



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

**Μελέτη μικροδικτύου με τη βοήθεια του εξομοιωτικού  
προγράμματος HOMER**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΦΩΤΙΟΣ Ε. ΚΟΚΚΑΛΙΔΗΣ**

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

Αθήνα, Ιούλιος 2014





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

## Μελέτη μικροδικτύου με τη βοήθεια του εξομοιωτικού προγράμματος HOMER

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΦΩΤΙΟΣ Ε. ΚΟΚΚΑΛΙΔΗΣ**

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23<sup>η</sup> Ιουλίου 2014.

.....

Ν. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Σ. Παπαθανασίου

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Π. Γεωργιάκης

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

.....

Φώτιος Ε. Κοκκαλίδης

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

Copyright © Φώτιος Ε. Κοκκαλίδης, 2014.

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.

*Qui non proficit, deficit*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014 στον Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ν. Χατζηαργυρίου και της επιστημονικής του συνεργάτιδας Δρ. Χ. Παπαδημητρίου, στους οποίους οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες, τόσο για την ανάθεσή της, όσο και για την καθοδήγηση κατά τη συγγραφή. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω ευχαριστίες στο Δρ. Ε. Ζούλια για τις χρήσιμες συμβουλές του.

Με την εργασία αυτή ολοκληρώνεται μια μεγάλη προσπάθεια κατά τη διάρκεια της οποίας η συνεχής συμπαράσταση και κατανόηση της οικογένειάς μου ήταν καθοριστικής σημασίας.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Φ. Κοκκαλίδης





## Περίληψη

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας παρουσιάστηκαν διεξοδικά τα σημαντικότερα στοιχεία που αφορούν τη διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας και τα μικροδίκτυα, με σαφή προσανατολισμό τα αυτόνομα συστήματα και πραγματοποιήθηκε μια λεπτομερής διερεύνηση ενός μη-διασυνδεδεμένου νησιωτικού δικτύου με χρήση εξομοιώσεων.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθενται περιεκτικές πληροφορίες για το παγκόσμιο και το εγχώριο ενεργειακό τοπίο με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, συμβατικές και μη, ενώ σχολιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών.

Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται τα μικροδίκτυα, με αναφορές σε λειτουργικά χαρακτηριστικά τους όπως η νησιδοποίηση, η εκκίνηση μετά από κατάρρευση, η αποθήκευση ενέργειας, η ποιότητα ισχύος και η αξιοπιστία. Περιλαμβάνεται επίσης μια σύντομη αναφορά σε εφαρμογές μικροδικτύων, κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία για το δίκτυο του νησιού Αγ. Ευστράτιος, για τους διαθέσιμους προς εκμετάλλευση πόρους από ηλιακή και αιολική ενέργεια, καθώς και για το ερευνητικό-επιδεικτικό έργο «Αγ. Ευστράτιος - Πράσινο Νησί».

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα βασικότερα χαρακτηριστικά του λογισμικού προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υβριδικών συστημάτων 'Homer Energy'. Στο τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που εκτελέστηκαν υπό μορφή διακριτών σεναρίων. Τέλος εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με παραμέτρους, όπως το επίπεδο διείσδυσης των ΑΠΕ, και το πώς αυτές επηρεάζουν τα οικονομικά μεγέθη του συστήματος.

**Λέξεις κλειδιά:** Μικροδίκτυο, Διεσπαρμένη Παραγωγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υβριδικά συστήματα, νησιωτικό σύστημα, προσομοίωση, οικονομική βελτιστοποίηση



## **Abstract**

In the first part of this study the most important issues regarding dispersed generation and microgrids are thoroughly discussed with particular reference to isolated power systems, while in the second part a detailed investigation of a specific island grid by means of simulations is presented.

The first chapter contains information on the global and domestic energy status with regard also to the renewable energy sources. A special reference to conventional and emerging dispersed generation technologies, including pros and cons, is made in the second chapter.

Third chapter deals with microgrids and islanded and blackstart operation, as well as energy storage, power quality and reliability, followed by short review of real applications mainly for research purposes.

In the fourth chapter there is a detailed description of Ag. Efstratios island electrical utility system and available wind and solar potential, along with a reference to the research and demonstration project ‘Ag. Efstratios – The Green Island’.

A comprehensive description of the most significant attributes of ‘Homer Energy’ hybrid systems simulation and optimization software appears in the fifth chapter. Simulation results for a number of scenarios are presented in the last chapter, which also includes important conclusions regarding the influence of parameters, such as the penetration of renewables, to the system economics.

**Keywords:** Microgrid, Dispersed Generation, Renewable Energy Sources, photovoltaics, wind turbines, hybrid systems, island grid, simulation, economic optimization



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	2
1.3	Ηλεκτροπαραγωγή και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα.....	4

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

2.1	Εισαγωγή.....	7
2.2	Διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας.....	7
2.3	Τεχνολογίες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	9
2.3.1	Μονάδες συμβατικών καυσίμων.....	10
2.3.1.1	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.....	11
2.3.1.2	Αεριοστρόβιλοι.....	11
2.3.1.3	Μικροτουρμπίνες.....	11
2.3.1.4	Κυψέλες καυσίμου.....	12
2.3.1.5	Μονάδες που προσομοιάζουν τις κυψέλες καυσίμου.....	14
2.3.2	Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	15
2.3.2.1	Μονάδες παραγωγής από αιολική ενέργεια.....	16
2.3.2.2	Μονάδες παραγωγής από ηλιακή ενέργεια.....	17
2.3.2.3	Μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα.....	19
2.3.2.4	Μονάδες παραγωγής από βιομάζα.....	20
2.3.2.5	Μονάδες παραγωγής από γεωθερμία.....	21
2.3.2.6	Μονάδες παραγωγής από παλίρροια και κυματισμό.....	22
2.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διεσπαρμένης παραγωγής.....	23

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ**

3.1	Εισαγωγή.....	25
3.2	Τα μικροδίκτυα ως πυρήνας των διεσπαρμένων συστημάτων.....	26
3.3	Λειτουργικά χαρακτηριστικά μικροδικτύων.....	27
3.3.1	Έλεγχος στα μικροδίκτυα .....	29
3.3.2	Συστήματα Ευφυών Πρακτόρων (Multi-Agent Systems – MAS).....	32
3.3.3	Λειτουργία υπό νησιδοποίηση.....	33
3.3.4	Εκκίνηση μετά από κατάρρευση του συστήματος.....	35
3.4	Αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής.....	36
3.4.1	Δομή του μοντέλου αποθήκευσης ενέργειας από μικροδίκτυα .....	36
3.4.2	Εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σε μικροδίκτυα .....	37
3.5	Ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία στα μικροδίκτυα.....	38
3.6	Πλεονεκτήματα των μικροδικτύων.....	39
3.7	Εφαρμογές μικροδικτύων .....	41

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ**

4.1	Γεωπολιτικά στοιχεία.....	45
4.2	Εκμεταλλεύσιμες ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές.....	46
4.2.1	Αιολική ενέργεια.....	46
4.2.2	Ηλιακή ενέργεια.....	47
4.3	Το υφιστάμενο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα .....	49
4.3.1	Σταθμός παραγωγής – Δίκτυο .....	49
4.3.2	Φορτίο - Ζήτηση ενέργειας.....	50
4.4	Το έργο «Αγ. Ευστράτιος – Πράσινο Νησί».....	52
4.5	Το προτεινόμενο σύστημα .....	53
4.5.1	Το υβριδικό σύστημα - πρόσθετα στοιχεία .....	53
4.5.2	Αρχές λειτουργίας του υβριδικού συστήματος.....	54

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ ‘HOMER ENERGY’**

5.1	Εισαγωγή.....	57
5.1.1	Το λογισμικό .....	57
5.1.2	Σχεδιασμός Μικροδικτύων ως Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	59
5.1.3	Προσομοίωση, βελτιστοποίηση, ανάλυση ευαισθησίας .....	60
5.2	Περιβάλλον εργασίας χρήστη .....	62
5.3	Σημαντικότεροι πελάτες – χρήστες.....	62
5.4	Συνιστώσες του υπό εξέταση συστήματος.....	63

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**

6.1	Εισαγωγή.....	69
6.2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	70
6.3	Μελέτη μικροδικτύου για το νησί Αγ. Ευστράτιος.....	70
6.3.1	Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη.....	70
6.3.2	Στοιχεία εισόδου και παραδοχές.....	71
6.4	Αποτελέσματα.....	72
6.4.1	Σενάριο παρούσας κατάστασης συστήματος (DG).....	72
6.4.2	Σενάρια υβριδικών συστημάτων με χρήση μονάδων ΑΠΕ (PV+WT+DG).....	74
6.4.3	Σενάριο αποκλειστικής χρήσης μονάδων ΑΠΕ και αποθήκευσης (RE).....	84
6.4.4	Συγκριτική παρουσίαση .....	86
6.5	Ανάλυση ευαισθησίας .....	88
6.5.1	Ευαισθησία σεναρίου παρούσας κατάστασης.....	88
6.5.2	Ευαισθησία σεναρίου υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ .....	89
6.6	Συμπεράσματα .....	91

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....**

93

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΙΝΑΚΕΣ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ**

Π.1	Σενάριο παρούσας κατάστασης .....	97
Π.2	Σενάρια υβριδικών συστημάτων με χρήση ΑΠΕ.....	99
Π.3	Σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ.....	102





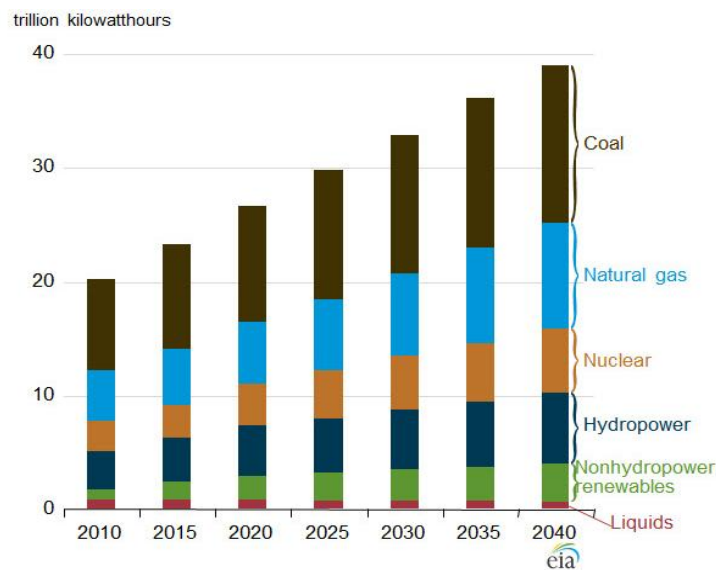
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

### 1.1 Εισαγωγή

Η Ευρώπη εισέρχεται σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο. Οι παγκόσμιες θερμοκρασίες προβλέπεται να αυξηθούν κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα κατά 5° C, κυρίως λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν το 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με βάση τις προβλέψεις οι εκπομπές στην Ε.Ε. θα αυξηθούν κατά περίπου 5% μέχρι το 2030. Ταυτόχρονα, οι τιμές της ενέργειας διαρκώς αυξάνονται, κάτι το οποίο αναμένεται να συνεχιστεί λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για ενέργεια και της συνεχούς μείωσης των ορυκτών πόρων.

Οι περισσότερες χώρες της Ευρώπης εξαρτώνται ολοένα και περισσότερο από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα γεγονός που επηρεάζει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Με τις ισχύουσες τάσεις και πολιτικές, η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις εισαγωγές θα αυξηθεί από 50% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε 65% το 2030. Επιπρόσθετα, η απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς δεν έχει ολοκληρωθεί, αποστερώντας τους πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και την οικονομία της από τα καθαρά οφέλη της. Στο Σχήμα 1.1 παρατίθενται ενδεικτικά στοιχεία της παρούσας κατάστασης, αλλά και μια ενδεχόμενη μελλοντική εξέλιξη της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής, ταξινομημένη με βάση την προέλευσή της.



Σχήμα 1.1 Παγκόσμια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά προέλευση

Σύμφωνα με αναλύσεις της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και επιστημονικών φορέων φαίνεται ότι η μόνη τεχνολογικά εφικτή αλλά και η μόνη βιώσιμη περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά εναλλακτική λύση μπορεί να βρεθεί στη βάση μιας δέσμευσης ότι η μελλοντική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ευρώπης θα γίνεται αποκλειστικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Η ιδέα της μετάβασης από τα συμβατικά συστήματα ενέργειας, σε ένα σύστημα που θα βασίζεται πλήρως σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συζητείται τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Πολλές περιφέρειες αλλά και τοπικές κοινότητες έχουν οδηγηθεί προς την ενεργειακή αυτονομία με κίνητρα τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν αρκετές μελέτες που αποδεικνύουν τα θετικά αποτελέσματα αυτών των εγχειρημάτων (αύξηση της προστιθέμενης αξίας των περιφερειών, η δημιουργία θέσεων απασχόλησης αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος) κάτι αντίστοιχο δε συμβαίνει με την μελέτη των κοινωνικών και τεχνικών διεργασιών που απαιτούνται για την αλλαγή του ενεργειακού συστήματος [1].

## **1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

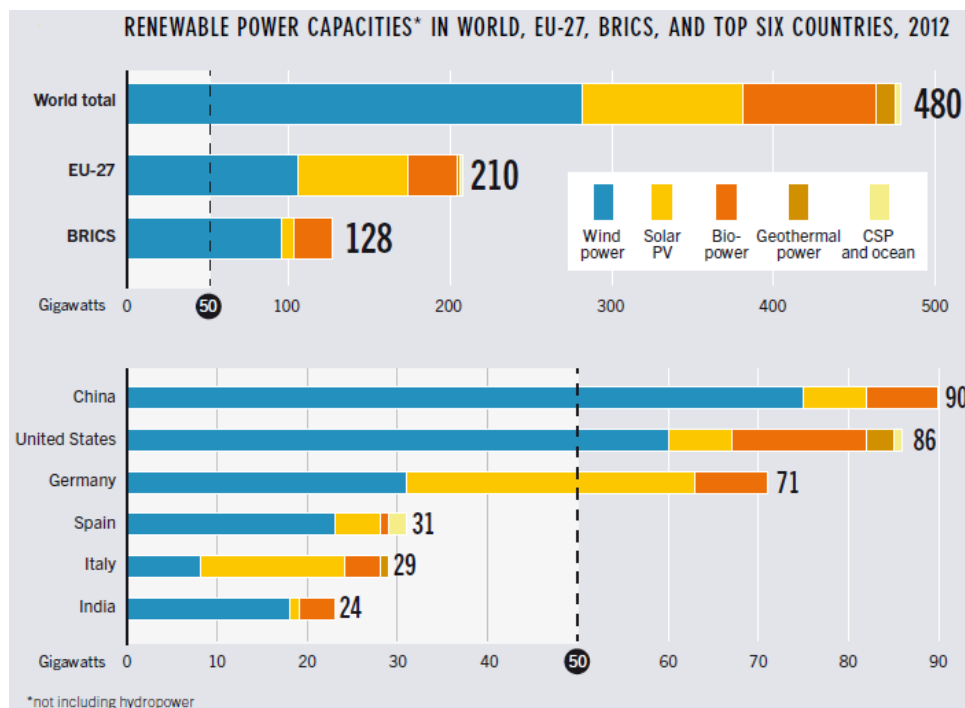
Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια οδήγησε, τις τελευταίες δεκαετίες, στην επένδυση χρόνου και πόρων για την έρευνα και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως από την πλευρά των περισσότερο ανεπτυγμένων χωρών. Καθώς η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια συνεχώς αυξάνεται, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων και της πληθυσμιακής αύξησης, τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται σταδιακά και περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι ανθυγιεινές συνθήκες ζωής στα μεγάλα αστικά κέντρα συνεχίζουν να διογκώνονται. Είναι πλέον αποδεκτό πως για να καλυφθούν οι σύγχρονες ενεργειακές ανάγκες πρέπει να υπάρχει μία πολυμορφία στην ενεργειακή παραγωγή. Έτσι οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να προσανατολίζονται σε τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον, αλλά και να εξασφαλίζουν χαμηλό κόστος παραγωγής.

Για τους παραπάνω λόγους, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οφείλουν να έχουν σημαντικό μερίδιο σε αυτό το πολυμορφικό σύστημα. Σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές, όπως οι γαιάνθρακες (π.χ. λιγνίτης) και το πετρέλαιο, οι ΑΠΕ θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες και η χρήση τους δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις ΑΠΕ συγκαταλέγονται όλες αυτές οι μορφές ενέργειας που θεωρούνται, στα πλαίσια του ανθρώπινου χρονικού ορίζοντα, ανεξάντλητες: η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, οι υδατοπτώσεις, η ενέργεια των θαλασσών, η βιομάζα και η γεωθερμία. Με εξαίρεση την παλιρροϊκή ενέργεια των θαλασσών, που οφείλεται στην περιστροφή της γης και την έλξη της από τους πλανήτες, όλες οι άλλες μορφές, έμμεσα ή άμεσα, αποτελούν παράγωγα της ηλιακής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι κυψέλες καυσίμου, η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων, η γεωθερμική ενέργεια και η ενέργεια της βιομάζας αποτελούν τις κυριότερες πηγές αειφόρου ενέργειας. Οι ΑΠΕ είναι εγχώριες πλουτοπαραγωγικές πηγές, οι οποίες συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτόρκεια, καθώς και στην εξασφάλιση του εθνικού ενεργειακού ανεφοδιασμού χωρών, οι οποίες δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε συμβατικά καύσιμα.

Οι ΑΠΕ συμβάλλουν επίσης στην γεωγραφικά διεσπαρμένη παραγωγή, μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά της ενέργειας, και δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και τις τιμές των συμβατικών καυσίμων. Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος και μπορούν να αποτελέσουν πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών. Προβλήματα, όπως οι περιορισμοί διείσδυσης των ΑΠΕ σε ασθενή δίκτυα ή το υψηλό κόστος επένδυσης, μπορούν να ξεπεραστούν με αναβάθμιση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και τη δημιουργία ελκυστικών οικονομικών επενδύσεων.

Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται η αξιοποίηση των διαφόρων μορφών ΑΠΕ το έτος 2012 σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς και αναλυτικότερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στις αναπτυσσόμενες χώρες και στις 6 χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ.



Σχήμα 1.2 Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ το έτος 2012

Σύμφωνα με εκτίμηση της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (IEA), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη αναμένεται να αυξάνεται σε μέσο ετήσιο επίπεδο κατά 1.4% μέχρι το 2030, αλλά το μερίδιο των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό ισοζύγιο θα διπλασιαστεί από 13% σε 26% μέχρι το 2030 [2].

### 1.3 Ηλεκτροπαραγωγή και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα

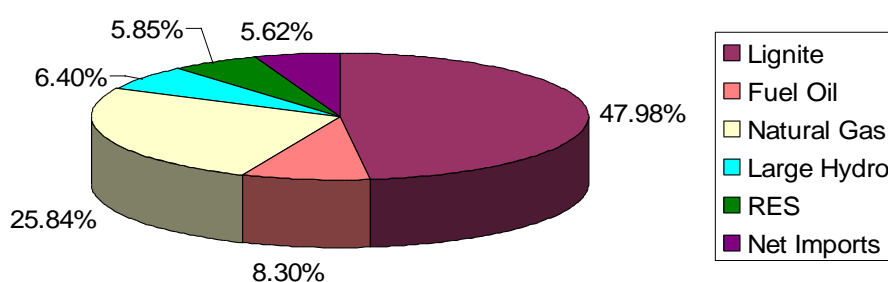
Η Ελλάδα διαθέτει αξιοποιήσιμο αιολικό και ηλιακό δυναμικό, πράγμα που ευνοεί την ανάπτυξη των ΑΠΕ σε πολλά μέρη της ηπειρωτικής και νησιωτικής χώρας. Η ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα στηρίζεται στη χρήση:

α) εγχώριου Λιγνίτη και εισαγόμενου Φυσικού Αερίου (Φ.Α.) στην ηπειρωτική χώρα

β) Πετρελαίου στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά και

γ) Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ο ρυθμός διείσδυσης των οποίων βαίνει αυξανόμενος τα τελευταία χρόνια, με κυρίαρχες τεχνολογίες τα Αιολικά και τα Φωτοβολταϊκά).

Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένα στοιχεία που αφορούν τη διείσδυση των ΑΠΕ στη χώρα μας. Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται η συμβολή των διαφόρων μορφών ενέργειας στην ελληνική ηλεκτροπαραγωγή το έτος 2011, συνολικά για το διασυνδεδεμένο σύστημα και τα μη-διασυνδεδεμένα νησιά. Η κυριότερη μορφή καυσίμου εξακολουθεί να είναι ο εγχώριος λιγνίτης που καλύπτει περίπου το 48% του συνόλου των αναγκών παραγωγής. Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στις εγκαταστάσεις των μη-διασυνδεδεμένων με την ηπειρωτική χώρα νησιωτικών συστημάτων. Οι εγκαταστάσεις ΑΠΕ περιλαμβάνουν τις συνδεδεμένες μονάδες που αποτελούν τα αιολικά πάρκα, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, οι μονάδες αξιοποίησης βιομάζας και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στον Πίνακα 1.1 φαίνονται τα αντίστοιχα δεδομένα αναλυτικά για διασυνδεδεμένες και μη-διασυνδεδεμένες εγκαταστάσεις [3].

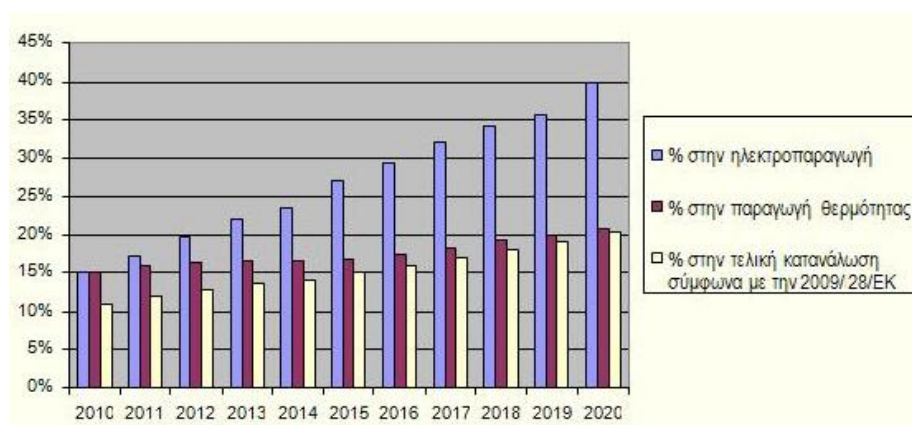


Σχήμα 1.3 Συμμετοχή μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και καθαρών εισαγωγών στην ετήσια κατανάλωση το 2011

Πίνακας 1.1 Συμμετοχή μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και καθαρών εισαγωγών στην ετήσια κατανάλωση το 2011 για διασυνδεδεμένες και μη-διασυνδεδεμένες εγκαταστάσεις

	Interconnected system		Non-interconnected islands		Total	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
<b>Lignite</b>	27.57	53.15	-	-	27.57	47.98
<b>Fuel Oil</b>	0.01	0.02	4.76	85.15	4.77	8.30
<b>Natural Gas</b>	14.85	28.63	-	-	14.85	25.84
<b>Large Hydro</b>	3.68	7.09	-	-	3.68	6.40
<b>RES</b>	2.53	4.88	0.83	14.85	3.36	5.85
<b>Net Imports</b>	3.23	6.23	-	-	3.23	5.62
<b>Total</b>	51.87	100.00	5.59	100.00	57.46	100

Με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/ΕΚ της 23<sup>ης</sup> Απριλίου 2009 καθορίστηκαν για το 2020 δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι για το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα καθώς και η υποχρέωση των Κρατών – Μελών να υποβάλλουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέχρι τις 30/06/2010, το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ανανεώσιμη Ενέργεια, ΕΣΔΑΕ (National Renewable Energy Action Plan, NREAP) το οποίο περιλάμβανε τόσο τους τομεακούς στόχους, όσο και μία ενδεικτική πορεία για την επίτευξη των στόχων [4]. Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται η αναμενόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Όπως φαίνεται από τα στατιστικά στοιχεία, η ανάπτυξη των ΑΠΕ τα επόμενα χρόνια αναμένεται αλματώδης, δημιουργώντας νέα δεδομένα στο τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η νέα φιλοσοφία προσανατολίζεται στην αξιοποίηση ποικίλων ενεργειακών πηγών και στην ενσωμάτωση αυτών σε ένα ενιαίο υβριδικό σύστημα [5].



Σχήμα 1.4 Η αναμενόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

#### 2.1 Εισαγωγή

Η πλειοψηφία των ηλεκτρικών δικτύων ανά τον κόσμο δομήθηκε τις προηγούμενες δεκαετίες, με βάση τη διαπίστωση ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η διαπίστωση αυτή ήταν καθοριστικός παράγοντας για την δομή των ηλεκτρικών δικτύων, καθώς βασικότερα κριτήρια για την ηλεκτροπαραγωγή ήταν το κόστος και η απόδοση. Έτσι οι νέοι θερμικοί σταθμοί, είτε αυτοί χρησιμοποιούσαν λιγνίτη ή πετρέλαιο, είτε πυρηνικά καύσιμα, κατασκευάζονταν με όλο και μεγαλύτερη ισχύ ώστε να μειωθεί το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το κριτήριο αυτό παρέβλεπε άλλους παράγοντες που σχετίζονταν με το μέγεθος και την τοποθεσία των ηλεκτρικών σταθμών παραγωγής, όπως το περιβαλλοντικό κόστος και την εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας. Η πρακτική αυτή είχε ως αποτέλεσμα την γιγάντωση των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παράλληλα με την κατασκευή ολοένα και μεγαλύτερων δικτύων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης.

Μέχρι και σήμερα ένα τυπικό ηλεκτρικό δίκτυο βασίζεται στη συγκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λίγους και μεγάλης ισχύος σταθμούς, τη μεταφορά της σε αστικά κέντρα με γραμμές υψηλής τάσης και στη συνέχεια τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης. Το μοντέλο αυτό άρχισε να αμφισβητείται σταδιακά από τη δεκαετία του 1980, καθώς νέα δεδομένα έπρεπε να ληφθούν υπ' όψη.

#### 2.2 Διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας

Το σενάριο της διεσπαρμένης παραγωγής εισήχθη από το Ινστιτούτο Ερευνών Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI) στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Το EPRI ορίζει ως διεσπαρμένη παραγωγή την *ολοκληρωμένη ή αυτόνομη χρήση μικρών ενεργειακών μονάδων από εγκαταστάσεις, πελάτες ή τρίτους, σε εφαρμογές που ωφελούν το ηλεκτρικό σύστημα, συγκεκριμένους καταναλωτές, ή και τους δύο*. Γενικά, ως διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να οριστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος μέσα σε ένα διεσπαρμένο δίκτυο ή στο δίκτυο αλλά στη μεριά του καταναλωτή.

Η διεσπαρμένη παραγωγή είναι μια νέα τάση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει ενέργεια για τοπικές ανάγκες, ενώ η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διοχετεύεται στο ισχυρό δίκτυο.

Μέχρι τώρα βασικότερος παράγοντας καθορισμού της περιοχής εγκατάστασης ενός μεγάλου εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ήταν αφενός η εύκολη μεταφορά της πρώτης ύλης που θα χρησιμοποιεί και αφετέρου η εύκολη απόρριψη της παραγόμενης θερμότητας. Η πρακτική αυτή θεωρείται όχι μόνο σπάταλη, αλλά και επιζήμια για το περιβάλλον. Αυτό διότι έτσι και αλλιώς η απόδοση των θερμικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρή (30% έως 35% σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου), καθώς το μεγαλύτερο μέρος της πρωτογενούς ενέργειας (1/2 έως και 3/4 αυτής) χάνεται υπό μορφή θερμότητας (ζεστό νερό ή υδρατμός).

Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, έχουν το πλεονέκτημα να διοχετεύουν την εκλυόμενη θερμότητα για βιομηχανική χρήση ή οικιακή θέρμανση, αξιοποιώντας έτσι πλήρως την καύσιμη ύλη. Η πρακτική αυτή θεωρείται πολύ φιλικότερη για το περιβάλλον, αφενός γιατί η παραγόμενη θερμότητα απορρίπτεται, αλλά χρησιμοποιείται για θέρμανση – η οποία υπό άλλες συνθήκες θα απαιτούσε κατανάλωση καυσίμων για να παραχθεί – και αφετέρου διότι αποφεύγεται η έκλυση θερμού νερού σε ποτάμια ή θάλασσες επηρεάζοντας έτσι αρνητικά τα οικοσυστήματα. Σε αντίθεση όμως με τον ηλεκτρισμό, η θερμότητα δεν μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, πράγμα που καθιστά την συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας δυνατή μόνο κοντά στο σημείο παραγωγής.

Αντίθετα από τη συγκεντρωμένη παραγωγή από λίγους μεγάλους εγκατεστημένου ισχύος θερμικούς σταθμούς, ικανούς όμως να τροφοδοτήσουν με ζεστό νερό μόνο την περιοχή που βρίσκονται, η διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες συμπαραγωγής θα ήταν ικανή να τροφοδοτήσει τόσο με ηλεκτρισμό όσο και με ζεστό νερό για θέρμανση πολύ μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού καθώς και βιομηχανικές μονάδες. Παράλληλα με την παροχή ζεστού νερού εκεί όπου απαιτείται, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κοντά στο σημείο κατανάλωσης μειώνει σημαντικά τις απώλειες που συνεπάγεται η μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις.

Συνακόλουθη είναι και η αποσυμφόρηση των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς και διανομής, των μετασχηματιστών, καθώς και η επιβράδυνση μεγάλων επενδύσεων στα ηλεκτρικά δίκτυα (προσθήκη νέου εξοπλισμού για κάλυψη νέων φορτίων) αφού η ζήτηση μπορεί να καλύπτεται, τουλάχιστον εν μέρει, από την τοπικά παραγόμενη ενέργεια. Το οικονομικό όφελος από την αποσυμφόρηση αυτή μπορεί να είναι πολύ σημαντικό, καθώς μειώνονται σημαντικά οι αστοχίες των διατάξεων διανομής λόγω υπερφόρτισης. Μειώνεται έτσι και το κόστος συντήρησης του δικτύου, καθώς το ποσοστό βλαβών στις διατάξεις των δικτύων διανομής μέσης και χαμηλής τάσης αυξάνεται σε περιόδους μεγάλης ζήτησης [6].

Η προσδοκία ότι οι διεσπαρμένες πηγές ενέργειας (Distributed Energy Resources - DER), μέσα στην επόμενη δεκαετία, θα διαμορφώσουν καθοριστικά τον τρόπο με τον οποίο θα παρέχεται η ηλεκτρική ενέργεια στηρίζεται στις εξής υποθέσεις:

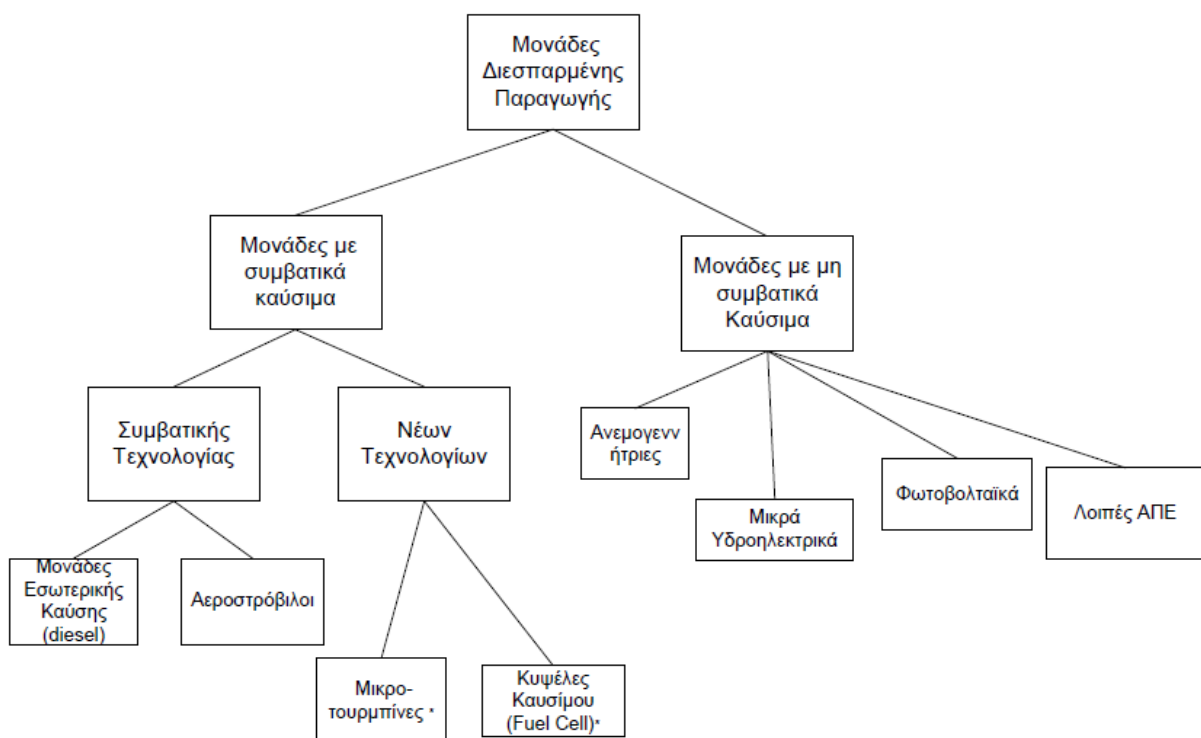
1. Η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας σε μικρή κλίμακα, από ανανεώσιμες αλλά και συμβατικές πηγές, έχει βελτιωθεί σημαντικά και όλες οι ενδείξεις συντείνουν σε ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση στο μέλλον.



2. Χωροταξικοί περιορισμοί, περιβαλλοντικά θέματα, ανεπάρκεια ορυκτών καυσίμων και άλλοι περιορισμοί θα επιδράσουν αρνητικά στην εξάπλωση της υπάρχουσας υποδομής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Η επιθυμία των καταναλωτών να ελέγχουν την ποιότητα και αξιοπιστία των υπηρεσιών που τους προσφέρονται θα ενισχυθεί.
4. Τα ηλεκτρονικά ισχύος μπορούν να επιτρέψουν τη λειτουργία ημιαυτόνομων συστημάτων.
5. Η δυναμική εφαρμογής τεχνολογιών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης (CHP) μικρής κλίμακας θα οδηγήσει στην μετάθεση της παραγωγής πιο κοντά στα θερμικά φορτία.

### 2.3 Τεχνολογίες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Οι κυριότερες τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δίνονται συνοπτικά στο Σχήμα 2.1. Είναι φανερό ότι μπορεί να υπάρχει διαχωρισμός σε δύο μεγάλες ομάδες. Στις μονάδες που χρησιμοποιούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συμβατικά καύσιμα (που προέρχονται κυρίως από μη ανανεώσιμους ορυκτούς πόρους) και στις μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές.



Σχήμα 2.1 Οι τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής με συμβατικά καύσιμα το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το φυσικό αέριο όπου είναι διαθέσιμο ή πετρέλαιο diesel. Ο άνθρακας και ο λιγνίτης ως καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια αναφέρονται σε πολύ μεγαλύτερα μεγέθη εγκατάστασης και δεν εμπίπτουν στην διεσπαρμένη παραγωγή. Εκτός από τις μονάδες συμβατικής τεχνολογίας, την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες, όπως οι μικροτουρμπίνες (με καύσιμο κυρίως το φυσικό αέριο) και οι κυψέλες καυσίμου (με καύσιμο το υδρογόνο). Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται μία σύνοψη της προόδου που έχει συντελεστεί στις διάφορων τύπων μονάδες που χρησιμοποιούνται ως μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

*Πίνακας 2.1 Πρόοδος τεχνολογίας μονάδων παραγωγής διεσπαρμένης παραγωγής*

<b>Τεχνολογία</b>	<b>Εμπορικά διαθέσιμη</b>	<b>Αναδυόμενη</b>
<b>Μικροτουρμπίνες</b>	✓	✓
<b>Αεροστρόβιλος</b>	✓	
<b>Μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ)</b>	✓	
<b>Μηχανές Stirling</b>		✓
<b>Κυψέλες καυσίμου</b>	✓	✓
<b>Φωτοβολταϊκά συστήματα</b>	✓	
<b>Ανεμογεννήτριες</b>	✓	
<b>Μικρά υδροηλεκτρικά</b>	✓	

### **2.3.1 Μονάδες συμβατικών καυσίμων**

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι παλινδρομικές μηχανές με κύριο εκπρόσωπο τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ), οι αεριοστροβιλικές μονάδες, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου, καθώς επίσης μικροί ατμοστρόβιλοι κυρίως από τοπικές μονάδες συμπαραγωγής και μικροί αεριοστρόβιλοι.

Οι μονάδες συμβατικού καυσίμου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε συμβατικών και νέων εμπορικά αναδυόμενων τεχνολογιών. Οι μονάδες συμβατικής τεχνολογίας, όπως οι ΜΕΚ και οι αεριοστροβιλικές μονάδες, οι οποίες χρησιμοποιούν ως καύσιμο είτε κάποιο τύπο πετρελαίου είτε φυσικό αέριο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κατάλληλες μετατροπές σε μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας (ΣΗΘ). Οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου που αποτελούν νέες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται επίσης για συμπαραγωγή με την μέθοδο της ανάκτησης θερμότητας. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των παραπάνω κατηγοριών.

### **2.3.1.1 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης**

Η λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης στηρίζεται στην παραγωγή μηχανικού έργου από την κίνηση εμβόλων μέσα σε κυλίνδρους. Διατίθενται σε πληθώρα μεγεθών από μερικές εκατοντάδες W, έως μερικές δεκάδες MW, ενώ πάρα πολλοί κατασκευαστές ανά τον κόσμο ασχολούνται με την κατασκευή τους, την εξέλιξη των τεχνικών τους χαρακτηριστικών, αλλά και τη μείωση της όχλησης που προκαλεί η λειτουργία τους.

Οι περισσότερες χρησιμοποιούν κλάσματα της απόσταξης του πετρελαίου, από βενζίνη για τις μικρότερες, πετρέλαιο diesel για τις λίγο μεγαλύτερες, έως και μαζούτ για μεγέθη που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή σε αυτόνομα νησιά. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες μετατροπής αυτών των μηχανών για να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ή προπάνιο ως καύσιμο προκειμένου να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι και κυρίως σωματιδιακού χαρακτήρα ρύποι. Αρνητική επίπτωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έχει και η ανάγκη λίπανσης του κινητήρα, λόγω της πρόσμιξης λιπαντικών με το καύσιμο. Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι λειτουργίας μιας μηχανής MEK: ως εφεδρική (Stand by, back up unit), ως κύρια (Prime) και εν δυνάμει κύρια (Continuous).

### **2.3.1.2 Αεριοστρόβιλοι**

Οι αεριοστροβιλικές μονάδες χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρισμού ειδικά για την παροχή ισχύος αιχμής εξαιτίας της χαμηλής σχετικά ηλεκτρικής απόδοσης και του μικρού χρόνου εκκίνησης και μεταβολής του φορτίου. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί μείγμα έντονα συμπιεσμένου αέρα με καύσιμο προκειμένου, με την εκτόνωση του σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, να παραχθεί μηχανικό έργο και να κινηθεί η ηλεκτρογεννήτρια. Λόγω της βελτιωμένης δυνατότητας συμπαραγωγής, με μειωμένο βαθμό όχλησης σε σχέση με τις MEK, υπάρχει και αναμένεται να αυξηθεί η διεύδυση αυτού του τύπου της μονάδας σε βιοτεχνικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες απαιτούν σημαντικότερες ποσότητες θερμότητας από ότι ένα συγκρότημα κατοικιών. Συνήθως χρησιμοποιείται φυσικό αέριο αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελαφρά κλάσματα πετρελαίου [7].

### **2.3.1.3 Μικροτουρμπίνες**

Οι μικροτουρμπίνες είναι μικροί αεριοστρόβιλοι με ισχύ από 25 kW έως 300 kW. Συνήθως ο συμπιεστής τους είναι μονής βαθμίδας με ταχύτητες περιστροφής πάνω από 90.000 στρ./λεπτό, ωστόσο μονάδες με διβάθμιους συμπιεστές μπορεί έχουν μικρότερο ρυθμό περιστροφής. Οι περισσότερες μικροτουρμπίνες είναι σήμερα σχεδιασμένες για κύριες μηχανές παραγωγής (prime movers) και κάνουν χρήση προθερμαντήρα αέρα καύσης για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων. Οι μικροτουρμπίνες χωρίς χρήση προθέρμανσης του αέρα καύσης αν και παρουσιάζουν μικρότερο βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης παράγουν υψηλότερης θερμοκρασίας καυσαέρια και είναι κατάλληλες για βιομηχανικές εφαρμογές.

Σε σχέση με τις ΜΕΚ οι μικροτουρμπίνες έχουν σχετικά μικρό κόστος αρχικής εγκατάστασης, χαμηλότερες εκπομπές, υψηλότερη αποκομιδή θερμότητας, μικρότερη ανάγκη συντηρήσεως αλλά χαμηλότερο βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης, της τάξης 28 - 30%.

Όταν χρησιμοποιείται αέριο καύσιμο (φυσικό αέριο, προπάνιο ή αέριο αναερόβιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων) πρέπει να συμπιεστεί. Η συνήθης συμπίεση ανέρχεται στο ύψος των 5.0 - 6.0 bar. Η ανάγκη συμπίεσης του αερίου καυσίμου αποτελεί το μεγαλύτερο παρασιτικό φορτίο αυτής της μονάδας. Μονάδες μικροτουρμπίνων έχουν εγκατασταθεί σε εφαρμογές σε βιολογικούς καθαρισμούς και σε μία τέτοια περίπτωση μπορεί να θεωρηθούν μονάδες ΑΠΕ [8].

#### 2.3.1.4 Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν υδρογόνο ως καύσιμο. Η ένωση του  $H_2$  με το οξυγόνο κατά την καύση είναι μία έντονη εξώθερμη αντίδραση με υποπροϊόν νερό. Αυτή η διαδικασία δεν παράγει ρύπους, αλλά οι τελικές ποσότητες των ρύπων εξαρτώνται από τη μέθοδο παραγωγής του  $H_2$ . Η πιο διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου είναι η κατάλληλη επεξεργασία κάποιου φυσικού αερίου (reforming) π.χ.  $CH_4$ . Αν το υδρογόνο παράγεται με ηλεκτρόλυση νερού με τη βοήθεια ΑΠΕ τότε η μονάδα μπορεί να θεωρηθεί ως εγκατάσταση ΑΠΕ. Γενικά παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης κατά 1/6 έως 1/3 από τις μονάδες ΜΕΚ με σαφώς μικρότερες εκπομπές ρύπων και σαφώς πιο αθόρυβη λειτουργία. Όμως απαιτείται εξειδικευμένη επισκευή σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες, ενώ υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην ποιότητα του καυσίμου [7].

