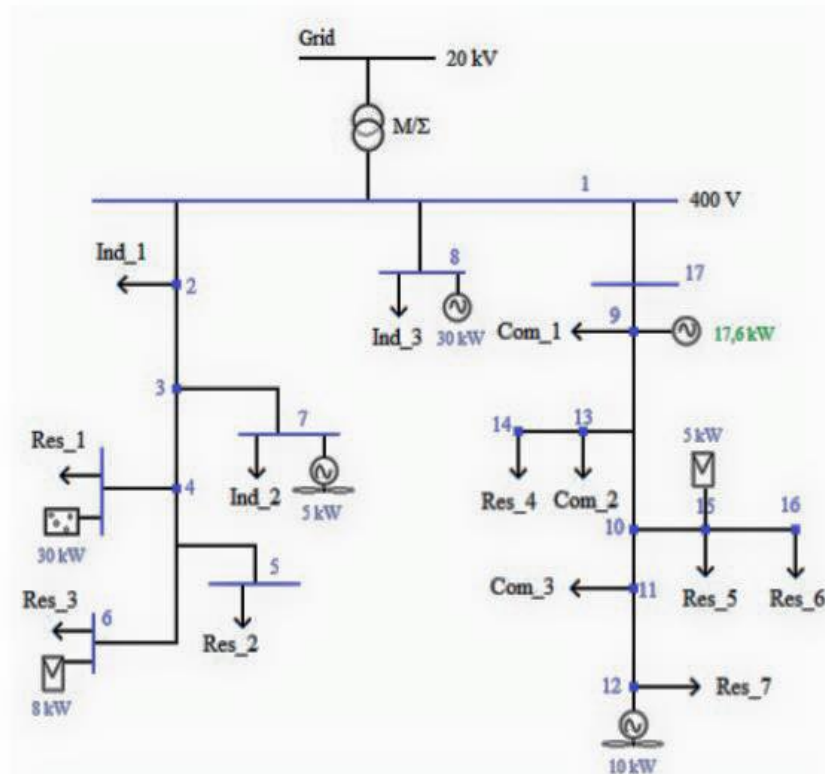
Σχήμα 6.16 Δίκτυο σεναρίου 20% αυξημένης εγκατάστασης ΑΠΕ

#### 6.4.4 Δίκτυο με Επαυξημένη διείσδυση 20% ως προς το DG\_1 OTS από MT (DG\_3 OTS)

Στο σενάριο αυτό υλοποιείται επαύξηση των εγκατεστημένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής με σκοπό την αύξηση της αυτονομίας του μικροδικτύου. Σε αυτό το σενάριο η αύξηση πραγματοποιείται μόνο από μονάδες μικροτουρμπίνων και όχι από ΑΠΕ. Αυτό πραγματοποιείται για να υπάρξει σύγκριση και αξιολόγηση των δύο διαφορετικών πολιτικών αύξησης ισχύος. Εγκαθίστανται μικροτουρμπίνες ώστε να αυξηθεί κατά 20% η ισχύς από το αρχικό σενάριο βάσης (DG\_1). Η συνολική πλέον ισχύς των μονάδων είναι 105,6 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 και 9 μικροτουρμπίνες 30 kW και 17,6 kW αντίστοιχα. Στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και πριν, δηλαδή χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα και για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της κάθε μικροτουρμπίνας, της μοναδικής κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Κατά συνέπεια οι μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται, το ίδιο και οι περιορισμοί για τη λειτουργία τους.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο

όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Ως προς την τιμολόγησης της ενέργειας που αντλείται από το ανάντη δίκτυο εφαρμόζεται η φιλοσοφία του αρχικού σεναρίου μοντελοποίησης που υποδεικνύει τιμολόγηση με χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος. Όπως και σε κάθε σενάριο, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.



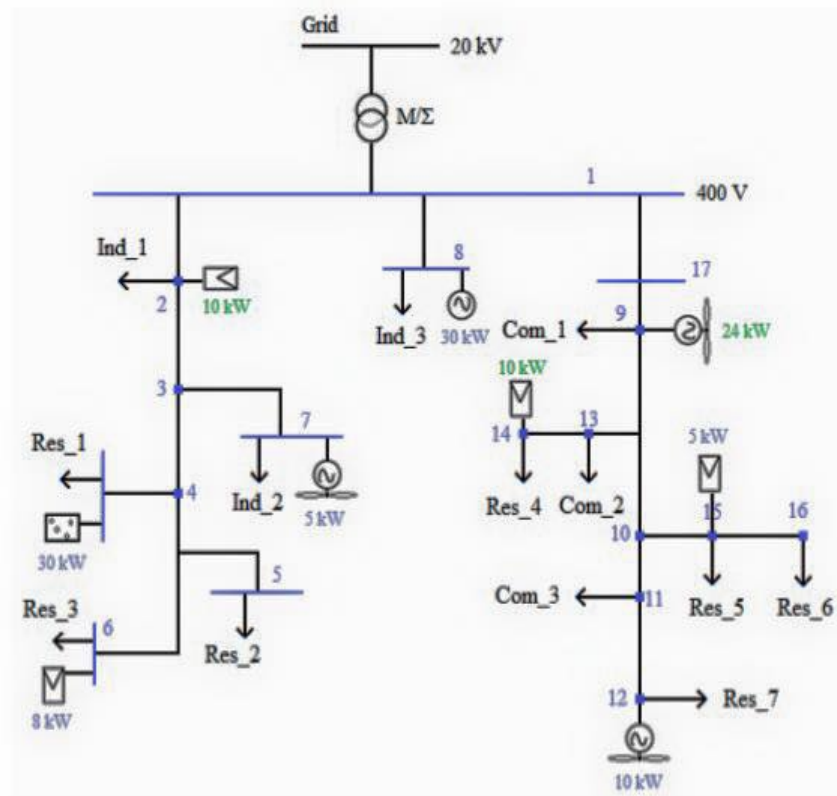
Σχήμα 6.17 Δίκτυο σεναρίου 20% αυξημένης εγκατάστασης MT

#### 6.4.5 Δίκτυο με Επαυξημένη Διείδυση 50% ως προς το DG\_1 OTS από ΑΠΕ (DG\_4 OTS)

Στο σενάριο αυτό υλοποιείται περαιτέρω επαύξηση των εγκατεστημένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής με γνώμονα την σχεδόν πλήρη αυτονομία του μικροδικτύου με κάλυψη από μικροπηγές σε ποσοστά άνω του 60% της ζήτησης φορτίου. Στην πραγματικότητα οι μικροπηγές δεν μπορούν να καλύψουν τη ζώνη αιχμής του μικροδικτύου. Σε αυτό το σενάριο η αύξηση πραγματοποιείται μόνο από μονάδες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες). Εγκαθίστανται μονάδες ΑΠΕ ώστε να αυξηθεί κατά 50% η ισχύς από το αρχικό σενάριο (DG1\_OTs). Η συνολική πλέον ισχύς των μονάδων είναι 132 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6, 15, 2 και 14 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW, 5 kW, 10 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7, 12 και 9 ανεμογεννήτρια 5 kW, 10 kW και 24 kW

αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και πριν, δηλαδή χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα και για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της μικροτουρμπίνας, της κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Ως προς την τιμολόγηση της ενέργειας που αντλείται από το ανάντη δίκτυο εφαρμόζεται η φιλοσοφία του αρχικού σεναρίου μοντελοποίησης που υποδεικνύει τιμολόγηση με χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.

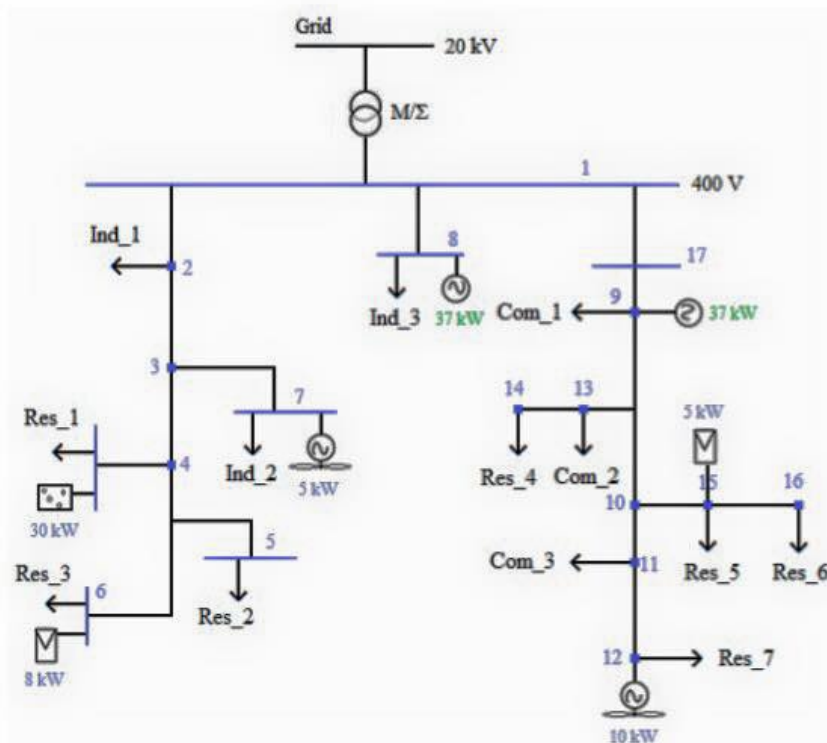


Σχήμα 6.18 Δίκτυο σεναρίου 50% αυξημένης εγκατάστασης ΑΠΕ

#### 6.4.6 Δίκτυο με Επαυξημένη Διεϊσδυση 50% ως προς το DG\_1 OTS από MT (DG\_5 OTS)

Στο σενάριο αυτό υλοποιείται επαύξηση των εγκατεστημένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής με σκοπό την αύξηση της αυτονομίας του μικροδικτύου μέσω αύξησης των μονάδων μικροτουρμπίνων

και όχι από ΑΠΕ. Αυτό πραγματοποιείται επίσης για να υπάρξει συνολική σύγκριση και αξιολόγηση των διαφορετικών πολιτικών αύξησης ισχύος (ποσοστό και είδος αύξησης). Εγκαθίστανται μικροτουρμπίνες ώστε να αυξηθεί κατά 50% η ισχύς από το αρχικό σενάριο βάσης (DG\_1). Η συνολική πλέον ισχύς των μονάδων είναι 132kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8, 9 μικροτουρμπίνες 37 kW και 37 kW αντίστοιχα. Στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και πριν, δηλαδή χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα και για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της κάθε μικροτουρμπίνας, της μοναδικής κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Κατά συνέπεια οι μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται, το ίδιο και οι περιορισμοί για τη λειτουργία τους. Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Ως προς την τιμολόγηση της ενέργειας που αντλείται από το ανάντη δίκτυο επίσης εφαρμόζεται η φιλοσοφία του αρχικού σεναρίου μοντελοποίησης που υποδεικνύει τιμολόγηση με μεταβλητή χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος ώστε να υποδεικνύεται καλύτερα η έννοια της ωριαίας βελτιστοποίησης. Όπως και σε κάθε σενάριο, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.

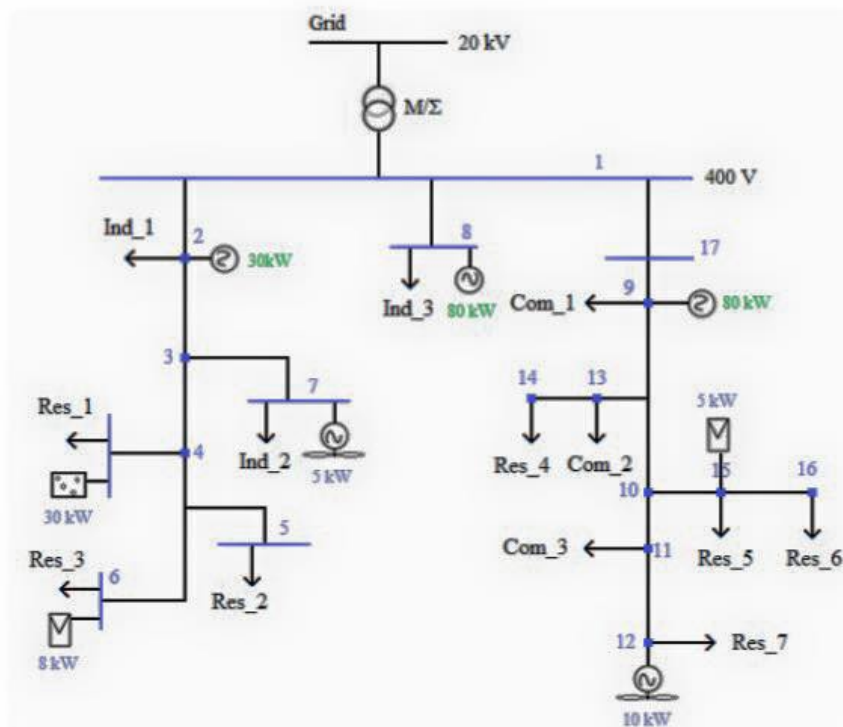


Σχήμα 6.19 Δίκτυο σεναρίου 50% αυξημένης εγκατάστασης ΜΤ

#### 6.4.7 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με ΟΤΣ (Microgrid\_OTs)

Στο σενάριο αυτό πραγματοποιείται διαστασιολόγηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (κυρίως των μικροπηγών) ώστε το δίκτυο να μπορεί εάν κριθεί οικονομικό, κάτι που είναι απολύτως ικανοποιητικό λόγω των υψηλών ΟΤΣ κατά τις αιχμές, να εμφανίζει ακόμη και στην αιχμή φορτίου πλήρως αυτόνομη λειτουργία (απόλυτη κάλυψη φορτίου από τους μικροπηγές). Εδώ ουσιαστικά εμφανίζεται η λειτουργία μικροδικτύου. Η συνολική πλέον ισχύς των μονάδων είναι 248kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 2, 8, 9 μικροτουρμπίνες 30 kW, 80 kW και 80kW αντίστοιχα. Στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Οι καταναλώσεις του δικτύου είναι όπως και πριν, δηλαδή χρονοσειρές τιμών για κάθε ώρα και για κάθε ζυγό, σύμφωνα με το είδος και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της κάθε μικροτουρμπίνας, της μοναδικής κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Κατά συνέπεια οι μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται, το ίδιο και οι περιορισμοί για τη λειτουργία τους.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Ως προς την τιμολόγηση της ενέργειας που αντλείται από το ανάντη δίκτυο επίσης εφαρμόζεται η φιλοσοφία του αρχικού σεναρίου μοντελοποίησης που υποδεικνύει τιμολόγηση με μεταβλητή χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος ώστε να υποδεικνύεται καλύτερα η έννοια της ωριαίας βελτιστοποίησης. Όπως και σε κάθε σενάριο, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.



Σχήμα 6.19 Αυτόνομη λειτουργία (μικροδίκτυο)

#### 6.4.8 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με Σταθερή Τιμολόγηση (Microgrid\_Fixed)

Στο σενάριο αυτό πραγματοποιείτε διαστασιολόγηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (κυρίως των μικροπηγών) ώστε το δίκτυο να μπορεί να εμφανίζει ακόμη και στην αιχμή φορτίου πλήρως αυτόνομη λειτουργία (απόλυτη κάλυψη φορτίου από τους μικροπηγές). Εδώ ουσιαστικά εμφανίζεται η λειτουργία μικροδικτύου. Η συνολική πλέον ισχύς των μονάδων είναι 248kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 2, 8, 9 μικροτουρμπίνες 30 kW, 80 kW και 80kW αντίστοιχα. Στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW.

Η διαφοροποίηση από το προηγούμενο σενάριο έγκειται στην τιμολόγηση του ανάντη δικτύου που συνυπολογίζεται σε κάθε επανάληψη βελτιστοποίησης. Αυτή τη φορά όμως εφαρμόζεται μια διαφορετική προσέγγιση ως προς την τιμολόγηση της ενέργειας από το ανάντη δίκτυο. Εφαρμόζονται διαφορετικές τιμές για την ενέργεια που καταναλώνει το κάθε είδος φορτίου (οικιακό, εμπορικό, βιοτεχνικό). Στη βελτιστοποίηση ως τιμή του ανάντη νοείται ο σταθμισμένος μέσος όρος (ως προς τα μεγέθη κατανάλωσης ενέργειας) των τιμών των τριών ειδών καταναλωτών. Κατά τα άλλα, οι καταναλωτές, η βελτιστοποίηση και όλα τα άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου παραμένουν ίδια με το προηγούμενο σενάριο μικροδικτύου.



## 6.5 Ενεργειακή Πολιτική 2 – Ενεργειακή Αναβάθμιση Καταναλωτών

Η ενεργειακή πολιτική που εφαρμόζεται στο δίκτυο σε αυτό το σημείο είναι πολιτική βελτίωσης των ενεργειακών προφίλ των καταναλωτών – φορτίων. Σύμφωνα και με την θεωρητική και μαθηματική προσέγγιση που αναπτύχθηκε προηγουμένως, ο κάθε καταναλωτής ταυτίζεται με μια ενεργειακή κατηγορία όπως έχει ήδη περιγραφεί. Στη συνέχεια ορίζοντας τον καταναλωτή αναφοράς για κάθε κατηγορία δημιουργείται ο πίνακας βελτίωσης των ενεργειακών κατηγοριών όπου κάθε καταναλωτής βελτιώνεται ή παραμένει στην ίδια κατηγορία που ανήκε. Το αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών είναι η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας που απαιτεί ο κάθε καταναλωτής. Έτσι με το νέο μειωμένο πλέον φορτίο (κάθε καταναλωτή αλλά και συνολικό) επιλύεται το δίκτυο με γνώμονα τη βελτιστοποίηση του λειτουργικού του κόστους. Στην πολιτική αυτή σημαντικό είναι να οριστούν οι συναρτήσεις μέσα από τις οποίες υπολογίζεται η μείωση της κατανάλωσης που επιφέρει η ενεργειακή αναβάθμιση για κάθε κατηγορία καταναλωτών αλλά και για κάθε βήμα ενεργειακής κατηγορίας που βελτιώνεται. Επίσης σημαντικό για την σύγκριση πολιτικών είναι τα κόστη επένδυσης που επιφέρει η κάθε πολιτική. Κάτι που πρέπει να τονιστεί είναι πως στα σενάρια που μελετούν αυτή την πολιτική τα φορτιακά χαρακτηριστικά του συνολικού δικτύου αλλάζουν (μειώνονται).

Κατά συνέπεια στα αποτελέσματα του επόμενου κεφαλαίου (αποτελέσματα) αναφέρονται όπου απαιτείται μεγέθη ανηγμένα προς αποφυγή λανθασμένων συγκρίσεων. Στο βασικό σενάριο με καθολική έλλειψη διεσπαρμένης παραγωγής οι καταναλωτές μοντελοποιήθηκαν σύμφωνα με κατηγορίες που εμφανίστηκαν σε εκείνο το σενάριο και θεωρούνται οι αρχικές τους καταστάσεις. Έτσι η αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς τόσο σαν ποσοστό όσο και τα κόστη γι αυτό το σκοπό κατανέμονται στους καταναλωτές κάθε κατηγορίας σύμφωνα με κάποια στοχαστικότητα που να προσομοιώνει και την πραγματική αντίδραση, στις βελτιώσεις αυτές, αληθινών αντίστοιχων καταναλωτών.

Στη συνέχεια κατά την ανάλυση των σεναρίων παρουσιάζεται πίνακας με τις αναβαθμίσεις ενεργειακών κατηγοριών που πραγματοποιήθηκαν καθώς και η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που επετεύχθη σε κάθε αλλαγή.

### 6.5.1 Δίκτυο DG\_1 με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (DG\_1\_energyUpgrade\_OTs)

Το πρώτο σενάριο που υλοποιείται στα πλαίσια της δεύτερης αυτής ενεργειακής πολιτικής εφαρμόζεται στο πρώτο σενάριο της ενεργειακής πολιτικής 1, όπου σε διάφορους ζυγούς του δικτύου εγκαθίστανται μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Η συνολική ισχύς των μονάδων αυτών είναι 88 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται ενεργειακή αναβάθμιση στους καταναλωτές του δικτύου. Κατά συνέπεια όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, οι καταναλωτές έχουν πλέον μεταβεί σε καλύτερες ενεργειακές κατηγορίες ή έχουν παραμείνει στις ίδιες. Επίσης, αναφέρεται η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που έχει επιτευχθεί σε κάθε περίπτωση. Η επιλογή των ενεργειακών αναβαθμίσεων των καταναλωτών είναι πλήρως στοχαστική και προσπαθεί να προσομοιώσει μια πιθανή πραγματική αλλαγή ενεργειακών συμπεριφορών από την εφαρμογή κάποιου προγράμματος εξοικονόμησης κτιρίων.

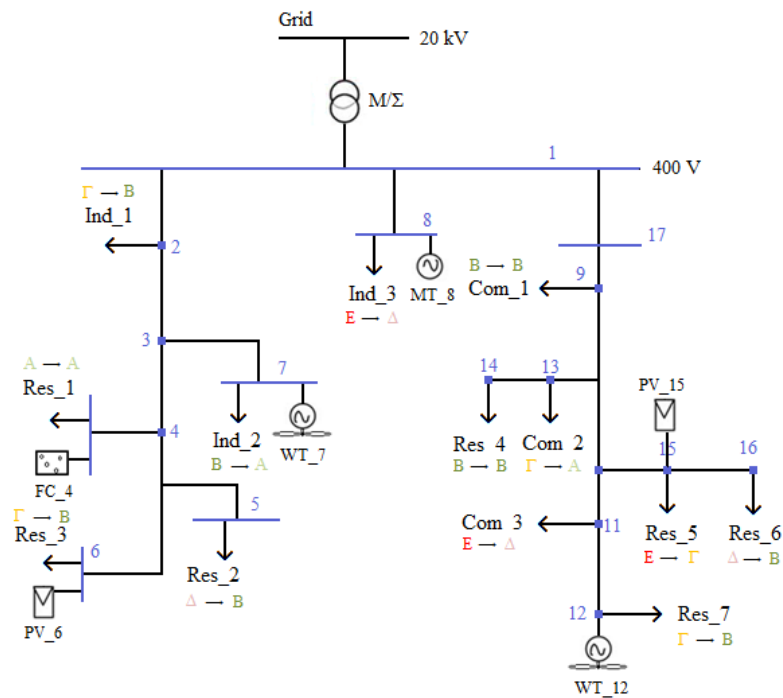
Ζυγός	Καταναλωτής	Αρχική Ενεργειακή Κατάσταση	Νέα Ενεργειακή Κατάσταση	Εξοικονόμηση
4	Res 1	A	A	0,000 %
5	Res 2	Δ	B	37,50 %
6	Res 3	Γ	B	16,67 %
14	Res 4	B	B	0,000 %
15	Res 5	E	Γ	40,00 %
16	Res 6	Δ	B	37,50 %
12	Res 7	Γ	B	16,67 %
9	Com 1	B	B	0,000 %
13	Com 2	Γ	A	62,50 %
11	Com 3	E	Δ	20,00 %
2	Ind 1	Γ	B	16,67 %
7	Ind 2	B	A	55,00 %
8	Ind 3	E	Δ	20,00 %
<b>Συνολική Εξοικονόμηση Ενέργειας</b>				<b>26,52 %</b>

### Πίνακας 6.8 Βελτιώσεις ενεργειακών κατηγοριών

Έτσι, οι καταναλώσεις του δικτύου είναι πλέον αποτέλεσμα χρονοσειρών τιμών για κάθε ώρα για κάθε ζυγό, σύμφωνα όμως με τα νέα μειωμένα δεδομένα κατανάλωσης, για κάθε το είδος και ενεργειακό προφίλ του βελτιωμένου ενεργειακά πλέον καταναλωτή. Όπως και στα προηγούμενα σενάρια, γνώμονας είναι η βελτιστοποίηση του λειτουργικού κόστους του μικροδικτύου. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της μικροτουρμπίνας, της κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ, με τιμή που μεταβάλλεται σύμφωνα με τη χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος όπως έχει προαναφερθεί. Στη βελτιστοποίηση λαμβάνονται υπόψη όλοι οι περιορισμοί για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Δηλαδή η κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, τα τεχνικά ελάχιστα των μικροπηγών, οι υπερφορτίσεις των γραμμών και οι υπερτάσεις στους ζυγούς.

Επίσης, οι ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) δεν συμπεριλαμβάνονται στην οικονομική βελτιστοποίησης καθώς η παραγωγή τους είναι προκαθορισμένη μέσα από χρονοσειρές παραγωγής αλλά και γιατί το λειτουργικό κόστος τους είναι ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Κατά συνέπεια προστίθενται απλά στο τελικά λειτουργικό ωριαίο κόστος ανάλογα με την παραγωγή που είχαν για εκείνη την ώρα.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως στα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης μπορεί να προσεγγιστεί η συμμετοχή του κράτους στην επένδυση αυτή ώστε να αποτελεί πραγματική και βιώσιμη επιλογή, συγκρίσιμη με την εφαρμογή ΑΠΕ και μικροπηγών για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών. Κάτι τέτοιο μελετάται και στα αποτελέσματα στο επόμενο κεφάλαιο. Επίσης αναφέρεται πως γνώμονας αλλαγών των ενεργειακών προφίλ ήταν η συνολική ενέργεια να μειωθεί σε ποσοστό κοντά στο 20% όπως επιβάλλει και το σύμφωνο της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2020.

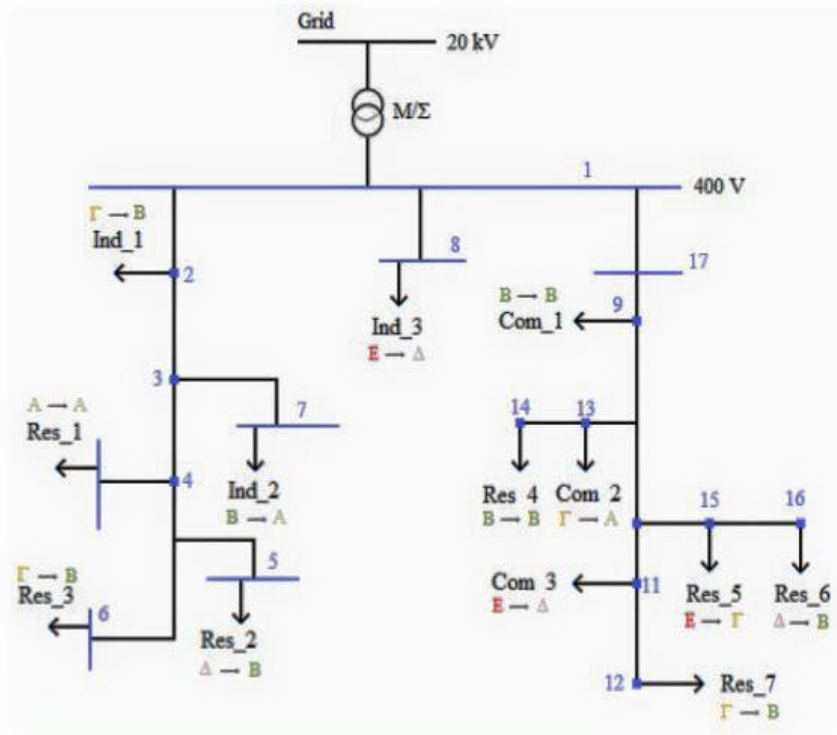


Σχήμα 6.21 Ενεργειακή αναβάθμιση για τους καταναλωτές του δικτύου (δίκτυο DG\_1)

### 6.5.2 Απλό δίκτυο No\_DG με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (No\_DG\_energyUpgrade\_OTTS)

Στο σενάριο αυτό υλοποιείται ακριβώς η ίδια μοντελοποίησης με πριν, με τη διαφορά πως το δίκτυο είναι το απλό δίκτυο που μοντελοποιήθηκε στην αρχή της εργασίας, με πλήρη έλλειψη μικροπηγών. Αυτή η μοντελοποίηση χρησιμεύει στην αξιολόγηση πολιτικών σε ήδη υφιστάμενα απλά δίκτυα που δεν φέρουν μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και κατά συνέπεια η ενεργειακή αναβάθμιση μπορεί να παρουσιάζει συγκρίσιμα πλεονεκτήματα. Εφαρμόζεται ενεργειακή αναβάθμιση στους καταναλωτές του δικτύου κατά τρόπο όπως και αυτόν του προηγούμενου σεναρίου. Κατά συνέπεια όπως φαίνεται και στον προηγούμενο πίνακα, οι καταναλωτές έχουν πλέον μεταβεί σε καλύτερες ή έχουν παραμείνει στις ίδιες ενεργειακές κατηγορίες. Επίσης αναφέρεται η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που έχει επιτευχθεί σε κάθε περίπτωση. Η επιλογή των ενεργειακών αναβαθμίσεων των καταναλωτών είναι πλήρως στοχαστική και προσπαθεί να προσομοιώσει μια πραγματική αλλαγή. Όπως και πριν, γνώμονας είναι η βελτιστοποίηση του λειτουργικού κόστους του μικροδικτύου. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της μικροτουρμπίνας, της κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο.

Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ, με τιμή που μεταβάλλεται σύμφωνα με τη χρονοσειρά οριακής τιμής συστήματος όπως έχει προαναφερθεί. Στη βελτιστοποίηση λαμβάνονται υπόψη όλοι οι περιορισμοί για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Δηλαδή η κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, τα τεχνικά ελάχιστα των μικροπηγών, οι υπερφορτίσεις των γραμμών και οι υπερτάσεις στους ζυγούς.



Σχήμα 6.22 Ενεργειακή αναβάθμιση για τους καταναλωτές του δικτύου (απλό δίκτυο)

## 6.6 Τιμολογιακή Πολιτική

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η λειτουργία του μικροδικτύου σε σενάρια τιμολογιακής πολιτικής που αφορούν την ενέργεια του ανάντη δικτύου. Η εφαρμογή διαφόρων τιμολογιακών πολιτικών εμπεριέχει στα σενάρια αυτά και την έννοια της ελαστικότητας ζήτησης ενέργειας ως προς τιμή, έννοια που έχει εισαχθεί ανωτέρω στο κεφάλαιο αυτό. Σε κάποια από τα σενάρια εφαρμόζονται αλλαγές στο απλό δίκτυο που χαρακτηρίζεται από απουσία μικροπηγών (No\_DG) και σε άλλα στο δίκτυο όπως έχει κατασκευαστεί στην ενεργειακή πολιτική που προωθεί την διείσδυση διεσπαρμένων πηγών όπως που παρουσιάστηκαν πριν (δίκτυο DG\_1). Γενικώς, στα σενάρια τιμολογιακής πολιτικής ενδιαφέρει να υπάρχει μεγάλη εξάρτηση του δικτύου από το ανάντη δίκτυο ώστε να παρουσιάζεται καθαρά η αντίδραση του σε διακυμάνσεις τιμολόγησης και σε πολιτικές που έχουν στόχο κυρίως την αύξηση των κερδών του ανάντη δικτύου.

### 6.6.1 Δίκτυο DG\_1 με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG1\_10% OTS)

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο που αναπτύχθηκε προηγουμένως, παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας ελαστικότητας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας προς τιμή για κάθε καταναλωτή ξεχωριστά.

Επιλέγονται τιμές που εκφράζουν όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματικότητα. Κατά συνέπεια οι καταναλωτές που επηρεάζονται περισσότερο είναι οι οικιακοί και αυτοί που είναι σχεδόν ανελαστικοί στις μεταβολές της τιμές είναι οι βιοτεχνικοί – βιομηχανικοί. Κάτι που δικαιολογείται και από την πραγματική ενεργειακή εικόνα της αγοράς καθώς τα επιχειρηματικά “κρίσιμα” φορτία δεν έχουν περιθώρια μείωσης ή προσαρμογής της κατανάλωσής τους σε χαμηλότερα επίπεδα. Τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και στο σχήμα του δικτύου όπως φαίνεται παρακάτω.

Ζυγός	Καταναλωτής	Ελαστικότητα (ε)
4	Res 1	-1,75
5	Res 2	-2,14
6	Res 3	-0,40
14	Res 4	-0,12
15	Res 5	-1,24
16	Res 6	-0,87
12	Res 7	-0,18
9	Com 1	-0,61
13	Com 2	-0,58
11	Com 3	-0,32
2	Ind 1	-0,01
7	Ind 2	-0,24
8	Ind 3	0,12

**Πίνακας 6.9 Ελαστικότητες κατανάλωσης ενέργειας ως προς την τιμή ενέργειας**

Οι συνολικές ελαστικότητες των τριών κατηγοριών καταναλωτών σύμφωνα με την ποσόστωση της ενέργειας που καταναλώνει ο κάθε καταναλωτής και κατά συνέπεια η συνολική ελαστικότητα των καταναλωτών του δικτύου σύμφωνα με την ποσόστωση που χαρακτηρίζει τις κατηγορίες πλέον παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Καταναλωτής	Ελαστικότητα (ε)	Ενεργειακή Ποσόστωση
Residential	-0,943	29,75 %
Commercial	-0,509	17,18 %
Industrial	-0,024	53,07 %
<b>Συνολικό Δίκτυο</b>	<b>-0,381</b>	<b>100,00 %</b>

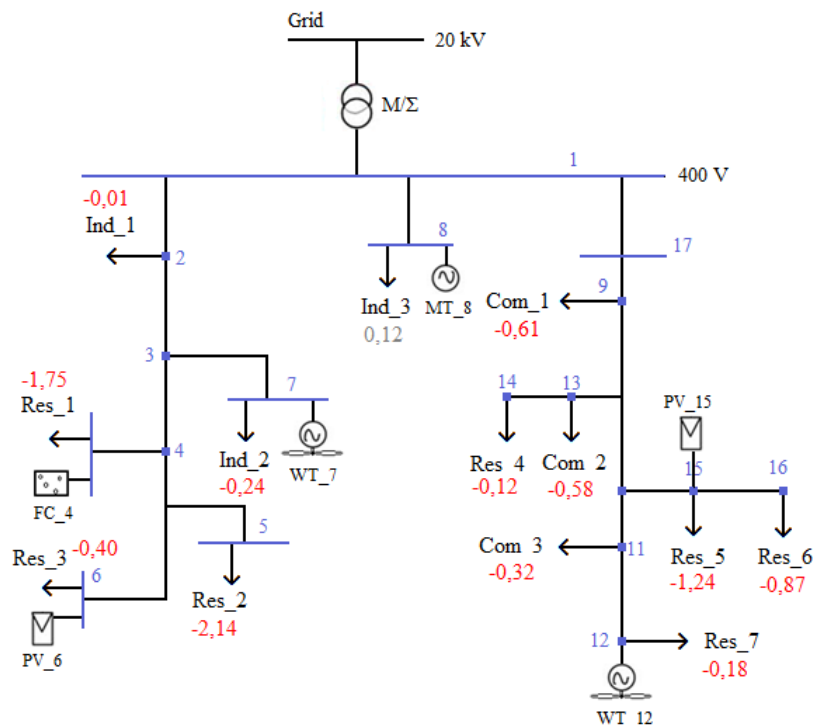
**Πίνακας 6.10 Ελαστικότητες ζήτησης ως προς τιμή ανά κατηγορία**

Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται 10% αύξηση στην ΟΤΣ του ανάντη δικτύου που τροφοδοτεί το προς μελέτη δίκτυο με την επιπλέον ενέργεια η οποία είναι η ενέργεια που αδυνατούσε να καλύψει το δίκτυο μέσω των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής καθώς γίνεται λόγος για το δίκτυο με διείσδυση τέτοιων μονάδων που αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα (δίκτυο DG\_1). Η συνολική ισχύς των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι 88 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Επειδή η εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο είναι σε μεγάλα ποσοστά, αυτή η αύξηση στην ΟΤΣ επηρεάζει τη ζήτηση των καταναλωτών οι οποίοι πληρώνουν σε αυτή την τιμή την ενέργεια που καταναλώνουν.

Μέσα από τον πίνακα ελαστικότητας ζήτησης ως προς τιμή που παρουσιάστηκε προηγουμένως, αυτή η αύξηση μεταφράζεται σε μείωση της ζήτησης. Κατά συνέπεια, το δίκτυο αποκτά νέα καμπύλη φορτίου, νέο κόστος και συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της ετήσιας μοντελοποίησης του.

Για παράδειγμα μια αύξηση 10% της τιμής ενέργειας, μεταφράζεται σε ένα οικιακό καταναλωτή π.χ. τον Res\_3 σε 4% μείωση του ηλεκτρικού του φορτίου. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της κάθε μικροτουρμπίνας, της μοναδικής κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Κατά συνέπεια οι μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται, το ίδιο και οι περιορισμοί για τη λειτουργία τους. Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ.

Παρακάτω παρουσιάζεται το προς μελέτη δίκτυο με τις ελαστικότητες κάθε καταναλωτή.



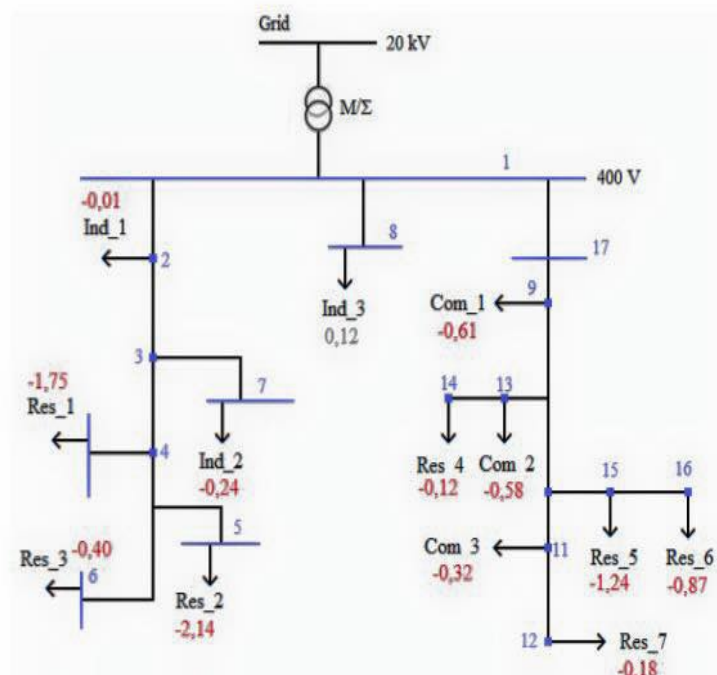
Σχήμα 6.23 Δίκτυο DG\_1 με ελαστικότητες ανά καταναλωτή

### 6.6.2 Δίκτυο No\_DG με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No\_DG\_10% OTS)

Το σενάριο αυτό είναι πανόμοια υλοποίηση με το απλό, αρχικό σενάριο που αποτελεί τη βάση σύγκρισης οποιουδήποτε σεναρίου (δίκτυο No\_DG). Αυτή τη φορά όμως εφαρμόζεται 10% αύξηση

στην ΟΤΣ του ανάντη δικτύου που τροφοδοτεί το προς μελέτη δίκτυο. Η εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο είναι αποκλειστική καθώς το δίκτυο τροφοδοτείται μόνο από αυτό για την κάλυψη των αναγκών του. Κατά συνέπεια μέσα από τους πίνακες ελαστικότητας που παρουσιάστηκαν πριν, αυτή η αύξηση στην ΟΤΣ επηρεάζει τη ζήτηση των καταναλωτών οι οποίοι πληρώνουν σε αυτή την τιμή την ενέργεια που καταναλώνουν. Έτσι, όπως προηγουμένως, το δίκτυο αποκτά νέα καμπύλη φορτίου, νέο κόστος και συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της ετήσιας μοντελοποίησης του και έτσι εξάγονται σημαντικά συγκριτικά συμπεράσματα πάνω στη φιλοσοφία του απλού δικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζεται το προς μελέτη δίκτυο με τις ελαστικότητες κάθε καταναλωτή. Φαίνεται η απουσία οποιασδήποτε μορφής διεσπαρμένης παραγωγής.



