



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

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΔΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ

ΕΛΕΝΗΣ Γ. ΚΑΡΑΜΑΝΟΥ

**Επιβλέπων :** Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2006





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

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ

ΕΛΕΝΗΣ Γ. ΚΑΡΑΜΑΝΟΥ

**Επιβλέπων :** Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....2006.

.....  
Ε. Διαλυνάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα, Ιούλιος 2006

.....  
Ελένη Γ. Καραμάνου

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

Copyright © ΕΛΕΝΗ ΚΑΡΑΜΑΝΟΥ 2006

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.

*Στη γιαγιά μου Ελένη,  
στη μητέρα μου, στον αδερφό μου  
και στη μνήμη του πατέρα μου.*



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση και εκτίμηση των δυνατοτήτων διείσδυσης της αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής σε αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και ο προσδιορισμός ενδεικτικών ορίων.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε ένα λογιστικό μοντέλο στην προγραμματιστική γλώσσα του περιβάλλοντος της Matlab 7.0. που προσομοιώνει σε ετήσια βάση τη λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος που αποτελείται από συμβατικό σταθμό παραγωγής, αιολικά πάρκα και φωτοβολταϊκούς σταθμούς, χρησιμοποιώντας βήμα προσομοίωσης λίγων λεπτών. Το πρόγραμμα ενσωματώνει μεθοδολογία υπολογισμού της φωτοβολταϊκής παραγωγής από χρονοσειρά μετρηθείσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Ως παράδειγμα εφαρμογής του λογιστικού μοντέλου επιλέχθηκε το σύστημα της Σάμου. Η παραμετρική διερεύνηση της μελέτης επικεντρώθηκε στο περιθώριο διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος στο σύστημα αυτό, στη θεώρηση αξιοπιστίας στην φωτοβολταϊκή παραγωγή -ως ποσοστό διατήρησης της παραγωγής τους παρά διάφορων δυσμενών συνθηκών- και στην εφαρμογή περιορισμών διείσδυσης στην παραγωγή τους -όπως και στα αιολικά- για διάφορα σενάρια εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διερεύνηση των δυνατοτήτων διείσδυσης αιολικής και φωτοβολταϊκής ισχύος σε αυτόνομα νησιωτικά συστήματα, ώστε να προβλεφθεί και να αντιμετωπιστεί εγκαίρως πιθανώς κορεσμός στην απορρόφηση της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές που εγκαθίστανται στα δίκτυα αυτών.

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ**

Αιολική Ενέργεια, Ηλιακή Ενέργεια, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Όρια Διείσδυσης, Αυτόνομο Νησιωτικό Σύστημα, Λογιστικό Μοντέλο





## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is the investigation and evaluation of the penetration's possibilities of wind and solar production to the autonomous insular systems in addition to the determination of their limits' penetration.

Concerning this thesis, a programming model has been created, using the language of technical computing, Matlab 7.0. The mentioned programme simulates in an annual basis the operation of an autonomous insular system, using a few minutes simulation step. The latter is consisted of a diesel station, generators of wind turbines and photovoltaic generators. The programme embodies an extensive determination of photovoltaic production from real time series.

Specifically, the case study was applied in the operation of Samo's system during the penetration of solar production for several cases of established wind power, and displayed the secure limits of their penetration.

This model can be used as guide for the investigation of wind and solar energy's penetration to autonomous insular systems, so as to forecast and confront in time future crises in the autonomous electric energy net.

## **KEY WORDS**

Wind Energy, Solar Energy, Photovoltaic Systems, Penetration Limits, Autonomous Insular System, Programming Model



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παπαθανασίου Σταύρο, του οποίου η καθοδήγηση ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μπουλαξή Νίκο, Μηχανικός στη ΡΑΕ, για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση του καθώς και για τη συνεχή καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στον ξάδελφο μου Ζέρβα Πάνο για τη συνεισφορά του και την ολική συμπαράστασή του καθόλη τη διάρκεια της έρευνάς μου.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε και με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια και που χωρίς τη πολύτιμη παρουσίας της δε θα είχα καταφέρει τίποτα από όσα έχω μέχρι σήμερα επιτύχει.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή**

1.1 Γενικά	19
1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	19
1.3 Κύριοι προβληματισμοί	20
1.4 Παραδοχές	21
1.5 Λογιστικό μοντέλο προσομοίωσης	23
1.6 Αιολική ενέργεια	23
1.7 Ηλιακή ενέργεια	28

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Υφιστάμενη κατάσταση**

2.1 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας	37
2.2 Σταθμοί παραγωγής	38
2.3 Αυτόνομα ελληνικά νησιωτικά συστήματα	41
2.4 Συντελεστής χρησιμοποίησης αιολικών πάρκων	43

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

3.1 Γενικά	51
3.1.1 Τι είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα	51
3.2 Στοιχεία κατασκευής φωτοβολταϊκών	54
3.2.1 Ημιαγώγιμα στοιχεία	54
3.2.2 Πρόσμιξη ημιαγώγιμων στοιχείων	55
3.2.3 Η ένωση P-N και το αποτέλεσμα της ένωσης	56
3.2.4 Ορθή και ανάστροφη πόλωση της διόδου	58
3.2.5 Το ανάστροφο ρεύμα κόρου	59
3.3 Ηλιακή ακτινοβολία	61
3.3.1 Γενικά	61
3.3.2 Συνιστώσες Ηλιακής Ακτινοβολίας	61
3.3.3 Ύπαρξη Ατμόσφαιρας-Ακτινοβολία ενός ήλιου	62
3.3.4 Μεταβολές της ηλιακής Ακτινοβολίας	65
3.3.4.1 Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της θέσης του ήλιου	65
3.3.4.2 Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της κίνησης της γης κατά	68

τη διάρκεια του έτους	
3.3.4.3 Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της κίνησης κατά τη διάρκεια της ημέρας	69
3.3.4.4 Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της γεωγραφικής θέσης του παρατηρητή	70
3.3.5 Η ηλιακή ακτινοβολία στο φωτοβολταϊκό συλλέκτη	72
3.3.5.1 Η επίδραση της κλίσης του συλλέκτη	72
3.3.5.2 Η επίδραση της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας	77
3.3.6 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη	78
3.3.6.1 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας	78
3.3.6.2 Επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία	79
3.3.6.3 Συνολική ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη	80
3.3.7 Υπολογισμός της ισχύος εξόδου φωτοβολταϊκού	82
3.4 Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία	82
3.5 Φωτοβολταϊκή Παραγωγή	84

#### **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Μεθοδολογία υπολογισμού του ορίου διείσδυσης Α.Π.Ε. στα μη διασυνδεδεμένα νησιά**

4.1 Εισαγωγή	89
4.2 Αρχές μεθοδολογίας	89
4.3 Δεδομένα υπολογισμών	92
4.4 Περιγραφή Μεθοδολογίας	94
4.5 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και λήψη αποφάσεων	95
4.6 Μαθηματικός προσδιορισμός της ενεργειακής διείσδυσης των αιολικών και φωτοβολταϊκών	96
4.6.1 Περιορισμοί διείσδυσης	96
4.6.2 Στρεφόμενη εφεδρεία	98
4.6.3 Διαμορφωμένοι περιορισμοί, συνολικοί περιορισμοί διείσδυσης και επιμερισμός	99
4.6.3.1 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα	100
4.6.3.2 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα και μεγάλα φωτοβολταϊκά (ελεγχόμενα)	101

4.6.3.3.1 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα, μεγάλα φωτοβολταϊκά ελεγχόμενα (μέσης τάσης) και μη ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά (χαμηλής τάσης)	103
4.6.3.3.2 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα, μεγάλα φωτοβολταϊκά μη ελεγχόμενα (μέσης τάσης) και μη ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά (χαμηλής τάσης)	105
4.7 Υλοποίηση των περιορισμών	107
4.8 Τρόπος λειτουργίας του αυτόνομου νησιωτικού συστήματος και κανόνες λειτουργίας αυτού	107
4.8.1 Κανόνες Λειτουργίας των Συμβατικών Μονάδων	107
4.8.2 Κανόνες Διαχείρισης των Αιολικών Σταθμών	109
4.8.3 Προγραμματισμός Λειτουργίας Συστήματος	109
4.9 Υφιστάμενη κατάσταση	110
4.10 Παράμετροι διερεύνησης ενός αυτόνομου συστήματος	113

## **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Εφαρμογή στη Σάμο**

5.1 Γενικά	119
5.2 Παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος της Σάμου	120
5.3 Παραμετρική διερεύνηση	123
5.3.1 Αυτόνομο Σύστημα Σάμου	124
5.3.2 Σύστημα με μέση αιολική ισχύ	125
5.3.2.1 Επιπτώσεις φωτοβολταϊκής διεύθυνσης και αξιοπιστίας	125
5.3.2.2 Επιπτώσεις ελέγχου Φ/Β και αξιοπιστίας	132
5.3.3 Σύστημα με αυξημένη αιολική ισχύ	137
5.4 Γενικά συμπεράσματα για το σύστημα της Σάμου	143

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Βασικά συμπεράσματα και προτάσεις**

6.1 Γενικά	147
6.2 Περαιτέρω διερεύνηση	147

<b>Βιβλιογραφία</b>	149
---------------------	-----





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ



### **1.1. Γενικά**

Η εργασία αυτή συντάχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας υπό την καθοδήγηση του καθηγητή κ. Παπαθανασίου Σταύρο και σε συνεργασία με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).

### **1.2. Σκοπός διπλωματικής εργασίας**

Η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και της εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα, που έχουν προκαλέσει τις σημαντικότερες αλλαγές στο Ελληνικό ενεργειακό σύστημα κατά την τελευταία δεκαετία.

Η διείσδυση των Α.Π.Ε. συμβάλλει θετικά στη μείωση της εξάρτησης της χώρας από το εισαγόμενο πετρέλαιο με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στην Εθνική Οικονομία, στην εξοικονόμηση των συμβατικών μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων και τέλος στην προστασία του περιβάλλοντος.

Οι παραπάνω λόγοι κατέστησαν αναγκαία την χρησιμοποίηση των ΑΠΕ και την αξιοποίηση αυτών των πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στρέφεται στον άνεμο και τον ήλιο που αποτελούν τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στα νησιά της χώρας, όπου το αιολικό δυναμικό και η ηλιακή ακτινοβολία, λόγω της γεωγραφικής θέσης και των καιρικών (κλιματολογικών) συνθηκών, έχουν μεγάλη ισχύ.

Η εκμετάλλευση των πηγών αυτών, μέσω ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών γεννητριών, που αποτελούν τις κυριότερες υφιστάμενες σήμερα διατάξεις αξιοποίησης των ΑΠΕ, θα αποτελέσουν ένα σημαντικό μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης του νησιωτικού συστήματος καθώς και το λόγο της διερεύνησης που παρουσιάζεται σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

Στο πλαίσιο αυτό, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθούν και να εκτιμηθούν οι δυνατότητες διείσδυσης της αιολικής και ηλιακής ενέργειας στα ελληνικά αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και να προσδιοριστούν τα όρια της σχετικής διείσδυσης αυτών.

Η διάρθρωση της εργασίας αυτής έχει ως εξής:

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κύριοι προβληματισμοί, που πυροδότησαν την παρούσα μελέτη, ως προς τη διείσδυση της φωτοβολταϊκής ισχύος σε αυτόνομα νησιωτικά συστήματα με εγκατεστημένη αιολική ισχύ, και περιγράφονται αναλυτικά γενικές

πληροφορίες σχετικά με την αιολική και ηλιακή ενέργεια. Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση της αιολικής εγκατεστημένης ισχύος στα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και καταγράφεται αναλυτικά ο προσδιορισμός της φωτοβολταϊκής παραγωγής από χρονοσειρές μετρηθείσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο καταγράφονται οι αρχές που διέπουν την λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος και ο προσδιορισμός των ορίων διείσδυσης ανανεώσιμης παραγωγής σε αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από συμβατικό σταθμό, αιολικά πάρκα και φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή του λογιστικού μοντέλου, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, στο σύστημα της Σάμου και καταγράφονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα καθώς και τα συμπεράσματα ως προς τη διείσδυση της φωτοβολταϊκής ισχύος στη Σάμο. Τα γενικά συμπεράσματα, τα προτεινόμενα όρια διείσδυσης καθώς και η ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης συνοψίζονται στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Στο 7<sup>ο</sup> και 8<sup>ο</sup> Κεφάλαιο ακολουθεί το παράρτημα και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε, αντίστοιχα.

Η απελευθέρωση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η έντονη ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα, καθώς και οι νέες αποδοτικότερες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών, καθιστούν την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στην πρώτη θέση του ενδιαφέροντος των επενδυτών. Έτσι η αναμενόμενη και πιθανά αυξανόμενη παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα αποτελεί το κυριότερο θέμα προς διερεύνηση. Είναι γνωστό, από τη μέχρι σήμερα διαχείριση του δικτύου ενός συστήματος και την πλέον επαρκή εμπειρία, πως λειτουργεί ένα αυτόνομο σύστημα με αιολικά πάρκα. Ανάλογη εμπειρία όμως δεν υπάρχει, για το πως θα συνεργαστεί το αυτόνομο σύστημα με αιολικά και φωτοβολταϊκά, έτσι ώστε να δοθούν άδειες στις αιτήσεις των παραγωγών ενέργειας από φωτοβολταϊκά και να διασφαλιστεί η ασφαλή λειτουργία του δικτύου.

### **1.3. Κύριοι προβληματισμοί**

Η τήρηση ορισμένων προϋποθέσεων για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου του συστήματος παρά την εγκατάσταση και σύνδεση φωτοβολταϊκών σταθμών, πυροδοτεί την παρούσα μελέτη, η οποία θέτοντας ως βάση την αιολική παραγωγή σε ένα αυτόνομο σύστημα, επικεντρώνεται στους εξής τρεις σημαντικούς προβληματισμούς:

1. Ποιο μπορεί να είναι το ανώτατο όριο διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος σε ένα σύστημα, ως ποσοστό της αιχμής του φορτίου;

2. Είναι δίκαιο ή όχι για τους ανανεώσιμους παραγωγούς και συμφέρον για το σύστημα να περιορίζουμε την παραγωγή των μεγάλων φωτοβολταϊκών, μέσης τάσης, σύμφωνα με τους ίδιους περιορισμούς διείσδυσης στους οποίους υπόκεινται και η αιολική παραγωγή;
3. Η θεώρηση αξιοπιστίας στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών, ως ποσοστό διατήρησης της παραγωγής τους, έχει επιπτώσεις στην ανανεώσιμη παραγωγή και γενικά στη λειτουργία του συστήματος;

Οι παραπάνω προβληματισμοί έχουν τεθεί ως παράμετροι διερεύνησης στη μελέτη.

#### **1.4. Παραδοχές**

Λαμβάνοντας υπόψη την ποικίλη εφαρμογή τους, τα φωτοβολταϊκά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

1. Τα μικρά φωτοβολταϊκά, ισχύος έως 100 kW, που εγκαθίστανται συνήθως στις στέγες των σπιτιών και συνδέονται στη χαμηλή τάση. Η παραγωγή των μικρών φωτοβολταϊκών είναι ανεξέλεγκτη, αφού δεν υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησής της και περιορισμού της σύμφωνα με τους περιορισμούς διείσδυσης.
2. Τα μεγάλα φωτοβολταϊκά, ισχύος μεγαλύτερης των 100 kW, που συνδέονται στη μέση τάση, με δυνατότητα ελέγχου της παραγωγής τους και εφαρμογής των περιορισμών διείσδυσης, με χρήση κατάλληλων αυτοματοποιημένων συστημάτων, όπως συμβαίνει και με την αιολική παραγωγή.