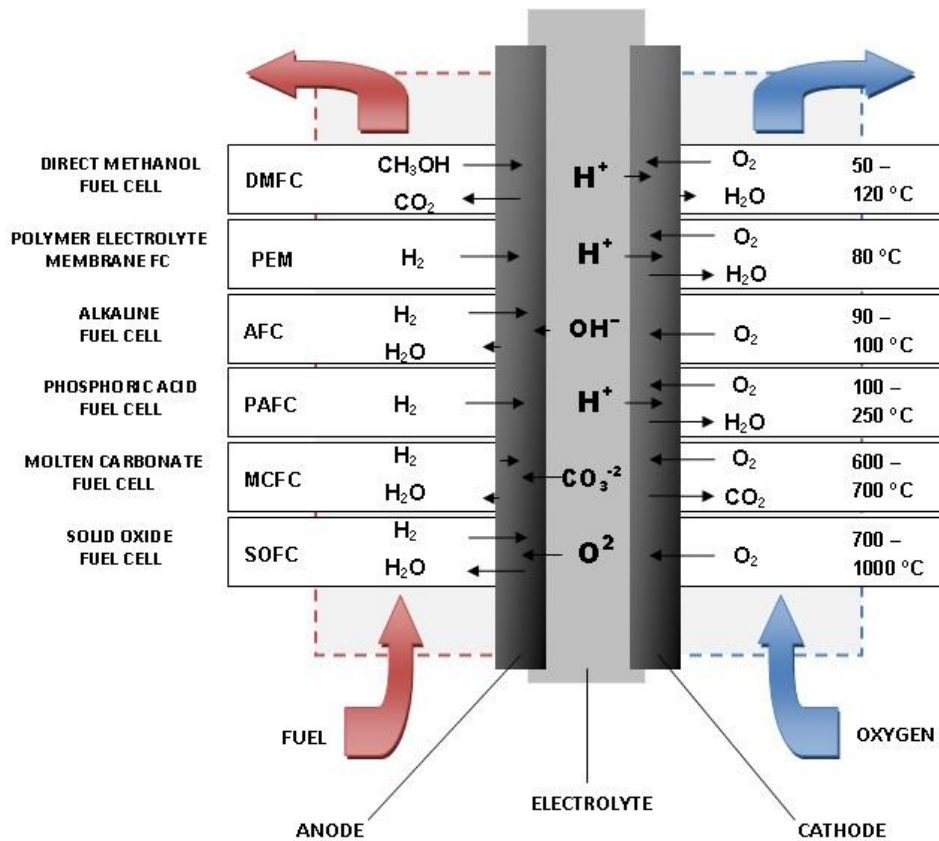
Η βασική δομή των διαφόρων τύπων κυψελών καυσίμου είναι όμοια, διαφοροποιούνται όμως ως προς το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν, τη θερμοκρασία λειτουργίας, τους καταλύτες, την καθαρότητα των αντιδρώντων και τις επιμέρους χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται.

Οι κυψέλες καυσίμου διακρίνονται σε έξι κύριους τύπους, ανάλογα με το είδος του μεταφερόμενου ιόντος που διέρχεται από τον ηλεκτρολύτη:

- Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)
- Κυψέλες καυσίμου πολυμερών ηλεκτρολυτών (PEFC)
- Κυψέλες καυσίμου άμεσης μεθανόλης (DMFC)
- Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)
- Κυψέλες καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC)
- Κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC)

Ένας άλλος τρόπος διάκρισης των κυψελών καυσίμου, είναι η θερμοκρασία λειτουργίας (Σχήμα 2.2):

- Χαμηλής θερμοκρασίας είναι οι Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (Alkaline fuel cell), οι κυψέλες καυσίμου άμεσης μεθανόλης (Direct methanol fuel cell) και οι κυψέλες καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (Proton exchange membrane fuel cell).
- Μεσαίας θερμοκρασίας είναι οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως (Phosphoric acid fuel cell).
- Υψηλής θερμοκρασίας είναι οι κυψέλες καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (Molten carbonate fuel cell) και οι κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων (Solid oxide fuel cell).



Σχήμα 2.2 Θερμοκρασίες λειτουργίας και παράγωγα χημικών αντιδράσεων των διάφορων τύπων κυψελών καυσίμου.

### **2.3.1.5 Μονάδες που προσομοιάζουν τις κυψέλες καυσίμου**

Εκτός από τις βασικές κατηγορίες κυψελών καυσίμου, υπάρχουν και κάποια άλλα είδη μονάδων παραγωγής που έχουν αντίστοιχες αρχές λειτουργίας και αναφέρονται συνήθως ως *κυψέλες καυσίμου*. Η διαφορά στις περισσότερες των περιπτώσεων έγκειται στο ότι τα ηλεκτρόδια ή ο ηλεκτρολύτης καταναλώνονται κατά τη λειτουργία των διατάξεων αυτών. Στη συνέχεια δίνεται μια συνοπτική περιγραφή ορισμένων τέτοιων μονάδων.

#### Αναγεννώμενες κυψέλες καυσίμου

Η αναγεννώμενη κυψέλη καυσίμου (Regenerative Fuel Cell – RFC) είναι ένα σύστημα που μπορεί να λειτουργεί σε κλειστό βρόχο και να αποτελεί τη βάση μιας οικονομίας υδρογόνου. Παράγει ηλεκτρισμό από υδρογόνο και οξυγόνο, καθώς και θερμότητα και νερό σαν παραπροϊόντα, όπως ακριβώς και οι υπόλοιπες κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο, ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει ηλεκτρισμό από ηλιακή ενέργεια ή κάποια άλλη ανανεώσιμη πηγή για να διαχωρίσει το πλεονάζον νερό σε οξυγόνο και υδρογόνο – η γνωστή διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.

#### Μικροβιακές κυψέλες καυσίμου

Οι μικροβιακές κυψέλες καυσίμου (Microbial Fuel Cells – MFCs) χρησιμοποιούν την καταλυτική δράση μικροοργανισμών όπως τα βακτηρίδια για να μετατρέψουν οποιοδήποτε οργανικό υλικό σε καύσιμο. Κοινές ενώσεις αποτελούν η γλυκόζη, ο οξικός εστέρας και τα υγρά απόβλητα. Κατά τη διαδικασία της πέψης ηλεκτρόνια διαχωρίζονται από την ένωση και οδηγούνται σε κάποιο κύκλωμα με τη βοήθεια ανόργανου διαμεσολαβητή. Οι MFCs λειτουργούν καλά σε ήπιες συνθήκες σχετικά με άλλα είδη κυψελών καυσίμου, όπως 20°C με 40°C και είναι ικανές για αποδόσεις πάνω από 50%.

#### Πρωτονικές κεραμικές κυψέλες καυσίμου

Οι πρωτονικές κεραμικές κυψέλες καυσίμου (Protonic Ceramic Fuel Cells – PCFCs) παρουσιάζουν παρόμοια θερμικά και κινητικά πλεονεκτήματα λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες όπως 700°C με τις κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων και τήγματος ανθρακικών αλάτων, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν όλα τα εγγενή πλεονεκτήματα της πρωτονικής αγωγιμότητας των κυψελών καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων και φωσφορικού οξέος.

Αυτό το νέο είδος κυψελών καυσίμου βασίζεται σε έναν ηλεκτρολύτη κατασκευασμένο από κεραμικό υλικό, ο οποίος παρουσιάζει μεγάλη πρωτονική αγωγιμότητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Αεριώδη μόρια υδρογονανθρακικού καυσίμου απορροφώνται στην επιφάνεια της ανόδου υπό την παρουσία υδρατμών ενώ τα άτομα υδρογόνου απορροφώνται από τον ηλεκτρολύτη. Βασικό προϊόν της αντίδρασης αποτελεί το διοξείδιο του άνθρακα. Η υψηλή

θερμοκρασία λειτουργίας είναι απαραίτητη για την επίτευξη πολύ υψηλής ηλεκτρικής απόδοσης του καυσίμου. Οι PCFCs μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες και να οξειδώσουν ηλεκτροχημικά ορυκτά καύσιμα απευθείας στην άνοδο. Το γεγονός αυτό εξαλείφει το ενδιάμεσο βήμα παραγωγής υδρογόνου μέσω της δαπανηρής διαδικασίας αναμόρφωσης καυσίμου.

### Κυψέλες καυσίμου ψευδαργύρου – αέρα

Οι κυψέλες καυσίμου ψευδαργύρου-αέρα (Zinc-Air Fuel Cells – ZAFCS) μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά με πολλές από τις άλλες κυψέλες καυσίμου καθώς και με τις μπαταρίες. Ο ηλεκτρολύτης τους είναι στερεό κεραμικό που χρησιμοποιεί το ανιόν υδροξειδίου σαν ανταλλάξιμο φορτίο.

Για να επιτύχουν υψηλή ηλεκτρική απόδοση με καύσιμα υδρογονανθράκων και υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα για το ανταλλάξιμο φορτίο, οι ZAFCS λειτουργούν σε θερμοκρασίες κοντά στους 700°C. Η άνοδος αποτελείται από ψευδάργυρο και τροφοδοτείται με υδρογόνο ή ακόμη και υδρογονάνθρακες. Η κάθοδος διαχωρίζεται από την παροχή αέρα μέσω ενός ηλεκτροδίου διάχυσης αερίων, μιας διαπερατής μεμβράνης που επιτρέπει στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο να τη διαπεράσει. Αφότου το οξυγόνο έχει μετατραπεί σε ανιόντα υδροξειδίου και νερό, τα παραπάνω ιόντα θα μετακινηθούν μέσω του ηλεκτρολύτη και θα φτάσουν στην άνοδο. Εκεί θα αντιδράσουν με τον ψευδάργυρο, σχηματίζοντας οξείδιο του ψευδαργύρου.

Οι τεχνολογίες αυτές είναι σε διαρκή εξέλιξη για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους, τη μείωση του κόστους τους, αλλά και την ασφαλή αποθήκευση και μεταφορά του H<sub>2</sub> που χρησιμοποιούν, ώστε να αποκτήσουν κύριο ρόλο και περισσότερες εφαρμογές στον τομέα της διεσπαρμένης παραγωγής [9].

### **2.3.2 Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο, μια αυξανόμενη τάση ανάπτυξης των ΑΠΕ. Η διείσδυση των ΑΠΕ, γίνεται με γοργούς ρυθμούς, καθώς νέου τύπου ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται βελτιώνοντας αισθητά την απόδοση των αιολικών πάρκων και μειώνοντας τα προβλήματα διασύνδεσης τους με το δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα γνωρίζουν μια εντυπωσιακή άνοδο με αισθητή μείωση του κόστους επένδυσης, τα υδροηλεκτρικά διατηρούν τα συγκριτικά πλεονεκτήματά τους στην ανανεώσιμη ηλεκτροπαραγωγή, η βιοενέργεια παρέχει λύσεις για θέρμανση, ισχύ και καύσιμα μεταφορών, η δε γεωθερμία χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές θέρμανσης και ηλεκτρισμού.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία για τα συστήματα εκμετάλλευσης της κάθε ανανεώσιμης πηγής ενέργειας ξεχωριστά.

### 2.3.2.1 Μονάδες παραγωγής από αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια έχει διαδοθεί σημαντικά σε παγκόσμιο επίπεδο και κατέχει δεσπόζουσα θέση στην αγορά ΑΠΕ. Μόνο μέσα στο 2012 η εγκατεστημένη ισχύς ανά τον κόσμο αυξήθηκε κατά 19%. Μέχρι το τέλος του 2013 έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως 318 GW [10] από τα οποία τα 117 GW είναι εγκατεστημένα στην Ευρώπη [11]. Στα 30 χρόνια ύπαρξης των ανεμογεννητριών στην αγορά το μέγεθος τους εκατονταπλασιάστηκε όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ και οκταπλασιάστηκε όσον αφορά τη διάμετρό τους.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ολοένα και μεγαλύτερη διείσδυση αυτού του τύπου μονάδων στα δίκτυα, έχει πλέον γίνει αναγκαιότητα να πάψουν να αντιμετωπίζονται αυτού του τύπου οι μονάδες σαν αρνητικό φορτίο. Η αύξηση της διείσδυσης αιολικής παραγωγής στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας επιβάλλει τη σταδιακή μετατροπή των ανεμογεννητριών από απλές πηγές ενέργειας σε πηγές που θα μπορούν να προσφέρουν και υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου. Αργά ή γρήγορα τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα θα συνεισφέρουν ως ενεργά στοιχεία ελέγχου ενός ΣΗΕ.

Με στόχο τη βελτιστοποίηση της διείσδυσης και την αντιμετώπιση των προβλημάτων ένταξης στο δίκτυο, προκρίνεται μια πιο συστηματική αντιμετώπιση της μοντελοποίησης λειτουργίας τους στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου και του έντονα στοχαστικού χαρακτήρα της πρωτογενούς πηγής ενέργειας του ανέμου.

Οι Α/Γ ισχύος άνω των 100 kW, εγκαθίστανται σε ισχυρότερα δίκτυα διανομής σχηματίζοντας συνήθως αιολικά πάρκα στο επίπεδο της μέσης τάσης. Συχνά αυτά τα πάρκα συνδέονται με ανεξάρτητες γραμμές με υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ και σε περιπτώσεις μεγαλύτερης ισχύος πάρκων συνδέονται με δικό τους υποσταθμό στην ΥΤ. Οι τρόποι σύνδεσης και οι απαραίτητες προστασίες υλοποιούνται σύμφωνα με τους όλο και αυστηρότερους κανονισμούς διαχείρισης δικτύων διανομής και μεταφοράς [12,13].

Οι μεγαλύτερες Α/Γ μπορούν να διαχωριστούν σε σταθερών και μεταβλητών στροφών, με τις Α/Γ μεταβλητών στροφών να κατέχουν τη συντριπτική πλειονότητα των νέων εγκαταστάσεων στα δίκτυα. Περαιτέρω διαχωρισμός μπορεί να γίνει ανάλογα με το βήμα της έλικας, σταθερού ή μεταβλητού βήματος (*fixed pitch* ή *variable pitch* αντίστοιχα). Οι Α/Γ μπορεί να είναι είτε απευθείας συνδεδεμένες με το δίκτυο είτε μέσω μετατροπέων συχνότητας, αλλά μπορεί να έχουμε και λειτουργία εκτός δικτύου σε συνδυασμό με άλλες εφαρμογές ΑΠΕ.

Ανάλογα με τις διαμορφώσεις του ηλεκτρικού τους μέρους οι Α/Γ χωρίζονται σε 4 τύπους:

- Σταθερών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια
- Μεταβλητών στροφών με επαγωγική γεννήτρια μεταβλητής αντίστασης δρομέα
- Μεταβλητών στροφών με γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδότησης που επιτρέπουν μερικό έλεγχο συχνότητας
- Μεταβλητών στροφών με πλήρη έλεγχο συχνότητας μέσω ηλεκτρονικών ισχύος και είτε σύγχρονη γεννήτρια είτε γεννήτρια μόνιμων μαγνητών [14].



Λόγω της διάδοσης της διεσπαρμένης παραγωγής, αρχίζει να υπάρχει ενδιαφέρον και για Α/Γ ονομαστικής ισχύος μικρότερης των 100 kW. Τέτοιου είδους μονάδες αναμένεται να έχουν διείσδυση σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης, ενώ η σημαντικότερη αγορά για αυτού του είδους μονάδες αφορά εφαρμογές τροφοδοσίας απομονωμένων οικισμών για τους οποίους η επέκταση δικτύου είναι αδύνατη ή πολύ ακριβή. Οι περισσότερες από αυτές τις Α/Γ χρησιμοποιούν πλέον γεννήτριες μόνιμων μαγνητών (Permanent Magnet Generators – PMG) που η ισχύς και η ταχύτητα περιστροφής τους είναι μεγέθη σχεδόν ανάλογα.

Σε Α/Γ με διάμετρο μικρότερη του 1m, μπορεί ακόμη και να μην εφαρμόζεται κανένα μέτρο περιορισμού της ισχύος τους και η παραγόμενη ισχύς να αυξάνεται, όσο αυξάνει η ταχύτητα ανέμου με την αύξηση να περιορίζεται με τη μείωση της αεροδυναμικής απόδοσης των πολλαπλών πτερυγίων που χρησιμοποιούν, σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου. Σε περίπτωση σύνδεσης τέτοιων Α/Γ συνήθως χρησιμοποιείται ένα επαγωγικό φορτίο απόρριψης προκειμένου να αποφεύγεται η πιθανότητα καταστροφής τους σε υψηλές ταχύτητες.

Προσπάθειες για την αναβάθμιση πληροφοριών και την υποστήριξη της αγοράς για μικρές Α/Γ, ισχύος έως 100 kW, καταβάλλονται στην Ευρώπη με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα για τη στρατηγική διείσδυσης της βιομηχανίας μικρών Α/Γ (SWIIS) [15]. Από τα παραδοτέα του ίδιου προγράμματος παρέχονται κατατοπιστικές πληροφορίες για τον τρόπο ελέγχου ανά κατασκευαστή, δοκιμές των περισσότερο εμπορικών προϊόντων και βάση δεδομένων των κατασκευαστών μικρών Α/Γ.

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης Α/Γ κυμαίνεται μεταξύ 900 – 1300 €/kW αλλά για Α/Γ ισχύος μικρότερης των 100 kW μπορεί να φτάσει τα 2500 €/kW. Το λειτουργικό κόστος των Α/Γ ανεξάρτητα από το μέγεθός τους, είναι ιδιαίτερα χαμηλό και δεν ξεπερνά σε ανοιγμένες τιμές τα 0.005 €/kWh και αφορά κυρίως εργασίες συντήρησης. Συνήθως όμως το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι προϊόν συμβολαίου συντήρησης, το οποίο είναι συνήθως ανεξάρτητο από την πραγματική αιολική παραγωγή [16].

### **2.3.2.2 Μονάδες παραγωγής από ηλιακή ενέργεια**

Παραδοσιακά η ηλιακή ενέργεια αξιοποιήθηκε κατά κύριο λόγο σε θερμικές εφαρμογές. Στις μέρες μας υπάρχει ένα σημαντικό πλήθος εφαρμογών ηλιακής ενέργειας με ποιο γνωστή και διαδεδομένη τη χρήση για παραγωγή ζεστού νερού σε οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό επίπεδο. Σχετικά πρόσφατες είναι και οι εφαρμογές ηλιακής ψύξης, ενώ τα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα διαχέονται ολοένα και περισσότερο, με τη βοήθεια σχετικών επιδοτήσεων [17].

Εκτός από αυτές τις χρήσεις, οι οποίες μπορούν να συνεισφέρουν στην υποκατάσταση και ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο μεθόδους:

1. Με Φωτοβολταϊκά συστήματα
2. Με Ηλιοθερμικά συστήματα

Το βασικό κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι η παραγωγή περιορίζεται κυρίως στις ώρες της ημέρας στις οποίες υπάρχει ηλιοφάνεια. Σε αντίθεση με την αιολική ενέργεια, στα συστήματα αυτά γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι υπάρχουν περίοδοι στη διάρκεια του 24ώρου όπου η παραγωγή είναι μηδενική. Σημαντικό πλεονέκτημα των περισσότερων σχετικών εφαρμογών είναι η απουσία κινούμενων τμημάτων και η ελάχιστη συντήρηση.

### Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό με τη βοήθεια ημιαγωγικών υλικών τα οποία ενεργοποιούνται στο φάσμα του ηλιακού φωτός. Η διάρκεια ζωής τους μπορεί να φθάσει τα 25 χρόνια, με μικρή συντήρηση (κυρίως καθαρισμό της επιφάνειας) και χαρακτηρίζονται από τα υψηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας για μονάδες ΑΠΕ. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυμαίνεται μεταξύ 8% και 12% ανάλογα με την τεχνολογία, ενώ το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 4200 – 7000 €/kW [18]. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε συνεχές ρεύμα και μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο με τη βοήθεια αντιστροφέων (inverters).

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ανάλογα με την εγκατάσταση μπορούν να είναι είτε ακίνητα, είτε κινούμενα ακολουθώντας την πορεία του ήλιου. Για τα κινούμενα συστήματα η έξοδος θα είναι περισσότερο σταθερή υπό συνθήκες καθαρότητας της ατμόσφαιρας καθώς η παραγωγή τους δεν εξαρτάται από τη θέση του ήλιου.

Επομένως η προβλεπόμενη έξοδος μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης εξαρτάται από:

- Τη θέση του ήλιου ως προς την θέση της εγκατάστασης του Φ/Β στοιχείου.
- Τη διαύγεια της ατμόσφαιρας και τη νεφοκάλυψη.
- Τη θερμοκρασία (η παράμετρος θερμοκρασίας την οποία δίνουν οι κατασκευαστές για τη μείωση της αποδιδόμενης εξόδου για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας μεγαλύτερο από τους 25° C - θερμοκρασία πλάτης του Φ/Β').
- Την απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική για κάθε είδος Φ/Β.
- Η κλίση της θέσης εγκατάστασης των Φ/Β ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- Από το συντελεστή ρύπανσης του Φ/Β αναλόγως του περιβάλλοντος λειτουργίας.

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών είναι ποικίλες ειδικά σε απομακρυσμένα σημεία, όπως φάρoi και τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, αλλά χρησιμοποιούνται και σε μορφή πάρκων ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης εγκαθίστανται σε κτίρια, είτε σε οροφή είτε σε τοίχους γνωστά ως BIPV (Built Integrated Photovoltaics). Η παρουσία τους μπορεί να είναι ουσιαστική στα δίκτυα διανομής καθώς προσφέρουν μείωση των απωλειών και δίνουν δυνατότητες βελτίωσης των προφίλ των τάσεων ειδικά σε ακτινικά δίκτυα [19].

## Ηλιοθερμικά συστήματα

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν τη θερμότητα που αναπτύσσεται σε επιφάνειες υλικών από τις ηλιακές ακτίνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τρόποι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας ως θερμικής για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι:

- Παραβολικά κάτοπτρα και συγκέντρωση της θερμικής ενέργειας σε σωλήνα με θερμοαπορροφητικό υλικό ώστε να παράγεται ατμός για να κινήσει ατμοστρόβιλο.
- Παρόμοια με τη παραπάνω μέθοδο, με τη βοήθεια ατμογεννήτριας, με τη διαφορά ότι όλα τα εγκατεστημένα κάτοπτρα συγκεντρώνουν τις ακτίνες σε ένα κεντρικό δέκτη από τον οποίο παράγεται ο ατμός (π.χ. εργοστάσιο 45 MW στην Αίγυπτο).
- Η χρήση ηλιακών δίσκων για παραγωγή ενέργειας με μηχανή τύπου Stirling. Τέτοιου είδους εφαρμογή έχει γίνει από το εργαστήριο CESI στο Μιλάνο. Οι μηχανές αυτού του τύπου παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λίγες ώρες φυσικό αέριο, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

Οι δύο πρώτες εφαρμογές χρησιμοποιούν σύγχρονη γεννήτρια ενώ η τρίτη χρησιμοποιεί ασύγχρονη γεννήτρια [20].

### **2.3.2.3 Μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα**

Η χρήση της ενέργειας των υδατοπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα είναι ευρύτατα διαδεδομένη και σημαντικός αριθμός υδροηλεκτρικών έργων έχουν κατασκευαστεί τόσο στη χώρα μας όσο και στις υπόλοιπες χώρες. Τα έργα αυτά είτε λειτουργούν με τη φυσική ροή του ρεύματος ενός ποταμού είτε απαιτούν φράγματα μικρής χωρητικότητας οπότε περιορίζεται η επίδραση στο φυσικό περιβάλλον. Ο ταμιευτήρας περιορίζεται σε μία δεξαμενή που εξυπηρετεί τις ανάγκες υδροληψίας του και μόνο και συνήθως διαθέτουν έναν υπερχειλιστή.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά σε αντίθεση με τα μεγάλα, μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρότερο χρονικό διάστημα και με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένας μεγάλος ΥΗΣ συνήθως υπερδιαστασιολογείται, με σκοπό τη μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη των αιχμών ζήτησης, γεγονός που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και μικρότερες τιμές του συντελεστή φορτίου. Αποτέλεσμα τούτου είναι η διόγκωση των έργων πολιτικού μηχανικού και επομένως σημαντική επιβάρυνση του κόστους του έργου. Αντιθέτως, ένα μικρό ΥΗΕ δε δύναται να ανακουφίζει τις αιχμές ισχύος και για το λόγο αυτό η διαστασιολόγησή του γίνεται με βάση την οικονομική βιωσιμότητα.

Γενικά πλεονεκτήματα των ΥΗΣ είναι:

- Η τεχνολογία τους είναι γνωστή και δοκιμασμένη από την αρχή του προηγούμενου αιώνα, με τους συντελεστές απόδοσης των στροβίλων σήμερα να ξεπερνούν το 90%.
- Τα έργα υποστήριξης του σταθμού έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα φράγματα δύνανται να λειτουργήσουν περισσότερο από 100 χρόνια με ελάχιστη συντήρηση.

Και τα μειονεκτήματά τους είναι:

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

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

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

#### **2.3.2.4 Μονάδες παραγωγής από βιομάζα**

Βιομάζα είναι η μάζα βιολογικών υλικών που προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς και από βιολογικούς μετασχηματισμούς της ύλης. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, δηλαδή καταστρέφεται και αναδημιουργείται. Η βιομάζα βρίσκει πολλές εφαρμογές, όπως: χρήση σε υλικά κατασκευών, παραγωγή ζωοτροφών, παραγωγή λιπασμάτων, αλλά και παραγωγή ενέργειας.

Οι αναπτυσσόμενες χώρες παράγουν περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας τους από βιομάζα. Περίπου 2,5 δις άνθρωποι ουσιαστικά εξαρτώνται από τη βιομάζα για την κάλυψη των αναγκών τους σε θέρμανση, φωτισμό και προετοιμασία τροφής.

Μία μορφή αξιοποίησης της βιομάζας είναι η παραγωγή βιοαερίου ή biodiesel και στη συνέχεια η καύση του σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή και μικροτουρμπίνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικό είναι το ενδιαφέρον για μονάδες βιοαερίου σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Η βιομάζα για παραγωγή ενέργειας κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες, όπως: ξυλώδης βιομάζα, μη ξυλώδης βιομάζα, απόβλητα ζώων και ανθρώπων και προϊόντα βιολογικού καθαρισμού. Για τα δίκτυα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή σημαντική διείσδυση σε βιομηχανικά δίκτυα αναμένεται να έχουν οι μονάδες οι οποίες στηρίζουν την παραγωγή τους στην επεξεργασία λυμάτων.

Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της βιομάζας είναι:

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

#### **2.3.2.5 Μονάδες παραγωγής από γεωθερμία**

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

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

Αυτή η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας έχει αξιοποιηθεί κυρίως στις χώρες όπου είναι διαθέσιμη σε υψηλή κλίμακα, στις περιοχές των γεωτεκτονικών πλακών, π.χ. Ισλανδία, Ιταλία, Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία, για τη θέρμανση εσωτερικών χώρων όπως και θερμοκηπίων ή για την αξιοποίηση της θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες.

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

Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής για την αξιοποίηση της ενέργειας από τη γεωθερμία δεν αναμένεται να εγκατασταθούν ως μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής σε μικροδίκτυα χαμηλής τάσης. Ωστόσο, σε νησιωτικά δίκτυα έχουν ήδη εγκατασταθεί και λειτουργούν τέτοιες μονάδες, όπως για παράδειγμα στα συστήματα της Γουαδελούπης, 5 MW, και στο νησί S. Miguel στις Αζόρες, 20 MW. Στη χώρα μας έχει εγκατασταθεί ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 2 MW στην Μήλο, αλλά υπολειτουργεί λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων από τις γεωτρήσεις και το υψηλό θείο. Στη Λέσβο και το νομό Σερρών έχουν γίνει γεωτρήσεις για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Κίμωλο λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με γεωθερμία. Επίσης, έχει δοθεί άδεια εγκατάστασης 8 MW για την κατασκευή εργοστασίου βιομάζας της ΔΕΗ στην Λέσβο [7].

### **2.3.2.6 Μονάδες παραγωγής από παλίρροια και κυματισμό**

Μονάδες αυτού του τύπου δεν αναμένεται να έχουν διείσδυση σε επίπεδο της τοπικής διανομής και απαιτούν συγκεκριμένες τοποθεσίες εγκατάστασης.

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

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

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

Για τις δύο τελευταίου τύπου μονάδες σημαντικό παράδειγμα αποτελούν οι συσκευές PELAMIS με αυξανόμενες εγκαταστάσεις στην Πορτογαλία και τη Σκωτία [21].

Η παραγωγή εξαρτάται από την δύναμη των κυμάτων με αποτέλεσμα η παραγωγή ενέργειας να παρουσιάζει διακυμάνσεις από μέρα σε μέρα και από ώρα σε ώρα. Η επιλογή των τοποθεσιών απαιτεί περιοχές με έντονο και επαναλαμβανόμενο κυματισμό, αρκετές φορές το έτος. Λαμβάνεται δε ειδική μέριμνα για την αντοχή των κατασκευών στις ακραίες καιρικές συνθήκες [22-23].

## 2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διεσπαρμένης παραγωγής

### Πλεονεκτήματα

- Η διεσπαρμένη παραγωγή καλύπτει ευρύ φάσμα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών που παρέχουν ισχύ μικρής κλίμακας, σε τοποθεσίες κοντά στους χρήστες. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό.
- Η παραγωγή της ενέργειας στην τοποθεσία στην οποία χρησιμοποιείται, ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, ένα σημαντικό μέρος (πάνω από 30%) του συνολικού κόστους του ηλεκτρισμού.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή βοηθά στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων δικτύων. Επιπρόσθετα επιτρέπει τη χρήση της θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος.
- Όσο αυξάνεται η ζήτηση για περισσότερη και καλύτερης ποιότητας ηλεκτρική ισχύ, η διεσπαρμένη παραγωγή παρέχει εναλλακτικές λύσεις για αξιόπιστη και οικονομική ισχύ σε οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις. Μπορεί να εξασφαλίσει στους πελάτες ότι η παροχή είναι συνεχής και αξιόπιστη.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή παρέχει επίσης πολλά πλεονεκτήματα στους καταναλωτές που έχουν θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής καθώς επίσης και σε εκείνους που έχουν πρόσβαση σε φθηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα φυσικό αέριο, αλλά και σε εκείνους που ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που ζούνε και μπορούν έτσι να αξιοποιήσουν ανανεώσιμες πηγές.
- Η εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μειώσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και επιβλαβείς εκπομπές όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου ( $SO_x/NO_x$ ), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Από επενδυτική σκοπιά είναι πρακτικά πιο εύκολο να βρεθούν τοποθεσίες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες διεσπαρμένες παραγωγές από ότι για ένα μεγάλο, κεντρικό εργοστάσιο ισχύος και μάλιστα οι μονάδες αυτές είναι πιο εύκολο και κυρίως πιο γρήγορο να συνδεθούν στο δίκτυο. Η έκθεση και το ρίσκο του κεφαλαίου μειώνονται, και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.
- Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών, αλλά και άλλων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, εκτός από την υψηλότερη απόδοση ενέργειας θα κάνει και πιο ασφαλή την παρεχόμενη ενέργεια, καθώς μειώνονται οι εισαγωγές ενέργειας.
- Οι νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται και η εμπειρία που μπορεί να αποκτηθεί από την υλοποίηση νέων ενεργειακών μοντέλων θα προσφέρουν ανεκτίμητη αρτιότητα γνώσεων με τεράστιες δυνατότητες εξαγωγής.

## Μειονεκτήματα

- Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που προκύπτει είναι το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος συγκριτικά με τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής. Υπάρχουν όμως διαφορές στα κόστη κεφαλαίου για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, τα οποία μπορούν να ποικίλλουν από 1.000 ευρώ/kW έως 20.000 ευρώ/kW για τουρμπίνες καύσης και κυψέλες καυσίμου αντίστοιχα.
- Ένα άλλο σημείο προβληματισμού είναι ότι η αυξανόμενη συμμετοχή της διεσπαρμένης παραγωγής στην εγκατεστημένη παραγωγή θα επιφέρει μικρότερη επιλογή μεταξύ των βασικών καυσίμων. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει τη διαφοροποίηση των πρωταρχικών αποθεμάτων ενέργειας. Δεδομένου ότι οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής βασίζονται πρωταρχικά στο φυσικό αέριο, αναμένεται έντονα αυξημένη ζήτηση και εξάρτηση από αυτό.
- Φαίνεται επίσης ότι το κόστος για την παροχή καυσίμου στη διεσπαρμένη παραγωγή θα είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι για την κεντρική παραγωγή [24].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

#### 3.1 Εισαγωγή

Μικροδίκτυο (Microgrid) είναι ένα περιορισμένο σε έκταση, ημιαυτόνομο σύνολο γειτονικών φορτίων και μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας και μονάδων προστασίας, συνδεδεμένων ηλεκτρικά μέσω του δικτύου χαμηλής τάσης και θερμικά μέσω σωληνώσεων. Ένα μικροδίκτυο είναι συνήθως συνδεδεμένο στο υπάρχον σύστημα διανομής με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορεί να λειτουργεί, υπό συντονισμένο τοπικό ενεργητικό ή παθητικό έλεγχο, ως τυπικός καταναλωτής ή ως μονάδα παραγωγής καλύπτοντας τους όρους του μακροδικτύου [25].

Τα διάφορα στοιχεία του μικροδικτύου επιλέγονται και λειτουργούν με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους τροφοδοσίας της ζήτησης ηλεκτρισμού και θέρμανσης, σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες της αγοράς, διατηρώντας παράλληλα ισορροπία ισχύος και προσφέροντας ασφάλεια και ποιότητα κατά τη λειτουργία [26].

Η παραδοσιακή σχεδίαση και λειτουργία συστημάτων παραγωγής ενέργειας βασίζεται στην υπόθεση ότι η επιλογή, η ανάπτυξη και η χρηματοδότηση της παραγωγής είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και ότι όλες οι αποφάσεις θα πρέπει να προέρχονται από μία κεντρική αρχή. Το άνοιγμα της αγοράς ενέργειας είναι το πρώτο βήμα προς την σταδιακή απομάκρυνση από το κεντρικό πρότυπο, ενώ η πιθανή εξέλιξη των μικροδικτύων ίσως είναι το επόμενο. Τα μικροδίκτυα θα αναπτύξουν ανεξάρτητα λειτουργικά πρότυπα και σχέδια επέκτασης. Η ανάπτυξη των μικροδικτύων θα επηρεάσει σημαντικά την επέκταση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, και αυτό θα επιτευχθεί λόγω των σημαντικών κινήτρων των καταναλωτών να τα υιοθετήσουν [25].

Έτσι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα εξαπλωθεί με βάση τους διεσπαρμένους στόχους των καταναλωτών και όχι σύμφωνα με τους συγκεντρωμένους, γενικούς στόχους που στοιχειοθετούνται από μία κεντρική αρχή [27]. Διεσπαρμένα ενεργειακά συστήματα και διεσπαρμένες αποθήκες ενέργειας αναμένεται να εγκατασταθούν μαζί στο κοντινό μέλλον ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης ζήτησης στα διεσπαρμένα συστήματα.

Προσπαθώντας να καλύψουν τα ζητήματα που έχουν να κάνουν με την αποδοτική λειτουργία γεννητριών συμβατικών καυσίμων, τη χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη μείωση των απωλειών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την αύξηση της αξιοπιστίας, τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα μοντέλο έρευνας που μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην εξέλιξη των ενεργειακών συστημάτων.

### 3.2 Τα μικροδίκτυα ως πυρήνας των διεσπαρμένων συστημάτων

Ένα τυπικό μικροδίκτυο αποτελείται από διάφορες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνολικής ισχύος μέχρι λίγα MW. Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Τυπικές πηγές ενέργειας ενός μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και οι ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντίζελ ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας.

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μία από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής που εγκαθίσταται. Η κλίμακα του μικροδικτύου ποικίλει, από μια οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μια πόλη που τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Μία συνδυασμένη χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων.

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να έχει δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μια τέτοια παραλληλισμένη λειτουργία είναι δυνατή η ανταλλαγή ενέργειας. Παροχή πλεονάζουσας ενέργειας σ' αυτό, ή απορρόφηση ενέργειας όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση. Ακόμη, σε περίπτωση διακοπής της διασυνδεδεμένης λειτουργίας (νησιδοποίηση) είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση των φορτίων του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου.

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. Παράλληλα θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις κατάλληλες διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι προτιμότερο να γίνεται στην χαμηλή τάση καθώς δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος δηλαδή των μονάδων παραγωγής είναι ουσιαστικά αυτό που καθορίζει την στάθμη λειτουργίας. Το μέγεθος των μονάδων παραγωγής και των φορτίων, καθορίζει εξάλλου τον τρόπο διασύνδεσής του με άλλα μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στη μέση ή στη χαμηλή τάση. Προφανώς σε μεγαλύτερη ισχύ απαιτείται διασύνδεση στη μέση τάση.

Πρέπει να τονιστεί ότι σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το μικροδίκτυο προβλήματα. Η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου, ενώ η απορροφούμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή.

Σε ένα δεύτερο στάδιο, ένα μικροδίκτυο μπορεί να συνεργάζεται με το κεντρικό δίκτυο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβαίνει αν το μικροδίκτυο ρυθμιζόταν ώστε να μπορεί να υποστηρίξει το κεντρικό δίκτυο, π.χ. να παρέχει ή να απορροφά ενεργό ή άεργο ισχύ όταν απαιτείται, ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση απαιτείται προφανώς και μια μορφή επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου μικροδικτύου και κεντρικού δικτύου.

Νέες τεχνολογίες υπόσχονται πολλά στην διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων. Για την κάλυψη υψηλών αιχμών ζήτησης και την αποθήκευση περίσσειας ενέργειας, ένα μικροδίκτυο, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε απομονωμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιεί ενέργεια που αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτές, υπεραγωγία πηνία, μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (flywheels), συσσωρευτές, ή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω συμπιεστών αέρα ή υδραντλιοταμιευτικών συστημάτων. Η τελευταία δε τεχνική μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές όπου αιολικά ή ηλιακά πάρκα βρίσκονται κοντά σε θάλασσα ή λίμνη, οπότε και αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας που παράγουν, αντλώντας νερό σε ταμιευτήρες υψηλότερης στάθμης. Στη συνέχεια όταν απαιτείται παραγωγή ενέργειας οι αντλητικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο μικροδίκτυο.

Πρέπει να τονιστεί ότι ένας πολύπλοκος έλεγχος ενός τέτοιου συστήματος με την παρούσα διαθέσιμη τεχνολογία απαιτεί την χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, για τη διασύνδεση των περισσότερων πηγών ενέργειας του μικροδικτύου με τους ζυγούς. Είτε η παραγόμενη ισχύς είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη όπως στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, είτε ελεγχόμενη όπως των υδροηλεκτρικών σταθμών και των νηξελογεννητριών, η διοχέτευση αυτής μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων κάνει εφικτό τον έλεγχο των πιο σημαντικών μεγεθών αυτής, δηλαδή της τάσης και της συχνότητας, μέσω της ροής ενεργού και άεργου ισχύος. Πολλές φορές η χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων είναι επιβεβλημένη καθώς πολλές μονάδες ΑΠΕ π.χ. φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου κ.α. παράγουν ΣΡ.

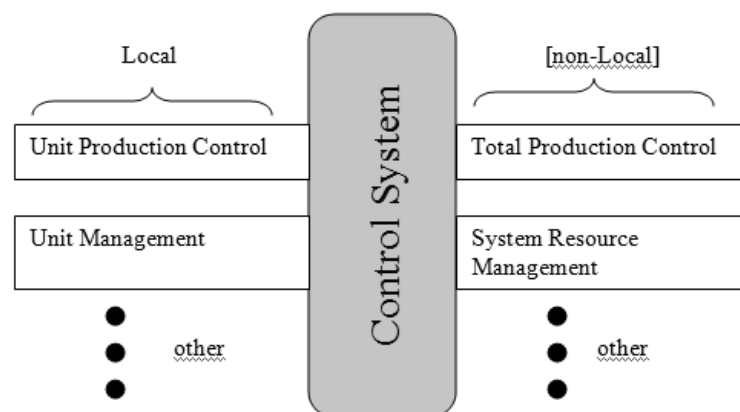
Ο έλεγχος των ηλεκτρονικών αντιστροφών ισχύος στοχεύει στο ισοζύγιο ισχύος στο μικροδίκτυο. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε με την οδήγηση μιας ελεγχόμενης γεννήτριας, είτε με την διαχείριση συσσωρευτών ή μικροστροβίλων, είτε με τον έλεγχο των ηλεκτρονικών ισχύος των άλλων μικρομονάδων παραγωγής ενέργειας [28].

### **3.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά μικροδικτύων**

Στο μέλλον τα μικροδίκτυα θα περιλαμβάνουν διάφορα είδη μονάδων παραγωγής ή αποθήκευσης, καθώς και ελεγχόμενα φορτία. Το μικροδίκτυο, ως μικρογραφία του κυρίως δικτύου, περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες του, αλλά και τις ίδιες τεχνικές προκλήσεις σε μια απλοποιημένη εκδοχή. Από αυτή τη σκοπιά, κάθε εργασία ή λειτουργία του συστήματος ελέγχου θεωρείται ως μια υπηρεσία προς το σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το σύστημα ελέγχου που περιγράφουμε μπορεί να ελέγχει είτε τοπικό εξοπλισμό των διεσπαρμένων μονάδων (π.χ. ένα διακόπτη) ή ακόμη και διαδικασίες υψηλού επιπέδου (π.χ. συμμετοχή στην αγορά/πώληση ενέργειας). Κάθε σύστημα ελέγχου παρέχει υπηρεσίες προκειμένου να

διευθετήσει τις διάφορες διεργασίες του συστήματος αλλά και να επιτύχει τους στόχους του. Μια υπηρεσία θα μπορούσε να είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης στο εσωτερικό ενός συνόλου μονάδων, η παροχή εφεδρείας στο δίκτυο ή η διαχείριση μιας συστοιχίας συσσωρευτών. Οι διάφορες υπηρεσίες έχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά, είναι δηλαδή:

1. Τοπικές ή κεντρικές. Η διαχείριση μίας συστοιχίας συσσωρευτών είναι μια τοπική διαδικασία, αλλά η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενός συνόλου μονάδων όχι.
2. Ανταγωνιστικές. Η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης είναι ανταγωνιστική στην εξασφάλιση εφεδρείας. Έτσι, το σύστημα ελέγχου θα πρέπει να αποφασίσει για την ιεράρχηση των υπηρεσιών.