Σχήμα 6.24 Απλό δίκτυο No\_DG με ελαστικότητες ανά καταναλωτή

### 6.6.3 Δίκτυο No\_DG με Αύξηση της Fixed Τιμολόγησης κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No\_DG\_10% Fixed)

Το σενάριο αυτό είναι πανόμοια υλοποίηση με το απλό, αρχικό σενάριο που αποτελεί τη βάση σύγκρισης οποιουδήποτε σεναρίου (δίκτυο No\_DG). Η διαφοροποίηση είναι πως εφαρμόζεται αύξηση 10% της σταθερής τιμής ενέργειας από το ανάντη όπως έχει προκύψει στο σενάριο απλού δικτύου No\_DG\_fixed. Για ακόμη μια φορά η εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο είναι αποκλειστική καθώς το δίκτυο τροφοδοτείται μόνο από αυτό για την κάλυψη των αναγκών του. Κατά συνέπεια μέσα από τους πίνακες ελαστικότητας που παρουσιάστηκαν πριν, αυτή η αύξηση στην ΟΤΣ επηρεάζει τη ζήτηση των καταναλωτών οι οποίοι πληρώνουν σε αυτή την τιμή την ενέργεια που καταναλώνουν. Έτσι, όπως προηγουμένως, το δίκτυο αποκτά νέα καμπύλη φορτίου, νέο κόστος και συμπεριφορά

κατά τη διάρκεια της ετήσιας μοντελοποίησης του και έτσι εξάγονται σημαντικά συγκριτικά συμπεράσματα ως προς την αύξηση στις επιλογές τιμολόγησης του δικτύου (ΟΤΣ ή σταθερή). Το σχήμα του προς μελέτη δικτύου με τις ελαστικότητες κάθε καταναλωτή ταυτίζεται με το αμέσως προηγούμενο δίκτυο. Φαίνεται η απουσία οποιασδήποτε μορφής διεσπαρμένης παραγωγής και σταθερή τιμολόγηση αυξημένη κατά 10%.

#### 6.6.4 Δίκτυο DG\_1 με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα Ελαστικότητων Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG\_1\_Discrete)

Σε αυτό το σενάριο μοντελοποίησης εφαρμόζεται η φιλοσοφία της διακριτικής τιμολόγησης των καταναλωτών του δικτύου. Κατά συνέπεια, οι αύξηση των τιμών της ενέργειας από το ανάντη δίκτυο τιμολογείται με γνώμονα την ελαστικότητα κάθε κατηγορίας καταναλωτή ε. Έτσι εφαρμόζεται μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση της τιμολόγησης σε ανελαστικούς καταναλωτές και μικρότερη αύξηση στους αδιάφορους ή ελαστικούς καταναλωτές. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πολλαπλά από την σκοπιά τους προμηθευτή – διαχειριστή του δικτύου και έγκειται στην πρόβλεψη συμπεριφοράς, μέσω του μεγέθους της ενεργειακής ελαστικότητας, του εκάστοτε καταναλωτή ώστε η αυξήσεις να είναι επιφέρουν τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

Αύξηση τιμών ενέργειας ανά κατηγορία καταναλωτών όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Αυξήσεις Τιμών Ενέργειας		
Οικιακά Τιμολόγια	Εμπορικά Τιμολόγια	Βιοτεχνικά/Βιομηχανικά Τιμολόγια
7%	10%	12%

**Πίνακας 6.11 Τμηματική αύξηση τιμών ενέργειας από το ανάντη δίκτυο**

Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται εφαρμόζεται αύξηση σύμφωνα με τα παραπάνω ποσοστά στις σταθερές τιμές ενέργειας κάθε κατηγορίας από το ανάντη όπως έχει προκύψει στο σενάριο δίκτυο DG\_1 όπου το ανάντη δίκτυο τροφοδοτεί το προς μελέτη δίκτυο με την επιπλέον ενέργεια η οποία είναι η ενέργεια που αδυνατούσε να καλύψει το δίκτυο μέσω των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής καθώς γίνεται λόγος για το δίκτυο με διείσδυση τέτοιων μονάδων που αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Επειδή η εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο είναι σε μεγάλα ποσοστά, αυτή η τμηματική αυτή αύξηση στις σταθερές τιμές τιμολόγησης επηρεάζει τη ζήτηση των καταναλωτών οι οποίοι πληρώνουν σε αυτή την τιμή την ενέργεια που καταναλώνουν. Η συνολική ισχύς των μονάδων είναι 88 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW.

Το σενάριο αυτό παρομοιάζει σε μεγάλο βαθμό την αύξηση στα σταθερά τιμολόγια των διαφόρων κατηγοριών καταναλωτών ενός ηλεκτρικού δικτύου ΧΤ. Μέσα από τον πίνακα ελαστικότητων ζήτησης ως προς τιμή που παρουσιάστηκε προηγουμένως, αυτή η αύξηση μεταφράζεται σε μείωση της ζήτησης. Κατά συνέπεια, το δίκτυο αποκτά νέα καμπύλη φορτίου, νέο κόστος και συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της ετήσιας μοντελοποίησης του. Τα συμπεράσματα που εξάγονται χρήζουν σημαντικής ανάλυσης ώστε να φανεί η συμπεριφορά και τα αποτελέσματα στη λειτουργία του δικτύου είτε αυτά είναι ηλεκτρικά είτε οικονομοτεχνικά. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της κάθε μικροτουρμπίνας, της μοναδικής κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη



δίκτυο. Κατά συνέπεια οι μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται, το ίδιο και οι περιορισμοί για τη λειτουργία τους. Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ.

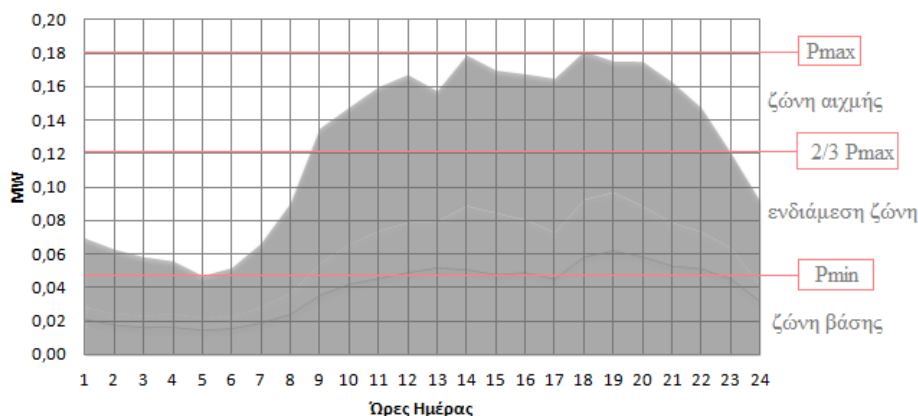
#### **6.6.5 Δίκτυο No\_DG με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No\_DG\_Discrete)**

Το σενάριο αυτό αποτελεί διαφορετική προσέγγιση του απλού δικτύου αλλά με διακριτική τιμολόγησης, διαφορετική αύξηση δηλαδή για κάθε κατηγορία καταναλωτή. Στο σενάριο εφαρμόζεται αύξηση σύμφωνα με τα παραπάνω ποσοστά στις σταθερές τιμές ενέργειας κάθε κατηγορίας από το ανάντη όπως έχει προκύψει στο σενάριο δίκτυο No\_DG όπου το ανάντη δίκτυο τροφοδοτεί εξολοκλήρου το προς μελέτη δίκτυο με ενέργεια και πλήρη απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Μέσα από τον πίνακα ελαστικότητας ζήτησης ως προς τιμή που παρουσιάστηκε προηγουμένως, αυτή η αύξηση μεταφράζεται σε μείωση της ζήτησης. Κατά συνέπεια, το δίκτυο αποκτά νέα καμπύλη φορτίου, νέο κόστος και συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της ετήσιας μοντελοποίησης του. Τα συμπεράσματα που εξάγονται χρήζουν σημαντικής ανάλυσης ώστε να φανούν οι διαφορές στη λειτουργία του δικτύου τόσο σε σύγκριση με το δίκτυο με μερική διείδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και πως αυτές δρουν ευεργετικά σε αυξήσεις σε σχέση με το απλό δίκτυο αλλά και για να συγκριθούν τα αποτελέσματα με συνολική αύξηση ενιαίας σταθερής τιμής ή ΟΤΣ.

#### **6.6.6 Δίκτυο No\_DG με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed Τιμές (No\_DG\_Zones)**

Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται η φιλοσοφία της τιμολόγησης με κριτήριο τη ζώνη φορτίου στην οποία βρίσκεται το δίκτυο σε κάθε ώρα. Έτσι δημιουργείται ένας μηχανισμός που μέσα από την ημερήσια πρόβλεψη φορτίου (forecasting) ορίζει την αιχμή φορτίου, τη μικρότερη τιμή και μοιράζει τις ζώνες του φορτίου. Κατά συνέπεια, κάθε ώρα η τιμή του συνολικού φορτίου του δικτύου βρίσκεται σε μια από τις τρεις ζώνες φορτίου, τη ζώνη αιχμής, βάσης ή την ενδιάμεση ζώνη. Σύμφωνα με τις ζώνες αυτές εφαρμόζονται αυξομειώσεις στην τιμολόγηση των καταναλωτών. Έτσι, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός διακριτικής τιμολόγησης ανά κατηγορία καταναλωτή με κριτήρια την αναγνώριση και αντιστοίχιση του φορτίου με ωριαίο βήμα σε μια από τις τρεις ζώνες φορτίου. Με τον τρόπο αυτό κτίζεται σε πραγματικό χρόνο (live) μια νέα χρονοσειρά τιμολόγησης όπως η ΟΤΣ. Μοντέλα αυτής της μεθοδολογίας τιμολόγησης είναι η επόμενη εξέλιξη στον τομέα της ενέργειας και μπορούν να εφαρμοστούν σε έξυπνα δίκτυα όπου υπάρχουν δεδομένα και πληροφορίες για αυτές τις τιμές σε πραγματικό χρόνο τόσο για τον διαχειριστή συστήματος (έξυπνου δικτύου) όσο και για τους καταναλωτές. Σαφώς αυτά τα συστήματα μπορούν εν συνεχεία να δρουν ώστε να μειώνεται η ζήτηση τοπικά με στόχο την αποφυγή χρέωσης αιχμής και να μετατοπίζονται τα φορτία, εφόσον είναι εφικτό, σε άλλες ώρες το φορτίο ανήκει στην κατηγορία της ζώνης βάσης [31]. Τα οφέλη από αυτή την εφαρμογή είναι πολλά τόσο για την χαμηλή τιμή λειτουργίας του δικτύου και τα έξοδα καταναλωτών όσο και για τον διαχειριστή και τον προγραμματισμό μονάδων παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η φιλοσοφία και το μοίρασμα του φορτίου πρόβλεψης σε ζώνες για την μετέπειτα εφαρμογή τιμολόγησης.

Αυτή τη φορά η χρονοσειρά της ΟΤΣ φτιάχνεται σε πραγματικό χρόνο καθώς αναλύεται από προβλέψεις η ζήτηση της ημέρας και προσδιορίζονται όπως φαίνονται και στο παραπάνω σχήμα οι ζώνες φορτίου με την επακόλουθη τιμολόγηση. Κατά συνέπεια σε σχέση με τα σταθερά τιμολόγια που εμφανίζονται στην ενδιάμεση ζώνη, υπάρχει αύξηση (στη ζώνη αιχμής), μείωση (στη ζώνη βάσης) σε σχέση με τα καθιερωμένα τιμολόγια. Η αύξηση και η μείωση αυτή που εφαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο ακολουθεί τη διακριτική τιμολόγηση και είναι διαφορετικό το ποσοστό για τους τρεις τύπους καταναλωτών, ευνοώντας τους οικιακούς καταναλωτές, κάτι που γίνεται εξ' αρχής και στα σταθερά τιμολόγια της ενδιάμεσης ζώνης φορτίου. Τα ποσοστά και η φιλοσοφία αυξομείωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 6.12



Σχήμα 6.25 Τιμολόγηση με βάση την ζώνη φορτίου σε κάθε ώρα

Έλεγχος Ζώνης	Ζώνη Αιχμής (Pmax)	Οικιακά	+ 7%
		Εμπορικά	+ 10%
		Βιοτεχνικά/Βιομηχανικά	+ 12%
	Ενδιάμεση Ζώνη (2/3Pmax)	Οικιακό (Γ1)	0,09460
		Εμπορικό (Γ21)	0,10153
		Βιοτεχνικό/Βιομηχανικό (Γ21B)	0,10153
	Ζώνη Βάσης (Pmin)	Οικιακά	- 12%
		Εμπορικά	- 10%
		Βιοτεχνικά/Βιομηχανικά	- 7%

Πίνακας 6.12 Διαδικασία τιμολόγησης σε ζώνες

Στο πρώτο αυτό σενάριο με τιμολόγηση ζωνών, η πολιτική αυτή εφαρμόζεται στο δίκτυο No\_DG όπου το ανάντη δίκτυο τροφοδοτεί εξολοκλήρου το προς μελέτη δίκτυο με ενέργεια και το δίκτυο παρουσιάζει πλήρη απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

### **6.6.7 Δίκτυο DG\_1 με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed Τιμές (DG\_1\_Zones)**

Στο δεύτερο αυτό σενάριο με τιμολόγηση ζωνών, η πολιτική αυτή εφαρμόζεται στο δίκτυο DG\_1 που φέρει μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Η συνολική ισχύς των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι 88 kW. Ποιο συγκεκριμένα, στον ζυγό 6 και 15 εγκαθίστανται φωτοβολταϊκό 8 kW και 5 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 7 και 12 ανεμογεννήτρια 5 kW και 10 kW αντίστοιχα, στο ζυγό 8 μικροτουρμπίνα 30 kW και στο ζυγό 4 κυψέλη καυσίμου 30 kW. Για κάθε ώρα το πρόγραμμα εκτελεί οικονομική βελτιστοποίηση με αλγόριθμο Lagrange όπου λαμβάνονται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης οι παραγωγές της κάθε μικροτουρμπίνας, της μοναδικής κυψέλης καυσίμου και η ισχύς από το ανάντη δίκτυο. Κατά συνέπεια οι μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται, το ίδιο και οι περιορισμοί για τη λειτουργία τους. Στην αντικειμενική συνάρτηση αθροίζονται τα ανωτέρω λειτουργικά κόστη υπό τη μορφή δευτεροβάθμιων πολυωνυμικών συναρτήσεων καθώς και το κόστος ενέργειας από το ανάντη δίκτυο όπου είναι γραμμικό σε συνάρτηση με την ισχύ. Σε όλα τα άλλα υπόλοιπα ως προς την υλοποίηση ακολουθείται η διαδικασία του ανωτέρω σεναρίου. Συνεπώς, εξάγονται πολύ χρήσιμα αποτελέσματα για εφαρμογή πολιτικών τιμολόγηση σε απλά δίκτυα και σε δίκτυα με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

#### 7.1 Κριτήρια Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων

Τα κριτήρια αξιολόγησης των αποτελεσμάτων προσομοίωσης χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιηθούν τα οφέλη των πολιτικών που χρησιμοποιούνται. Στα σενάρια που μελετήθηκαν με γνώμονα ενεργειακές πολιτικές (αύξηση διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής και εξοικονόμηση ενέργειας), η σύγκριση σεναρίων γίνεται κυρίως σε σχέση με το απλό δίκτυο αλλά και το μικροδίκτυο βάσης, το οποίο ονομάζεται έτσι διότι ως προς αυτό έχουν εφαρμοστεί τα περισσότερα σενάρια των πολιτικών που αναλύθηκαν. Στα σενάρια που αφορούν την τιμολογιακή πολιτική η σύγκριση γίνεται κυρίως με το κλασσικό δίκτυο (χωρίς μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής) και μεταξύ των ίδιων των σεναρίων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια κριτήρια σύγκρισης με τους αντίστοιχους τύπους υπολογισμού και τη γενική αλλά και ειδική ανάλυση για την εκάστοτε περίπτωση. Για κάθε σενάριο που προσομοιώθηκε μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα για μερικά ή και για όλα τα παρακάτω κριτήρια. Κατά συνέπεια η σύγκριση μεταξύ σεναρίων πραγματοποιείται μέσω των κοινών κριτηρίων [50]. Τα κριτήρια εύκολα χωρίζονται σε ηλεκτρικά που αφορούν το δίκτυο ως προς τις παραγωγές, τις απώλειες και τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά του και σε οικονομικά που αφορούν το κόστος λειτουργίας του δικτύου, τα κόστη επένδυσης σε διάφορες ενεργειακές πολιτικές καθώς και τη μεταβολή διαφόρων οικονομικών μεγεθών από άσκηση τιμολογιακών πολιτικών.

#### 7.1.1 Λειτουργικό Κόστος Δικτύου (Operating Cost – OC)

Το λειτουργικό κόστος είναι το κόστος των διεσπαρμένων μονάδων για να εξυπηρετήσουν την ενέργεια του μικροδικτύου καθώς και το κόστος της ενέργειας του ανάντη δικτύου για την επιπλέον ενέργεια που εισέρχεται σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης από τις μικροπηγές. Το λειτουργικό αυτό κόστος προκύπτει σε ωριαία βάση από τη βελτιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Εδώ εξετάζεται το συνολικό, ετήσιο λειτουργικό κόστος σε €. Το λειτουργικό κόστος του δικτύου είναι τις περισσότερες φορές η αντικειμενική συνάρτηση την οποία ζητούμε να βελτιστοποιήσουμε και εκφράζεται σε γενική μορφή ως εξής:

$$OC = \sum(\text{Cost}_{MT} + \text{Cost}_{FC}) + \text{Cost}_{\text{ανάντη}} + \sum(\text{Cost}_{WT} + \text{Cost}_{PV}) \text{ (€)}$$

Όπου το άθροισμα των  $\text{Cost}_{MT}$ ,  $\text{Cost}_{FC}$  και ο όρος  $\text{Cost}_{\text{ανάντη}}$  προκύπτουν από την ωριαία βελτιστοποίηση και είναι το κόστος των μικροτουρμπίνων, των κυψελών καυσίμου και του ανάντη δικτύου. Τα δε κόστη  $\text{Cost}_{WT}$  και  $\text{Cost}_{PV}$  αποτελούν τα κόστη των ανεμογεννητριών και

φωτοβολταϊκών όπως έχουν οριστεί (κόστη λειτουργίας τους – συντήρησης).

Το OC (λειτουργικό κόστος) υπολογίζεται ανά ώρα και προστίθεται για να δώσει το συνολικό κόστος του έτους, πάντα σε €. Επίσης σημαντικό είναι πως στο OC εάν αφαιρεθούν τα κόστη των διεσπαρμένων πηγών μένει το κόστος ενέργεια από το ανάντη δίκτυο που αποτελεί και το έσοδο του διαχειριστή του ανάντη και ίσως του μικροδικτύου σε κάποιες περιπτώσεις. Κατά συνέπεια, σε περιπτώσεις όπου εξετάζονται σενάρια τιμολογιακής πολιτικής, το κόστος από το ανάντη δίκτυο διαδραματίζει κύριο παράγοντα σύγκρισης από τη σκοπιά του επωφελομένου αυτού του κόστους (σε πολλές περιπτώσεις ο διαχειριστής της αγοράς του μικροδικτύου). Σε οποιαδήποτε περίπτωση στα σενάρια όπου εφαρμόζονται τιμολογιακές πολιτικές, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, αναφέρονται τα κριτήρια και οι σκοπιές από τις οποίες εφαρμόζονται οι διάφορες πολιτικές.

### 7.1.2 Ανηγμένο Λειτουργικό Κόστος Δικτύου (NOC)

Το ανηγμένο λειτουργικό κόστος είναι το προηγούμενο κόστος, δηλαδή αυτό των διεσπαρμένων μονάδων για να εξυπηρετήσουν την ενέργεια του μικροδικτύου καθώς και το κόστος της ενέργειας του ανάντη δικτύου για την επιπλέον ενέργεια που εισέρχεται σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης από τις μικροπηγές αλλά εκφρασμένο ανά MWh φορτίου για το σύνολο της ετήσιας ζήτησης που εξυπηρετήθηκε.

$$\text{NOC} = \text{OC} / \text{Total\_Demand} \text{ (€/MWh)}$$

Όπου OC είναι το ετήσιο λειτουργικό κόστος δικτύου και Total\_Demand είναι η ετήσια συνολική ζήτηση ενέργειας του δικτύου. Ο δείκτης αυτός είναι πολύ σημαντικός διότι εκφράζει την μέση ετήσια τιμή της ενέργειας (MWh) με την οποία λειτουργούσε το δίκτυο. Αυτό σε συνδυασμό με την όποια επένδυση για μείωση του αποτελούν δύο από τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης ενεργειακών πολιτικών σε ένα δίκτυο.

### 7.1.3 Ηλεκτρικές Απώλειες (Electrical Losses – EL)

Οι ηλεκτρικές απώλειες του μικροδικτύου προκύπτουν από τη μεταφορά ενέργειας στις γραμμές διανομής του. Τα χαρακτηριστικά των γραμμών έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και λαμβάνονται κυρίως υπόψη στον υπολογισμό των απωλειών. Πέρα από αυτό, με την επίλυση των ροών ισχύος σε ωριαία βάση με γνώμονα την εξυπηρέτηση του συνόλου του φορτίου, προκύπτει το μέγεθος των απωλειών. Αυτές εξετάζονται ως ετήσιες ηλεκτρικές απώλειες σε MWh.

### 7.1.4 Ποσοστό Μείωσης Λειτουργικού Κόστους (OCR)

Για την καλύτερη εικόνα και ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου ορίζεται ποσοστό κατά το οποίο μειώνεται το λειτουργικό κόστος δικτύου σε κάθε σενάριο. Το ποσοστό αυτό εκφράζει την ποσοστιαία μείωση λειτουργικού κόστους που επετεύχθη στο κάθε σενάριο μέσα από πολιτικές

που εφαρμόστηκαν. Πάντοτε ως σενάριο αναφοράς είναι το απλό σενάριο δικτύου (No\_DG OTS). Το ποσοστό μείωσης λειτουργικού κόστους (OCP) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$OCR (\%) = ( OC_{\text{scenario}} - OC_{\text{No\_DG}} ) / OC_{\text{No\_DG}}$$

Όπου  $OC_{\text{scenario}}$  είναι το ετήσιο λειτουργικό κόστος του σεναρίου (€) που εξετάζεται και  $OC_{\text{No\_DG}}$  το ετήσιο λειτουργικό κόστος (€) του σεναρίου βάσης που χαρακτηρίζεται από απουσία οποιασδήποτε μικροπηγής και ενεργειακής πολιτικής.

### 7.1.5 Ποσοστό Μείωσης Απωλειών (LR)

Για την ποσοτικοποίηση και τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου ορίζεται ποσοστό κατά το οποίο μειώνονται οι απώλειες του δικτύου κατά τη λειτουργία κάθε σεναρίου. Το ποσοστό αυτό εκφράζει την ποσοστιαία μείωση των απωλειών που επετεύχθη στο κάθε σενάριο μέσα από πολιτικές που εφαρμόστηκαν, κυρίως τονίζοντας των ευεργετικό ρόλο των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Πάντοτε ως σενάριο αναφοράς είναι το απλό σενάριο δικτύου (No\_DG OTS).

Το ποσοστό μείωσης λειτουργικού κόστους (OCR) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$LR = ( L_{\text{scenario}} - L_{\text{No\_DG}} ) / L_{\text{No\_DG}}$$

Όπου  $L_{\text{scenario}}$  είναι οι ετήσιες απώλειες του σεναρίου (MWh) που εξετάζεται και  $L_{\text{No\_DG}}$  οι ετήσιες απώλειες (MWh) του σεναρίου βάσης που χαρακτηρίζεται από απουσία οποιασδήποτε μικροπηγής και ενεργειακής πολιτικής.

### 7.1.6 Λόγος Ισχύος Διεσπαρμένων Μονάδων προς Αιχμή Μικροδικτύου (PADG)

Σε κάθε σενάριο των πολιτικών που εφαρμόζονται στο προς μελέτη δίκτυο υπολογίζεται ο δείκτης διεξόδου ισχύος των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής ως προς την αιχμή που παρουσιάζει το φορτίο του δικτύου. Αυτός ο λόγος αποτελεί μια ένδειξη του πόσο ανεξάρτητο από το ανάντη δίκτυο είναι ένα μικροδίκτυο και τι σημασία που έχουν οι μικροπηγές του στη συνολική λειτουργία του. Έτσι ο λόγος ισχύος διεσπαρμένων μονάδων προς την αιχμή φορτίου του μικροδικτύου δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$PADG (\%) = 100 * ( \sum POWER\_DG / PD_{\text{PEAK}} )$$

Όπου το άθροισμα των  $Power\_DG$  αποτελεί το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων των εγκατεστημένων μικροπηγών σε kW και το  $PD_{\text{peak}}$  είναι η αιχμή του δικτύου σε kW.

### 7.1.7 Λόγος Ισχύος Διεσπαρμένων Μονάδων προς Μέσο Φορτίο Μικροδικτύου (PMDG)

Επίσης σε κάθε σενάριο των πολιτικών που εφαρμόζονται στο προς μελέτη δίκτυο υπολογίζεται ο δείκτης ισχύος διεσπαρμένων μονάδων προς το μέσο φορτίο του μικροδικτύου. Αυτός ο λόγος αποτελεί μια επίσης ισχυρή ένδειξη του πόσο ανεξάρτητο από το ανάντη δίκτυο είναι ένα μικροδίκτυο και τη σημαντικότητα των μικροπηγών του στη συνολική λειτουργία του καθώς στο μέσο φορτίο είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό ενός δικτύου, υποδηλώνοντας τη μέση συμπεριφορά του και πολλές φορές αποτελεί μέτρο διαστασιολόγησης έργων, πηγών που πρόκειται να εγκατασταθούν. Ο λόγος ισχύος διεσπαρμένων μονάδων προς το μέσο φορτίο του μικροδικτύου δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$PMDG (\%) = 100 * (\sum POWER\_DG / PD_{MEAN})$$

Όπου το άθροισμα των Power\_DG αποτελεί το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων των εγκατεστημένων μικροπηγών σε kW και το PD<sub>mean</sub> είναι το μέσο φορτίο του δικτύου σε kW όπως έχει ήδη προσδιοριστεί μέσω τύπου και υπολογίζεται σε κάθε σενάριο λόγω των διαφορών φορτίου που εμφανίζονται σε ορισμένες πολιτικές.

### 7.1.8 Μείωση Λειτουργικού Κόστους ανά kW Διεσπαρμένης Παραγωγής (CSDG)

Το κριτήριο αυτό αφορά στη μείωση που επιτυγχάνεται στο λειτουργικό κόστος του μικροδικτύου στο κάθε σενάριο από την εφαρμογή κάθε πολιτικής. Μάλιστα αυτό το κόστος όταν αναφέρεται ως προς τις μικροπηγές (kW) που έχουν εγκατασταθεί στην κάθε περίπτωση, είναι ένας δείκτης που υποδεικνύει την αποδοτικότητα της απόφασης αυτής. Έτσι ο δείκτης μείωσης λειτουργικού κόστους ανά kW διεσπαρμένης παραγωγής δίνεται από τον κάτωθι τύπο.

$$CSDG = \text{Operational\_Cost Saving} / \sum POWER\_DG \quad (\text{€ /KW})$$

Όπου το άθροισμα των Power\_DG αποτελεί το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων των εγκατεστημένων μικροπηγών σε kW και το Operational\_Cost Saving αποτελεί τη μείωση σε € του λειτουργικού κόστους του μικροδικτύου σε σχέση με το απλό δίκτυο (απουσία διεσπαρμένης παραγωγής).

### 7.1.9 Ποσοστιαία Μείωση Λειτουργικού Κόστους ανά € που Επενδύθηκε (CAP)

Το κριτήριο αυτό αφορά στη μείωση που επιτυγχάνεται στο λειτουργικό κόστος του μικροδικτύου στο κάθε σενάριο από την εφαρμογή κάθε πολιτικής. Μάλιστα αυτό το κόστος όταν αναφέρεται ως προς τις μικροπηγές (kW) που έχουν εγκατασταθεί στην κάθε περίπτωση, είναι ένας δείκτης που υποδεικνύει την αποδοτικότητα της απόφασης αυτής. Έτσι ο δείκτης μείωσης λειτουργικού κόστους ανά kW διεσπαρμένης παραγωγής δίνεται από τον κάτωθι τύπο.

$$CAP = OCP / CAPEX \quad (\%/\text{€})$$

Όπου το CAPEX αποτελεί το χρηματικό ποσό που απαιτείται για την υλοποίηση αυτού του σεναρίου και το OCP είναι όπως ορίστηκε προηγουμένως η ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους του μικροδικτύου σε σχέση με το απλό δίκτυο (απουσία διεσπαρμένης παραγωγής).

#### 7.1.10 Παραγωγή Ενέργειας ανά kW για το Σύνολο των Μικροπηγών (NEDG)

Ο δείκτης αυτός υποδεικνύει την χρησιμότητα των Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής για κάθε σενάριο. Δεδομένων των παραγωγών από ΑΠΕ, οι μικροπηγές όπως οι κυψέλες καυσίμου και οι μικροτουρμπίνες αποτελούν πηγές που υπεισέρχονται στο κόστος το οποίο βελτιστοποιείται και κατά συνέπεια η παραγωγή τους συναρτάται με αυτό. Έτσι η συνολική παραγωγή από μικροπηγές ως προς τη συνολική ισχύ που έχει εγκατασταθεί σε κάθε σενάριο φανερώνει το κατά πόσο αποδοτική ήταν η απόφαση αυτή. Συνεπώς Παραγωγή Ενέργειας ανά kW για το Σύνολο των Μικροπηγών δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\text{NEDG} = \sum \text{Energy\_DG} / \sum \text{POWER\_DG} \quad (\text{MWh/KW})$$

Όπου το άθροισμα των Energy\_DG είναι η συνολική ενέργεια που παρήγαγαν η μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής του μικροδικτύου (συμπεριλαμβανομένων και των ΑΠΕ) σε MWh και το άθροισμα των Power\_DG αποτελεί το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων των εγκατεστημένων μικροπηγών σε kW.

#### 7.1.11 Λόγος Ενέργειας Διεσπαρμένων προς Ενέργεια Μικροδικτύου (ERDG)

Κάθε σενάριο μοντελοποίησης βασίζεται στο ποσοστό κάλυψης από τις μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής των ίδιων αναγκών του μικροδικτύου. Κατά συνέπεια το ποσοστό ενέργειας που δεν μπορεί να καλυφθεί από τις ίδιες τις μικροπηγές του μικροδικτύου λαμβάνεται από το ανάντη δίκτυο. Έτσι το ποσοστό παραγωγή ενέργειας από τις μικροπηγές σε σχέση με την ενέργεια που απαιτήσε το συνολικό φορτίο δίνεται από τον τύπο:

$$\text{ERDG} = 100 * \left( \sum \text{Energy\_DG} / \text{Demand\_microgrid} \right)$$

Όπου το άθροισμα των Energy\_DG είναι η συνολική ενέργεια που παρήγαγαν η μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής του μικροδικτύου (συμπεριλαμβανομένων και των ΑΠΕ) και το άθροισμα των Demand\_microgrid (load) είναι η συνολική ζήτηση σε ενέργεια του μικροδικτύου. Προφανώς τα μεγέθη αυτά αφορούν το σύνολο της μοντελοποίησης, δηλαδή είναι ετήσια είναι σε MWh. Εδώ τονίζεται πως το φορτίο του δικτύου (Demand\_microgrid) σε σενάρια που πραγματοποιείται αλλαγή των ενεργειακών προφίλ των καταναλωτών αλλάζει και κατά συνέπεια στον ανωτέρω λόγω τοποθετείται η νέα αυτή τιμή.



### 7.1.12 Επένδυση Κεφαλαίου (Capital Expenditure – CapEx)

Το κόστος επένδυσης κεφαλαίου υπολογίζεται σε κάθε σενάριο με στόχο την ποσοτικοποίηση της επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής (σεναρίου) και εκφράζει τα κεφάλαια που πρέπει να επενδυθούν για να πραγματοποιηθεί αυτό. Στα σενάρια που μελετήθηκαν προέκυψε η ανάγκη για ορισμό δύο μεγεθών επένδυσης κεφαλαίου. Ο ένας ορισμός αφορά τα σενάρια όπου προβλέπεται αύξηση της διείσδυσης από μικροπηγές (άλλοτε μόνο από ΑΠΕ και άλλοτε από μικροτουρμπίνες) και δίνεται τη συνέχεια.

$$CAPEX_{DG} = \sum (WT^i \text{ cost} + PV^j \text{ cost} + MT^k \text{ cost} + FC^t \text{ cost})$$

Όπου τα  $i, j, k, t$  είναι το πλήθος των ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών, μικροτουρμπίνων και κυψελών καυσίμου που εγκαταστάθηκαν σε κάθε σενάριο. Και  $WT_{cost}, PV_{cost}, MT_{cost}, FC_{cost}$  τα αντίστοιχα κόστη εγκατάστασης σε €.

Ο επόμενος ορισμός αφορά τα σενάρια όπου προβλέπεται βελτίωσης (αναβάθμιση) των ενεργειακών προφίλ των καταναλωτών, υποδηλώνει το κόστος επένδυσης για την επίτευξη αυτού του σκοπού και δίνεται τη συνέχεια.

$$CAPEX_{UPGRADE} = \sum (Residential^i \text{ cost} + Commercial^j \text{ cost} + Industrial^k \text{ cost})$$

Όπου τα  $i, j, k$  είναι το πλήθος των οικιακών, εμπορικών, βιοτεχνικών καταναλωτών που προχώρησαν σε ενεργειακή αναβάθμιση σε κάθε σενάριο. Και  $Residential_{cost}, Commercial_{cost}, Industrial_{cost}$  τα αντίστοιχα κόστη ενεργειακής αναβάθμισης που υπολογίζονται από σχέση προηγούμενου κεφαλαίου με γνώμονα το είδος του καταναλωτή, της κατηγορίες που βελτίωσε κ.ά.

### 7.1.13 Επιστροφή Επένδυσης (Return On Investment – ROI)

Ο δείκτης επιστροφής της επένδυσης είναι ένας σημαντικός δείκτης για την επένδυση σε πολιτικές κυρίως ενεργειακές ώστε να επιτευχθεί ένας στόχος. Εάν τα κριτήρια δεν φέρουν κάποια ιδιαιτερότητα, σε όμοιου σκοπού επενδύσεις ή εφαρμογές πολιτικών επιλέγεται φανερά αυτή που χαρακτηρίζεται από μικρότερο δείκτη επιστροφής επένδυσης. Ο τύπος που δίνει αυτό τον δείκτη παρουσιάζεται στη συνέχεια.

$$ROI = \text{Net profit} / \text{Investment}$$

Όπου  $\text{Net profit}$  είναι το κόστος που αποφεύγεται κατά τη λειτουργία του δικτύου και  $\text{Investment}$  είναι το κόστος επένδυσης που ταυτίζεται με τον δείκτη CAPEX στη συνέχεια.

### 7.1.14 Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value – NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία αποτελεί βασικό δείκτη απόδοσης μιας επένδυσης. Θεωρώντας τις ενεργειακές πολιτικές ως τέτοιες, η καθαρή παρούσα αξία σε κάθε σενάριο που προσομοιώθηκε εκφράζει την απόδοση αυτής της απόφασης (πολιτικής) με χρηματοροές που περιλαμβάνουν της

αρχική επένδυση (κόστος κεφαλαίου όπως πριν) και τις ετήσιες χρηματοροές που δεν είναι άλλες από το αποφυγόν λειτουργικό κόστος του μικροδικτύου.

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

Στον τύπο τα  $C$  αποτελούν τις ετήσιες χρηματοροές, το  $C_0$  εκφράζει την αρχική επένδυση (χρόνος 0) όπου και αναμένεται αρνητικό, το  $n$  η διάρκεια σε έτη που θα εφαρμοστεί αυτή η πολιτική και το  $r$  είναι το επιτόκιο αναγωγής. Ως διάρκεια των σεναρίων επιλέγονται τα 25-30 έτη όπου και αποτελούν συνήθη χρόνο ζωής των τεχνολογιών που εφαρμόζονται (διεσπαρμένη παραγωγή). Για το επιτόκιο αναγωγής μια λογική τιμή δείχνει είναι το 7%.

### 7.1.15 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR)

Ο εσωτερικό βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης είναι ένα από τους σημαντικότερους δείκτες στους οποίους οφείλεται η έναρξη μιας επένδυσης ή η επιλογή μεταξύ πλήθους επενδύσεων [49]. Μαθηματικά προσεγγίζεται, μέσα από τον τύπο της καθαρής παρούσας αξίας, ως το επιτόκιο αναγωγής το οποίο μηδενίζει την παρούσα αξία ως ανεπτυγμένη πλέον σειρά στο βάθος του χρόνου ζωής της επένδυσης.

Συνήθως αυτό το  $r$  (=IRR) προσεγγίζεται με επαναληπτικές μεθόδους και σύγκλιση σε κάποια κοντινή τιμή. Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν μεθοδολογίες προσδιορισμού του. Στην μοντελοποίηση που έγινε, το κάθε σενάριο αποκτά τον δικό του δείκτη IRR, κατά συνέπεια εύκολα διαφαίνεται ποια είναι η ενεργειακή πολιτική που υπερτερεί.

### 7.1.16 Περίοδος Αποπληρωμής (Payback period – PB)

Η περίοδος αποπληρωμής στην περίπτωση των ανωτέρω σεναρίων προσομοίωσης είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο το άθροισμα των χρηματοροών (το διαφυγόν κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από την εκάστοτε επένδυση) ισούται με το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται η απλή περίοδος αποπληρωμής όπου ως χρηματοροές λαμβάνονται οι μη αναγόμενες στο αρχικό έτος. Εδώ λόγω του βάθους ζωής των επενδύσεων και κατ' ασυνέπεια των συμπερασμάτων των μπορεί να χρησιμοποιηθούν και οι χρηματοροές που εμπεριέχουν το κόστος χρήματος (ετήσια απομείωση). Σε οποιαδήποτε περίπτωση η απλή περίοδος αποπληρωμής αν υποθεθούν σταθερές ετήσιες θετικές χρηματοροές υπολογίζεται ως:

$$PB = \text{Scenario\_cost} / \text{Yearly\_profit} \quad (\text{έτη})$$

Όπου το  $\text{Scenario\_cost}$  είναι το κόστος που απαιτείται για να υλοποιηθεί ένα σενάριο και το  $\text{Yearly\_profit}$  είναι όπως προαναφέρθηκε το διαφυγόν κόστος “κέρδος” από την εφαρμογή του σεναρίου αυτού. Η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται σε έτη.

### 7.1.17 Συνολικό Φορτίο Δικτύου και Κατανομή στα Είδη των Καταναλωτών

Η ανάλυση της μεταβολής του συνολικού φορτίου του μικροδικτύου είναι πρωτίστης σημασίας ειδικά σε περιπτώσεις σεναρίων όπου αλλάζει η ζήτηση ενέργειας όπως τα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης ή σενάρια τιμολογιακής πολιτικής. Κατά συνέπεια για κάθε σενάριο αναφέρεται το συνολικό φορτίο του όπως καθορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Load} = \sum \text{Residential\_load} + \sum \text{Commercial\_load} + \sum \text{Industrial\_load} \quad (\text{MWh})$$

Όπου όπως φαίνεται το συνολικό φορτίο αποτελεί το άθροισμα των ζητήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια, των τριών κατηγοριών καταναλωτών που το απαρτίζουν, δηλαδή οικιακοί, εμπορικοί, βιοτεχνικοί-βιομηχανικοί. Το ετήσιο φορτίο υπολογίζεται σε MWh.