Επιπρόσθετα, η αξιοπιστία της παραγωγής των φωτοβολταϊκών ορίζεται ως ένα σίγουρο ποσοστό διατήρησης της αναμενόμενης παραγωγής τους παρά των διαφόρων συνθηκών, όπως μια έντονη συννεφιά ή μια αποσύνδεση κάποιας γραμμής του δικτύου λόγω προστασίας του, σε περίπτωση σφάλματος. Σε μια ξαφνική συννεφιά που καλύπτει μέρος αλλά ακόμη και ολόκληρο το νησιωτικό σύστημα, τα φωτοβολταϊκά εξακολουθούν να παράγουν, σε μικρότερο βέβαια ποσοστό εξαιτίας της μειωμένης ακτινικής ακτινοβολίας, λόγω μεγαλύτερης απορρόφησής της από την ατμόσφαιρα, της διάχυτης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Επίσης στην περίπτωση αποσύνδεσης κάποιας γραμμής του δικτύου, τα φωτοβολταϊκά που βρίσκονται διεσπαρμένα στη χαμηλή τάση δεν βγαίνουν όλα εκτός λειτουργίας αλλά και να τεθούν ορισμένα εκτός λειτουργίας, από θα συμβεί σε χρόνο που οι συμβατικές μονάδες θα προλάβουν να αναλάβουν το φορτίο, που

μέχρι εκείνη τη στιγμή εξυπηρετούσαν τα φωτοβολταϊκά. Για τους λόγους αυτούς η αξιοπιστία της παραγωγής των φωτοβολταϊκών έχει θεωρηθεί ίση με:

- 50%, για την διανεμημένη φωτοβολταϊκή παραγωγή χαμηλής τάσης, λόγω του ότι τα μικρά φωτοβολταϊκά βρίσκονται διεσπαρμένα μέσα στο δίκτυο, και
- 25%, για τη φωτοβολταϊκή παραγωγή μέσης τάσης, λόγω του ότι τα μεγάλα φωτοβολταϊκά βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μεγάλους σταθμούς.

Η θεώρηση της αξιοπιστίας, πιθανών να έχει θετικές επιπτώσεις στη λειτουργία του συστήματος, μειώνοντας για παράδειγμα τη στρεφόμενη εφεδρεία των συμβατικών μονάδων. Τέλος μηδενική αξιοπιστία έχει θεωρηθεί για την αιολική παραγωγή, λόγω του ότι οι ανεμογεννήτριες σε μια αντίστοιχη περίπτωση απώλειας ανέμου ή ταχύτητας αποκοπής των ανεμογεννητριών, δε διατηρούν την παραγωγή τους, όπως συμβαίνει με τα φωτοβολταϊκά.

Για να θεωρηθεί αξιοπιστία και να επιβληθούν οι περιορισμοί διείσδυσης στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παραγωγή τους να είναι γνωστή από πριν, κάτι που είναι πρακτικώς αδύνατον. Εν τούτοις, καλή προσέγγιση για την αναμενόμενη παραγωγή τους δίνει μία πρόβλεψη αυτής, μέσω μετρημένων χρονοσειρών μέσης φωτοβολταϊκής παραγωγής. Κατόπιν της πρόβλεψης, υπάρχει και η δυνατότητα θεώρησης αξιοπιστίας στην αναμενόμενη παραγωγή των φωτοβολταϊκών καθώς και περιορισμού της σύμφωνα με τους υποβαλλόμενους περιορισμούς διείσδυσης.

Οι περιορισμοί διείσδυσης, όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, καθορίζονται συνολικά στο σύστημα με βάση τα χαρακτηριστικά του φορτίου, τον προγραμματισμό ένταξης των συμβατικών μονάδων του σταθμού και τα τεχνικά τους ελάχιστα, τους δυναμικούς περιορισμούς διείσδυσης ισχύος των ΑΠΕ και το αξιόπιστο ποσοστό της αναμενόμενης φωτοβολταϊκής παραγωγής. Στη συνέχεια, οι περιορισμοί διείσδυσης επιμερίζονται στους αιολικούς παραγωγούς με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους. Σε ένα σύστημα με αιολικά και φωτοβολταϊκά οι περιορισμοί διείσδυσης επιμερίζονται στους ανανεώσιμους παραγωγούς με βάση και την εγκατεστημένη ισχύ τους αλλά και τη δυνατότητα παραγωγής των φωτοβολταϊκών όπως καθορίζεται από την ώρα της ημέρας, το μήνα, την εποχή, αφού δεν υπάρχει νόημα, τα φωτοβολταϊκά να υπόκεινται στους περιορισμούς κατά τις βραδινές ώρες.

### 1.5. Λογιστικό μοντέλο προσομοίωσης

Για να απαντηθούν, οι παραπάνω προβληματισμοί αναπτύχθηκε ένα λογιστικό μοντέλο τήρησης του ισοζυγίου ισχύος που προσομοιώνει σε δεκάλεπτη ή σε ωριαία βάση τη λειτουργία του συστήματος αγνοώντας μεταβατικά φαινόμενα, σύμφωνα με την μεθοδολογία και τους κανονισμούς που έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος είναι η σύνθεση του συμβατικού σταθμού, η σειρά ένταξης μονάδων, οι παράμετροι διερεύνησης, τα μεγέθη και τα χαρακτηριστικά αιολικών και φωτοβολταϊκών και μετρημένες χρονοσειρές φορτίου, ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας.

Σημειώνεται, ότι χρησιμοποιήθηκε ρεαλιστική χρονοσειρά φορτίου, μετρημένη χρονοσειρά ανέμου με μέση τιμή 8.13 m/s, στην πλήμνη της ανεμογεννήτριας και μετρημένη χρονοσειρά ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκε και στον αλγόριθμο πρόβλεψης της φωτοβολταϊκής παραγωγής. Το μοντέλο αυτό κάνει πρόβλεψη φορτίου και ηλιακής παραγωγής για το επόμενο βήμα, εντάσει τις μονάδες του σταθμού, υπολογίζει και επιμερίζει τους περιορισμούς διείσδυσης των ΑΠΕ τηρώντας στρεφόμενη εφεδρεία ένα ποσοστό 10% επιπλέον του φορτίου και προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος με βάση τις πραγματικές χρονοσειρές φορτίου, ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας. Υπολογίζει τις ενεργειακές αποδόσεις και δίνει εκτίμηση για ετήσια μεγέθη.

Το λογιστικό αυτό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το οποιοδήποτε αυτόνομο σύστημα αλλάζοντας κατάλληλα τα δεδομένα εισόδου.

### 1.6. Αιολική ενέργεια

Η ενέργεια που περικλείει ο άνεμος μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλους μηχανισμούς και διατάξεις. Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια, και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια, που τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Καλύπτεται έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών: η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αντλιών νερού στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, για θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών, για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας κ.ά., ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο. Για την

παραγωγή αξιόλογων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούνται συγκροτήματα από πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, τα οποία ονομάζονται αιολικά πάρκα.

Κατά τη δεκαετία του 1970 η αιολική ενέργεια συγκέντρωσε, όπως και άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, το ενδιαφέρον των ερευνητών, λόγω της διεθνούς ενεργειακής κρίσης και της αυξανόμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ο άνεμος αποτελεί μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, της οποίας η εκμετάλλευση δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, δεν απαιτεί περίπλοκες κατασκευές, δεν εμπεριέχει κόστος καυσίμου και δεν επηρεάζεται από τις ενεργειακές κρίσεις της παγκόσμιας αγοράς. Το μεγαλύτερο ωστόσο πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι μπορεί, μέσω των ανεμογεννητριών, να μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική, ενώ αντίθετα, τα μειονεκτήματά της εντοπίζονται:

α) στη διακύμανση που παρουσιάζει ως προς την απόδοση ισχύος, διακύμανση που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη -κατά τη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και του έτους- ένταση του ανέμου,

β) στη χαμηλή πυκνότητα που παρουσιάζει ως μορφή ενέργειας με συνέπεια να απαιτούνται πολλές ανεμογεννήτριες για την παραγωγή αξιόλογης ισχύος,

γ) στο χρόνο που απαιτείται για την έρευνα και τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού μεγάλων περιοχών, ώστε να εντοπιστούν τα ευνοϊκά σημεία,

δ) στο σχετικά υψηλό κόστος έρευνας και εγκατάστασης των αιολικών συστημάτων και

ε) στις επιπτώσεις που έχουν για το περιβάλλον (κυρίως αλλοίωση τοπίου, ηχορύπανση), οι οποίες, όμως, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες των συμβατικών πηγών ενέργειας, θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας.

Κατά τη δεκαετία του 1980 σημειώθηκε ραγδαία εξέλιξη στην έρευνα για την αιολική ενέργεια και στην τεχνολογία για την εκμετάλλευσή της. Έτσι, μειώθηκε σταδιακά το λειτουργικό κόστος των ανεμογεννητριών, σε επίπεδο που κατέστησε την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας οικονομικά συμφέρουσα, αντιμετωπίστηκαν ικανοποιητικά τα μηχανολογικά τους προβλήματα και δόθηκε έμφαση στην ασφαλή τους λειτουργία και στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, η απόδοσή τους αυξήθηκε σημαντικά χάρη στη βελτίωση του μηχανολογικού σχεδιασμού τους και της αεροδυναμικής συμπεριφοράς τους, στη χρησιμοποίηση σύγχρονων υλικών κατασκευής και στην εισαγωγή ηλεκτρονικών διατάξεων (μικροεπεξεργαστών και αισθητήρων ελέγχου) στο σύστημα λειτουργίας τους. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών συστημάτων (αλλοίωση του τοπίου, διατάραξη του οικοσυστήματος, ηχορύπανση) αντιμετωπίζονται με προσεκτική επιλογή του χώρου εγκατάστασης των αιολικών πάρκων, σωστό σχεδιασμό



των ανεμογεννητριών και χωροθέτησή τους, καθώς και με πρωτοποριακές λύσεις, όπως η εγκατάσταση αιολικών πάρκων μέσα στη θάλασσα, σε αβαθείς περιοχές κοντά στις ακτές (off shore windparks).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κυμαινόμενης ισχύος της αιολικής ενέργειας, εφαρμόζεται ο συνδυασμός ανεμογεννητριών με ηλιακούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς, και -ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες- με γεννήτριες Ντίζελ (Wind/Diesel Systems) για την παραγωγή ρεύματος, οι οποίες τίθενται σε λειτουργία, όταν η ταχύτητα του ανέμου πέφτει κάτω από το όριο λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Ακόμη, ενδιαφέρον παρουσιάζει μία πρωτοποριακή μέθοδος που πρωτοεφαρμόστηκε στη δεκαετία του 1980, σύμφωνα με την οποία, τις ημέρες που το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής είναι αυξημένο (μεγάλη ταχύτητα ανέμου), η περίσσεια ισχύος που παράγεται χρησιμοποιείται για τη διάσπαση νερού και την παραγωγή υδρογόνου. Σε ημέρες άπνοιας το υδρογόνο καίγεται σε θερμογεννήτριες, παράγοντας ενέργεια και εκπέμποντας μόνο υδρατμούς στο περιβάλλον. Επίσης, αξιοσημείωτη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι ο συνδυασμός της με την υδροηλεκτρική ενέργεια: ανεμοκινητήρες που κινούν αντλίες νερού μπορούν, τις ημέρες όπου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζεται αυξημένο, να χρησιμοποιούν την παραγόμενη περίσσεια ισχύος για την αποταμίευση νερού σε ταμιευτήρες που βρίσκονται σε μεγάλο ύψος. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση ή σε ημέρες άπνοιας να διατίθεται, μέσω της πτώσης του, για την κίνηση υδροστροβίλων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, για την καλύτερη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στις χώρες που αναπτύσσουν αντίστοιχα προγράμματα, βασικό παράγοντα αποτελεί η χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού, αν και η πραγματοποίησή της είναι δαπανηρή και απαιτεί χρόνο. Το πρόβλημα, ωστόσο, αυτό επιλύθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος με την ανάπτυξη -κατά τη δεκαετία του 1980- των αιολικών μοντέλων. Αιολικό μοντέλο είναι ένας κατ' εκτίμηση αιολικός χάρτης για μία ευρύτερη περιφέρεια, ο οποίος συντάσσεται με τη βοήθεια αριθμητικών μεθόδων και με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα ορισμένων μόνο περιοχών της. Με τον τρόπο αυτό μπορεί σε σύντομο χρόνο να εκτιμηθούν και να επιλεγούν περιοχές με αυξημένο αιολικό δυναμικό, και στη συνέχεια να πιστοποιηθούν οι εκτιμήσεις, με μετρήσεις επί τόπου.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η παγκόσμια παραγόμενη ισχύς από αιολικά συστήματα ήταν 15 MW (Μεγαβάτ). Το 1992, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την προώθηση των προγραμμάτων αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, η ισχύς αυτή, παραγόμενη από περισσότερες από 25000 ανεμογεννήτριες, έφτασε τα 2652 MW. Η

χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος είναι οι Η.Π.Α. (1723 MW το 1992), και ειδικότερα η πολιτεία της Καλιφόρνια. Εκεί, στην περιοχή Άλταμοντ Πας, βρίσκεται το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο του κόσμου με 7500 ανεμογεννήτριες, ενώ σε ολόκληρη την πολιτεία λειτουργούν περισσότερες από 16.000 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 1500 MW, που αντιπροσωπεύουν το 1% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής της ενέργειας. Αιολικά πάρκα υπάρχουν, επίσης, και στη Χαβάη, ενώ από το 1992 άρχισε ο σχεδιασμός για την κατασκευή αιολικών πάρκων και σε άλλες πολιτείες (Ουάσινγκτον, Αϊόβα, Μινεσότα, Μέιν). Δεύτερη χώρα στον τομέα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας έρχεται η Δανία, η οποία έχει αναπτύξει και την πιο αξιόπιστη τεχνολογία στον τομέα κατασκευής ανεμογεννητριών, κατέχοντας μεγάλο ποσοστό στην αντίστοιχη παγκόσμια αγορά. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στη Δανία φτάνει τα 360 MW, που αντιπροσωπεύουν το 2% των ενεργειακών της αναγκών. Ακολουθούν η Ολλανδία, η Γερμανία, η Μ. Βρετανία, η Ισπανία, η Ιταλία, η Γαλλία, το Βέλγιο -η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 1992 ήταν 862 MW- και η Ινδία, ενώ ανάλογα προγράμματα αναπτύσσονται στη Ρωσία και την Κίνα. Τα ενεργειακά αιολικά προγράμματα των Η.Π.Α. και της Δανίας στόχευαν ως το 2000 στην κάλυψη του 10% των συνολικών ενεργειακών τους αναγκών από την αιολική ενέργεια. Ακόμη, στις αρχές της δεκαετίας του 1990 άρχισαν να λειτουργούν στη Δανία και την Ολλανδία τα πρώτα αιολικά πάρκα μέσα στη θάλασσα (off shore windparks), σε αβαθείς περιοχές κοντά στις ακτές. Οι εγκαταστάσεις αυτές, που προς το παρόν περιλαμβάνουν μικρό αριθμό ανεμογεννητριών και ηλεκτροδοτούν μικρές κοντινές περιοχές, επιφέρουν - λόγω της απομακρυσμένης θέσης τους- πολύ λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από ό,τι οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις της στεριάς. Παράλληλα, χάρη στην απουσία φυσικών εμποδίων παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένη απόδοση.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό, το οποίο εντοπίζεται κυρίως στο Αιγαίο. Οι έρευνες και οι προσπάθειες για αξιοποίηση του δυναμικού αυτού άρχισαν κατά το τέλος της δεκαετίας του 1970. Στο πρώτο στάδιο έγιναν μετρήσεις του αιολικού δυναμικού των πιο ευνοϊκών περιοχών και συντάχθηκε η μελέτη ΑΙΟΛΟΣ με τη συνεργασία της Διεύθυνσης Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΔΕΜΕ), της ΔΕΗ και πανεπιστημίων της χώρας. Από το 1982 έως το 1994 εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες στην Άνδρο, τα Ψαρά, τη Σάμο, τη Χίο, την Κρήτη, την Εύβοια, τη Σαμοθράκη, την Ικαρία, την Κάρπαθο, τη Λήμνο, την Κύθνο και τη Σκύρο, οι οποίες παρήγαγαν συνολικά ισχύ 27 MW. Το πρώτο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε στην Κύθνο και άρχισε να λειτουργεί το 1982 περιλαμβάνοντας 5 ανεμογεννήτριες, συνολικής ισχύος αρχικά 20 KW και αργότερα