Σχήμα 3.1 Υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα ελέγχου

Οι δύο προαναφερθείσες κατηγορίες, αποκαλύπτουν επίσης το βασικό πρόβλημα του ελέγχου των μικροδικτύων: την πολυπλοκότητα του συστήματος. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται σε γενική μορφή μερικές από τις λειτουργίες που πρέπει να είναι σε θέση να εξυπηρετεί ο έλεγχος του συστήματος. Ως παράδειγμα, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε δύο από αυτές τις λειτουργίες: τον έλεγχο της συνολικής παραγωγής και τον έλεγχο μιας συγκεκριμένης μονάδας. Παρά το γεγονός ότι παρόμοια διεργασία ελέγχου στο κυρίως δίκτυο θα μπορούσε να περιγραφεί ως κύρια, στην πραγματικότητα δεν είναι, δεδομένου ότι το κεντρικό SCADA δεν λαμβάνει υπόψη του τις τοπικές πληροφορίες (π.χ. τη θερμοκρασία ενός λέβητα), προκειμένου να αποφασίσει το σημείο ρύθμισης για ένα συγκεκριμένο σταθμό παραγωγής ενέργειας. Το κεντρικό SCADA έχει γνώση μόνο για δύο τιμές οι οποίες ενημερώνονται συχνά από το προσωπικό του σταθμού παραγωγής ενέργειας: την μέγιστη και την ελάχιστη ικανότητα παραγωγής. Έτσι, αποστέλλει ένα σημείο αναφοράς μεταξύ των δύο αυτών τιμών. Αρκετοί ωστόσο ισχυρίζονται πως οι μονάδες ντήζελ είναι πολύ απλές και ως εκ τούτου απλοί κανόνες και μοντέλα μπορούν να εισαχθούν στο κεντρικό σύστημα ελέγχου. Ωστόσο, αν λάβουμε υπόψη τη λειτουργία εκατοντάδων μονάδων ντήζελ (επεκτασιμότητα), το σύστημα γίνεται πολύ περίπλοκο ή ακόμα και ανέφικτο να επιλυθεί (υπολογιστική πολυπλοκότητα). Το τελικό συμπέρασμα σχετικά με τη λειτουργία ελέγχου των μικροδικτύων είναι ότι η βασική πρόκληση είναι να μην εμπλέκεται με πολύπλοκα υποσυστήματα (π.χ. μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας), αλλά να ασχοληθεί με την πολυπλοκότητα που

προκύπτει από τη συσσώρευση πολλών απλών υποσυστημάτων και πολλών διαφορετικών υπηρεσιών. Όπως θα φανεί στη συνέχεια αυτή η πολιτική που αναφέρεται ως αποκεντρωμένος έλεγχος μιμείται στην πραγματικότητα τη λειτουργία του μεγαλύτερου συστήματος, όπου διάφοροι έλεγχοι κατανέμονται και επομένως είναι σε θέση να οριοθετήσει το βαθμό της πολυπλοκότητας [29].

### 3.3.1 Έλεγχος στα μικροδίκτυα

Τα συστήματα ελέγχου (ελεγκτές) στα μικροδίκτυα εξασφαλίζουν ότι:

1. Οι μικρές τοπικές παραγωγές (microsources) θα λειτουργούν κανονικά σε ένα αρκούντως προκαθορισμένο σημείο, αλλά πάντα υπό την προϋπόθεση ότι θα ικανοποιούν τα όρια λειτουργίας.
2. Η ενεργός και άεργος ισχύς μεταφέρονται σύμφωνα με την αναγκαιότητα των μικροδικτύων και/ή του διεσπαρμένου συστήματος.
3. Οι διαδικασίες αποσύνδεσης και επανασύνδεσης διεξάγονται κανονικά και ομαλά.
4. Η συμμετοχή στην αγορά βελτιστοποιείται με την βελτιστοποίηση της παραγωγής από τοπικές μικροπηγές και ανταλλαγές ενέργειας με τον κύριο πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας ή το διαχειριστή του διασυνδεδεμένου συστήματος.
5. Η χρησιμοποίηση θερμότητας για τις τοπικές εγκαταστάσεις βελτιστοποιείται.
6. Ευαίσθητα φορτία, όπως ιατρικός εξοπλισμός και servers δικτύων, τροφοδοτούνται αδιάλειπτα.
7. Σε περίπτωση γενικού σφάλματος, το μικροδίκτυο είναι ικανό να επαναλειτουργήσει με black start.
8. Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να στηρίξουν το μικροδίκτυο και να αυξήσουν την αξιοπιστία και την απόδοση του συστήματος.

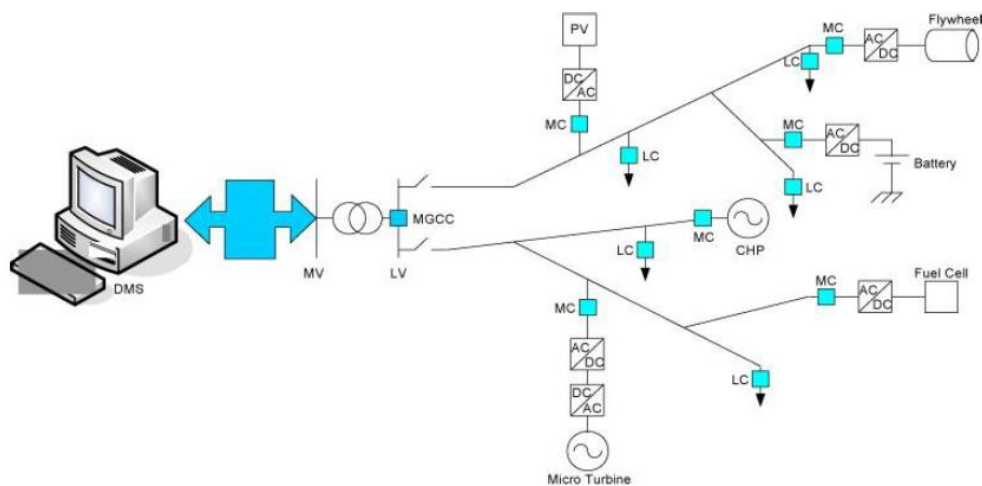
Με βάση αυτές τις αρμοδιότητες και το συντονισμό του ελεγκτή, οι αρμοδιότητες ελέγχου σε ένα μικροδίκτυο μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως: τοπικός έλεγχος, κεντρικός έλεγχος και αποκεντρωμένος έλεγχος (τοπικός έλεγχος.με επικοινωνία).

Ο *τοπικός έλεγχος* είναι το πρώτο επίπεδο ιεραρχικού ελέγχου μικροδικτύων. Η κύρια χρήση των τοπικών ελεγκτών είναι να ελέγχουν τις μικροπηγές. Αυτός ο τύπος ελεγκτών στοχεύει στο να ελέγχει τα σημεία λειτουργίας των μικροπηγών και των διεπαφών τους με τα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος χωρίς όμως συστήματα επικοινωνίας. Χωρίς συστήματα επικοινωνίας οδηγούμαστε σε απλά κυκλώματα και χαμηλό κόστος. Τα μετρούμενα δεδομένα για τους τοπικούς ελεγκτές είναι τοπικές τάσεις, ρεύματα και συχνότητα.

Ο κεντρικός έλεγχος σε μικροδίκτυα με βάση τον ιεραρχικό έλεγχο όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 3.2 είναι συνήθως δεύτερου ή τρίτου επιπέδου. Στην πραγματικότητα τα ιεραρχικά συστήματα έχουν κεντρικούς και αποκεντρωμένους ελεγκτές.

Έτσι τα επίπεδα ελέγχου αυτών των συστημάτων μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- Τοπικοί ελεγκτές που αποτελούνται από ελεγκτές μικροπηγών (Microsource Controllers – MCs) και ελεγκτές φορτίων (Load Controllers – LCs).
- Κεντρικοί ελεγκτές του μικροδικτύου (Microgrid Central Controllers – MGCCs).
- Συστήματα διαχείρισης διανομής (Distribution Management System – DMS).



Σχήμα 3.2 Ιεραρχικός έλεγχος σε μικροδίκτυο

Οι MCs στον κεντρικό έλεγχο έχουν παρόμοιες αρχές με τους τοπικούς ελεγκτές. Σε αυτόν τον έλεγχο, οι MCs μπορεί να ενισχύονται με αρκετά πιο πολύπλοκες αρμοδιότητες και υψηλότερο βαθμό νοημοσύνης. Επιπλέον LCs είναι επίσης εγκατεστημένοι στα ελεγχόμενα φορτία για να παρέχουν δυνατότητα ελέγχου του φορτίου. Οι LCs χρησιμοποιούνται συνήθως ως βοηθητική διαχείριση. Για κάθε μικροδίκτυο, υπάρχει ένας MGCC ο οποίος παρεμβάλλεται ανάμεσα στο μικροδίκτυο και το DMS. Ο MGCC μπορεί να έχει διαφορετικούς ρόλους που κυμαίνονται από έναν απλό συντονισμό των τοπικών ελεγκτών έως την κύρια αρμοδιότητά του να βελτιστοποιεί τη λειτουργία του μικροδικτύου. Η διαφορά ανάμεσα στον κεντρικό έλεγχο και τον αποκεντρωμένο έλεγχο ορίζεται από τους κεντρικούς ρόλους που θεωρούμε για τον MGCC. Το επίπεδο αποκέντρωσης μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το μερίδιο αρμοδιοτήτων που υποθέτουμε για τον MGCC καθώς και τους MCs και LCs.

Ο DMS στον οποίο υπάγονται αρκετοί MGCCs, έχει την ευθύνη να διαχειρίζεται τη λειτουργία των περιοχών μέσης και χαμηλής τάσης στις οποίες μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από ένα μικροδίκτυα. Επιπλέον θα υπάρχουν στο σύστημα ένας ή περισσότεροι Διαχειριστές Αγοράς (Market Operators – MO), εάν τα μικροδίκτυα συμμετέχουν στη λειτουργία πώλησης. Οι DNO (Distribution Network Operators) και οι MO δεν είναι μέρη των μικροδικτύων, καθώς αντιπροσωπεύουν την εταιρία ηλεκτρισμού.

Ο κεντρικός έλεγχος στα μικροδίκτυα υλοποιείται με μεγαλύτερη επιτυχία όταν υπάρχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Οι ιδιοκτήτες των μικροπηγών και των φορτίων έχουν κοινούς στόχους και αναζητούν συνεργασία για να τους επιτύχουν.
- Μικροδίκτυα μικρής κλίμακας μπορεί να είναι εφικτό να ελεγχθούν με την παρουσία ενός διαχειριστή (operator).

Ο *αποκεντρωμένος έλεγχος* παρουσιάζει κοινά στοιχεία με τους κεντρικούς. Ωστόσο, στον αποκεντρωμένο έλεγχο η κύρια ευθύνη δίνεται στους MCs οι οποίοι συναγωνίζονται για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή τους ώστε να ικανοποιήσουν τη ζήτηση και πιθανόν να παρέχουν τη μέγιστη δυνατή εξαγωγή προς το δίκτυο λαμβάνοντας υπ' όψη τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

Ο αποκεντρωμένος έλεγχος στοχεύει στο να μεγιστοποιεί την αυτονομία των μικροπηγών και των φορτίων. Αρκετές έξυπνες μέθοδοι, βασιζόμενοι σε peer-to-peer αλγορίθμους, όπως είναι οι αλγόριθμοι πολλών πρακτόρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποκεντρωμένους ελέγχους.

Έτσι ο αποκεντρωμένος έλεγχος εμφανίζει πλεονεκτήματα για μικροδίκτυα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Οι μικροπηγές μπορούν να έχουν διαφορετικούς ιδιοκτήτες όπου σε κάθε περίπτωση αρκετές αποφάσεις θα πρέπει να παίρνονται τοπικά.
- Μικροδίκτυα που λειτουργούν σε ένα περιβάλλον αγοράς, απαιτούν η δράση των ελεγκτών κάθε μονάδας που συμμετέχει στην αγορά να έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό νοημοσύνης.
- Τοπικές μικροπηγές μπορεί να έχουν διαφορετικά καθήκοντα πέρα από το να παρέχουν ισχύ στα τοπικά διεσπαρμένα δίκτυα, όπως να παράγουν θερμότητα για τοπικές εγκαταστάσεις, να κρατούν την τάση τοπικά σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ή να παρέχουν ένα εφεδρικό σύστημα για τοπικά κρίσιμα φορτία σε περίπτωση ενός καίριου σφάλματος [30].

### 3.3.2 Συστήματα Ευφυών Πρακτόρων (Multi-Agent Systems – MAS)

Αν και δεν υπάρχει αυστηρός ορισμός για το τι είναι πράκτορας (agent), μέσα από τη βιβλιογραφία διακρίνονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά: Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι ένας πράκτορας μπορεί να αποτελεί μια φυσική οντότητα που δρα στο φυσικό περιβάλλον του ή μια εικονική, δηλαδή, χωρίς φυσική υπόσταση. Είναι ικανός να επιδρά στο περιβάλλον του, δηλαδή να αλλάζει το περιβάλλον του με τις δράσεις του. Για παράδειγμα, μια γεννήτρια ντήζελ μεταβάλλοντας την παραγωγή της αλλάζει τα σημεία ρύθμισης των άλλων τοπικών μονάδων, αλλάζει το επίπεδο τάσης των γειτονικών ζυγών και από μια πιο σφαιρική άποψη, μεταβάλλει το επίπεδο ασφαλείας του συστήματος (π.χ. την ευστάθεια του συστήματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος).

Οι πράκτορες επικοινωνούν μεταξύ τους και αυτό θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως μέρος της ικανότητάς τους να ενεργούν στο περιβάλλον τους. Ως παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ένα σύστημα που περιλαμβάνει μια ανεμογεννήτρια και μια μονάδα φόρτισης συσσωρευτών: η μονάδα φόρτισης χρησιμοποιεί ενέργεια από την ανεμογεννήτρια για να φορτίζει τους συσσωρευτές και να τους εκφορτίζει σε περιόδους χωρίς άνεμο. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η λειτουργία με τον βέλτιστο τρόπο, οι δύο πράκτορες πρέπει να ανταλλάξουν πολλά μηνύματα. Αυτό αποτελεί ένα είδος δράσης, επειδή το περιβάλλον μεταβάλλεται με διαφορετικό τρόπο μέσα από αυτή την επικοινωνία, παρά εάν οι δύο πράκτορες ενεργούσαν χωρίς κανέναν είδος συντονισμό.

Οι πράκτορες έχουν ένα ορισμένο επίπεδο αυτονομίας, που σημαίνει ότι μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς την παρουσία ενός κεντρικού ελεγκτή, καθοδηγούμενοι από ένα σύνολο κανόνων. Για ένα σύστημα συσσωρευτών ένας κανόνας θα μπορούσε να είναι: «φόρτισε τους συσσωρευτές όταν η τιμή της kWh είναι χαμηλή και η κατάσταση φόρτισης είναι επίσης χαμηλή». Έτσι, ένα Σύστημα Ευφυών Πρακτόρων (Multi-Agent System – MAS) αποφασίζει πότε θα ξεκινήσει η φόρτιση με βάση τους δικούς του κανόνες και στόχους, και όχι από μια εξωτερική εντολή. Επιπλέον, η αυτονομία του κάθε πράκτορας σχετίζεται με τους πόρους που διαθέτει και χρησιμοποιεί. Οι πόροι αυτοί θα μπορούσαν να είναι το καύσιμο που διατίθεται για μια γεννήτρια ντήζελ.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των πρακτόρων είναι ότι έχουν μερική ή καθόλου αναπαράσταση του περιβάλλοντος τους. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα ισχύος ο πράκτορας μιας γεννήτριας γνωρίζει μόνο το επίπεδο τάσης του δικού της ζυγού και ίσως να μπορεί να εκτιμήσει τι συμβαίνει σε ορισμένους άλλους συγκεκριμένους ζυγούς. Ωστόσο, ο πράκτορας δεν γνωρίζει τι συμβαίνει σε ολόκληρο το σύστημα. Αυτός είναι ο πυρήνας της τεχνολογίας MAS, αφού ο στόχος είναι να ελέγχει ένα εξαιρετικά περίπλοκο σύστημα, με την ελάχιστη δυνατή ανταλλαγή δεδομένων και ελάχιστες υπολογιστικές απαιτήσεις.

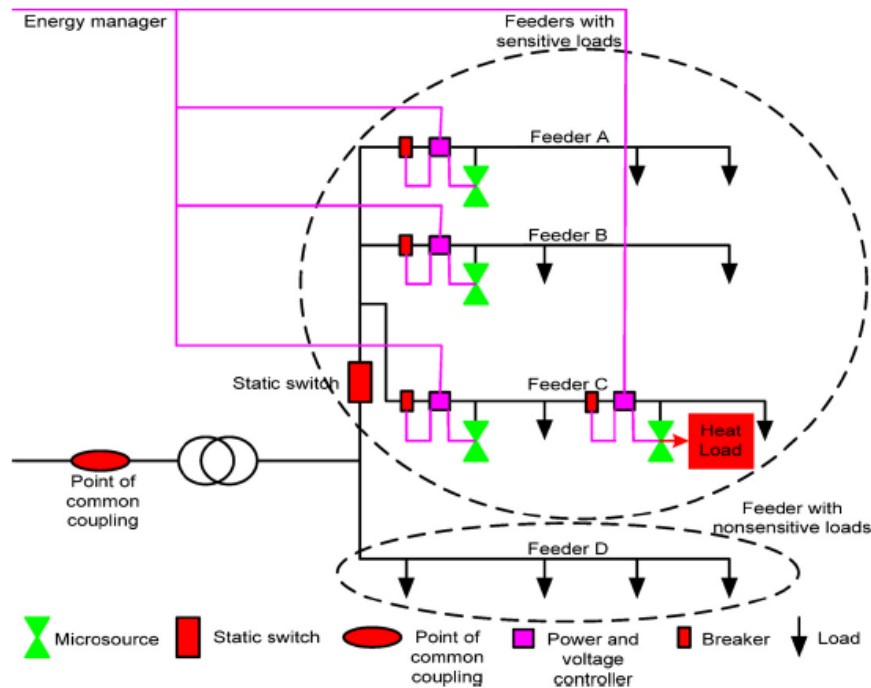
Τέλος, ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι ένας πράκτορας έχει μια συγκεκριμένη συμπεριφορά και φροντίζει να ικανοποιεί ορισμένους στόχους χρησιμοποιώντας τους πόρους, τις δεξιότητες και τις υπηρεσίες του. Ένα παράδειγμα αυτών των δεξιοτήτων του θα μπορούσε να είναι η ικανότητα να παράγει/αποθηκεύει ενέργεια και ένα παράδειγμα για τις υπηρεσίες του θα μπορούσε να είναι η δυνατότητα να πωλεί ηλεκτρική ισχύ σε μια αγορά.



Ο τρόπος που ο πράκτορας χρησιμοποιεί τους πόρους, τις δεξιότητες και τις υπηρεσίες του, χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά του. Κατά συνέπεια, είναι προφανές ότι η συμπεριφορά του κάθε πράκτορα διαμορφώνεται από τους στόχους του. Ένας πράκτορας που ελέγχει π.χ. ένα σύστημα συσσωρευτών και στόχος του είναι να παρέχει αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα φορτίο θα έχει διαφορετική συμπεριφορά από ένα παρόμοιο σύστημα συσσωρευτών, του οποίου πρωταρχικός στόχος είναι να μεγιστοποιήσει τα κέρδη από την προσφορά ηλεκτρικής ισχύος στην αγορά ενέργειας [31].

### 3.3.3 Λειτουργία υπό νησιδοποίηση

Θεωρούμε ένα μικροδίκτυο το οποίο επιτρέπει την εκκίνηση ενός ισχυρού συστήματος μετά από κατάρρευση. Ένα τέτοιο μικροδίκτυο φαίνεται στο Σχήμα 3.3 και αποτελείται από μικροτουρμπίνες, ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκούς σταθμούς, με δομή που είναι γνωστή ως *αρχιτεκτονική CERTS* (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions).



Σχήμα 3.3 Τοπικό μικροδίκτυο με διεσπαρμένες παραγωγές.

Το μικροδίκτυο αυτό αποτελείται από ακτινικές γραμμές (Feeders) και φορτία. Υπάρχουν τρεις γραμμές ευαίσθητων φορτίων (Feeders A, B, C) και μία μη-ευαίσθητου φορτίου (Feeder D). Οι ευαίσθητες γραμμές περιέχουν ευαίσθητα φορτία που πρέπει να τροφοδοτούνται συνεχώς, και έτσι κάθε γραμμή θα πρέπει να έχει τουλάχιστον μία πηγή η οποία να μπορεί να ικανοποιήσει τα φορτία στη γραμμή αυτή. Από την άλλη, η μη-ευαίσθητη γραμμή είναι αυτή που μπορεί να αποσυνδεθεί σε περίπτωση διαταραχών ή προβλημάτων στην ποιότητα ισχύος του δικτύου και να παραμείνει έτσι μέχρι να ξεπεραστεί το πρόβλημα.

Όταν υπάρχει πρόβλημα με την παροχή από το κεντρικό δίκτυο, οι γραμμές A, B και C μπορούν να νησιδοποιηθούν (απομόνωση από το κεντρικό δίκτυο) με τη χρήση στατικού διακόπτη ο οποίος μπορεί να ανοίξει σε λιγότερο από ένα κύκλο ώστε να απομονώσει τα ευαίσθητα φορτία από το ισχυρό δίκτυο και να ελαχιστοποιήσει τη διαταραχή σε αυτά. Έτσι, κατά τη νησιδοποιημένη λειτουργία, ένα δίκτυο θα λειτουργεί αυτόνομα. Παρόλα αυτά πρέπει να έχει αρκετή τοπική παραγωγή ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες των ευαίσθητων αυτών φορτίων. Επιπλέον μπορεί να συμβεί μια διαταραχή που θα αναγκάσει τη γραμμή να λειτουργήσει μόνη της. Σε αυτήν την τελευταία περίπτωση θεωρείται στη σχεδίαση του μικροδικτύου ότι κάθε γραμμή που τροφοδοτεί ευαίσθητα φορτία πρέπει να έχει αρκετή τοπική παραγωγή ώστε να ικανοποιήσει τα δικά της φορτία ενώ η γραμμή με μη-ευαίσθητα φορτία θα βασίζεται μόνο στο ισχυρό δίκτυο.

Μετά τη διαταραχή, το μικροδίκτυο θα ξανασυνδεθεί στο δίκτυο και θα λειτουργεί κανονικά σαν μέρος του διασυνδεδεμένου δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση, η περίσσεια στην τοπική παραγωγή θα τροφοδοτεί τα μη ευαίσθητα φορτία ή θα φορτίζει τις αποθήκες ενέργειας για ύστερη χρήση. Επίσης, αυτή η ενέργεια μπορεί να διατεθεί προς πώληση. Έτσι το μικροδίκτυο έχει τη δυνατότητα είτε να παίζει ενεργό ρόλο στην αγορά είτε να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες.

Η αποσύνδεση ή επανασύνδεση πρέπει να καθοριστεί από το ‘Σημείο Κοινής Σύνδεσης’ (Point of Common Coupling – PCC), ένας ζυγός σύνδεσης με το κύριο δίκτυο, τοποθετημένος στο πρωτεύον του μετασχηματιστή. Σε αυτό το σημείο το μικροδίκτυο πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις σύνδεσης όπως αυτές ορίζονται από τις εκάστοτε ισχύουσες προδιαγραφές. Επιπλέον, η επιτυχής αποσύνδεση ή επανασύνδεση εξαρτάται από το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου. Οι ελεγκτές πρέπει να διασφαλίζουν την εκτέλεση των διεργασιών και ότι τα σημεία λειτουργίας ικανοποιούνται μετά από κατάλληλες ενέργειες.

Το υψηλότερο επίπεδο στην αρχιτεκτονικής CERTS είναι ο *ενεργειακός διαχειριστής* ο οποίος είναι υπεύθυνος να διαχειρίζεται τη λειτουργία του συστήματος ρυθμίζοντας την τάση και τη μεταφορά ενέργειας μέσω κάθε ελεγκτή της εκάστοτε τοπικής παραγωγής.

Τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί το μικροδίκτυο για να αναλάβει την ευθύνη αυτή είναι:

1. Διασφάλιση ότι όλα τα αναγκαία ηλεκτρικά φορτία θα ικανοποιούνται από τις τοπικές παραγωγές.
2. Διασφάλιση ότι το μικροδίκτυο ικανοποιεί τις προδιαγραφές λειτουργίας που υπαγορεύονται από το κύριο δίκτυο.
3. Δυνατότητα ελαχιστοποίηση εκπομπών και απωλειών του συστήματος.
4. Δυνατότητα μεγιστοποίηση της απόδοσης λειτουργίας των τοπικών παραγωγών.

### 3.3.4 Εκκίνηση μετά από κατάρρευση του συστήματος

Όταν το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας καταρρεύσει, η διαδικασία επαναφοράς του πρέπει να ενεργοποιηθεί άμεσα από τους διαχειριστές του συστήματος ώστε η ισχύς να επανέλθει στο σύστημα.

Στη διαδικασία αυτή προβλέπονται τα ακόλουθα βήματα:

1. *Αποσύνδεση όλων των φορτίων.*

Όλα τα φορτία πρέπει να αποσυνδεθούν για να αποφευχθούν ταλαντώσεις στην τάση και τη συχνότητα που οφείλονται στην κατάρρευση του συστήματος.

2. *Blackstart του μικροδικτύου.*

Οι διεσπαρμένες παραγωγές πρέπει να ενεργοποιηθούν.

3. *Επανασύνδεση των φορτίων με τη δική τους τοπική παραγωγή.*

Εάν τα φορτία που τροφοδοτούνται από διεσπαρμένη παραγωγή δεν ξεπερνούν την παραγόμενη ισχύ, τότε μπορούν να επανασυνδεθούν δημιουργώντας μία «νησίδα».

4. *Ανοικοδόμηση του δικτύου Μέσης Τάσης (MT).*

Το δίκτυο MT ανοικοδομείται με ενεργοποίηση των διεσπαρμένων μετασχηματιστών.

5. *Επιβεβαίωση συνθηκών συγχρονισμού ανάμεσα στη νησίδα και το δίκτυο MT.*

Πριν η νησίδα μπορέσει να επανασυνδεθεί στο δίκτυο MT, πρέπει να ικανοποιηθούν οι συνθήκες συγχρονισμού. Αυτό είναι απαραίτητο για να αποφύγουμε μεγάλα μεταβατικά ρεύματα και απρόβλεπτη ροή ισχύος. Οι συνθήκες συγχρονισμού περιλαμβάνουν την ακολουθία των φάσεων, τη συχνότητα και τη διαφορά τάσεων.

6. *Επανασύνδεση της νησίδας στο δίκτυο MT.*

Όταν ικανοποιηθούν οι συνθήκες συγχρονισμού, η νησίδα συνδέεται στο δίκτυο MT.

7. *Επανασύνδεση ελεγχόμενων φορτίων στο δίκτυο MT.*

Επιπλέον ενέργεια παρέχεται στο δίκτυο MT όταν συνδέονται οι νησίδες. Ελεγχόμενα φορτία μπορούν να συνδεθούν.

8. *Επανασύνδεση διεσπαρμένων παραγωγών χωρίς δυνατότητα black start.*

Οι διεσπαρμένες παραγωγές χωρίς δυνατότητα black start παίρνουν την ενέργεια από το δίκτυο MT για να ξεκινήσουν, παρέχοντας περισσότερη παραγωγή στο δίκτυο MT.

9. *Σταδιακή σύνδεση όλων των φορτίων στο δίκτυο MT.*

Τα εναπομείναντα φορτία συνδέονται στο δίκτυο MT. Πλέον το δίκτυο MT επανέρχεται σταδιακά.

#### 10. Συγχρονισμός της Μέσης Τάσης με το δίκτυο Υψηλής Τάσης.

Πριν το δίκτυο ΜΤ συνδεθεί στο μεγαλύτερο δίκτυο, π.χ. στο δίκτυο Υψηλής Τάσης, τα συστήματα πρέπει και πάλι να συγχρονιστούν για να αποφευχθούν μεταβατικά ρεύματα και απρόβλεπτες ροές ισχύος [32].

### 3.4 Αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής

Οι διεσπαρμένες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν απαραίτητο στοιχείο σε ένα μικροδίκτυο για την εύρυθμη και αδιάλειπτη λειτουργία του. Αυτό που προσφέρει μία μονάδα διεσπαρμένης αποθήκευσης ενέργειας σε ένα μικροδίκτυο, το οποίο βρίσκεται σε αυτόνομη λειτουργία, είναι ο ετεροχρονισμός μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, επιτρέπεται η λειτουργία του μικροδικτύου σε περίπτωση που παρατηρείται απόκλιση μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι μικροπηγές έχουν μικρές δυνατότητες παραγωγής και επίσης απαιτούν αντιστροφείς για να μετατρέψουν την έξοδό τους ώστε να είναι συμβατή με τις προδιαγραφές του συστήματος. Κατά συνέπεια, οι συνδέσεις πηγών μικρού μεγέθους που ελέγχονται από πηγές με ηλεκτρονικά ισχύος, μπορούν να θεωρηθούν ως ένα σύστημα χωρίς αδράνεια. Αυτό το χωρίς αδράνεια σύστημα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην αρχική ή κυμαινόμενη ενέργεια ή ισχύ, χρησιμοποιώντας την αδράνεια των μηχανών όπως γίνεται στα ογκώδη συστήματα. Έτσι ένα μικροδίκτυο απαιτεί συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε συνδυασμό με κατάλληλο έλεγχο για να λύσει εν μέρει αυτά τα προβλήματα.

#### 3.4.1 Δομή του μοντέλου αποθήκευσης ενέργειας από μικροδίκτυα

Σε ένα μικροδίκτυο δύναται να συμμετέχουν ΑΠΕ των οποίων η παραγωγή είναι ένα στοχαστικό μέγεθος που διαφέρει σε κάθε χρονική στιγμή. Χωρίς μέσα αποθήκευσης είναι πολύ πιθανό να παρατηρηθεί έλλειμμα ή πλεόνασμα στην παραγωγή, τα οποία διαταράσσουν την εύρυθμη λειτουργία του μικροδικτύου. Αυτά τα πλεονάσματα ενέργειας εκμεταλλεύονται οι μονάδες διεσπαρμένης αποθήκευσης, οι οποίες τα αποθηκεύουν ώστε να τα αποδώσουν σε μια μετέπειτα χρονική στιγμή που θα παρατηρηθεί έλλειμμα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία του μικροδικτύου.

Μία επιπλέον λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης αποθήκευσης είναι ο συγχρονισμός του μικροδικτύου κατά τη σύνδεσή του με το κυρίως δίκτυο. Σε αντίθεση με τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, οι μονάδες διεσπαρμένης αποθήκευσης χρησιμοποιούν μετατροπείς αμφίδρομης ροής, οι οποίοι επιτρέπουν ροή ισχύος και προς τις δύο κατευθύνσεις, για την φόρτιση και εκφόρτιση των αποθηκευτικών μέσων. Ακόμη, με τη βοήθεια των αποθηκευτικών μονάδων μειώνεται ο αριθμός των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής που πρέπει να βρίσκονται σε εφεδρεία για τυχόν απότομη μεταβολή του φορτίου.

Ο έλεγχος του μετατροπέα σε μία μονάδα διεσπαρμένης αποθήκευσης είναι αρκετά γρήγορος, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται αρκετά γρήγορα η έξοδος του. Επομένως, σε ένα μικροδίκτυο όπου υπάρχουν πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου που έχουν αργή απόκριση σε απότομες μεταβολές του φορτίου, ο μετατροπέας της μονάδας διεσπαρμένης αποθήκευσης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει γρήγορα την έξοδο του και να αντισταθμίσει την ανισότητα μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης [33].

Οι μονάδες διεσπαρμένης αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα εργαλείο για την οικονομικότερη και ομαλότερη λειτουργία ενός μικροδικτύου. Η οικονομικότερη λειτουργία σε ένα διασυνδεδεμένο μικροδίκτυο επιτυγχάνεται όταν, τις ώρες αιχμής, τα φορτία τροφοδοτούνται και από τα μέσα αποθήκευσης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ζήτηση ενέργειας από το δίκτυο που την προσφέρει σε ακριβή τιμή. Ομοίως, μπορούν να μειωθούν οι διακυμάνσεις στη ζήτηση που βλέπει το δίκτυο και οφείλονται από την κυμαινόμενη παραγωγή των ΑΠΕ και το κυμαινόμενο φορτίο [34].

Σε ένα μικροδίκτυο μπορεί να υπάρξει μια ή περισσότερες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Η ύπαρξη μίας κεντρικής μονάδας είναι οικονομικότερη, ωστόσο, η ύπαρξη περισσότερων μονάδων επιτρέπει τη μετάβαση του μικροδικτύου σε αυτόνομη λειτουργία, ακόμη και σε περίπτωση σφάλματος μιας ή περισσότερων μονάδων διεσπαρμένης αποθήκευσης.

Το θετικό χαρακτηριστικό με τη διείσδυση περισσότερων μονάδων διεσπαρμένης αποθήκευσης είναι η επίτευξη μεγαλύτερης ευελιξίας, μέσω του συνδυασμού διαφορετικών μορφών αποθήκευσης. Προσφέρεται δηλαδή, η δυνατότητα εκμετάλλευσης διαφορετικών ιδιοτήτων μέσω των διαφορετικών τύπων αποθήκευσης ενέργειας. Για παράδειγμα, οι υπερπυκνωτές παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα ισχύος, δηλαδή μπορούν να τροφοδοτήσουν με μεγάλα ποσά ενέργειας σε μικρό χρονικό διάστημα. Ωστόσο, οι συσσωρευτές παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας. Συνεπώς, η χρήση υπερπυκνωτών προτιμάται σε περιπτώσεις μεταβατικών φαινομένων, όπου η απαιτούμενη ισχύς είναι μεγάλη, ενώ οι συσσωρευτές σε περιπτώσεις που το μικροδίκτυο έχει μεγάλη απαίτηση ενέργειας [35].

### **3.4.2 Εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σε μικροδίκτυα**

Τα μικροδίκτυα παρέχουν μεγάλες ευκαιρίες για ενσωμάτωση μικρής κλίμακας ΑΠΕ στα τοπικά συστήματα ενέργειας. Αυτή η ενσωμάτωση θα αυξήσει το ποσοστό ηλεκτρισμού που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επί της συνολικής παραγόμενης ισχύος, ως εκ τούτου θα συμβάλλουν στην υποστήριξη και ενίσχυση των συστημάτων παραγωγής και ιδανικά θα παρέχουν αξιόπιστη, ασφαλή, ευέλικτη, οικονομικά ανεκτή και απεριόριστη ενέργεια. Όμως, η ανανεώσιμη ενέργεια επηρεάζεται από κάποιες περιβαλλοντικές παραμέτρους, μπορεί εγγενώς να ποικίλει και είναι διακοπτόμενη. Για παράδειγμα, υπάρχει η πιθανότητα για μέρα με πλήρη συννεφιά ή με πλήρη άπνοια, που σημαίνει ότι δεν μπορούμε να έχουμε ενέργεια από φωτοβολταϊκό φαινόμενο (φωτοβολταϊκά) ή από τον άνεμο (ανεμογεννήτριες). Επίσης, η σύνδεση μεγάλου αριθμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα τοπικά συστήματα ενέργειας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αστάθειας.

Για να χρησιμοποιήσουν την ανανεώσιμη ενέργεια βέλτιστα χωρίς να έχουν προβλήματα που σχετίζονται με την ποικιλότητα και την ασυνέχεια της ενέργειας καθώς επίσης και την ασυνέχεια του ηλεκτρισμού, πρέπει να εφαρμοστεί ένα κατάλληλα σχεδιασμένο αποθηκευτικό σύστημα στα τοπικά συστήματα ισχύος που περιέχουν πολλές μικρής κλίμακας ΑΠΕ. Αυτή η βέλτιστη χρήση μπορεί να είναι πλήρως ανταγωνιστική είτε τεχνικά είτε οικονομικά απέναντι στη χρησιμοποίηση της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι διαφορετικές ΑΠΕ έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και υπάρχει η πιθανότητα ύπαρξης υβριδικών πηγών σε ένα μικροδίκτυο, απαιτείται η σχεδίαση ενός ευπροσάρμοστου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας που να μπορεί να λειτουργεί σε μεγάλο εύρος πυκνότητας ισχύος. Εφόσον καμία τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας δεν έχει από μόνη της αυτή τη δυνατότητα, το σύστημα ιδανικά θα ενσωματώνει συνδυασμούς τεχνολογιών όπως υπερπυκνωτές, συσσωρευτές, αποθήκευση ενέργειας με υπεραγώγιμα πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES) καθώς και αποθήκευση κινητικής ενέργειας σε στρεφόμενες μηχανές υψηλής αδράνειας (flywheels) [30].

Επίσης, ορισμένες από τις μεθόδους που είναι υπό εξέλιξη και στο μέλλον θα ενταχθούν και θα χρησιμοποιηθούν ενεργά ως μονάδες αποθήκευσης ενέργειας σε μικροδίκτυα είναι η αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα (Compressed Air Energy Storage, CAES), όπου η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την συμπίεση ποσότητας αέρα η οποία στη συνέχεια κινώντας έναν στρόβιλο αναπαράγει την ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και οι διατάξεις άντλησης, όπου η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ χρησιμοποιείται για άντληση νερού σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη και κατόπιν η ενέργεια αναπαράγεται όταν ζητηθεί με την χρήση υδροστρόβιλου. Τέλος, υπεραγώγιμες διατάξεις και εφαρμογές που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση, ενώ διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον [36].

Η χωρητικότητα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από την απόσβεση που αναμένεται να κάνουν. Ο τύπος και η χωρητικότητα των αποθηκών ενέργειας πρέπει να επιλεγούν αναλόγως. Στην περίπτωση βραχύχρονης βύθισης τάσης που μπορεί να τραβήξει μεγάλα ρεύματα για μόνο λίγους κύκλους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια αποθήκη ενέργειας με μικρότερη χωρητικότητα. Όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπλέον εφεδρική πηγή εάν η βύθιση διαρκεί για παραπάνω χρονικό διάστημα οδηγώντας σε διακοπή της τροφοδοσίας ανάλογα με το κρίσιμο φορτίο. Στην περίπτωση απαλοιφής των αρμονικών και αντιστάθμισης άεργου ισχύος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα παθητικά φίλτρα και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μειωθεί η τάξη του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας [30].

### **3.5 Ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία στα μικροδίκτυα**

Η ιδέα των μικροδικτύων διαστρωματώνει τον υπάρχοντα αυστηρά ιεραρχικό έλεγχο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε δύο στρώματα τουλάχιστον. Το ανώτερο στρώμα είναι το δίκτυο υψηλής τάσης με το οποίο είναι εξοικειωμένοι σήμερα οι ηλεκτρολόγοι μηχανικοί.

Σε ένα δίκτυο διανομής, το κέντρο ελέγχου εκμεταλλεύεται ένα περιορισμένο αριθμό από μεγάλα στοιχεία του ενεργητικού, ώστε να τηρήσει τις συμφωνίες, μέσω συμβολαίων, με τους αγοραστές και πωλητές ηλεκτρικών και δευτερευουσών υπηρεσιών, να διατηρήσει ισορροπία ενέργειας και ποιότητα ισχύος, να προστατεύσει το σύστημα και να διασφαλίσει αξιοπιστία. Το μικροδίκτυο ενυπάρχει εντός του μακροδικτύου και ελέγχει παραγωγή και φορτίο τοπικά ώστε να τροφοδοτήσει ανάλογα τη ζήτηση των μελών του για ενέργεια, αλλά και να διασφαλίσει ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία (power quality and reliability, PQR).

Ο έλεγχος της ενεργητικής παραγωγής και διανομής του μακροδικτύου καθορίζεται από πολύ ακριβή, ενιαία, τοπικά, τεχνικά πρότυπα, και οι παράμετροι κλειδιά του μακροδικτύου, όπως η συχνότητα και η τάση, διακυμαίνονται μεταξύ πολύ αυστηρών ορίων. Το παραπάνω πρότυπο ελέγχου διασφαλίζει ευστάθεια και ασφάλεια και σκοπός του είναι η παροχή ενέργειας και δευτερευουσών υπηρεσιών ανάμεσα σε πωλητές και αγοραστές να είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτική και αξιόπιστη. Ωστόσο, πρέπει να αναγνωριστεί ότι τα ενιαία πρότυπα ποιότητας ισχύος και αξιοπιστίας (PQR) είναι μάλλον αδύνατο να καλύψουν απόλυτα τις ιδανικές απαιτήσεις πολύ ετερογενών τελικών χρήσεων. Τα μικροδίκτυα καθιστούν δυνατό ένα υψηλότερο επίπεδο ελέγχου της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστίας, πιο κοντά στην τελική χρήση όπου καταναλώνεται η ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό τα πρότυπα PQR μπορούν να ταιριάζουν πιο αποδοτικά με τις ανάγκες των τελικών χρήσεων. Τα μικροδίκτυα είναι δυνατόν να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο της τελικής χρήσης, έτσι ώστε τα πρότυπα PQR του μακροδικτύου να συμπέσουν με το σκοπό της συνολικής διανομής ενέργειας.

### **3.6 Πλεονεκτήματα των μικροδικτύων**

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον στα μικροδίκτυα οφείλεται στο ότι μπορούν να παρέχουν αξιόπιστα και αποδοτικά, ασφαλή και φιλική προς το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία και την ασφάλεια του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο της τελικής χρήσης, και ειδικότερα για τα ευαίσθητα φορτία, επειδή οι τοπικές παραγωγές διασφαλίζουν ότι αυτά τα φορτία μπορούν να πάρουν την ενέργεια που χρειάζονται υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Σε αντίθεση με μια γεννήτρια συνδεδεμένη σε ένα διεσπαρμένο δίκτυο, οι μικρές τοπικές παραγωγές θα συμπεριφερθούν σαν κύριες πηγές αντί να είναι πηγές σε αναμονή.