Επίσης, υπολογίζονται τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν ένα φορτίο και έχουν υπολογιστεί για το απλό δίκτυο και σε προηγούμενο κεφάλαιο αλλά παρατίθενται και εδώ:

Η αιχμή του φορτίου είναι  $\mathbf{P_A}$  (kW)

Το ελάχιστο φορτίο είναι  $\mathbf{P_{min}}$  (kW)

Η περίοδος φορτίου είναι  $\mathbf{T = 8.640 h}$  (θεώρηση 30ημέρες/μήνα)

Η ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια είναι  $\mathbf{E}$  (MWh)

Το μέσο φορτίο είναι  $\mathbf{P_{\mu} = E / T}$  (kW)

Ο μέσος χρόνος φορτίου είναι  $\mathbf{T_A = E / P_A}$  (h)

Ο συντελεστής φορτίου είναι  $\mathbf{m = E / P_A \cdot T = P_{\mu} / P_A}$  (%)

Οι ανωτέρω δείκτες αποτελούν κύρια χαρακτηριστικά της ταυτότητας του φορτίου ενός δικτύου. Επίσης σε κάθε σενάριο (όπου υπάρξει κάποια αλλαγή φορτίου) υπολογίζονται τα ποσοστά οικιακής, εμπορικής και βιομηχανικής κατανάλωσης ενέργειας που χαρακτήρισε το δίκτυο.

$$\text{Residential (\%)} = \sum \text{Residential\_load} / \text{Load}$$

$$\text{Commercial (\%)} = \sum \text{Commercial\_load} / \text{Load}$$

$$\text{Industrial (\%)} = \sum \text{Industrial\_load} / \text{Load}$$

Όπου Load είναι το συνολικό φορτίο του δικτύου και τα αντίστοιχα αθροίσματα αποδίδουν, όπως και προηγουμένως, τη ζήτηση από τα τρία είδη καταναλωτών.

### **7.1.18 Τα Συμβάντα Υπερφόρτισης των Γραμμών**

Ένα ηλεκτρικό κριτήριο αξιολόγησης σεναρίων όσο αναφορά στην σωστή εφαρμογή πολιτικών, από ηλεκτρικής σκοπιάς, πάνω στο δίκτυο, είναι η εμφάνιση υπερφόρτισης στις γραμμές (κλάδοι) των ζυγών του δικτύου. Το όριο φόρτισης της κάθε γραμμής ελέγχεται από το πρόγραμμα για κάθε ώρα και δημιουργείται ένας πίνακας που λαμβάνει τιμή 1 όταν η γραμμή μεταξύ δύο ζυγών φτάνει το όριο υπερφόρτισης και 0 όταν λειτουργεί κάτω από αυτό το όριο, φυσιολογικά. Ο έλεγχος γίνεται για κάθε ώρα του έτους για κάθε ένα από τους 17 ζυγούς του δικτύου ως προς κάθε άλλον. Έτσι δημιουργούνται  $17^2$  ζεύγη ελέγχου όπου κατά συνέπεια επαναλαμβάνονται τιμές. Ο αριθμός των υπερφορτίσεων αποτελεί ένδειξη υπερδιαστασιολόγησης πηγών ή υποδιαστασιολόγησης γραμμών ή ακόμη εσφαλμένα μεγάλη τοποθέτηση φορτίων σε ασθενή μέρη του δικτύου.

### **7.1.19 Οι Περιπτώσεις Υπερτάσεων σε Ζυγούς**

Επίσης ένα ηλεκτρικό κριτήριο αξιολόγησης των σεναρίων είναι οι περιπτώσεις που κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης, κατά τις επαναλήψεις του αλγορίθμου επίλυσης, εμφανίζονται υπερτάσεις στους ζυγούς του δικτύου. Τέτοιες περιπτώσεις, για την επιλογή των φορτίων και των μονάδων που έχουν εισέλθει σε κάθε σενάριο, δεν εμφανίζονται για καμία ώρα της μοντελοποίησης. Αυτό αποδεικνύει και την εύστοχη σχεδίαση και εντοπισμό θέσεων και ισχύων για τις μονάδες διανεμημένης παραγωγής.

### **7.1.20 Χαρτοφυλάκιο Μικροπηγών**

Το κριτήριο αυτό παρουσιάζεται ως διάνυσμα που να περιέχει την ισχύ των DGs σε κάθε περίπτωση και την ποσόστωση σε ΑΠΕ και συμβατικές τόσο ως προς την ισχύ όσο και ως προς την τελική ενέργεια που παρήγαγαν για να εξυπηρετήσουν το φορτίο του δικτύου σε κάθε περίπτωση. Είναι μεγέθη που έχουν παρουσιαστεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο της ανάλυσης της μοντελοποίησης αλλά όπου κρίνεται σημαντικό και βοηθητικό στην κατανόηση πλεονεκτημάτων διαφόρων πολιτικών αναφέρονται. Επίσης πλήθος δεικτών που αναφέρθηκαν προηγουμένως τα εμπεριέχουν και τα χρησιμοποιούν ως γνώμονα στην κύρια πράξη τους (συνήθως διαίρεση – λόγο) ώστε να εκφράσουν μια έννοια που θα δώσει σαφή εικόνα σε συγκριτικά αποτελέσματα.

### **7.1.21 Ποσοστό Απωλειών σε Σχέση με την Ετήσια Ενέργεια του Δικτύου (LR)**

Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των σεναρίων που μελετήθηκαν, επειδή σε κάποια από αυτά αλλάζει το συνολικό φορτίο (ενέργεια) που ζητήθηκε για την κάλυψη της ετήσιας ανάγκης του δικτύου, ορίζεται το μέγεθος του ποσοστού των απωλειών σε Σχέση με την Ετήσια Ενέργεια του Δικτύου.

$$LP = \text{Losses} / \text{Total\_Energy} (\%)$$

Όπου Losses είναι οι ετήσιες απώλειες του σεναρίου (MWh) που εξετάζεται και Total\_Energy η ετήσια ζήτηση ενέργειας του δικτύου σε κάθε σενάριο.

### 7.1.22 Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας DG ανά Εγκατεστημένο KW (NEDG)

Για την ποσοτικοποίηση και τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου ορίζεται η παραγωγή των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την ισχύ των μονάδων αυτών. Αυτός είναι ένας δείκτης που δείχνει πόσο αποδοτικά χρησιμοποιήθηκαν και πόσο ωφέλησαν οι μικροπηγές την λειτουργία του δικτύου.

$$NEDG = \text{Production\_DG} / \text{Power\_DG} (\text{MWh}/\text{KW}_{\text{DG}})$$

Όπου Production\_DG είναι η ετήσια παραγωγή μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και Power\_DG είναι η ισχύς τους η συνολική σε κάθε σενάριο.

## 7.2 Αποτελέσματα Απλού Δικτύου

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα τα που προέκυψαν από την μοντελοποίηση του δικτύου με τα χαρακτηριστικά που έχουν προαναφερθεί στην παρουσίαση του σεναρίου. Τα χαρακτηριστικά που μεταβάλλονται είναι κατά κύριο λόγο τα φορτία στους ζυγούς του δικτύου όπως έχουν αναφερθεί εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο της κατάστρωσης της μοντελοποίησης. Το σενάριο αυτό αποτελεί βασικό σενάριο για σύγκριση οποιουδήποτε άλλου σεναρίου με όποια πολιτική και αν εφαρμοστεί.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις δύο διαφορετικές εκδοχές που προέκυψαν για το απλό δίκτυο. Σημαντικό είναι να τονιστεί όπως και έχει ήδη προαναφερθεί, πως τα φορτία του απλού δικτύου μένουν σταθερά και στα σενάρια της ενεργειακής πολιτικής της αύξηση διείσδυσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Δεν παραμένουν όμως ίδια κατά την εφαρμογή ενεργειακής πολιτικής που αποσκοπεί στη βελτίωση της ενεργειακής ταυτότητας των καταναλωτών καθώς και στην τιμολογιακή πολιτική όπου εξορισμού το σύνολο των καταναλωτών παρουσιάζει μια καταναλωτική συμπεριφορά ως προς την τιμή, άρα και διαφοροποίηση στο φορτίο που ζητά.

### 7.2.1 Απλό δίκτυο με ΟΤΣ (No\_DG OTS)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial. Πλήρη εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο και τιμολόγηση ενέργειας από χρονοσειρά ΟΤΣ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που

απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

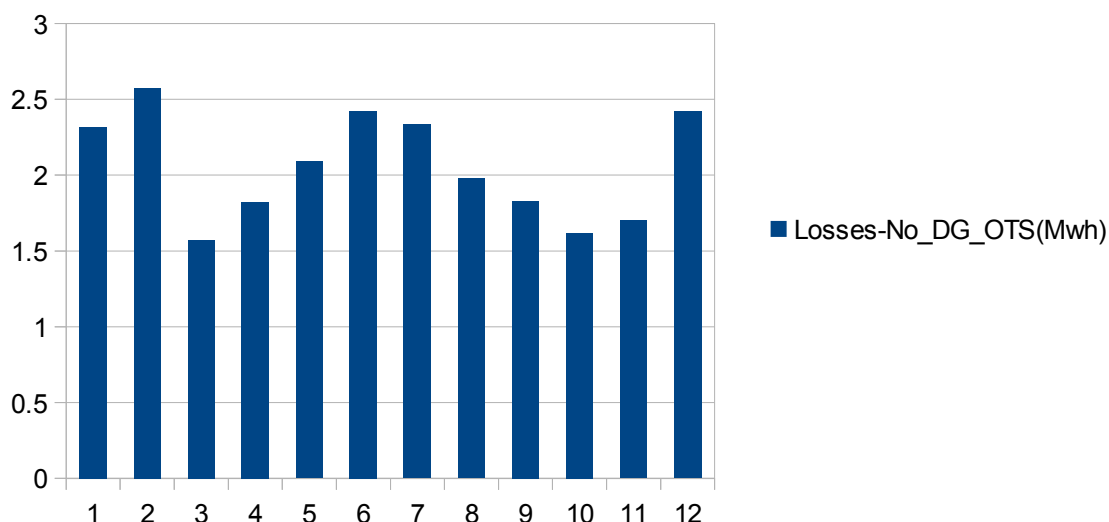
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 24,68 MWh

**LR:** 0%

**LP:** 2,17%

#### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



#### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	1.136,4	100
Σύνολο	1.136,4	100

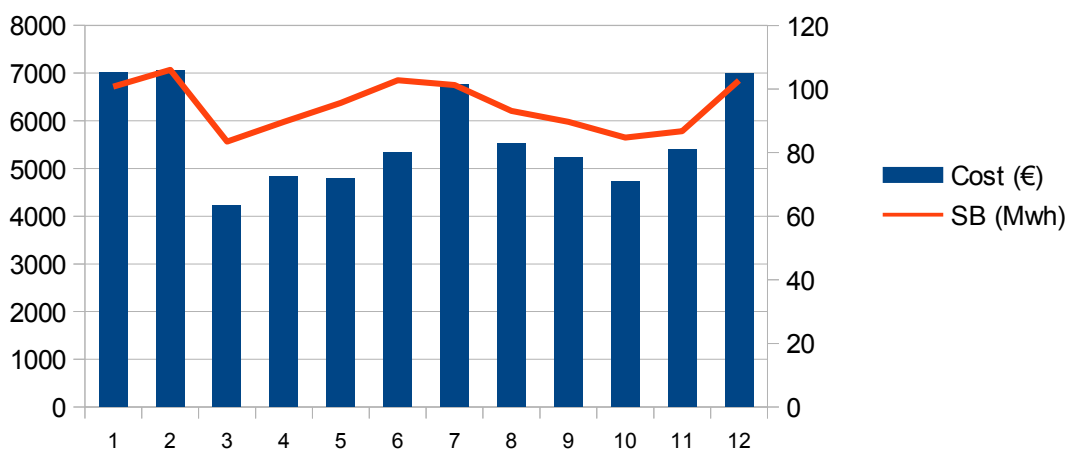
**Πίνακας 7.1 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

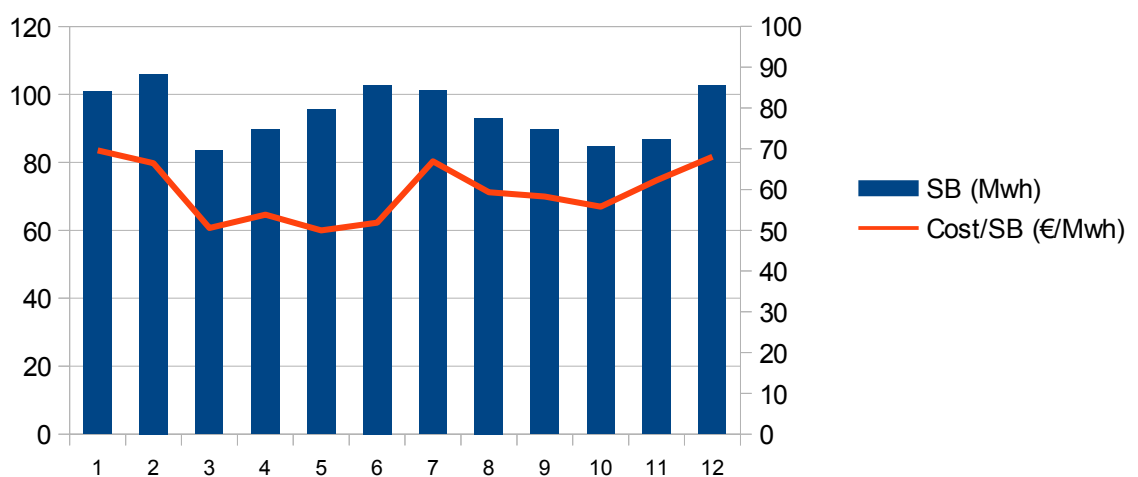
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC:** 67.845,2 €  
**NOC:** 56,7 €/MWh  
**OCR:** 0 %  
**CSDG:** 0 €/KW<sub>DG</sub>

Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## 7.2.2 Απλό δίκτυο με σταθερή τμηματική τιμολόγηση (No\_DG Fixed pricing)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial. Πλήρη εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο και τιμολόγηση ενέργειας μέσω fixed τιμών για κάθε ένα από τα τρία είδη καταναλωτή. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

### Απώλειες Δικτύου

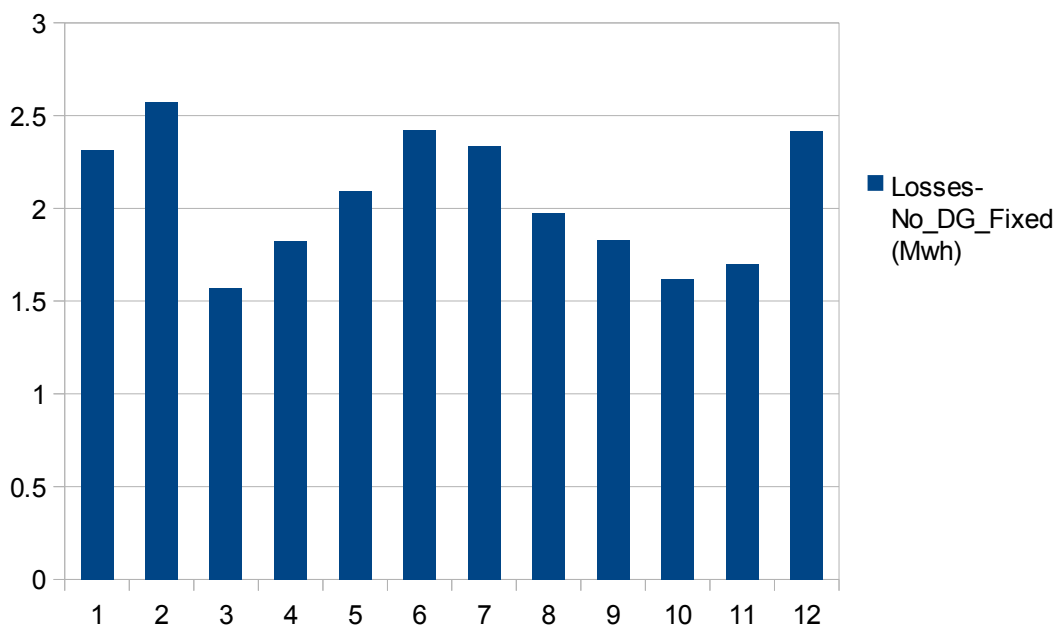
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 24,68 MWh

**LR:** 0 %

**LP:** 2,17 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα





## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	1.136,4	100
Σύνολο	1.136,4	100

**Πίνακας 7.2 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

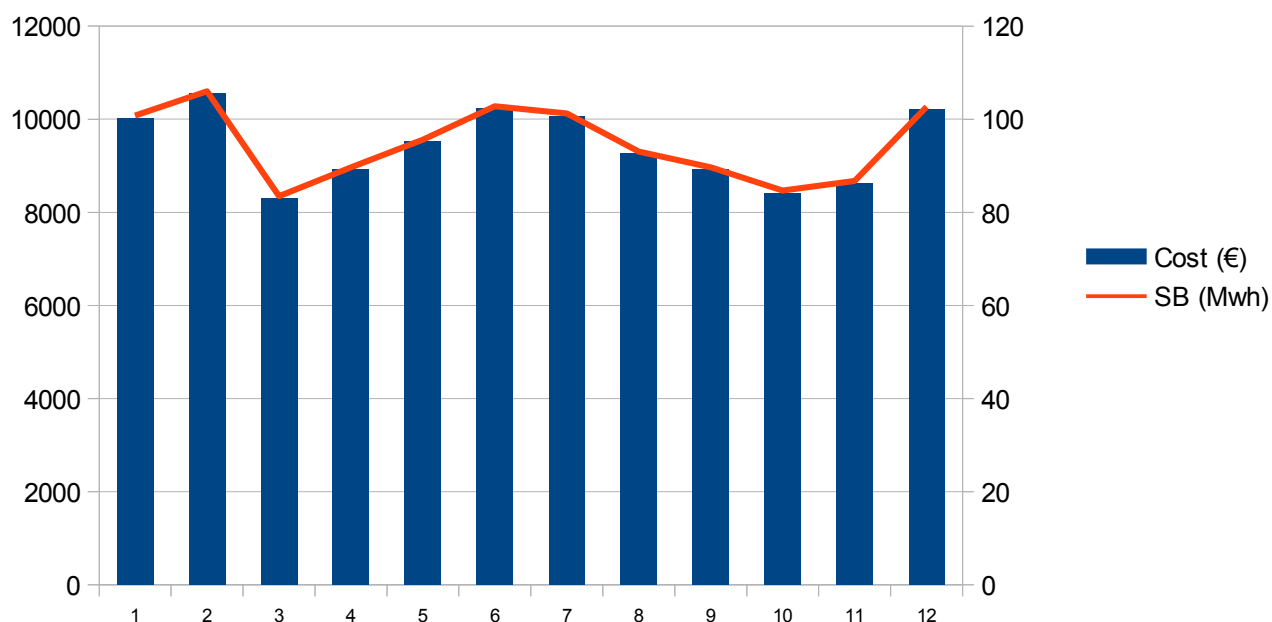
**OC:** 113.039,5 €

**NOC:** 99,47 €/MWh

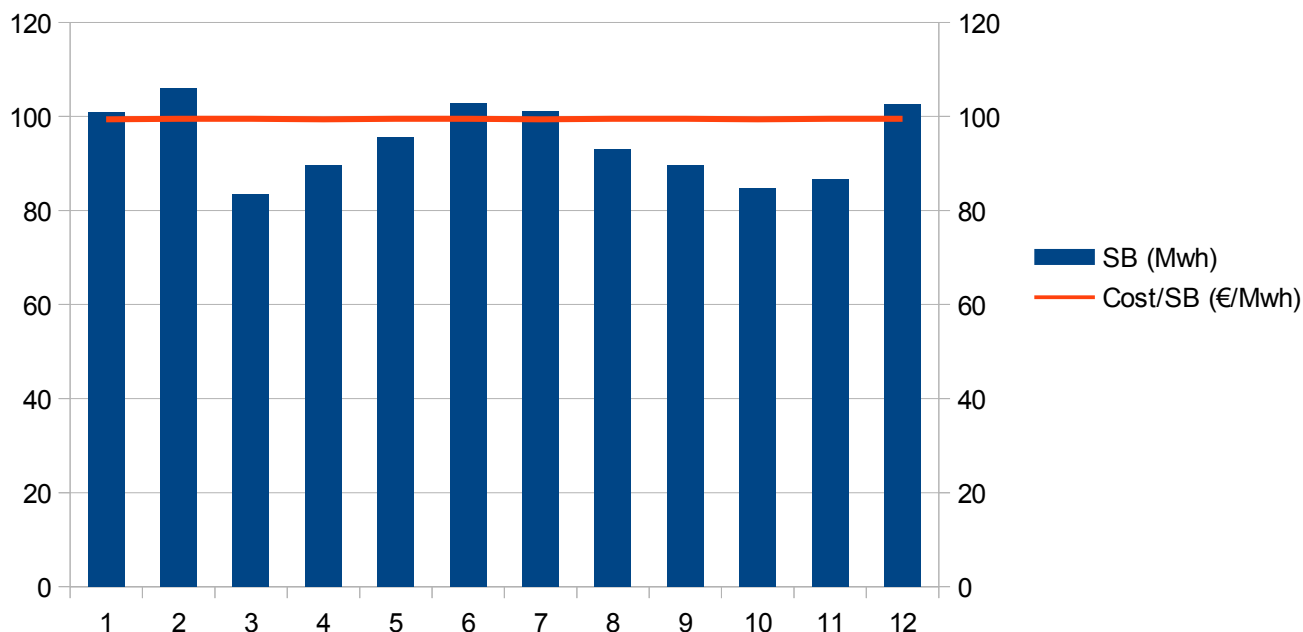
**OCR:** 66,61 %

**CSDG:** 0 €/KW DG

## Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### 7.3 Αποτελέσματα 1ης Ενεργειακής Πολιτικής – Διείσδυση DG

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πρώτης ενεργειακής πολιτικής που αφορά την διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής έως το σημείο της συντονισμένης, αυτόνομης λειτουργίας του μικροδικτύου.

#### 7.3.1 Δίκτυο βάσης σύγκρισης με ΟΤΣ (DG\_1 OTS)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μπάκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 88kW (P<sub>peak</sub> = 229,3 kW). Τιμολόγηση ανάντη με ΟΤΣ. Επειδή στο σενάριο του μικροδικτύου με διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί σενάριο βάσης για μετέπειτα σύγκριση πολιτικών που εφαρμόζονται, το ποσοστό εξάρτησης από το ανάντη δίκτυο διατηρήθηκε σε υψηλά σχετικά επίπεδα (της τάξης του 40%) ώστε να φανεί καθαρά η επιρροή κυρίως των πολιτικών τιμολόγησης που σχετίζονται με την ενέργεια από το ανάντη δίκτυο. Δηλαδή αφέθηκε ένα σημαντικό ποσοστό εξάρτησης από το ανάντη δίκτυο για να υπάρχει πλήρη εικόνα των αποτελεσμάτων έπειτα από συγκρίσεις με πολιτικές λειτουργίας που ακολουθούνται σε απόμεινα σενάρια.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

### Απώλειες Δικτύου

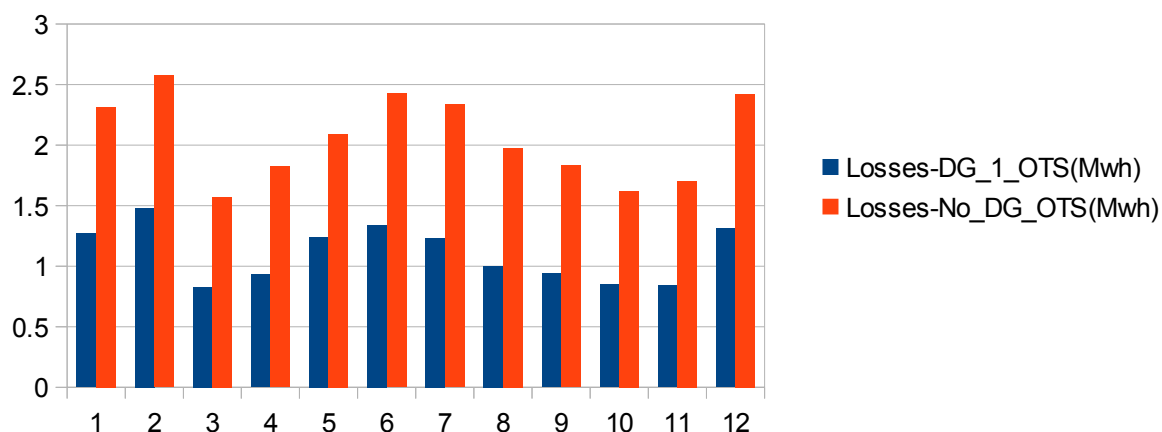
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 13,26 MWh

**LR:** -46,27 %

**LP:** 1,17 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	208,64	18,36
FC	30	254,3	22,38
WT	15	74	6,51

PV	13	26,61	2,34
Ανάπτυξη	-	572,89	50,41
Σύνολο	88	1.136,4	100

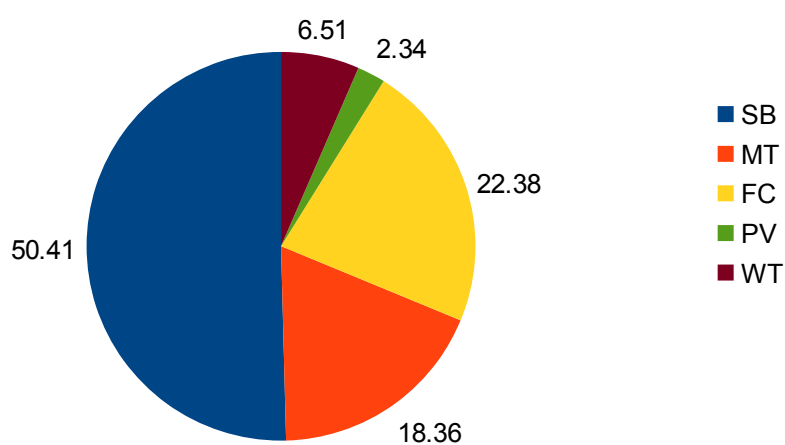
**Πίνακας 7.3 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 38,38 %

**P<sub>MDG</sub>**: 66,9 %

**NEDG**: 6,4 MWh/kWDG

**Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας**



#### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

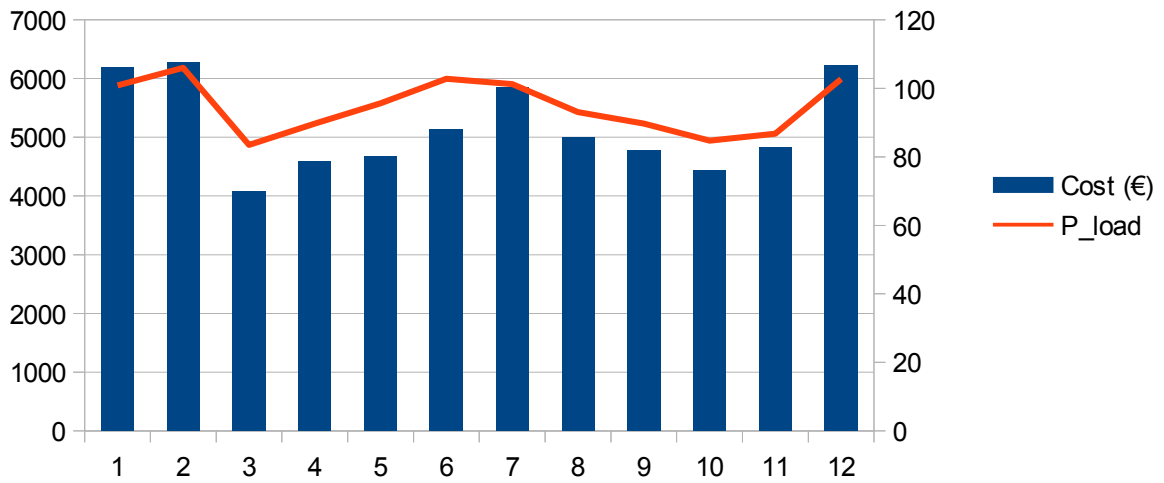
**OC**: 62.049,3 €

**NOC**: 54,6 €/MWh

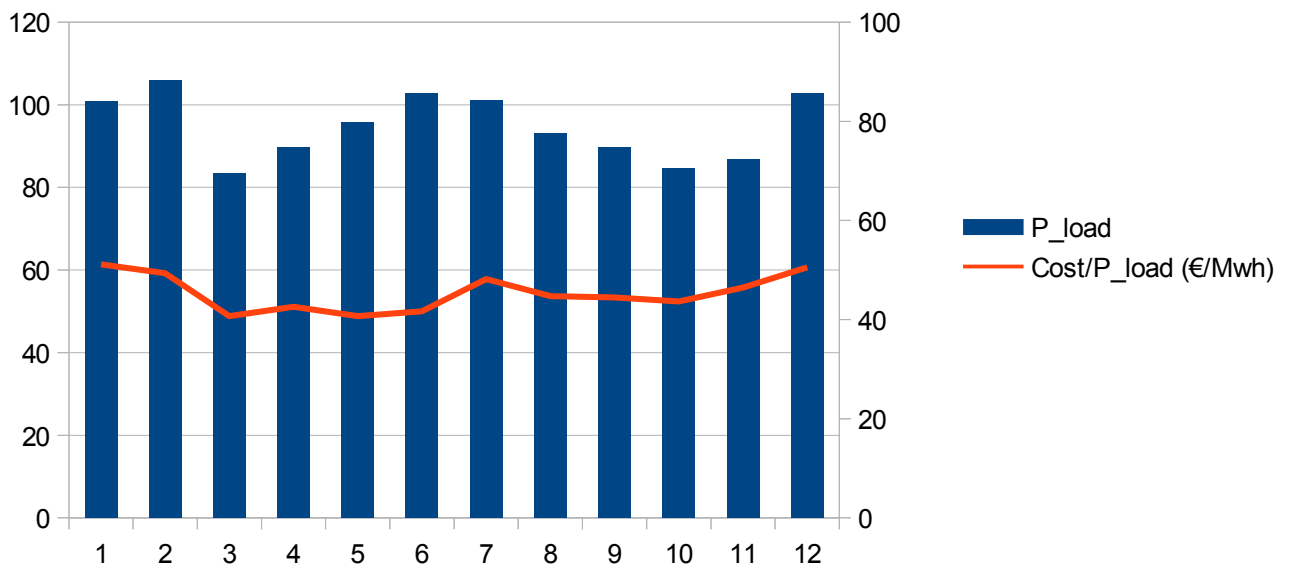
**OCR**: -8,54 %

**CSDG**: 65,86 €/KWDG

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 178.500 €

**PB:** 30,8 έτη

### 7.3.2 Δίκτυο βάσης με σταθερή τμηματική τιμολόγηση (DG\_1 Fixed pricing)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μήκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 88kW. Σταθερή τμηματική τιμολόγηση από ανάντη.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

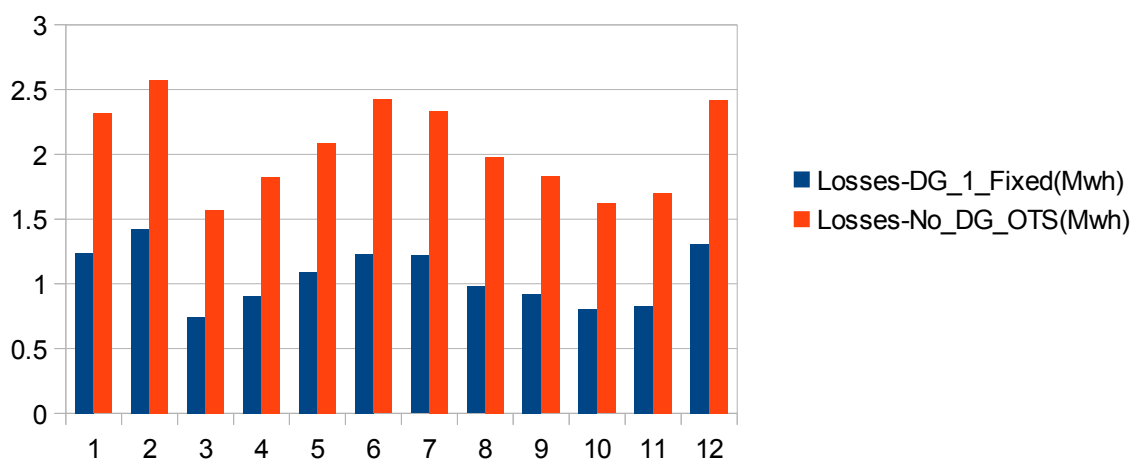
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 12,69 MWh

**LR:** -48,58 %

**LP:** 1,12 %

#### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	239,43	21,07
FC	30	259,19	22,81
WT	15	74	6,51
PV	13	26,61	2,34
Ανάντη	-	537,22	47,27
Σύνολο	88	1.136,4	100

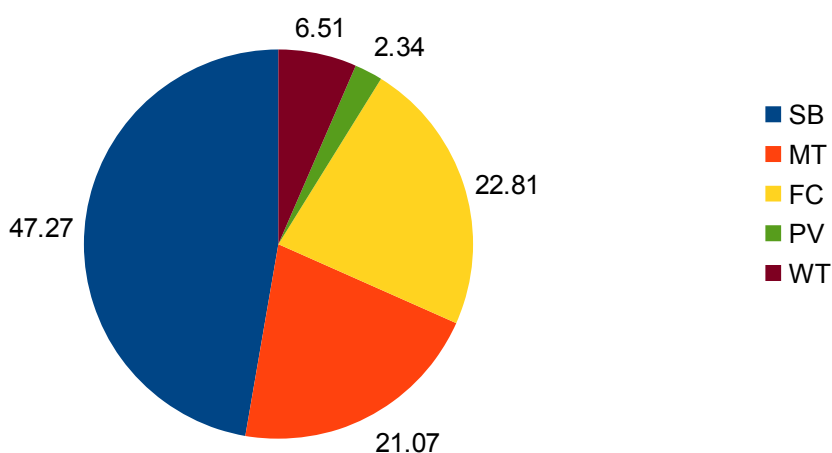
**Πίνακας 7.4 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 38,38 %

**P<sub>MDG</sub>**: 66,9 %

**NEDG**: 6,81 MWh/kWDG

**Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας**



### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

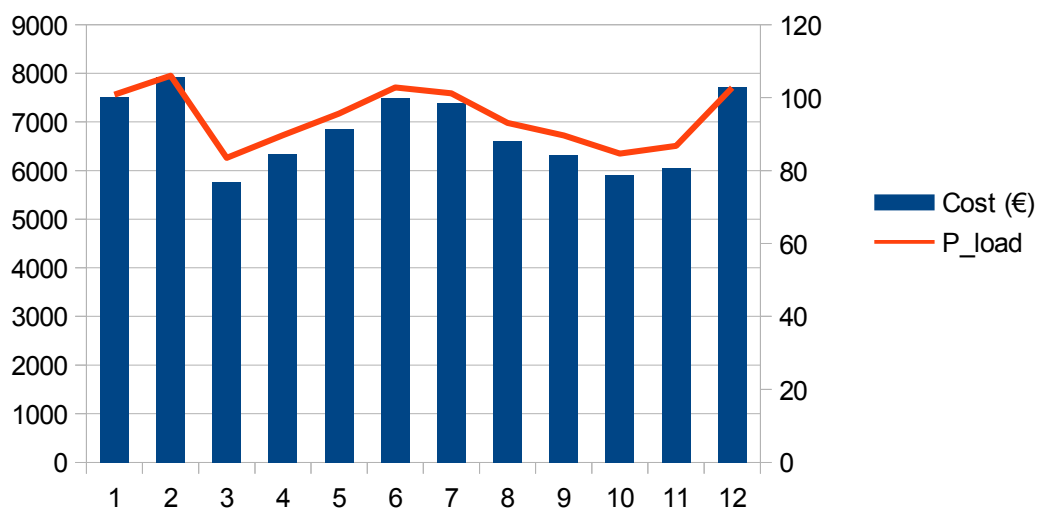
**OC:** 81.846,1 €

**NOC:** 72,02 €/MWh

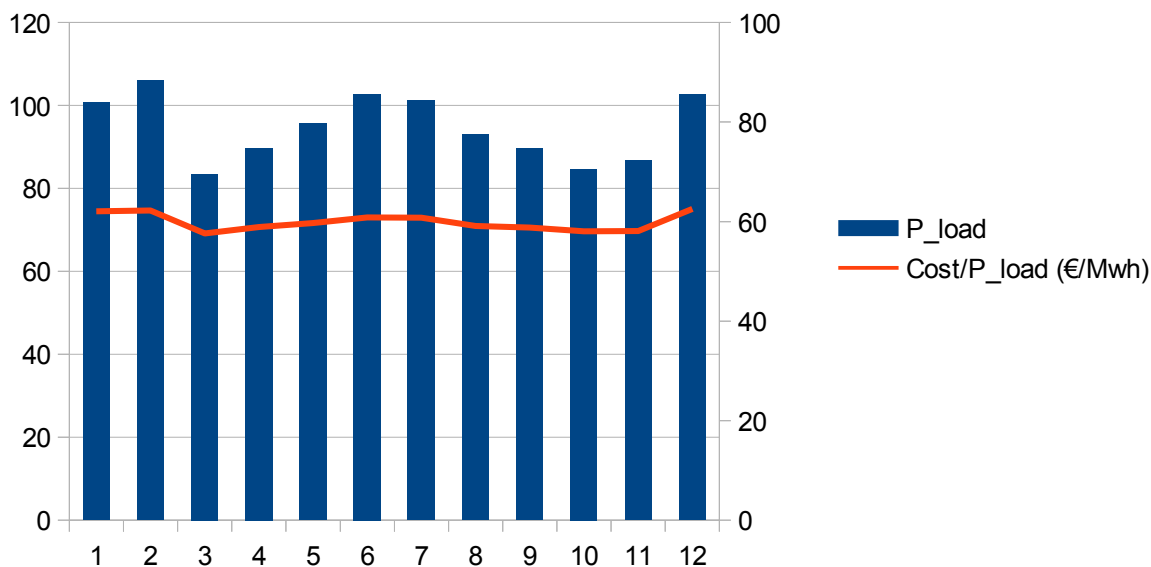
**OCR:** 20,64 %

**CSDG:** -159,1 €/KW<sub>DG</sub> (το '-' υποδηλώνει αύξηση λειτουργικού κόστους ανά KW<sub>DG</sub> σε σχέση με NoDG<sub>OTS</sub>)

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας





### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 178.500 €

**PB:** - έτη

### **7.3.3 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 20% ως προς το DG\_1 OTS από ΑΠΕ (DG\_2 OTS)**

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μήκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 105,6kW (αύξηση ΑΠΕ 20%). Τιμολόγηση ανάντη με ΟΤΣ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

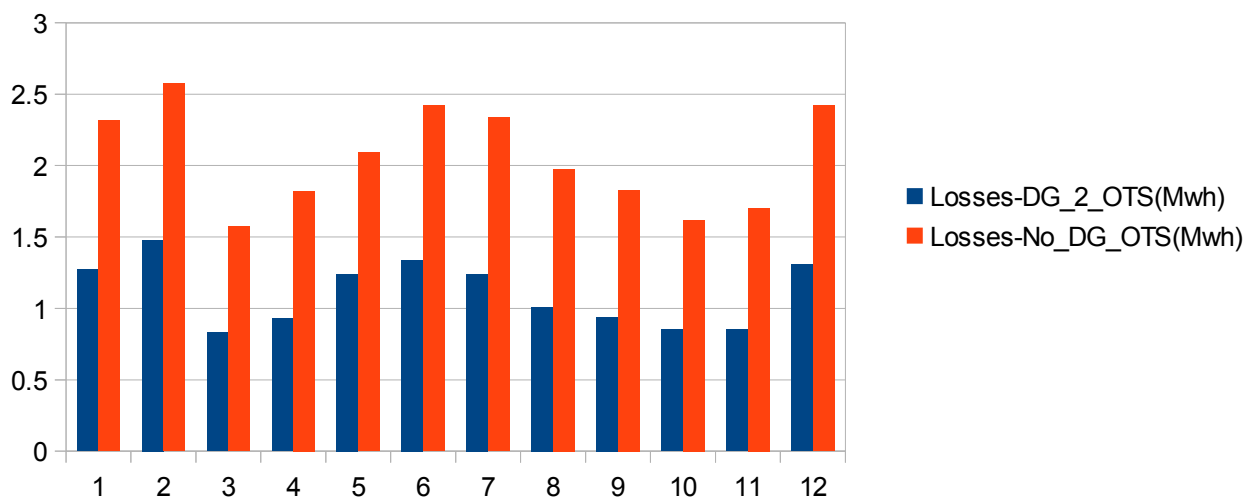
**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