33 KW. Μέχρι το 1994 είχαν εγκατασταθεί συνολικά 13 αιολικά πάρκα σε νησιά του Αιγαίου. Το 1991 στο πλαίσιο ενός δεκαετούς αναπτυξιακού προγράμματος που εξήγγειλε η ΔΕΗ, υπογράφηκαν συμβάσεις για την κατασκευή αιολικών πάρκων στη Σάμο (2 MW), τη Χίο (2 MW), την Άνδρο (1.5 MW), τη Λέσβο (2 MW), τα Ψαρά (2 MW), την Εύβοια (5 MW) και την Κρήτη (5 MW) με 50% χρηματοδότηση από τα κοινοτικά προγράμματα ΜΟΠ (Μεσογειακά Ολοκληρωμένα Προγράμματα) και VALOREN. Το αιολικό πάρκο της Εύβοιας, που τέθηκε σε λειτουργία το 1993 με 17 ανεμογεννήτριες, και το δίδυμό του στη Σητεία Κρήτης ήταν τότε τα δύο μεγαλύτερα αιολικά πάρκα της Μεσογείου. Σε αυτά περιλαμβανόταν από το 1990 το αιολικό πάρκο της Σαμοθράκης, ισχύος 220 KW, που αποτελείτο από 4 ανεμογεννήτριες.

Από το 1995 δικαίωμα κατασκευής και λειτουργίας αιολικών μονάδων (όπως και μονάδων άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) έχουν, εκτός από τη ΔΕΗ, και ιδιώτες, οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης κ.λπ. είτε για δική τους χρήση (ιδιοπαραγωγοί) είτε για εκμετάλλευση. Μετά την υπογραφή της σύμβασης το 1991, ιδιαίτερη διάσταση έλαβε το θέμα κατασκευής του αιολικού πάρκου στη Λέσβο, λόγω του χώρου που επιλέχτηκε για την εγκατάστασή του. Ο χώρος αυτός ανήκει στην ευρύτερη περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους (το οποίο με προεδρικό διάταγμα έχει χαρακτηριστεί "διατηρητέο μνημείο της φύσης"), γεγονός που προκάλεσε την αντίδραση της Φιλοδασικής Ένωσης Αθηνών, η οποία εξέφρασε φόβους για ανεπανόρθωτη καταστροφή του μνημείου, ενώ από την άλλη, ΔΕΗ και παράγοντες της τοπικής αυτοδιοίκησης τάχτηκαν υπέρ της αναγκαιότητας του έργου, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα ηλεκτροδότησης του νησιού. Μετά από αλληπάλληλες αναστολές, το έργο κατασκευάστηκε και άρχισε να λειτουργεί το 1994 (περιλάμβανε δύο ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 600 KW). Μελλοντικός στόχος των χωρών που έχουν αναπτύξει αιολικά προγράμματα είναι η αύξηση του ποσοστού συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην κάλυψη των συνολικών ενεργειακών τους αναγκών. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Ένωση στόχευε το 2005 να έχει πετύχει την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών κατά 1% από αιολική ενέργεια.

Αν υπήρχε η δυνατότητα, με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα (Αιολική ενέργεια, ΚΑΠΕ 1998). Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις

μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Άλλωστε το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την " πρώτη" περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών. Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξης της. Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης δείχνει και ο ιδιωτικός τομέας για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην Κρήτη. Στο επόμενο κεφάλαιο, περιγράφεται αναλυτικά η υφιστάμενη κατάσταση της αιολικής ενέργειας στα αυτόνομα ελληνικά νησιωτικά συστήματα σύμφωνα με τα αριθμητικά δεδομένα της ΔΕΗ.

### 1.7. Ηλιακή ενέργεια

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας ημερησίως. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Αυτή η τεχνολογία που εμφανίστηκε στις αρχές του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ έχει μειώσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού με αυτόν τον τρόπο από \$300 σε \$4 το Watt. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές.

Όπως ξέρουμε ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας.

Ο Ήλιος (εκ του *αβέλιος - αέλιος - ηέλιος = ο ακτινοβολών, ο πυρπολών*) είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους που λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών των στοιχείων που τον συνθέτουν, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, τα μόρια αλλά και τα άτομά τους βρίσκονται σε μια κατάσταση " νέφους " θετικών και αρνητικών φορτίων ή *κατάσταση πλάσματος*, όπως ονομάστηκε. Σ' αυτές τις θερμοκρασίες, μερικών εκατομμυρίων °C, οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου (H) συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση -σύντηξη πυρήνων- είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως

συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Αν και αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, ο ήλιος διαθέτει τεράστιες ποσότητες υδρογόνου και δεν αναμένεται να υπάρξει μείωση της ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτόν.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρα μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως.

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού / καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.

- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας. Εκτίμηση 2004: 2 βιομηχανίες για κατασκευή Φ/Β, 3 ΜΜΕ για ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος και 3 μονάδες παραγωγής μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές.
- Προώθηση των στόχων της ΕΕ και του Κyoto σχετικά με τη μείωση των αερίων ρύπων και τη διεύθυνση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, σε ποσοστό 20% έως το 2010.

Η αγορά των Φ/Β στην Ευρώπη είναι σημαντική κυρίως στις χώρες Γερμανία, Ολλανδία, Ισπανία και Ιταλία. Ιδιαίτερα στη Γερμανία, το αρχικό Εθνικό Πρόγραμμα των 1.000 Φ/Β Στεγών (1990) και μετέπειτα των 100.000 Φ/Β Στεγών (1999) σε συνδυασμό με επιδότηση της παραγόμενης ηλιακής kWh, δημιούργησαν ιδιαίτερη ανάπτυξη τόσο στις εφαρμογές όσο και στη βιομηχανία. Το συνολικό μέγεθος της Ευρωπαϊκής αγοράς στο τέλος του έτους 2003 ήταν περίπου 561 MWp, από τα οποία το 71%, δηλαδή 398 MWp, είχαν εγκατασταθεί στη Γερμανία.

Από την ανάλυση των παραπάνω μεγεθών της Ευρωπαϊκής αγοράς, προκύπτει ότι δημιουργήθηκαν 15.000 άμεσες θέσεις εργασίας (πολλές από τις οποίες είναι υψηλής τεχνολογίας απασχόληση), ο ετήσιος κύκλος εργασιών ήταν €1 δις, τη διετία 2002–2003 καταγράφηκε αύξηση της αγοράς κατά 33% και έγιναν νέες επενδύσεις σε έρευνα και καινοτόμα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας.

Σήμερα, η μεγαλύτερη αγορά Φ/Β στον κόσμο είναι αυτή της Ιαπωνίας. Το έτος 2003, οι Ιαπωνικές εταιρείες Φ/Β γεννητριών παρήγαγαν περίπου 400 MWp, από τα οποία τα 250MWp εγκαταστάθηκαν στη χώρα και τα υπόλοιπα εξήχθησαν, κυρίως στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ. Καθώς το κόστος των Φ/Β συστημάτων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερες Φ/Β εφαρμογές γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικές, σε σύγκριση με παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μορφές.

Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις περισσότερα υποσχόμενες ενεργειακές τεχνολογίες. Όπως έχει προκύψει από τη διεθνή εμπειρία, το μεγάλο μερίδιο της αγοράς

των Φ/Β συστημάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες βρίσκεται σε αστικά κέντρα, σε εγκαταστάσεις όπως κτίρια, συμπλέγματα οικιών, δημόσια κτίρια, εξωτερικοί χώροι κλπ.

Οι κύριες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά (Κύθνος, Αρκοί, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), οι ηλεκτροδότηση του συνόλου του φαρικού δικτύου από την αντίστοιχη υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων της ΕΕ, αλλά και του ΕΠΑΝ.

Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα εκτιμάται σε 2,2 MWp στο τέλος του έτους 2003, το 50% των οποίων είναι Φ/Β εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β κατά το 2002 και 2003, ήταν 2,3 GWh και 2,7 GWh αντίστοιχα. Το εκτιμώμενο δυναμικό της βιομηχανίας Φ/Β στην Ελλάδα είναι 60–70 άτομα και ο ετήσιος κύκλος εργασιών είναι της τάξης των €3 εκατομμυρίων. Αντίστοιχα, ο ετήσιος εθνικός προϋπολογισμός για Ε&Α σε Φ/Β τεχνολογίες εκτιμάται σε €2,2 εκατομμύρια.

Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού. Η ανάπτυξη της αγοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προώθηση βέλτιστων μέτρων και κινήτρων εκ μέρους της πολιτείας.

Οι εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων κατηγοροποιούνται ανάλογα με τη χρήση τους. Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- Καταναλωτικά προϊόντα (1 mW–100 Wp )

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

- Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100 Wp –200 kWp )

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών.
- Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού.
- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.

➤ Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψ ύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

- Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50 kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

- Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα – Οικιακός Τομέας

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τυπικού μεγέθους 1,5 kWp έως 20 kW, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η τελευταία κατηγορία αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια είναι:

- Συγχρονισμός ψυκτικών φορτίων κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ από τα Φ/Β.
- Αποφυγή χρήσης γης για την εγκατάσταση.
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επιτόπου κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας.

Επίσης, οι Φ/Β συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία των κτιρίων, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η οικονομική απόδοση του συστήματος, λόγω αποφυγής κόστους συμβατικών οικοδομικών υλικών. Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.



- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος, που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού τους πελάτες της.

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» ( Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

# **ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

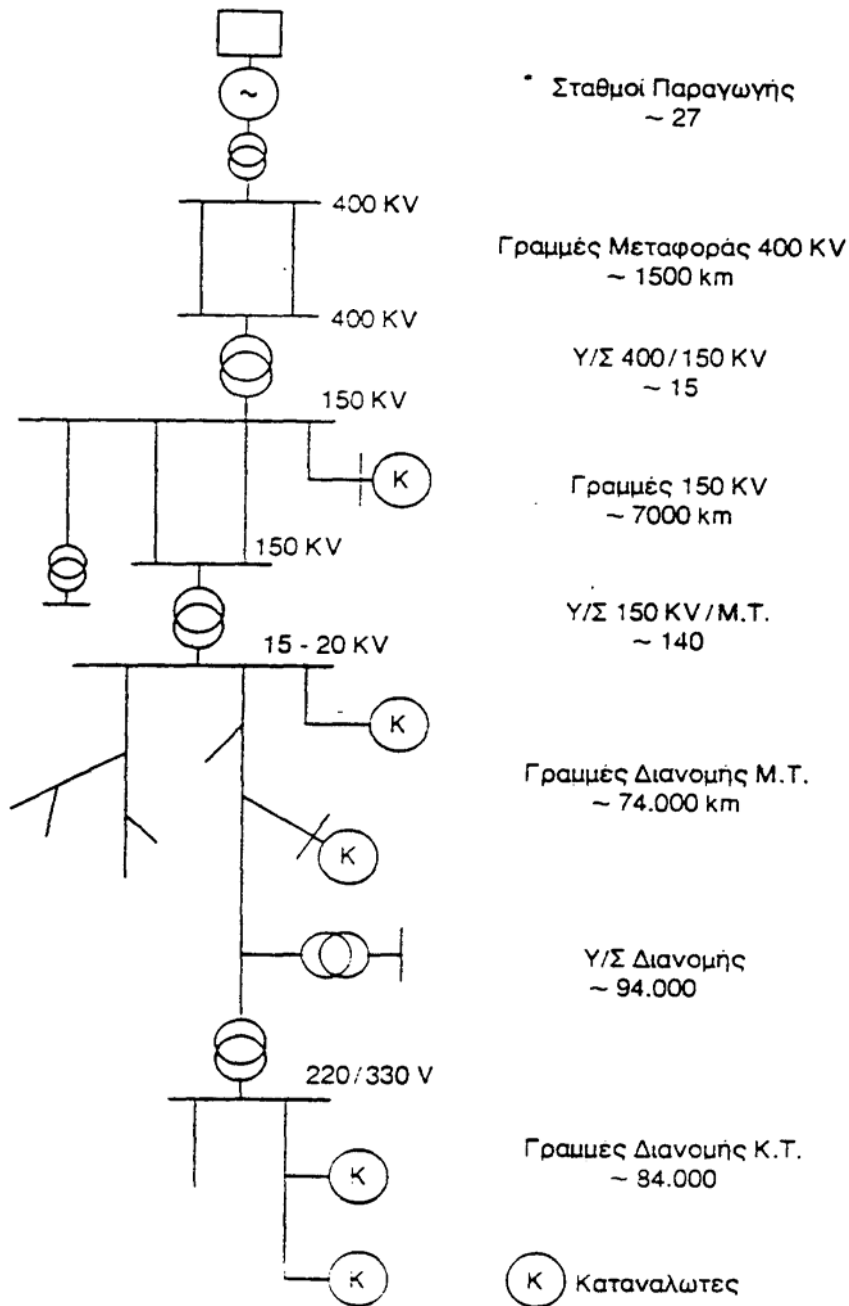


## 2.1. Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Η υπόσταση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) οφείλεται στην ανάγκη παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε μια περιοχή καταναλώσεως. Η λειτουργία ενός ΣΗΕ πρέπει να μελετηθεί έτσι ώστε να λειτουργεί σωστά και να ικανοποιεί κάποιες απαιτήσεις. Ένα ΣΗΕ πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια όπου υπάρχει ζήτηση. Λόγω της διαρκώς μεταβαλλόμενης με το χρόνο ζήτησης, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ικανοποιεί τις μεταβολές αυτές καθώς και ορισμένους όρους ποιότητας. Οι τρεις παράγοντες που συνιστούν την ποιότητα της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι: 1) σταθερή συχνότητα, 2) σταθερή τάση, 3) υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως.

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η δομή και η σύνθεση του συστήματος καθορίζεται, κατά κύριο λόγο, από το μέγεθος του. Δεδομένου ότι η εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών προϋποθέτει τις διακεκριμένες φάσεις της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής, το ΣΗΕ διαχωρίζεται σε επιμέρους αντίστοιχα συστήματα, τα οποία είναι: το Σύστημα Παραγωγής, το Σύστημα Μεταφοράς και το Σύστημα Διανομής.

Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής, όπου παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα, μαζί με τους υποσταθμούς ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του υπό υψηλή τάση. Το Σύστημα Μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης που συνδέουν τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής. Το Σύστημα Διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης και οι υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Με τα δίκτυα διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται και παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης (Σχήμα 1). Ένα σύστημα παραγωγής και μεταφοράς μπορεί να λειτουργεί μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με άλλα γειτονικά συστήματα.



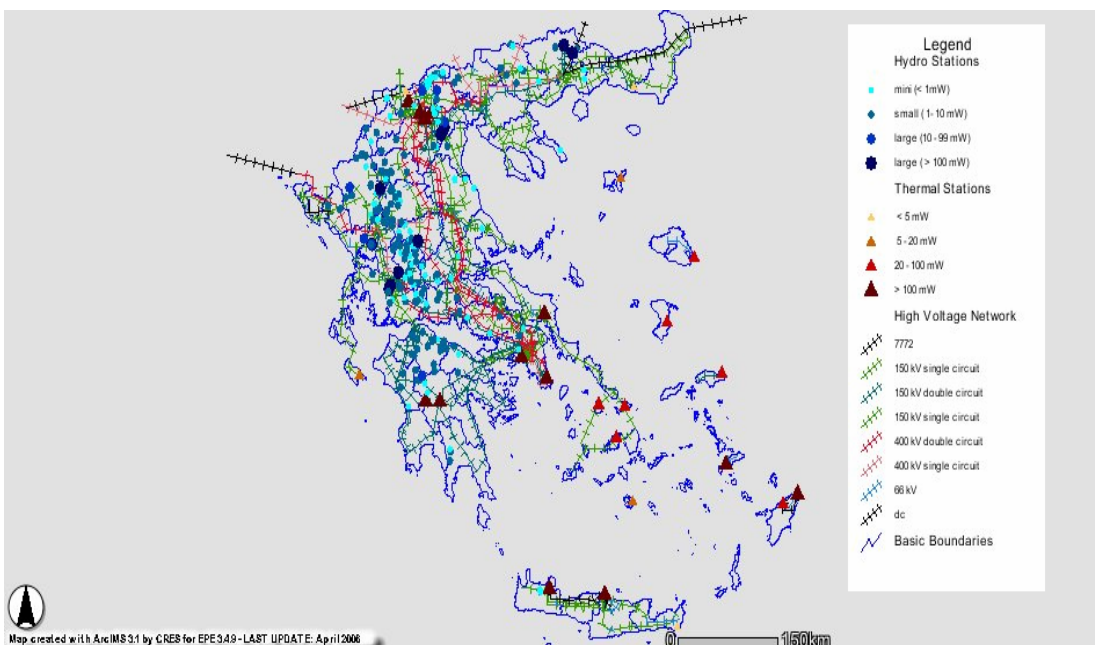
Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση Ελληνικού Συστήματος Παραγωγής – Μεταφοράς – Διανομής

## 2.2. Σταθμοί παραγωγής

Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον καταναλωτή σήμερα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με την καύση ορυκτών καυσίμων

(άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΥΗΕ) με τη ροή ή την πτώση των υδάτων και τα τελευταία χρόνια με μεγαλύτερη ένταση από σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η γεωθερμία, τα θαλάσσια κύματα, η βιομάζα κλπ.) οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον.

Στους θερμοηλεκτρικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής, η μετατροπή κάποιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας αρχικά σε μηχανική ενέργεια, γίνεται μέσω των ατμοστροβίλων, υδροστροβίλων, αεροστροβίλων και στη συνέχεια, η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω των γεννητριών. Οι σταθμοί παραγωγής στην Ελλάδα είναι κυρίως συγκεντρωμένοι στην ηπειρωτική περιοχή της χώρας, όπως φαίνεται και στον χάρτη 1.

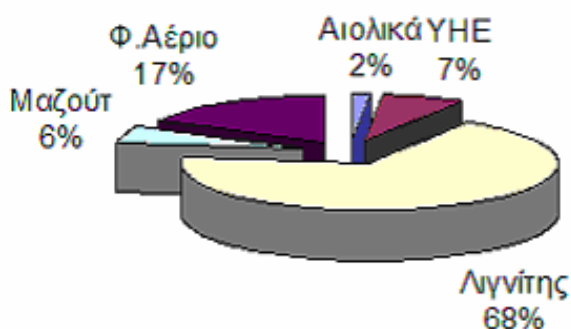


Χάρτης 1. Σταθμοί παραγωγής

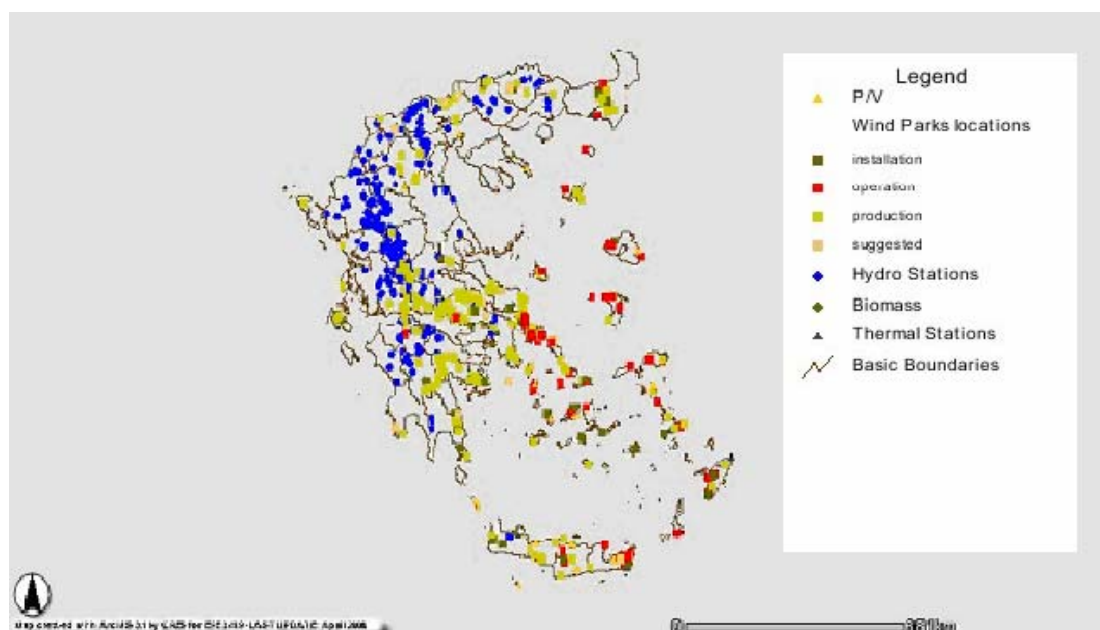
Όσον αφορά τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, οι περισσότερο διαδεδομένες εφαρμογές στα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών που συνδέονται στον ίδιο ζυγό του δικτύου. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική μέσω ενός ανεμοκινητήρα και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των ηλιακών κυψελών (Solar Cell). Η αρχή

λειτουργίας των ηλιακών κυψελών βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, που θα εξεταστεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα ποσοστά χρησιμοποίησης της κάθε μορφής ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας του έτους 2004 στην Ελλάδα φαίνεται στο σχήμα 2 και η διασπορά των σταθμών παραγωγής από ΑΠΕ στο χάρτη 2.



Σχήμα 2. Ενέργεια ανά μορφή ενέργειας για το 2004



Χάρτης 2. Σταθμοί παραγωγής ΑΠΕ



### 2.3. Αυτόνομα ελληνικά νησιωτικά συστήματα

Το ελληνικό ΣΗΕ είναι διασυνδεδεμένο με άλλα ΣΗΕ γειτονικών χωρών και εξυπηρετεί όλη την ηπειρωτική Ελλάδα και ορισμένα, διασυνδεδεμένα με το σύστημα, νησιά όπως η Εύβοια. Τα περισσότερα ελληνικά νησιά όμως τροφοδοτούνται από αυτόνομα ΣΗΕ αφού δεν συνδέονται στο ηπειρωτικό ελληνικό ΣΗΕ. Ένα αυτόνομο ΣΗΕ μπορεί να παρέχει ενέργεια σε ένα μόνο νησί ή σε περισσότερα (δύο έως τέσσερα) που είναι μεταξύ τους διασυνδεδεμένα. Τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΚΡΗΤΗ	ΡΟΔΟΣ – ΧΑΛΚΗ
ΚΩΣ – ΚΑΛΥΜΝΟΣ – ΛΕΡΟΣ - ΛΕΙΨΟΙ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ – ΚΑΣΟΣ
ΛΗΜΝΟΣ	ΣΙΦΝΟΣ
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	ΠΑΤΜΟΣ
ΜΗΛΟΣ – ΚΙΜΩΛΟΣ	ΚΥΘΝΟΣ
ΑΜΟΡΓΟΣ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ
ΜΥΚΟΝΟΣ	ΣΕΡΙΦΟΣ
ΧΙΟΣ – ΨΑΡΑ	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ
ΣΥΡΟΣ	ΑΓΙΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ
ΙΚΑΡΙΑ	ΑΝΑΦΗ
ΠΑΡΟΣ – ΝΑΞΟΣ – ΙΟΣ	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ
ΣΑΜΟΣ	ΔΟΝΟΥΣΑ
ΣΚΥΡΟΣ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ
ΣΥΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ – ΘΗΡΕΣΙΑ	ΟΘΩΝΟΙ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα νησιωτικά συστήματα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ( καύση ορυκτών καυσίμων), στα αιολικά πάρκα και στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, όπου αυτά υπάρχουν. Συγκεκριμένα, στον ακόλουθο πίνακα καταγράφονται για ορισμένα νησιωτικά συστήματα η συνολική εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών πάρκων και των φωτοβολταϊκών σταθμών του περασμένου χρόνου [πηγή ΡΑΕ].

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΓΚ. ΙΣΧΥΣ (kW) ΔΕΗ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΓΚ. ΙΣΧΥΣ (kW) ΙΔΙΩΤΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΓΚ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚ. ΙΣΧΥΣ (kW)
ΚΡΗΤΗ	16800	88971.6	105772	489
ΚΩΣ – ΚΑΛΥΜΝΟΣ – ΛΕΡΟΣ - ΛΕΙΨΟΙ	0	8000	8000	0
ΛΗΜΝΟΣ	1140	0	1140	0
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	2025	9825	11850	1
ΜΗΛΟΣ – ΚΙΜΩΛΟΣ	0	2050	2050	0
ΑΜΟΡΓΟΣ	0	0	0	0
ΜΥΚΟΝΟΣ	0	300	300	0
ΧΙΟΣ – ΨΑΡΑ	5500	3050	8550	0
ΣΥΡΟΣ	0	2790	2790	0
ΙΚΑΡΙΑ	385	600	985	0
ΠΑΡΟΣ – ΝΑΞΟΣ – ΙΟΣ	0	1800	1800	0
ΣΑΜΟΣ	2925	2950	5875	0
ΣΚΥΡΟΣ	0	0	0	0
ΣΥΜΗ	0	0	0	0
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ – ΘΗΡΕΣΙΑ	0	0	0	0
ΡΟΔΟΣ – ΧΑΛΚΗ	0	12075	12075	0
ΚΑΡΠΑΘΟΣ – ΚΑΣΟΣ	275	950	1225	0
ΣΙΦΝΟΣ	0	0	0	0
ΠΑΤΜΟΣ	0	0	0	0
ΚΥΘΝΟΣ	500	0	500	0

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΙΣΧΥ

Στη χώρα μας το σύνολο του Συστήματος Παραγωγής – Μεταφοράς – Διανομής, ανήκει στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού – ΔΕΗ. Υπάρχουν όμως και ιδιώτες παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Οι παραπάνω φωτοβολταϊκοί σταθμοί ανήκουν σε ιδιώτες παραγωγούς καθώς επίσης και ένας σημαντικός αριθμός αιολικών πάρκων όπως φαίνεται από τις διαφορετικές αιολικές ισχύεις στον παραπάνω πίνακα.

Επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στηρίζεται ακόμη και σήμερα

εξ' ολοκλήρου στην αιολική παραγωγή, η περαιτέρω αναφορά σε ΑΠΕ για το παρόν κεφάλαιο θα επικεντρωθεί στην αιολική παραγωγή.

Η παραγωγή ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς και από αιολικά πάρκα για το έτος 2005 για Κρήτη, Ρόδο και συνολικά τα υπόλοιπα νησιωτικά συστήματα καθώς και το μέρος της συνεισφοράς των αιολικών στην ενέργεια ως ποσοστό της συμβατικής παραγωγής δίνονται στον ακόλουθο πίνακα [πηγή ΡΑΕ].

	ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	$\frac{\text{ΑΙΟΛΙΚΗ}}{\text{ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ}} \cdot 100$
ΚΡΗΤΗ	2,401,464,900	267,279,278	11.1%
ΡΟΔΟΣ	673,122,400	9,067,360	1.3%
ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΝΗΣΙΑ	1,516,402,397	106,720,538	7.0%

Όπως είναι εμφανές από τον παραπάνω πίνακα, το μέρος της ενέργειας που παράγεται από αιολικά προς αυτό που παράγεται από τους συμβατικούς σταθμούς για το έτος 2005, είναι πάρα πολύ μικρό. Τα όρια διείσδυσης της ανανεώσιμης παραγωγής σε ένα σύστημα, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του φορτίου του, την λειτουργία του συμβατικού σταθμού, την ονομαστική ισχύ των συμβατικών μονάδων κ.λ.π. Η βιώσιμη λειτουργία του κάθε αιολικού πάρκου καθορίζεται από την τιμή του συντελεστή χρησιμοποίησής του (Capacity Factor) που ορίζεται από την ενέργεια που παράγει προς αυτή που θα μπορούσε να παράγει αν λειτουργούσε όλες τις ώρες υπό ονομαστική ισχύ.

#### 2.4. Συντελεστής χρησιμοποίησης αιολικών πάρκων

Με δεδομένη την ετήσια ενεργειακή απόδοση μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου, ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor, CF) δίνεται από την σχέση:

$$CF = \frac{E}{8760 \cdot P_n}$$

όπου E , η ενέργεια που παράγει σε ένα έτος και

P<sub>n</sub>, η ονομαστική του ισχύς.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα μιας ενεργειακής επένδυσης. Συνήθεις τιμές του CF είναι μεταξύ 25% και 35%, χωρίς να αποκλείονται και υψηλότερες τιμές, που συμβαίνει όταν η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου έχει γίνει σε τοποθεσία με μεγάλη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου. Στα αυτόνομα ελληνικά νησιωτικά συστήματα υπάρχουν περίπου 71 αιολικά πάρκα με άδεια λειτουργίας εκ των οποίων τα 54 ανήκουν σε ιδιώτες παραγωγούς και τα υπόλοιπα ανήκουν στη ΔΕΗ. Επίσης έχουν αδειοδοτηθεί και άλλα αιολικά πάρκα από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) σε περίπου 20 νησιά. Τα αιολικά πάρκα με άδεια παραγωγής καταγράφονται στις ακόλουθες καταστάσεις, όπου αναγράφεται η ονομαστική ισχύς του καθενός [πηγή ΡΑΕ].