Τα μικροδίκτυα προσφέρουν τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογιών συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (Combined Heat and Power – CHP), οι οποίες αξιοποιούν τη θερμότητα που εκλύεται ως απώλεια από τη μετατροπή ενέργειας από την καύση του καυσίμου σε ηλεκτρισμό. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 90% εάν συνδυαστεί θερμότητα και ισχύς και η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τοπικές ανάγκες. Η παραπάνω διαδικασία βελτιώνει την αποδοτικότητα του καυσίμου, μειώνοντας έτσι την ποσότητα που χρειάζεται για την παραγωγή του ίδιου ποσού ενέργειας.

Αγοράζοντας λιγότερα καύσιμα ο καταναλωτής μειώνει σημαντικά το κόστος καυσίμων, ενώ η αξιοποίηση της απολεσθείσας θερμότητας προς το περιβάλλον, η οποία αποτελεί λίγο περισσότερο από τη μισή ενέργεια που καταναλώνεται στην παραγωγή ηλεκτρισμού, μπορεί να προσδώσει σημαντικό κέρδος περιβαλλοντικά και οικονομικά. Επιπροσθέτως, μία γενική μείωση της ζήτησης στα καύσιμα, εξαιτίας της πιο γενικευμένης χρήσης των μικροδικτύων με CHP, θα οδηγούσε σε μείωση της τιμής πώλησης του καυσίμου. Τέλος, είναι δυνατή, λόγω της τοπικότητας της παραγωγής, η χρήση ορισμένων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών μικρής σχετικά ισχύος, όπως φωτοβολταϊκών panels, οι οποίες καθιστούν ακόμη πιο συμφέρουσα οικονομικά και οικολογικά την εφαρμογή των μικροδικτύων.

Επιπλέον, η απόδοση μπορεί να αυξηθεί σαν αποτέλεσμα της μείωσης απωλειών στις γραμμές μεταφοράς που σχετίζονται με τοπική παραγωγή ισχύος για τοπικές χρήσεις. Κατά συνέπεια, μειώνοντας την ενέργεια ή την πυκνότητα ισχύος στις γραμμές μεταφοράς, θα αποφευχθεί η υπερφόρτιση σε αυτές και έτσι θα μπορέσει να καθυστερήσει η αναβάθμιση των γραμμών μεταφοράς.

Η φιλικότητα προς το περιβάλλον μπορεί να επιτευχθεί χάρη στην πρόσφατη τάση για συμμετοχή των ΑΠΕ στα μικροδίκτυα. Αυτή η αύξηση της συμμετοχής θα μειώσει σημαντικά τις εκπομπές που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Δύο είναι τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά οφέλη από την αυξημένη αποδοτικότητα στη μετατροπή ενέργειας. Καταρχάς, οι εκπομπές διοξειδίου από εργοστάσια παραγωγής ισχύος θα μειωθούν. Επίσης, το περιβαλλοντικό πρόβλημα εκπομπής της θερμικής ενέργειας απωλειών στο περιβάλλον θα φθίνει σταδιακά. Τέλος η εμφάνιση και η ανάπτυξη τεχνολογιών που διευκολύνουν την αποδοτική χρήση των θερμικών απωλειών, θα είναι το κλειδί για την περαιτέρω εξάπλωση των μικροδικτύων ως σημαντικών συντελεστών στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας [37].

Με βάση το καθαρό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μέχρι το σημείο διασύνδεσης της παραγωγής) το μικροδίκτυο φαίνεται να υστερεί ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής. Ωστόσο, το μικροδίκτυο μπορεί να προσφέρει μερικά πλεονεκτήματα που εξισορροπούν το 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 παραγωγής.

Επίσης οι ΑΠΕ μπορούν να διασφαλίσουν ενεργειακή βιωσιμότητα χάρη στη φυσική τους διαθεσιμότητα. Μπορούν σταδιακά να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα τα οποία προέρχονται από τα λιγοστά αποθέματα. Σε ιδανικές συνθήκες, η ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί με μηδαμινό κόστος, εκτός από τα έξοδα εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Όμως η ανανεώσιμη ενέργεια είναι εκ φύσεως διακοπτόμενη. Έτσι απαιτείται ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας ώστε να βελτιστοποιήσει την εκμετάλλευσή της [36].

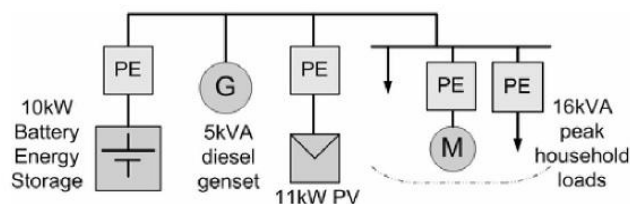


### 3.7 Εφαρμογές μικροδικτύων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται επιλεγμένες πειραματικές και εμπορικές εφαρμογές μικροδικτύων από τη βιβλιογραφία [38].

#### Αυτόνομο σύστημα στη νήσο Κύθνο

Το αυτόνομο σύστημα της Κύθνου (Σχήμα 3.4) βρίσκεται 4 χλμ. από τον κοντινότερο ζυγό του τοπικού δικτύου, έχει λάβει διάφορες τοπολογίες, έχει χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο έρευνας και έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του τρόπου σκέψης των ευρωπαϊκών προγραμμάτων που αφορούν μικροδίκτυα.

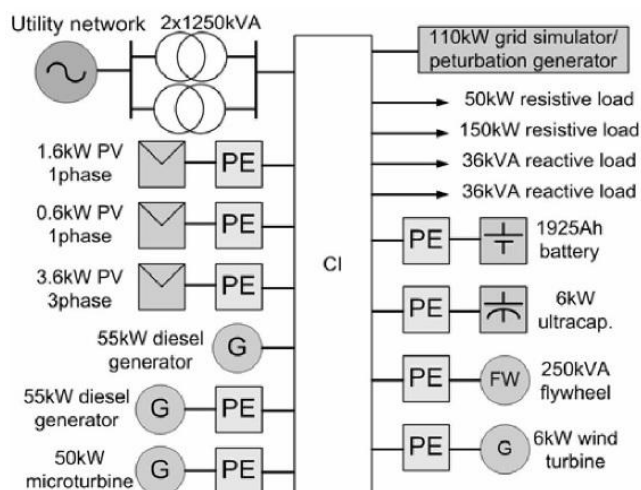


Σχήμα 3.4 Το αυτόνομο δίκτυο της Κύθνου

Ο έλεγχος γίνεται βάσει των χαρακτηριστικών της πραγματικής ισχύος συναρτήσει της συχνότητας και της αέργου ισχύος συναρτήσει της τάσης. Ωστόσο, ως μονοφασικό σύστημα έχει από τη φύση του περιορισμένο εύρος ζώνης διαθέσιμο για σήματα ελέγχου και έχει επικρατήσει η άποψη ότι τα σήματα εισόδου και εξόδου μπορούν να εναλλάσσονται, για παράδειγμα η συχνότητα εξόδου η τάση ενός αντιστροφέα να ελέγχονται με αναφορά τα σήματα μετρούμενης ισχύος.

#### Πειραματικό κέντρο Labein

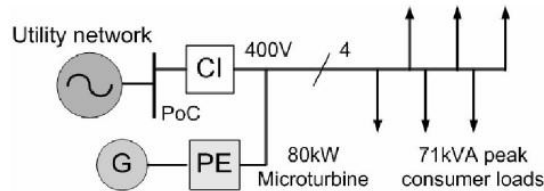
Το Ερευνητικό Ινστιτούτο Labein στην Ισπανία έχει υλοποιήσει ένα σύστημα δοκιμών (Σχήμα 3.5) για την διεσπαρμένη παραγωγή και την έρευνα στα μικροδίκτυα. Το σύστημα τροφοδοτείται από δύο μετασχηματιστές 1250 kVA, έχει σχεδιαστεί ως ένα πεδίο δοκιμής για συστήματα αποκεντρωμένου και κεντρικού ελέγχου και για το λόγο αυτό παρέχει ως ένα βαθμό τη δυνατότητα αναδιαμόρφωσης της δομής του.



Σχήμα 3.5 Το μικροδίκτυο του LABEIN, Ισπανία

### Γραμμή παρόχου EDP

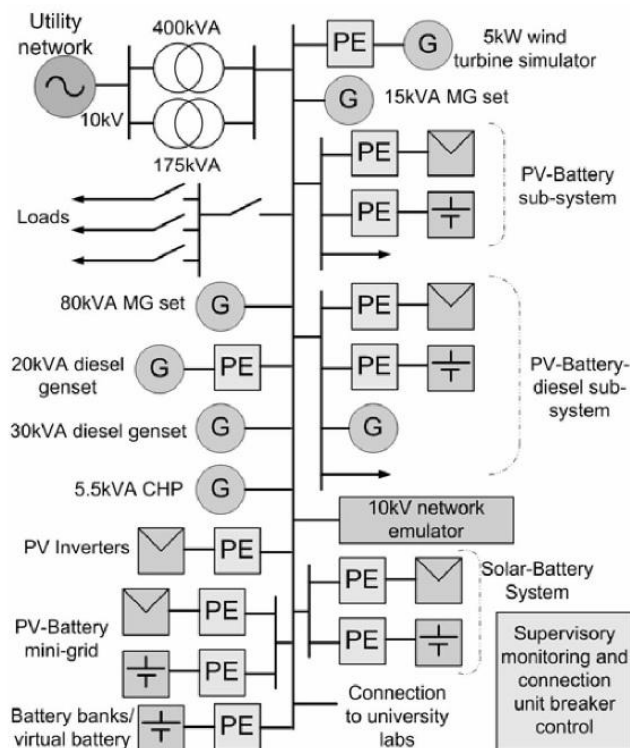
Η πορτογαλική επιχείρηση ηλεκτρισμού EDP αναβάθμισε το ακραίου τμήματος μιας μικρής εμπορικής ακτινικής τριφασικής γραμμής τροφοδοσίας ισχύος 200 kVA, 400V, 4 αγωγών (Σχήμα 3.6), στο χωριό Frielas (προάστιο της Λισαβόνας), προκειμένου να προβεί σε μελέτες μικροδικτύων. Εδώ, η χρήση μιας μόνο πηγής παραγωγής, με χωρητικότητα που υπερβαίνει το μέγιστο φορτίο του μικροδικτύου, απλοποιεί το πρόβλημα του ελέγχου.



Σχήμα 3.6 Τροφοδότης EDP του χωριού Frielas, Πορτογαλία

### Demotec

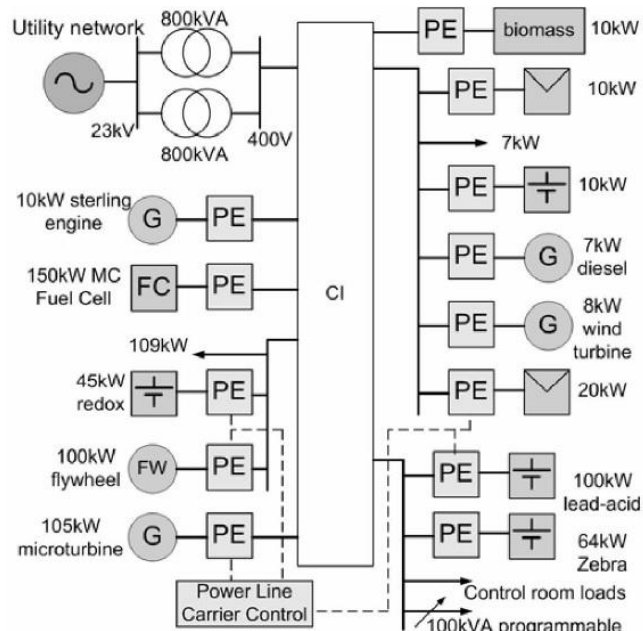
Οι εγκαταστάσεις DEMOTEC (Σχήμα 3.7) στο ISET (Institut für Solare Energieversorgungstechnik) έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ανάπτυξη μεθοδολογιών για τον έλεγχο της διεσπαρμένης παραγωγής. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης στο έργο 'Microgrids' της E.E. για την αξιολόγηση των στρατηγικών του κεντρικού ελέγχου και των μονάδων ελέγχου.



Σχήμα 3.7 Οι εγκαταστάσεις DEMOTEC, ISET, Kassel, Γερμανία

### Δίκτυο CESI

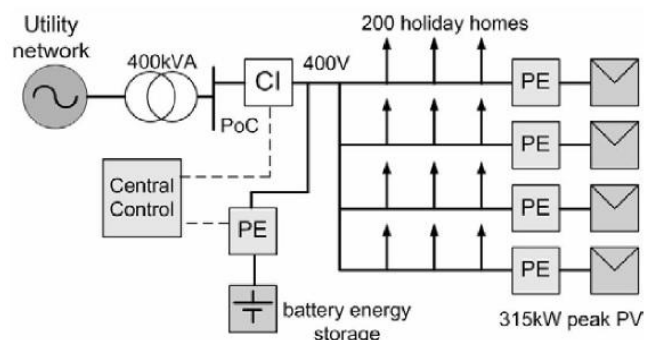
Το δίκτυο CESI στο Μιλάνο αναπτύχθηκε για τον έλεγχο των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής (Σχήμα 3.8). Το σύστημα δοκιμών χρησιμοποιείται ως μέρος του έργου 'More-Microgrids' και σκοπός του είναι να εξετάσει τη λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και του τοπικού ελέγχου, για την αντιμετώπιση των διαταραχών του δικτύου και την αξιολόγηση της ποιότητας ισχύος κατά τη λειτουργία υπό νησιδοποίηση.



Σχήμα 3.8 Εγκαταστάσεις δοκιμών CESI. Ιταλία

### Continuon Holiday Park

Μαζί με τις εταιρίες EMforce και Γερμανός, η Continuon αναβαθμίζει ένα πάρκο διακοπών που λειτουργεί στην Ολλανδία μέσα σε ένα μικροδίκτυο (Σχήμα 3.9). Το πάρκο αποτελείται από 200 εξοχικές κατοικίες, πολλές από τις οποίες έχουν διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά. Τα συνολικά 315 kW εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής ισχύος υπερβαίνουν το φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε εξέλιξη βρίσκονται σχέδια που αφορούν την πρόσθεση μιας κεντρικής συστοιχίας συσσωρευτών και ενός μετατροπέα ισχύος, ο οποίος σε συνδυασμό με κεντρικό ελεγκτή μικροδικτύου θα επιτρέψει τον έλεγχο του φορτίου και επανασυγχρονισμό.



Σχήμα 3.9 Διάγραμμα του μικροδικτύου του πάρκου διακοπών Continuon, Ολλανδία

### Ενεργειακά έργα MVV

Η εταιρεία MVV Energie στη Γερμανία διεξάγει μια σειρά από πιλοτικά έργα μικροδικτύων. Το δίκτυο του υποσταθμού συνδέεται με την κεντρική έδρα της MVV Energie στο Mannheim της Γερμανίας και έχει οριστεί ως τοποθεσία για τη διερεύνηση των μικροδικτύων. Το σύστημα περιλαμβάνει οικιακές και εμπορικές μονάδες και φορτία: την έδρα της MVV Energie και μια παρακείμενη πολυκατοικία, που τροφοδοτούνται από έναν υποσταθμό. Μία PEM κυψέλη καυσίμου 4,7 kW και 3,8 kW φωτοβολταϊκών αποτελούν την εγκατεστημένη στο χώρο παραγωγή, ενώ ένας σφόνδυλος 120 kW αποτελεί την μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Μία επέκταση του μικροδικτύου έχει προγραμματιστεί με δύο μονάδες ΣΗΘ, ισχύος 9 kW και 5,5 kW (ηλεκτρική ισχύς). Η συνολική ισχύς του φορτίου στο χώρο κυμαίνεται μεταξύ 80 kW έως 230 kW. Επίσης τα φορτία των 60 kW για εξαερισμό και 48 kW του λέβητα του κτιρίου μπορούν να ελεγχθούν.

Το συγκρότημα 'Am Steinweg' με 400 κατοίκους στην Stutensee της Γερμανίας, είναι άλλο ένα από τα έργα μικροδικτύων της εταιρείας MVV Energie. Το δίκτυο χαμηλής τάσης (ΧΤ) με δομή κλειστού δακτυλίου αποτελείται από 28 kW (ηλεκτρικής ισχύος) εγκατεστημένης ΣΗΘ και φωτοβολταϊκών συστημάτων με συνολική μέγιστη ισχύ 35 kW. Επιπλέον 880 Ah συσσωρευτών μολύβδου-οξέος είναι διασυνδεδεμένοι μέσω ενός αμφίδρομου μετατροπέα.

Τέλος, η MVV Energie κατασκευάζει ένα μικροδίκτυο στο Mannheim – Wallstadt. Η εγκατεστημένη ισχύς από μικροπαραγωγή είναι ως σήμερα μόνο 30 kW(peak) από φωτοβολταϊκά, αλλά έχει προγραμματιστεί σημαντική περαιτέρω επέκταση της μικροπαραγωγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ

#### 4.1 Γεωπολιτικά στοιχεία

Ο Άγιος Ευστράτιος (Αη Στράτης) είναι νησί του βορειοανατολικού Αιγαίου με 270 κατοίκους. Διοικητικά ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Λήμνου της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου. Χρύση, Αλόνησος, Νέαι, επειδή αναδύθηκε από τη θάλασσα και Ιερά εξαιτίας του Αγίου Ευστρατίου είναι μερικές από τις ονομασίες που του έχουν αποδοθεί. Είναι το πιο απομονωμένο νησί του Αρχιπελάγους. Από την προς Β. Λήμνο απέχει 18 ναυτικά μίλια, από την προς Ν. Σκύρο 38, από την προς ΝΑ. Λέσβο 42, από τα προς Δ. Ερημόνησα 32 και από την προς ΒΔ. άκρη της Χαλκιδικής (Ακράθωνα) 48 περίπου ναυτικά μίλια. Το νησί έχει σχήμα άνισου τριγώνου με την υποτείνουσα προς τη Δύση, εμβαδόν 42 τετ. χιλιόμετρα και μήκος ακτογραμμής 37 χιλιόμετρα (Πίνακας 4.1).

Η γεωλογική σύστασή του είναι ηφαιστειογενής. Το έδαφός του είναι λοφώδες και δεξιά και αριστερά της κορυφογραμμής που διασχίζει από Β. προς Ν. το νησί σχηματίζονται λόφοι που προχωρούν προς τη θάλασσα με γκρεμούς πιο απότομους κατά την ανατολική πλευρά του νησιού. Οι υψηλότερες κορυφές είναι το Σημάδι (298μ.), ο Άγιος Αλέξης και ο Προφήτης Ηλίας. Ανάμεσα στους λόφους της δυτικής πλευράς σχηματίζονται μικρές κοιλάδες που καταλήγουν στη θάλασσα. Μεγαλύτερη απ' όλες είναι η κοιλάδα, όπου βρίσκεται και το μοναδικό χωριό. Στη ΒΑ πλευρά του νησιού απλώνεται μια επικλινής πεδινή ζώνη μήκους περίπου ενός χιλιομέτρου. Δεν υπάρχουν επίγεια τρεχούμενα ή στάσιμα νερά, αλλά μόνο υπόγεια. Η μεγαλύτερη πηγή είναι στη Μεγάλη Παναγιά ανατολικά του χωριού, από όπου γίνεται και η ύδρευση των κατοίκων. Το κλίμα κατατάσσεται στα ημίγυρα με μέτριες βροχές και σπάνια χιόνια.

Οι σεισμοί του 1968 έγιναν η αιτία για να καταστραφεί ο γραφικός οικισμός με ανεμόμυλους στην κορυφή του μικρού λοφίσκου, όπου οι κάτοικοι ακολουθώντας την παραδοσιακή αρχιτεκτονική του Αιγαίου είχαν χτίσει τις κατοικίες τους. Ο σημερινός οικισμός είναι απλωμένος στην κοιλάδα, ενώ οι κάτοικοι ασχολούνται κυρίως με την αλιεία και την κτηνοτροφία και αντιμετωπίζουν συχνά, ιδίως το χειμώνα, προβλήματα στην επικοινωνία με τα άλλα νησιά και την υπόλοιπη Ελλάδα [39].

Πίνακας 4.1 Γεωγραφικά και δημογραφικά στοιχεία νήσου Αγ. Ευστρατίου

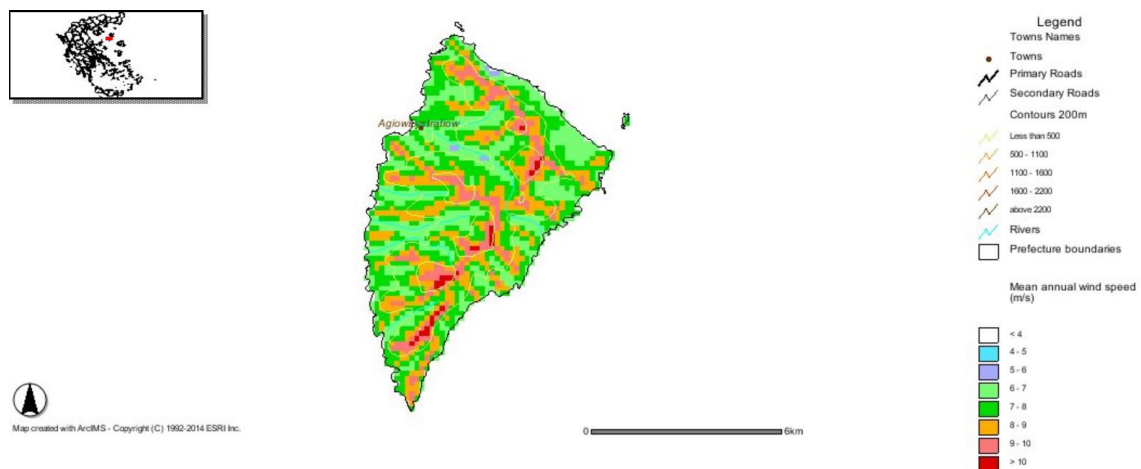
<b>Έκταση</b>	42 km <sup>2</sup>	<b>Χώρα</b>	Ελλάδα
<b>Υψόμετρο</b>	298 m	<b>Περιφέρεια</b>	Βορείου Αιγαίου
<b>Υψηλότερη κορυφή</b>	Σημάδι	<b>Νομός</b>	Λέσβο
<b>Πληθυσμός</b>	270 (απογραφή 2011)	<b>Πρωτεύουσα</b>	Άγιος Ευστράτιος

## 4.2 Εκμεταλλεύσιμες ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές

Το νησί Αγ. Ευστράτιος παρουσιάζει αυξημένο αιολικό δυναμικό και μεγάλη ηλιοφάνεια. Αναλυτικά στοιχεία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

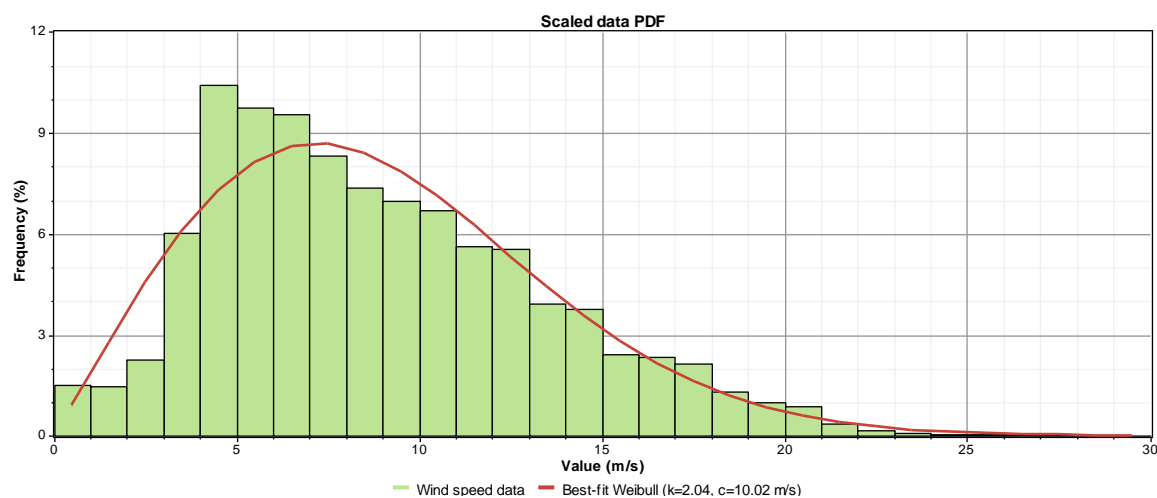
### 4.2.1 Αιολική ενέργεια

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται χάρτης αιολικού δυναμικού του νησιού Αγ. Ευστράτιος [40], όπου φαίνεται ότι σε ολόκληρο το νησί εμφανίζονται μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμου πάνω από 6 m/s, ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα οι ταχύτητες είναι κατά πολύ μεγαλύτερες, δηλαδή από 7 m/s έως 9 m/s και στις κορυφογραμμές αυτή ξεπερνά τα 10 m/s.

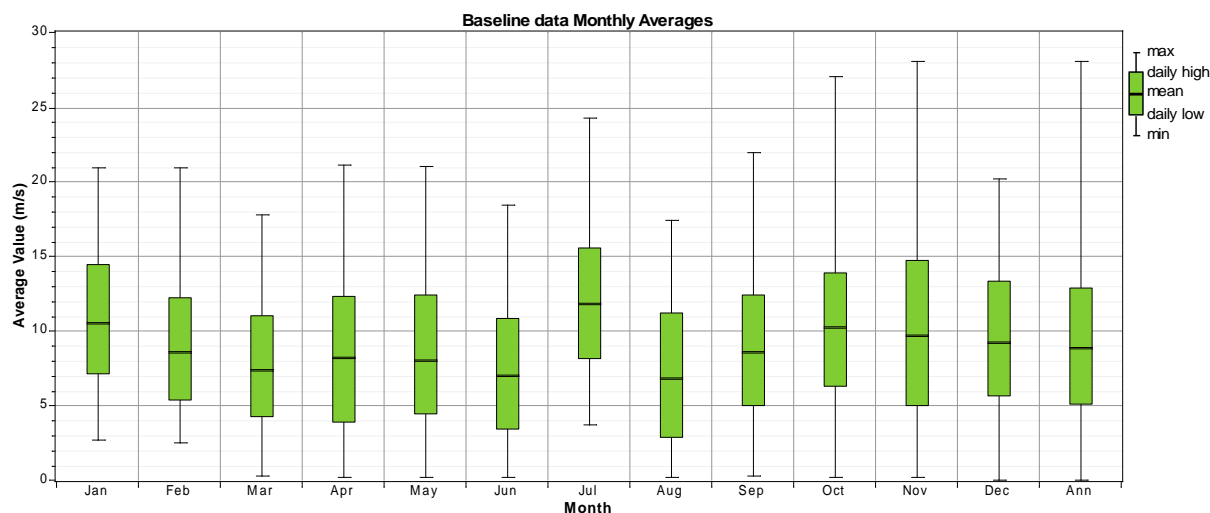


Σχήμα 4.1 Χάρτης αιολικού δυναμικού νήσου Αγ. Ευστρατίου

Με βάση πραγματική ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών, η κατανομή ταχυτήτων για ένα τυπικό έτος μετρήσεων με μέση τιμή 8.8 m/s σε ύψος 10.0 m από την επιφάνεια του εδάφους, φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η καμπύλη προσαρμογής της συνάρτησης Weibull με χαρακτηριστικά  $k=2.04$  και  $c=10.02$  m/s (πηγή: ΚΑΠΕ).



Σχήμα 4.2 Κατανομή ταχυτήτων ανέμου και προσαρμογή με τη συνάρτηση Weibull για τη νήσο Αγ. Ευστράτιος



Σχήμα 4.3 Μηνιαία και ετήσια χαρακτηριστικά ταχυτήτων ανέμου νήσου Αγ. Ευστρατίου

Η αντίστοιχη εποχική διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3, όπου φαίνονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες ωριαίες τιμές καθώς και οι μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες μέσες τιμές ανά μήνα, αλλά και για το έτος.

Είναι σαφές ότι εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλά μέγιστα σε όλους σχεδόν τους μήνες, ενώ και οι μέσες μηνιαίες τιμές είναι γενικά πάνω από 7 m/s. Επίσης οι ελάχιστες ημερήσιες μέσες τιμές είναι για όλους τους μήνες πάνω από 4 m/s.

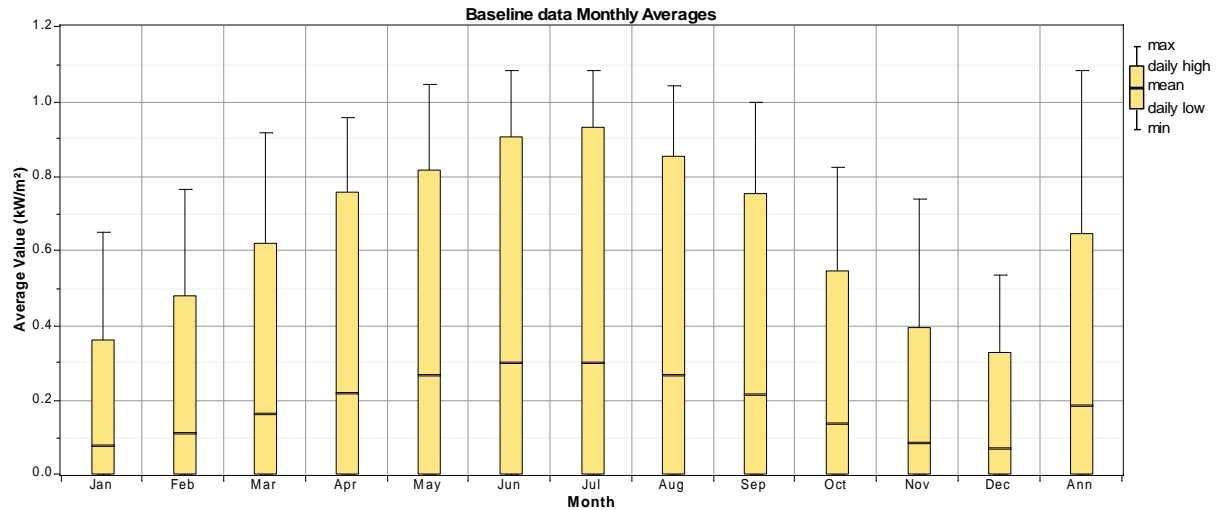
#### 4.2.2 Ηλιακή ενέργεια

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου κυμαίνεται γενικά σε υψηλά επίπεδα. Στον Αγ. Ευστράτιο η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 4.2 μαζί με τον αντίστοιχο υπολογιζόμενο δείκτη καθαρότητας.

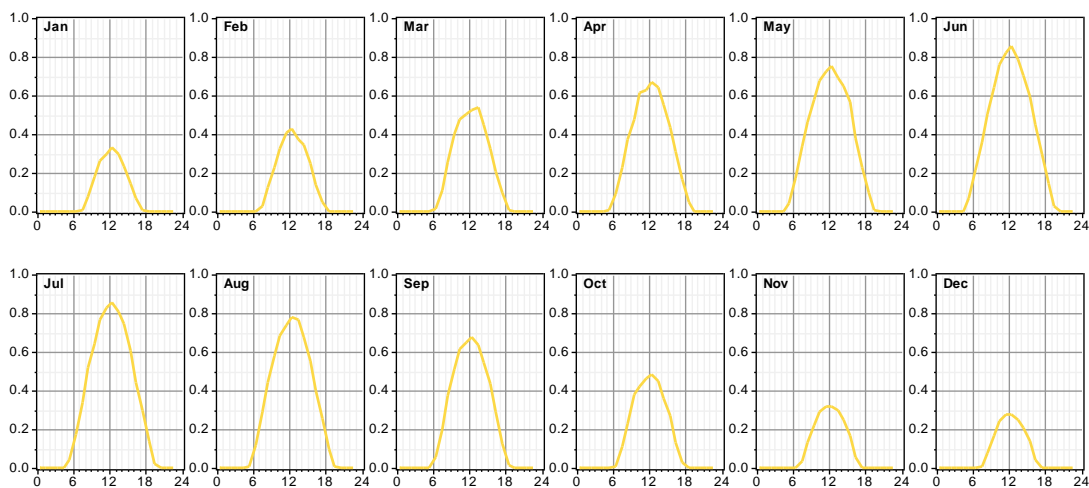
Πίνακας 3.2 Στοιχεία έντασης ηλιακής ακτινοβολίας νήσου Αγ. Ευστρατίου

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m <sup>2</sup> /d)
January	0.441	1.910
February	0.471	2.700
March	0.508	3.908
April	0.541	5.225
May	0.576	6.360
June	0.623	7.216
July	0.640	7.225
August	0.629	6.387
September	0.613	5.118
October	0.528	3.325
November	0.447	2.070

Οι αντίστοιχες μέσες, μέγιστες και ελάχιστες ωριαίες τιμές καθώς και οι μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες μέσες τιμές ανά μήνα, αλλά και για το έτος, φαίνονται στο Σχήμα 4.4. Επίσης στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα, όπως αυτή υπολογίζεται με βάση τον Πίνακα 3.2 και για γεωγρ. μήκος  $24^{\circ} 58' E$ , και γεωγρ. πλάτος  $39^{\circ} 27' N$ .



Σχήμα 4.4 Μηνιαία & ετήσια χαρακτηριστικά ηλιακής ακτινοβολίας νήσου Αγ. Ευστατίου



Σχήμα 4.5 Ημερήσια διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας νήσου Αγ. Ευστατίου



### 4.3 Το υφιστάμενο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα

Όλα τα νησιά του Βορείου Αιγαίου βασίζονται για την τροφοδότησή τους με ηλεκτρική ενέργεια στους Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής (ΑΠΣ) που λειτουργούν κυρίως με μαζούτ και δευτερευόντως με ντήζελ (οι πολύ μικροί), όπως ο Αγ. Ευστράτιος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη Λήμνο και στον Αγ. Ευστράτιο δεν υπάρχουν αποθήκες καυσίμων και η εξυπηρέτησή τους γίνεται από τη Μυτιλήνη.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος του Αγ. Ευστρατίου.

#### 4.3.1 Σταθμός παραγωγής – Δίκτυο

Το δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) του νησιού είναι αγείοτο. Αποτελείται από μία αναχώρηση των 15 kV από το ζυγό του τοπικού σταθμού παραγωγής (ΤΣΠ). Η γραμμή των 15 KV, πρόκειται για μια εναέρια γραμμή 3x35 Cu, το συνολικό μήκος της οποίας περιλαμβανομένων των διακλαδώσεών της, ανέρχεται σε περίπου 9 km. Τα φορτία συνδέονται στη Χαμηλή Τάση μέσω μετασχηματιστή ΜΤ/ΧΤ. Η εγκατεστημένη ισχύς Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ του δικτύου είναι 825 kVA και οι μεγαλύτεροι Μ/Σ διανομής είναι ισχύος 250 kVA. Από πλευράς προστασιών, η γραμμή ΜΤ διαθέτει στην αναχώρηση από τον ΤΣΠ αυτόματο διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμους υπερέντασης και σύστημα ανίχνευσης σφαλμάτων γης για αγείωτα συστήματα ΜΤ. Σε όλες τις διακλαδώσεις χρησιμοποιούνται ασφάλειες βραδείας τήξεως.

Τα χαρακτηριστικά των γεννητριών που συνδέονται στο ζυγό του τοπικού σταθμού παραγωγής παρουσιάζονται παρακάτω. Χρησιμοποιούνται 2 γεννήτριες τύπου MAN D2566/ME με ονομαστική ισχύ 90kW και 3 γεννήτριες τύπου HYUNDAI KD8AX με ονομαστική ισχύ 220kW, τα κύρια χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά των γεννητριών ντήζελ του Άη Στράτη

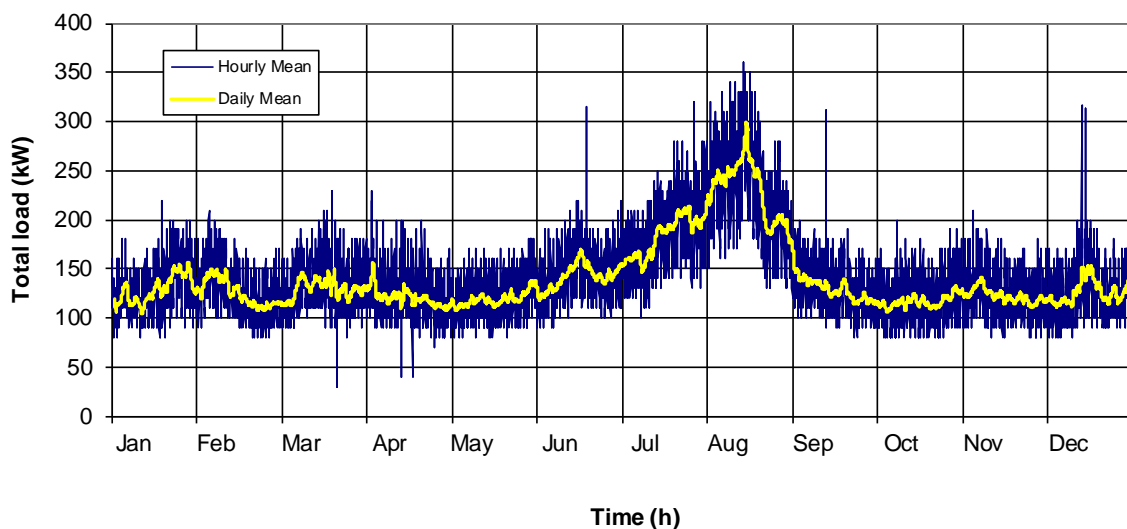
Unit	Installation year	Nominal power (kW)	Minimum operation point (kW)	Fuel consumption rate (g/kWh)		
				50%	75%	100%
MAN D2566/ME	1988	90	45	291.9	265.8	263.3
HYUNDAI KD8AX	2008	220	110	250.7	240.3	242.8

### 4.3.2 Φορτίο - Ζήτηση ενέργειας

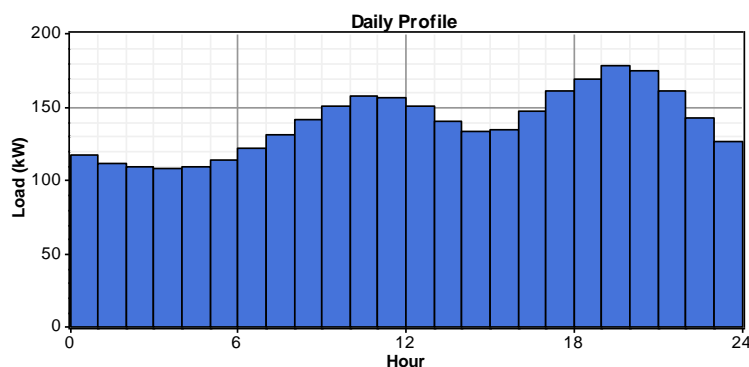
Τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά του φορτίου του ηλεκτρικού συστήματος του Αγίου Ευστατίου είναι ενδεικτικά τα ακόλουθα:

- Μέγιστη ζήτηση έτους 2008, 300 kW (μέση ωριαία τιμή), 350 kW (μέγιστη ζήτηση)
- Ελάχιστη ζήτηση έτους 2008, 70 kW (μέση ωριαία τιμή)
- Ετήσια ζήτηση ενέργειας έτους 2008, 1020 MWh.

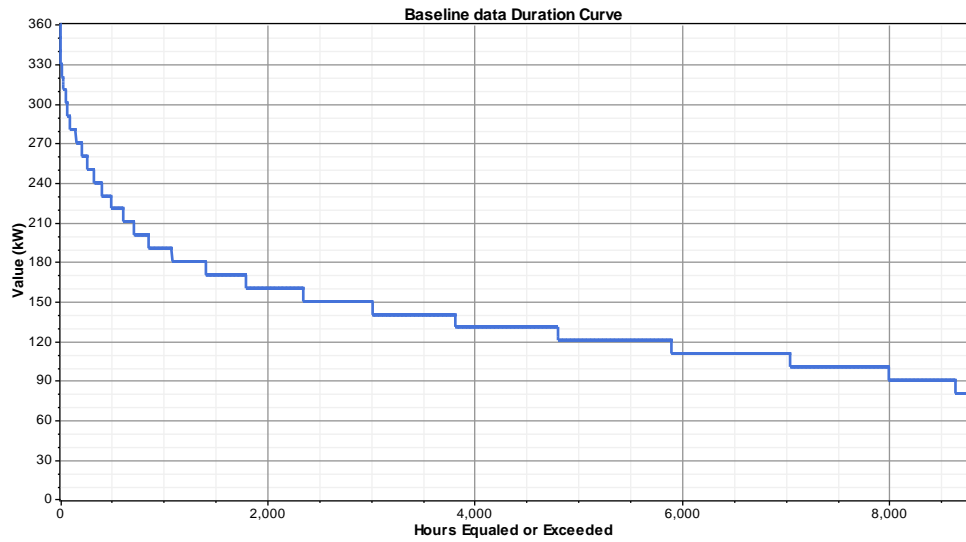
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού φορτίου, όπως μια τυπική ετήσια χρονοσειρά του φορτίου σε μέσες ωριαίες και μέσες ημερήσιες τιμές στο Σχήμα 4.6, η ημερήσια διακύμανσή του σε μέσες ωριαίες τιμές στο Σχήμα 4.7, η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας φορτίου στο Σχήμα 4.8 καθώς και οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες ωριαίες τιμές καθώς και οι μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες μέσες τιμές ανά μήνα, αλλά και για το έτος στο Σχήμα 4.9 (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.).