### Απώλειες Δικτύου

Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

## Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



**Total Losses:** 13,29 MWh

**LR:** -46,15 %

**LP:** 1,17 %

### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	202,17	17,79
FC	30	253,49	22,31
WT	25	123,34	10,85
PV	20,6	42,23	3,72
Ανάντη	-	515,2	45,34
Σύνολο	105,6	1.136,4	100

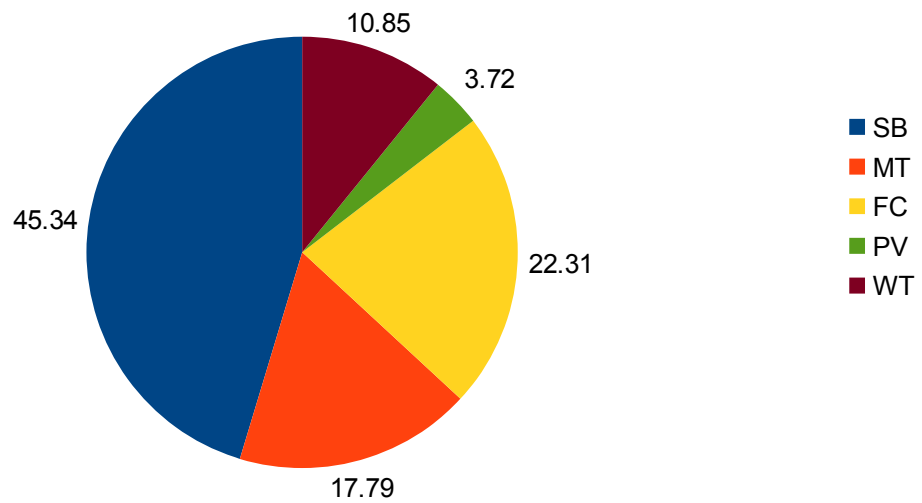
### **Πίνακας 7.5 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>:** 46,05 %

**P<sub>MDG</sub>:** 80,29 %

**NEDG:** 5,88 MWh/kW<sub>DG</sub>

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας



### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

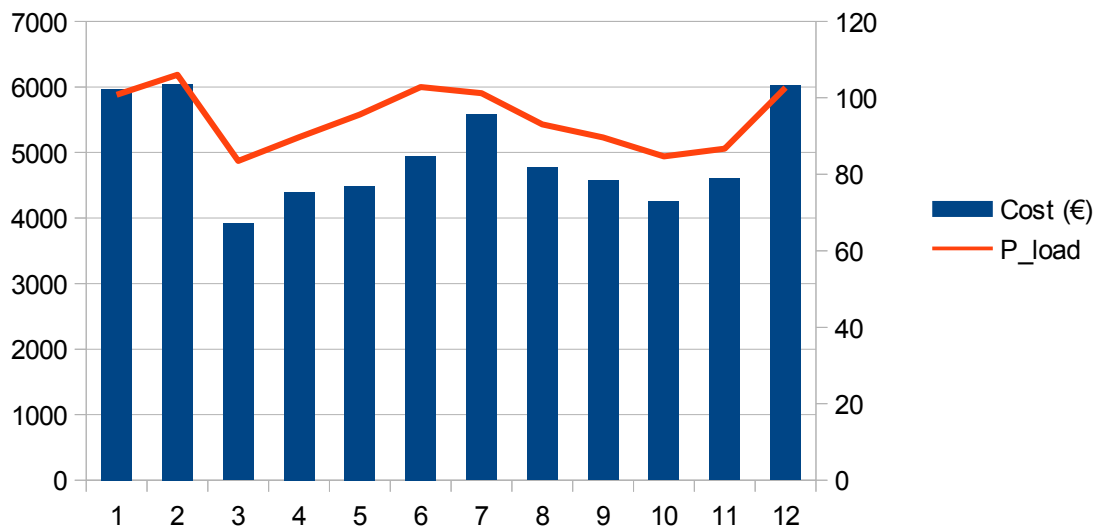
**OC:** 59.548,8 €

**NOC:** 52,4 €/MWh

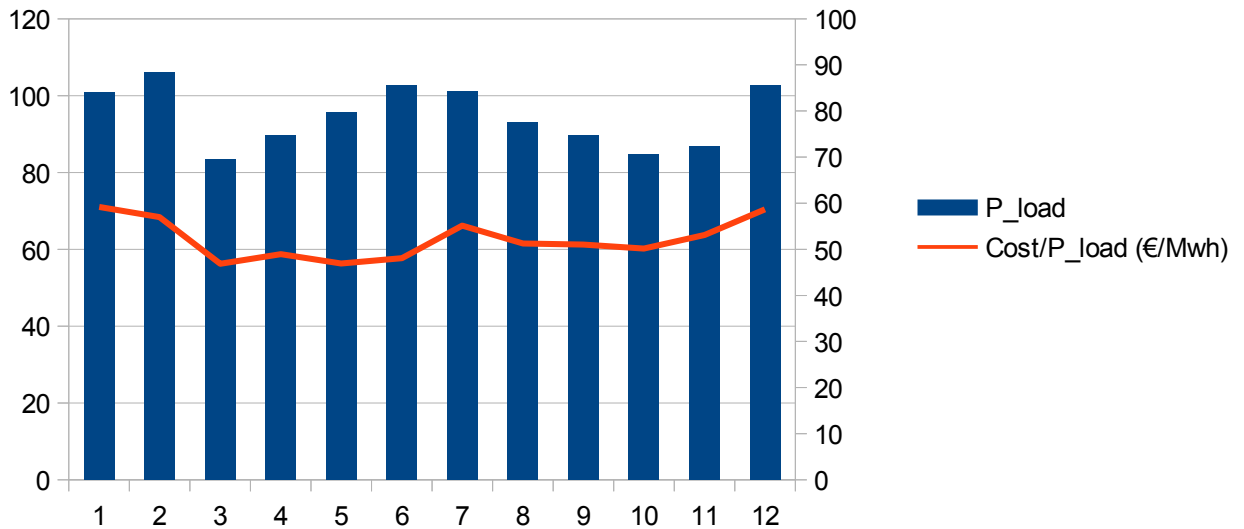
**OCR:** -12,23 %

**CSDG:** 78,56 €/KW<sub>DG</sub>

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 207.900 €

**PB:** 25,06 έτη

### **7.3.4 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 20% ως προς το DG\_1 OTS από MT (DG\_3 OTS)**

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μπάκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 105,6kW (αύξηση MT 20%). Τιμολόγηση ανάτη με ΟΤΣ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

## Απώλειες Δικτύου

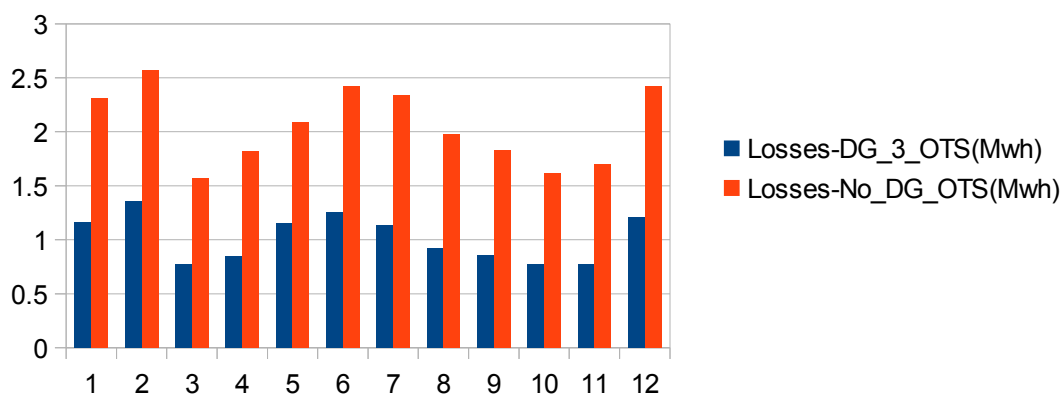
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 12,22 MWh

**LR:** -50,57 %

**LP:** 1,08 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	47,6	322,82	28,41
FC	30	254,11	22,36
WT	15	74	6,51
PV	13	26,61	2,34
Ανάντη	-	458,89	40,38
Σύνολο	105,6	1.136,4	100

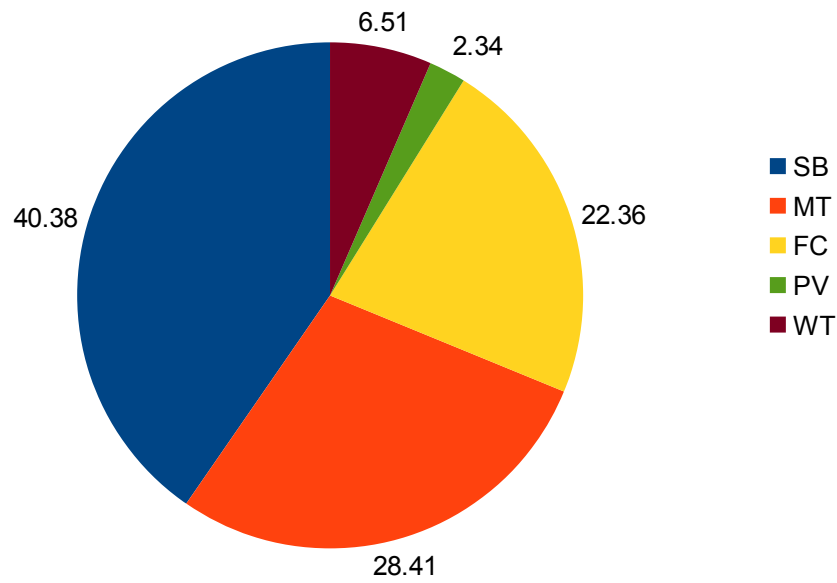
### Πίνακας 7.6 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου

**P<sub>ADG</sub>:** 46,05 %

**P<sub>MDG</sub>:** 80,29 %

**NEDG:** 6,42 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας



#### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

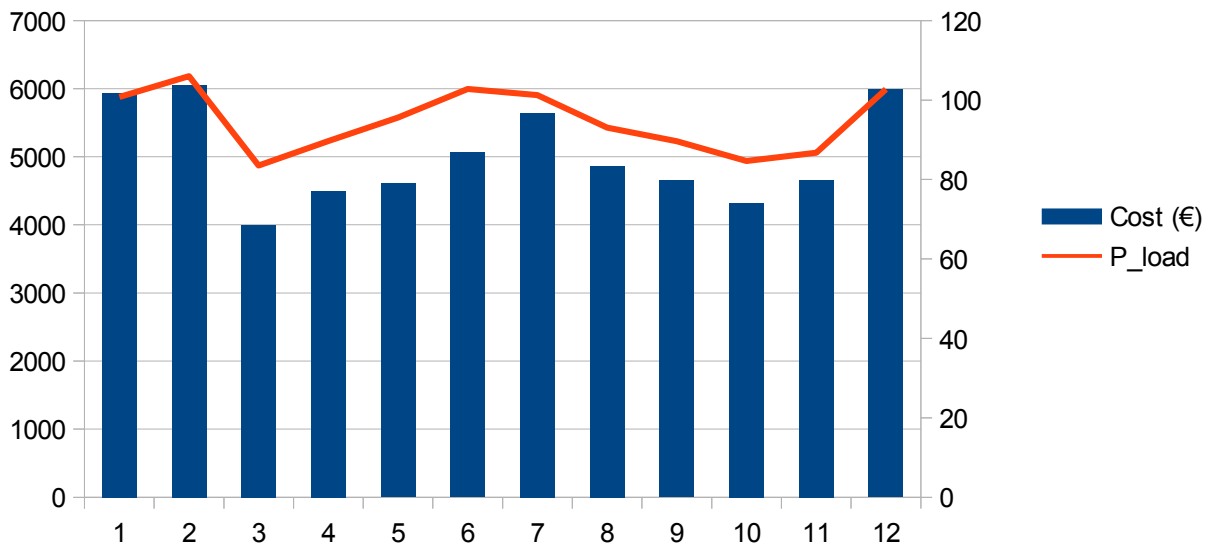
**OC:** 60.270,71 €

**NOC:** 53,03 €/MWh

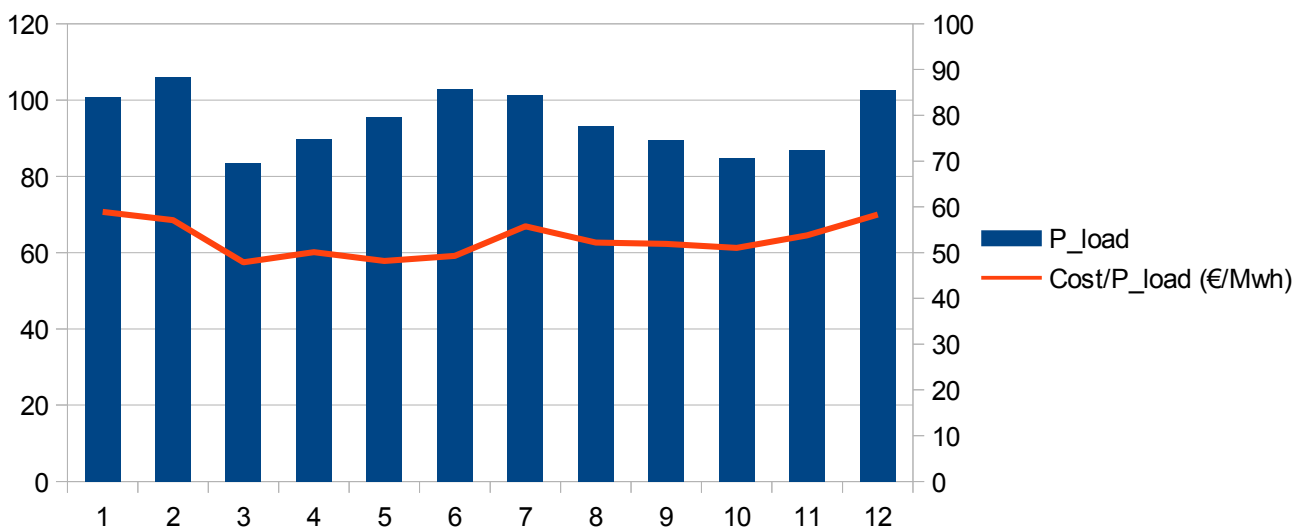
**OCR:** -11,16 %

**CSDG:** 71,73 €/KW<sub>DG</sub>

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 194.340 €

**PB:** 25,66 έτη

### 7.3.5 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 50% ως προς το DG\_1 OTS από ΑΠΕ (DG\_4 OTS)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μπάκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 132kW (αύξηση ΑΠΕ 50%). Τιμολόγηση ανάτη με ΟΤΣ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

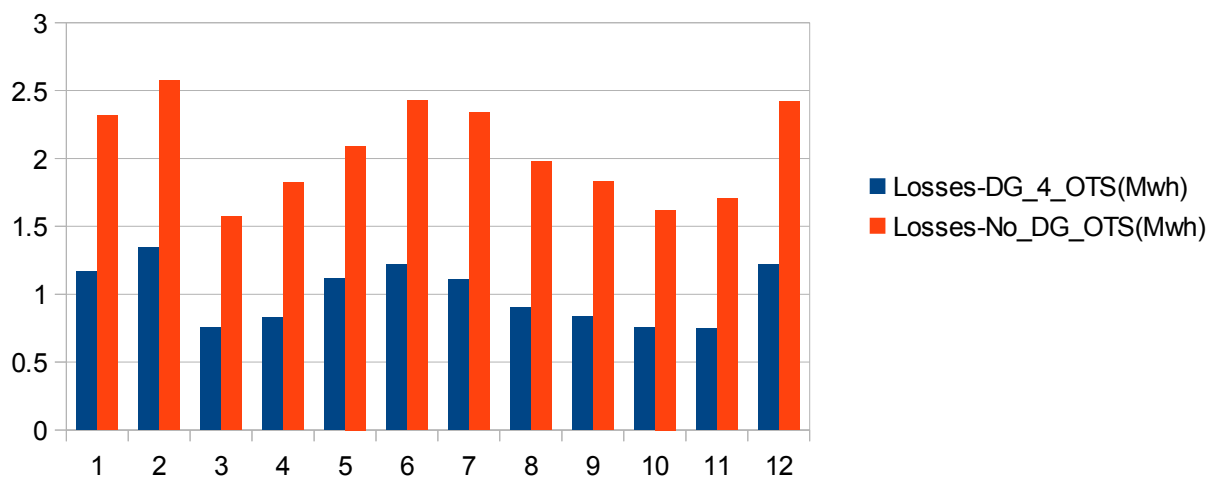
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 12 MWh

**LR:** -51,38 %

**LP:** 1,06 %

#### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα





## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	193,64	17,04
FC	30	247,98	21,82
WT	39	192,4	16,93
PV	33	67,51	5,94
Ανάντη	-	434,9	38,27
Σύνολο	132	1.136,4	100

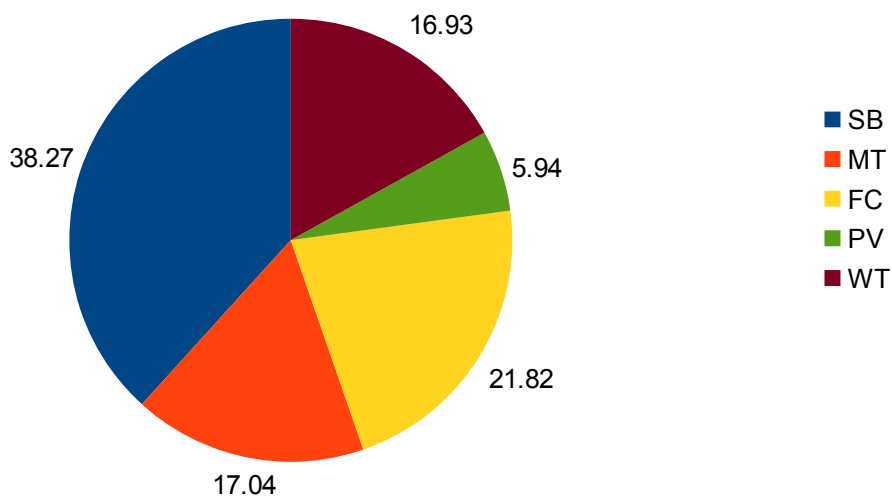
**Πίνακας 7.7 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 57,57 %

**P<sub>MDG</sub>**: 100,36 %

**NEDG**: 5,32 MWh/kWDG

**Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας**



## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

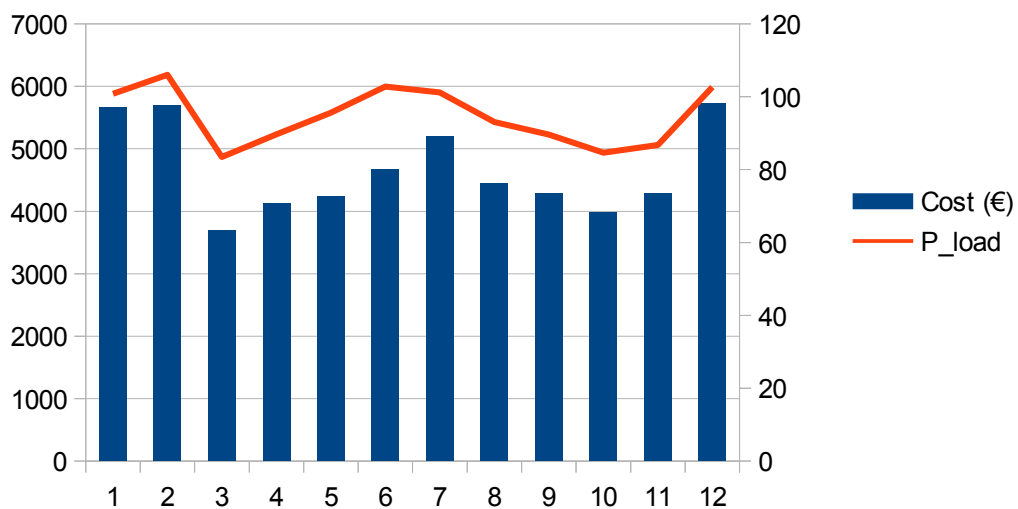
**OC:** 56.006,68 €

**NOC:** 49,28 €/MWh

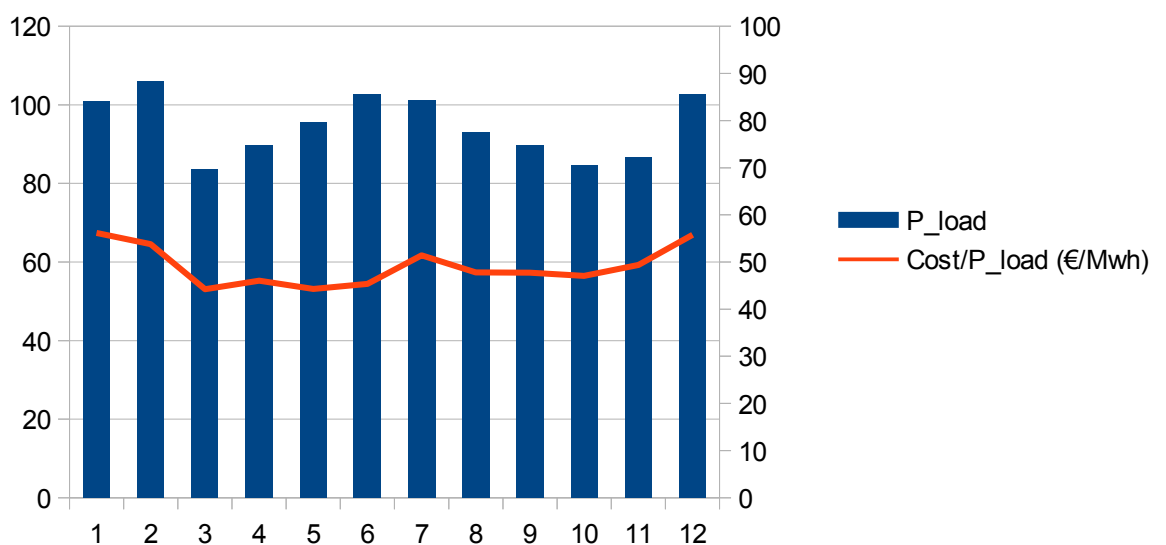
**OCR:** -17,45 %

**CSDG:** 89,69 €/KW<sub>DG</sub>

Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 251.700 €

**PB:** 21,26 έτη

### **7.3.6 Δίκτυο με επαυξημένη διείσδυση 50% ως προς το DG\_1 OTS από MT (DG\_5 OTS)**

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μπήκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 132kW (αύξηση MT 50%). Τιμολόγηση ανάντη με ΟΤΣ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

### Απώλειες Δικτύου

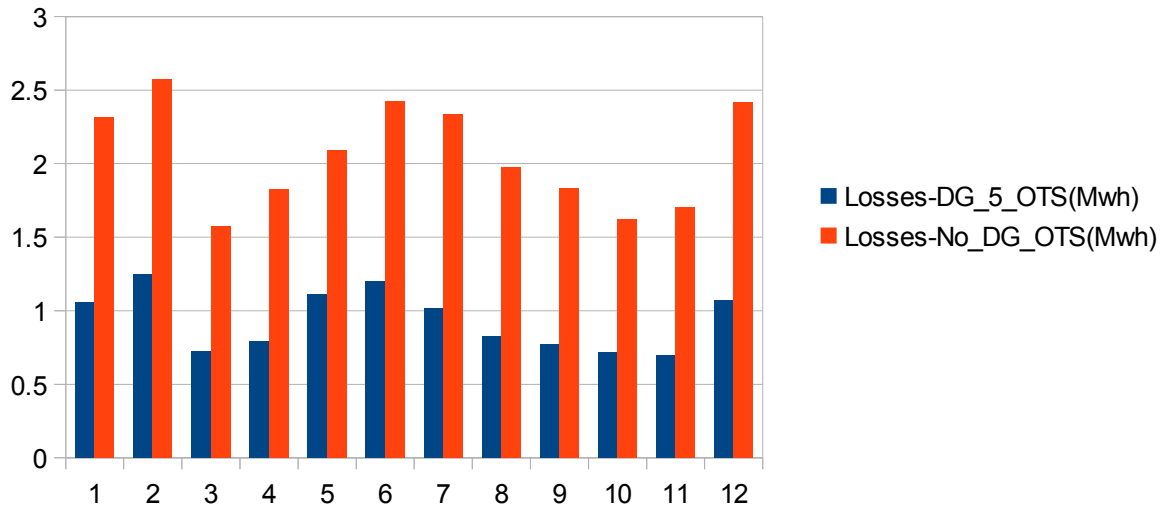
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 11,22 MWh

**LR:** -54,54 %

**LP:** 0,99 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	74	441,64	38,86
FC	30	252,71	22,24
WT	15	74	6,51
PV	13	26,61	2,34
Ανάντη	-	341,47	30,05
Σύνολο	132	1.136,4	100

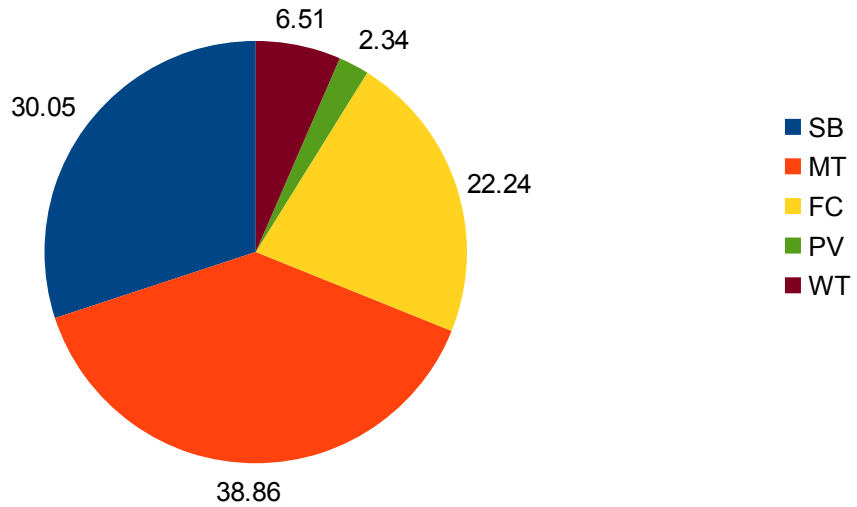
### **Πίνακας 7.8 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 57,57 %

**P<sub>MDG</sub>**: 100,36 %

**NEDG**: 6,02 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας



### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

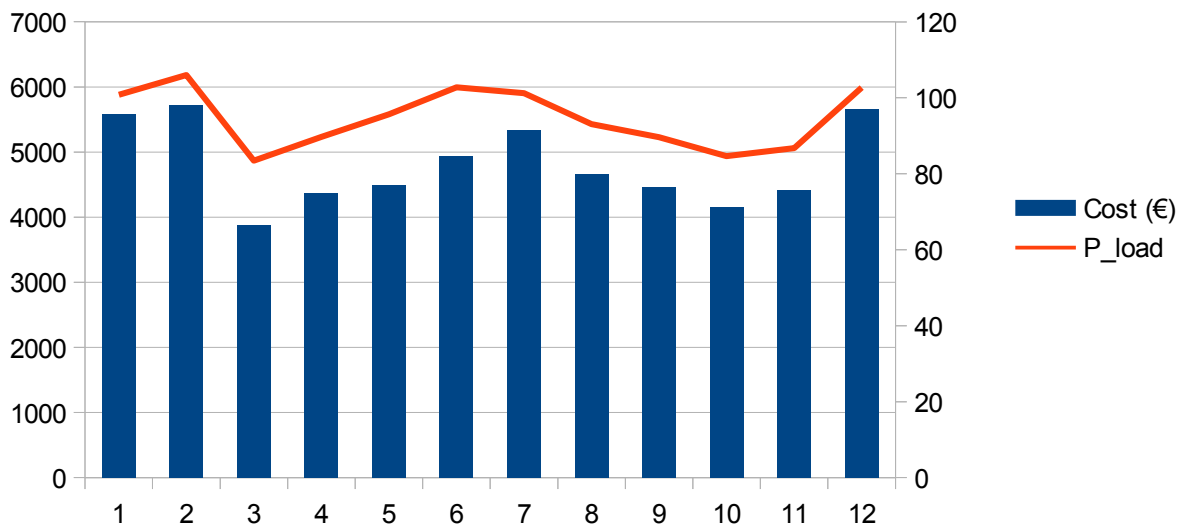
**OC:** 57.669,85 €

**NOC:** 50,75 €/MWh

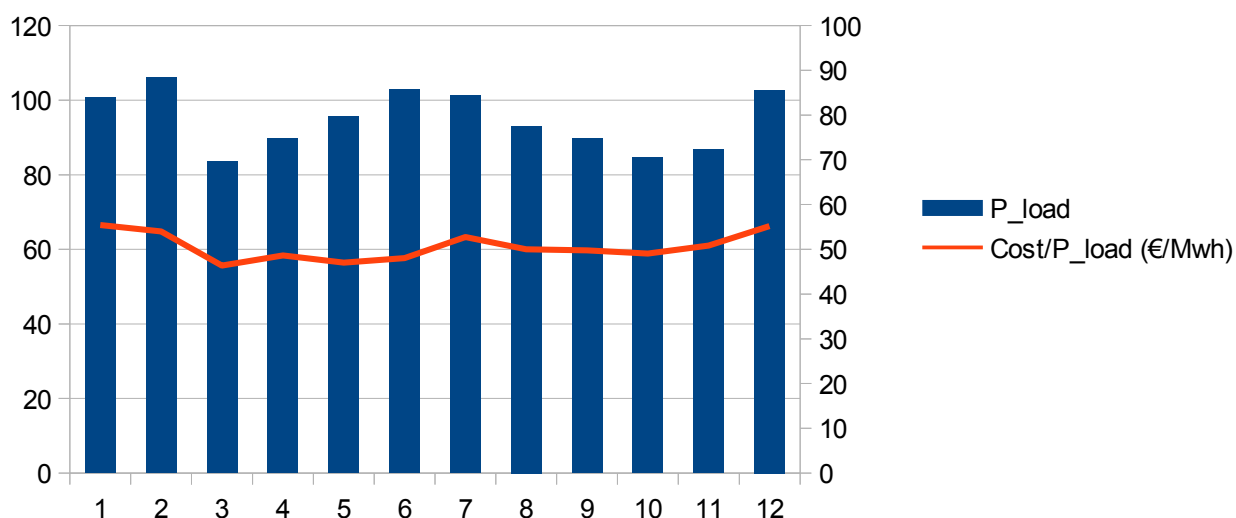
**OCR:** -14,99 %

**CSDG:** 77,08 €/KW<sub>DG</sub>

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 218.100 €

**PB:** 21,44 έτη

#### 7.3.7 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με ΟΤΣ (Microgrid\_OTs)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μήκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 248kW ώστε να υπάρχει δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας. Τιμολόγηση ανάντη με ΟΤΣ.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

## Απώλειες Δικτύου

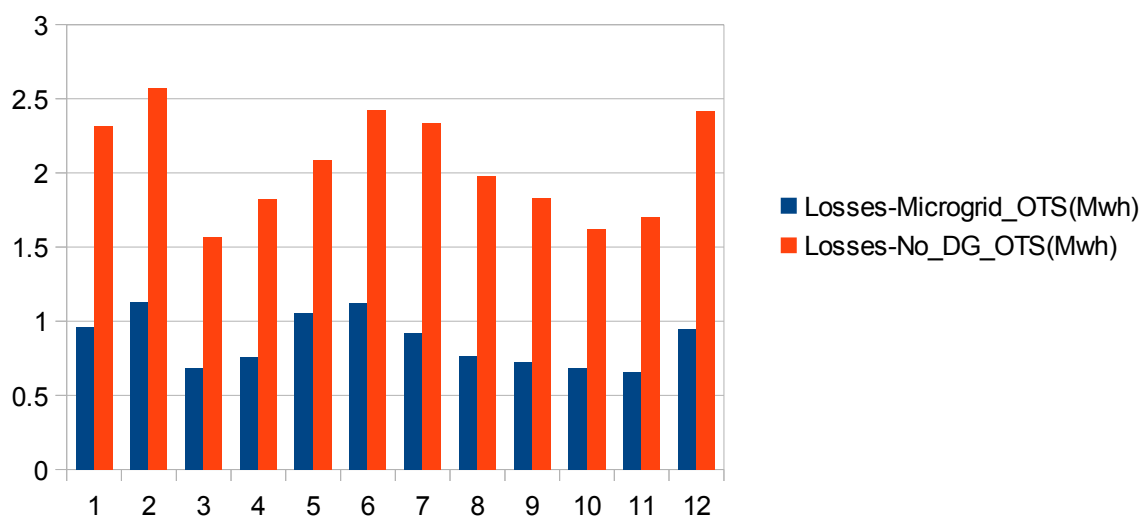
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 10,41 MWh

**LR:** -57,82 %

**LP:** 0,92 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

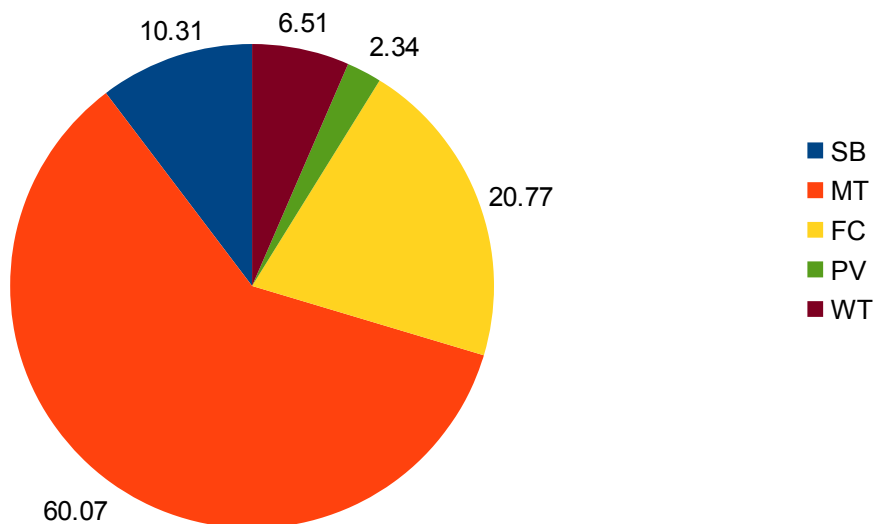
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	190	682,68	60,07
FC	30	235,99	20,77
WT	15	74	6,51
PV	13	26,61	2,34
Ανάντη	-	117,15	10,31
Σύνολο	248	1.136,4	100

**Πίνακας 7.9 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 108,16 %  
**P<sub>MDG</sub>**: 188,55 %  
**NEDG**: 4,11 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας



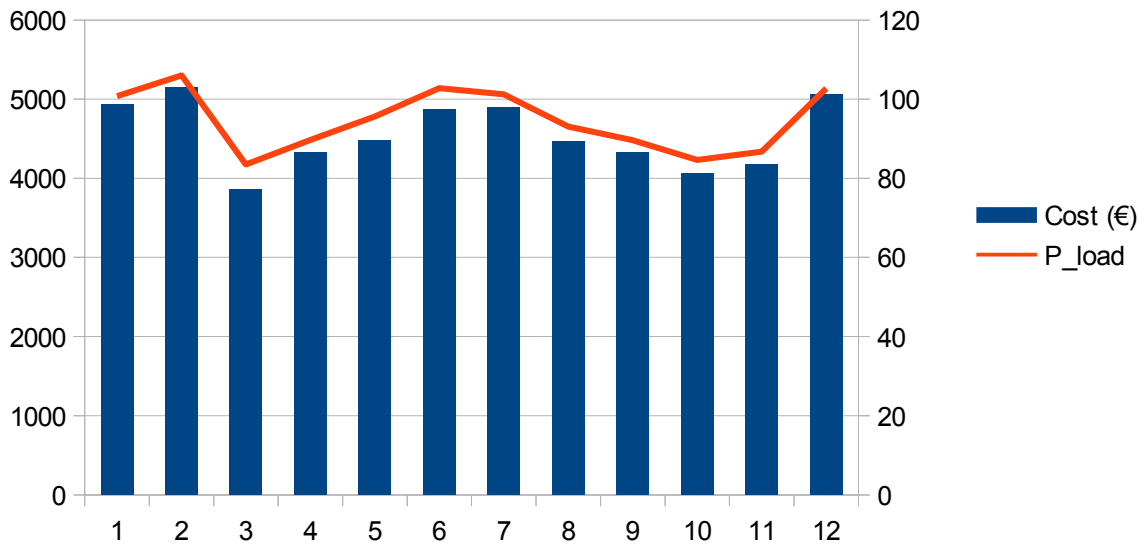
### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

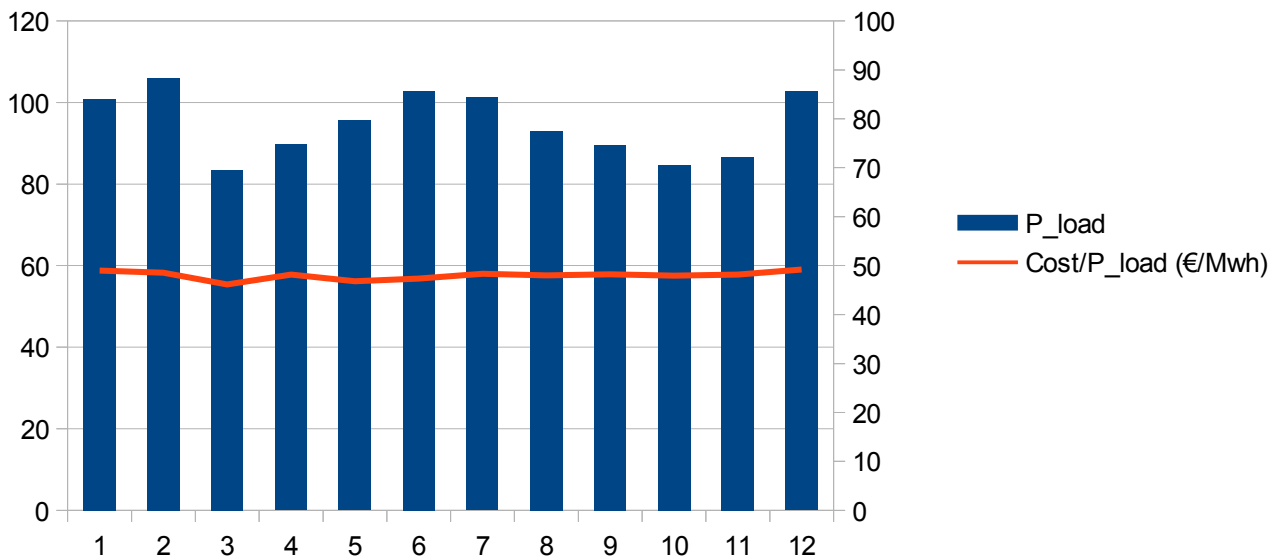
**OC**: 54.582,34 €  
**NOC**: 48,03 €/MWh  
**OCR**: -19,55 %  
**CSDG**: 53,48 €/KW<sub>DG</sub>



### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 322.500 €

**PB:** 24,32 έτη

### 7.3.8 Αυτόνομη Λειτουργία Μικροδικτύου με Σταθερή Τιμολόγηση (Microgrid\_Fixed)

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μήκε λειτουργικό κόστος). Σύνολο DG = 248kW ώστε να υπάρχει δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας. Οποιαδήποτε ενέργεια από το ανάντη με τμηματική σταθερή τιμολόγηση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