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ (kW)
ΔΥΤ. ΚΥΚΛΑΔΩΝ	ΟΤΕ ΚΕΑΣ	ΝΗΣΟΣ ΚΕΑ	60
	ΚΟΙΝ.ΕΠΙΧ.ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ	ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	30
	ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε. (ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΚΥΚΛΑΔΩΝ)	ΚΟΥΤΣΟΥΝΟΡΡΑΧΗ ΜΗΛΟΥ	2050
	ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΥΚΛΑΔΩΝ ΑΕ	ΑΓ. ΜΑΡΙΝΑ ΤΗΝΟΥ	400
ΚΩ	ΟΤΕ ΚΕΦΑΛΟΥ	Ν. ΚΩΣ	60
	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ-ΡΟΚΑΣ	ΚΡΟΤΗΡΙ ΚΕΦΑΛΟΥ Ν. ΚΩΣ	4000
	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ-ΡΟΚΑΣ	ΜΕΜΙΓΚΑΡΙΑ Ν. ΛΕΡΟΥ	4000
ΛΕΣΒΟΥ	ΑΙΟΛ.ΑΜΙΓΗΣ ΔΗΜΟΤ.ΕΠΙΧ.	Ν. ΛΕΣΒΟΣ	825
	ΤΕΡΠΑΝΔΡΟΣ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ Α.Ε.	ΣΚΑΜΙΟΥΔΑ ΛΕΣΒΟΥ	4800
	ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΣΑΣ Α.Ε.	ΣΚΑΜΙΟΥΔΑ ΛΕΣΒΟΥ	4200
ΣΑΜΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΑΜΟΥ	ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ	1000
	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΑΜΟΥ	ΚΑΜΜΕΝΟΣ ΜΥΛΟΣ	750
	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΑΜΟΥ	ΣΤΡΩΤΟΣ ΠΕΥΚΟΣ	1200
	ΛΑΚΙΟΣ Α.Ε. ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	ΚΕΦΑΛΕΣ ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΥ Ν. ΙΚΑΡΙΑΣ	600
ΡΕΘΥΜΝΟΥ	ΔΕΤΕ ΑΝΩΓΕΙΩΝ		150
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΙWECO ΑΕΒΕ	ΜΕΓΑΛΗ ΒΡΥΣΗ	5000
	ΔΟΜΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	ΒΟΣΚΕΡΟ Δ. ΚΡΟΥΣΩΝΑ	5950
ΧΙΟΥ	ΠΕΔΗΒ ΑΕ	ΑΙΠΟΣ ΧΙΟΥ	300
	ΑΙΓΑΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ Μ.Ε.Π.Ε.	ΡΟΧΙΑΔΕΣ	280
	ΑΙΓΑΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΡΟΔΟΚΛΙΝΩΝ Α.Ε.	ΤΡΕΙΣ ΜΥΛΟΙ	280
	ΑΙΓΑΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΥΛΟΥ Α.Ε.	ΝΕΜΟΥΡΙΑ - ΚΟΜΜΕΝΟΣ ΜΥΛΟΣ	560
	ΑΙΓΑΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΡΔΑΜΥΛΩΝ Α.Ε.	ΡΟΧΙΑΔΕΣ	280
	ΑΙΓΑΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΥΛΟΥ Α.Ε.	ΝΕΜΟΥΡΙΑ - ΚΟΜΜΕΝΟΣ ΜΥΛΟΣ	600
	ΑΙΓΑΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΡΟΔΟΚΛΙΝΩΝ Α.Ε.	ΡΟΔΟΚΛΙΝΑ	600
	Σ.ΖΑΜΠΕΤΑΚΗΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.	ΜΕΛΑΝΙΟΥΣ	150
ΡΟΔΟΥ	ΟΤΕ ΑΕ ΚΑΤΑΒΙΑΣ		100
	ΟΤΕ ΑΕ ΣΑΛΑΚΟΥ		100
	ΧΡΗΣΛΙΝ ΑΕ		105
	ΓΕΝΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ		105
	ΝΕΟΦΥΤΟΥ		75
	ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΡΟΔΟΥ Α.Ε.	ΠΙΘΑΝΙΤΗΣ Δ. ΑΤΤΑΒΥΡΟΥ ΡΟΔΟΥ	12000
	ΔΕΥΑ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	450
	ΖΕΦΥΡΟΣ ΕΠΕ	ΕΞΩ ΧΙΟΝΙ - ΚΛΟΥΡΙ Ν. ΚΑΡΠΑΘΟΥ	500
ΧΑΝΙΩΝ	ΥΔΡΟΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	ΡΟΒΑΣ Δ. ΚΙΣΣΑΜΟΥ	9350
ΑΓ.	ΑΙΟΛΟΣ ΑΕ	ΧΑΝΔΡΑΣ	10000
	Ο.Α.Σ. ΣΗΤΕΙΑΣ		500
	ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΒΕΕ	ΠΛΑΚΟΚΕΡΑΤΙΑ	10072

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> :ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ	ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗ ΑΒΕΕ	ΞΗΡΟΛΙΜΝΗ (ΑΓΡΙΛΙΔΙΑ ΜΗΤΑΤΟΥ)	3000
	ΑΝΕΜΟΕΣΣΑ ΑΙΟΛΙΚΑΠΑΡΚΑ Α.Ε.	ΒΙΓΛΙ	5000
	ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΚΡΥΩΝ Α.Ε.	ΒΟΥΒΑΛΙ-ΠΛΑΤΥΒΟΛΟ-ΜΕΓΑΛΟ ΜΟΥΡΙ	10000
	ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΑΧΛΑΔΙΩΝ Α.Ε.	ΑΓΡΙΛΙΔΑ ΒΕΛΗΡΑΣ	10000
	ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΡΟΥΧΑ	11900
	ENERCON Α.Ε.	ΠΛΑΤΥΒΟΛΑ ΑΧΛΑΔΙΩΝ	2500
	WRE HELLAS Α.Ε.	ΠΛΑΤΥΒΟΛΑ ΚΡΥΩΝ	3000
	ΕΝ.ΤΕ.ΚΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	ΠΙΣΚΟΚΟΠΑΝΙΕΣ ΠΙΣΚΟΛΑΚΚΟΣ Δ. ΙΤΑΝΟΥ	2700
ΣΥΡΟΥ	ΟΤΕ ΑΕ ΠΑΡΟΥ		100
	ΟΤΕ ΑΕ ΣΥΡΟΥ		100
	ΕΝ.ΓΕΩΡ.ΣΥΝ/ΣΜΩΝ ΝΑΞΟΥ		75
	ΔΑΛΕΖΙΟΣ		66
	ΔΗΜΟΣ ΑΝΩ ΣΥΡΟΥ		150
	ΔΕΥΑ ΜΥΚΟΝΟΥ	ΑΝΩΝΥΜΟ ΑΝΩ ΜΕΡΑΣ	300
	ΑΙΟΛΙΚΗ ΣΥΡΟΥ Α.Ε.	ΣΥΡΙΓΓΑΣ ΔΗΜΟΥ Α. ΣΥΡΟΥ	2640
	ΜΕΛΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	ΞΗΡΟΚΑΜΠΟΣ ΝΑΞΟΥ	1200
	ΜΕΛΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	ΠΕΛΕΚΑΝΙΑ ΙΟΥ	600

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ΙΔΙΩΤΩΝ ΕΤΟΥΣ 2005 –

ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ (kW)
ΔΥΤ. ΚΥΚΛΑΔΩΝ	ΧΩΡΑΣ ΚΥΘΝΟΥ	ΚΥΘΝΟΥ	165
	ΚΟΥΚΟΥΒΑΓΙΑΣ ΚΥΘΝΟΥ	ΚΥΘΝΟΥ	500
	ΒΙΓΛΑΣ ΛΗΜΝΟΥ	ΑΤΣΙΚΗΣ	700
	ΒΟΥΝΑΡΟΥΛΗΜΝΟΥ	ΑΤΣΙΚΗΣ	440
ΛΕΣΒΟΥ	ΛΕΣΒΟΥ	ΕΡΕΣΣΟΥ - ΑΝΤΙΣΣΗΣ	2025
ΣΑΜΟΥ	ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠΟΥ ΣΑΜΟΥ	ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠΟΥ	900
	ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟΥ ΣΑΜΟΥ	ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟΥ	2025
	ΙΚΑΡΙΑΣ	ΑΓΙΟΥ ΚΗΡΥΚΟΥ	385
ΧΙΟΥ	ΜΕΛΑΝΙΟΥΣ ΧΙΟΥ	ΑΜΑΝΗΣ	2475
	ΠΟΤΑΜΙΑΣ ΧΙΟΥ	ΑΜΑΝΗΣ	1000
	ΨΑΡΩΝ	ΨΑΡΩΝ	2025
ΡΟΔΟΥ	ΟΘΟΥΣ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	ΚΑΡΠΑΘΟΥ	0
	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	ΚΑΡΠΑΘΟΥ	275
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ	ΞΗΡΟΛΙΜΝΗΣ ΚΡΗΤΗΣ Ι	ΙΤΑΝΟΥ	4800
	ΞΗΡΟΛΙΜΝΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΙΙ	ΙΤΑΝΟΥ	5400
	ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ	ΙΤΑΝΟΥ	5100
	ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ (TASKE 2*500 ΚΑΙ NOR 1*500)	ΙΤΑΝΟΥ	1500

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ ΔΕΗ ΕΤΟΥΣ 2005 –

ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ

Από τις παραπάνω καταστάσεις ορισμένα αιολικά πάρκα είναι εκτός λειτουργίας, άλλα έχουν αρκετά υψηλό συντελεστή χρησιμοποίησης και άλλα πολύ χαμηλό. Ο συνολικός συντελεστής χρησιμοποίησης των αιολικών για ορισμένα νησιωτικά συστήματα, έτσι ώστε να δοθεί μια γενική εκτίμηση της βιωσιμότητάς τους, φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα και δίνεται από την σχέση:

$$CF = \frac{\sum E_i}{8760 \cdot \sum P_{n,i}}$$

όπου  $\sum E_i$  , το άθροισμα των παραγόμενων ενεργειών από όλα τα αιολικά

πάρκα που υπάρχουν στο σύστημα, σε ένα έτος και

$\sum P_{n,i}$  , το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων όλων των αιολικών

πάρκων που υπάρχουν στο σύστημα.

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΓΚ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	CAPACITY FACTOR (%)
ΚΡΗΤΗ	105772	267104537	28.83
ΚΩΣ – ΚΑΛΥΜΝΟΣ – ΛΕΡΟΣ - ΛΕΙΨΟΙ	8000	17302000	24.69
ΛΗΜΝΟΣ	1140	1902450	19.05
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	11850	30753807	29.63
ΜΗΛΟΣ – ΚΙΜΩΛΟΣ	2050	4980233	27.73
ΑΜΟΡΓΟΣ	0	0	0.00
ΜΥΚΟΝΟΣ	300	866996	32.99
ΧΙΟΣ – ΨΑΡΑ	8550	15757185	21.04
ΣΥΡΟΣ	2790	2986276	12.22
ΙΚΑΡΙΑ	985	2860990	33.16
ΠΑΡΟΣ – ΝΑΞΟΣ – ΙΟΣ	1800	3461580	21.95
ΣΑΜΟΣ	5875	14809590	28.78
ΣΚΥΡΟΣ	0	0	0.00
ΣΥΜΗ	0	0	0.00
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ – ΘΗΡΕΣΙΑ	0	0	0.00
ΡΟΔΟΣ – ΧΑΛΚΗ	12075	9067360	8.57
ΚΑΡΠΑΘΟΣ – ΚΑΣΟΣ	1225	5002729	46.62
ΣΙΦΝΟΣ	0	0	0.00
ΠΑΤΜΟΣ	0	0	0.00
ΚΥΘΝΟΣ	500	235965	5.39

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΑΝΑ ΝΗΣΙ

Όπως είναι εμφανές από τον παραπάνω πίνακα, ο συντελεστής χρησιμοποίησης των αιολικών κυμαίνεται από πολύ μικρές τιμές έως και πολύ μεγάλες. Οι πολύ μικρές τιμές του συντελεστή χρησιμοποίησης των αιολικών σε ορισμένα συστήματα οφείλεται στο γεγονός ότι τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα λειτουργούν μόνο ορισμένους μήνες τον χρόνο, λόγω τεχνικών ή λειτουργικών προβλημάτων. Κρίνεται αναγκαία η διερεύνηση των προβλημάτων αυτών καθώς και η επίτευξη ευνοϊκών, για τη λειτουργία τους, συνθηκών ώστε όλη η αιολική εγκατεστημένη ισχύ να είναι διαθέσιμη όλες τις ώρες που υπάρχει και η ικανότητα παραγωγής από τα αιολικά πάρκα.

Κατόπιν, η εκτεταμένη μελέτη προσδιορισμού των ορίων αιολικής διείσδυσης σε κάθε νησιωτικό σύστημα, θα πυροδοτήσει την εκμετάλλευση του έντονου αιολικού δυναμικού της χώρας και κατά συνέπεια θα οδηγήσει στο μέλλον, στη λύση του ενεργειακού προβλήματος στα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα, ταυτόχρονα με την παραγωγή ενέργειας και από άλλες ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, που θα εξεταστούν αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

# ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



### 3.1. Γενικά

Η αυξανόμενη και αλόγιστη χρήση των συμβατικών καυσίμων αποτελεί μια από τις κυριότερες αιτίες για σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη μας όπως η επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή, το νέφος των αστικών περιοχών. Μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες λύσεις αντιμετώπισης της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, αποτελεί η συστηματική αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία, μέσω ημιαγωγών στοιχείων, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια συμβάλλοντας στη μη επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ρύπους διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), που εκπέμπουν οι συμβατικές μονάδες παραγωγής, και στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία.

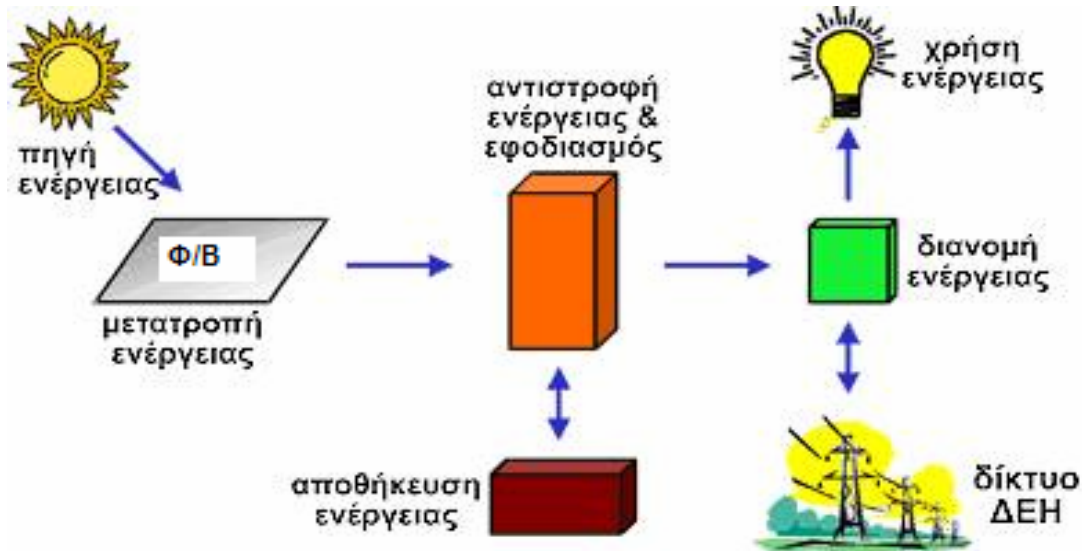
Το φαινόμενο της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας απ' ευθείας σε ηλεκτρική, μέσω ημιαγωγών στοιχείων, ονομάστηκε φωτοβολταϊκό. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο παρατηρήθηκε από πολύ παλαιά (1839). Η κατασκευή του πρώτου ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου έγινε μετά, ένα περίπου αιώνα (1937), αλλά η ουσιαστική χρήση του σε πρακτικές εφαρμογές άρχισε στις αρχές της 10-ετίας του 1950, όταν επιτεύχθηκε η παρασκευή καθαρού πυριτίου με την μέθοδο της τηγμένης ζώνης και οι σχηματισμοί δίοδων πυριτίου με διάχυση προσμίξεων. Οι τεχνολογικές αυτές πρόοδοι οδήγησαν στην κατασκευή των σημερινών ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων και στη βελτιστοποίηση της απόδοσής τους.