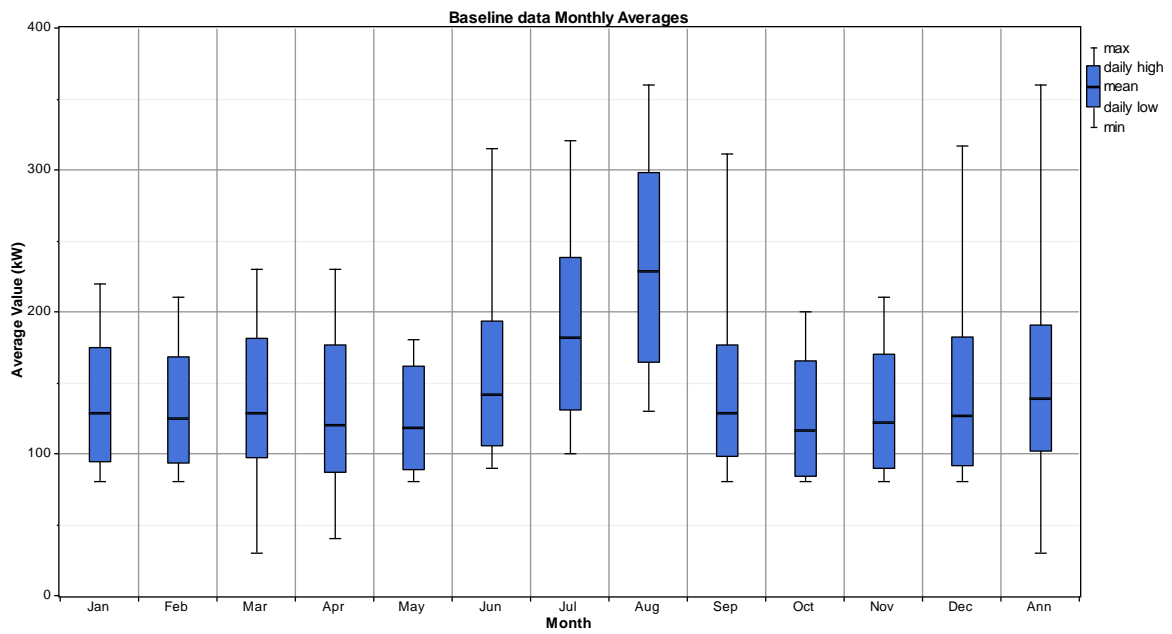
Σχήμα 4.6 Τυπική ετήσια χρονοσειρά μέσων ωριαίου και ημερήσιου ηλεκτρικού φορτίου νήσου Αγ. Ευστατίου



Σχήμα 4.7 Ημερήσια διακύμανση του ηλεκτρικού φορτίου Αγ. Ευστατίου



Σχήμα 4.8 Καμπύλη διάρκειας φορτίου (ηλεκτρικής ζήτησης) νήσου Αγ. Ευστατίου



Σχήμα 4.9 Μηνιαία & ετήσια χαρακτηριστικά ηλεκτρικού φορτίου νήσου Αγ. Ευστατίου

#### 4.4 Το έργο «Αγ. Ευστράτιος – Πράσινο Νησί»

Μετά το Σάμσο της Δανίας [41], το Γκότλαντ της Σουηδίας [42], και το Ουτσίρα της Νορβηγίας [43], ο Αγ Στράτης θα γίνει ένα από τα ελάχιστα “πράσινα νησιά της Ευρώπης”. Πληροφορίες για “πράσινα νησιά” σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχουν στην ιστοσελίδα του Παγκόσμιου Δικτύου Νησιών [44]. Πρόκειται δε να αποτελέσει το πρώτο μη διασυνδεδεμένο νησί, παγκοσμίως, που θα απεξαρτηθεί από τα συμβατικά καύσιμα, ευελπιστώντας να εξελιχθεί σε περιοχή εφαρμογής νέων, πρωτοπόρων τεχνολογιών και ανάπτυξης τεχνολογίας.

Το έργο «Αγ. Ευστράτιος – Πράσινο Νησί» αποτελεί ερευνητικό-επιδεικτικό έργο στο οποίο θα εφαρμοστούν ώριμες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Έτσι προωθείται ένα σχέδιο ενεργειακής αυτάρκειας του Αγίου Ευστρατίου, κατά το μεγαλύτερο μέρος από ανανεώσιμες πηγές, μέσω της δημιουργίας μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και αποθήκευσής της, καθώς και από τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον (χρήση υδρογόνου) κατά τρόπο ώστε να καλύπτονται σε υψηλό ποσοστό και υπό καθεστώς ασφάλειας εφοδιασμού οι εκάστοτε ανάγκες του νησιού. Επιπλέον προβλέπονται δράσεις «πράσινων» μεταφορών, εξοικονόμησης ενέργειας και κάλυψης θερμικών και ψυκτικών φορτίων από ΑΠΕ σε δημοτικά κτίρια και ευφυής διαχείριση ηλεκτρικού φορτίου [45].

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής σχεδίασε το έργο, με Φορέα Χρηματοδότησης τη Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας του Υπουργείου Παιδείας, Δια Βίου Μάθησης & Θρησκευμάτων και Φορέα Υλοποίησης το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), με την υποστήριξη ακαδημαϊκών ιδρυμάτων. Παράλληλα, ιδρύεται ο Φορέας Διαχείρισης στον οποίο συμμετέχουν η Κοινότητα Αγ. Ευστρατίου, η ΔΕΗ, ΔΕΗ Ανανεώσιμες και το ΚΑΠΕ. Με την ολοκλήρωση του έργου, ο Φορέας Διαχείρισης θα είναι οικονομικά βιώσιμος, με ίδιους πόρους που θα προέρχονται κυρίως από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Το έργο θα συμβάλλει καθοριστικά στη γενικότερη ανάπτυξη του νησιού, καθιστώντας τον Αγ Στράτη ένα «ανοιχτό εργαστήριο» δοκιμών και ανάπτυξης ελληνικής τεχνολογίας στους τομείς της πράσινης ενέργειας και οικολογίας με παγκόσμια αναφορά [46].

Ο προϋπολογισμός του έργου ανέρχεται σε 8.903.498,57 ευρώ και περιλαμβάνει τις ακόλουθες παρεμβάσεις:

- Έργα ΑΠΕ και αποθήκευσης ενέργειας: Εγκατάσταση στο νησί ανεμογεννητριών ισχύος >500 kW και φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος >100 kW, σε συνδυασμό με μονάδες αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας που παράγεται σε συσσωρευτές, αλλά και σε μορφή υδρογόνου.
- Παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας και κάλυψη θερμικών και ψυκτικών φορτίων με χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) σε δημόσια κτίρια.

- Αυτόνομες σταθερές εφαρμογές παροχής ενέργειας βασισμένες σε φωτοβολταϊκά και κυψέλες καυσίμου σε κτηνοτροφικές μονάδες του νησιού, οι οποίες δεν έχουν σήμερα πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ.
- Έργα πράσινων μεταφορών (ηλεκτρικών οχημάτων και οχημάτων υδρογόνου), καθώς και αντίστοιχων σταθμών ανεφοδιασμού. Πιο συγκεκριμένα θα εγκατασταθεί στο νησί σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με ενέργεια προερχόμενη από φωτοβολταϊκά, καθώς και σταθμός ανεφοδιασμού οχημάτων με υδρογόνο, ο οποίος θα είναι και ο πρώτος αντίστοιχος σταθμός που υλοποιείται στην Ελλάδα.
- Λοιπές πράσινες παρεμβάσεις, όπως υδροπονικά θερμοκήπια, βιολογική γεωργία, αλιεία και κτηνοτροφία.

Η καινοτομία του έργου αφορά κυρίως στη μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στο αυτόνομο ασθενές δίκτυο του νησιού. Σε πρώτο στάδιο, ο στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ θα αγγίξει το ποσοστό του 85%, ενώ σε δεύτερο στάδιο θα εφαρμοστούν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια και θα αναπτυχθούν έξυπνα δίκτυα, με στόχο την επίτευξη της διείσδυσης των ΑΠΕ σε ποσοστό της τάξης του 100%.

Ο Αη Στράτης, όντας το πρώτο μη διασυνδεδεμένο νησί της Ευρώπης με τόσο υψηλό ποσοστό διείσδυσης πράσινης ενέργειας, θα αποτελέσει υπόδειγμα για το «πρασίνισμα» όλων των ελληνικών νησιών. Επιπλέον, θα συμβάλλει στην ανάπτυξη ελληνικής τεχνογνωσίας και εμπειρίας στην υλοποίηση ολοκληρωμένων νησιωτικών συστημάτων με υψηλότερα ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ, αλλά και εφαρμογές μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και «πράσινων» μεταφορών.

## **4.5 Το προτεινόμενο σύστημα**

Το σύστημα ηλεκτροδότησης του νησιού θα αποτελείται από τον ήδη εγκατεστημένο θερμικό σταθμό παραγωγής, με τη σημερινή του σύνθεση, το φορτίο του νησιού και το υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής.

### **4.5.1 Το υβριδικό σύστημα - πρόσθετα στοιχεία**

Το υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που μελετάται για να εγκατασταθεί, θα αποτελείται από τις παρακάτω κύριες συνιστώσες:

- Μία ή περισσότερες ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 500-800 kW
- Φωτοβολταϊκό σταθμό συνολικής ισχύος 100-250 kW
- Μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με συστοιχίες συσσωρευτών συνολικής ενέργειας 4-6 Mwh

- Μετατροπέας ισχύος (αντιστροφέας/ανορθωτής) ισχύος περί τα 600 kVA
- Μονάδα ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή υδρογόνου ονομαστικής ισχύος της τάξης των 100 kW
- Δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου σε αέρια μορφή υπό πίεση, χωρητικότητας 200 kg
- Δύο ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη υδρογόνου ισχύος 75 kW έκαστο
- Κεντρικό σύστημα εποπτείας, ελέγχου και διαχείρισης του όλου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής
- Πρόσθετα συστήματα και διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου, εφόσον αυτά είναι τεχνικά απαραίτητα.

Όσον αφορά την παραπάνω διαστασιολόγηση θα πρέπει να τονισθεί ότι αυτή υπαγορεύεται από περιορισμούς χωροθέτησης, κόστους αλλά και με βάση τα χαρακτηριστικά του φορτίου.

#### **4.5.2 Αρχές λειτουργίας του υβριδικού συστήματος**

Σε συνθήκες υψηλής διαθέσιμης παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ), και όταν αυτή υπερβαίνει τη ζήτηση, οι μονάδες του τοπικού σταθμού θα τίθενται σε κατάσταση στάσης. Η πλεονάζουσα παραγωγή ΑΠΕ οδηγείται στα κεντρικά συστήματα αποθήκευσης, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους χαμηλής παραγωγής, ενώ η τυχόν πρόσθετη περίσσεια παραγωγή ΑΠΕ τροφοδοτεί τα ελεγχόμενα φορτία του νησιού. Εάν η παραγωγή ΑΠΕ υπερβαίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης και τη ζήτηση των ελεγχόμενων φορτίων, τότε η απόρριψη της πλεονάζουσας ισχύος πραγματοποιείται μέσω κατάλληλης εντολής περιορισμού ισχύος στις ανεμογεννήτριες ή και με θέση εκτός λειτουργίας μέρους των φωτοβολταϊκών σταθμών, αν αυτό απαιτείται.

#### Αποθήκευση

Σε καταστάσεις όπου η διαθέσιμη παραγωγή ΑΠΕ δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου, το έλλειμμα ισχύος και ενέργειας παρέχεται από τα συστήματα αποθήκευσης, εφόσον η κατάσταση φόρτισής τους είναι επαρκής. Σε αντίθετη περίπτωση τίθενται σε λειτουργία συμβατικές μονάδες παραγωγής της ελάχιστης απαιτούμενης ικανότητας.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος με τροφοδότηση από μονάδες ντίζελ, η διαθέσιμη παραγωγή ΑΠΕ χρησιμοποιείται για την κάλυψη του φορτίου, καθώς και για τη φόρτιση των συστημάτων αποθήκευσης. Ταυτόχρονα η παραγωγή ΑΠΕ ελέγχεται κατάλληλα, ώστε να τηρούνται οι προδιαγραφές φόρτισης των συμβατικών μονάδων και δυναμικής μεταβολής του φορτίου τους. Σε κάθε περίπτωση, η φόρτιση των συστημάτων αποθήκευσης πραγματοποιείται μέσω της πλεονάζουσας ενέργειας ΑΠΕ και όχι από την παραγωγή των συμβατικών μονάδων.

## Παραγωγή υδρογόνου

Η εναλλαγή μεταξύ των διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος, οι χειρισμοί εκκίνησης-στάσης και η ρύθμιση της παραγωγής-κατανάλωσης των επιμέρους συνιστωσών θα γίνονται με απόλυτα αυτοματοποιημένο τρόπο, χωρίς την ανάγκη παρέμβασης χειριστή, ενώ το ίδιο ισχύει και για τις συμβατικές μονάδες.

Τέλος, πέρα από την κάλυψη των αναγκών του νησιού σε ηλεκτρισμό, το υβριδικό σύστημα σχεδιάζεται ώστε να ικανοποιεί στο μέλλον συμπληρωματικές δράσεις, ενεργειακού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα, όπως είναι η παραγωγή υδρογόνου. Δηλαδή η περίσσεια ενέργειας από τις αιολικές και φωτοβολταϊκές μονάδες, θα τροφοδοτεί μονάδα παραγωγής υδρογόνου, το οποίο θα μπορεί να διατίθεται σε οχήματα και τα αλιευτικά του νησιού, υποκαθιστώντας έτσι συμβατικά υγρά καύσιμα.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ ‘HOMER ENERGY’

#### 5.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό ενεργειακής μοντελοποίησης Homer Energy είναι ένα ισχυρό εργαλείο για το σχεδιασμό και την ανάλυση των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, τα οποία περιλαμβάνουν συμβατικές γεννήτριες, συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, ανεμογεννήτριες, ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, συσσωρευτές, κυψέλες καυσίμου, υδροηλεκτρικές μονάδες, ή και μονάδες βιομάζας.

Για κάθε είδος ενεργειακού περιβάλλοντος, συνδεδεμένο ή μη με το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, το λογισμικό Homer Energy βοηθά στο να προσδιοριστούν οι μεταβλητές όλων των πόρων του συστήματος, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν με τον πλέον βέλτιστο τρόπο σε υβριδικά συστήματα.

Το λογισμικό Homer Energy πραγματοποιεί προσομοιώσεις διαφόρων ενεργειακών συστημάτων, συγκρίνει τα αποτελέσματα και παρουσιάζει μία ρεαλιστική εικόνα του αρχικού κεφαλαίου και των λειτουργικών εξόδων. Το πρόγραμμα καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος, βελτιώνει το σχεδιασμό της εγκατάστασης και επιτρέπει στους χρήστες να κατανοήσουν το πως λειτουργούν στην πραγματικότητα τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Καθώς η διεσπαρμένη παραγωγή, τα μικροδίκτυα και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξακολουθούν να είναι το ταχύτερα αναπτυσσόμενο τμήμα της ενεργειακής βιομηχανίας, το λογισμικό Homer Energy μπορεί να εξυπηρετήσει επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, τις τηλεπικοινωνίες, τους φορείς ολοκλήρωσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και πολλών άλλων ειδών αναπτυξιακά έργα, με στόχο τον περιορισμό του οικονομικού κινδύνου.

##### 5.1.1 Το λογισμικό

Το λογισμικό Homer Energy είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο που απλοποιεί το έργο του σχεδιασμού συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής, τόσο εντός όσο και εκτός του διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου. Η βελτιστοποίηση και οι αλγόριθμοι ανάλυσης ευαισθησίας που προσφέρει το λογισμικό μας επιτρέπουν να αξιολογήσουμε την οικονομική και την τεχνική σκοπιμότητα ενός μεγάλου αριθμού τεχνικών επιλογών που προσφέρονται, αλλά και να υπολογίσει τις διακυμάνσεις του κόστους της τεχνολογίας και των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων.

Η εταιρεία Homer Energy LLC παρέχει το λογισμικό, τις υπηρεσίες και τα κατάλληλα εργαλεία για ερευνητές και επαγγελματίες του κλάδου της ενέργειας, που επιθυμούν να αναλύσουν και να βελτιστοποιήσουν τα διεσπαρμένα συστήματα ισχύος και συστήματα που ενσωματώνουν υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 1997 η ομάδα ανάπτυξης του λογισμικού Homer Energy συνειδητοποίησε ότι μία διαθέσιμη στο κοινό έκδοση του λογισμικού θα ήταν χρήσιμη σε μία αναπτυσσόμενη κοινότητα σχεδιαστών συστημάτων που τους ενδιέφεραν ολοένα και περισσότερο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Έτσι, λοιπόν, το λογισμικό μετατράπηκε σε μία εφαρμογή συμβατή με το λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows, γραμμένη σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και άρχισε να διανέμεται μέσω της ιστοσελίδας του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (NREL). Αν και η αρχική έκδοση του λογισμικού αναφερόταν σε συστήματα εκτός δικτύου (off-grid), η ομάδα σχεδιασμού και υλοποίησης του λογισμικού γρήγορα κατάλαβε πως η ικανότητα του προγράμματος για βελτιστοποίηση και ανάλυση ευαισθησίας μπορούσε να εφαρμοστεί και σε μεγαλύτερα συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο (on-grid). Έτσι, το 2001 κυκλοφόρησε η έκδοση 2.0 του λογισμικού Homer Energy που έφερε σημαντικές αναβαθμίσεις, δίνοντας την δυνατότητα για μοντελοποίηση διασυνδεδεμένων συστημάτων με πολλές γεννήτριες, συμπεριλαμβανομένης της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, των τεχνολογιών υδρογόνου, αλλά και τη δυνατότητα μοντελοποίησης των εκπεμπόμενων ρύπων και την αναλυτική τιμολόγηση των συστημάτων. Με έδρα το Κολοράντο, η εταιρεία Homer Energy LLC ιδρύθηκε το 2009 για την εμπορική εκμετάλλευση του λογισμικού που αναπτύχθηκε από το NREL και το οποίο αποτελεί τμήμα του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α.

Η εταιρεία Homer Energy LLC αποτελείται από μία ομάδα οικονομολόγων και μηχανικών που δημιούργησαν αρχικά το λογισμικό Homer Energy, μαζί με επαγγελματίες διαχειριστές, αναλυτές και άλλους επαγγελματίες με εμπειρία σε επιχειρηματικά σχέδια, συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συλλογικό όραμα της ομάδας αυτής είναι με τη χρήση του λογισμικού να ενισχύσουν τον ενεργειακό κλάδο σε όλο τον κόσμο, με εργαλεία, υπηρεσίες και πληροφορίες, προκειμένου να επιταχυνθεί η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας.

Από την κυκλοφορία του, το λογισμικό έχει αγοραστεί (ή έχει αποκτηθεί δωρεάν για ερευνητικούς σκοπούς από την επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας) από περισσότερους από 80.000 ανθρώπους σε 193 χώρες συνολικά. Πρόκειται για μία παγκόσμια κοινότητα που αποτελείται κυρίως από επαγγελματίες στον τομέα της διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για να αξιοποιηθεί σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό η συλλογική γνώση αυτής της ομάδας, η εταιρεία Homer Energy LLC έχει δημιουργήσει και μία διαδικτυακή κοινότητα με φόρουμ συζητήσεων, με δυνατότητα συνεργασιών.

## 5.1.2 Σχεδιασμός Μικροδικτύων ως Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

### Επιλογή του έργου και ταχεία αξιολόγηση

Το λογισμικό Homer Energy αποτελεί την ιδανική λύση για την πιθανοτική ανάλυση μικροδικτύων. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να καθορίζουν γρήγορα και εύστοχα αν ένα έργο είναι πολλά υποσχόμενο ώστε να προχωρήσουν στην υλοποίησή του. Οι κατασκευαστικές εταιρίες χρειάζονται τα εργαλεία για μια ανεξάρτητη αναθεώρηση των προτεινόμενων σεναρίων, ενώ από την άλλη οι διαχειριστές των προγραμμάτων πρέπει να δίνουν προτεραιότητα σε δυνητικά έργα. Όλες αυτές τις παραμέτρους τις υπολογίζει το λογισμικό Homer Energy, που χρησιμοποιεί είτε κατά προσέγγιση δεδομένα, είτε λεπτομερή δεδομένα όταν αυτά είναι διαθέσιμα. Η ανάλυση ευαισθησίας που προσφέρει το λογισμικό, προσδιορίζει το που χρειάζεται να γίνουν επιπλέον προσπάθειες για την συλλογή δεδομένων που θα φανούν πολύτιμα στην προσπάθεια εξεύρεσης της βέλτιστης λύσης.

### Προκαταρκτική ανάλυση σκοπιμότητας και αρχική σύλληψη σχεδιασμού

Οι νέες τεχνολογίες παρέχουν μία πληθώρα από πιθανές επιλογές σχεδιασμού μικροδικτύων. Το λογισμικό βοηθάει τους μηχανικούς να καθορίσουν ποιες ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή, αιολική, βιομάζα ή μικρά υδροηλεκτρικά), τεχνολογίες αποθήκευσης (π.χ. μολύβδου-οξέος, ψευδαργύρου, βαναδίου, νικελίου, λιθίου, σφονδύλων ή υδρογόνου) είναι οικονομικά αποδοτικές, πως πρέπει να γίνει η κατανομή και η διαχείριση του φορτίου, και ποιι συνδυασμοί συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρικής ενέργειας και γεννήτριες ντήζελ έχει νόημα να βελτιστοποιηθούν. και εν συνεχεία να διαστασιολογήσουν κατά το βέλτιστο τρόπο κάθε μία από αυτές. Το λογισμικό απαλλάσσει τους μελετητές από το να καταβάλλουν μεγάλη προσπάθεια και από τις αυξημένες δαπάνες, περιορίζοντας τις επιλογές του αρχικού σχεδιασμού στο στάδιο της προκαταρκτικής ανάλυσης σκοπιμότητας (πιθανοτική ανάλυση).

### Προσαρμοσμένα εργαλεία σχεδιασμού για χρήση από τους μηχανικούς

Συχνά οι μηχανικοί ενός έργου θέλουν περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες από αυτές που παρουσιάζονται στις εκδόσεις του Homer Energy που απευθύνονται στο ευρύ κοινό. Για παράδειγμα, μπορεί να θέλουν αλγόριθμους ή οικονομικές δομές που να είναι ειδικά σχεδιασμένες για τα έργα τους ή ακόμη και ιδιοταγείς τεχνολογίες. Η εταιρεία Homer Energy LLC μπορεί να δημιουργήσει προσαρμοσμένες και επώνυμες εκδόσεις του λογισμικού Homer Energy για τους πελάτες – επιχειρήσεις που το επιθυμούν, ώστε να είναι εφικτή η χρήση του προγράμματος από τους μελετητές του προσωπικού τους.

### 5.1.3 Προσομοίωση, βελτιστοποίηση, ανάλυση ευαισθησίας

Το λογισμικό Homer Energy παρέχει με αναλυτική χρονολογική ακρίβεια την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση σε ένα μοντέλο που είναι σχετικά απλό και εύκολο στη χρήση, ενώ παράλληλα είναι προσαρμόσιμο σε μία ευρεία ποικιλία τοπολογιών. Για ένα σύστημα ενέργειας της τάξης ενός χωριού ή μίας κοινότητας, το πρόγραμμα μπορεί να μοντελοποιήσει τόσο τους τεχνικούς όσο και τους οικονομικούς παράγοντες που συμμετέχουν στο έργο. Για μεγαλύτερα συστήματα, το λογισμικό μπορεί να προσφέρει μια περιεκτική επισκόπηση για τη σύγκριση του κόστους και της σκοπιμότητας των διαφόρων συνθέσεων του. Στη συνέχεια, οι σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν πιο εξειδικευμένο λογισμικό για να μοντελοποιήσουν τις τεχνικές επιδόσεις.

Το λογισμικό Homer Energy είναι προσιτό σε ένα ευρύ σύνολο χρηστών, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών που δεν έχουν άμεση σχέση με τη λήψη αποφάσεων. Η χρονολογική προσομοίωση είναι απαραίτητη για την μοντελοποίηση διαφόρων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική και για τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, όπου το θερμικό φορτίο είναι μεταβλητό. Η ανάλυση ευαισθησίας του λογισμικού βοηθά στο να καθοριστεί ο πιθανός αντίκτυπος των αστάθμητων παραγόντων, όπως οι τιμές των καυσίμων ή της ταχύτητας του ανέμου σε ένα δεδομένο σύστημα, με την πάροδο του χρόνου.

Σε μια ανάλυση ευαισθησίας, ο χρήστης εισάγει στο Homer ένα εύρος τιμών για μία μεμονωμένη μεταβλητή είσοδο. Η μεταβλητή για την οποία ο χρήστης εισάγει πολλαπλές τιμές ονομάζεται μεταβλητή ευαισθησίας. Σχεδόν κάθε αριθμητική μεταβλητή εισόδου στο Homer που δεν είναι *μεταβλητή απόφασης* (decision variable), μπορεί να είναι μια μεταβλητή ευαισθησίας. Μερικά παραδείγματα τέτοιων μεταβλητών είναι η τιμή ανά μονάδα ενέργειας του δικτύου, η τιμή των καυσίμων, το επιτόκιο ή η διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών. Ποσότητες που προκύπτουν από το σύνολο των δεδομένων μίας ώρας, όπως το φορτίο και τα δεδομένα των πόρων από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούν επίσης να είναι μεταβλητές ευαισθησίας.

Ο χρήστης του λογισμικού Homer Energy μπορεί να εκτελέσει μια ανάλυση ευαισθησίας με οποιοδήποτε αριθμό μεταβλητών ευαισθησίας. Κάθε συνδυασμός των μεταβλητών τιμών ευαισθησίας ορίζει μια διακριτή υπόθεση ευαισθησίας. Για παράδειγμα, εάν ο χρήστης καθορίσει 6 τιμές για την τιμή ανά μονάδα ενέργειας του δικτύου και 4 τιμές για το επιτόκιο, το λογισμικό ορίζει συνολικά 24 διαφορετικές περιπτώσεις ευαισθησίας. Το Homer Energy εκτελεί μια ξεχωριστή διαδικασία βελτιστοποίησης για κάθε περίπτωση ευαισθησίας και παρουσιάζει τα αποτελέσματα μέσω διαφόρων πινάκων και γραφημάτων.

Μία από τις κύριες χρήσεις της ανάλυσης ευαισθησίας είναι η συμβολή στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Εάν ο σχεδιαστής του συστήματος δεν είναι σίγουρος για την τιμή μιας συγκεκριμένης παραμέτρου εισόδου, μπορεί να εισάγει διάφορες τιμές που καλύπτουν το πιθανό εύρος και να εξετάσει πώς τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου αυτής.

Ωστόσο, η ανάλυση ευαισθησίας έχει εφαρμογές πέρα από την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Ένας μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει την ανάλυση ευαισθησίας για να αξιολογήσει συμβιβασμούς και να δώσει απαντήσεις σε ερωτήματα όπως: *‘Πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η επένδυση κεφαλαίων που απαιτούνται για την επίτευξη 50 % ή 100 % της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο σύστημα;’* Ένας σχεδιαστής ενεργειακών συστημάτων μπορεί να προσδιορίσει ποιες τεχνολογίες ή ποιος συνδυασμός τεχνολογιών, αποτελεί την βέλτιστη επιλογή κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Ένας αναλυτής αγοράς μπορεί να καθορίσει σε ποια τιμή, ή υπό ποιες συνθήκες, ένα προϊόν (π.χ. μια κυψέλη καυσίμου ή μια ανεμογεννήτρια ) ανταγωνίζεται τις εναλλακτικές λύσεις. Ένας πολιτικός αναλυτής μπορεί να καθορίσει το επίπεδο των κινήτρων για την τόνωση της αγοράς για μια συγκεκριμένη τεχνολογία, ή ποιό επίπεδο ποινής εκπομπών ρύπων θα στρέψει την οικονομία προς καθαρότερες τεχνολογίες .

Μια πρόκληση που συχνά αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μικροδικτύων είναι η αβεβαιότητα στις καθοριστικής σημασίας μεταβλητές. Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να βοηθήσει τους σχεδιαστές συστημάτων στην κατανόηση των επιπτώσεων της αβεβαιότητας στα υπό μελέτη συστήματα και να λαμβάνουν σωστές αποφάσεις σχεδιασμού, παρά την αβεβαιότητα.

Το λογισμικό Homer Energy μοντελοποιεί τόσο συμβατικές όσο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και πληθώρα αποθηκευτικών μέσων και φορτίων (Πίνακας 6.1).

*Πίνακας 10 Ενεργειακό πεδίο δραστηριοποίησης του λογισμικού Homer Energy*

<b>Πηγές ισχύος</b>	Ηλιακά φωτοβολταϊκά
	Ανεμογεννήτριες
	Υδροηλεκτρικές μονάδες
	Μονάδες βιομάζας
	Γεννήτριες (ντήζελ, βενζίνη, βιοαέριο, εναλλακτικά καύσιμα)
	Ηλεκτρικό δίκτυο κοινής ωφέλειας
	Μικροστρόβιλοι
<b>Αποθηκευτικά μέσα</b>	Κυψέλες καυσίμου
	Σφόνδυλοι
	Συστοιχία συσσωρευτών
	Συσσωρευτές ροής
<b>Φορτία</b>	Υδρογόνο
	Καθημερινού προφίλ με εποχιακή διακύμανση
	Δευτερεύοντα διακοπτόμενης λειτουργίας φορτία (άντληση νερού, ψύξη)
	Θερμικά (θέρμανση χώρων, ξήρανση καλλιεργειών)
	Μέτρα ενεργειακής απόδοσης

## 5.2 Περιβάλλον εργασίας χρήστη

Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Homer Energy έχει σχεδιαστεί για να απλοποιήσει το έργο της εισαγωγής δεδομένων και προσφέρει πολλές εναλλακτικές μορφές για την προβολή των αποτελεσμάτων. Το πρόγραμμα προσφέρει ένα σύστημα βοήθειας που παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του λογισμικού, καθώς και συνδέσμους προς ιστοσελίδες με πληροφορίες για τους απαραίτητους πόρους. Οι οδηγίες που περιλαμβάνονται στο λογισμικό (Getting Started Guide), καθοδηγούν το χρήστη με τα κατάλληλα βήματα μιας πλήρους ανάλυσης.

Η σχηματική απεικόνιση εμφανίζει τα στοιχεία του συστήματος που θα προσομοιώσει το λογισμικό και επιτρέπει τη γρήγορη πρόσβαση στα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία κάθε συνιστώσας του. Οι μεταβλητές για το/τα φορτία, τις συνιστώσες και τους απαραίτητους πόρους, εισάγονται με τη βοήθεια καθορισμένων εκτελέσιμων παραθύρων, ενώ σε περίπτωση έλλειψης στοιχείων το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να συνθέτει μόνο του τις απαραίτητες πληροφορίες που σχετίζονται με την ηλεκτρική ζήτηση, την χωρητικότητα και το κόστος των συστατικών στοιχείων και τη διαθεσιμότητα των πόρων.

Τα εκτελέσιμα παράθυρα *Βελτιστοποίησης* και *Ανάλυσης Ευαισθησίας* επιτρέπουν την εισαγωγή ενός αριθμού διακριτών τιμών, για τις περιπτώσεις που επιδιώκεται βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενός συστήματος ή εκτέλεση ανάλυσης ευαισθησίας σε μία μεταβλητή εισόδου. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί το χαμηλότερο δυνατό κόστος ανά κύκλο/διάρκεια ζωής. Το λογισμικό Homer Energy εμφανίζει τα αποτελέσματα της *Προσομοίωσης*, της *Βελτιστοποίησης* και της *Ανάλυσης Ευαισθησίας*, σε πίνακες και σε γραφήματα. Δίνεται δε η δυνατότητα αποθήκευσης των στοιχείων αυτών για μελλοντική χρήση, καθώς και εξαγωγής τους σε άλλα περιβάλλοντα εργασίας.

## 5.3 Σημαντικότεροι χρήστες

Σήμερα πολλές επιχειρήσεις στο χώρο της ενέργειας, πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα, αλλά και κυβερνητικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν το λογισμικό Homer Energy με στόχο τη σύνθεση ενεργειακών μοντέλων μικροδικτύων με χρήση ΑΠΕ και την εξαγωγή ρεαλιστικών τεχνοοικονομικών αποτελεσμάτων. Οι πιο συνηθισμένες εργασίες στο επίπεδο της μοντελοποίησης, της βελτιστοποίησης και της ανάλυσης ευαισθησίας είναι η μελέτη υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για στρατιωτικούς σκοπούς, για την παροχή αδιάλειπτης ηλεκτρικής ισχύος σε απομακρυσμένες από το δίκτυο τηλεπικοινωνιακές μονάδες καθώς και διάφορα ερευνητικά προγράμματα.

Ιδιαίτερη ενδιαφέρον υπάρχει για τη μοντελοποίηση υβριδικών συστημάτων παροχής ενέργειας σε οικισμούς και αυτόνομα συμπλέγματα νήσων (island governments) που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από το χερσαίο ηπειρωτικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υβριδικά συστήματα συναντώνται συχνά πλέον σε δημοτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία και σε επιχειρήσεις όπως τα διυλιστήρια πετρελαίου και φυσικού αερίου, οπουδήποτε δηλαδή η αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρισμού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα.

## 5.4 Συνιστώσες του υπό εξέταση συστήματος

Στο λογισμικό Homer Energy, ως συνιστώσα ορίζεται οποιοδήποτε μέρος του συστήματος ενός μικροδικτύου που παράγει, προσφέρει, μετατρέπει ή αποθηκεύει την ενέργεια. Σε αυτή την ενότητα δίνεται μια περιγραφή του τρόπου μοντελοποίησης αυτών των συνιστωσών και αναφέρονται οι σχετικές φυσικές και οικονομικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται.

### Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Το λογισμικό μοντελοποιεί τη συστοιχία των φωτοβολταϊκών σαν μία συσκευή που παράγει ηλεκτρική ενέργεια (σε DC τοπολογία) σε άμεση αναλογία με την παγκόσμια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε αυτήν, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία και την τάση στην οποία είναι εκτεθειμένη. Το Homer Energy υπολογίζει την ισχύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S}$$

όπου,  $f_{PV}$  είναι ο παράγοντας αποδιαβάθμισης του φωτοβολταϊκού,  $Y_{PV}$  η ονομαστική χωρητικότητα του φωτοβολταϊκού (kW),  $I_T$  η παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει επί της επιφάνειας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας ( $\text{kW/m}^2$ ), και το  $I_S$  είναι  $1 \text{ kW/m}^2$ , το οποίο είναι το τυπικό ποσό ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η ικανότητα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

### Ανεμογεννήτρια

Το λογισμικό μοντελοποιεί την ανεμογεννήτρια ως μια συσκευή που μετατρέπει το κινητική ενέργεια του ανέμου ηλεκτρική ενέργεια (σε AC ή DC τοπολογία), σύμφωνα με μια συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος, (ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος της πλήμνης). Η καμπύλη ισχύος εφαρμόζεται σε τυπική πυκνότητα αέρα  $1.225 \text{ kg/m}^3$  (Κ.Σ. ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας).

Για κάθε ωριαίο βήμα, το λογισμικό υπολογίζει την ισχύ της ανεμογεννήτριας με μία διαδικασία 4 βημάτων. Πρώτον, καθορίζει την μέση ταχύτητα του ανέμου για μία ώρα λειτουργίας στο ύψος του ανεμομέτρου, έχοντας για αναφορά τα στοιχεία των μετρήσεων αιολικού δυναμικού. Δεύτερον, υπολογίζει την αντίστοιχη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιώντας είτε λογαριθμική είτε εκθετική συνάρτηση. Τρίτον, αναφέρεται στην καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας ώστε να υπολογίσει την ισχύ εξόδου της σε αυτήν την ταχύτητα ανέμου και θεωρώντας την τυπική πυκνότητα αέρα. Τέταρτον, πολλαπλασιάζει την τιμή της ισχύος στην έξοδο της ανεμογεννήτριας με τον αριθμητικό λόγο της πυκνότητας του αέρα, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής πυκνότητας του αέρα προς την τυποποιημένη πυκνότητα του αέρα.

## Γεννήτρια καυσίμου

Μια γεννήτρια ντήζελ καταναλώνει καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και θερμότητας ως υποπροϊόν. Η ενότητα επιλογής γεννήτριας του Homer Energy είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να διαμορφώσει ένα ευρύ φάσμα γεννητριών, συμπεριλαμβανομένων των γεννητριών με κινητήρα εσωτερικής καύσης, μικροστρόβιλων, κυψελών καυσίμου, κινητήρων Stirling και θερμοηλεκτρικών γεννητριών. Το λογισμικό μπορεί να διαμορφώσει ένα σύστημα που περιλαμβάνει γεννήτριες, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να είναι σε τοπολογία AC ή DC, και μπορεί να καταναλώνει διαφορετικό καύσιμο.

Οι κύριες φυσικές ιδιότητες της γεννήτριας είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ηλεκτρικής ισχύος στην έξοδό της, η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της σε ώρες λειτουργίας, ο τύπος του καυσίμου που καταναλώνει, και η καμπύλη του καυσίμου το οποίο αφορά το ρυθμό κατανάλωσης του καυσίμου κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Homer Energy, μια γεννήτρια μπορεί να καταναλώσει οποιοδήποτε από τα καύσιμα που περιλαμβάνονται στη βιβλιοθήκη του καυσίμων (στην οποία οι χρήστες μπορούν να προσθέσουν τα δικά τους καύσιμα) ή ένα από τα δύο ειδικά καύσιμα: υδρογόνο παραγόμενο από ηλεκτρόλυση και αποθηκευμένο σε δεξαμενή υδρογόνου, ή βιομάζα που προέρχεται από μια πηγή βιομάζας. Είναι επίσης δυνατόν να γίνει συνδυαστική καύση σε μια γεννήτρια μίγματος βιομάζας και άλλου καυσίμου.

Το λογισμικό υποθέτει ότι η καμπύλη καυσίμου είναι ευθεία γραμμή και χρησιμοποιεί την ακόλουθη εξίσωση για την κατανάλωση καυσίμου της γεννήτριας:

$$F = F_0 Y_{gen} + F_1 P_{gen}$$

όπου,  $F_0$  είναι ο συντελεστής τομής της καμπύλης των καυσίμων,  $F_1$  είναι η κλίση της καμπύλης των καυσίμων,  $Y_{gen}$  η ονομαστική χωρητικότητα της γεννήτριας (σε kW), και  $P_{gen}$  η ισχύς εξόδου της γεννήτριας (σε kW). Οι μονάδες του  $F$  εξαρτώνται από τις μονάδες μέτρησης του καυσίμου. Εάν η ποσότητα του καυσίμου εκφράζεται σε λίτρα, οι μονάδες κατανάλωσης καυσίμου είναι L/h. Εάν το καύσιμο εκφράζεται σε  $m^3$  ή kg, οι μονάδες είναι  $m^3/h$  ή kg/h, αντίστοιχα. Κατά τον ίδιο τρόπο, οι μονάδες του  $F_0$  και του  $F_1$  εξαρτώνται από τις μονάδες μέτρησης του καυσίμου. Για τα καύσιμα που εκφράζονται σε λίτρα, οι μονάδες της  $F_0$  και  $F_1$  είναι L/h  $\times$  kW.

Για μια γεννήτρια που παρέχει θερμότητα καθώς και ηλεκτρική ενέργεια, ο χρήστης καθορίζει επίσης την αναλογία ανάκτησης θερμότητας.



Το Homer Energy χρησιμοποιεί την ακόλουθη εξίσωση για τον υπολογισμό του πάγιου κόστους ενέργειας της γεννήτριας:

$$C_{gen, fixed} = C_{om, gen} + \frac{C_{rep, gen}}{R_{gen}} + F_0 Y_{gen} C_{fuel, eff}$$

όπου  $C_{om, gen}$  είναι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης σε δολάρια (USD) ανά ώρα,  $C_{rep, gen}$  το κόστος αντικατάστασης σε δολάρια,  $R_{gen}$  η διάρκεια ζωής της γεννήτριας σε ώρες,  $F_0$  ο συντελεστής τομής της καμπύλης των καυσίμων, σε ποσότητα καυσίμου ανά ώρα ανά κιλοβάτ,  $Y_{gen}$  η ισχύς της γεννήτριας (kW), και  $C_{fuel, eff}$  η ισχύουσα τιμή του καυσίμου σε δολάρια ανά ποσότητα καυσίμου. Η ισχύουσα τιμή του καυσίμου περιλαμβάνει το κόστος των κυρώσεων, εάν υπάρχει, το οποίο συνδέεται με τις εκπομπές ρύπων από τη γεννήτρια.

Επίσης, το λογισμικό υπολογίζει το οριακό κόστος της παραγόμενης από τη γεννήτρια ενέργειας χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$C_{gen, mar} = F_1 C_{fuel, eff}$$

όπου  $F_1$  είναι η κλίση της καμπύλης των καυσίμων σε ποσότητα καυσίμου ανά ώρα και ανά κιλοβατώρα, και  $C_{fuel, eff}$  είναι η ισχύουσα τιμή του καυσίμου (συμπεριλαμβανομένου του κόστους των ενδεχόμενων κυρώσεων από εκπομπές ρύπων) σε δολάρια ανά ποσότητα καυσίμου.

### Συστοιχία συσσωρευτών

Το λογισμικό προσφέρει μια βιβλιοθήκη από οικογένειες αλλά και μεμονωμένους συσσωρευτές. Το Homer μοντελοποιεί ένα ενιαίο συσσωρευτή (battery bank) ως μια συσκευή που μπορεί να αποθηκεύσει ένα ορισμένο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας με μια σταθερή ενεργειακή απόδοση, με όρια ως προς την ταχύτητα φόρτισης ή εκφόρτισης, το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης του χωρίς να προκληθεί ζημιά και την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να 'ανακυκλωθεί' προτού χρειαστεί αντικατάσταση. Το λογισμικό υποθέτει ότι οι ιδιότητες των μπαταριών παραμένουν σταθερές καθ 'όλη τη διάρκεια της ζωής τους και δεν επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία.

Στο λογισμικό Homer Energy, οι βασικές φυσικές ιδιότητες της μπαταρίας είναι η ονομαστική τάση, η καμπύλη ισχύος, η καμπύλη διάρκειας ζωής, το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης, και της αποδοτικότητας του κύκλου φόρτισης/εκφόρτισης. Η καμπύλη ισχύος δείχνει την ικανότητα εκφόρτισης της μπαταρίας (σε Ah) σε σχέση με το ρεύμα εκφόρτισης. Η καμπύλη διάρκειας ζωής δείχνει τον αριθμό των κύκλων που ο συσσωρευτής μπορεί να φορτιστεί/εκφορτιστεί σε σχέση με το βάθος των κύκλων (cycle depth). Ο αριθμός των κύκλων μέχρι την καταστροφή και μη αποδοτική λειτουργία του συσσωρευτή τυπικά μειώνεται με την αύξηση του βάθους των κύκλων.

Η υπόθεση ότι η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών είναι ανεξάρτητη από το βάθος των κύκλων σημαίνει ότι το Homer Energy μπορεί να εκτιμήσει τη ζωή της συστοιχίας των συσσωρευτών απλά με την παρακολούθηση της ποσότητας της ενέργειας που διέρχεται μέσω αυτών, χωρίς να χρειάζεται να εξετάσει το βάθος των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης.