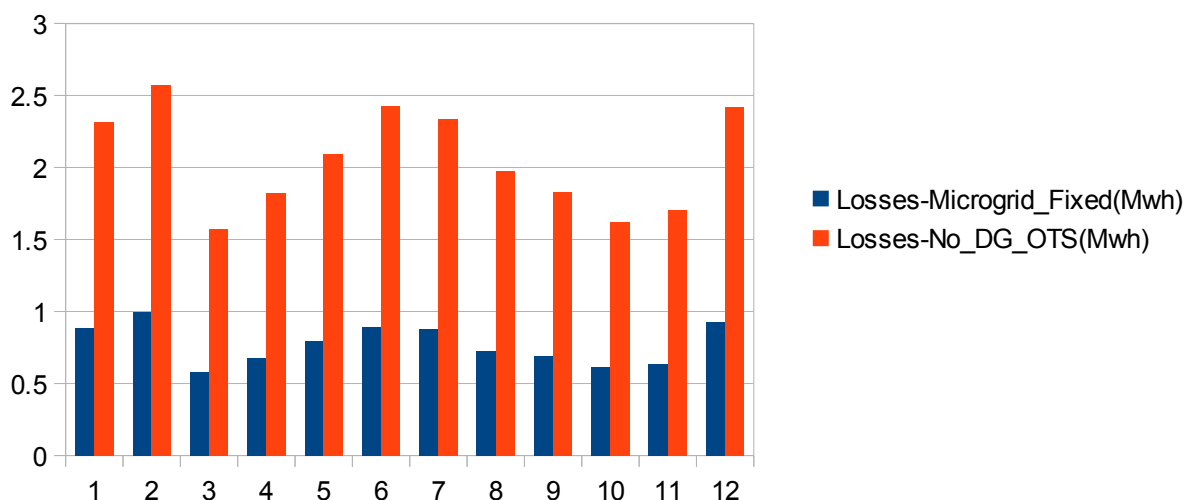
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 9,28 MWh

**LR:** -62,4 %

**LP:** 0,82 %

Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	190	796,42	70,08
FC	30	239.39	21,07
WT	15	74	6,51
PV	13	26,61	2,34
Ανάντη	-	0	0
Σύνολο	248	1.136,4	100

**Πίνακας 7.10 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 108,16 %

**P<sub>MDG</sub>**: 188,55 %

**NEDG**: 4,58 MWh/kWDG



## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

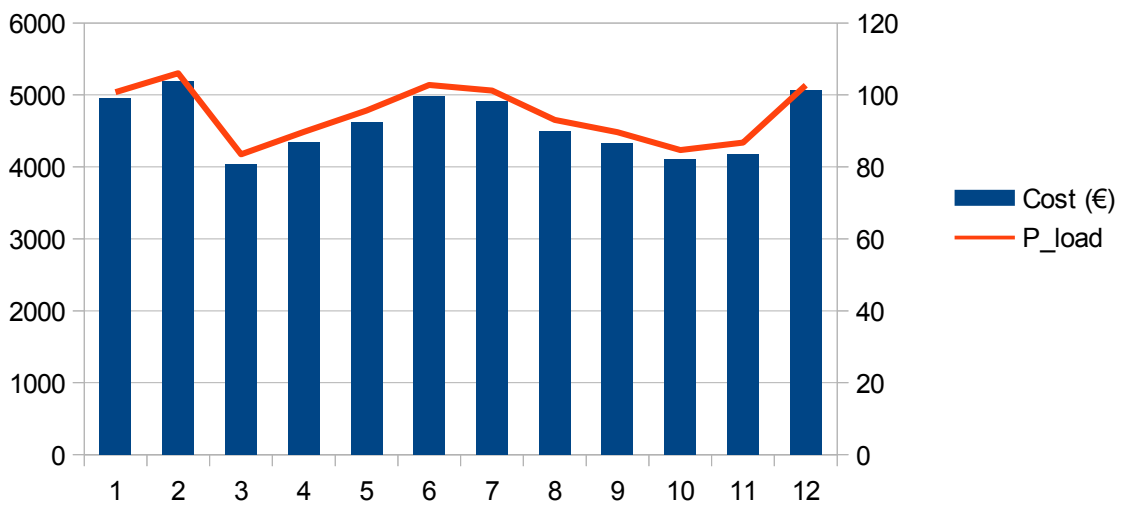
**OC:** 55.210,55 €

**NOC:** 48,58 €/MWh

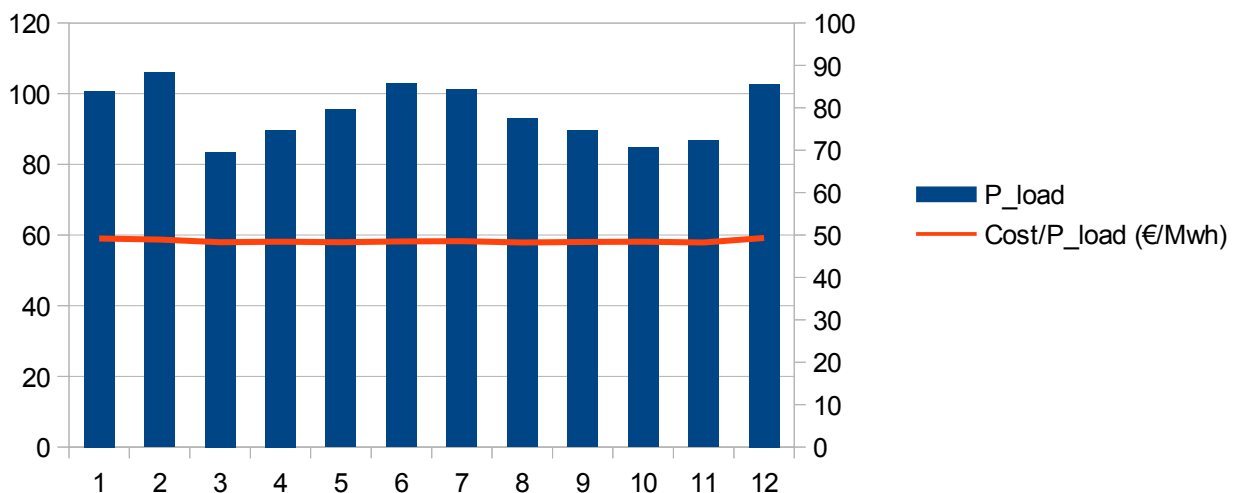
**OCR:** -18,62 %

**CSDG:** 50,95 €/KW<sub>DG</sub>

Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 322.500 €

**PB:** 25,53 έτη

## **7.4 Αποτελέσματα 2 ης Ενεργειακής Πολιτικής – Ενεργειακή Αναβάθμιση Καταναλωτών**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης για τα σενάρια όπου έχει εφαρμοστεί η πολιτική της ενεργειακής αναβάθμισης. Σημαντικό είναι πως τα φορτία του δικτύου δεν παραμένουν ίδια κατά την εφαρμογή αυτής της ενεργειακής πολιτικής σε σχέση με το απλό δίκτυο ή τις εφαρμογές της πρώτης ενεργειακής πολιτικής που αφορούσε τη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Η πολιτική αυτή εξ ορισμού αποσκοπεί στη βελτίωση της ενεργειακής ταυτότητας των καταναλωτών άρα και μείωση στο φορτίο κάθε καταναλωτή όπως έχει αναλυθεί και υλοποιηθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

### **7.4.1 Δίκτυο DG\_1 με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (DG\_1\_energyUpgrade\_OTIS)**

Περίληψη: Δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Μικροπηγές (PV, WT, MT, FC) με αντίστοιχες καμπύλες κόστους (στις ανανεώσιμες μπήκε λειτουργικό κόστος). Βελτίωση ενεργειακών προφίλ (κατηγοριών) των καταναλωτών με αντίστοιχα κόστη (CAPEX). Τιμολόγηση ανάντη με ΟΤΣ.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 168,49 kW

**Mean\_Load:** 96,65 kW

**Total\_Demand:** 835,064 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

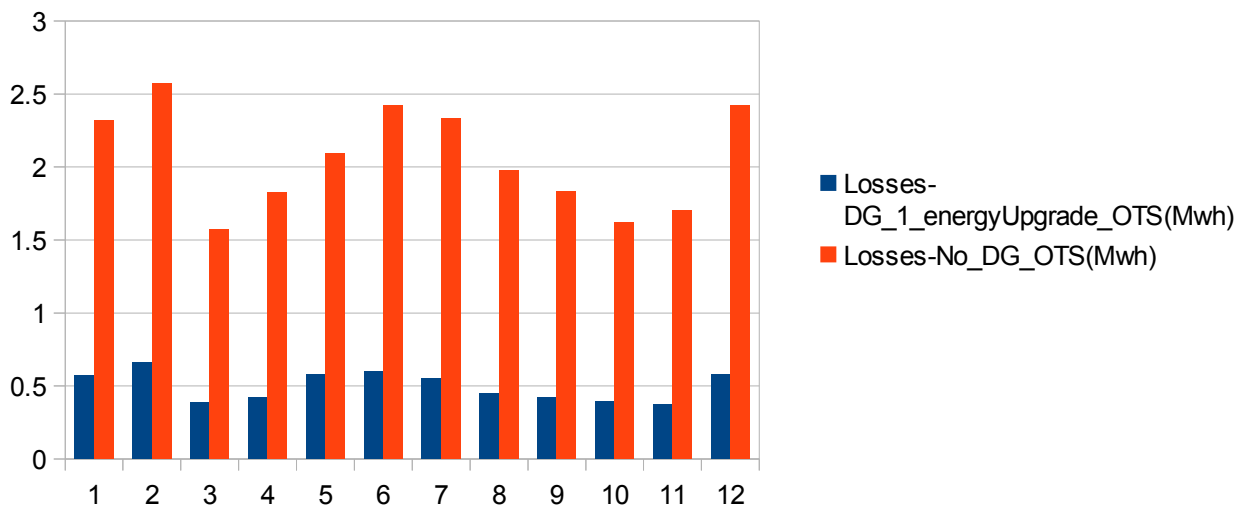
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 5,99 MWh

**LR:** -75,73 %

**LP:** 0,72 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

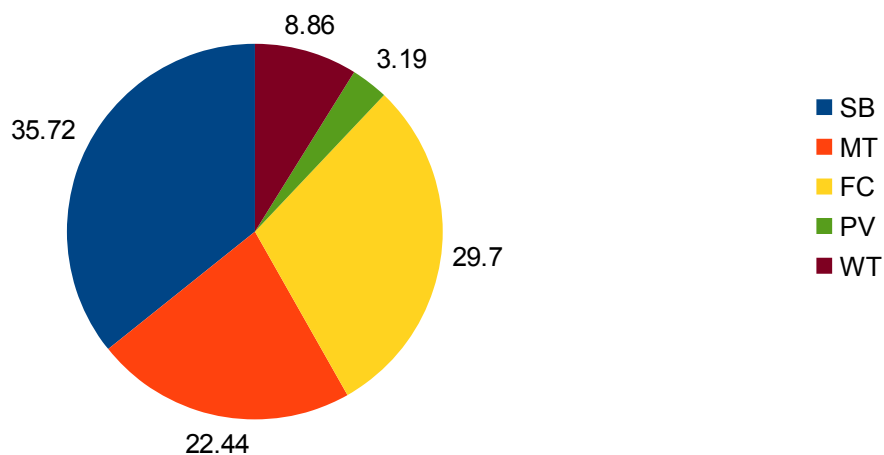
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	187,37	22,44
FC	30	248,82	29,7
WT	15	74	8,86
PV	13	26,61	3,19
Ανάντη	-	298,26	35,72
Σύνολο	88	835,064	100

**Πίνακας 7.11 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 52,23 %  
**P<sub>MDG</sub>**: 91,05 %  
**NEDG**: 6,1 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας

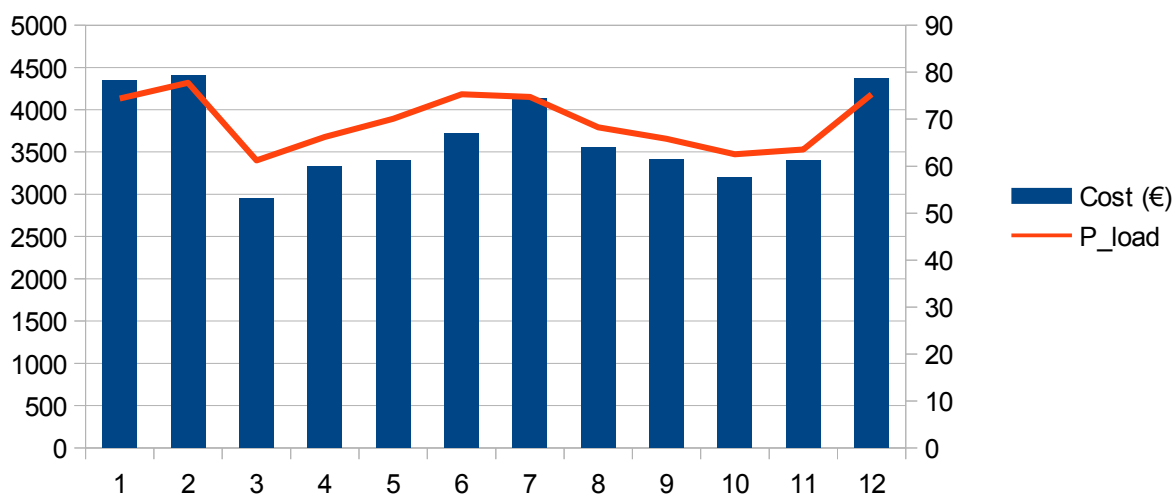


### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

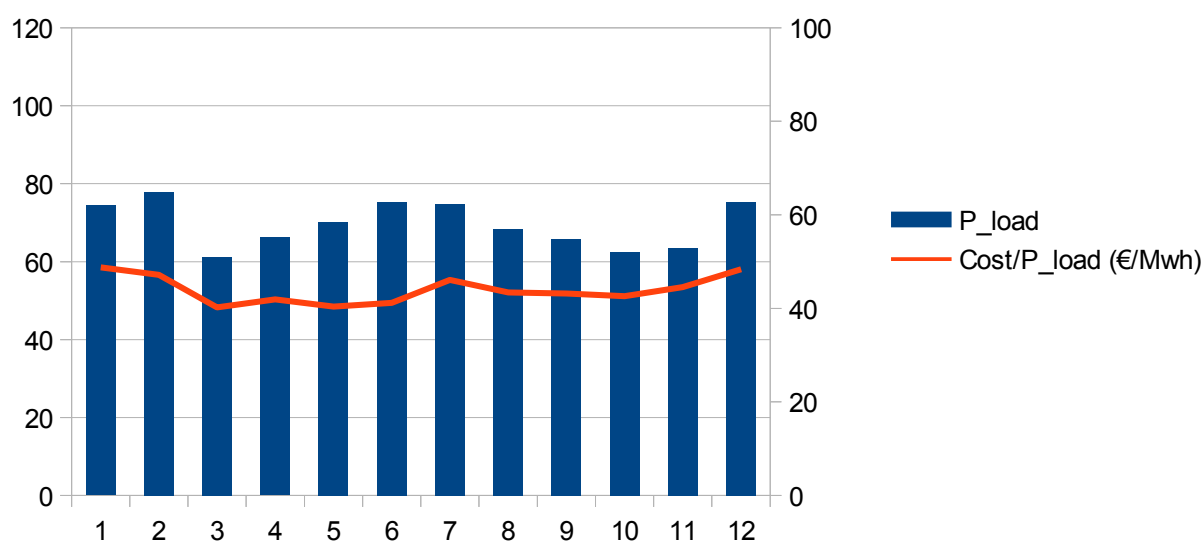
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC**: 44.208,52 €  
**NOC**: 52,94 €/MWh  
**OCR**: -34,84 %  
**CSDG**: 268,6 €/KW<sub>DG</sub>

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 937.984 €

**PB:** 39.68 έτη

### **7.4.2 Απλό δίκτυο No\_DG με ενεργειακή αναβάθμιση των προφίλ των καταναλωτών του (No\_DG\_energyUpgrade\_OTs)**

Περίληψη: Απλό δίκτυο 17 ζυγών με φορτία Residential, Commercial, Industrial με ωριαία βελτιστοποίηση λειτουργικού κόστους. Απουσία μικροπηγών. Βελτίωση ενεργειακών προφίλ (κατηγοριών) των καταναλωτών με αντίστοιχα κόστη (CAPEX). Αποκλειστική τιμολόγηση από το ανάντη με ΟΤΣ.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.



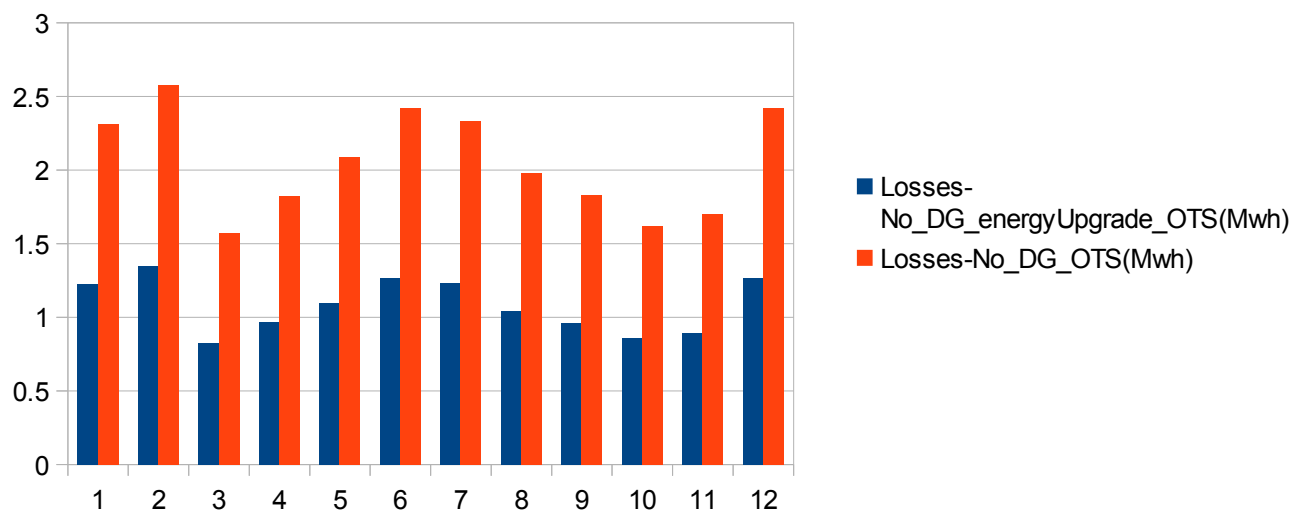
**Peak\_Load:** 168,49 kW  
**Mean\_Load:** 96,65 kW  
**Total\_Demand:** 835,064 MWh

### Απώλειες Δικτύου

Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 12,99 MWh  
**LR:** -47,37 %  
**LP:** 1,56 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	835,064	100
Σύνολο	835,064	100

**Πίνακας 7.12 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

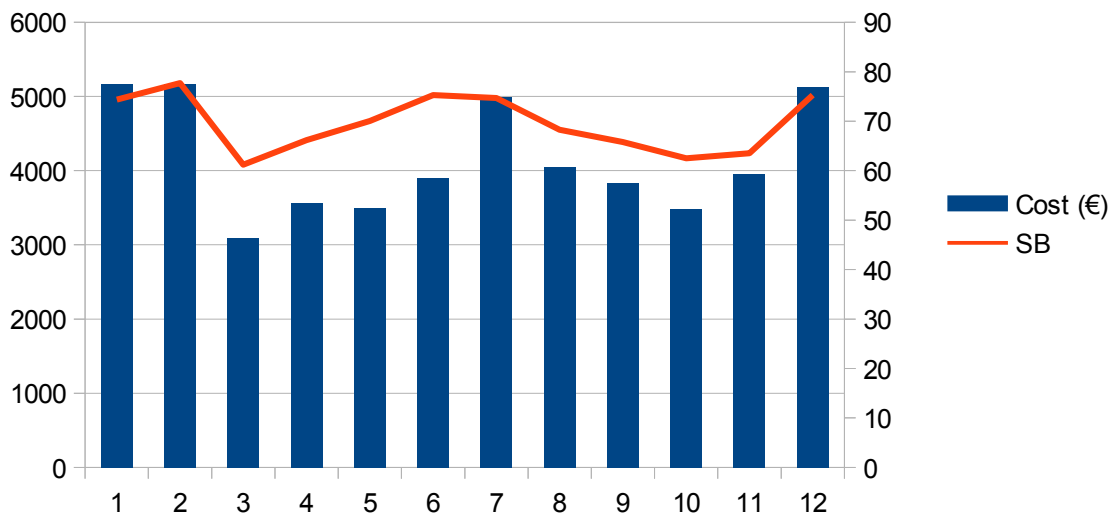
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC:** 49.819,28 €

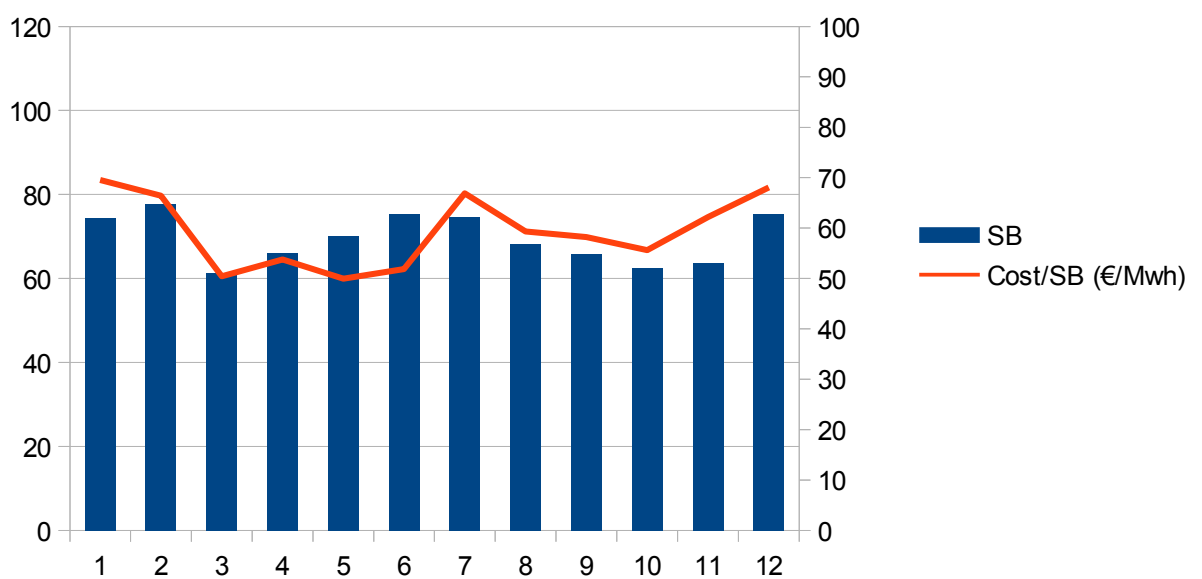
**NOC:** 59,66 €/MWh

**OCR:** -26,57 %

Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## Επενδυτικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής και η περίοδος αποπληρωμής του κάθε σεναρίου.

**CapEx:** 759.484 €

**PB:** 42,13 έτη

## **7.5 Αποτελέσματα Τιμολογιακής Πολιτικής**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης για τα σενάρια όπου έχει εφαρμοστεί τιμολογιακή πολιτική σύμφωνα με διάφορα πρότυπα τιμολόγησης που θα αποτελέσουν στο μέλλον, με τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών σε πραγματικό χρόνο, μοντέλα τιμολόγησης. Επίσης εφαρμόζονται και αντιδράσεις του δικτύου σε σημερινές μεθοδολογίες αυξομείωσης των σταθερών τιμολογίων των καταναλωτών. Σημαντικό είναι πως τα φορτία του δικτύου δεν παραμένουν ίδια κατά την εφαρμογή αυτής των τιμολογιακών πολιτικών σε σχέση με το απλό δίκτυο ή τις εφαρμογές της πρώτης ενεργειακής πολιτικής που αφορούσε τη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Η πολιτική αυτή εμπεριέχει, όπως και έχει αναφερθεί κατά τη μοντελοποίηση των σεναρίων, την αντίδραση των καταναλωτών του δικτύου σε αυξομειώσεις της τιμής ενέργειας (ενεργειακή ελαστικότητα).

### **7.5.1 Δίκτυο DG\_1 με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικοτήτων Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG1\_10% OTS)**

Περίληψη: Το κλασσικό δίκτυο μοντελοποίησης που φέρει χαρακτηριστικά διεσπαρμένης παραγωγής όπως το σενάριο DG\_1. Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζεται μια αύξηση της ΟΤΣ κατά 10%. Μέσω πίνακα ελαστικοτήτων παρουσιάζονται τα νέα σημεία ισορροπίας του δικτύου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

## Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 220,56 kW

**Mean\_Load:** 126,52 kW

**Total\_Demand:** 1.093,152 MWh

## Απώλειες Δικτύου

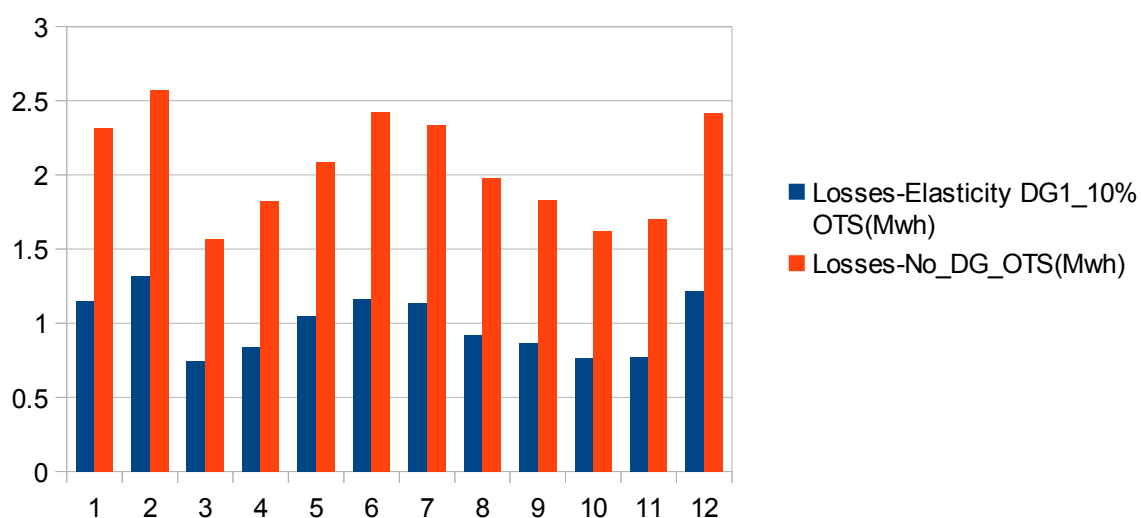
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 11,95 MWh

**LR:** -51,58 %

**LP:** 1,09 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

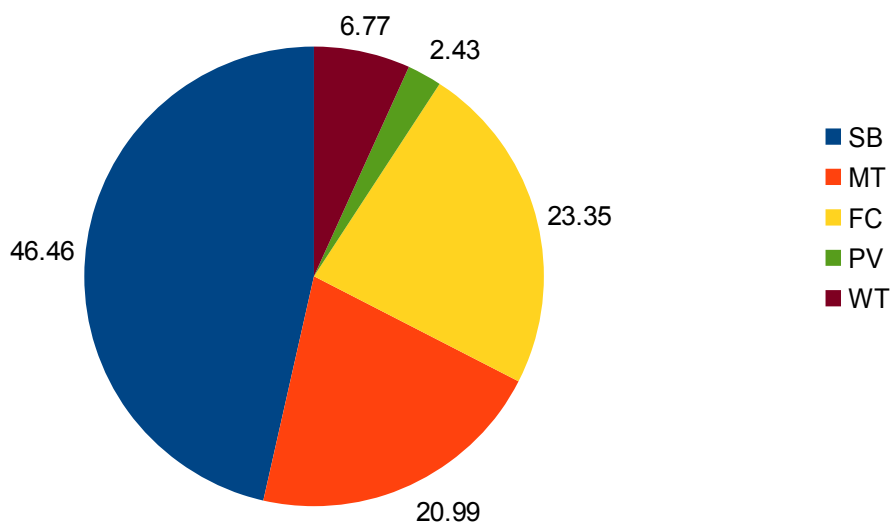
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	229,47	20,99
FC	30	255,24	23,35
WT	15	74	6,77
PV	13	26,61	2,43
Ανάντη	-	507,83	46,46
Σύνολο	88	1.093,15	100

**Πίνακας 7.13 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 39,9 %  
**P<sub>MDG</sub>**: 69,55 %  
**NEDG**: 6,65 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας



### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

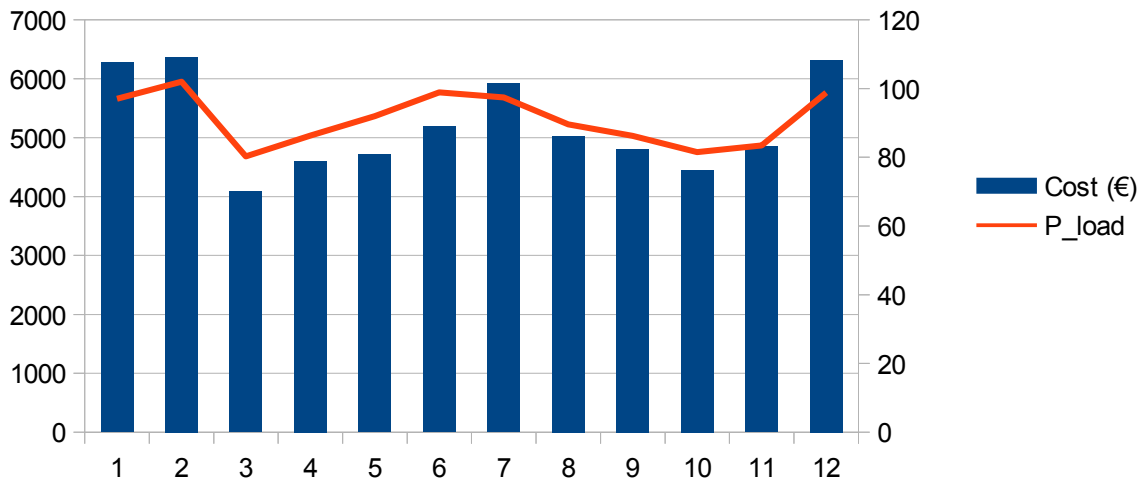
**OC**: 62.599,17 €

**NOC**: 57,26 €/MWh

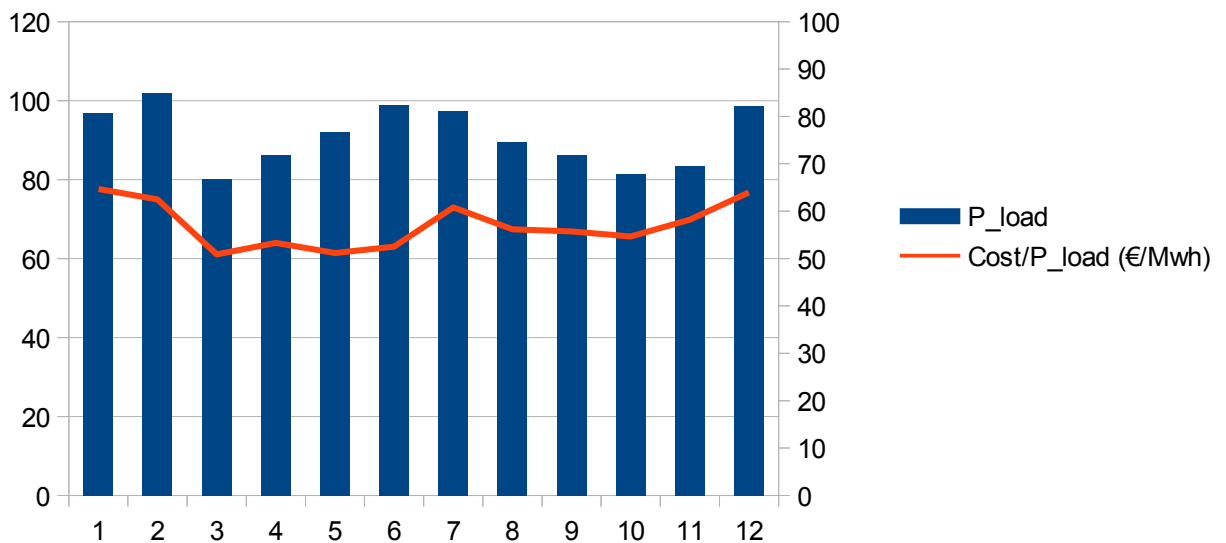
**OCR**: -7,73 %

**CSDG**: 59,61 €/KWDG

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### 7.5.2 Δίκτυο No\_DG με Αύξηση της ΟΤΣ κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No\_DG\_10% OTS)

Περίληψη: Το απλό δίκτυο μοντελοποίησης με απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής όπως το σενάριο No\_DG. Σε αυτό το σενάριο, όπως και προηγουμένως, εφαρμόζεται μια αύξηση της ΟΤΣ κατά 10%. Μέσω πίνακα ελαστικότητας παρουσιάζονται τα νέα σημεία ισορροπίας του δικτύου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 220,56 kW

**Mean\_Load:** 126,52 kW

**Total\_Demand:** 1.093,152 MWh

### Απώλειες Δικτύου

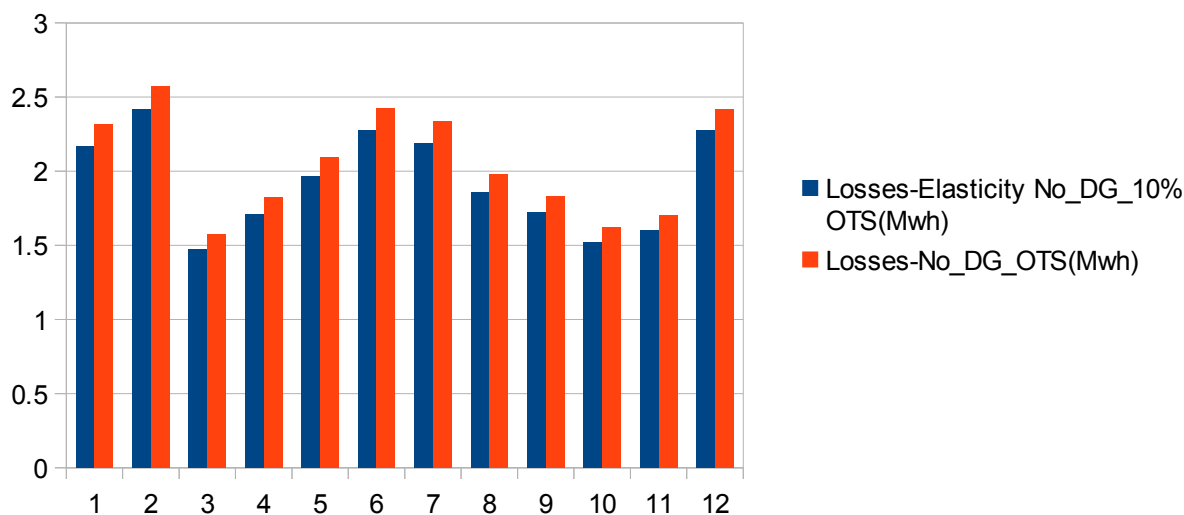
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 23,17 MWh

**LR:** -6,12 %

**LP:** 2,12 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	1.093,15	100
Σύνολο	1.093,15	100

**Πίνακας 7.14 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

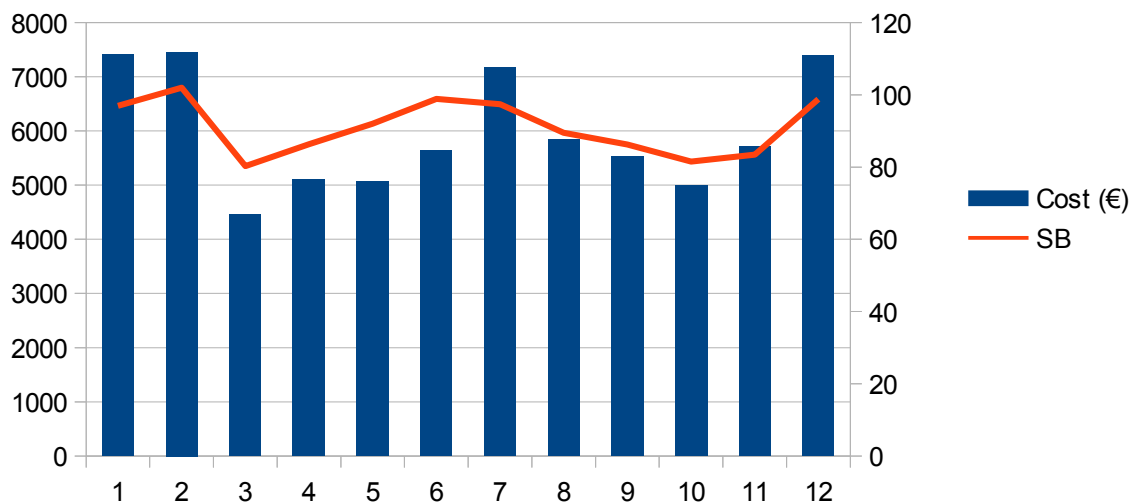
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC:** 71.769,28 €

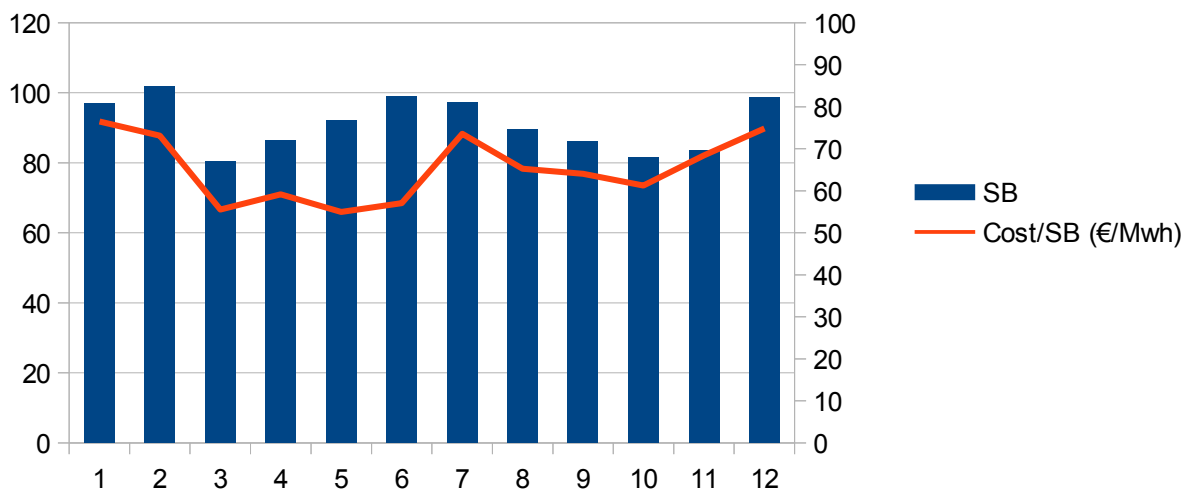
**NOC:** 65,65 €/MWh

**OCR:** 5,78 %

Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας





### 7.5.3 Δίκτυο No\_DG με Αύξηση της Fixed Τιμολόγησης κατά 10% και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No\_DG\_10% Fixed)

Περίληψη: Το απλό δίκτυο μοντελοποίησης με απουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής όπως το σενάριο No\_DG. Σε αυτό το σενάριο, όπως και προηγουμένως, εφαρμόζεται μια αύξηση των σταθερών τιμολογήσεων ανά κατηγορία κατά 10%. Μέσω πίνακα ελαστικότητας παρουσιάζονται τα νέα σημεία ισορροπίας του δικτύου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 220,56 kW