#### 3.1.1. Τι είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Όταν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας προσπίπτει σε κάποιο πλαίσιο μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Αν το πλαίσιο αυτό είναι οι καθρέφτες ενός ηλιακού θερμοσίφωνα τότε η θερμική ενέργεια που έχει απορροφηθεί καταναλίσκεται στην θέρμανση του νερού. Βέβαια με ορισμένες διατάξεις η θερμική ενέργεια που έχει συσσωρευτεί στα πλαίσια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω κάποιου θερμικού κύκλου.

Ευρύτερη όμως είναι η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή απ' ευθείας ηλεκτρικής ενέργειας, όπως συμβαίνει με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μέσω ορισμένων διατάξεων, ημιαγωγών στοιχείων, που έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια, που προσπίπτει στην επιφάνειά τους, κατευθείαν σε

ηλεκτρική. Οι στοιχειώδεις ημιαγωγικές διατάξεις που αποτελούνται από λεπτές πλάκες πυριτίου (cells) και έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν απ' ευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, ονομάζονται φωτοβολταϊκά στοιχεία (Σχ.1).



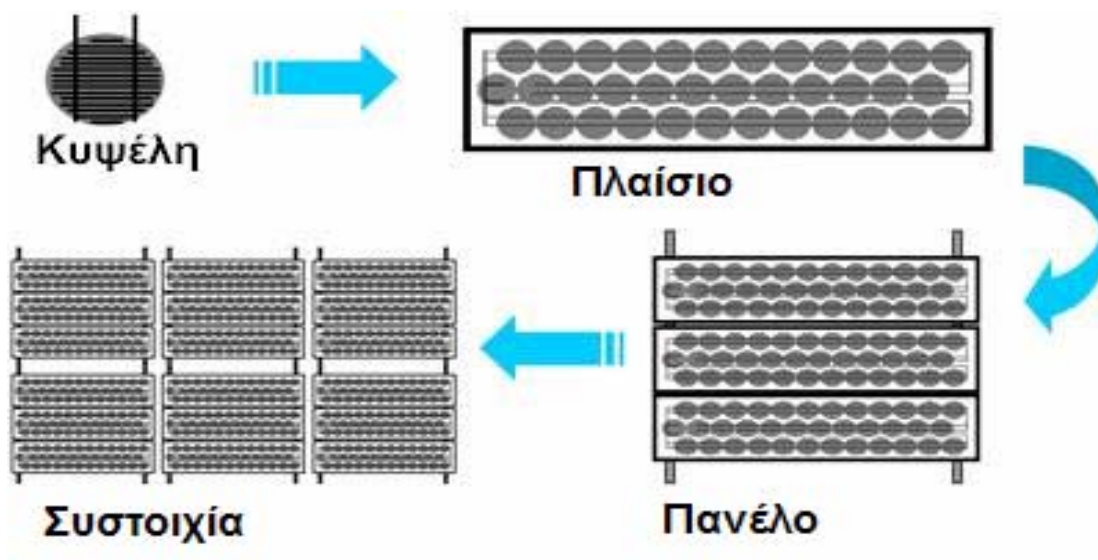
Σχ.1 Μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ονομάζονται και ηλιακά κύτταρα ή φωτοστοιχεία) αποτελούν τα κύρια συστατικά των Φωτοβολταϊκών-Φ/Β συστημάτων μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τα κύρια μέρη ενός Φ/Β συστήματος, που μπορεί να αναφέρεται και ως Φ/Β σταθμός παραγωγής, είναι (α) η Φ/Β γεννήτρια (ή Φ/Β συλλέκτης) και (β) οι διατάξεις προσαρμογής μέσω των οποίων η Φ/Β γεννήτρια συνδέεται είτε με το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής, είτε με τις καταναλώσεις και τις διατάξεις αποθήκευσης όταν πρόκειται για αυτόνομη εγκατάσταση.

Όταν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εκτεθούν στον ήλιο εμφανίζουν στα άκρα τους μια ηλεκτρική τάση. Για να αποκτηθούν οι αναγκαίες τάσεις και ρεύματα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους στην σειρά και πολλές τέτοιες σειρές συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα. Η ισχύς εξόδου των Φ/Β συστημάτων εξαρτάται άμεσα από την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στα Φ/Β στοιχεία. Σε επόμενη παράγραφο παρέχονται αναλυτικά τα στοιχεία σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, που αποτελεί την πρωτογενή πηγή των Φ/Β συστημάτων.

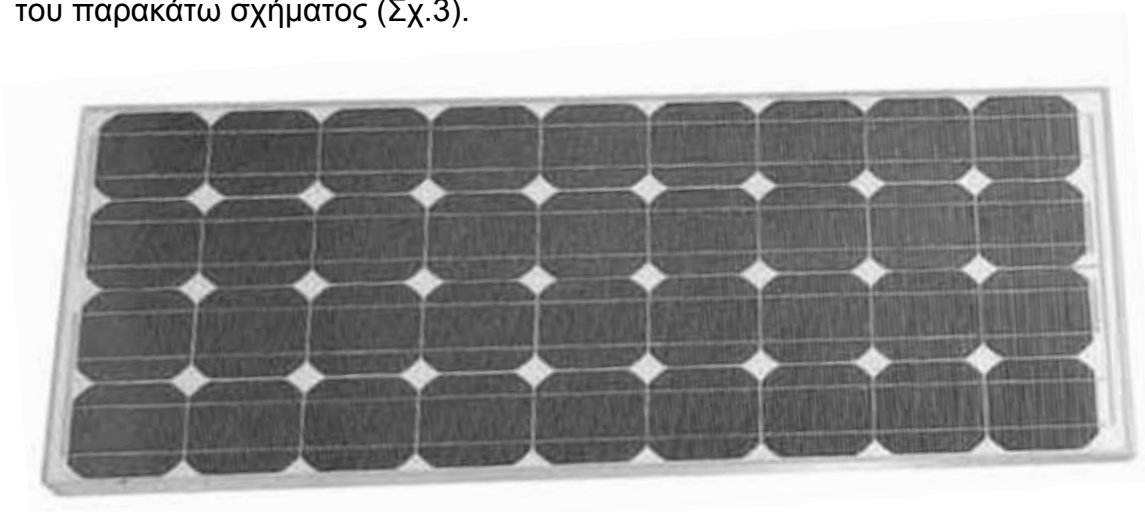
Στο Σχ.2 δείχνεται ενδεικτικά ένα Φ/Β πλαίσιο (module), το οποίο περιλαμβάνει 12 Φ/Β στοιχεία (cells) και ακολούθως τρία όμοια πλαίσια που στηρίζονται στην ίδια

μεταλλική κατασκευή και σχηματίζουν ένα Φ/Β πάνελο (panel). Περισσότερα του ενός πάνελα σχηματίζουν την Φ/Β συστοιχία (array). Το Φ/Β πλαίσιο διαμορφώνεται στο εργοστάσιο και αποτελεί την μονάδα η οποία διατίθεται στο εμπόριο. Η Φ/Β γεννήτρια μπορεί να περιλαμβάνει ένα μόνο πλαίσιο, μία έως και περισσότερες συστοιχίες, οπότε μπορεί να αναφέρεται και ως Φ/Β πάρκο του σταθμού.



Σχ.2 Σύνθεση των Φ/Β συστοιχιών

Για να προστατευθούν από το περιβάλλον εσωκλείονται μέσα σε μια γυάλινη επιφάνεια ειδικού πλαστικού. Στην συσκευασία αυτή προστίθεται πλαίσιο από αλουμίνιο ώστε να είναι εύκολη η τοποθέτησή τους. Την διάταξη αυτή ονομάζουμε φωτοβολταϊκό πλαίσιο (photovoltaic module). Ένα τέτοιο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι αυτό του παρακάτω σχήματος (Σχ.3).



Σχ.3 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

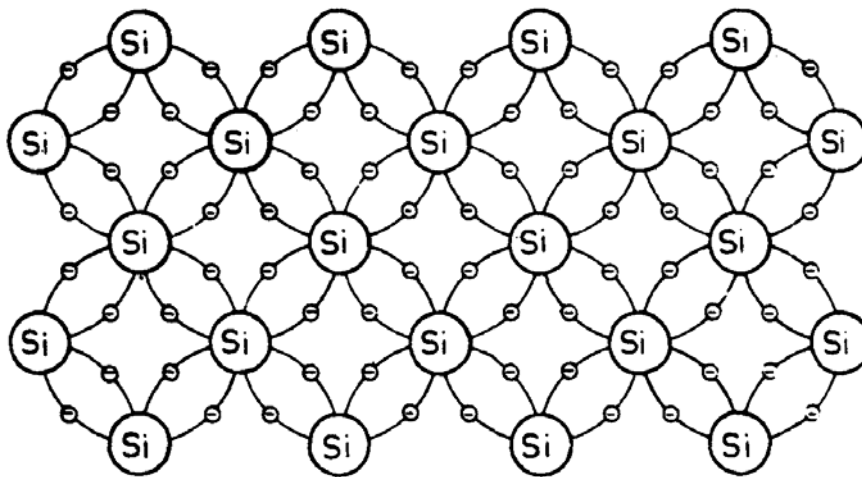
### 3.2. Στοιχεία κατασκευής φωτοβολταϊκών

#### 3.2.1. Ημιαγώγιμα στοιχεία

Βασικό ημιαγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το πυρίτιο, το οποίο είναι το στοιχείο με την μεγαλύτερη χρήση όχι μόνο για τα ηλιακά στοιχεία αλλά και για τις άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Για την παρασκευή του πυριτίου χρησιμοποιείται πυριτική άμμος περιεκτικότητας 99,5% σε διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) και άνθρακας (C) που αναμειγνύονται μεταξύ τους και θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα είναι η πρόκληση αναγωγής από τον άνθρακα στο διοξείδιο του πυριτίου και στη συνέχεια η λήψη μετά από σχετικό καθαρισμό του πυριτίου σε λιωμένη κατάσταση.

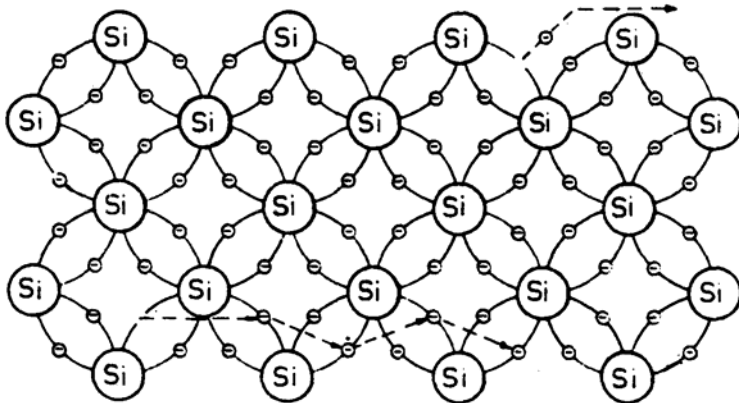
Το πυρίτιο έχει άτομα με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα και ικανοποιεί την προϋπόθεση για ημιαγωγιμότητα στο ηλεκτρικό ρεύμα. Σε ένα κρύσταλλο πυριτίου (Σχ.1) κάθε άτομο έχει γύρω του 4 άλλα άτομα που συγκρατούνται με το κεντρικό άτομο με 4 ζεύγη (δεσμούς) ηλεκτρονίων. Έτσι το κεντρικό άτομο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 8 ηλεκτρόνια και σταθερή δομή.



Σχ.1 Απλοποιημένη δομή πλέγματος πυριτίου

Όταν προσπίπτει φως σε ένα τέτοιο κρύσταλλο, φωτόνια κατάλληλης ενέργειας απορροφώνται από τα άτομα, με αποτέλεσμα ηλεκτρόνια να απομακρυνθούν από τις θέσεις τους στο άτομο. Έτσι δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια που μπορούν να συνεισφέρουν στην δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Οι κενές θέσεις που δημιουργούνται ονομάζονται οπές.

Τα άτομα των ημιαγωγών είναι αρχικά ουδέτερα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε οπή ισοδυναμεί με ένα στοιχειώδες θετικό φορτίο (+e). Η οπή μπορεί να συμπληρωθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους που φεύγει από γειτονικό άτομο. Τότε δημιουργείται νέα οπή στη θέση που κατείχε το ηλεκτρόνιο αυτό. Η νέα οπή συμπληρώνεται από άλλο γειτονικό ηλεκτρόνιο αφήνοντας πάλι νέα οπή και ο μηχανισμός αυτός συνεχίζεται απεριόριστα (Σχ.2) .

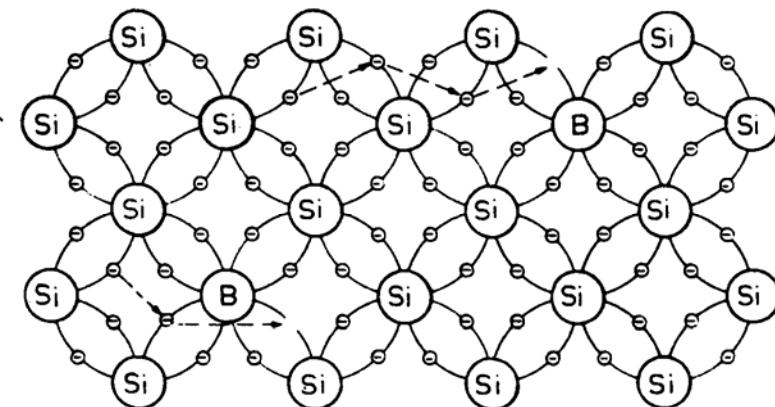


Σχ.2 Επίδραση της ακτινοβολίας στο πυριτίο

Εάν στα άκρα του ημιαγωγού εφαρμοστεί τάση, τότε δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο υπό την επίδραση του οποίου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οι οπές κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση. Η ημιαγωγιμότητα των υλικών αυτών οφείλεται και στα ελεύθερα ηλεκτρόνια και στις θετικές οπές.

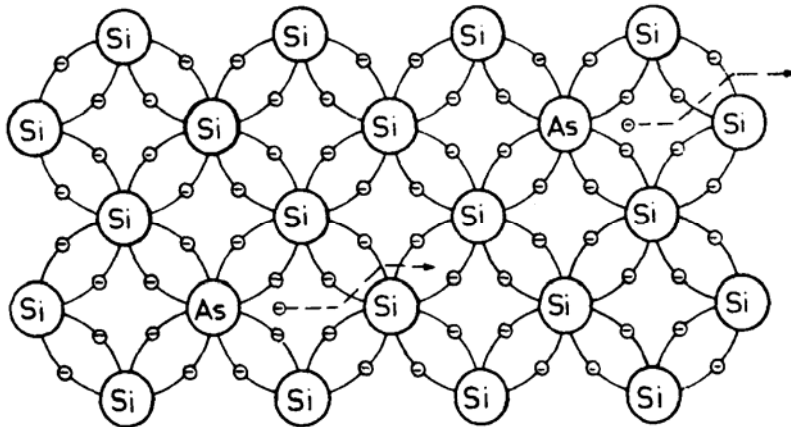
### 3.2.2. Πρόσμιξη ημιαγώγιμων στοιχείων

Με την πρόσμιξη ιχνών διαφόρων άλλων στοιχείων στον κρύσταλλο του πυριτίου δημιουργούνται κρύσταλλοι προσμίξεων. Με την πρόσμιξη του τρισθενούς Βόριου (B) δημιουργείται κρύσταλλος με πλειονότητα οπών (Σχ.3), που ονομάζεται P-πυριτίου.