Η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή υπολογίζεται ως εξής:

$$R_{batt} = \min \left( \frac{N_{batt} Q_{lifetime}}{Q_{thrpt}}, R_{batt,f} \right)$$

όπου  $N_{batt}$  είναι ο αριθμός των συσσωρευτών της συστοιχίας,  $Q_{lifetime}$  η διάρκεια ζωής ενός εκ των συσσωρευτών,  $Q_{thrpt}$  η ετήσια διέλευση ενέργειας (η συνολική ενέργεια που διέρχεται μέσω της συστοιχίας σε ένα χρόνο) και  $R_{batt,f}$  η μέγιστη διάρκεια ζωής ανεξάρτητα από την απόδοση.

Το λογισμικό υπολογίζει το κόστος της φθοράς του συσσωρευτή ως εξής:

$$c_{bw} = \frac{C_{rep,batt}}{N_{batt} Q_{lifetime} \sqrt{\eta_{rt}}}$$

όπου  $C_{rep,batt}$  είναι το κόστος αντικατάστασης της συστοιχίας των συσσωρευτών,  $N_{batt}$  είναι ο αριθμός των συσσωρευτών της συστοιχίας,  $Q_{lifetime}$  είναι η συνολική διακίνηση ισχύος στη διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή (kWh), και  $\eta_{rt}$  είναι η απόδοση του κύκλου φόρτισης/εκφόρτισης.

### Μετατροπέας

Ο μετατροπέας είναι μια συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια από DC σε AC μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται *αντιστροφή*, και/ή από AC σε DC μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται *ανόρθωση*. Το λογισμικό μπορεί να μοντελοποιήσει τους εξής δύο τύπους μετατροπέων: solid-state converters και rotating converters. Το μέγεθος του μετατροπέα αποτελεί μία μεταβλητή που καθορίζει ο χρήστης, αναφέρεται δε στην ισχύ του μετατροπέα, δηλαδή τη μέγιστη ισχύ που η συσκευή μπορεί να παράγει στο δίκτυο εναλλασσομένου ρεύματος αντιστρέφοντας το συνεχές ρεύμα. Επίσης, ο χρήστης καθορίζει την ισχύ του ανορθωτή, η οποία αποτελεί τη μέγιστη ποσότητα ισχύος που η συσκευή μπορεί να παράγει στο ζυγό συνεχούς ρεύματος μέσω της ανόρθωσης εναλλασσομένου ρεύματος, ως ποσοστό της ισχύος του αντιστροφέα. Κατά συνέπεια, η ικανότητα ανόρθωσης δεν είναι μια ξεχωριστή μεταβλητή. Το Homer Energy υποθέτει ότι ο αντιστροφέας και ο ανορθωτής έχουν την ικανότητα να ανταποκριθούν σε απότομη αύξηση της ισχύος για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται και όχι μόνο για ένα σύντομο χρονικό διάστημα.

Ο χρήστης του λογισμικού υποδεικνύει εάν ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα με μια άλλη πηγή ισχύος εναλλασσομένου ρεύματος, όπως μια γεννήτρια ή το δίκτυο. Για να γίνει αυτό ο αντιστροφέας πρέπει να συγχρονιστεί με την AC συχνότητα, μια ικανότητα που ορισμένοι τύποι μετατροπέων δεν έχουν. Οι τελικές φυσικές ιδιότητες του μετατροπέα είναι η αποτελεσματικότητα της αντιστροφής και της ανόρθωσης, τις οποίες το λογισμικό υποθέτει ότι παραμένουν σταθερές.

### Συσκευή Ηλεκτρόλυσης

Η συσκευή ηλεκτρόλυσης καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό την παραγωγή υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού. Στο Homer Energy ο χρήστης καθορίζει το μέγεθος της συσκευής ηλεκτρόλυσης, η οποία είναι μεταβλητή όσον αφορά τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ της. Επίσης, ο χρήστης ορίζει αν η συσκευή ηλεκτρόλυσης καταναλώνει ισχύ από τον AC ή τον DC ζυγό, καθώς και την αποδοτικότητα με την οποία μετατρέπει την ισχύ αυτή σε υδρογόνο.

Το λογισμικό καθορίζει την αποδοτικότητα της ηλεκτρόλυσης με βάση το ενεργειακό περιεχόμενο (την υψηλότερη τιμή θέρμανσης) του υδρογόνου που παράγεται προς το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Οι τελικές φυσικές ιδιότητες της συσκευής ηλεκτρόλυσης είναι η ελάχιστη αναλογία φορτίου, η οποία είναι η ελάχιστη ισχύς εισόδου στην οποία μπορεί να λειτουργήσει και εκφράζεται ως ποσοστό της μέγιστης ισχύος εισόδου.

### Δεξαμενή Υδρογόνου

Στο λογισμικό Homer Energy η δεξαμενή υδρογόνου αποθηκεύει το υδρογόνο που παράγεται από τη συσκευή ηλεκτρόλυσης με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ετεροχρονισμένα σε μια γεννήτρια που λειτουργεί με υδρογόνο (κυψέλη καυσίμου). Ο σχεδιαστής του συστήματος καθορίζει το μέγεθος της δεξαμενής υδρογόνου, η οποία είναι μια μεταβλητή, από την άποψη ότι μεταβάλλεται η μάζα του υδρογόνου που μπορεί να περιέχει. Το λογισμικό υποθέτει ότι αυτή καθ'αυτή η διαδικασία αποθήκευσης υδρογόνου στη δεξαμενή δεν απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια και ότι η φυσικά δεξαμενή δεν παρουσιάζει καμία διαρροή.

Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την αρχική ποσότητα του υδρογόνου στη δεξαμενή, είτε ως ποσοστό του μεγέθους της δεξαμενής είτε ως απόλυτο ποσό σε χιλιόγραμμα. Επίσης, είναι δυνατόν να σχεδιαστεί το σύστημα με τέτοιο τρόπο ώστε η στάθμη της δεξαμενής στο τέλος του έτους να ισούται τουλάχιστον με την αρχική στάθμη της δεξαμενής. Εάν ο χρήστης επιλέξει να εφαρμόσει αυτόν τον περιορισμό, το λογισμικό θα εξετάσει και θα θεωρήσει ως ανέφικτη κάθε διαμόρφωση συστήματος του οποίου η δεξαμενή υδρογόνου περιέχει λιγότερο υδρογόνο στο τέλος της προσομοίωσης από ότι στην αρχή της. Αυτό εξασφαλίζει ότι το σύστημα διέπεται από αυτάρκεια υδρογόνου [47].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

#### 6.1 Εισαγωγή

Είναι σαφές ότι σε ένα μικρό μη-διασυνδεδεμένο νησί όπως ο Αγ. Ευστράτιος, η έννοια του μικροδικτύου που συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 3 δεν αποτελεί απλώς μια από τις επιλογές ως προς τη διαχείριση του συστήματος, αλλά πραγματικότητα. Σήμερα ωστόσο, με δεδομένη τη σχεδόν πλήρη εξάρτηση της ενεργειακής παραγωγής από πετρελαϊκές μονάδες, η προτεινόμενη σύνδεση στο σύστημα μονάδων παραγωγής ΑΠΕ εισάγει μια σειρά από προκλήσεις. Ζητήματα όπως η έκταση της διείσδυσης τέτοιων μονάδων, η σύνθεση του μείγματος των διαφόρων τεχνολογιών, η χρήση αποθήκευσης ενέργειας (σε ηλεκτρική ή άλλη μορφή), καθώς και θέματα όπως η ασφάλεια του συστήματος, η απελευθέρωση ρύπων στο περιβάλλον και η οικονομική βιωσιμότητα, αποτελούν αντικείμενα μελέτης, ορισμένα από τα οποία θα εξετασθούν στη συνέχεια.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκαν στοιχεία σχετικά με το υφιστάμενο αυτόνομο σύστημα του Αγίου Ευστρατίου, δηλαδή τις μονάδες παραγωγής και τα χαρακτηριστικά του φορτίου, καθώς και για τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο νησί. Περιγράφηκε επίσης σε αδρές γραμμές ένα υβριδικό σύστημα το οποίο έχει προταθεί προς υλοποίηση στα πλαίσια του ερευνητικού-επιδεικτικού έργου “Αγ. Ευστράτιος – Πράσινο νησί”, με στόχο τη σταδιακή απεξάρτηση του νησιού από συμβατικά/ορυκτά καύσιμα, τουλάχιστον όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο παρόν κεφάλαιο, μετά από μια σύντομη ανασκόπηση των κυριότερων σχετικών δημοσιευμένων εργασιών, εξετάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της παρούσας κατάστασης του συστήματος του νησιού, αλλά και διάφορα σενάρια εισαγωγής τεχνολογιών παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, με τη βοήθεια του εξομοιωτικού προγράμματος HOMER το οποίο παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5. Εκτός από τα τεχνικά στοιχεία όπως η διαστασιολόγηση και διασύνδεση των μονάδων ή τα λειτουργικά στοιχεία όπως η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας και η περίσσεια ενέργειας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα οικονομικά στοιχεία, όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Cost – NPC), το Αρχικό Κεφάλαιο (Initial Capital) και το λειτουργικό κόστος (Operational Cost) της επένδυσης.

Ακολουθούν συνοπτικά αποτελέσματα από αναλύσεις ευαισθησίας ως προς τις κυριότερες παραμέτρους για ορισμένα από τα σενάρια.

## 6.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Το πρόγραμμα HOMER έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των τεχνοοικονομικών παραμέτρων αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων σε διπλωματικές εργασίες του ΕΜΠ που αφορούν τη χρήση τεχνολογιών υδρογόνου [48-49] και λοιπών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [50-51], αλλά και σε πληθώρα δημοσιεύσεων σε έγκυρες τεχνικές εκδόσεις σχετικά με τη μελέτη υβριδικών συστημάτων [52-56].

Άλλες δημοσιευμένες εργασίες αναφέρονται στη μελέτη η/και διαστασιολόγηση αυτόνομων συστημάτων που περιλαμβάνουν μονάδες αιολικών και φωτοβολταϊκών σε συνδυασμό με ντήζελ [57-61], ή φωτοβολταϊκών-ντήζελ [62-63].

Τέλος, σε διάφορες εργασίες όπως των Manfren et al. [64] και Erdinc et al. [65] έχει γίνει ανασκόπηση των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων προγραμμάτων για υβριδικά συστήματα και συγκριτική παρουσίαση των δυνατοτήτων και περιορισμών τους. Σε ορισμένες από αυτές, όπως των Sunanda Sinha et al.[66], παρουσιάζονται και παραδείγματα εφαρμογών.

## 6.3 Μελέτη μικροδικτύου για το νησί Αγ. Ευστράτιος

Στο Κεφάλαιο 4 και πιο συγκεκριμένα στην παράγραφο 4.3.1 αναφέρθηκαν τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων μονάδων του Τοπικού Σταθμού Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου φαίνεται ότι μέσα στα επόμενα χρόνια οι δύο παλαιότερες μονάδες ντήζελ 90kW ολοκληρώνουν το χρόνο ζωής τους και οι υπόλοιπες τρεις 220kW θα έπρεπε να αναλάβουν αποκλειστικά την εξυπηρέτηση του φορτίου του νησιού, σε περίπτωση που δεν συνδεθούν στο δίκτυο άλλες μονάδες παραγωγής. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι στο σύστημα περιλαμβάνεται μια μικρή ανεμογεννήτρια 20kW η οποία είναι εγκατεστημένη και συνδεδεμένη στο δίκτυο Χ.Τ., παρουσιάζει όμως χαμηλή διαθεσιμότητα και δεν θα προσομοιωθεί.

### 6.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη

- Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Cost – NPC): Μέγεθος με βάση το οποίο είναι δυνατό να συγκριθούν και να ταξινομηθούν διαφορετικά συστήματα ως προς τα οικονομικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων επενδυτικών σχεδίων.
- Αρχικό Κεφάλαιο (Initial Capital): Το αρχικό κεφάλαιο του επενδυτικού σχεδίου.
- Διείσδυση ΑΠΕ (RE penetration): Το ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΑΠΕ, επί του μέσου ετήσιου φορτίου του συστήματος. (Ως στιγμιαίο μέγεθος συνήθως εκφράζεται ως το ποσοστό της παραγόμενης ισχύος από ΑΠΕ, επί της ονομαστικής ισχύος των εν λειτουργία συμβατικών μονάδων (ντήζελ κτλ.)
- Σύνθεση μείγματος PV-WT (PV-WT share): Οι εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών και αιολικών μονάδων αντίστοιχα σε ένα σύστημα, ως ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΑΠΕ.

### 6.3.2 Στοιχεία εισόδου και παραδοχές

Οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ (καθώς και οι επιμέρους τιμές φωτοβολταϊκών και αιολικών) προκύπτουν σε ακέραια kW και στην περίπτωση των αιολικών δεν αντιπροσωπεύουν κάποια ή κάποιες συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί μια γενική καμπύλη ισχύος με κατάλληλο κάθε φορά συντελεστή κλίμακας. Παρατίθενται στη συνέχεια τα κυριότερα στοιχεία εισόδου και παραδοχές της μελέτης.

#### Στοιχεία εισόδου

- Ετήσια χρονοσειρά μέσων ωριαίων τιμών ταχύτητας ανέμου: Κεφ. 4, παρ. 4.2.1
- Συντελεστής χρησιμοποίησης αιολικών (Capacity Factor): 48.1%
- Μέσες μηνιαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας: Κεφ. 4, παρ. 4.2.2
- Συντελεστής χρησιμοποίησης φωτοβολταϊκών (Capacity Factor): 16.5%
- Καύσιμο ντήζελ: κόστος 1.4 \$/L, Πυκνότητα 820 kg.m<sup>-3</sup>
- Τεχνικό ελάχιστο μονάδων ντήζελ: 50% της ονομαστικής ισχύος
- Στρεφόμενη εφεδρεία αθροιστικά ως:
  - 10% του μέσου ωριαίου φορτίου
  - 0% της μέσης ωριαίας ισχύος παραγόμενης από φωτοβολταϊκά
  - 0% της μέσης ωριαίας ισχύος παραγόμενης από ανεμογεννήτριες
- Ετήσια χρονοσειρά μέσων ωριαίων τιμών φορτίου: Κεφ. 4, παρ. 4.3.2
- Διάρκεια ζωής της επένδυσης: 20 έτη
- Ετήσιο επιτόκιο: 5%

#### Παραδοχές

- Χρησιμοποιείται η μέθοδος “load-following” όπου οι γεννήτριες ντήζελ παράγουν μόνο την απαιτούμενη για την εξυπηρέτηση του φορτίου ισχύ. Έτσι, όταν υπάρχει πλεόνασμα ισχύος από μη ελεγχόμενες πηγές (ΑΠΕ), αυτή εξυπηρετεί τη φόρτιση των συσσωρευτών.
- Όσον αφορά την ένταξη των μονάδων παραγωγής, η προσομοίωση με το λογισμικό Homer είναι εξιδανικευμένη με την έννοια ότι θεωρεί πως το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου λειτουργεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί το κόστος για τη συνολική διάρκεια ζωής της επένδυσης, σε αντίθεση με ένα πραγματικό σύστημα.

## 6.4 Αποτελέσματα

Αρχικά εξετάζεται μια προσομοίωση της παρούσας κατάστασης του συστήματος, ως σενάριο αποκλειστικής χρήσης μονάδων ντήζελ για διάρκεια 20 ετών. Ακολούθως παρουσιάζονται σενάρια που περιλαμβάνουν τη συνεισφορά τεχνολογιών ΑΠΕ σε τοπολογία υβριδικού συστήματος και τέλος εξετάζεται το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ και αποθήκευσης.

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης που έχει τη δυνατότητα να υλοποιεί το λογισμικό για κάθε ελεύθερη παράμετρο με βάση την Καθαρή Παρούσα Αξία για το εκάστοτε εξεταζόμενο σενάριο. Πιο συγκεκριμένα εκτός από το σενάριο παρούσας κατάστασης (που αφορά την αποκλειστική χρήση μονάδων ντήζελ) και το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ έχουν επιλεγεί και παρουσιάζονται άλλα 4 σενάρια τα οποία αντιπροσωπεύουν το βέλτιστο επίπεδο διείσδυσης ΑΠΕ για κάθε μια από τις διαφορετικές συνθέσεις του μείγματος εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών και αιολικών μονάδων, ήτοι 10%-90%, 30%-70%, 50%-50% και 70%-30% αντίστοιχα. Για τη σύνθεση μείγματος 90%-10% δεν προσδιορίστηκε βέλτιστο σενάριο για το εύρος διείσδυσης που διερευνήθηκε. Τα αναλυτικά στοιχεία των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στο Παράρτημα σε μορφή πινάκων ή/και διαγραμμάτων.

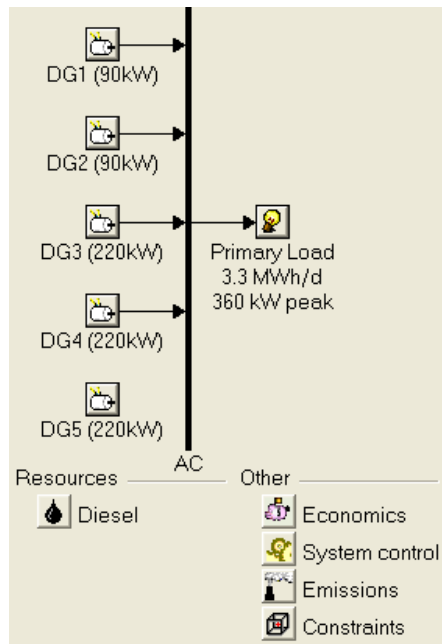
### 6.4.1 Σενάριο παρούσας κατάστασης συστήματος (DG)

Από τη μελέτη του συστήματος προκύπτει ότι για την εξυπηρέτηση του φορτίου επαρκούν οι 2 μονάδες 90kW μαζί με 2 μονάδες 220kW. Για την παρουσίαση των χαρακτηριστικών λειτουργίας του συστήματος με την παρούσα σύνθεσή του χρησιμοποιήθηκε μοντελοποίησή του με τη βοήθεια του λογισμικού Homer Energy όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Έτσι εξετάστηκε μια βελτιστοποιημένη λειτουργία του συστήματος, η οποία συνίσταται κυρίως στην κατά το δυνατόν μείωση της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου (ντήζελ), άρα και του κόστους λειτουργίας. Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται επίσης η παραγόμενη ενέργεια για κάθε μονάδα παραγωγής, η κατανάλωση στο φορτίο, καθώς και η απορριπτόμενη ενέργεια ανά έτος.

Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ηλεκτρική ισχύς κάθε μονάδας σε μορφή ραβδογράμματος για το βελτιστοποιημένο σύστημα, όπου φαίνεται ότι η παραγωγή ενέργειας γίνεται κατά βάση από τις 3 πρώτες μονάδες ντήζελ, εκτός από τους μήνες αιχμής Ιούλιο και Αύγουστο με παραγωγή και από την τέταρτη μονάδα ντήζελ.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται ορισμένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τα στοιχεία κόστους για κάθε μονάδα ντήζελ, συνολικά καθώς και ανά κατηγορία, όπως αρχικό κεφάλαιο (Capital), αντικατάσταση (Replacement), έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (Operation and Maintenance – O&M), κόστος καυσίμου (Fuel) και υπολειμματική αξία (Salvage). Είναι φανερό ότι ο κυριότερος συντελεστής κόστους είναι τα καύσιμα των μονάδων ντήζελ, οι οποίες αποτελούν άλλωστε τις αποκλειστικές μονάδες παραγωγής στο μοντέλο αυτό. Πιο συγκεκριμένα δε αυτό αφορά τη μια μονάδα 220kW στην οποία ανατίθεται το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής.



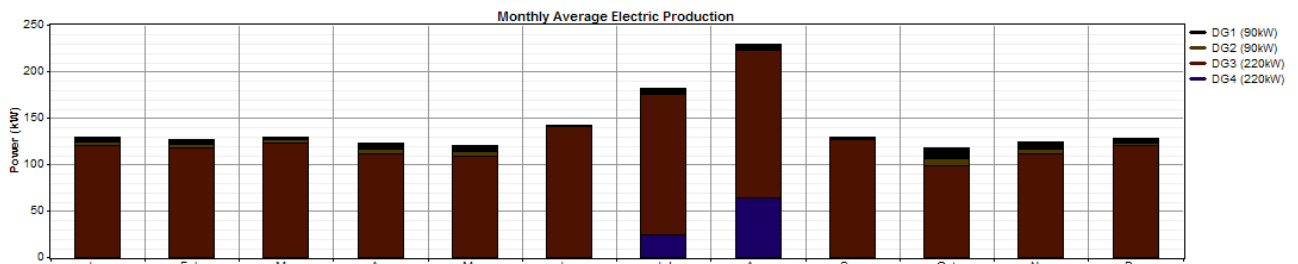


Production	kWh/yr	%
DG1 (90kW)	48,175	3.9
DG2 (90kW)	28,935	2.3
DG3 (220kW)	1,087,284	88.3
DG4 (220kW)	67,170	5.5
DG5 (220kW)	0.00	0.0
Total	1,231,564	100.0

Consumption	kWh/yr	%
Primary Load	1,222,024	99.2

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	9,541	0.8
Unmet load	0.00	0.0
Capacity shortage	0.00	0.0

Σχήμα 6.1 Μοντέλο παρούσας κατάστασης του συστήματος στο Homer και βασικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας



Σχήμα 6.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το μοντέλο παρούσας κατάστασης του συστήματος στο Homer

Πίνακας 6.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία κόστους ανά κατηγορία για το μοντέλο παρούσας κατάστασης του συστήματος στο Homer

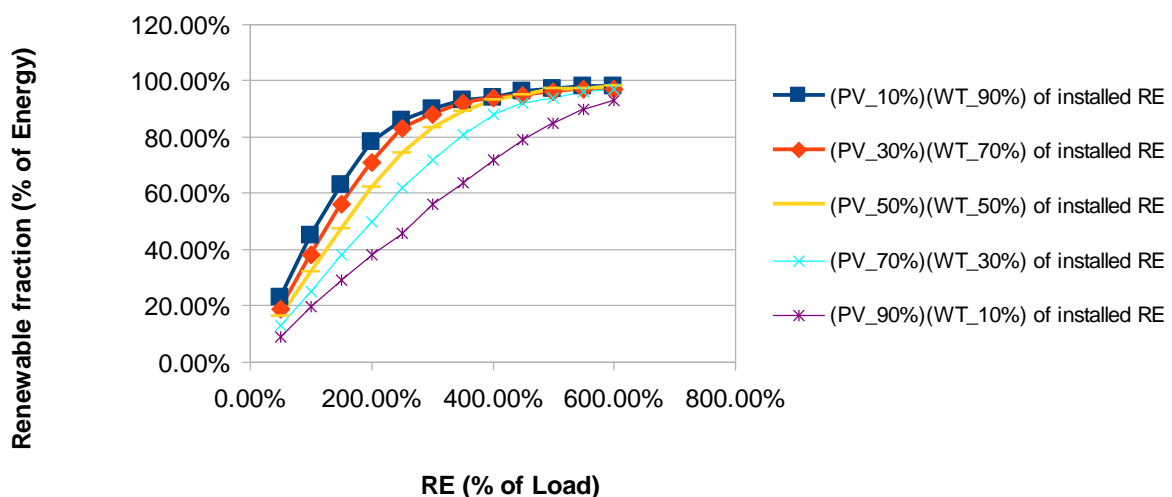
Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
DG1 (90kW)	0	0	5,446	285,486	-5,515	285,416
DG2 (90kW)	0	0	4,007	177,539	-6,299	175,247
DG3 (220kW)	0	92,420	49,805	5,682,407	-16,641	5,807,992
DG4 (220kW)	0	0	3,795	354,614	-15,679	342,729
System	0	92,420	63,053	6,500,045	-44,135	<b>6,611,384</b>

#### 6.4.2 Σενάρια υβριδικών συστημάτων με χρήση μονάδων ΑΠΕ (PV+WT+DG)

Με στόχο τη διερεύνηση των επιπτώσεων της αυξανόμενης διείσδυσης μονάδων ΑΠΕ στο σύστημα του Αγ. Ευστατίου εξετάστηκαν μια σειρά από σενάρια που αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης, καθώς και διαφορετική σύνθεση του αντίστοιχου μείγματος των μονάδων ΑΠΕ. Τα σενάρια αυτά αφορούν συστήματα που περιλαμβάνουν τις υπάρχουσες μονάδες ντήζελ, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές.

Η διείσδυση των μονάδων ΑΠΕ στο σύστημα έχει εκφραστεί ως ο λόγος της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ προς το μέσο φορτίο του συστήματος ήτοι 140kW και έχουν επιλεγεί 12 επίπεδα από 50% έως 600%. Επίσης σε κάθε επίπεδο διείσδυσης έχουν εξεταστεί 5 σενάρια που αντιστοιχούν σε διαφορετική σύνθεση του μείγματος εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών και αιολικών μονάδων και συγκεκριμένα 10%-90%, 30%-70%, 50%-50%, 70%-30% και 90%-10%.

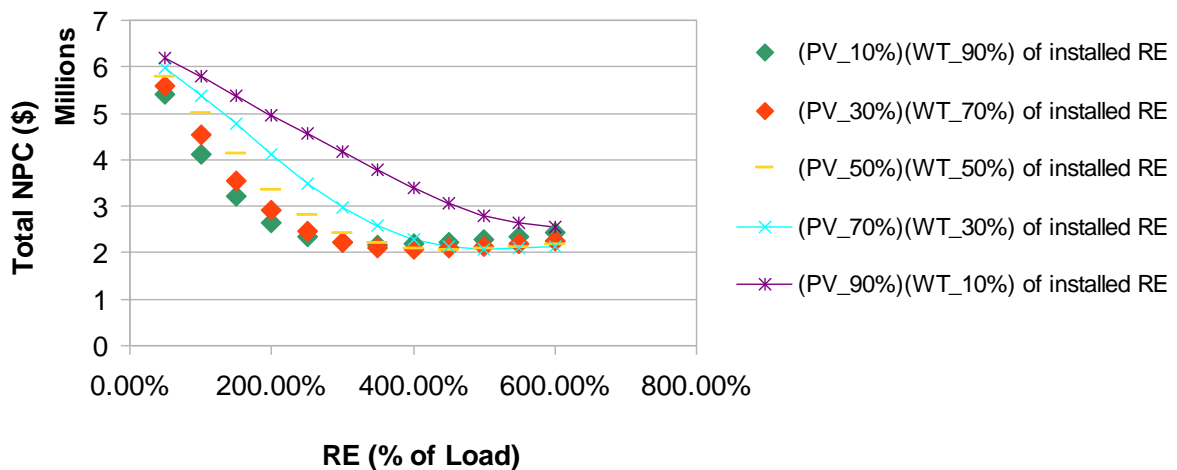
Έτσι σε κάθε ένα από τα συνολικά 60 σενάρια που εξετάστηκαν, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών και των αιολικών έχουν συγκεκριμένες τιμές, ενώ με χρήση του προγράμματος Homer πραγματοποιείται βελτιστοποίηση των λοιπών παραμέτρων όπως η συμμετοχή της κάθε μονάδας ντήζελ και τα ονομαστικά μεγέθη του μετατροπέα και των συσσωρευτών. Με βάση τα σενάρια αυτά, παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.3 οι καμπύλες της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ ως ποσοστό της συνολικά παραγόμενης ενέργειας ως προς τα διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης, όπου σε κάθε σύνθεση του μείγματος ΑΠΕ (PV-WT) αντιστοιχεί μια καμπύλη. Εδώ είναι φανερό ότι, για το ίδιο επίπεδο διείσδυσης, όσο περισσότερο στη σύνθεση του μείγματος υπερτερεί η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά, τόσο αυξάνεται το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ επί του συνόλου της παραγόμενης ενέργειας.



Σχήμα 6.3 Παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ ως ποσοστό της συνολικά παραγόμενης ενέργειας ως προς το επίπεδο διείσδυσης για διαφορετικές συνθέσεις του μείγματος PV-WT στο μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ (Παράρτημα)

Όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο η βελτιστοποίηση με το λογισμικό Homer αφορά την Καθαρή Παρούσα Αξία ενός μοντέλου του συστήματος. Εδώ το λογισμικό έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση του κάθε σεναρίου ξεχωριστά, με στόχο τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι διάφορες παράμετροι επηρεάζουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και την Καθαρή Παρούσα Αξία, καθώς και των αντίστοιχων τάσεων αύξησης ή μείωσης που παρουσιάζουν αυτά. Στο Σχήμα 6.4 φαίνονται οι καμπύλες της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPC) ως προς τα διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης, όπου σε κάθε σύνθεση του μείγματος ΑΠΕ (PV-WT) αντιστοιχεί μια καμπύλη. Σε πρώτη ανάγνωση οι καμπύλες αυτές εμφανίζουν μια γενική τάση μείωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPC), όσο περισσότερο στη σύνθεση του μείγματος υπερτερεί η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά, για το ίδιο επίπεδο διείσδυσης.

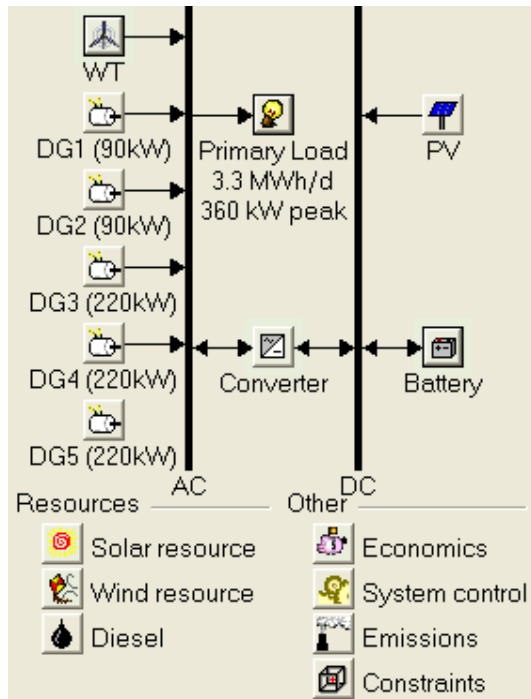
Ωστόσο, όπως θα φανεί στις επόμενες παραγράφους, η τάση αυτή δεν ισχύει για όλα τα επίπεδα διείσδυσης, με αποτέλεσμα η βέλτιστη σύνθεση του μείγματος PV-WT να εξαρτάται από το επίπεδο διείσδυσης των ΑΠΕ. Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση του οικονομικότερου σεναρίου για κάθε σύνθεση μείγματος.



Σχήμα 6.4 Καθαρή Παρούσα Αξία (NPC) ως προς το επίπεδο διείσδυσης για διαφορετικές συνθέσεις του μείγματος PV-WT στο μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ (Παράρτημα)

## Σύνθεση μείγματος 10% PV – 90% WT

Στο Σχήμα 6.5 φαίνεται το μοντέλο του υβριδικού συστήματος στο περιβάλλον Homer καθώς και στοιχεία για την παραγωγή και κατανάλωση με βάση το οικονομικότερο από τα διερευνηθέντα σενάρια για σύνθεση μείγματος 10% φωτοβολταϊκά και 90% αιολικά, και διείσδυση 350%.



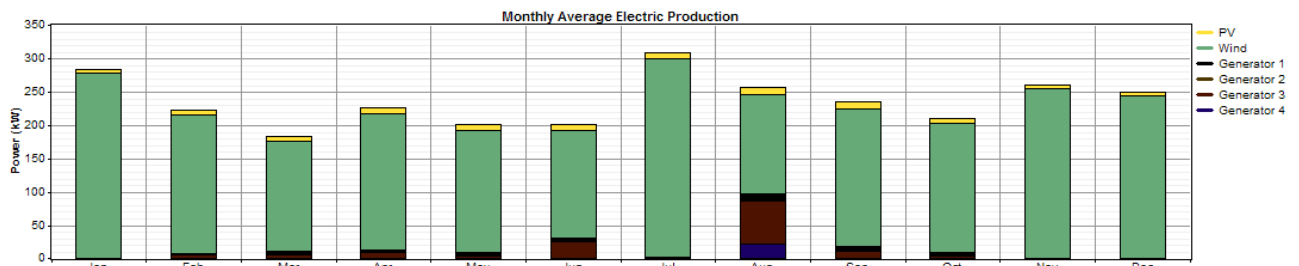
Production	kWh/yr	%
PV array	70,721	3.4
Wind turbines	1,858,721	89.7
DG1 (90kW)	26,726	1.3
DG2 (90kW)	5,580	0.3
DG3 (220kW)	95,301	4.6
DG4 (220kW)	15,798	0.7
DG5 (220kW)	0.00	0.0
<b>Total</b>	<b>2,072,848</b>	<b>100.0</b>

Consumption	kWh/yr	%
Primary Load	1,222,024	64.4

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	738,182	35.6
Unmet load	0.00153	0.0
Capacity shortage	0.00	0.0

Σχήμα 6.5 Μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ και βασικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας για σύνθεση μείγματος 10% PV – 90% WT (οικονομικότερο σενάριο: 7.1 – Παράρτημα)

Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ηλεκτρική ισχύς κάθε μονάδας σε μορφή ραβδογράμματος για το βελτιστοποιημένο σύστημα, όπου φαίνεται ότι η παραγωγή ενέργειας γίνεται κατά βάση από τα αιολικά, κατά ένα μικρό μέρος από τα φωτοβολταϊκά, ενώ οι μονάδες ντίζελ συμμετέχουν κατά μικρό ποσοστό που οφείλεται κυρίως στους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο.



Σχήμα 6.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 10% PV – 90% WT (οικονομικότερο σενάριο: 7.1 – Παράρτημα)

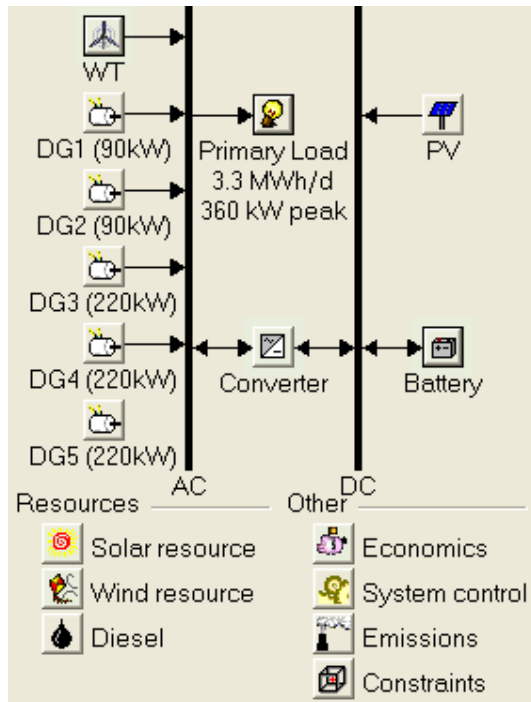
Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται ορισμένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τα στοιχεία κόστους για κάθε μονάδα, συνολικά καθώς και ανά κατηγορία, όπως αρχικό κεφάλαιο, αντικατάσταση, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, κόστος καυσίμου και υπολειμματική αξία. Ο κυριότερος συντελεστής κόστους είναι σαφώς το αρχικό κεφάλαιο αγοράς μονάδων ΑΠΕ και λοιπού εξοπλισμού, αλλά και τα καύσιμα των μονάδων ντήζελ συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό, ενώ επίσης υπάρχει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης που αφορά τις μονάδες ντήζελ.

*Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτικά στοιχεία κόστους ανά κατηγορία για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 10% PV – 90% WT (οικονομικότερο σενάριο: 7.1 – Παράρτημα)*

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	73,500	0	3,053	0	0	76,553
WT	551,250	0	274,792	0	0	826,042
DG1 (90kW)	0	0	3,084	158,902	-6,801	155,186
DG2 (90kW)	0	0	773	34,238	-8,059	26,951
DG3 (220kW)	0	0	4,231	497,399	-15,099	486,531
DG4 (220kW)	0	0	891	83,396	-19,543	64,744
Battery	368,571	0	6,124	0	0	374,696
Converter	162,500	0	2,531	0	0	165,031
System	1,155,822	0	295,480	773,935	-49,503	<b>2,175,734</b>

## Σύνθεση μείγματος 30% PV – 70% WT

Στο Σχήμα 6.7 φαίνεται το μοντέλο του υβριδικού συστήματος στο περιβάλλον Homer καθώς και στοιχεία για την παραγωγή και κατανάλωση με βάση το οικονομικότερο από τα διερευνηθέντα σενάρια για σύνθεση μείγματος 30% φωτοβολταϊκά και 70% αιολικά, και διείσδυση 400%.



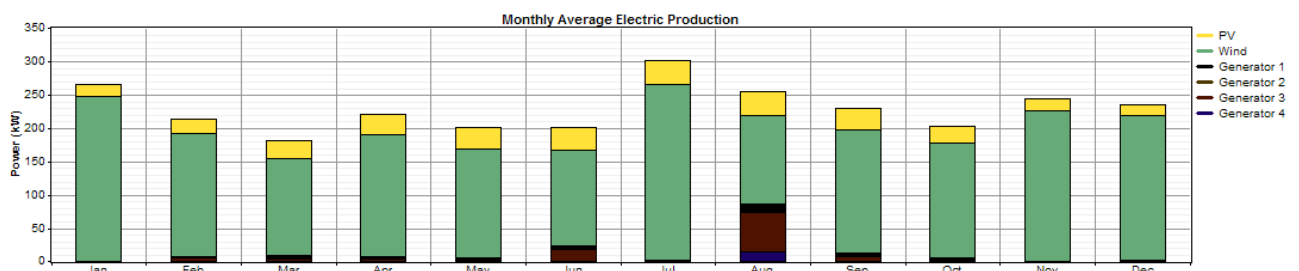
Production	kWh/yr	%
PV array	242,473	12.1
Wind turbines	1,652,193	82.1
DG1 (90kW)	26,500	1.3
DG2 (90kW)	4,635	0.2
DG3 (220kW)	75,953	3.8
DG4 (220kW)	10,299	0.5
DG5 (220kW)	0.00	0.0
<b>Total</b>	<b>2,012,053</b>	<b>100.0</b>

Consumption	kWh/yr	%
Primary Load	1,222,024	65.9

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	686,502	34.1
Unmet load	0.00102	0.0
Capacity shortage	0.00	0.0

Σχήμα 6.7 Μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ και βασικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας για σύνθεση μείγματος 30% PV – 70% WT (οικονομικότερο σενάριο 8.2 – Παράρτημα)

Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ηλεκτρική ισχύς κάθε μονάδας σε μορφή ραβδογράμματος για το βελτιστοποιημένο σύστημα. Η παραγωγή ενέργειας γίνεται και πάλι κατά βάση από τα αιολικά, κατά ένα σημαντικό μικρότερο μέρος από τα φωτοβολταϊκά, ενώ οι μονάδες ντίζελ συμμετέχουν σε πολύ μικρό ποσοστό που οφείλεται κυρίως στον μήνα Αύγουστο.



Σχήμα 6.8 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 30% PV – 70% WT (οικονομικότερο σενάριο: 8.2 – Παράρτημα)

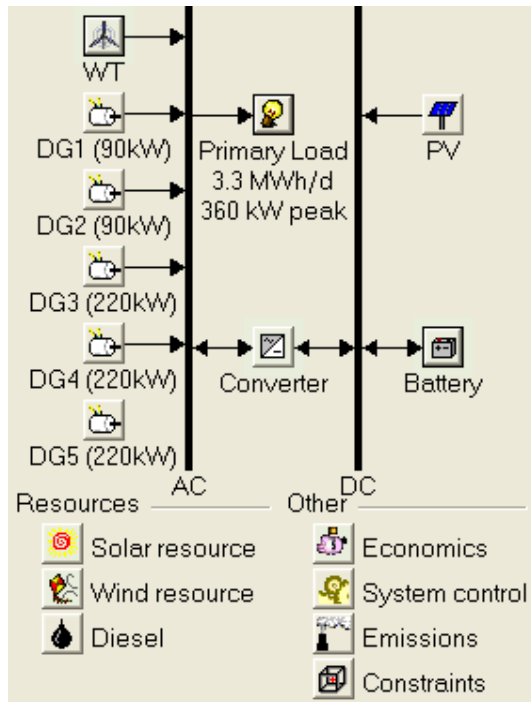
Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τα στοιχεία κόστους για κάθε μονάδα, ανά κατηγορία, όπως αρχικό κεφάλαιο, αντικατάσταση, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, κόστος καυσίμου και υπολειμματική αξία, καθώς και συνολικά. Ο κυριότερος συντελεστής κόστους είναι και πάλι το αρχικό κεφάλαιο αγοράς μονάδων ΑΠΕ και λοιπού εξοπλισμού, αλλά και η συμμετοχή του κόστους καυσίμων και λειτουργίας-συντήρησης των μονάδων ντήζελ είναι σημαντική, παρότι είναι μειωμένη σε σχέση με τα προηγούμενα.

*Πίνακας 6.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία κόστους ανά κατηγορία για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 30% PV – 70% WT (οικονομικότερο σενάριο: 8.2 – Παράρτημα)*

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	252,000	0	10,468	0	0	262,468
WT	490,000	0	244,259	0	0	734,259
DG1 (90kW)	0	0	3,122	158,082	-6,781	154,423
DG2 (90kW)	0	0	642	28,439	-8,131	20,951
DG3 (220kW)	0	0	3,340	396,256	-16,285	383,312
DG4 (220kW)	0	0	579	54,362	-19,958	34,983
Battery	330,000	0	5,483	0	0	335,483
Converter	158,333	0	2,466	0	0	160,800
System	1,230,333	0	270,360	637,140	-51,154	<b>2,086,680</b>

## Σύνθεση μείγματος 50% PV – 50% WT

Στο Σχήμα 6.9 φαίνεται το μοντέλο του υβριδικού συστήματος στο περιβάλλον Homer καθώς και στοιχεία για την παραγωγή και κατανάλωση με βάση το οικονομικότερο από τα διερευνηθέντα σενάρια για ισομερή σύνθεση μείγματος 50% φωτοβολταϊκά και 50% αιολικά, και διεξόδυση 450%.