**Mean\_Load:** 126,52 kW

**Total\_Demand:** 1.093,152 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

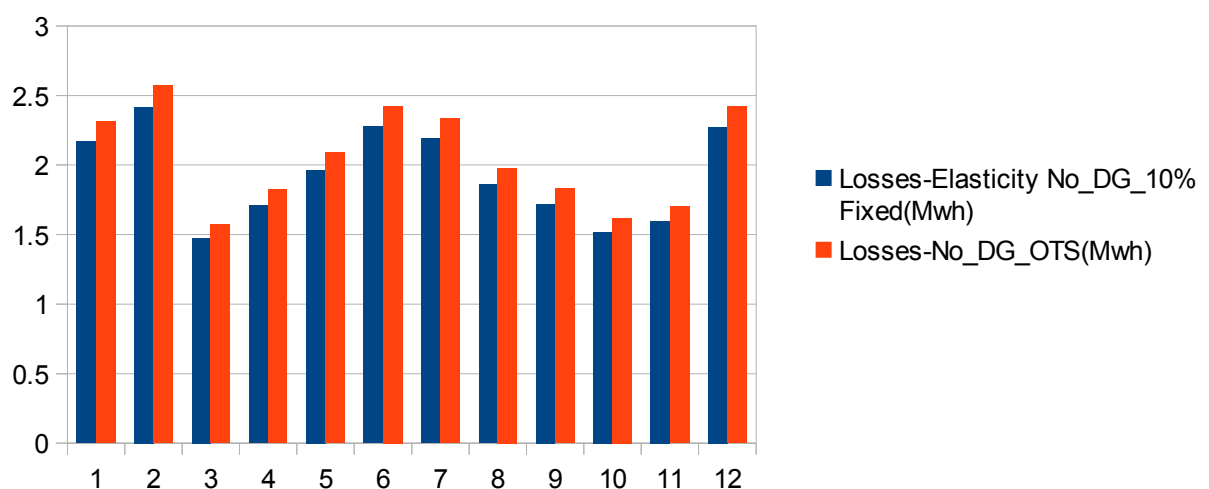
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 23,17 MWh

**LR:** -6,12 %

**LP:** 2,12 %

#### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	1.093,15	100
Σύνολο	1.093,15	100

**Πίνακας 7.15 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

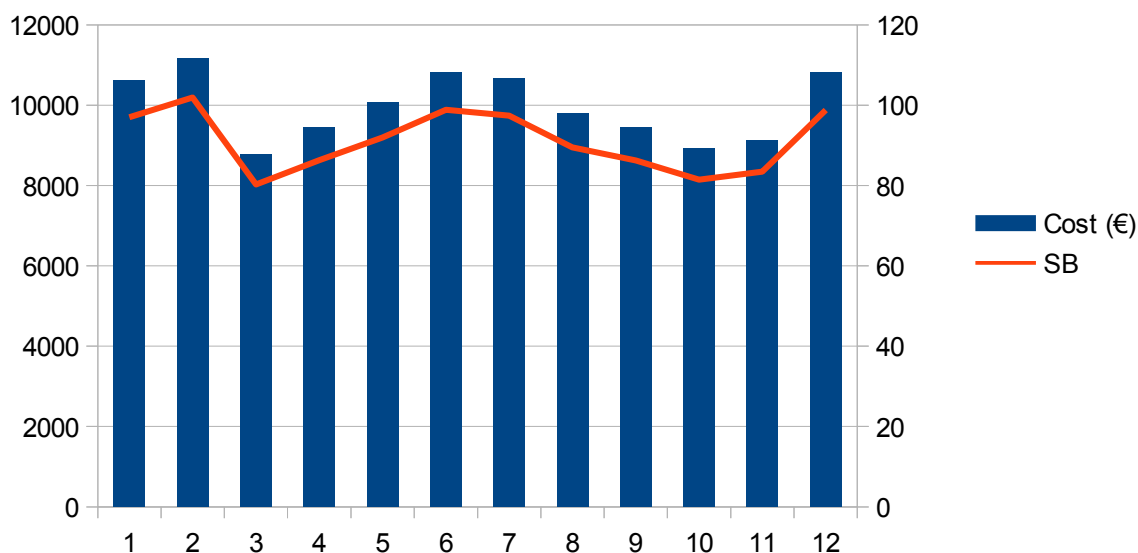
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC:** 119.607,42 €

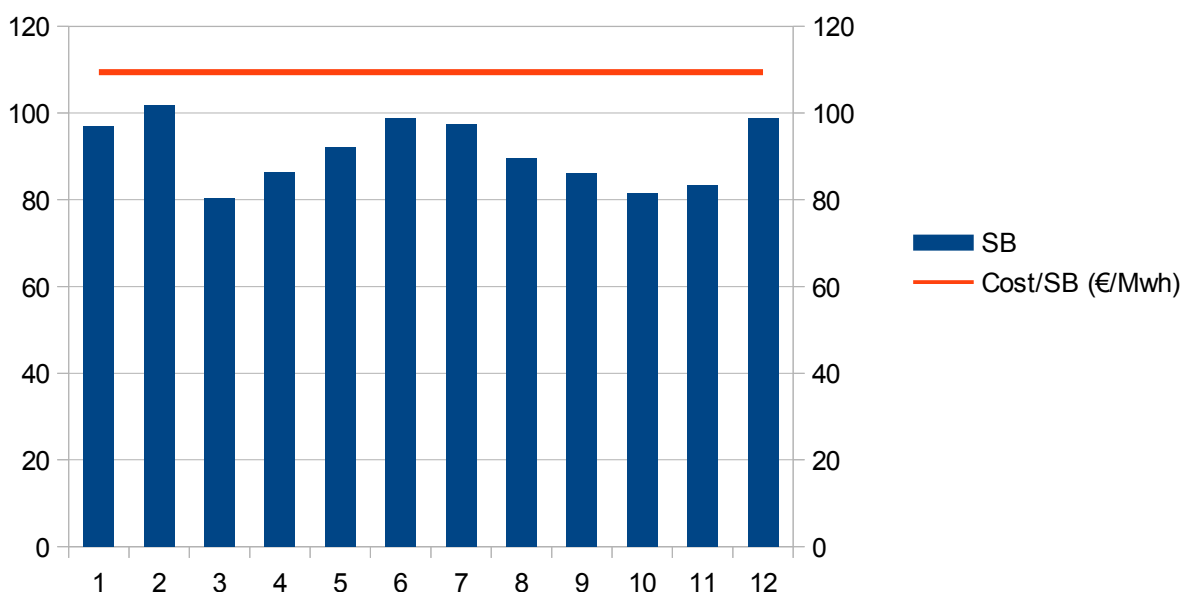
**NOC:** 109,42 €/MWh

**OCR:** 76,29 %

## Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### 7.5.4 Δίκτυο DG\_1 με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity DG\_1\_Discrete)

Περίληψη: Το κλασικό δίκτυο μοντελοποίησης που φέρει χαρακτηριστικά διεσπαρμένης παραγωγής όπως το σενάριο DG\_1. Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές αυξήσεις στις fixed τιμές ενέργειας για τις τρεις κατηγορίες καταναλωτών. Μέσω πίνακα ελαστικότητας παρουσιάζονται τα νέα σημεία ισορροπίας του δικτύου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

##### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 222,42 kW

**Mean\_Load:** 127,6 kW

**Total\_Demand:** 1.102,423 MWh

## Απώλειες Δικτύου

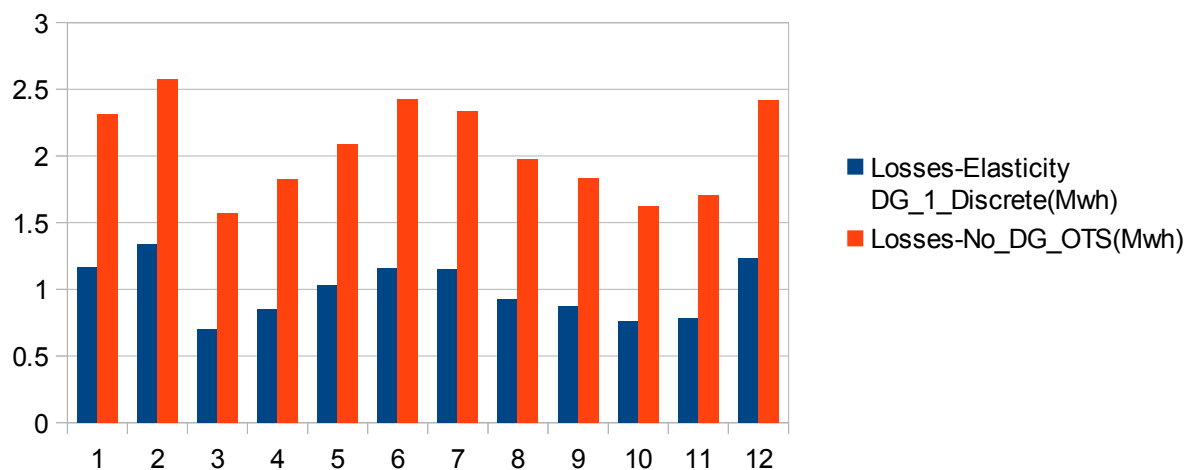
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 11,98 MWh

**LR:** -51,46 %

**LP:** 1,09 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

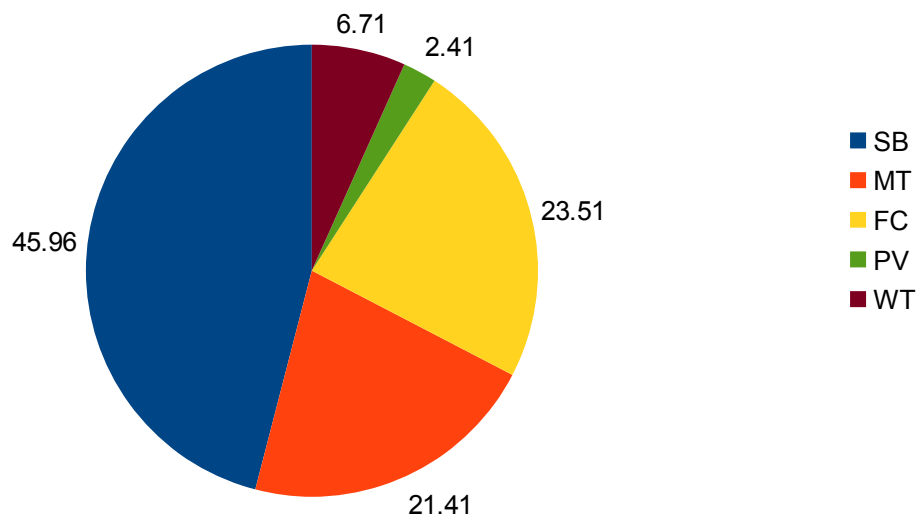
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	236,04	21,41
FC	30	259,13	23,51
WT	15	74	6,71
PV	13	26,61	2,41
Ανάντη	-	506,64	45,96
Σύνολο	88	1.102,42	100

**Πίνακας 7.16 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 39,56 %  
**P<sub>MDG</sub>**: 68,97 %  
**NEDG**: 6,77 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας

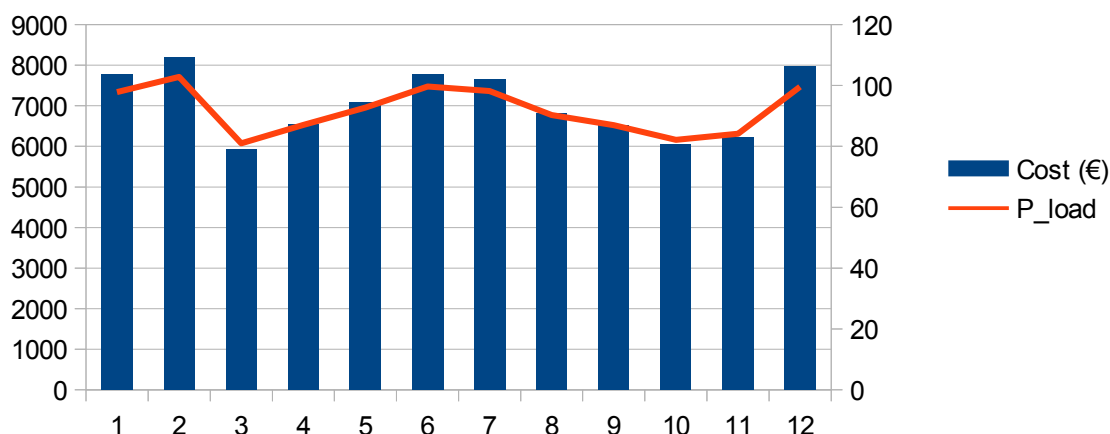


### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

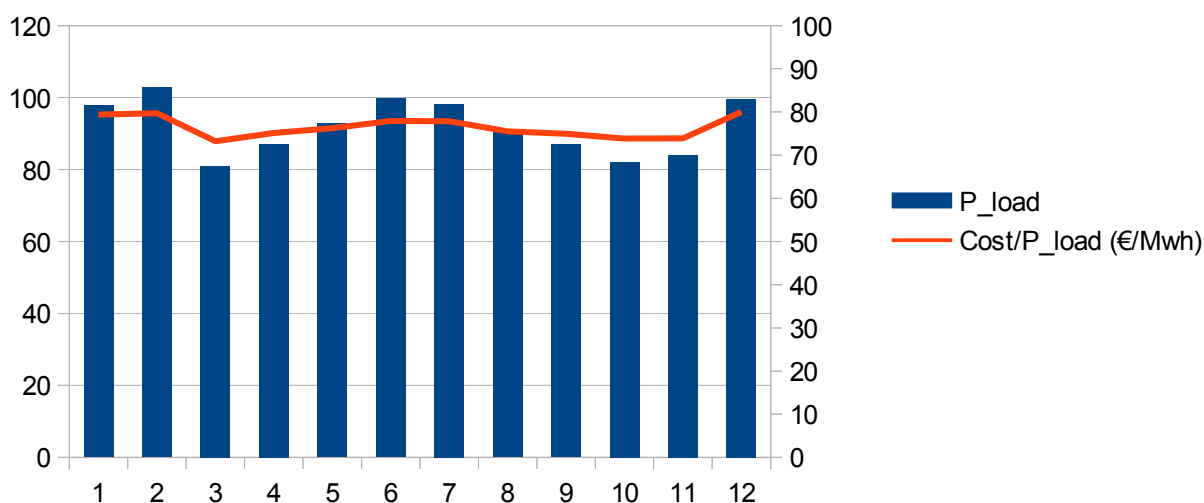
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC**: 84.499,94 €  
**NOC**: 76,65 €/MWh  
**OCR**: 24,55 %  
**CSDG**: -189,26 €/KW<sub>DG</sub>

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### 7.5.5 Δίκτυο No\_DG με Διακριτική Τιμολόγηση ανά Κατηγορία Καταναλωτή και Πίνακα Ελαστικότητας Ζήτησης Ενέργειας Καταναλωτών (Elasticity No\_DG\_Discrete)

Περίληψη: Το απλό δίκτυο μοντελοποίησης με απουσία διεσπαρμένης παραγωγής όπως το σενάριο No\_DG. Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές αυξήσεις στις fixed τιμές ενέργειας για τις τρεις κατηγορίες καταναλωτών. Μέσω πίνακα ελαστικότητας παρουσιάζονται τα νέα σημεία ισορροπίας του δικτύου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 222,42 kW

**Mean\_Load:** 127,6 kW

**Total\_Demand:** 1.102,423 MWh

### Απώλειες Δικτύου

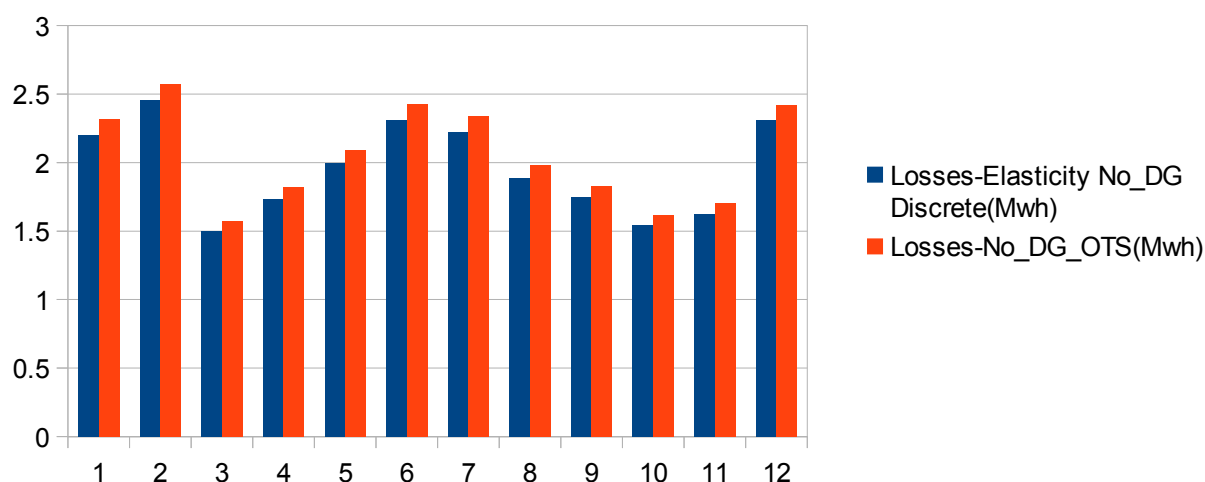
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 23,52 MWh

**LR:** -4,7 %

**LP:** 2,13 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	1.102,42	100
Σύνολο	1.102,42	100

**Πίνακας 7.17 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

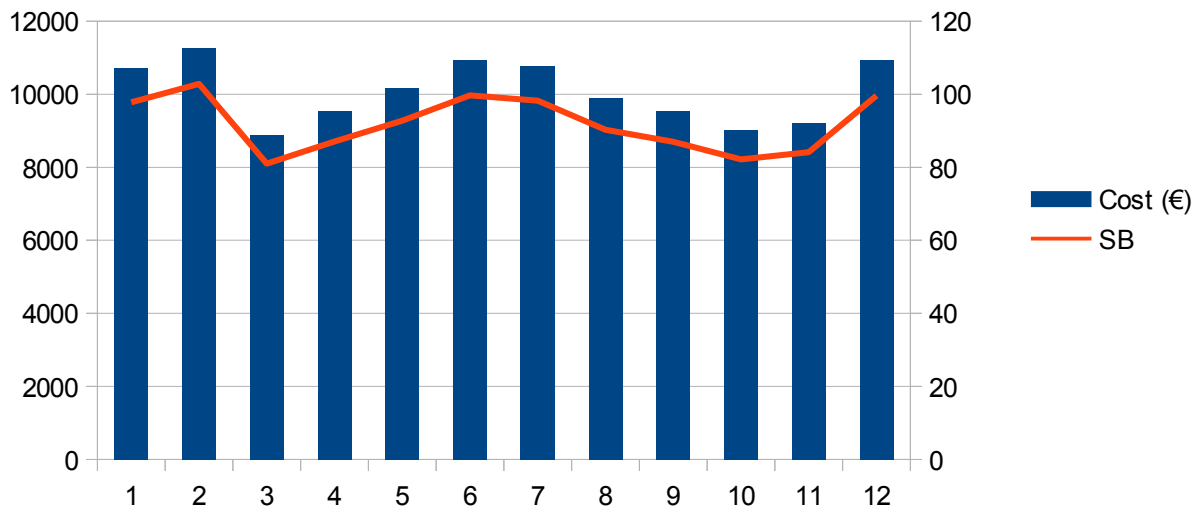
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC:** 120.878,98 €

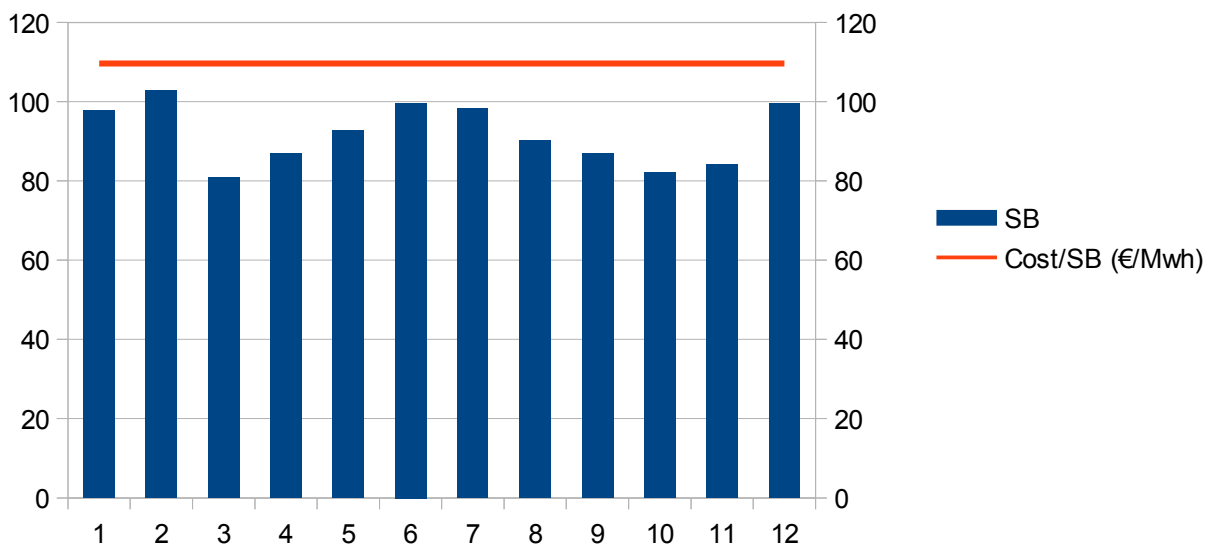
**NOC:** 109,65 €/MWh

**OCR:** 78,17 %

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας





### 7.5.6 Δίκτυο No\_DG με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed Τιμές (No\_DG\_Zones)

Περίληψη: Το απλό δίκτυο μοντελοποίησης με απουσία διεσπαρμένης παραγωγής όπως το σενάριο No\_DG. Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές τιμολογήσεις με αύξηση μείωση και σταθερή τιμή, για κάθε κατηγορία καταναλωτή αναλόγως τη ζώνη φορτίου στην οποία βρίσκεται το φορτίο του δικτύου σε κάθε στιγμή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

#### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

#### Απώλειες Δικτύου

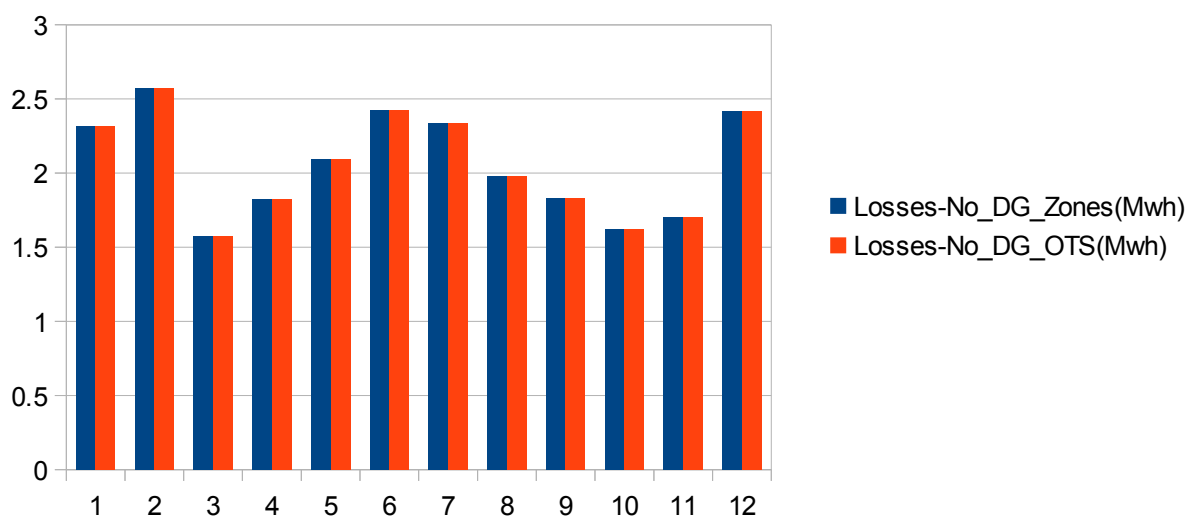
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 24,68 MWh

**LR:** 0 %

**LP:** 2,17 %

#### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



## Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	Mwh / year	Percentage (%)
Ανάντη	1.136,4	100
Σύνολο	1.136,4	100

**Πίνακας 7.18 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

## Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

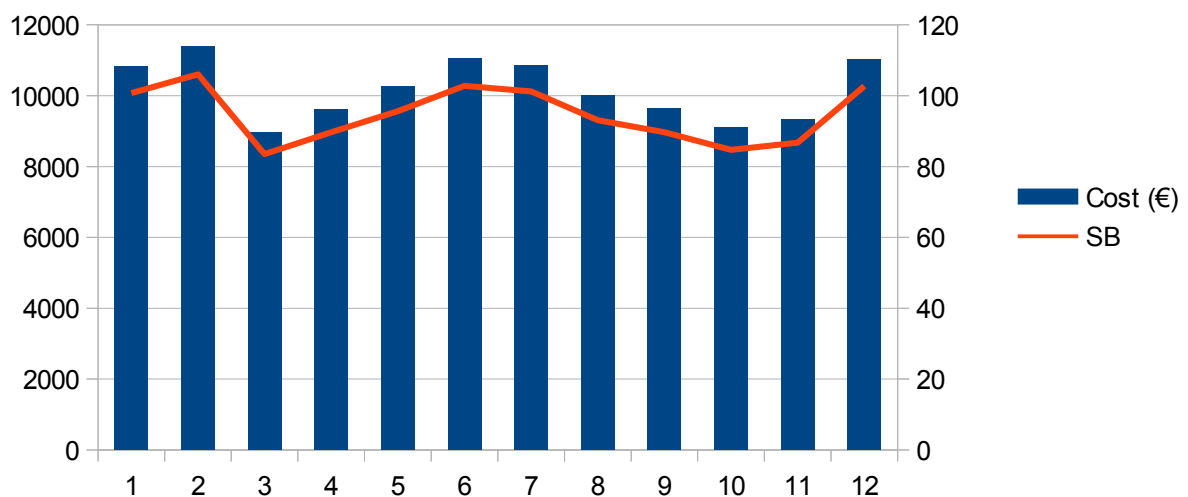
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

**OC:** 122.043,65 €

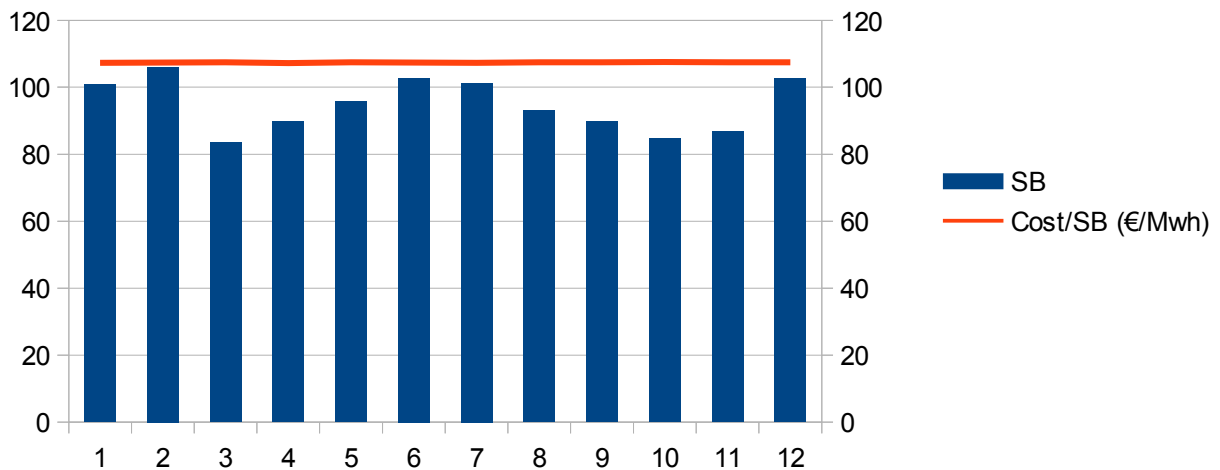
**NOC:** 101,39 €/MWh

**OCR:** 79,89 %

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



### Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



#### 7.5.7 Δίκτυο DG\_1 με Τιμολόγηση Σύμφωνα με Ζώνες Φορτίου σε Σχέση με Αρχικές Fixed Τιμές (DG\_1\_Zones)

Περίληψη: Το δίκτυο μοντελοποίησης DG\_1 με παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζονται όπως και πριν τρεις διαφορετικές τιμολογήσεις με αύξηση μείωση και σταθερή τιμή, για κάθε κατηγορία καταναλωτή αναλόγως τη ζώνη φορτίου στην οποία βρίσκεται το φορτίο του δικτύου σε κάθε στιγμή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του δικτύου σύμφωνα με την ανάλυση κριτηρίων που έχει πραγματοποιηθεί στην εισαγωγική ενότητα:

##### Χαρακτηριστικά Δικτύου

Εδώ παρουσιάζονται η αιχμή του δικτύου, το μέσο φορτίο και η συνολική ετήσια ενέργεια που απαιτήθηκε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

**Peak\_Load:** 229,30 kW

**Mean\_Load:** 131,53 kW

**Total\_Demand:** 1.136,436 MWh

##### Απώλειες Δικτύου

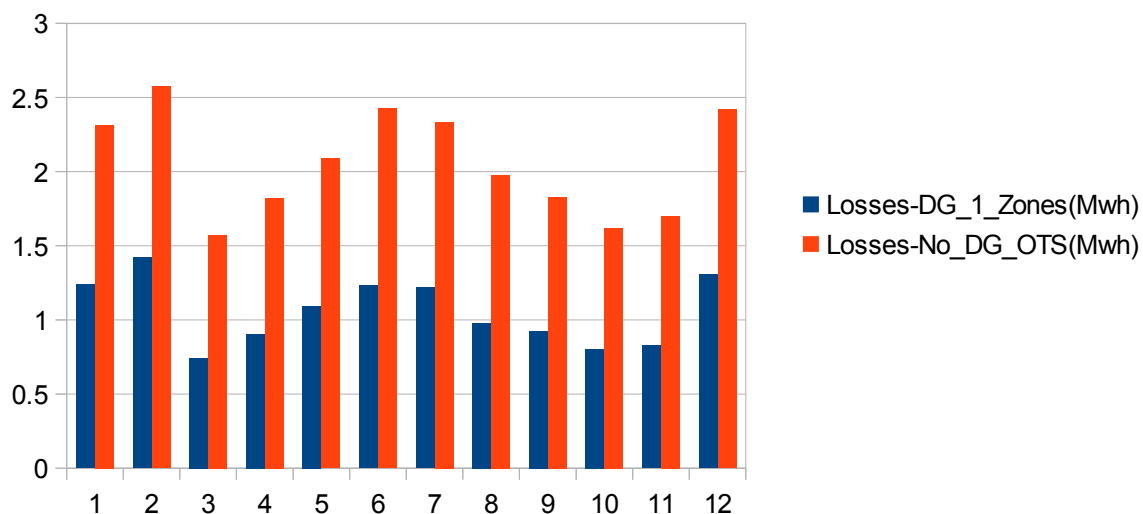
Παρακάτω παρουσιάζονται οι απώλειες του δικτύου για κάθε μήνα και ως σύνολο και ο ποσοστιαίος δείκτης μείωσης των απωλειών.

**Total Losses:** 12,69 MWh

**LR:** -48,58 %

**LP:** 1,12 %

### Ηλεκτρικές απώλειες δικτύου ανά μήνα



### Παραγωγές Μικροπηγών και Εξάρτηση από το Ανάντη Δίκτυο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη ισχύος και οι παραγωγές των μικροπηγών του προς μελέτη δικτύου. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας και η ποσόστωση της ισχύος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αιχμή και το μέσο φορτίο του δικτύου.

Πηγή ισχύος	kW	Mwh / year	Percentage (%)
MT	30	239,43	21,07
FC	30	259,17	22,81
WT	15	74	6,51
PV	13	26,61	2,34
Ανάντη	-	537,22	47,27
Σύνολο	88	1.136,4	100

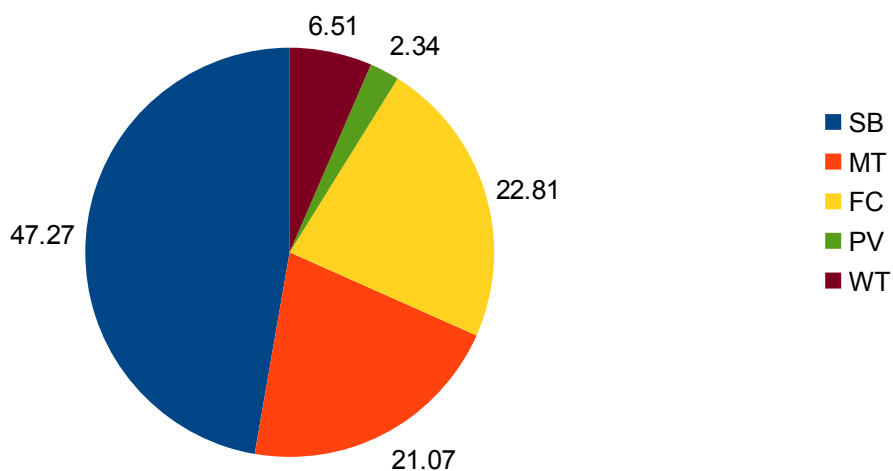
**Πίνακας 7.19 Μεγέθη ισχύος και παραγωγές των πηγών ενέργειας του δικτύου**

**P<sub>ADG</sub>**: 38,38 %

**P<sub>MDG</sub>**: 66,9 %

**NEDG**: 6,81 MWh/kWDG

### Μείγμα κάλυψης ετήσιας ενέργειας



### Οικονομικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το λειτουργικό κόστος ανά MWh, η μείωση λειτουργικού κόστους και η μείωση του λειτουργικού κόστους σε € ανά εγκατεστημένο KW μικροπηγών.

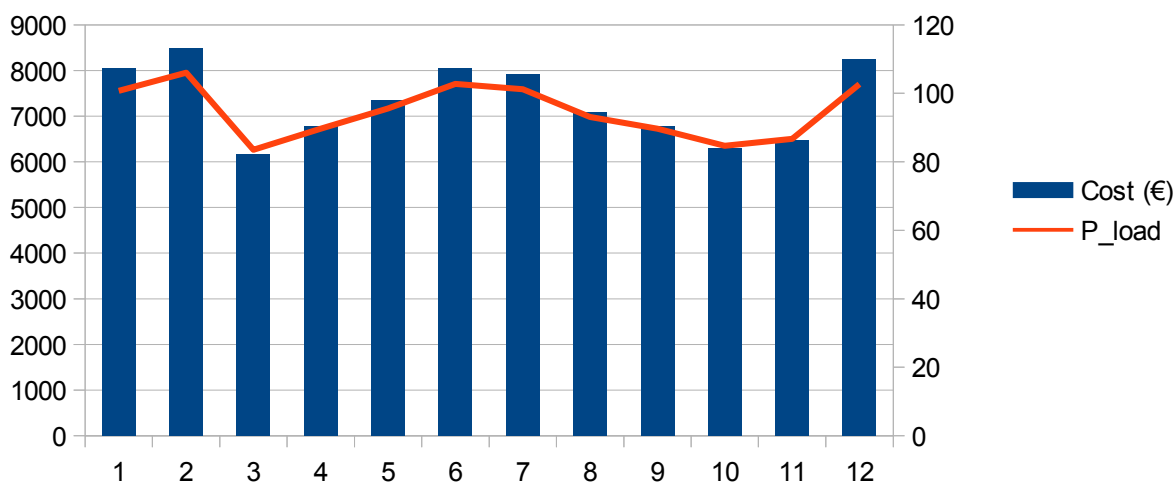
**OC:** 87.645,96 €

**NOC:** 77,12 €/MWh

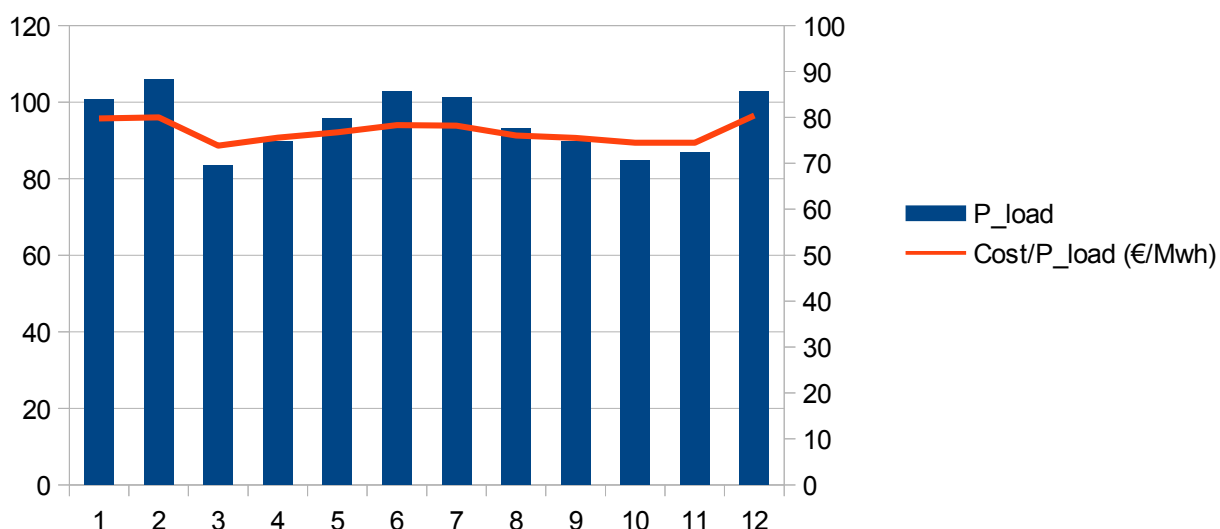
**OCR:** 29,19 %

**CSDG:** -225,01 €/KW<sub>DG</sub>

### Λειτουργικό κόστος δικτύου σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



## Λειτουργικό κόστος MWh σε συνδυασμό με ζήτηση ενέργειας



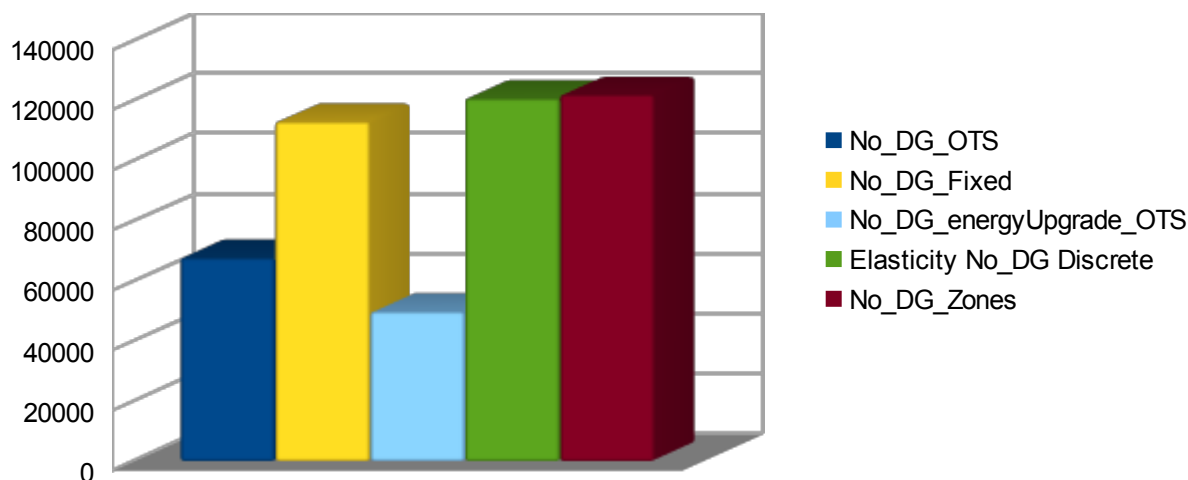
### 7.6 Συγκριτικά Αποτελέσματα

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα ανά ομάδες σεναρίων που είναι συγκρίσιμες ώστε να παρουσιαστούν συμπεράσματα ως προς την λειτουργία του δικτύου και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει κάθε σενάριο.