Σχ.3 Σχηματισμός πυριτίου τύπου P με προσμίξεις από άτομα-αποδέκτες ηλεκτρονίων

Σε αντίθετη περίπτωση με την προσθήκη του πεντασθενούς Αρσενικού (As) δημιουργείται κρύσταλλος με πλειονότητα ηλεκτρονίων (Σχ.4), που ονομάζεται N-πυρίτιο.



Σχ.4 Σχηματισμός πυριτίου τύπου N με προσμίξεις από άτομα-δότες ηλεκτρονίων

### 3.2.3. Η ένωση P-N και το αποτέλεσμα της ένωσης

Τι γίνεται όμως όταν ένας ημιαγωγός τύπου P και ένας ημιαγωγός τύπου N έρθουν σε επαφή?

Οι σημαντικότερες ιδιότητες και εφαρμογές των διατάξεων ημιαγωγών δεν προέρχονται κυρίως από τη δημιουργία φορέων, αλλά οφείλονται περισσότερο στη διάχυση των φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών είναι η ένωση p-n (ονομάζεται επίσης σύνδεση, επαφή ή μετάβαση p-n) που μπορούμε να θεωρήσουμε ότι σχηματίζεται όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p με ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου n. Αμέσως τότε, ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n, όπου οι οπές είναι λιγότερες, και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p, όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι επίσης πολύ λιγότερα.

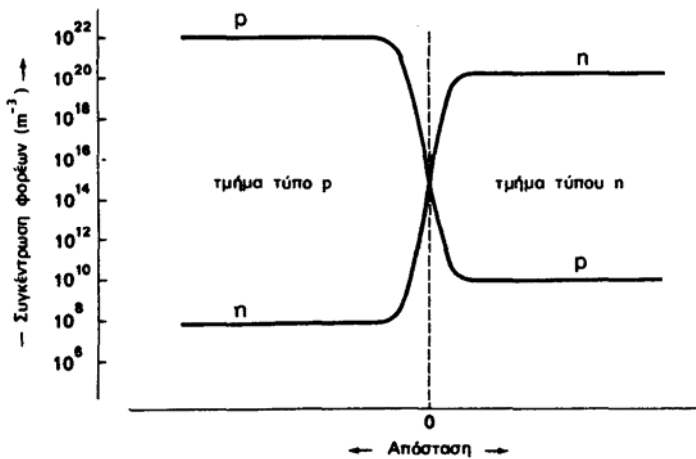
Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την κατάσταση ισορροπίας που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν το νόμο δράσης των μαζών.

Ας υποθέσουμε ότι το ένα τμήμα της διάταξης μιας ένωσης p-n είναι Si τύπου p με συγκέντρωση αποδεκτών  $N_A = 10^{22} \text{ m}^{-3}$  το άλλο τμήμα είναι Si τύπου n με συγκέντρωση δοτών  $N_D = 10^{20} \text{ m}^{-3}$  στη θερμοκρασία που βρίσκεται το σώμα η ενδογενής συγκέντρωση



των φορέων είναι  $n_i=10^{15} \text{ m}^{-3}$  και όλες οι προσμίξεις είναι διεγερμένες. Στην περίπτωση αυτή, εφαρμόζοντας τη σχέση του νόμου δράσης των μαζών και τηρώντας τις πρακτικές παραδοχές που αναφέραμε, βρίσκουμε ότι οι συγκεντρώσεις στον ημιαγωγό τύπου p θα είναι κανονικά της τάξης του  $p= 10^{22}\text{m}^{-3}$  και  $n = 10^8 \text{ m}^{-3}$  και στον ημιαγωγό τύπου n θα είναι κανονικά της τάξης του  $n = 10^{20}\text{m}^{-3}$  και  $p = 10^{10} \text{ m}^{-3}$ .

Στην περιοχή όμως της διαχωριστικής επιφάνειας των δύο τμημάτων, οι επανασυνδέσεις που ακολούθησαν τη διάχυση έχουν μειώσει δραστικά το πλήθος των φορέων. Ειδικότερα, στο επίπεδο που οι συγκεντρώσεις των οπών και των ελεύθερων ηλεκτρονίων εξισώνονται (Σχ.5), όπου οι τιμές τους θα είναι αναγκαστικά  $n = p = 10^{15} \text{ m}^{-3}$  βρίσκουμε ότι το συνολικό πλήθος των φορέων θα είναι πάρα πολύ μικρότερο σε σύγκριση με το πλήθος των φορέων στο τμήμα τύπου n (50,000 φορές λιγότεροι) και στο τμήμα τύπου p (5,000,000 φορές λιγότεροι).



Σχ.5 Μεταβολή της συγκέντρωσης των οπών και των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε μια ένωση P-N

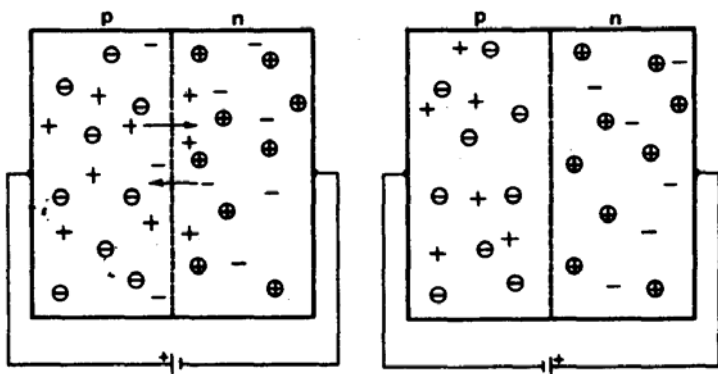
Για αυτό η περιοχή γύρω από μια ένωση p-n ονομάζεται ζώνη εξάντλησης των φορέων (ή περιοχή αραίωσης). Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p-n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος ημιαγωγού ή απλά δίοδος. Σε αντίθεση με τους ευκίνητους φορείς των ημιαγωγών (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) που τείνουν να διαχέονται προς τις περιοχές με τη μικρότερη συγκέντρωσή τους, η συγκέντρωση των αρνητικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p, και η συγκέντρωση των θετικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι δότες στο τμήμα τύπου n, παραμένουν αμετάβλητες, αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική

ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία.

Δημιουργείται λοιπόν μία διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή (συνήθως περίπου 0.3 μέχρι 0.5V, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των προσμίξεων) αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος που περιέχει την ένωση p-n παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με τη φορά του.

### 3.2.4. Ορθή και αναστροφή πόλωση της διόδου

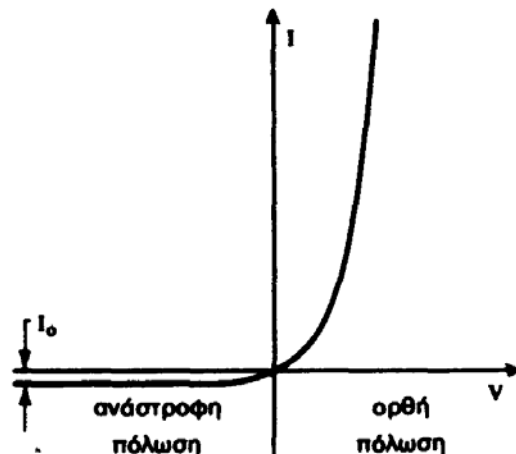
Η μία περίπτωση είναι να επιβληθεί στη δίοδο p-n ορθή πόλωση, δηλαδή ο αρνητικός πόλος της πηγής να συνδεθεί με το τμήμα τύπου n της διόδου, και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p. Τότε, τα ηλεκτρόνια ρέουν ανεμπόδιστα από την πηγή, διαμέσου του τμήματος τύπου n, προς την περιοχή της ένωσης όπου επανασυνδέονται με τις οπές που σχηματίζονται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής, διαμέσου του τμήματος τύπου p (Σχ.6).



Σχ.6 Συνδεσμολογία ορθής και αναστροφής πόλωσης

Αντίθετα, στην αναστροφή πόλωση, δηλαδή αν ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδεθεί με το τμήμα τύπου p και ο θετικός με το τμήμα τύπου n, γίνεται επανασύνδεση των οπών του τμήματος τύπου p με τα ηλεκτρόνια που έρχονται από την πηγή, και, από την άλλη μεριά, απομάκρυνση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του τμήματος τύπου n, προς το θετικό πόλο της πηγής. Έτσι, οι συγκεντρώσεις των φορέων μειώνονται πάρα πολύ, το πάχος της ζώνης εξάντλησης αυξάνει, και τα φορτισμένα άτομα των προσμίξεων

δημιουργούν ένα ισχυρό εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αντίθετο προς το πεδίο που επιβάλλει η πηγή. Το αποτέλεσμα είναι ότι τώρα η δίοδος προβάλλει μεγάλη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Δηλαδή μπορεί μια δίοδος που έχει σε ορθή πόλωση αντίσταση μόλις 10 Ω, να την αυξάνει στην αντίστροφη πόλωση σε 100 ΜΩ, δηλαδή να γίνεται δέκα εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη. Το παρακάτω διάγραμμα (Σχ.7) δείχνει ακριβώς την ιδιόμορφη μεταβολή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει μια δίοδο ένωσης p-n, σε συνάρτηση με την τιμή της τάσης και το είδος της πόλωσης που εφαρμόζεται.



Σχ.7 Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I)-τάσης (V) μίας διόδου P-N

### 3.2.5. Το ανάστροφο ρεύμα κόρου

Για αρνητικές τιμές της επιβαλλόμενης τάσης (ανάστροφη πόλωση), η ένταση του ρεύματος τείνει και σταθεροποιείται σε μία τιμή  $I_0$  που ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα κόρου. Ενώ για θετικές τιμές της τάσης (ορθή πόλωση) η ένταση του ρεύματος, που διαρρέει μία δίοδο p-n, αυξάνει ταχύτατα, και η μη γραμμική εξάρτησή της από την τιμή της επιβαλλόμενης τάσης  $V$  δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{\gamma kT}\right) - 1 \right]$$

όπου  $e$ , το στοιχειώδες ηλεκτρονικό φορτίο,

$k$ , η σταθερά Boltzman,

$T$ , η απόλυτη θερμοκρασία, και

$\gamma$ , ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα

της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2.

Στις συνηθισμένες διόδους πυριτίου, το  $I_o$  είναι συνήθως μικρότερο από 1  $\mu\text{A}$ , ενώ το ρεύμα της ορθής πόλωσης είναι πολλές χιλιάδες φορές μεγαλύτερο και φτάνει σε δεκάδες ή εκατοντάδες mA και προσδιορίζεται με επιτυχία από την σχέση:

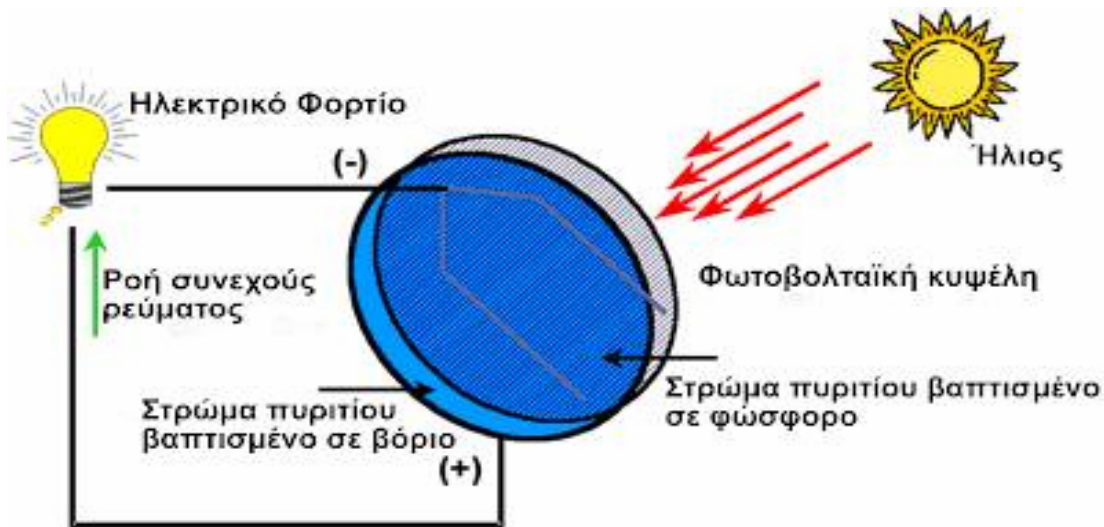
$$I_o = en_i^2 \left[ \frac{1}{N_A} \left( \frac{D_n}{\tau_n} \right)^{1/2} + \frac{1}{N_D} \left( \frac{D_p}{\tau_p} \right)^{1/2} \right]$$

όπου  $n_i$ ,  $N_A$  και  $N_D$ , η ενδογενής συγκέντρωση των φορέων, η συγκέντρωση των αποδεκτών στο τμήμα τύπου p και η συγκέντρωση των δοτών στο τμήμα τύπου n του ημιαγωγού, αντίστοιχα,

$D_N$  και  $\tau_N$ , η σταθερά διάχυσης και ο μέσος χρόνος ζωής των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο τμήμα τύπου p, και

$D_p$  και  $\tau_p$ , η σταθερά διάχυσης και ο μέσος χρόνος ζωής των οπών στο τμήμα τύπου p.

Είναι φανερό ότι οι παραπάνω σχέσεις δίνουν την πυκνότητα του ανάστροφου ρεύματος κόρου ανά μονάδα επιφάνειας της ένωσης p-n της διόδου. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που θα μελετήσουμε παρακάτω, είναι δίοδοι που λειτουργούν σε συνθήκες ορθής πόλωσης. Έχει όμως σημασία η γνώση της τιμής του ανάστροφου ρεύματος κόρου, διότι από αυτήν εξαρτώνται οι τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των στοιχείων. Η ισχύς εξόδου, όμως, των Φ/Β συστημάτων εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου (Σχ.8).



Σχ.8 Λειτουργία φωτοβολταϊκής κυψέλης

### 3.3. Ηλιακή ακτινοβολία

#### 3.3.1. Γενικά

Το φάσμα συχνοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνει συχνότητες με μήκος κύματος από 0.3 έως 1.7  $\mu\text{m}$ , με μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή των 0.5  $\mu\text{m}$ . Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος (Irradiance) ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετράται σε  $\text{kW}/\text{m}^2$ , θα συμβολίζεται με το γράμμα G. Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός των Φ/Β συστημάτων στην πράξη βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα μετρήσεων της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της θέσης εγκατάστασης.