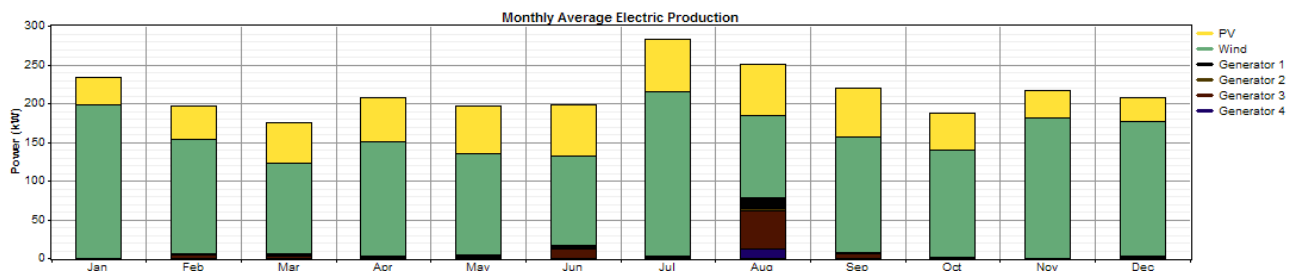
Production	kWh/yr	%
PV array	454,636	24.2
Wind turbines	1,327,654	70.7
DG1 (90kW)	23,970	1.3
DG2 (90kW)	4,050	0.2
DG3 (220kW)	59,147	3.1
DG4 (220kW)	8,981	0.5
DG5 (220kW)	0.00	0.0
<b>Total</b>	<b>1,878,438</b>	<b>100.0</b>

Consumption	kWh/yr	%
Primary Load	1,222,024	70.4

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	555,943	29.6
Unmet load	0.00134	0.0
Capacity shortage	0.00	0.0

Σχήμα 6.9 Μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ και βασικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας για σύνθεση μείγματος 50% PV – 50% WT (οικονομικότερο σενάριο 9.3 – Παράρτημα)

Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ηλεκτρική ισχύς κάθε μονάδας σε μορφή ραβδογράμματος για το βελτιστοποιημένο σύστημα, όπου φαίνεται ότι η παραγωγή ενέργειας γίνεται κατά βάση από τα αιολικά, όμως εδώ η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά έχει σημαντικά αυξηθεί. Οι μονάδες ντήζελ συμμετέχουν κατά μικρό ποσοστό κάτω από 5%.



Σχήμα 6.10 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 50% PV – 50% WT (οικονομικότερο σενάριο: 9.3 – Παράρτημα)



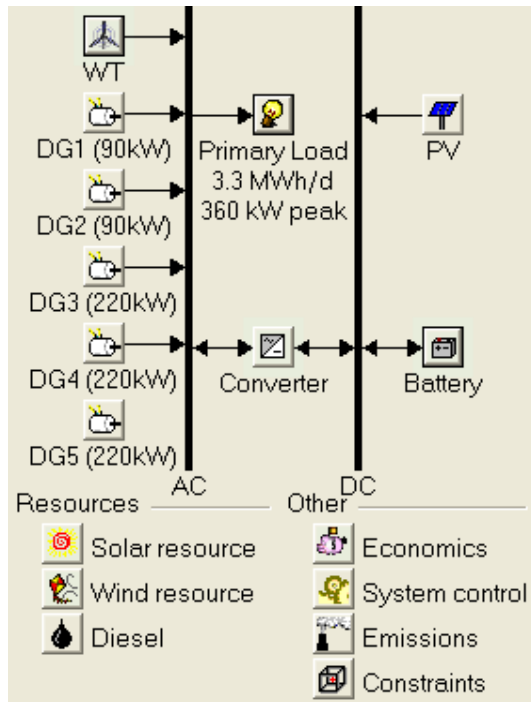
Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται ορισμένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τα στοιχεία κόστους για κάθε μονάδα, συνολικά καθώς και ανά κατηγορία, όπως αρχικό κεφάλαιο, αντικατάσταση, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, κόστος καυσίμου και υπολειμματική αξία. Από τις διάφορες κατηγορίες κόστους του σεναρίου αυτού κυριαρχεί το αρχικό κεφάλαιο αγοράς μονάδων ΑΠΕ και λοιπού εξοπλισμού, με τα καύσιμα και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων ντήζελ να συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό.

*Πίνακας 6.4 Συγκεντρωτικά στοιχεία κόστους ανά κατηγορία για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 50% PV – 50% WT (οικονομικότερο σενάριο: 9.3– Παράρτημα)*

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	472,500	0	19,628	0	0	492,128
WT	393,750	0	196,280	0	0	590,030
DG1 (90kW)	0	0	2,985	144,317	-6,855	140,447
DG2 (90kW)	0	0	561	24,850	-8,175	17,236
DG3 (220kW)	0	0	2,573	308,442	-17,305	293,711
DG4 (220kW)	0	0	505	47,403	-20,057	27,850
Battery	319,286	0	5,305	0	0	324,591
Converter	158,333	0	2,466	0	0	160,800
System	1,343,869	0	230,303	525,012	-52,392	<b>2,046,793</b>

## Σύνθεση μείγματος 70% PV – 30% WT

Στο παρακάτω Σχήμα 6.11 φαίνεται το μοντέλο του υβριδικού συστήματος στο περιβάλλον Homer καθώς και ορισμένα στοιχεία για την παραγωγή και κατανάλωση με βάση το οικονομικότερο από τα διερευνηθέντα σενάρια για σύνθεση μείγματος 70% φωτοβολταϊκά και 30% αιολικά, και διεύθυνση 500%.



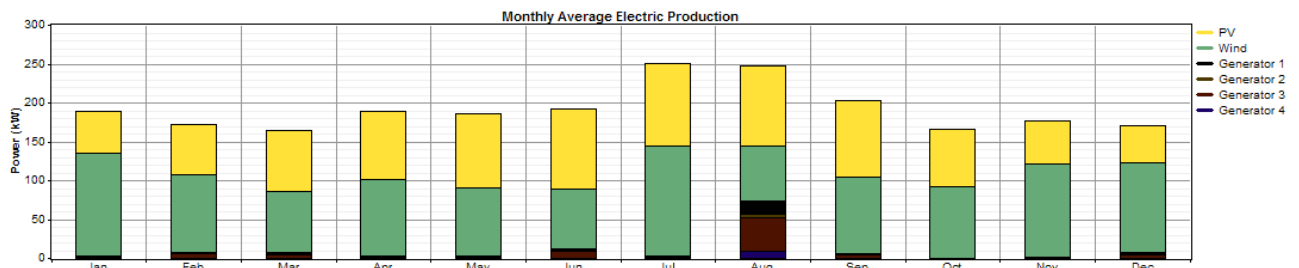
Production	kWh/yr	%
PV array	707,212	41.9
Wind turbines	885,104	52.5
DG1 (90kW)	27,354	1.6
DG2 (90kW)	5,040	0.3
DG3 (220kW)	56,126	3.3
DG4 (220kW)	6,600	0.4
DG5 (220kW)	0	0.0
<b>Total</b>	<b>1,687,436</b>	<b>100.0</b>

Consumption	kWh/yr	%
Primary Load	1,222,024	78.6

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	361,026	21.4
Unmet load	0.000847	0.0
Capacity shortage	0.00	0.0

Σχήμα 6.11 Μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ και βασικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας για σύνθεση μείγματος 70% PV – 30% WT (οικονομικότερο σενάριο 10.4 – Παράρτημα)

Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ηλεκτρική ισχύς κάθε μονάδας σε μορφή ραβδογράμματος για το βελτιστοποιημένο σύστημα. Είναι φανερό ότι η παραγωγή ενέργειας γίνεται κατά βάση από τα αιολικά με ποσοστό πάνω από 50%, ωστόσο τα φωτοβολταϊκά συμμετέχουν με πάνω από 40% της παραγόμενης ενέργειας. Η παραγωγή από τις μονάδες ντίζελ περιορίζεται και πάλι σε πολύ μικρό ποσοστό που οφείλεται κυρίως στον μήνα Αύγουστο.



Σχήμα 6.12 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 70% PV – 30% WT (οικονομικότερο σενάριο: 10.4 – Παράρτημα)

Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τα στοιχεία κόστους για κάθε μονάδα, συνολικά καθώς και ανά κατηγορία, όπως αρχικό κεφάλαιο, αντικατάσταση, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, κόστος καυσίμου και υπολειμματική αξία,. Ο κυριότερος συντελεστής κόστους είναι βεβαίως το αρχικό κεφάλαιο αγοράς μονάδων ΑΠΕ και λοιπού εξοπλισμού, όμως η συμμετοχή του κόστους καυσίμων και λειτουργίας-συντήρησης των μονάδων ντήζελ είναι σημαντική, παρότι είναι και πάλι μειωμένη σε σχέση με τα προηγούμενα.

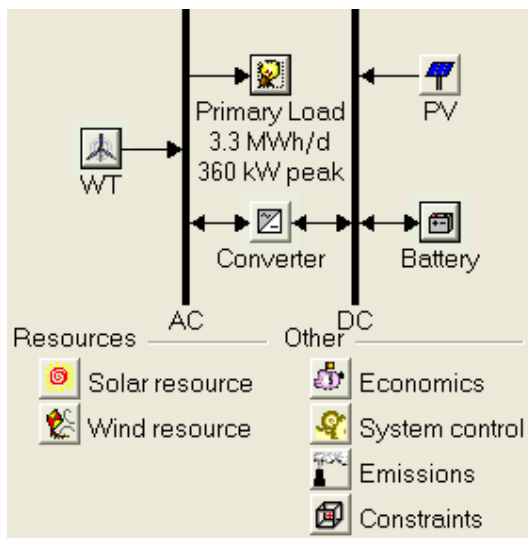
*Πίνακας 6.5 Συγκεντρωτικά στοιχεία κόστους ανά κατηγορία για το μοντέλο υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ για σύνθεση μείγματος 70% PV – 30% WT (οικονομικότερο σενάριο: 10.4 – Παράρτημα)*

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	735,000	0	30,532	0	0	765,532
WT	262,500	0	130,853	0	0	393,353
DG1 (90kW)	0	0	3,390	164,556	-6,635	161,311
DG2 (90kW)	0	0	698	30,924	-8,100	23,522
DG3 (220kW)	0	0	2,542	293,184	-17,346	278,380
DG4 (220kW)	0	0	374	34,849	-20,231	14,992
Battery	276,429	0	4,593	0	0	281,022
Converter	166,667	0	2,596	0	0	169,263
System	1,440,595	0	175,579	523,514	-52,312	<b>2,087,376</b>

### 6.4.3 Σενάριο αποκλειστικής χρήσης μονάδων ΑΠΕ και αποθήκευσης (RE)

Στην προσομοίωση αυτή έχει εξεταστεί και βελτιστοποιηθεί ένα σύστημα με χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών μαζί με αποθήκευση σε συσσωρευτές, χωρίς τη χρήση μονάδων ντίζελ. Εδώ έχουν διερευνηθεί μεγαλύτερες μονάδες φωτοβολταϊκών σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια της παραγράφου 6.4.2, καθώς αυτό είναι απαραίτητο για να είναι το σύστημα αποδεκτό με οικονομικούς όρους, έχει δε χρησιμοποιηθεί υπερδιπλάσια τράπεζα συσσωρευτών.

Στο Σχήμα 6.13 φαίνεται το μοντέλο του συστήματος αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ, όπως επίσης η παραγόμενη ενέργεια, η κατανάλωση στο φορτίο και η απορριπτόμενη ενέργεια ανά έτος με βάση το βελτιστοποιημένο σύστημα - διείσδυση 982.14%.



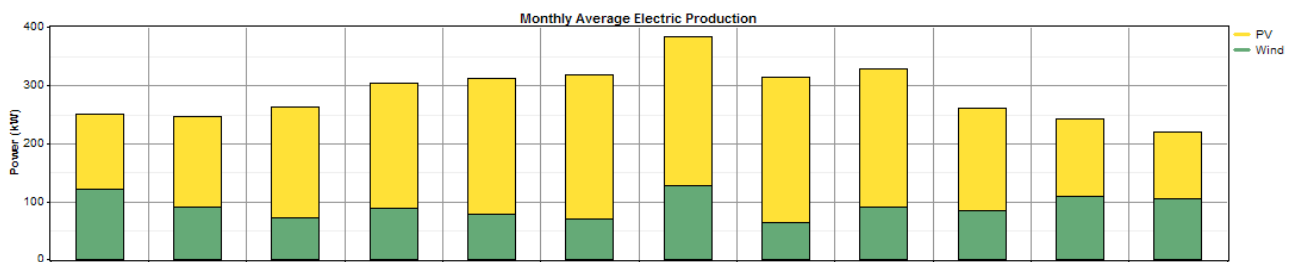
Production	kWh/yr	%
PV array	1,710,300	68.1
Wind turbines	800,809	31.9
Total	2,511,109	100

Consumption	kWh/yr	%
Primary Load	1,221,216	53.5

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	1,167,905	46.5
Unmet load	808	0.1
Capacity shortage	1,207	0.1

Σχήμα 6.13 Μοντέλο αποκλειστικής χρήσης μονάδων ΑΠΕ και αποθήκευσης και βασικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας

Στο Σχήμα 6.14 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ηλεκτρική ισχύς κάθε μονάδας σε μορφή ραβδογράμματος για το βελτιστοποιημένο σύστημα, όπου φαίνεται ότι η παραγωγή ενέργειας γίνεται κατά κύριο λόγο από τα φωτοβολταϊκά (περίπου τα 2/3), ενώ η υπόλοιπη ενέργεια παράγεται από τις αιολικές μονάδες (περίπου το 1/3).



Σχήμα 6.14 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το μοντέλο αποκλειστικής χρήσης μονάδων ΑΠΕ και αποθήκευσης

Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τα κόστη για κάθε στοιχείο του συστήματος, συνολικά καθώς και ανά κατηγορία, όπως αρχικό κεφάλαιο, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης κτλ. Απουσία μονάδων ντήζελ, τα κόστη περιλαμβάνουν το αρχικό κεφάλαιο για την αγορά μονάδων παραγωγής ΑΠΕ και λοιπού εξοπλισμού, με το μεγαλύτερο μέρος να οφείλεται στα φωτοβολταϊκά.

*Πίνακας 6.6 Συγκεντρωτικά στοιχεία κόστους ανά κατηγορία για το μοντέλο αποκλειστικής χρήσης μονάδων ΑΠΕ και αποθήκευσης*

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	1,777,500	0	73,839	0	0	1,851,339
WT	237,500	0	118,391	0	0	355,891
Battery	792,857	0	13,174	0	0	806,032
Converter	283,333	0	4,414	0	0	287,747
System	3,091,190	0	209,818	0	0	<b>3,301,008</b>

#### 6.4.4 Συγκριτική παρουσίαση

Όπως φάνηκε στα προηγούμενα, η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPC) ενός σεναρίου εξαρτάται από τη σύνθεση του μείγματος των ΑΠΕ και μεταβάλλεται καθοριστικά από το επίπεδο διείσδυσής τους. Έτσι, όσον αφορά τα σενάρια που αφορούν το υβριδικό σύστημα, το βέλτιστο σενάριο για κάθε επίπεδο διείσδυσης επιτυγχάνεται με διαφορετική σύνθεση του μείγματος PV-WT. Θεωρώντας 5 διαφορετικές συνθέσεις μείγματος, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 6.4.2, βρέθηκαν τελικά για 4 από αυτές τα αντίστοιχα βέλτιστα σενάρια. Τα βασικά στοιχεία των σεναρίων αυτών, μαζί με αυτά της παρούσας κατάστασης και της αποκλειστικής χρήσης μονάδων ΑΠΕ, εξετάστηκαν στην ενότητα 6.5 και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.7, όπου φαίνεται ότι το βέλτιστο σενάριο για το μείγμα 50% PV-50% WT με διείσδυση 450% έχει το υψηλότερο ποσοστό (94.9%) παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ (αν εξαιρέσουμε το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ). Το σενάριο αυτό (σενάριο 9.3 – Παράρτημα) αφορά μείγμα 315kW φωτοβολταϊκά – 315kW αιολικά.

*Πίνακας 6.7 Βασικά στοιχεία διείσδυσης, παραγωγής και κατανάλωσης των οικονομικότερων σεναρίων για διαφορετικές τοπολογίες ή/και συνθέσεις μείγματος ΑΠΕ*

System	Penetration PV+WT (%)	Production PV+WT (%)	Production DG (%)	Consumption (%)	Excess Electricity (%)
DG	0.00	0.0	100.0	99.2	0.8
10% PV-90% WT	350.00	93.1	6.9	64.4	35.6
30% PV-70% WT	400.00	94.2	6.8	65.9	34.1
50% PV-50% WT	450.00	<b>94.9</b>	5.1	70.4	29.6
70% PV-30% WT	500.00	94.4	5.6	78.6	21.4
RE	982.14	100.0	0.0	53.5	46.5

Στον Πίνακα 6.8 εμφανίζονται τα αντίστοιχα οικονομικά στοιχεία των εν λόγω σεναρίων από όπου προκύπτει ότι το οικονομικότερο από αυτά είναι επίσης για μείγμα 50% PV-50% WT, με συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία \$2,046,793 και Αρχικό Κεφάλαιο \$1,343,869. Εδώ φαίνεται επίσης ότι για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ το Αρχικό Κεφάλαιο είναι υπερδιπλάσιο, αλλά δεν υπάρχουν έξοδα για καύσιμα, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης κυμαίνεται στο ίδιο περίπου επίπεδο.

*Πίνακας 6.8 Στοιχεία κόστους των οικονομικότερων σεναρίων για διαφορετικές τοπολογίες ή/και συνθέσεις μείγματος ΑΠΕ*

System	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
DG	0	92,420	63,053	6,500,045	-44,135	6,611,384
10% PV-90% WT	1,155,822	0	295,480	773,935	-49,503	2,175,734
30% PV-70% WT	1,230,333	0	270,360	637,140	-51,154	2,086,680
50% PV-50% WT	1,343,869	0	230,303	525,012	-52,392	<b>2,046,793</b>
70% PV-30% WT	1,440,595	0	175,579	523,514	-52,312	2,087,376
RE	3,091,190	0	209,818	0	0	3,301,008

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.8 συνάγεται ότι το καλύτερο σενάριο υβριδικού συστήματος είναι κατά 38% οικονομικότερο από το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ και κατά 69% οικονομικότερο από το σενάριο της παρούσας κατάστασης.

Με δεδομένο το στόχο της εγκατάστασης μονάδων ΑΠΕ στο σύστημα του Αγ. Ευστρατίου, είναι φανερό ότι για υβριδικό σύστημα (περιλαμβάνει μονάδα/ες ντήζελ), προκρίνεται η χρήση κυρίως αιολικών μονάδων σε μικρά επίπεδα διείσδυσης. Ωστόσο, καθώς η διείσδυση των ΑΠΕ αυξάνεται σε υψηλά επίπεδα, η αύξηση της συμμετοχής των φωτοβολταϊκών μονάδων μέχρι και 50% στο μείγμα PV-WT είναι με οικονομικούς όρους επιβεβλημένη. Επίσης έχει φανεί ότι το υψηλότερο επίπεδο διείσδυσης των ΑΠΕ θα πρέπει να είναι της τάξης των 450% του μέσου φορτίου, η δε σύνθεση του μείγματος 50% PV-50% WT

Στην περίπτωση όμως συστήματος αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ και αποθήκευσης ενέργειας, το βέλτιστο (οικονομικότερο) σενάριο επιτυγχάνεται, για σύνθεση μείγματος 86.2% PV-13.8% WT, ενώ όπως είναι αναμενόμενο για να υπάρχει αποδεκτό σενάριο, απαιτείται πολύ υψηλή διείσδυση. Το σενάριο αυτό (σενάριο RE – Παράρτημα) αναφέρεται σε μείγμα ΑΠΕ στο οποίο κυριαρχούν τα φωτοβολταϊκά με 1185kW και ακολουθούν τα αιολικά με 190kW.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9 για τα βέλτιστα σε κάθε σενάριο μεγέθη συσσωρευτών και μετατροπέα, φαίνεται ότι η αύξηση της συμμετοχής των φωτοβολταϊκών μονάδων σε συνδυασμό με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ οδηγεί σε μείωση του απαιτούμενου μεγέθους συσσωρευτών και των ωρών αυτονομίας. Εξαιρείται εδώ το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ όπου, λόγω της απουσίας μονάδων ντήζελ, είναι απαραίτητη η αποθήκευση ενέργειας σε μεγαλύτερη κλίμακα.

*Πίνακας 6.9 Στοιχεία συσσωρευτών και μετατροπέα των οικονομικότερων σεναρίων για διαφορετικές τοπολογίες ή/και συνθέσεις μείγματος ΑΠΕ*

System	Penetration PV+WT (%)	Battery nominal capacity (MWh)	Battery usable nominal capacity (MWh)	Autonomy (h)	Converter capacity (kW)
10% PV-90% WT	350.00	5,160	3,612	25.6	195
30% PV-70% WT	400.00	4,620	3,234	23.2	190
50% PV-50% WT	450.00	4,470	3,129	22.4	190
70% PV-30% WT	500.00	3,870	2,709	19.4	200
RE	982.14	11,100	7,770	55.7	340

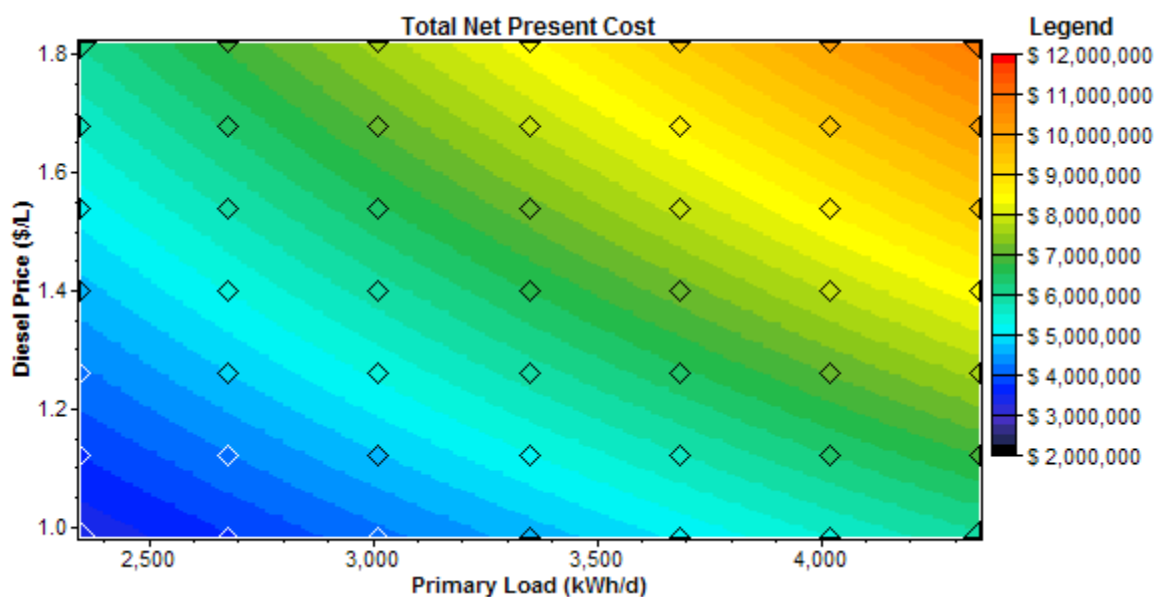
Όσον αφορά τη διείσδυση, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε με την παρούσα εργασία ελήφθησαν σενάρια με βήμα ανά 50%. Επίσης, δεν εξετάστηκαν σενάρια με χρήση τεχνολογιών παραγωγής-αποθήκευσης-χρήσης υδρογόνου, λόγω αυξημένου κόστους του σχετικού εξοπλισμού, αλλά και του χαμηλού βαθμού απόδοσης του κύκλου αυτού.

## 6.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αναλύσεις ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του σεναρίου παρούσας κατάστασης καθώς και του καλύτερου σεναρίου υβριδικού συστήματος (σενάριο 9.3, Παράρτημα). Ως μεταβλητές ποσότητες, δηλ. παράμετροι της ανάλυσης, λαμβάνονται: το φορτίο του συστήματος και η τιμή του καυσίμου ντίζελ, ενώ ειδικότερα για τη δεύτερη περίπτωση εξετάζεται επίσης η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου. Για όλα τα μεγέθη έχουν ληφθεί τιμές  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  και  $\pm 30\%$ . ως προς το αντίστοιχο σενάριο αναφοράς. Όπως και στα προηγούμενα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που παρατίθενται αφορούν τη συνολική διάρκεια της επένδυσης, δηλαδή μια αύξηση του επιπέδου του φορτίου ή μια μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου αφορά όλα τα διακριτά έτη κατά τον ίδιο τρόπο. Έτσι μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι μια τέτοια υπόθεση ισοδυναμεί κατά προσέγγιση με τη μέση μεταβολή της αντίστοιχης παραμέτρου για όλη τη διάρκεια της επένδυσης σε σχέση με το εκάστοτε σενάριο αναφοράς. Το σενάριο αυτό αναφέρεται στο εξομοιωτικό πρόγραμμα Homer ως “Best Estimate”, λόγω του ότι θεωρείται πως έχει προηγηθεί βελτιστοποίηση.

### 6.5.1 Ευαισθησία σεναρίου παρούσας κατάστασης

Όπως αναφέρθηκε, η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Homer για δύο παραμέτρους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε γραφική μορφή στο Σχήμα 6.15. Εδώ φαίνεται ότι, για φορτίο συστήματος ίσο με το τωρινό, ενδεικτικά μια αύξηση της τιμής του καυσίμου ντίζελ κατά 20% πάνω από την τιμή αναφοράς αντιστοιχεί σε αύξηση της Καθαρής Παρούσας Αξίας του συστήματος της τάξης του 30%. Αντίστοιχα, για σταθερή τιμή ντίζελ ίση με την τιμή αναφοράς, μια αύξηση του φορτίου του συστήματος κατά 10% πάνω από την τωρινή τιμή αντιστοιχεί σε αύξηση της Καθαρής Παρούσας Αξίας του συστήματος της τάξης του 15%.

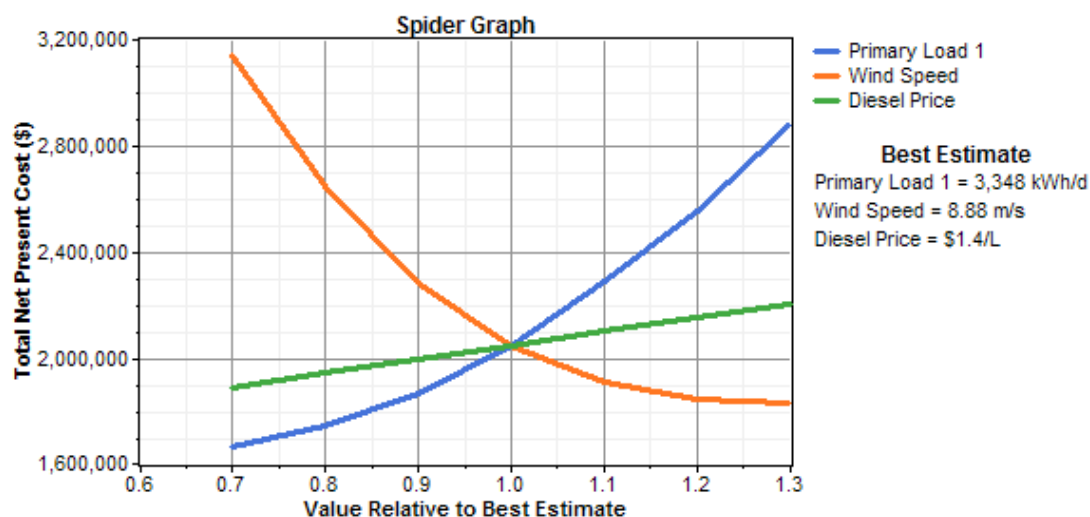


Σχήμα 6.15 Μεταβολή Καθαρής Παρούσας Αξίας συστήματος παρούσας κατάστασης με παραμέτρους το φορτίο του συστήματος και την τιμή του καυσίμου ντίζελ.



### 6.5.2 Ευαισθησία σεναρίου υβριδικού συστήματος με χρήση μονάδων ΑΠΕ

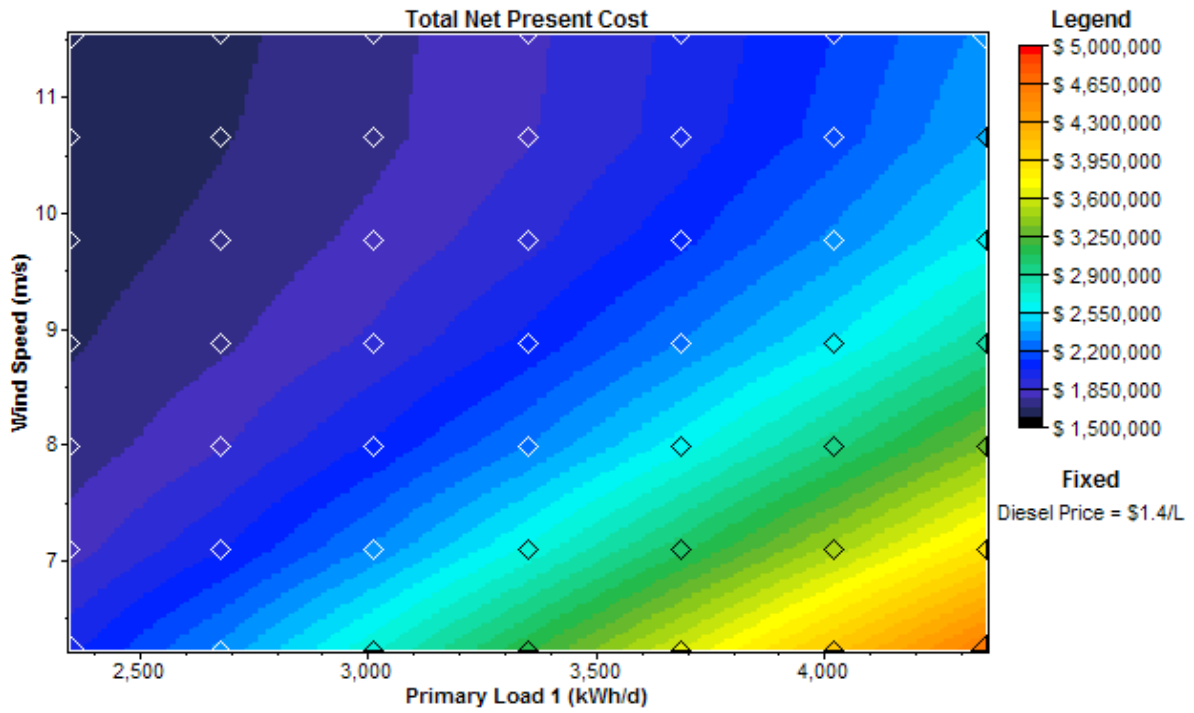
Από την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η αύξηση του φορτίου του συστήματος έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της Καθαρής Παρούσας Αξίας του συστήματος, ενώ το ίδιο συμβαίνει με μια μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Ωστόσο, η επίδραση της μεταβολής της τιμής του καυσίμου ντίζελ είναι σχετικά μικρότερη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.16.



Σχήμα 6.16 Μεταβολή Καθαρής Παρούσας Αξίας υβριδικού συστήματος με παραμέτρους το φορτίο του συστήματος, τη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου και την τιμή του καυσίμου ντίζελ

Τα αποτελέσματα αυτά είναι αναμενόμενα, καθώς η μεν αύξηση του φορτίου οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου ντίζελ, η δε μείωση της ταχύτητας του ανέμου σε μείωση της παραγόμενης ενέργειας από ανεμογεννήτριες και τελικά πάλι σε αύξηση της χρήσης καυσίμου ντίζελ. Ωστόσο ενδιαφέρει εδώ η ποσοτικοποίηση των επιδράσεων αυτών στην Καθαρή Παρούσα Αξία του συστήματος. Ενδεικτικά, μια αύξηση του φορτίου κατά 15% αναμένεται να επιφέρει αύξηση στην Καθαρή Παρούσα Αξία της τάξης του 20%, ενώ μια μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά 20% θα έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της Καθαρής Παρούσας Αξίας του συστήματος της τάξης του 30%.

Στο Σχήμα 6.17 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας με παραμέτρους το φορτίο του συστήματος και την ταχύτητα ανέμου για μια συγκεκριμένη σταθερή τιμή του καυσίμου ντίζελ (αυτή του σεναρίου αναφοράς). Εδώ ποσοτικοποιείται η συνδυασμένη επίδραση των παραπάνω μεγεθών στην Καθαρή Παρούσα Αξία του συστήματος. Με ρόμβους διακρίνονται τα σεναρία που υπολογίστηκαν από το Homer, με βάση τα οποία δημιουργήθηκε το γράφημα με χρήση αλγορίθμου παρεμβολής.



Σχήμα 6.17 Μεταβολή Καθαρής Παρούσας Αξίας υβριδικού συστήματος με παραμέτρους το φορτίο του συστήματος, τη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για σταθερή τιμή του καυσίμου ντίζελ

## 6.6 Συμπεράσματα

Από την εξέταση των διαφόρων σεναρίων για το αυτόνομο σύστημα του Αγ. Ευστρατίου φάνηκε ότι τα μοντέλα υβριδικών συστημάτων με χρήση ΑΠΕ παρουσιάζουν γενικά πολύ χαμηλότερη Καθαρή Παρούσα Αξία σε σχέση με το σενάριο της παρούσας κατάστασης με χρήση μόνο των μονάδων ντήζελ. Όσον αφορά το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ έχει Καθαρή Παρούσα Αξία σχεδόν 50% υψηλότερη από το οικονομικότερο υβριδικό σύστημα, ωστόσο ακόμα και αυτό είναι πολύ οικονομικότερο από το σενάριο παρούσας κατάστασης.

Από τεχνικής άποψη τα σενάρια υβριδικών συστημάτων υπερτερούν του σεναρίου αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ, καθώς προσφέρουν το πλεονέκτημα της εφεδρείας, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης ορυκτού καυσίμου, έστω και σε μικρές ποσότητες.

Επίσης από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνεται ότι η παραγόμενη από ΑΠΕ ενέργεια μπορεί να φτάσει σχεδόν μέχρι 95% της συνολικής, με πραγματική κατανάλωση της τάξης του 70% και απορριπτόμενη ενέργεια της τάξης του 30%, ενώ στην περίπτωση του σεναρίου αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας ανέρχεται σχεδόν στο 50% και συνοδεύεται από διπλασιασμό της διείδυσης και πολύ μεγάλη αύξηση του απαιτούμενου αριθμού συσσωρευτών. Ωστόσο η απορριπτόμενη ενέργεια θα μπορούσε με κατάλληλη πρόβλεψη να εξυπηρετήσει ελεγχόμενα φορτία ή την παραγωγή υδρογόνου για χρήση σε οχήματα.

Είναι σαφές ότι τα παραπάνω μεγέθη σχετίζονται με το γεγονός ότι το υπό διερεύνηση σύστημα είναι ένα αυτόνομο και μη-διασυνδεδεμένο μικροδίκτυο, χωρίς δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας σε χρονικές περιόδους περίσσειας ή ελλείμματος.

Με βάση τα αποτελέσματα των βελτιστοποιήσεων και των αναλύσεων ευαισθησίας μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η εξάρτηση του συστήματος από ορυκτά καύσιμα θα μπορούσε, στην περίπτωση συνδυασμένης αύξησης του φορτίου και της τιμής του ντήζελ να οδηγήσει σε ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση του κόστους. Έτσι η σταδιακή απεξάρτηση από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής του νησιού με εγκατάσταση ΑΠΕ έχει προφανή πλεονεκτήματα. Εντούτοις, για λόγους ασφάλειας αλλά και κόστους η πλήρης απεξάρτηση από τις συμβατικές μονάδες δεν φαίνεται να είναι ελκυστική, τουλάχιστον με χρήση μόνο φωτοβολταϊκών και αιολικών μονάδων.

Περαιτέρω διερεύνηση σεναρίων με χρήση και άλλων τεχνολογιών, όπως π.χ. οι κυψέλες καυσίμου, είναι πιθανό να έχει κάποια θετικά αποτελέσματα, όμως μόνο με την επίτευξη αποδοτικών κύκλων παραγωγής-αποθήκευσης-χρήσης εντός του μικροδικτύου.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Παπαμαστοράκη–Αυγουστάκη Δήμητρα, Διπλωματική εργασία, ‘Στροφή της Ευρώπης προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η πορεία προς την ενεργειακή αυτονομία. Παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών’, ΑΠΘ, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Ιούνιος 2012
- [2] Hatziargyriou N.D., Vrontisi Z., Tsikalakis A.G, Kiliass V., ‘The effect of island interconnections on the increase of Wind Power penetration in the Greek System’, In proc. Of the 2007 IEEE PES General Meeting, 24 – 28 June 2007, Tampa, Florida, US, PESGM07 ’07 – 1075.
- [3] National Report 2012 – RAE, Greece
- [4] Κολέρη Νικολέττα, Διπλωματική εργασία, ‘Πρόβλεψη παραγωγής και μακροπρόθεσμης διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης’, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος 2012
- [5] Βαλαλάκη Αικατερίνη, Διπλωματική εργασία, ‘Επίδραση της τιμολόγησης των ΑΠΕ στα μικροδίκτυα’, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Δεκέμβριος 2010
- [6] Μπουλμέτης Ευάγγελος, Διπλωματική εργασία, ‘Μελέτη της συμπεριφοράς διεσπαρμένης παραγωγής από σταθμό με κυψέλες καυσίμου που συνδέεται σε ένα μικροδίκτυο’, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Μάιος 2010
- [7] Τσικαλάκης Αντώνιος, Διδακτορική διατριβή, ‘Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης και ανανεώσιμης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης.’, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- [8] Κατασκευαστής Μικροτουρμπίνων Capstone, Διαθέσιμο: <http://www.microturbine.com>
- [9] Αγγελαδάς Εμμανουήλ, Πτυχιακή εργασία, ‘Μελέτη και βελτιστοποίηση συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης υδρογόνου με χρήση αιολικής ενέργειας και προσομοίωση της λειτουργίας σε Η/Υ με τη βοήθεια του προγράμματος Homer Energy’, ΤΕΙ Πειραιά, Μάρτιος 2013
- [10] The Global 2013 Wind Report, Global Wind Energy Council (GWEC) : <http://www.gwec.net>
- [11] European Wind Energy Association (EWEA). Διαθέσιμο: [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
- [12] Jauch Cl., Matevosyan J., Ackermann Th., Bolik S. “International comparison of requirements for connection of wind turbines to power systems”, Wind energy, Vol. 8 Is. 3, July/Sept. 2005, p 295 – 306.
- [13] Παπαθανασίου Σταύρος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, ‘Σύνδεση Εγκαταστάσεων Παραγωγής στα Δίκτυα Διανομής’, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003.
- [14] AD Hansen, LH Hansen “Wind turbine concept market penetration over 10 years (1995-2004)”, J. Wind energy, Vol. 10, Issue. 1, January/February 2007, pp: 81-97.
- [15] Δικτυακός τόπος προγράμματος Small Wind Industry Implementation Strategy Project (SWIIS). Διαθέσιμο: <http://www.smallwindindustry.org>
- [16] Nilsson Julia, “Maintenance management of wind power systems. Cost effect analysis of condition monitoring systems”, Master Thesis, School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology KTH, 2005/2006.
- [17] Ένωση Ελλήνων Βιομηχάνων Ηλιακής Ενέργειας, Διαθέσιμο: [www.ebhe.gr](http://www.ebhe.gr)
- [18] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D’haeseleer, “Distributed generation: definition, benefits and issues”, J Energy Policy, Vol 33, Issue 6, pp787-798, April 2005.
- [19] B. Chowdhury, A.Sawab, “Evaluating the value of Distributed Photovoltaic Generations in Radial Distribution Systems”, IEEE Trans on Energy Conversion, Vol 11, No 3, September 1996, pp595-600.
- [20] Cesi EuroDish Solar Generator, DISPOWER Project Highlight no 8.
- [21] Pelamis Wave Power. Διαθέσιμο: <http://www.pelamiswave.com>
- [22] Previsic, M.. “Wave power technologies”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005.12 – 16 June 2005 pp: 2011 - 2016 Vol. 2.