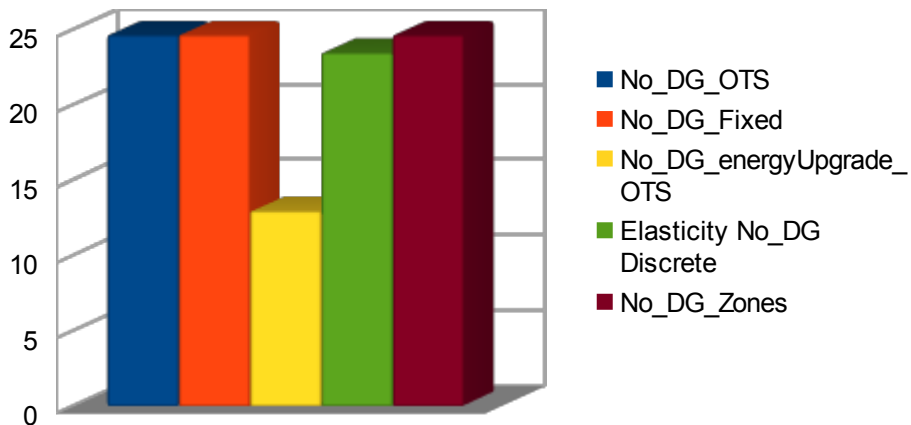
#### 7.6.1 Σύγκριση Απλού Δικτύου

Στο σημείο αυτό συγκρίνονται τα σενάρια No\_DG\_OTs (απλό δίκτυο με OTS), No\_DF\_Fixed (απλό δίκτυο με σταθερή τιμολόγηση), No\_DG\_Zones (απλό δίκτυο με τιμολόγηση ζωνών φορτίου), No\_DG\_Energy\_Upgrade (απλό δίκτυο με ενεργειακή αναβάθμιση) και No\_DG\_Discrete (απλό δίκτυο με διακριτική τιμολόγηση).

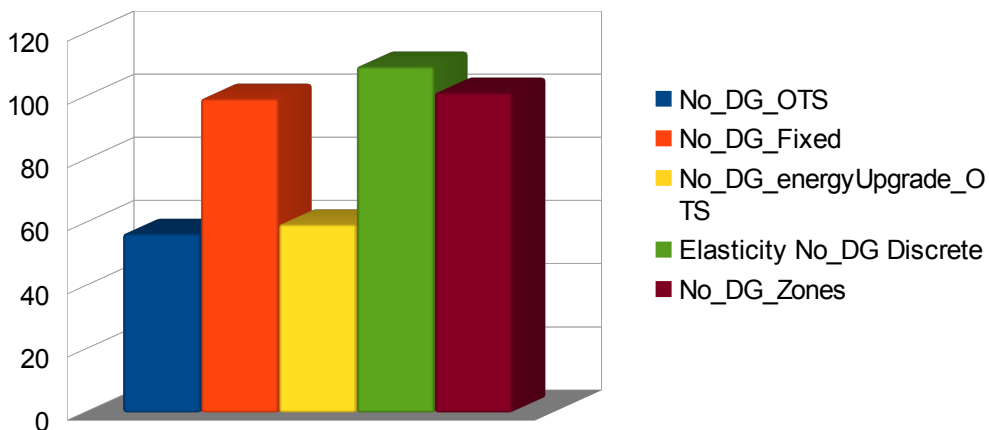
#### Ετήσιο λειτουργικό κόστος για κάθε σενάριο (€)



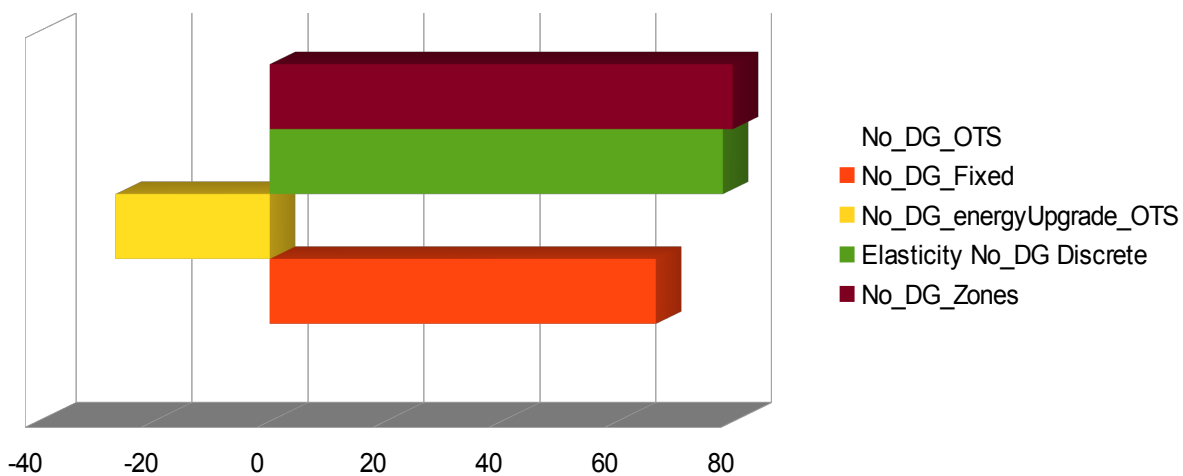
Ετήσιες απώλειες για κάθε σενάριο (MWh)



Λειτουργικό κόστος ανά MWh για κάθε σενάριο



Ποσοστιαία μείωση/αύξηση λειτουργικού κόστους σε σχέση με το απλό δίκτυο No\_DG\_OTs



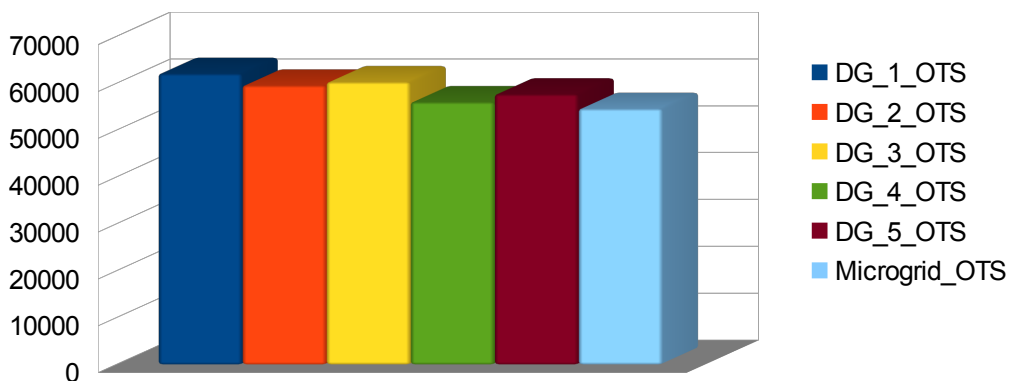
## Συμπεράσματα

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι εμφανές μειωμένο στο σενάριο της ενεργειακής αναβάθμισης. Επίσης σημαντικό είναι η αυξημένη τιμή του λειτουργικού κόστους στο σενάριο όπου χρησιμοποιείται σταθερή τιμολόγηση για τις κατηγορίες των καταναλωτών τονίζοντας την “κοινωνική” πολιτική στα τιμολόγια Χαμηλής Τάσης και ιδίως στους οικιακούς καταναλωτές που ακολουθείται έως τώρα εις βάρος τους σε σχέση με καταναλωτές που τιμολογούνται σύμφωνα με την οριακή τιμή συστήματος. Όσο αναφορά στις απώλειες, το σενάριο της ενεργειακής αναβάθμισης εμφανίζει σαφή πλεονεκτήματα έναντι των άλλων. Το σενάριο της οριακής τιμής συστήματος υπερέχει στον δείκτη €/MWh κάτι που υποδηλώνει τα σαφή πλεονεκτήματά του για τη χρήση ως μοντέλο τιμολόγησης με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του κόστους κάλυψης της ενέργειας για τους καταναλωτές.

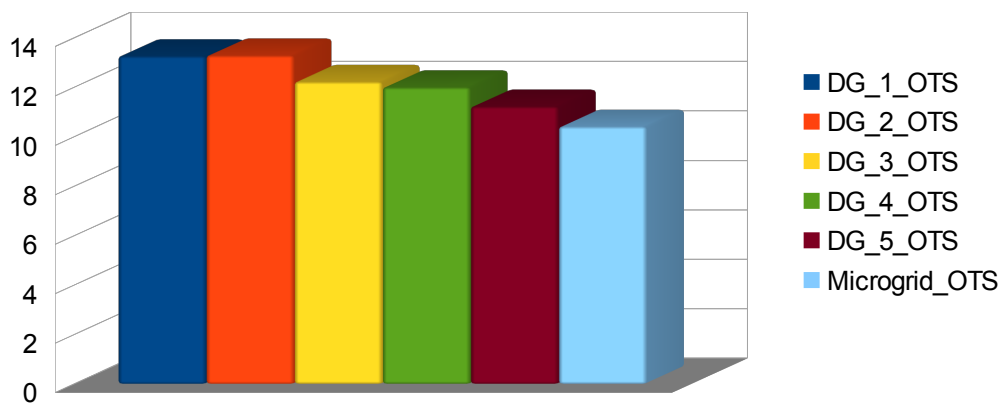
### 7.6.2 Σύγκριση Σεναρίων Αύξησης Διείσδυσης DG

Στο σημείο αυτό συγκρίνονται τα σενάρια DG\_1\_OTS, DG\_2\_OTS, DG\_3\_OTS, DG\_4\_OTS, και DG\_5\_OTS όπου αποτελούν διάφορα σενάρια αύξησης της διείσδυσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και η λειτουργία Microgrid όπου επιτυγχάνεται συγχρονισμένη λειτουργία μικροδικτύου.

Ετήσιο λειτουργικό κόστος για κάθε σενάριο (€)

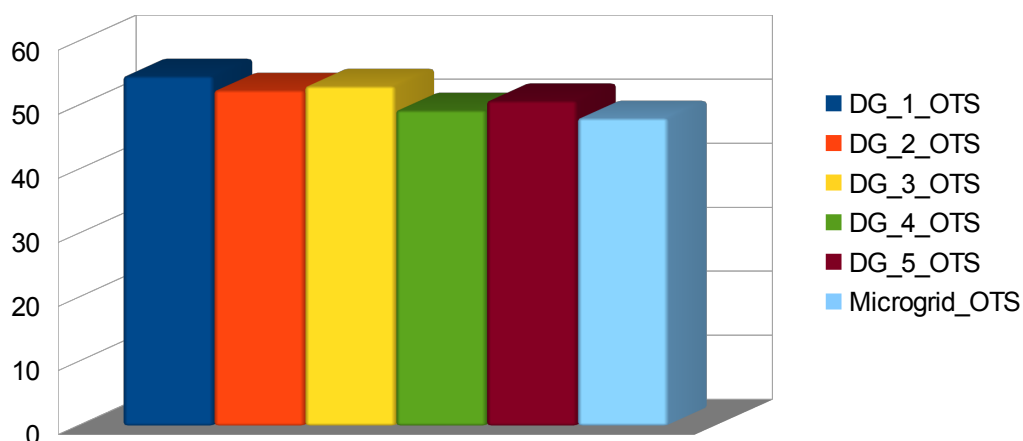


Ετήσιες απώλειες για κάθε σενάριο (MWh)

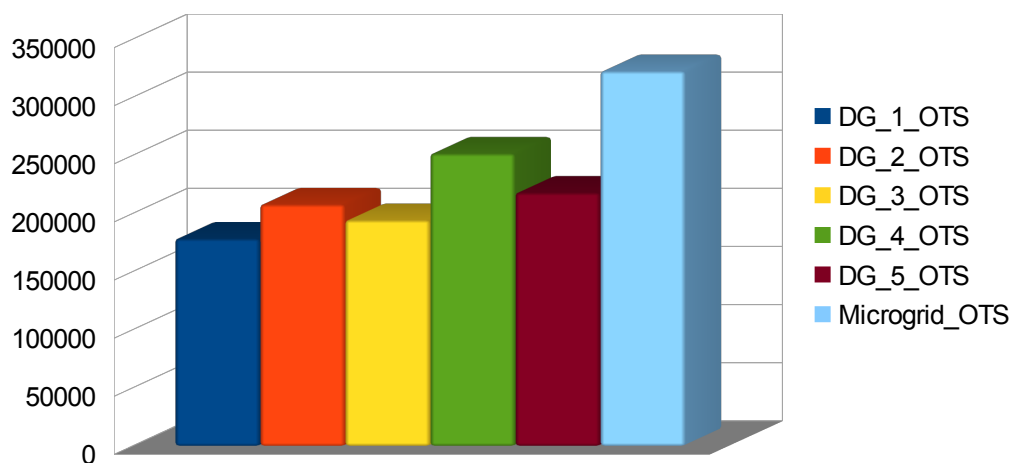




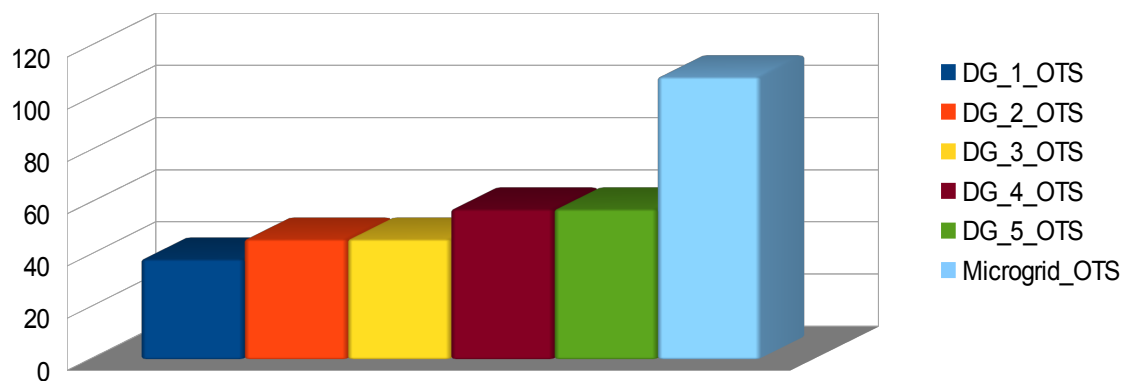
Λειτουργικό κόστος ανά MWh για κάθε σενάριο



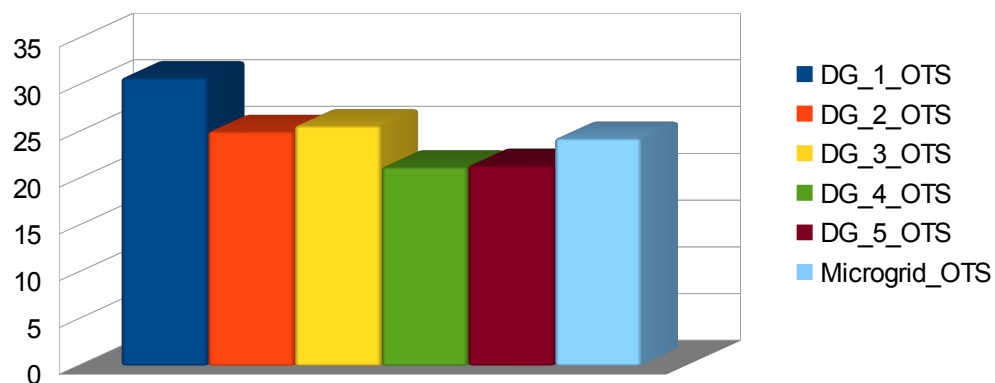
CapEx για την υλοποίηση κάθε σεναρίου (€)



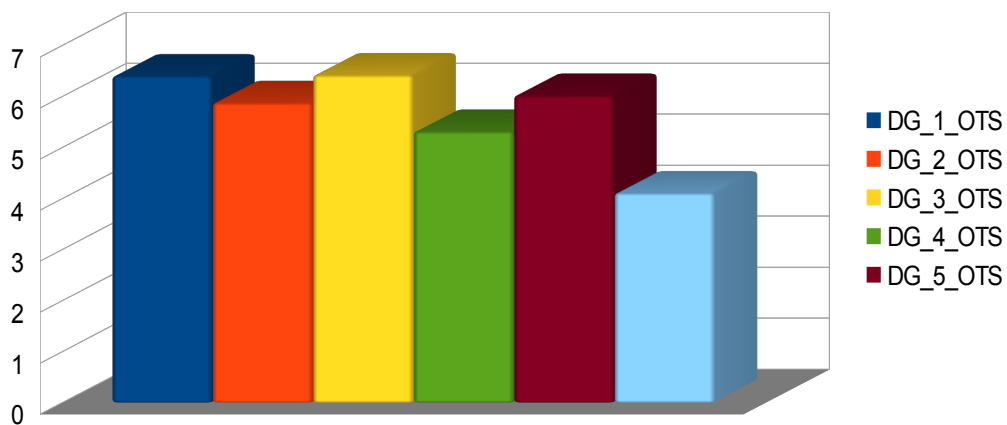
Λόγος ισχύος μικροπηγών προς ισχύ αιχμής δικτύου για κάθε σενάριο (KW<sub>DG</sub>/KW<sub>peak</sub> (%))



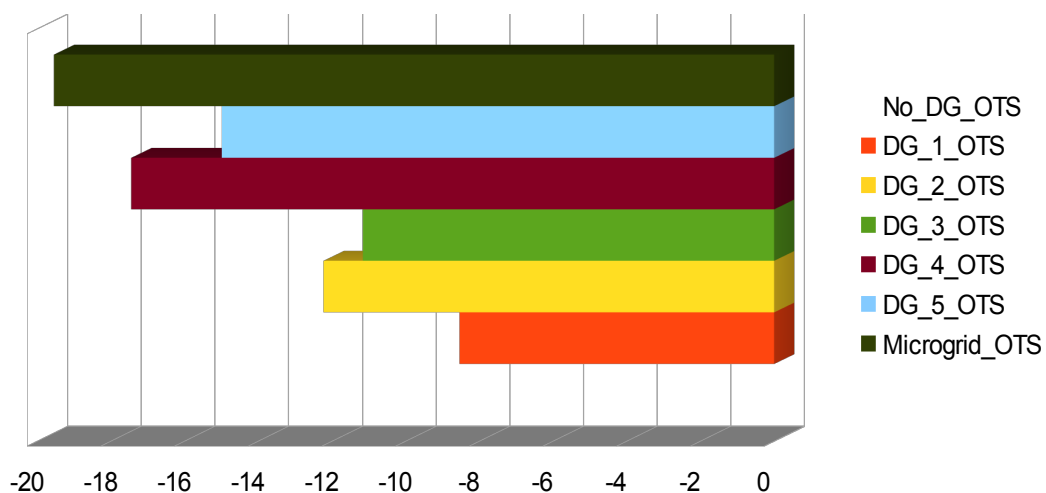
Περίοδος αποπληρωμής για κάθε σενάριο (έτη)



Παραγωγή ενέργειας μικροπηγών προς την εγκατεστημένη ισχύ τους (MWh/KWDG)



Ποσοστιαία μείωση λειτουργικού κόστους σε σχέση με το απλό δίκτυο No\_DG\_OTS



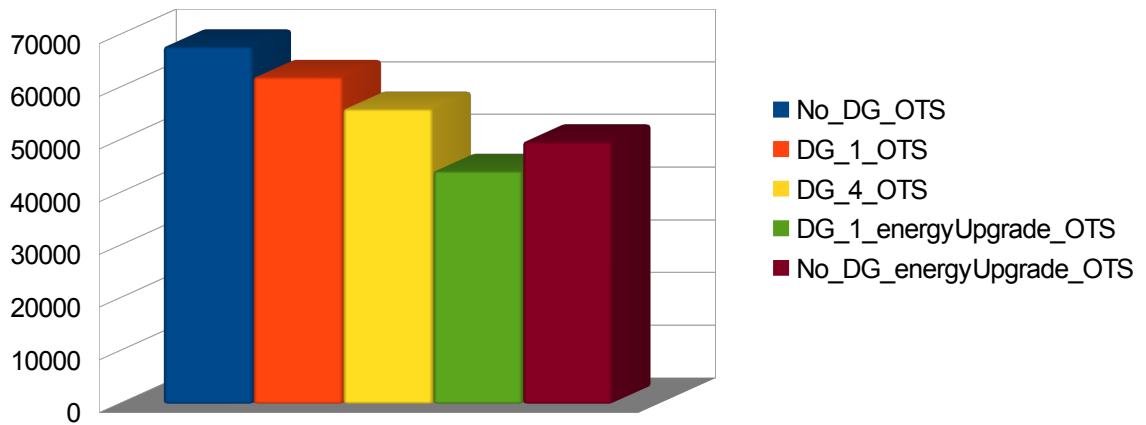
## Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω συγκριτικά αποτελέσματα της ενεργειακής πολιτικής αύξησης μικροπηγών, καλύτερη τακτική φαίνεται να είναι η αύξηση των ΑΠΕ παρά των ΜΤ ή FC διότι είναι φανερό πως ενώ παρουσιάζουν σχεδόν ίδιο συνολικό κόστος ενέργειας ανά MWh και παρότι η επένδυση για αύξηση σε ΑΠΕ είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε ΜΤ, η καθαρότητα και η χρονική διάρκεια της επένδυσης υποδηλώνει την καταλληλότητα της αύξησης ΑΠΕ. Τονίζεται πως δεν έχει υπεισέρθει αγορά ενέργειας στις ΑΠΕ σε τιμές που ακολουθούν λογική feed-in tariff αλλά θεωρείται πως και να υπήρχε τέτοια θα καλυπτόταν από μηχανισμό ειδικά για την εκκαθάριση της αγοράς αυτής. Κατά συνέπεια τα κόστη διαφοροποιούνται μόνο από τα λειτουργικά κόστη όπως έχουν παρουσιαστεί για κάθε μορφή ενέργειας. Βεβαίως οι ΑΠΕ δεν μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες για λειτουργία μικροδικτύου και για αυτό το λόγο όπως έχει παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, η αυτόνομη λειτουργία επιτυγχάνεται με μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ πηγών όπως ΜΤ και FC. Επίσης ποιο αποδοτική παραγωγή από της μικροπηγές φαίνεται να υπάρχει στα σενάρια στα οποία υπάρχει μεγάλη εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο και αυτό φαίνεται λογικό διότι οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής εμφανίζουν μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας σε σύγκριση με το μικροδίκτυο όπου υπάρχουν σαφώς αχρησιμοποίητες μονάδες σε στιγμές όπου το φορτίο είναι στη ζώνη βάσης. Η λειτουργία μικροδικτύου αποτελεί την φθηνότερη λύση ενέργειας για την ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών όπως επίσης την καλύτερη από άποψη μείωσης απωλειών. Παρόλα αυτά το σενάριο του μικροδικτύου φέρει τον μεγαλύτερο δείκτη επένδυσης κεφαλαίου για την υλοποίηση του αλλά από τη μείωση που επιφέρει στο λειτουργικό κόστος καταφέρνει να αποδειχτεί η καλύτερη λύση. Τέλος, φαίνεται πως αποδοτικότερες πολιτικές σε σχέση με το κόστος δικτύου και όχι με μακροπρόθεσμη προοπτική και καθαρότητα μείγματος ενέργειας αποτελούν οι επιλογές αύξησης των Μικροτουρμπίνων (ΜΤ) παρά των ΑΠΕ καθώς οι τελευταίες παρουσιάζουν και αυξημένο κόστος επένδυσης.

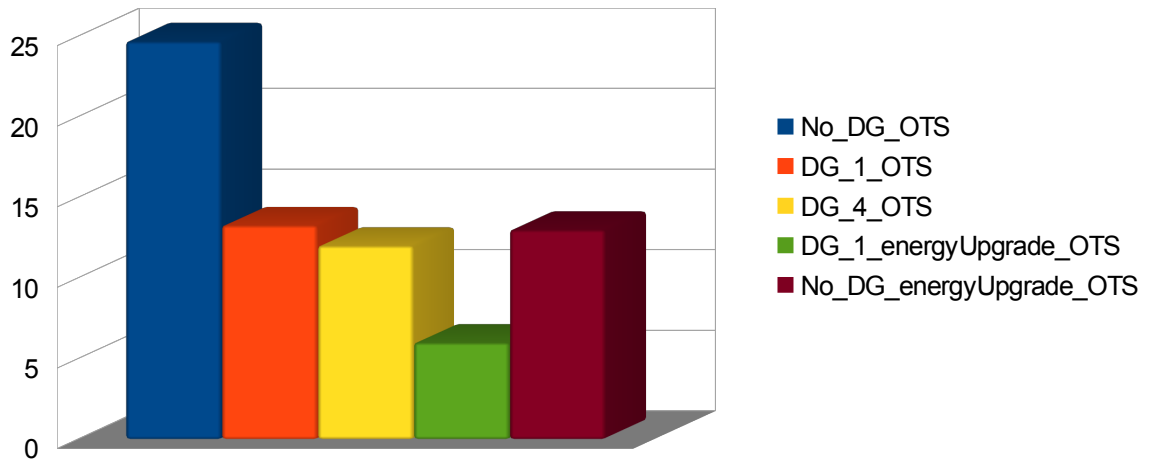
### 7.6.3 Σύγκριση Ενεργειακών Πολιτικών

Στο σημείο αυτό συγκρίνονται τα σενάρια No\_DG\_OTIS (απλό δίκτυο με ΟΤΣ), No\_DG\_Energy\_Upgrage\_OTIS (απλό δίκτυο με καταναλωτές που έχουν υποβληθεί σε ενεργειακή αναβάθμιση), DG\_1\_OTIS (βασικό δίκτυο με διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής), DG\_1\_Energy\_Upgrade (δίκτυο DG\_1 με ενεργειακή αναβάθμιση) και DG\_4\_OTIS (δίκτυο DG\_1 με επαυξημένη διείσδυση από ΑΠΕ).

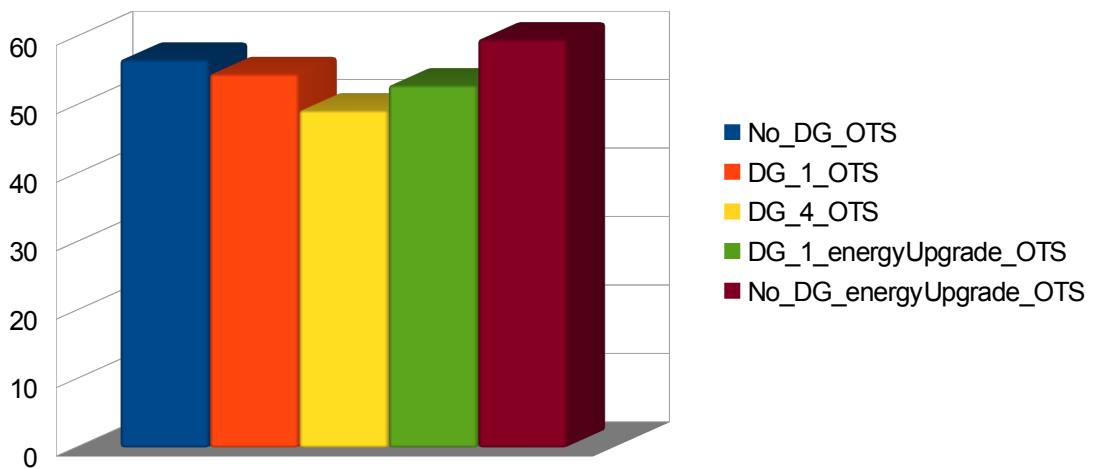
Ετήσιο λειτουργικό κόστος για κάθε σενάριο (€)



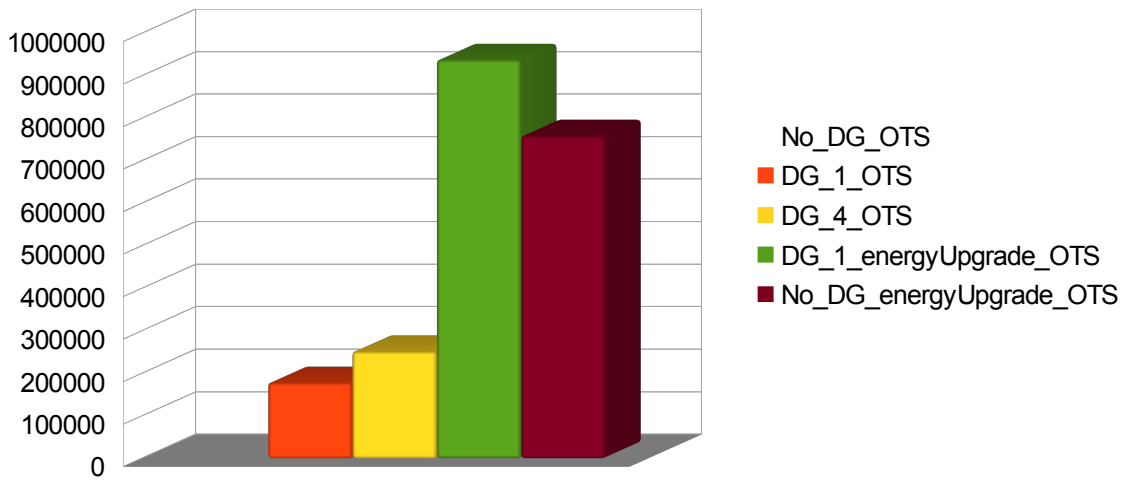
Ετήσιες απώλειες για κάθε σενάριο (MWh)



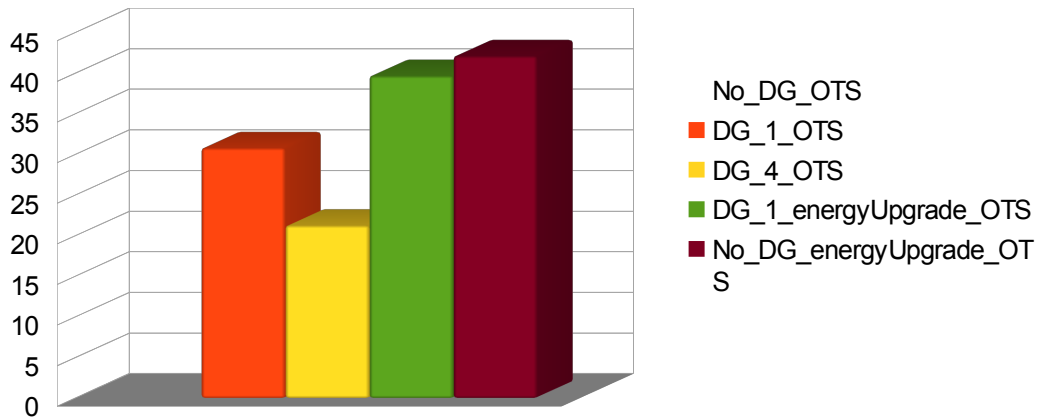
Λειτουργικό κόστος ανά MWh για κάθε σενάριο



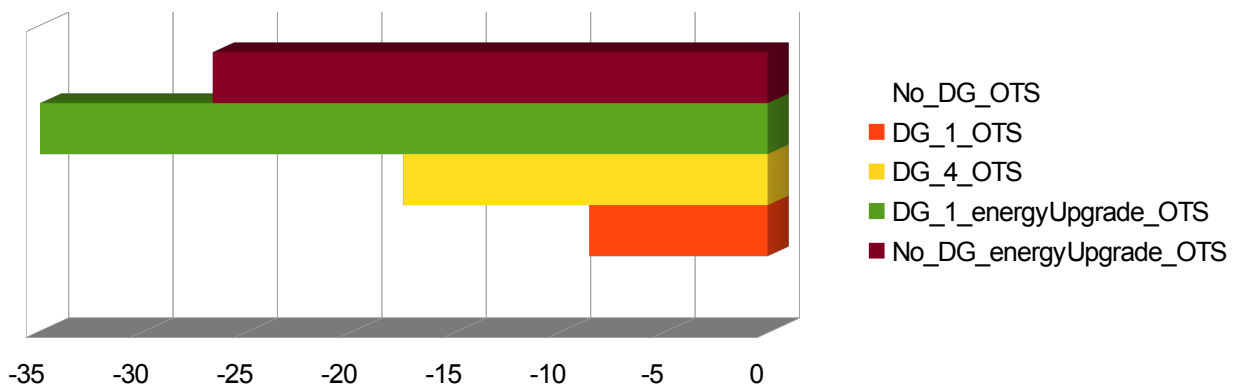
CapEx για την υλοποίηση κάθε σεναρίου (€)



Περίοδος αποπληρωμής για κάθε σενάριο (έτη)



Ποσοστιαία μείωση λειτουργικού κόστους σε σχέση με το απλό δίκτυο No\_DG\_OTS



## Συμπεράσματα

Η αποδοτικότερη ενεργειακή πολιτική με γνώμονα τη μείωση του λειτουργικού κόστους του δικτύου φαίνεται να είναι καθαρά το μείγμα πολιτικών ενεργειακής αναβάθμισης και ελαφριάς διείσδυσης μικροπηγών (δίκτυο DG\_1). Η ενεργειακή αναβάθμιση σε απλό δίκτυο No\_DG\_Energy\_Upgrade μπορεί να συγκριθεί ως προς την επίτευξη μείωσης λειτουργικού κόστους με το σενάριο DG\_4 όπου έχουμε μεγάλη διείσδυση από ΑΠΕ. Βέβαια τα μειωμένα αποτελέσματα της ενεργειακής αναβάθμισης όσο αναφορά το κόστος και τις απώλειες δικαιολογούνται πλήρως από το μειωμένο φορτίο και κατά συνέπεια δεν είναι γνώμονας άμεσης σύγκρισης ενεργειακών πολιτικών. Παρόλα αυτά η διείσδυση ΑΠΕ εμφανίζει λιγότερες απώλειες από αυτές που επιφέρει η μείωση ενέργειας από βελτίωση ενεργειακών προφίλ καταναλωτών. Σαφώς το σενάριο που εφαρμόζεται ενεργειακή αναβάθμιση σε δίκτυο με υπάρχουσα μικροπαραγωγή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή ως προς το κόστος και τις απώλειες. Σημαντικό είναι να τονιστεί πως το σενάριο διείσδυσης μικροπηγών (ΑΠΕ κυρίως) εμφανίζει αισθητά μικρότερη τιμή €/MWh σε σχέση με την ενεργειακή αναβάθμιση είτε αυτή εφαρμόζεται σε απλό δίκτυο είτε στο δίκτυο DG\_1. Παρόμοια εικόνα εμφανίζεται και στα αποτελέσματα CapEx όπου το σενάριο αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ εμφανίζει πολύ μικρότερο κόστος επένδυσης από τις περιπτώσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Τέλος η σαφή υπεροχή των σεναρίων αύξησης της μικροπαραγωγής του δικτύου έρχεται από την περίοδο αποπληρωμής του δικτύου όπου στην περίπτωση μεγάλης διείσδυσης ΑΠΕ είναι περίπου στην εικοσαετία ενώ στην περίπτωση της ενεργειακής αναβάθμισης στη σαραντακονταετία. Αυτό είναι και το κύριο σημείο επιλογής ενεργειακών στρατηγικών σε ένα δίκτυο. Η μεν ΑΠΕ επιδοτούνται από σταθερές υψηλές τιμές αγοράς ενέργειας (feed-in tariff) ενώ η ενεργειακή αναβάθμιση επιτυγχάνεται μέσα από προγράμματα επιδότησης και άτοκο δανεισμό διότι αποτελεί ποιο μακροπρόθεσμη και κοστοβόρα στρατηγική. Σημαντικό είναι επίσης να σημειωθεί πως στα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης μπορεί να προσεγγιστεί η συμμετοχή του κράτους στην επένδυση αυτή ώστε να αποτελεί πραγματική και βιώσιμη επιλογή, συγκρίσιμη με την εφαρμογή ΑΠΕ και μικροπηγών για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

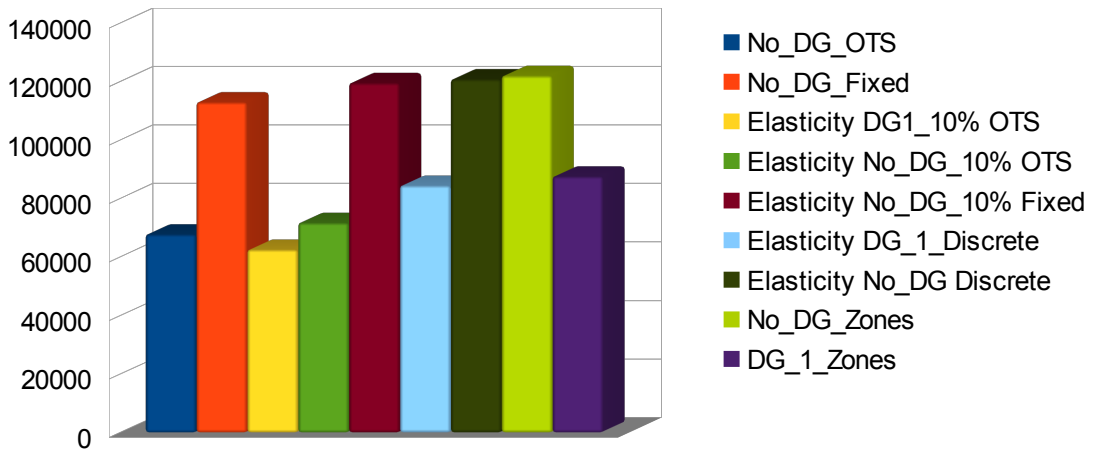
### 7.6.4 Σύγκριση Τιμολογιακών Πολιτικών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται το σύνολο των τιμολογιακών πολιτικών. Κατά συνέπεια τα σενάρια που συγκρίνονται είναι τα No\_DG OTS, No\_DG Fixed, Elasticity DG1\_10% OTS, Elasticity No\_DG\_10% OTS, Elasticity No\_DG\_10% Fixed, Elasticity No\_DG\_Descrete, Elasticity DG\_1\_Descrete, No\_DG\_Zones, DG\_1\_Zones.

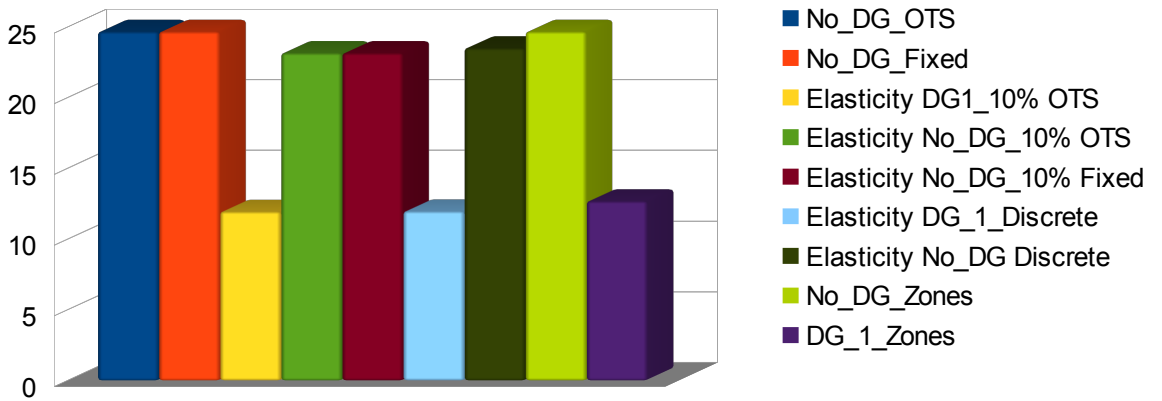
Mean\_OTS: 57,58 €/MWh (μέσος όρος χρονοσειράς OTS)

Mean\_Fixed: 99,47 €/MWh (με βάρη ανάλογα με την κατανάλωση από τις τρεις κατηγορίες)

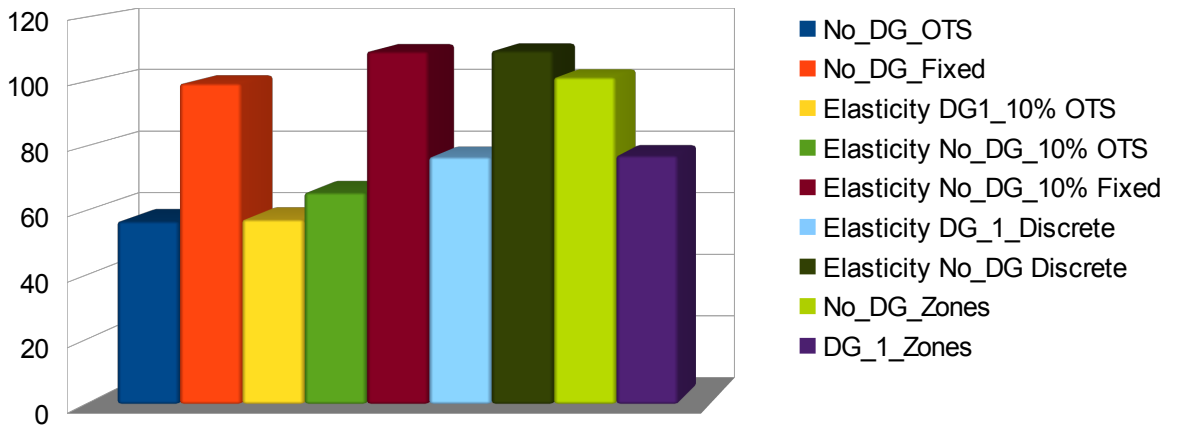
Ετήσιο λειτουργικό κόστος για κάθε σενάριο (€)



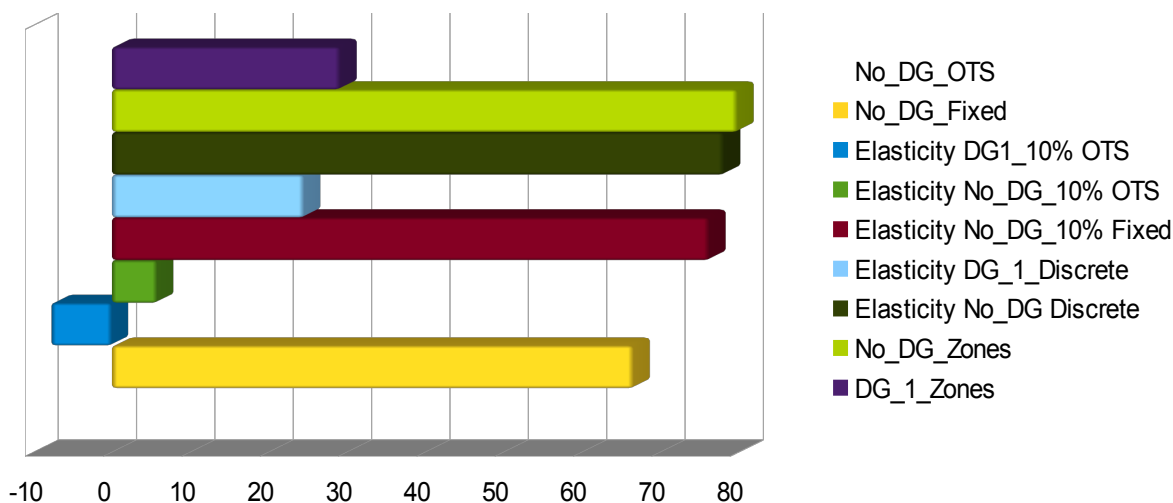
Ετήσιες απώλειες για κάθε σενάριο (MWh)



Λειτουργικό κόστος ανά MWh για κάθε σενάριο



## Ποσοστιαία μείωση/αύξηση λειτουργικού κόστους σε σχέση με το απλό δίκτυο No\_DG\_OTTS



### Συμπεράσματα

Το πρώτο σχόλιο των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται παραπάνω αφορά το μειωμένο λειτουργικό κόστος που παρουσιάζει το απλό δίκτυο όταν εφαρμόζεται τιμολόγηση των καταναλωτών σύμφωνα με την ΟΤΣ και δεν περνά η σταθερή τιμολόγηση σε αυτούς. Όσο αναφορά το δεύτερο συγκρίσιμο γκρουπ τιμολογιακών πολιτικών, φανερώνεται πως στα σενάρια με εφαρμογή αύξησης τιμολόγησης της ΟΤΣ και αντίδραση καταναλωτών μέσω πίνακα ελαστικότητας, αυτό που εμφανίζει καλύτερα οικονομικά χαρακτηριστικά είναι αυτό που φέρει μικροπηγές. Κατά συνέπεια η παρουσία μικροπηγών ελαφραίνει το κόστος λειτουργίας του δικτύου σε μια ενδεχόμενη αύξηση της ΟΤΣ εφόσον οι καταναλωτές τιμολογούνται ως προς αυτή. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις τιμολογιακές πολιτικές με ζώνη φορτίου και διακριτική τιμολόγηση. Ένα επίσης συμπέρασμα είναι πως η τιμολόγηση σε ζώνες με τη μεθοδολογία που έχει αναλυθεί επιφέρει τα ίδια σχεδόν λειτουργικά κόστη με την διακριτική τιμολόγηση και την σταθερή τιμολόγηση (με αύξηση 10%) στις περιπτώσεις του απλού δικτύου. Ενώ η αύξηση της ΟΤΣ σε αντίστοιχο ποσοστό επιδρά με μεγαλύτερη αύξηση λειτουργικού κόστους πράγμα που σημαίνει πως η αντίδραση των καταναλωτών για μείωση ενέργειας ήταν μικρότερη ποσοστιαία από την αύξηση του λειτουργικού κόστους του δικτύου. Στο πεδίο των απωλειών παρουσιάζονται οι ίδιες τάσεις με προηγουμένως, τονίζοντας τα πλεονεκτήματα της όποιας τιμολόγησης σε δίκτυο με μικροπηγές. Το λειτουργικό κόστος πάλι ακολουθεί την ελάχιστη τιμή στα σενάρια με παρουσία μικροπηγών αλλά και στο No\_DG OTS και σταθεροποιείται σε μια υψηλή τιμή σε όλα τα υπόλοιπα με κορύφωση το σενάριο τιμολόγησης σε ζώνες στο απλό δίκτυο. Τέλος από την ποσοστιαία μείωση λειτουργικού κόστους παρατηρείται πως η βέλτιστη τιμολόγηση των καταναλωτών φαίνεται να είναι η τιμολόγηση με ΟΤΣ ενώ σενάρια με βάση το απλό δίκτυο και σταθερή, διακριτή ή με ζώνες τιμολόγησης θεωρούνται αποτρεπτικά.



## 7.7 Συμπεράσματα Συνολικής Προσομοίωσης

Η μοντελοποίηση του πλήθους σεναρίων που πραγματοποιήθηκε, προσπάθησε να δώσει μια σαφή εικόνα λειτουργίας ενός πραγματικού δικτύου Χ.Τ. που δρα ως μικροδίκτυο. Η λειτουργία του προς μελέτη δικτύου δοκιμάστηκε μέσω διαφόρων ενεργειακών και τιμολογιακών πολιτικών ώστε, δεδομένων των συνθηκών και των τάσεων ανάπτυξης και εξέλιξης των ηλεκτρικών δικτύων, να διαφαίνονται τα πλεονεκτήματα μεθόδων υλοποίησης συγκεκριμένων σκοπών και στόχων, όπως παραδείγματος χάριν της αύξησης ΑΠΕ και μικροπηγών στα δίκτυα καθώς και της εφαρμογής ενεργειακής αναβάθμισης στους καταναλωτές ενός δικτύου. Τέλος, μελετώνται τιμολογιακές τακτικές ώστε να φανούν τα κόστη που μετακυλύονται και τα πλεονεκτήματα για όλες τις πλευρές (διαχειριστή, εμπορία, καταναλωτή) κατά την εξέλιξη ενός δικτύου. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν, όπως διαφαίνεται και από τα συγκριτικά αποτελέσματα, απαριθμούν τα εξής κύρια:

- a. Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής πρέπει να εγκαθίστανται σε στοχευμένες θέσης του δικτύου ώστε με μείωση απωλειών να εμφανίζουν δραστικά πλεονεκτήματα. Επίσης, προτιμάται η αύξηση ΑΠΕ παρά ΜΤ παρότι εμφανίζει καλύτερα βραχυπρόθεσμα οικονομικά αποτελέσματα.
- b. Η ΜΤ διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην απεξάρτηση από το ανάντη δίκτυο λόγω “εγγυημένης” παροχής ισχύος σε σχέση με τις ΑΠΕ.
- c. Η βέλτιστη επιλογή ενεργειακών πολιτικών είναι η μείξη αύξησης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής με ταυτόχρονη ενεργειακή αναβάθμιση των καταναλωτών.
- d. Μεταξύ ενεργειακής αναβάθμισης και αύξησης διείσδυσης DG στο δίκτυο προτιμάται το δεύτερο λόγω των συνολικών πλεονεκτημάτων που εμφανίζει.
- e. Η λειτουργία μικροδικτύου φαίνεται να είναι μια από τις βέλτιστες επιλογές και ενισχύει την αυτονομία του δικτύου.
- f. Η παρουσία μικροπηγών ελαφραίνει το κόστος λειτουργίας του δικτύου σε μια ενδεχόμενη αύξηση της ΟΤΣ, διακριτικής τιμολόγησης ή αύξησης σταθερών τιμολογίων.
- g. Για να γίνει ανταγωνιστική η ενεργειακή αναβάθμιση χρειάζεται κρατική ενίσχυση ώστε να ακολουθήσει την απόδοση της αύξησης ΑΠΕ.
- h. Τα σενάρια διείσδυσης μικροπηγών (ΑΠΕ κυρίως) εμφανίζουν αισθητά μικρότερη τιμή €/MWh σε σχέση με την ενεργειακή αναβάθμιση σε όποιο μοντέλο δικτύου και αν εφαρμόζεται αυτή.
- i. Η βέλτιστη τιμολόγηση καταναλωτών είναι η τιμολόγηση με ΟΤΣ.
- j. Αποδοτικότερη παραγωγή από της μικροπηγές φαίνεται να υπάρχει στα σενάρια με μεγάλη εξάρτηση από το ανάντη δίκτυο, κάτι λογικό διότι οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής εμφανίζουν μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας σε σύγκριση με το μικροδίκτυο όπου υπάρχουν σαφώς αχρησιμοποίητες μονάδες σε στιγμές όπου το φορτίο είναι στη ζώνη βάσης.

Με την αύξηση από το 2008 έως το 2014 της μέσης σταθερής τιμολόγησης των καταναλωτών (από 84,23 σε 99,47 €/MWh) και ταυτόχρονα την μείωση της μέσης οριακής τιμής συστήματος (από 87,21 σε 57,58 €/MWh) εξηγείται ξεκάθαρα η μεγάλη διαφορά των οικονομικοτεχνικών δεικτών των σεναρίων με την πάροδο των χρόνων. Αναλυτικότερα οι διαφορές αυτές φαίνονται στους δυο παρακάτω πίνακες για τα έτη 2008 και 2014.

ΜΕΓΕΘΗ	ΕΤΗ	ΑΠΛΟ	ΑΠΛΟ	ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΣΗΣ	ΔΙΚΤΥΟ	ΑΥΤΟΝΟΜΗ
		ΔΙΚΤΥΟ	ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ	ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ ΟΤΣ	ΒΑΣΗΣ ΜΕ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
		ΜΕ ΟΤΣ	ΣΤΑΘΕΡΗ	ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ	ΣΤΑΘΕΡΗ	ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ
		(No_DG_OTs)	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΟΝΑΔΩΝ Dgs	ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ	ΜΕ ΟΤΣ
			(No_DG_Fixed)	(88kWp)	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ	(248kWp)
				(DG_1_OTs)	(88kWp)	(Microgrid_OTs)
					(DG_1_Fixed)	
<b>ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ No_DG_OTs )</b>						
<b>Total Losses (MWh)</b>	2008	24,68	24,68	10,66	10,51	5,96
	2014	24,68	24,68	13,26	12,69	10,41
<b>LR (%)</b>	2008	0,00	0,00	-56,83	-57,42	-75,84
	2014	0,00	0,00	-46,27	-48,58	-57,82
<b>LP</b>	2008	2,17	2,17	0,94	0,92	0,52
	2014	2,17	2,17	1,17	1,12	0,92
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΓΙΑ ΕΝΑ ΕΤΟΣ)</b>						
<b>OC (€)</b>	2008	105.345,30	95.726,9	80.450,31	73.661,94	54.351,33
	2014	67.845,2	113.039,5	62.049,3	81.846,1	54.582,34
<b>NOC (€/MWh)</b>	2008	92,7	84,23	70,79	64,82	47,83
	2014	56,7	99,47	54,6	72,02	48,03
<b>OCP (%)</b>	2008	0,00	-9,13	-23,63	-30,08	-48,41
	2014	0,00	66,61	-8,54	20,64	-19,55
<b>CSDG (€/kW<sub>DG</sub>)</b>	2008	0,00	0,00	282,9	360,04	205,62
	2014	0,00	0,00	65,86	-159,1	53,48
<b>ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΟΥ</b>						
<b>CapEx (€)</b>	2008	-	-	223.900	223.900	359.900
	2014	-	-	178.500	178.500	322.500
<b>PB (έτη)</b>	2008	-	-	8,9	7,07	7,06
	2014	-	-	30,8	-	24,32

**Πίνακας 1 : Σύγκριση αποτελεσμάτων για τα σενάρια 2008 & 2014**

ΜΕΓΕΘΗ	ΕΤΗ	ΑΥΤΟΝΟΜΗ	ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΣΗΣ	ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΣΗΣ	ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΣΗΣ	ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΣΗΣ
		ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ	ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ	ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ	ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ
		ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ	ΟΤΣ, ΜΕ	ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΟΤΣ	ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ DG
		ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ	ΚΑΤΑ 10% ΜΕ	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ	(88kWp) ΚΑΙ
		ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΟΝΑΔΩΝ Dgs	ΜΟΝΑΔΕΣ DG	ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ
		(248kWp)	(88kWp) ΚΑΙ ΜΕ	(88kWp) ΜΕΣΩ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ ΜΕ	ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ
		(Microgrid_Fixed)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ	ΠΙΝΑΚΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ DG	ΖΩΝΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ
			ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ	ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΩΝ	(88kWp) ΜΕΣΩ	ΕΝ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙ ΜΕ
			(DG_1_Energy_Upg rade_OTs)	(Elasticity_DG_1_ 10%_OTS)	ΠΙΝΑΚΑ	ΤΙΣ ΑΡΧΙΚΕΣ
					ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΩΝ	FIXED TIMEΣ
					(Elasticity_DG_1_ Discrete)	(DG_1_Zones)
<b>ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ No_DG_OTs )</b>						
<b>Total Losses (MWh)</b>	2008	5,85	4,21	9,79	9,81	9,81
	2014	9,28	5,99	11,95	11,98	12,69
<b>LR (%)</b>	2008	-76,3	-82,93	-60,36	-60,26	-60,26
	2014	-62,4	-75,73	-51,58	-51,46	-48,58
<b>LP</b>	2008	0,51	0,5	0,9	0,89	0,92
	2014	0,82	0,72	1,09	1,09	1,12
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΓΙΑ ΕΝΑ ΕΤΟΣ)</b>						
<b>OC (€)</b>	2008	54.509,17	53.405,24	81.460,44	75.302,23	77.991,32
	2014	55.210,55	44.208,52	62.599,17	84.499,94	87.645,96
<b>NOC (€/MWh)</b>	2008	47,96	63,95	74,52	68,31	68,63
	2014	48,58	52,94	57,26	76,65	77,12
<b>OCP (%)</b>	2008	-48,26	-49,3	-22,67	-28,52	-25,97
	2014	-18,62	-34,84	-7,73	24,55	29,19
<b>CSDG (€/kW<sub>DG</sub>)</b>	2008	204,98	590,23	271,42	341,4	310,84
	2014	50,95	268,6	59,61	-189,26	-225,01
<b>ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΟΥ</b>						
<b>CapEx (€)</b>	2008	359.900	983.384	-	-	-
	2014	322.500	937.984	-	-	-
<b>PB (έτη)</b>	2008	7,08	18,93	-	-	-
	2014	25,53	39,68	-	-	-

Πίνακας 2 : Σύγκριση αποτελεσμάτων για τα σενάρια 2008 & 2014

### **Συμπεράσματα σύγκρισης αποτελεσμάτων για τα σενάρια 2008 & 2014**

Παρατηρούμε μια αύξηση των ετήσιων απωλειών δικτύου το έτος 2014 σε σχέση με το 2008 στα σενάρια που περιέχουν μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, όπως προέκυψαν με βάση τους αλγόριθμους στο Matlab. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των συντελεστών ισχύος (ίσος με 1) των DG κατά το έτος 2014 με αποτέλεσμα την αύξηση της άεργου ισχύος στις γραμμές του δικτύου και ως εκτούτου και την αύξηση των απωλειών του δικτύου.

Παρατηρούμε ότι η πολύ μικρότερη μέση οριακή τιμή συστήματος από την μέση σταθερή τιμολόγηση κατά το έτος 2014 μας οδηγεί στην επιλογή σεναρίων με βάση την ΟΤΣ λόγω μικρότερου λειτουργικού κόστους, σε αντίθεση με το 2008 που προτιμούμε κυρίως σενάρια με σταθερή τιμολόγηση λόγω μικρότερης μέσης τιμής σε σχέση με την ΟΤΣ. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα και από τον δείκτη OCP που δείχνει την επί τοις εκατό αύξηση ή μείωση του λειτουργικού κόστους σε σχέση με το απλό δίκτυο (No\_DG\_OTs). Έτσι κατά το έτος 2014 σενάρια που τιμολογούνται με fixed τιμές όπως No\_DG\_Fixed, DG\_1\_Fixed, Elasticity\_DG\_1\_Discrete, DG\_1\_Zones παρουσιάζουν αύξηση στον OCP σε αντίθεση που τα ίδια σενάρια το 2008 παρουσίαζαν μείωση στον OCP. Η μεγαλύτερη μείωση του OCP και για τα δύο έτη που μελετάμε είναι το σενάριο της ενεργειακής αναβάθμισης των προφίλ των καταναλωτών του δικτύου με την διεξόδυση DG (DG\_1\_Energy\_Upgrade\_OTs) που αποτελεί την βέλτιστη επιλογή ενεργειακών πολιτικών.

Ένας ακόμα ενδιαφέρον δείκτης που μετριέται σε έτη είναι η περίοδος αποπληρωμής (PB), όπου δείχνει σε πόσα έτη θα μπορέσουμε να αποσβέσουμε την επένδυση μας ανάλογα με το σενάριο ενεργειακής ή τιμολογιακής πολιτικής που θα επιλέξουμε. Παρότι οι επενδύσεις μας το 2014 ήταν πιο φθηνές σε σχέση με το 2008, λόγω αύξησης του ανταγωνισμού και άνοιγμα της αγοράς σε DG, εντούτοις παρατηρούμε μεγάλη αύξηση στην περίοδο αποπληρωμής. Αυτό οφείλεται στο ότι το 2014 τα σενάρια επέφεραν μικρά κέρδη με αποτέλεσμα να αποσβένεται πιο αργά η επένδυση μας σε σχέση με το 2008 που είχαμε περισσότερα κέρδη ανά σενάριο και άρα μεγαλύτερη περίοδο αποπληρωμής. Τα μικρότερα κέρδη, με την εφαρμογή του εκάστοτε σεναρίου, για το 2014 εξηγούνται από το γεγονός ότι στην αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης κόστους που χρησιμοποιήσαμε στο Matlab η ΟΤΣ του δικτύου λόγω αρκετά μικρότερης τιμής σε σχέση με το 2008 επηρεάζει πολύ περισσότερο το τελικό λειτουργικό κόστος απ' ό,τι το 2008 που το κύριο λόγο τότε είχαν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι η αύξηση των τελευταίων χρόνων στα σταθερά τιμολόγια πλήττουν κυρίως τους οικιακούς καταναλωτές οι οποίοι βλέπουν τους λογαριασμούς ρεύματός τους να αυξάνουν ολοένα και περισσότερο ενώ επωφελούνται καταναλωτές (κυρίως βιομηχανικοί) που τιμολογούνται με βάση την οριακή τιμή συστήματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

### ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

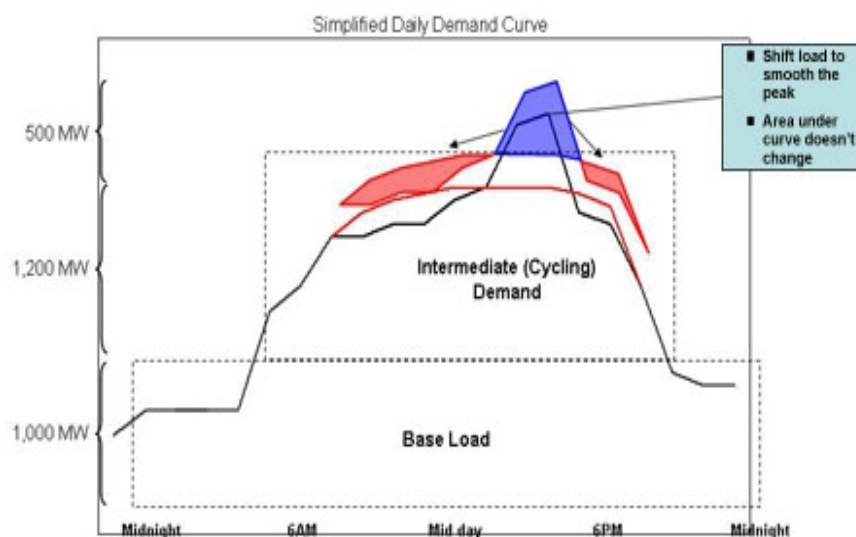
Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται η περαιτέρω ανάπτυξη που μπορεί να υλοποιηθεί για το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι τιμολογιακές και ενεργειακές πολιτικές σε ένα δίκτυο είναι γενικώς ένα ευρύ θέμα που δεν μπορεί να εξαντληθεί παρά με πλήθος δοκιμών και σεναρίων. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, η παρούσα εργασία, σύμφωνα με τη μεθοδολογία με την οποία δημιουργήθηκε, θα μπορούσε να αναπτυχθεί περαιτέρω στη βάση της παρακάτω θεματολογίας.

#### **8.1 Μελέτη Δικτύου με Ελαστικότητες Καταναλωτών ως προς Εισοδήματα**

Έπειτα από συνεχείς αυξήσεις στην συνολική ζήτηση ενέργειας στα ελλαδικά δεδομένα, για πρώτη φορά τα τελευταία χρόνια λόγω της οικονομικής ύφεσης που επικρατεί στο σύνολο των καταναλωτών εμφανίζονται ποσοστιαίες ετήσιες μειώσεις. Αυτό μπορεί να αποτελέσει βάση για την υλοποίηση μιας μοντελοποίησης με τη χρήση πινάκων ελαστικότητας στα πρότυπα των σεναρίων ελαστικότητας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τιμή. Στη μοντελοποίηση αυτή οι καταναλωτές θα αντιδρούν στη μείωση του εισοδήματός τους (αγοραστικής τους δύναμης) με μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως και οι ελαστικότητες ζήτησης ως προς τιμή, η ελαστικότητα εισοδήματος αποτελεί και αυτή αντικείμενο μελέτης και πολλαπλά χρήσιμη πληροφορία για κάθε διαχειριστή αγοράς ηλεκτρικού συστήματος, είναι δε ένας τομέας που δεν φέρει ιδιαίτερη ανάπτυξη παρότι η σωστή τιμολόγηση και πρόβλεψη στην αγορά ενέργειας αποτελεί από μόνο του ένα ζήτημα τεράστιων χρηματικών ποσών (είτε κερδών είτε ζημιών).

#### **8.2 Λειτουργία Δικτύου με Demand Response από Ευφυής Καταναλωτές**

Στα σύγχρονα έξυπνα δίκτυα με την πληροφορία της ΟΤΣ και τις ζήτησεις φορτίου να αποτελούν προσβάσιμο δεδομένο σε πραγματικό χρόνο από τον κάθε καταναλωτή, επιτυγχάνεται η άμεση αντίδραση των φορτίων των καταναλωτών. Αυτό γίνεται μέσω αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου που ρυθμίζονται από τον εκάστοτε καταναλωτή ώστε όταν η ΟΤΣ και συγκεκριμένα αυξάνεται, να μπορεί να γίνει αποκοπή φορτίων με κάποια προτεραιότητα και αντίστοιχα να προγραμματίζονται τα μεγάλα φορτία σε στιγμές χαμηλής ΟΤΣ.



Σχήμα 8.1 Διάγραμμα λειτουργίας με demand response

### 8.3 Ανάλυση Ρίσκου για Μεγιστοποίηση Εσόδων του Λειτουργού Αγοράς

Η θεματολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόβλεψη της αντίδρασης των καταναλωτών ενός ηλεκτρικού δικτύου στις αυξομειώσεις των τιμών της ενέργειας. Η αναμενόμενη αξία από τη λήψη μιας απόφασης είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των κερδών, που ανταποκρίνονται στις διάφορες δυνατές εκβάσεις (ενδεχόμενα), όπου το κάθε ποσό των κερδών σταθμίζεται βάσει της πιθανότητας πραγματοποίησης [51]. Το αναμενόμενο κέρδος εκφράζεται με τη σχέση:

$$E(\pi) = \sum_{i=1}^N \pi(i) P(i)$$

όπου το  $\pi(i)$  είναι το επίπεδο κέρδους σχετιζόμενο με το ισοστό ενδεχόμενο, το  $P(i)$  είναι η πιθανότητα ότι το ισοστό ενδεχόμενο θα πραγματοποιηθεί και το  $N$  είναι ο αριθμός των δυνατών εκβάσεων.

#### 8.3.1 Δέντρα Αποφάσεων

Κάθε κατάσταση που εμπεριέχει τη λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες ρίσκου, έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. Πρώτον, το κέντρο αποφάσεων πρέπει να κάνει μια επιλογή, ή ίσως μια σειρά επιλογών, ανάμεσα σε εναλλακτικούς τρόπους δράσης. Δεύτερον, η επιλογή αυτή θα έχει κάποιες συνέπειες, αλλά το κέντρο αποφάσεων δεν μπορεί να προβλέψει την ακριβή μορφή των συνεπειών αυτών, γιατί εξαρτώνται από κάποιο απρόβλεπτο γεγονός, ή σειρά γεγονότων. Οι συνέπειες αύξησης της τιμής είναι αβέβαιες, αφού η εταιρία δεν μπορεί να είναι σίγουρη, αν οι καταναλωτές θα αντιδράσουν ανελαστικά ή θα μειώσουν την ενέργειά τους (ή έστω το ποσοστό αύξησής της).

Ένα δέντρο αποφάσεων είναι χρήσιμο στην ανάλυση τέτοιων προβλημάτων. Ένα δέντρο αποφάσεων είναι ένα διάγραμμα, που βοηθάει να σχηματιστεί μια εικόνα των επιλογών που υπάρχουν. Αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα απόφασης ως μια σειρά επιλογών, η καθεμιά των οποίων περιγράφεται με μια διακλάδωση (συμβολή ή σημείο διακλάδωσης). Μια διακλάδωση αποφάσεων είναι μια διακλάδωση, που αντιπροσωπεύει μια επιλογή, της οποίας το κέντρο αποφάσεων ελέγχει την έκβαση. Μια τυχαία διακλάδωση είναι μια διακλάδωση, όπου η τύχη ελέγχει την έκβαση. Με βάση ένα τέτοιο δέντρο αποφάσεων, μπορεί εύκολα να καθοριστεί ποιό σκέλος θα πρέπει να επιλέξει η εταιρία για να μεγιστοποιήσει τα αναμενόμενα κέρδη της. Η διαδικασία, με την οποία λύνεται το πρόβλημα, γνωστή και ως αντίστροφη επαγωγή, απαιτεί την εκκίνηση από τη δεξιά πλευρά του δέντρου αποφάσεων, όπου είναι καταχωρημένα τα ποσά κέρδους.

### **8.3.2 Αναμενόμενη Αξία της Τέλειας Πληροφόρησης**

Το κέντρο αποφάσεων μπορεί να πάρει πληροφορίες, που θα απομακρύνουν όσο το δυνατόν το ρίσκο. Αν το κέντρο αποφάσεων μπορεί να πάρει τέλειες πληροφορίες πρέπει να υπολογιστεί και πόσο αξίζουν οι πληροφορίες αυτές. Έτσι ορίζεται η αναμενόμενη αξία της τέλειας πληροφόρησης ως αύξηση των αναμενόμενων κερδών, στην περίπτωση που το κέντρο αποφάσεων θα μπορούσε να εξασφαλίσει απολύτως ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την έκβαση της κατάστασης. Έτσι, στην περίπτωση της εταιρίας ενέργειας, αυτή η αναμενόμενη αξία είναι η αύξηση στα αναμενόμενα κέρδη, αν η εταιρία θα μπορούσε να εξασφαλίσει απολύτως ακριβείς πληροφορίες αναφορικά με την επιτυχία. Έτσι, η διαδικασία ξεκινάει αξιολογώντας την αναμενόμενη χρηματική αξία, για την εταιρία, αν μπορέσει να αποκτήσει πρόσβαση σε απολύτως ακριβείς πληροφορίες αυτού του είδους. Αν μπορεί να εξασφαλίσει την τέλεια πληροφόρηση, θα μπορέσει να πάρει τη σωστή απόφαση, ανεξάρτητα από το γεγονός αν η αύξηση της τιμής της kWh θα είναι επιτυχής ή όχι. Αν θα είναι επιτυχής, η εταιρία θα γνωρίζει το γεγονός αυτό και θα αυξήσει την τιμή. Αν δεν είναι επιτυχής, η εταιρία και πάλι θα γνωρίζει το γεγονός και δε θα αυξήσει την τιμή.

### **8.3.3 Συμπεριφορές Απέναντι στο Ρίσκο και Μοντέλα Απόφασης**

Παρότι θεωρείται πως το όφελος αυξάνεται με το χρηματικό κέρδος, η μορφή της συνάρτησης χρησιμότητας-οφέλους μπορεί να έχει διαφορετικές καμπυλότητες, ανάλογα με τις προτιμήσεις του κέντρου αποφάσεων. Στην πράσινη καμπύλη το όφελος αυξάνεται με το κέρδος, αλλά με φθίνοντα ρυθμό. Με συναρτήσεις οφέλους αυτού του είδους αποφεύγεται το ρίσκο. Η κόκκινη καμπύλη παρουσιάζει μια περίπτωση, όπου το όφελος αυξάνεται με τα κέρδη, αλλά σε αύξοντα ρυθμό. Με συναρτήσεις οφέλους αυτού του είδους παίρνει κανείς ρίσκο. Στην μπλε καμπύλη, το όφελος αυξάνεται με τα κέρδη σε σταθερό ρυθμό. Με συναρτήσεις οφέλους αυτού του είδους είναι κανείς ουδέτερος ως προς το ρίσκο.



Σχήμα 8.2 Συμπεριφορές απέναντι στο ρίσκο

#### 8.4 Λειτουργία Αγοράς δύο Μικροδικτύων με Υποκατάστατα Προϊόντα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μια άλλη οπτική στην μοντελοποίηση μικροδικτύων δίνεται με την υπόθεση αγοράς ενέργειας που περιέχει πάνω από ένα μικροδίκτυα. Σε αυτή την περίπτωση ορίζοντας ελαστικότητες υποκατάστατων προϊόντων (ως τέτοια ορίζονται η τιμή ενέργειας του κάθε μικροδικτύου) μπορούν να βρεθούν οι αλληλεξαρτήσεις (εξαγωγές – εισαγωγές, κάλυψη ενέργειας) των δύο μικροδικτύων για κάθε ώρα. Κατά συνέπεια σύμφωνα με το διαφορετικό συνολικό φορτίο κάθε μικροδικτύου μια δεδομένη στιγμή, αποφασίζεται η αγορά ή η πώληση ενέργειας αναλόγως την τιμή στην οποία καλύπτεται η εκάστοτε ζήτηση, με αντικειμενικό σκοπό την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους ενέργειας για τους καταναλωτές.

#### 8.5 Επέκταση Μοντελοποίησης σε Μεγαλύτερα και Πολυπλοκότερα Δίκτυα

Η επέκταση της μοντελοποίησης ενός δικτύου περιορισμένων ζυγών, μπορεί να δώσει σημαντικά αποτελέσματα και συμπεράσματα για τη λειτουργία του συνολικού δικτύου διανομής μιας περιοχής, πόλης χώρας που αποτελεί και τη ραχοκοκαλιά ενός εθνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμπεριφορά των καταναλωτών και του δικτύου με ηλεκτρικά και οικονομικά μεγέθη αποτελεί σημαντική πληροφορία για το διαχειριστή οποιουδήποτε μεγέθους ηλεκτρικού δικτύου, συγκρινόμενη σε κρισιμότητα όσο και η πρόβλεψη φορτίου για τον προγραμματισμό πηγών ενέργειας, με τη διαφορά του ότι ενώ το τελευταίο αποτελεί ένα βραχυχρόνιο στόχο και προγραμματισμό, το πρώτο αφορά μακροχρόνιο σχεδιασμό και οικονομικές στρατηγικές σε ένα δίκτυο.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Β. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας: Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας ( Τόμος 1), “ Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ, 1985
- [2] Stevenson WD., “Elements of Power System Analysis”, McGraw Hill International Editions, 1982
- [3] Κ. Βουρνάς και Γ. Κονταξής, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, ΕΜΠ, 2001
- [4] Β.Κ. Παπαδιάς, Κ. Βουρνάς, Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και έλεγχος συχνότητας και τάσεως, εκδόσεις Συμμετρία, 1991
- [5] Κ. Αντωνόπουλος, Ηλιακή ενέργεια – φωτοβολταϊκά συστήματα ( σημειώσεις μαθήματος), ΕΜΠ 2011
- [6] Μ. Παπαδόπουλος, Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ΕΜΠ, 1997
- [7] Σ. Παπαθανασίου, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ΕΜΠ, 2008
- [8] Α. Σταθόπουλος κ.ά., Μεταφορές και κυκλοφορία-μη συμβατικά οχήματα, ΕΜΠ, 2000
- [9] Thomas Ackermann, Göran Andersson, Lennart Söder, Distributed generation: a definition, Electric Power Systems Research, Volume 57, Issue 3, 20 April 2001, Pages 195-204, ISSN 0378-7796, 10.1016/S0378-7796(01)00101-8
- [10] W. El-Khattan, M.M.A. Salama. "Distributed Generation Technologies, definitions and benefits". Electric Power Systems Research 71, pp. 119-128. 2004
- [11] Κ.Θ.Δέρβος, Εισαγωγή στα ημιαγωγά υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009
- [12] Γ. Κονταξής, Ν. Χατζηαργγυρίου, “Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας”, ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- [13] European SmartGrids Technology Platform, Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future, 2006
- [14] 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, 2011 Technical Report, EPRI
- [15] European SmartGrids Technology Platform. [www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf](http://www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf)
- [16] Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών – εκπαιδευτικό υλικό, Μελέτη ενεργειακής απόδοσης κτιρίου, ΤΕΕ, Ιούνιος 2011
- [17] Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης, ΤΕΕ, Ιούλιος 2010
- [18] Wayne C. Turner, Steve Doty: Energy Management Handbook. Sixth Edition
- [19] Α. Vatalalos, Μ. Ioannidis, Cutting-edge Information & Telecommunication Technologies meet Energy. Energy Management Systems and Smart Web Platforms, EEnergy Conference 2010, Athens
- [20] Prof. P. Capros, Dr. L. Mantzos, N. Tasios, A. De Vita, N. Kouvaritakis, “EU energy trends to 2030”, Publications Office of the European Union, 2010
- [21] Α. Vatalalos, Μ. Ioannidis, Web-based Energy Management Systems, a Necessary Tool for Energy Efficiency and Smart Metering, Promitheas Conference 2010, Athens
- [22] James A. Momoh, “Electric Power System Applications of Optimization”
- [23] L. S. Lasdon, “Optimization Theory for Large Systems”, New York: MacMillan, 1970
- [24] Ν. Γ. Μαράτος, Τεχνικές βελτιστοποίησης (Σημειώσεις), Αθήνα, 1990, Ε.Μ.Π.
- [25] T. Weise, Global Optimization Algorithms– Theory and Application, 2nd ed.
- [26] Κ. Παπαδιάς, Γ. Κονταξής, “ Ηλεκτρική Οικονομία”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2003
- [27] Hadi Saadat, “Power System Analysis”, McGraw - Hill International Editions, Electrical Engineering Series, 1999
- [28] N.D.Hatziargyriou, J.Vasiljevska, A.G.Tsikalakis, “Report on the Economic Benefits of Microgrids”, Int Report WPG, EU Project More Microgrids, July 2007, Contract No:SES6-019864,

<http://microgrids.power.ece.ntua.gr>

- [29] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control", 2 nd Edition, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [30] A. Grace, "Optimization Toolbox", The MathWorks, Inc., Natick, MA, 1995
- [31] N. Wu, T. H. Lee, E. F. Hill, "An Investigation of the Accuracy and the Characteristics of the Peak-Shaving Method Applied to Production Cost Calculations", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 3, August 1989, pp. 1043-1049
- [32] Αναστάσιος Μπακιρτζής, "Οικονομική Λειτουργία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1998
- [33] Martin Geidl, Integrated Modeling and Optimization of Multi-Carrier Energy Systems, PhD dissertation, ETH Zurich, 2007
- [34] A. Vatalalos, G. Vogiatzakis, A. Anastasiadis, S. Papathanasiou, N. Hatziaargyriou, Benefits of Hybrid Wind - Pumped Storage Unit in a Non – Interconnected Power System, Medpower 2010, Cyprus.
- [35] Kai Zou, A.P. Agalgaonkar, K.M. Muttaqi, S. Perrera, Distribution System Planning with Incorporating DG Reactive Capability and system uncertainties, IEEE PES Trans. Sustainable Energy, 2011
- [36] Κωνσταντίνος Παγώνης, Επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στα μεγέθη ενός Μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ΕΜΠ, 2011
- [37] Vassilis T. Rapanos, Michael L. Polemis, The structure of residential energy demand in Greece, Elsevier – Energy Policy, 2006
- [38] Michael. L. Polemis, Modeling industrial energy demand in Greece using cointegration techniques, Energy Policy, 2007
- [39] George Hondroyiannis, Estimating residential demand for electricity in Greece, Elsevier – Energy Economics, 2004
- [40] George S. Donatos and George J. Mergos, Residential demand for electricity: the case of Greece, Butterworth-Heinemann Ltd, 1991
- [41] Paulo Moisés Costa, Manuel A. Matos, J.A. Peças Lopes, Regulation of microgeneration and microgrids, Energy Policy, Volume 36, Issue 10, October 2008
- [42] Π. Κάπρος, Οικονομική ανάλυση επιχειρήσεων, ΕΜΠ, 2004
- [43] STREP project – More Microgrids, Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids, 2009
- [44] Nicos M. Christodoulakis and Sarantis C. Kalyvitis, The demand for energy in Greece: assessing the effects of the Community Support Framework 1994-1999, Energy Economics, 1997
- [45] Άγγελος Βατίκαλος, Βραχυπρόθεσμος Υδροθερμικός Προγραμματισμός και Μελέτη μη Διασυνδεδεμένου ΣΗΕ με Μεγάλη Διείσδυση ΑΠΕ και Αντλησιοταμίευση σε Συνθήκες Βέλτιστης Ροής Φορτίου, Διπλωματική ΕΜΠ, Αθήνα 2009
- [46] Αντώνιος Γ.Τσικαλάκης, «Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης και ανανεώσιμης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης», Διδακτορική διατριβή Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Ιούλιος 2008
- [47] Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ, <http://www.lagie.gr>
- [48] Sayah S, Zehar K., "Economic Load Dispatch with Security Constraints of the Algerian Power System Using Successive Linear Programming Method", Leonardo J Science, 2006
- [49] Ν. Χατζηαργυρίου, Αξιολόγηση Επενδύσεων Αιολικών Πάρκων, ΕΜΠ
- [50] John C. Van Gorp, C.E.M. Services Marketing: Using Key Performance Indicators to manage energy costs. Saanichton, Canada. <http://www.pwrn.com>
- [51] C. Spetzler & R. Zamora, "Decision Analysis of a Facilities Investment and Expansion Problem," στο R. Howard & J. Matheson, eds. The Principles and Applications of Decision Analysis (Menlo Park, Calif.: Strategic Decision Group, 1984)
- [52] PhD Ανέστης Αναστασιάδης "Συμβολή Στην Διαχείριση Μικροδικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας Με

Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Και Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού Και Θερμότητας" ΕΜΠ 2014

[53] MSc Άγγελος Βατίκαλος "Βέλτιστη Λειτουργία Μικροδικτύου με Εφαρμογή Ενεργειακών και Τιμολογιακών Πολιτικών" ΕΜΠ 2012