- [23] “Wave energy Utilization in Europe Current Status and Perspectives”, European Thematic Network on Wave Energy. Διαθέσιμο: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [24] Καλογερά Μαρία, Διπλωματική εργασία ‘Προστασία μικροδικτύου συνδεδεμένου στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης από μεγάλα ρεύματα που οφείλονται σε βυθίσεις τάσης του δικτύου διανομής.’, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Ιούνιος 2011
- [25] R. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. S. Meliopoulos, R. Yinger and J. Eto, 2002 ‘Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS Microgrid Concept’.
- [26] Chris Marnay, Joseph S. Chard, Kristina S. Hamachi, Timothy Lipman, Mirtha M. Moezzi, Boubekeur Ouaglal, and Afzal S. Siddiqui (2001) ‘Modeling of customer adoption of distributed energy resources’.
- [27] More Microgrids – Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids, Work Package G. Task TG3: Input to Deliverable DG4. Version 1.0. July 2007
- [28] Παπαδόπουλος Μ., Καθηγητής ΕΜΠ, ‘Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές’, Αθήνα 1997
- [29] Dimeas A. L., Hatziargyriou N. D., ‘Control agents for real Microgrids’, Intelligent System Applications to Power Systems, 2009. ISAP '09. 15th International Conference, 8-12 Nov. 2009, p. 1-5
- [30] Zamora R., Srivastaka A. K.: ‘Controls for microgrids with storage: Review, challenges, and research needs.’, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 7, September 2010
- [31] Dimeas A. L., Hatziargyriou N. D., ‘Operation of a Multiagent System for Microgrid Control’, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 20, NO. 3, AUGUST 2005, p. 1447-55.
- [32] J. A. Peças Lopes, S. L. Moreira, F. O. Resende: Control strategies for microgrids black start and islanded operation. International journal of distributed energy resources, 3, 2005.
- [33] X. Tan et al. Advances and trends of energy storage technology in Microgrid Electrical Power and Energy Systems 44 (2013) 179–191
- [34] M.J. Erickson, R.H. Lasseter, ‘Integration of Battery Energy Storage Element in a CERTS Microgrid’, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE, 12–16 September 2010.
- [35] Κρωονίδης Γεώργιος, Διπλωματική εργασία: ‘Μέθοδος ανίχνευσης επιπέδου φόρτισης μπαταριών σε μικροδίκτυο με διανεμημένες πηγές παραγωγής και γραμμικά/μη-γραμμικά φορτία.’, ΑΠΘ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Φεβρουάριος 2013
- [36] Δημέας Άρης Ευάγγελος, Διδακτορική διατριβή, ‘Συμβολή στον καταναμημένο έλεγχο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής στη χαμηλή τάση.’, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα 2006.
- [37] Bailey O., Ouaglal B., Bartholomew E., Marnay C. and Bourassa N. (2002). An Engineering – Economic Analysis of Combined Heat and Power Technologies in a μGrid Application.
- [38] Barnes M., Kondoh J., Asano H., Oyarzabal J., Ventakaramanan G., Lasseter Robert, Hatziargyriou N., Green Tim, ‘Real-World MicroGrids - An Overview’, System of Systems Engineering, 2007. SoSE '07. IEEE International Conference, 16-18 April 2007, p. 1-8.
- [39] <http://www.agios-efstratios.gov.gr>
- [40] <http://aims.cres.gr/grwind150/viewer.htm>
- [41] <http://www.nordregio.se>
- [42] <http://www.gotland.se/eco>
- [43] <http://www.utsira.kommune.no>
- [44] <http://www.globalislands.net/greenislands>
- [45] <http://www.espa.gr>
- [46] <http://www.ypeka.gr>
- [47] Tom Lambert (Mistaya Engineering Inc.), Paul Gilman, Peter Lilienthal (National Renewable Energy Laboratory): ‘Micropower System Modeling with Homer’. In: Integration of alternative sources of energy, John Wiley & Sons; December 2005 - chapter 15. Διαθέσιμο: <http://www.homerenergy.com/>

- [48] Αντωνακόπουλος Μιχαήλ, Διπλωματική εργασία, ‘Ανάλυση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδυάζει ΑΠΕ και τεχνολογίες υδρογόνου’, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος 2010
- [49] Σακκάς Κ. Νικόλαος-Παναγιώτης, Διπλωματική εργασία ‘Μελέτη της συμβολής τεχνολογιών υδρογόνου στη βελτίωση της ποιότητας ισχύος αιολικού πάρκου διασυνδεδεμένου στο δίκτυο και στην αποθήκευση ενέργειας υβριδικού σταθμού παραγωγής’, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Νοέμβριος 2011
- [50] Κονδύλης Π. Γεώργιος, Διπλωματική εργασία ‘Πλήρης αντικατάσταση των πετρελαικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής της Αμοργού με εγκαταστάσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Οκτώβριος 2014
- [51] Σταματόπουλος Θωμάς, Διπλωματική εργασία ‘Σχεδιασμός Υβριδικού Συστήματος Ενέργειας στη Νήσο Δονούσα με χρήση Homer Energy’, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, 2013
- [52] Zoulias E.I., Lymberopoulos N. Techno-economic analysis of the integration of hydrogen energy technologies in renewable energy-based stand-alone power systems, *Renewable Energy* 32 (2007) 680-96
- [53] Rehman S, El-Amin IM, Ahmad F, Shaahid SM, Al-Shehri AM, Bakhshwain JM, et al. Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007;11(4):635–53.
- [54] Tzamalīs G, Zoulias E.I., Stamatakis E, Varkaraki E, Lois E, Zannikos F. Techno-economic analysis of an autonomous power system integrating hydrogen technology as energy storage medium. *Renewable Energy* 2011;36(1):118–24.
- [55] Parissis O.-S., Zoulias E., Stamatakis E., Sioulas K., Alves L., Martins R., Tsikalakis A., Hatziaargyriou N., Caralis G, Zervos A. Integration of wind and hydrogen technologies in the power system of Corvo island, Azores: A cost-benefit analysis international journal of hydrogen energy 36 (2011) 8143-51
- [56] Tzamalīs G, Zoulias E.I., Stamatakis E., Parissis O.-S., Stubos A., Lois E. Techno-economic analysis of RES & hydrogen technologies integration in remote island power system. *International Journal of hydrogen energy* 2013; 38: 11646-54
- [57] Hafez O., Bhattacharya K. Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids *Renewable Energy* 45 (2012) 7-15
- [58] Kaabeche A, Belhamel M, Ibtouen R. Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system. *Energy* 2011;36:1214-22
- [59] Bekele G, Palm B. Feasibility study for a standalone solar–windbased hybrid energy system for application in Ethiopia. *Applied Energy* 2010;87(2):487–95.
- [60] Yang H, Zhou W, Lu L, Fang Z. Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar-wind system with LPSP technology by using genetic algorithm. *Solar Energy* 2008;82:354-67
- [61] Koutroulis E, Kolokotsa D, Potirakis A, Kalaitzakis K. Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms. *Solar Energy* 2006;80:1072-88
- [62] Zhang X. et al. Components sizing of hybrid energy systems via the optimization of power dispatch simulations/ *Energy* 52 (2013) 165-72
- [63] Zhou W, Lou C, Li Z, Lu L, Yang H. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy* 2010;87:380-9
- [64] M. Manfren et al. Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models *Applied Energy* 88 (2011) 1032–48
- [65] Erdinc O, Uzunoglu M. Optimum design of hybrid renewable energy systems: overview of different approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012; 16: 1412-25
- [66] Sunanda Sinha, S.S. Chandel Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32(2014)192–205

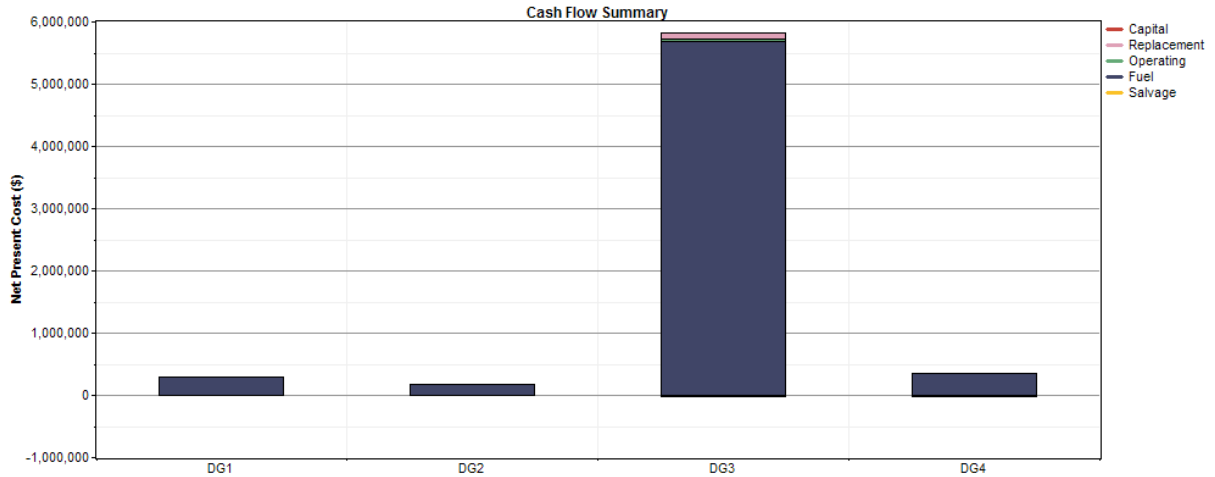




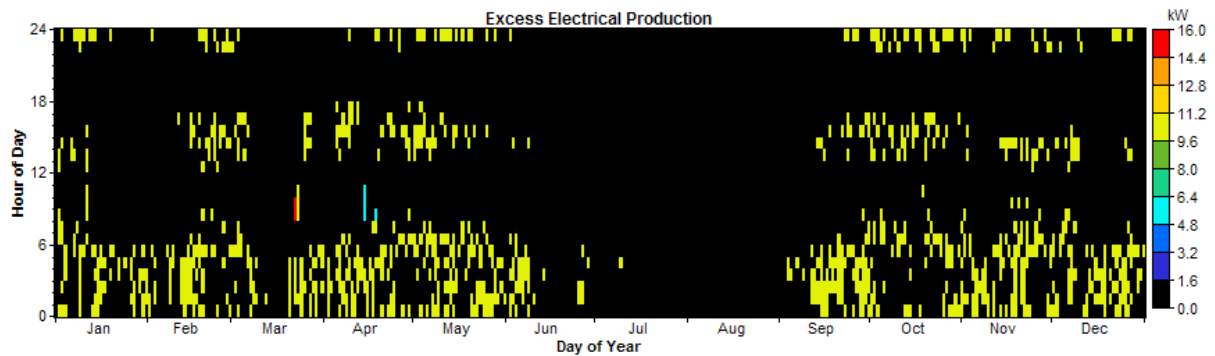
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΙΝΑΚΕΣ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

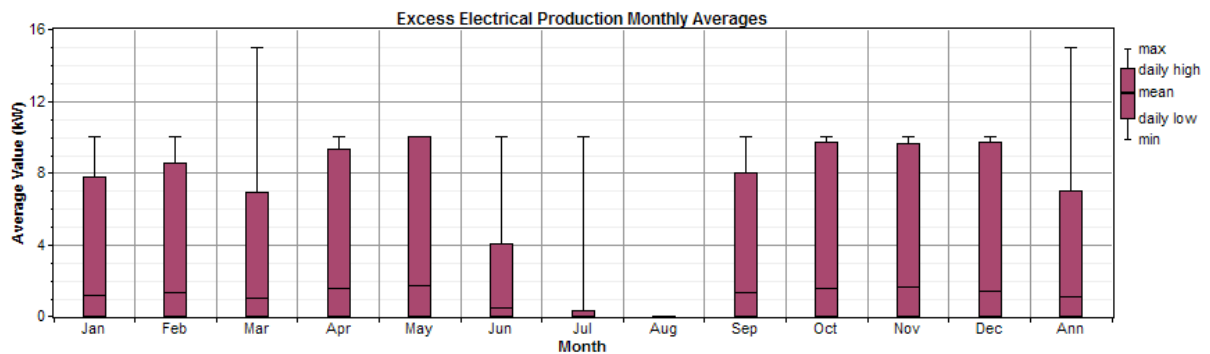
### Π.1 Σενάριο παρούσας κατάστασης



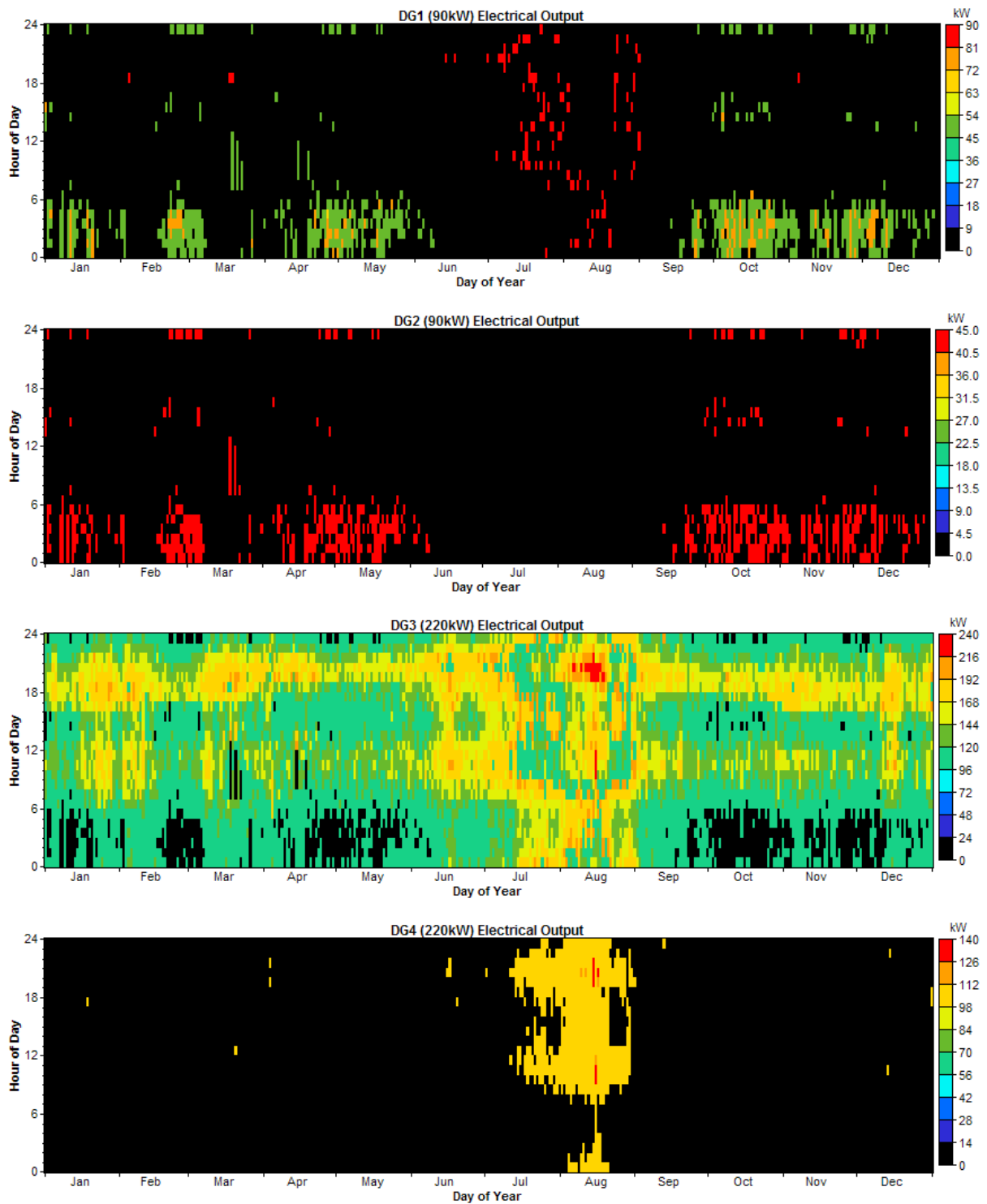
Σχήμα Π.1 Ανάλυση κόστους σεναρίου παρούσας κατάστασης



Σχήμα Π.2 Χάρτης περίσσειας παραγόμενης ισχύος για το σενάριο παρούσας κατάστασης



Σχήμα Π.3 Μηνιαίες τιμές περίσσειας παραγόμενης ισχύος - σενάριο παρούσας κατάστασης



Σχήμα Π.4 Χάρτες παραγόμενης ισχύος των γεννητριών ντήζελ

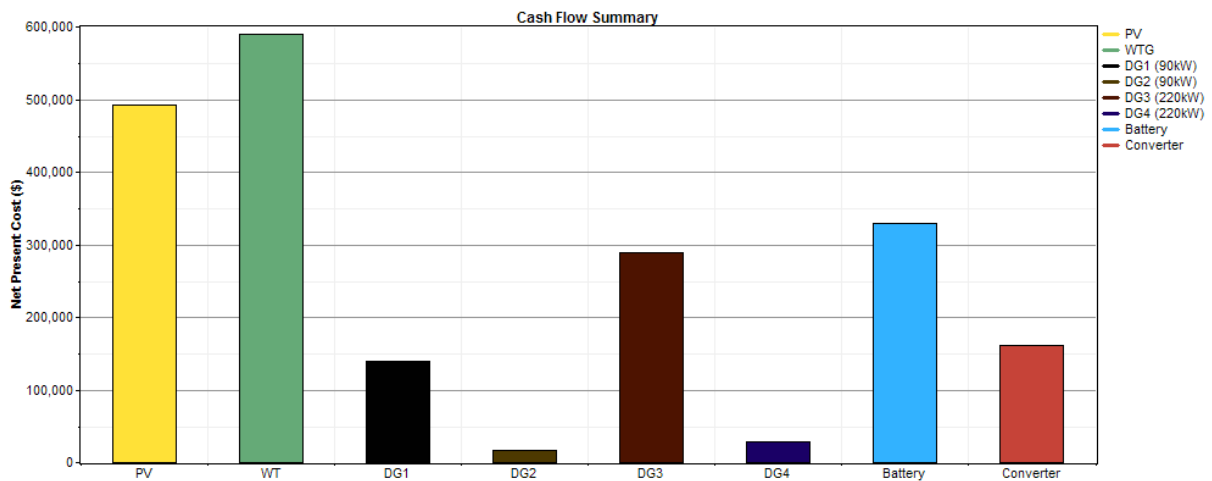
## Π.2 Σενάρια υβριδικών συστημάτων με χρήση ΑΠΕ

Πίνακας Π.1 Οικονομικά στοιχεία σεναρίων προσομοιώσεων υβριδικών συστημάτων για διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης και συνθέσεις μείγματος ΑΠΕ

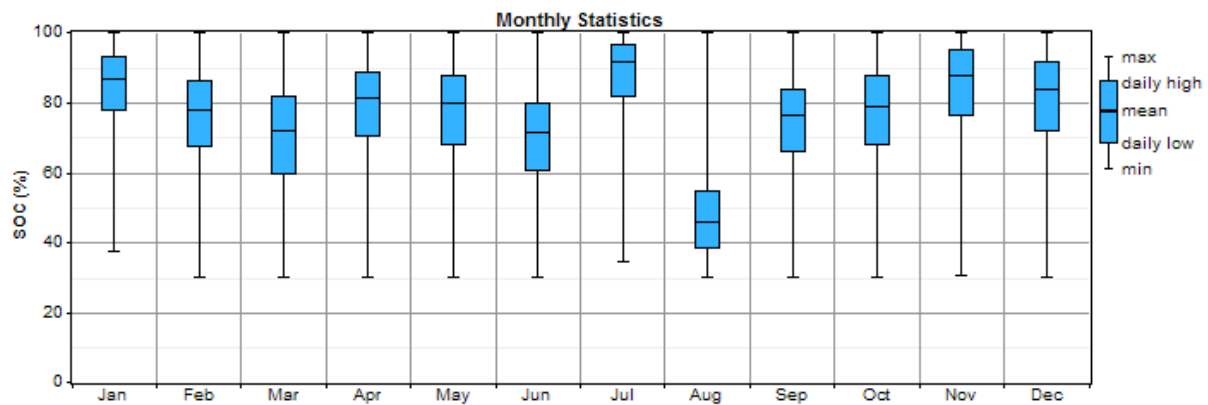
Scenario	Case	Annual average load (kW)	Installed PV (% of RE)	Installed PV (kW)	Installed PV (% of Load)	Installed WT (% of RE)	Installed WT (kW)	Installed WT (% of Load)	Total installed RE (kW)	RE (% of Load)	Total NPC (\$)	Levelized COE (\$/kWh)
(PV_10%)(WT_90%) of installed RE												
1	1	140	10.00%	7	5.00%	90.00%	63	45.00%	70	50.00%	5394729	0.354
2	1	140	10.00%	14	10.00%	90.00%	126	90.00%	140	100.00%	4107613	0.270
3	1	140	10.00%	21	15.00%	90.00%	189	135.00%	210	150.00%	3209167	0.211
4	1	140	10.00%	28	20.00%	90.00%	252	180.00%	280	200.00%	2658506	0.175
5	1	140	10.00%	35	25.00%	90.00%	315	225.00%	350	250.00%	2353395	0.155
6	1	140	10.00%	42	30.00%	90.00%	378	270.00%	420	300.00%	2220960	0.146
<b>7</b>	<b>1</b>	<b>140</b>	<b>10.00%</b>	<b>49</b>	<b>35.00%</b>	<b>90.00%</b>	<b>441</b>	<b>315.00%</b>	<b>490</b>	<b>350.00%</b>	<b>2177154</b>	<b>0.143</b>
8	1	140	10.00%	56	40.00%	90.00%	504	360.00%	560	400.00%	2181409	0.143
9	1	140	10.00%	63	45.00%	90.00%	567	405.00%	630	450.00%	2217952	0.146
10	1	140	10.00%	70	50.00%	90.00%	630	450.00%	700	500.00%	2275480	0.149
11	1	140	10.00%	77	55.00%	90.00%	693	495.00%	770	550.00%	2349520	0.154
12	1	140	10.00%	84	60.00%	90.00%	756	540.00%	840	600.00%	2434204	0.160
(PV_30%)(WT_70%) of installed RE												
1	2	140	30.00%	21	15.00%	70.00%	49	35.00%	70	50.00%	5581008	0.366
2	2	140	30.00%	42	30.00%	70.00%	98	70.00%	140	100.00%	4549284	0.299
3	2	140	30.00%	63	45.00%	70.00%	147	105.00%	210	150.00%	3534610	0.232
4	2	140	30.00%	84	60.00%	70.00%	196	140.00%	280	200.00%	2916660	0.192
5	2	140	30.00%	105	75.00%	70.00%	245	175.00%	350	250.00%	2474659	0.162
6	2	140	30.00%	126	90.00%	70.00%	294	210.00%	420	300.00%	2237860	0.147
7	2	140	30.00%	147	105.00%	70.00%	343	245.00%	490	350.00%	2116364	0.139
<b>8</b>	<b>2</b>	<b>140</b>	<b>30.00%</b>	<b>168</b>	<b>120.00%</b>	<b>70.00%</b>	<b>392</b>	<b>280.00%</b>	<b>560</b>	<b>400.00%</b>	<b>2086679</b>	<b>0.137</b>
9	2	140	30.00%	189	135.00%	70.00%	441	315.00%	630	450.00%	2095779	0.138
10	2	140	30.00%	210	150.00%	70.00%	490	350.00%	700	500.00%	2133956	0.140
11	2	140	30.00%	231	165.00%	70.00%	539	385.00%	770	550.00%	2192556	0.144
12	2	140	30.00%	252	180.00%	70.00%	588	420.00%	840	600.00%	2265432	0.149
(PV_50%)(WT_50%) of installed RE												
1	3	140	50.00%	35	25.00%	50.00%	35	25.00%	70	50.00%	5779059	0.379
2	3	140	50.00%	70	50.00%	50.00%	70	50.00%	140	100.00%	4984305	0.327
3	3	140	50.00%	105	75.00%	50.00%	105	75.00%	210	150.00%	4101738	0.269
4	3	140	50.00%	140	100.00%	50.00%	140	100.00%	280	200.00%	3330897	0.219
5	3	140	50.00%	175	125.00%	50.00%	175	125.00%	350	250.00%	2803192	0.184
6	3	140	50.00%	210	150.00%	50.00%	210	150.00%	420	300.00%	2400270	0.158
7	3	140	50.00%	245	175.00%	50.00%	245	175.00%	490	350.00%	2178993	0.143
8	3	140	50.00%	280	200.00%	50.00%	280	200.00%	560	400.00%	2068622	0.136
<b>9</b>	<b>3</b>	<b>140</b>	<b>50.00%</b>	<b>315</b>	<b>225.00%</b>	<b>50.00%</b>	<b>315</b>	<b>225.00%</b>	<b>630</b>	<b>450.00%</b>	<b>2046792</b>	<b>0.134</b>
10	3	140	50.00%	350	250.00%	50.00%	350	250.00%	700	500.00%	2059442	0.135
11	3	140	50.00%	385	275.00%	50.00%	385	275.00%	770	550.00%	2097776	0.138
12	3	140	50.00%	420	300.00%	50.00%	420	300.00%	840	600.00%	2162012	0.142
(PV_70%)(WT_30%) of installed RE												
1	4	140	70.00%	49	35.00%	30.00%	21	15.00%	70	50.00%	5984604	0.393
2	4	140	70.00%	98	70.00%	30.00%	42	30.00%	140	100.00%	5383639	0.354
3	4	140	70.00%	147	105.00%	30.00%	63	45.00%	210	150.00%	4768384	0.313
4	4	140	70.00%	196	140.00%	30.00%	84	60.00%	280	200.00%	4129765	0.271
5	4	140	70.00%	245	175.00%	30.00%	105	75.00%	350	250.00%	3488363	0.229
6	4	140	70.00%	294	210.00%	30.00%	126	90.00%	420	300.00%	2971324	0.195
7	4	140	70.00%	343	245.00%	30.00%	147	105.00%	490	350.00%	2576386	0.169
8	4	140	70.00%	392	280.00%	30.00%	168	120.00%	560	400.00%	2270427	0.149
9	4	140	70.00%	441	315.00%	30.00%	189	135.00%	630	450.00%	2139334	0.140
<b>10</b>	<b>4</b>	<b>140</b>	<b>70.00%</b>	<b>490</b>	<b>350.00%</b>	<b>30.00%</b>	<b>210</b>	<b>150.00%</b>	<b>700</b>	<b>500.00%</b>	<b>2087376</b>	<b>0.137</b>
11	4	140	70.00%	539	385.00%	30.00%	231	165.00%	770	550.00%	2100370	0.138
12	4	140	70.00%	588	420.00%	30.00%	252	180.00%	840	600.00%	2141813	0.141
(PV_90%)(WT_10%) of installed RE												
1	5	140	90.00%	63	45.00%	10.00%	7	5.00%	70	50.00%	6185920	0.406
2	5	140	90.00%	126	90.00%	10.00%	14	10.00%	140	100.00%	5786879	0.380
3	5	140	90.00%	189	135.00%	10.00%	21	15.00%	210	150.00%	5378693	0.353
4	5	140	90.00%	252	180.00%	10.00%	28	20.00%	280	200.00%	4955558	0.325
5	5	140	90.00%	315	225.00%	10.00%	35	25.00%	350	250.00%	4554811	0.299
6	5	140	90.00%	378	270.00%	10.00%	42	30.00%	420	300.00%	4162080	0.273
7	5	140	90.00%	441	315.00%	10.00%	49	35.00%	490	350.00%	3775616	0.248
8	5	140	90.00%	504	360.00%	10.00%	56	40.00%	560	400.00%	3408808	0.224
9	5	140	90.00%	567	405.00%	10.00%	63	45.00%	630	450.00%	3062937	0.201
10	5	140	90.00%	630	450.00%	10.00%	70	50.00%	700	500.00%	2796551	0.184
11	5	140	90.00%	693	495.00%	10.00%	77	55.00%	770	550.00%	2634219	0.173
12	5	140	90.00%	756	540.00%	10.00%	84	60.00%	840	600.00%	2543348	0.167

*Πίνακας Π.2 Τεχνικά στοιχεία σεναρίων προσομοιώσεων υβριδικών συστημάτων για διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης και συνθέσεις μείγματος ΑΠΕ*

Scenario	Case	PV-kWh/yr (%)	WT-kWh/yr (%)	Renewable fraction (%)	DG1-kWh/yr (%)	DG2-kWh/yr (%)	DG3-kWh/yr (%)	DG4-kWh/yr (%)	DGtotal-kWh/yr (%)	Batteries (MWh)	Autonomy (h)	Converter (kW)
<b>(PV_10%)(WT_90%) of installed RE</b>												
1	1	1.00%	22.00%	23.00%	15.00%		59.00%	3.00%	77.00%	120	0.602	20
2	1	2.00%	43.00%	45.00%	13.00%		40.00%	2.00%	55.00%	390	1.96	40
3	1	2.00%	61.00%	63.00%	9.00%		26.00%	2.00%	37.00%	1950	9.78	85
4	1	3.00%	75.00%	78.00%	4.00%		16.00%	2.00%	22.00%	4590	23	145
5	1	3.00%	83.00%	86.00%	2.00%		10.00%	1.00%	13.00%	5490	27.5	180
6	1	3.00%	87.00%	90.00%	2.00%		6.00%	1.00%	9.00%	5520	27.7	190
<b>7</b>	<b>1</b>	<b>3.00%</b>	<b>90.00%</b>	<b>93.00%</b>	<b>1.00%</b>		<b>5.00%</b>	<b>1.00%</b>	<b>7.00%</b>	<b>5160</b>	<b>25.6</b>	<b>195</b>
8	1	3.00%	91.00%	94.00%	1.00%		4.00%	1.00%	6.00%	4890	24.5	190
9	1	4.00%	92.00%	96.00%	1.00%		3.00%	1.00%	5.00%	4860	24.4	200
10	1	4.00%	93.00%	97.00%	1.00%		2.00%		3.00%	4620	23.2	190
11	1	4.00%	94.00%	98.00%	1.00%		2.00%		3.00%	4530	22.7	190
12	1	4.00%	94.00%	98.00%	1.00%		2.00%		3.00%	4410	22.1	190
<b>(PV_30%)(WT_70%) of installed RE</b>												
1	2	2.00%	17.00%	19.00%	14.00%		63.00%	3.00%	80.00%	120	0.602	20
2	2	5.00%	33.00%	38.00%	16.00%		44.00%	2.00%	62.00%	240	1.2	50
3	2	7.00%	49.00%	56.00%	11.00%		31.00%	2.00%	44.00%	870	4.37	75
4	2	9.00%	62.00%	71.00%	8.00%		20.00%	2.00%	30.00%	2910	14.6	125
5	2	11.00%	72.00%	83.00%	4.00%		13.00%	1.00%	18.00%	4710	23.6	160
6	2	11.00%	77.00%	88.00%	2.00%		8.00%	1.00%	11.00%	4980	25	180
7	2	12.00%	80.00%	92.00%	2.00%		5.00%	1.00%	8.00%	5040	25.3	190
<b>8</b>	<b>2</b>	<b>12.00%</b>	<b>82.00%</b>	<b>94.00%</b>	<b>1.00%</b>		<b>4.00%</b>	<b>1.00%</b>	<b>6.00%</b>	<b>4620</b>	<b>23.2</b>	<b>190</b>
9	2	12.00%	83.00%	95.00%	1.00%		3.00%		4.00%	4530	22.7	190
10	2	12.00%	84.00%	96.00%	1.00%		2.00%		3.00%	4230	21.2	190
11	2	12.00%	85.00%	97.00%	1.00%		2.00%		3.00%	4080	20.5	195
12	2	12.00%	85.00%	97.00%	1.00%		1.00%		2.00%	3840	19.3	200
<b>(PV_50%)(WT_50%) of installed RE</b>												
1	3	4.00%	12.00%	16.00%	13.00%		68.00%	3.00%	84.00%	150	0.753	25
2	3	8.00%	24.00%	32.00%	18.00%		48.00%	2.00%	68.00%	240	1.2	55
3	3	12.00%	35.00%	47.00%	15.00%		35.00%	2.00%	52.00%	570	2.86	75
4	3	16.00%	46.00%	62.00%	11.00%		26.00%	2.00%	39.00%	1170	5.87	95
5	3	19.00%	55.00%	74.00%	7.00%		18.00%	1.00%	26.00%	2850	14.3	145
6	3	21.00%	62.00%	83.00%	4.00%		11.00%	1.00%	16.00%	4470	22.4	165
7	3	23.00%	66.00%	89.00%	2.00%		8.00%	1.00%	11.00%	4290	21.5	185
8	3	24.00%	69.00%	93.00%	2.00%		4.00%	1.00%	7.00%	4860	24.4	190
<b>9</b>	<b>3</b>	<b>24.00%</b>	<b>71.00%</b>	<b>95.00%</b>	<b>1.00%</b>		<b>3.00%</b>		<b>4.00%</b>	<b>4470</b>	<b>22.4</b>	<b>190</b>
10	3	25.00%	72.00%	97.00%	1.00%		2.00%		3.00%	4170	20.9	200
11	3	25.00%	72.00%	97.00%	1.00%		2.00%		3.00%	3690	18.5	200
12	3	25.00%	73.00%	98.00%	1.00%		2.00%		3.00%	3420	17.2	200
<b>(PV_70%)(WT_30%) of installed RE</b>												
1	4	6.00%	7.00%	13.00%	11.00%		73.00%	4.00%	88.00%	150	0.753	35
2	4	11.00%	14.00%	25.00%	18.00%		55.00%	2.00%	75.00%	270	1.35	55
3	4	17.00%	21.00%	38.00%	17.00%		43.00%	2.00%	62.00%	420	2.11	110
4	4	22.00%	28.00%	50.00%	15.00%		33.00%	2.00%	50.00%	930	4.67	135
5	4	28.00%	34.00%	62.00%	11.00%		26.00%	1.00%	38.00%	1470	7.38	155
6	4	32.00%	40.00%	72.00%	8.00%		19.00%	1.00%	28.00%	2280	11.4	155
7	4	36.00%	45.00%	81.00%	5.00%		12.00%	1.00%	18.00%	3360	16.9	165
8	4	39.00%	49.00%	88.00%	3.00%		8.00%	1.00%	12.00%	4020	20.2	190
9	4	41.00%	51.00%	92.00%	2.00%		6.00%		8.00%	4110	20.6	195
<b>10</b>	<b>4</b>	<b>42.00%</b>	<b>52.00%</b>	<b>94.00%</b>	<b>2.00%</b>		<b>3.00%</b>		<b>5.00%</b>	<b>3870</b>	<b>19.4</b>	<b>200</b>
11	4	43.00%	53.00%	96.00%	1.00%		2.00%		3.00%	3690	18.5	200
12	4	43.00%	54.00%	97.00%	1.00%		2.00%		3.00%	3660	18.4	210
<b>(PV_90%)(WT_10%) of installed RE</b>												
1	5	7.00%	2.00%	9.00%	8.00%		79.00%	4.00%	91.00%	210	1.05	40
2	5	15.00%	5.00%	20.00%	13.00%		65.00%	3.00%	81.00%	240	1.2	75
3	5	22.00%	7.00%	29.00%	13.00%		56.00%	2.00%	71.00%	330	1.66	145
4	5	29.00%	9.00%	38.00%	14.00%		47.00%	2.00%	63.00%	750	3.76	155
5	5	35.00%	11.00%	46.00%	13.00%		38.00%	2.00%	53.00%	1260	6.32	175
6	5	42.00%	14.00%	56.00%	12.00%		31.00%	1.00%	44.00%	1770	8.88	190
7	5	48.00%	16.00%	64.00%	11.00%		25.00%	1.00%	37.00%	2220	11.1	190
8	5	54.00%	18.00%	72.00%	9.00%		19.00%	1.00%	29.00%	2940	14.8	190
9	5	60.00%	19.00%	79.00%	7.00%		14.00%	1.00%	22.00%	4650	23.3	190
10	5	64.00%	21.00%	85.00%	5.00%		10.00%		15.00%	5220	26.2	200
11	5	68.00%	22.00%	90.00%	3.00%		7.00%		10.00%	5520	27.7	210
12	5	70.00%	23.00%	93.00%	2.00%		5.00%		7.00%	5670	28.5	230



Σχήμα Π.5 Ανάλυση κόστους οικονομικότερου σεναρίου υβριδικού συστήματος

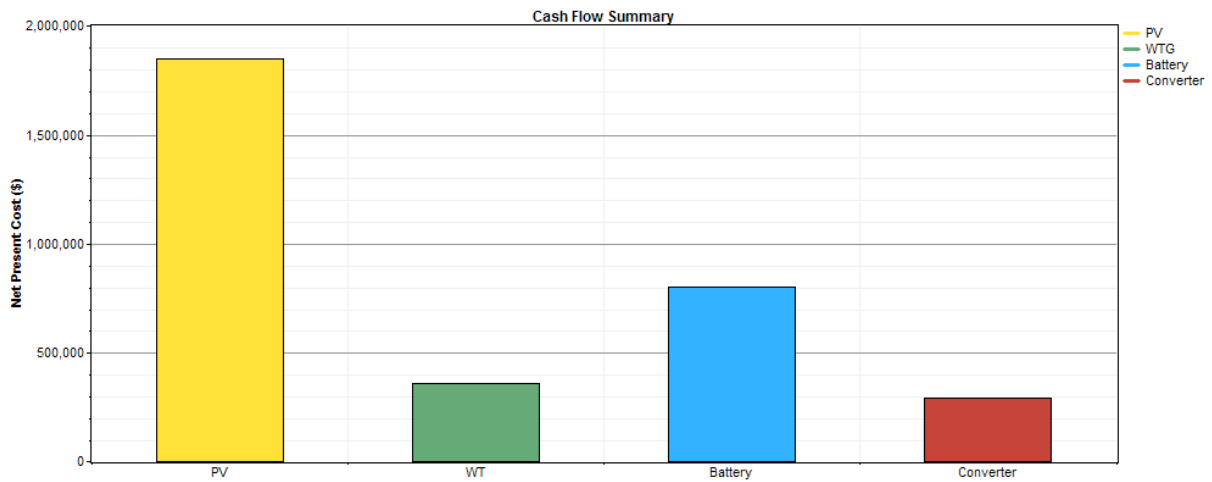


Σχήμα Π.6 Μέσες μηνιαίες τιμές κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών για το οικονομικότερο σενάριο υβριδικού συστήματος

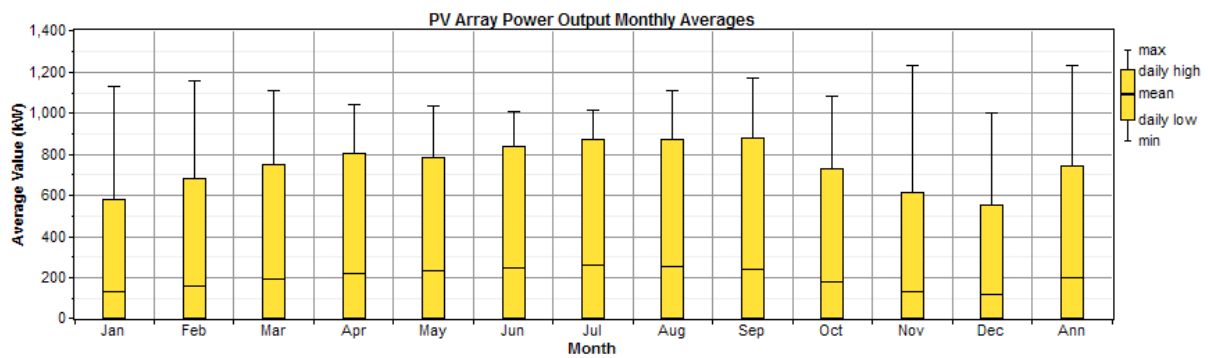
Πίνακας Π.3 Τεχνικά στοιχεία συσσωρευτών για το οικονομικότερο σενάριο υβριδικού συστήματος

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Nominal capacity	4,470	kWh	Energy in	280,890	kWh/yr
Usable nominal capacity	3,129	kWh	Energy out	245,006	kWh/yr
Autonomy	22.4	hr	Storage depletion	3,122	kWh/yr
Lifetime throughput	7,596,020	kWh	Losses	32,761	kWh/yr
Battery wear cost	0.045	\$/kWh	Annual throughput	264,197	kWh/yr
Average energy cost	0.000	\$/kWh	Expected life	20.0	yr

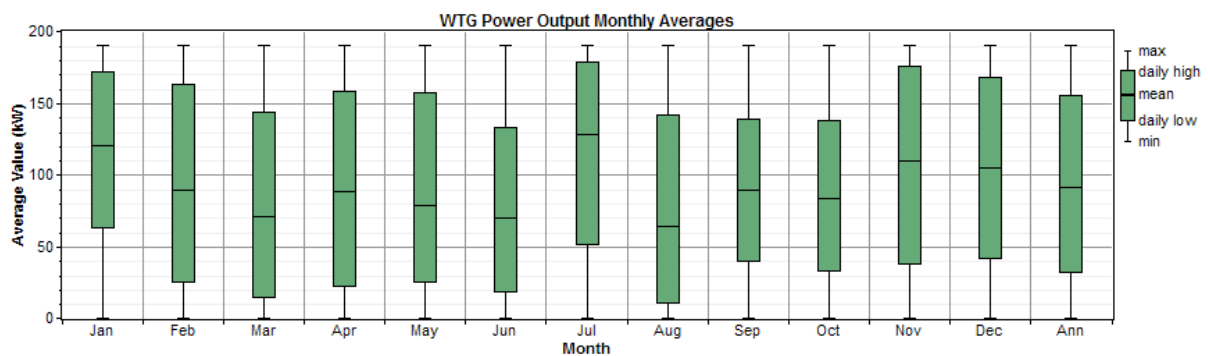
### Π.3 Σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ



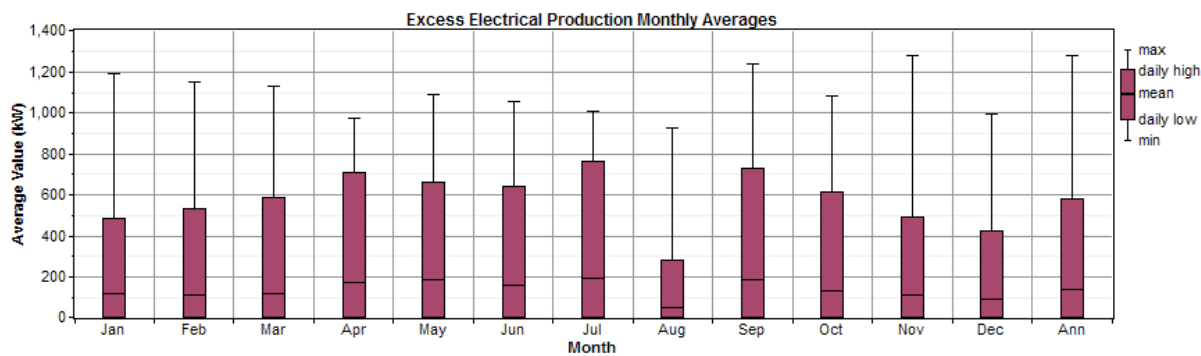
Σχήμα Π.7 Ανάλυση κόστους οικονομικότερου σεναρίου αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ



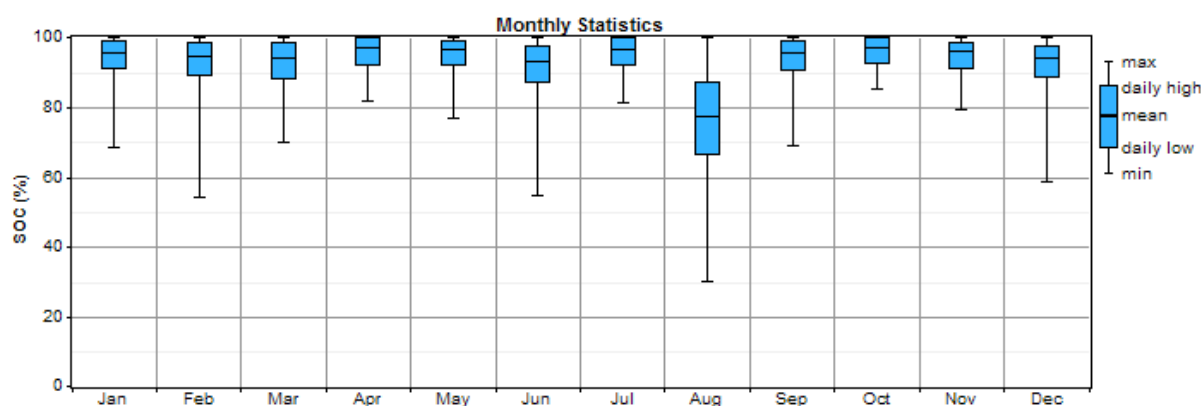
Σχήμα Π.8 Μέσες μηνιαίες τιμές παραγόμενης ισχύος από φωτοβολταϊκές μονάδες για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ



Σχήμα Π.9 Μέσες μηνιαίες τιμές παραγόμενης ισχύος από αιολικά για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ



Σχήμα Π.10 Μέσες μηνιαίες τιμές περίσσειας παραγόμενης ισχύος για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ



Σχήμα Π.11 Μέσες μηνιαίες τιμές κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ

Πίνακας Π.4 Τεχνικά στοιχεία συσσωρευτών για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	11,040	kWh
Usable nominal capacity	7,728	kWh
Autonomy	55.4	hr
Lifetime throughput	18,824,770	kWh
Battery wear cost	0.045	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	402,955	kWh/yr
Energy out	350,421	kWh/yr
Storage depletion	3,514	kWh/yr
Losses	49,020	kWh/yr
Annual throughput	377,868	kWh/yr
Expected life	20.0	yr