#### 3.3.2. Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

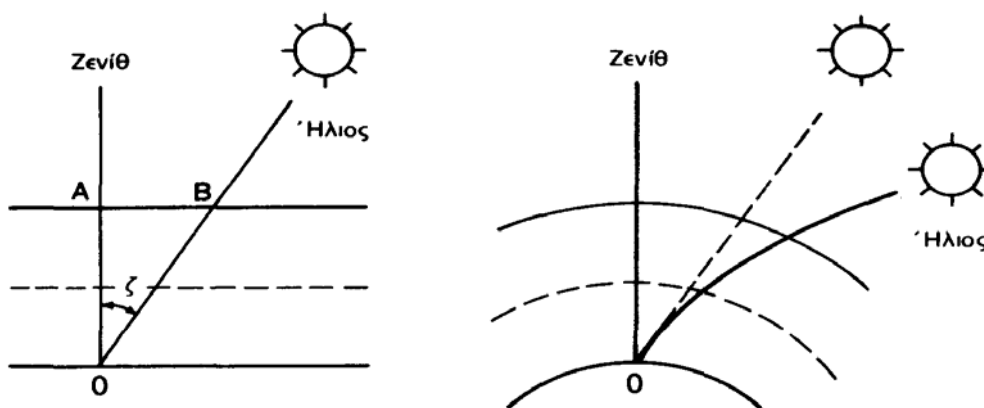
Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, ένα μέρος της απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα κλπ., ένα άλλο διαχέεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απ' ευθείας στην επιφάνεια του συλλέκτη (απ' ευθείας ή ακτινική ακτινοβολία). Η συνολική ακτινοβολία (global radiation) που φθάνει στην επιφάνεια του συλλέκτη, όταν αυτός είναι οριζόντια τοποθετημένος, είναι το άθροισμα

της ακτινικής ή άμεσης ακτινοβολίας (beam ή direct radiation), που προσπίπτει στο συλλέκτη απ' ευθείας και της διάχυτης ακτινοβολίας (diffuse radiation), που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Επί πλέον, όταν ο συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, όπως και συνηθίζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα (albedo radiation). Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, ιδίως σε όχι πολύ βόρειες περιοχές, προέρχεται από την ακτινική ακτινοβολία, σημαντική όμως είναι και η συμβολή της διάχυτης.

### 3.3.3. Ύπαρξη ατμόσφαιρας-ακτινοβολία ενός ήλιου

Συμβατικά, ως στοιχείο χαρακτηρισμού της επίδρασης που έχει η ύπαρξη της ατμόσφαιρας, όταν δεν υπάρχουν σύννεφα, λαμβάνεται το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην γήινη ατμόσφαιρα, μέχρι την στάθμη της θάλασσας και ονομάζεται αέριος μάζα (air mass)-AM. Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί τη μέση τιμή  $G_{sc}=1.350 \text{ kW/m}^2$ , ονομάζεται ηλιακή σταθερά και σημειώνεται ως AM0. Επειδή μάλιστα η ακτινοβολία διανύει μεγαλύτερο διάστημα στην ατμόσφαιρα για να φτάσει στην επιφάνεια της γης τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες, παθαίνει περισσότερη απορρόφηση και έτσι η τιμή της έντασης είναι μικρότερη του  $1 \text{ kW/m}^2$  κατά τις ώρες αυτές.

Το μήκος της αέριας μάζας, αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γης, ισούται με το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας δια του συνημίτονου της ζενιθιακής γωνίας  $\theta_z$ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει η ευθεία γη-ήλιος με την κατακόρυφο (ζενίθ) στο συγκεκριμένο σημείο (Σχ.1)



Σχ.1 Εξάρτηση της μάζας αέρα (AM) από την θέση του ήλιου

Δηλαδή η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει ουσιαστικά πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της.

Συγκεκριμένα, ως AM1 συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως AM1.5 συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45<sup>ο</sup> από το ζενίθ, ως AM2 με τον ήλιο σε γωνία 60<sup>ο</sup> κ.λ.π. Το μηδέν της κλίμακας (AM0) συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο.

Στον πίνακα 3.1 γράφονται οι πυκνότητες της ισχύος και η μέση ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες πρότυπες συνθήκες στην κλίμακα μάζας αέρα. Πάντως, η παραπάνω προτυποποίηση δεν είναι πάρα πολύ αυστηρή. Έτσι π.χ. εκτός από τις τιμές του πίνακα, η AM0 αναφέρεται επίσης ως 1.353 kW/m<sup>2</sup> ή 1.367 kW/m<sup>2</sup> και η AM2 ως 0.740 kW/m<sup>2</sup>.

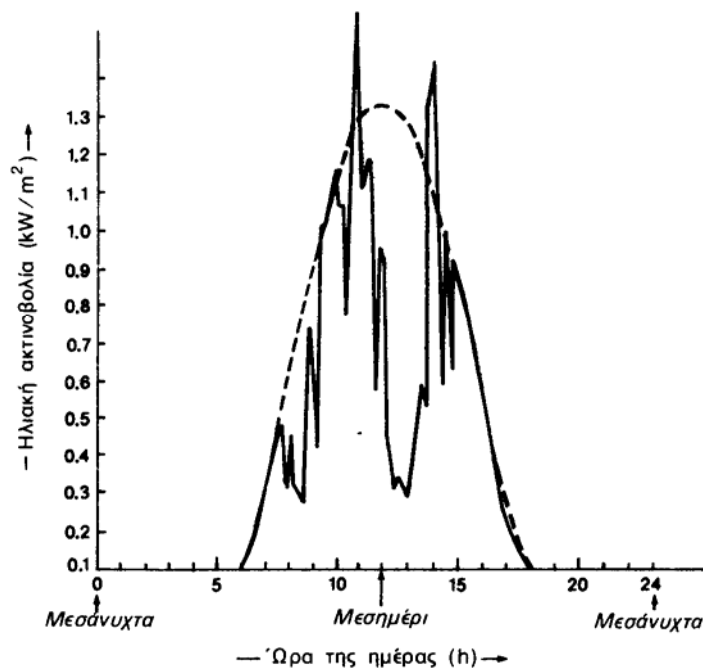
Τιμή μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς	Μέση ενέργεια των φωτονίων
AM0	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα.	1350 W/m <sup>2</sup>	1,48eV
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα. Απόσταση του ήλιου 60 <sup>ο</sup> από το ζενίθ.	1060	1,32
AM2	Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880	1,38
AM3	Απόσταση του ήλιου 70,5 <sup>ο</sup> από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	750	1,21

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass).

Η ηλιακή ακτινοβολία AM1.5 έχει πυκνότητα 935W/m<sup>2</sup> και αποτελεί χονδρικά μια αρκετά αντιπροσωπευτική προσέγγιση της μέσης μέγιστης ισχύος που περίπου δέχεται σε επιφάνεια κάθετη προς την ακτινοβολία και στις ευνοϊκότερες δυνατές συνθήκες αιχμής

(καλοκαίρι, μεσημέρι, καθαρός ουρανός κ.λ.π.) ένα μεγάλο μέρος από τις περισσότερες κατοικημένες και αναπτυγμένες περιοχές της γης. Για απλοποίηση, η παραπάνω πυκνότητα ισχύος στρογγυλεύεται στα  $1000 \text{ W/m}^2$  ονομάζεται συμβατικά ακτινοβολία ενός ήλιου (ή ενός πλήρους ήλιου) και χρησιμοποιείται για την έκφραση της ισχύος αιχμής (peak)-  $W_p$  των Φ/Β στοιχείων, η οποία και λαμβάνεται ως η ονομαστική ισχύς αναφοράς αυτών. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται επίσης για την αναφορά στην πυκνότητα της ακτινοβολίας στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα.

Στην περίπτωση αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει πάρα πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή  $1 \text{ kW/m}^2$  αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση. Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως δείχνεται στο Σχ.2.



Σχ.2 Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση

Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης, το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης,



καταγράφεται σαν μια πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.

Ο άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας της διαμόρφωσης των μετεωρολογικών συνθηκών, δηλαδή η ατμοσφαιρική υγρασία, χαρακτηρίζεται από το ύψος της στήλης του νερού (μετρημένης σε cm), που σχηματίζεται από την υποθετική συμπύκνωση του συνόλου των υδρατμών της ατμόσφαιρας, στον συγκεκριμένο τόπο και χρόνο.

### **3.3.4. Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας**

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, σε αιωρούμενα σωματίδια και σε άλλα συστατικά. Επίσης, επηρεάζονται σε αξιόλογο βαθμό και από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση κλπ.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις. Αντίθετα η μείωση που υφίσταται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάστασή της.

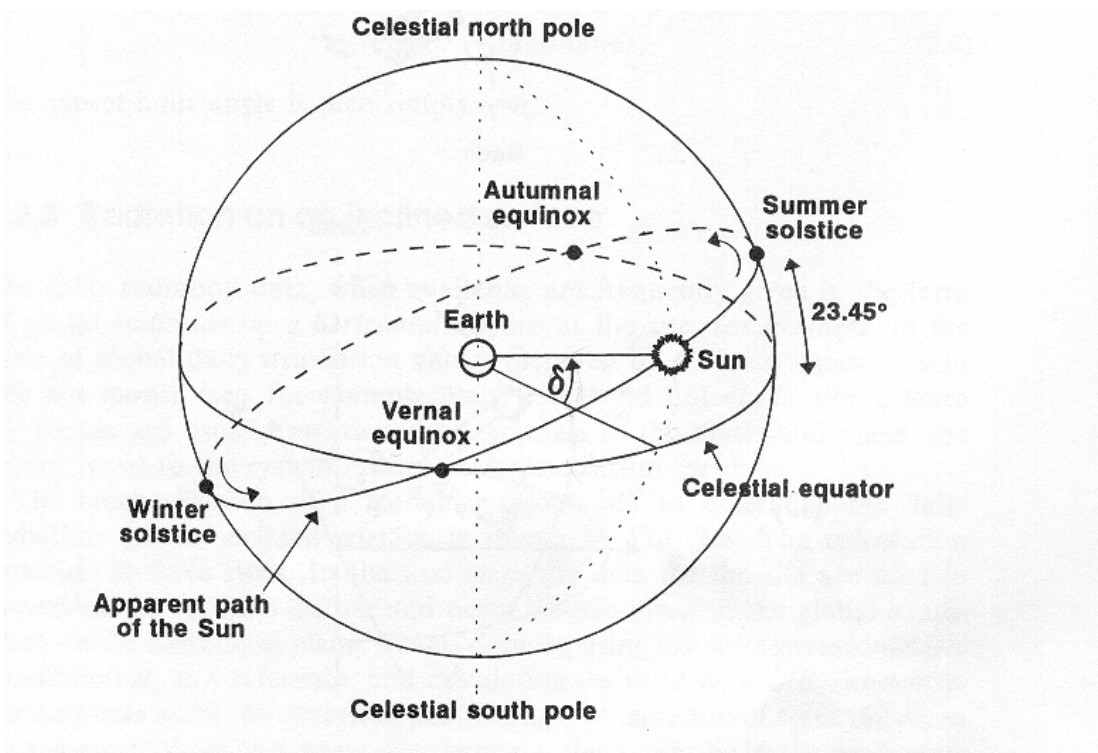
#### **3.3.4.1. Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της θέσης του ήλιου**

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η σχετική θέση του ήλιου και της γης, που περιγράφεται απλούστερα με βάση την ουράνια σφαίρα, στο κέντρο της οποίας θεωρείται ότι βρίσκεται η γη, Σχ. 2. Το επίπεδο του ισημερινού της γης τέμνει την ουράνια σφαίρα στον ουράνιο ισημερινό και ο πολικός άξονας της γης στους ουράνιους πόλους. Η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού. Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο φαίνεται ως η κίνηση του ήλιου στην ουράνια σφαίρα, σε ελλειπτική τροχιά, το επίπεδο της οποίας ονομάζεται

εκλειπτική και σχηματίζει γωνία  $23.45^{\circ}$  με το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού, Σχ.3. Η γωνία  $\delta$  μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα του ήλιου και της γης και του επιπέδου του ισημερινού, ονομάζεται ηλιακή απόκλιση (declination) και υπολογίζεται από τη σχέση:

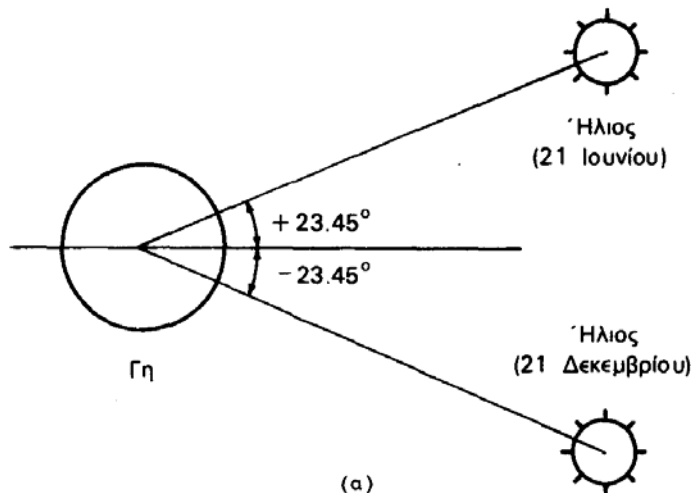
$$\delta = 23,45 \sin \frac{360(284 + n)}{365} \quad (1)$$

όπου  $n=1$  (1<sup>η</sup> Ιανουαρίου) έως 365 (31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου) η ημέρα του έτους.



Σχ. 3 Η ουράνια σφαίρα με την φαινόμενη ετήσια κίνηση του ήλιου

Είναι  $\delta=0^{\circ}$  κατά την εαρινή ισημερία (21 Μαρτίου) και την φθινοπωρινή ισημερία (21 Σεπτεμβρίου), οπότε ο ήλιος ανατέλλει ακριβώς στην ανατολή και δύει στη δύση. Επίσης είναι  $\delta=23.45^{\circ}$  την 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και  $\delta=-23.45^{\circ}$  την 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο) (Σχ.4).



Σχ.4 Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο.

Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου, κατά τη διάρκεια του έτους, είναι ότι οι κυκλικές τροχιές του διαγράφονται βορειότερα στον ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα διαγράφονται νοτιότερα, και συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα, διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σ' έναν τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει τον μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ηλιοφεγγών ημερών, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται καθόλου από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας. Για παράδειγμα, στον πίνακα 3.2 δίνονται οι τιμές για τα χαρακτηριστικά ορισμένων εποχών στην Αθήνα, και είναι φανερές οι μεγάλες διαφορές μεταξύ τους.

α) Ύψος του ήλιου, θεωρητική ηλιοφάνεια και μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας.												
Η μ ε ρ ο μ η ν ί α		Ύψος του ήλιου το μεσημέρι	Θεωρητική ηλιοφάνεια	Μέση θερμοκρασία								
21 Μαρτίου (εαρινή ισημερία)		51,08°	11,9 ώρες	13° C								
21 Ιουλίου (θερινό ηλιοστάσιο)		75,25°	14,8 ώρες	25° C								
21 Σεπτεμβρίου (φθινοπωρινή ισημερία)		51,08°	11,9 ώρες	23° C								
21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο)		28,35°	9,5 ώρες	11° C								
β) Μέσος αριθμός ηλιοφεγγών και ανήλιων ημερών και οι ώρες της μέσης πραγματικής ηλιοφάνειας στους διάφορους μήνες του έτους.												
Είδος ημερών	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ηλιοφεγγείς	3,2	4,3	5,6	7,5	7,0	11,9	21,3	21,6	15,4	8,9	3,8	3,4
Ανήλιες	3,7	3,1	2,5	1,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,2	1,0	2,5	4,1
Ηλιοφάνεια (ώρες)	123	139	180	233	303	335	373	357	277	211	162	127

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 Μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά στην Αθήνα.

### 3.3.4.2. Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της κίνησης της γης κατά τη διάρκεια του έτους

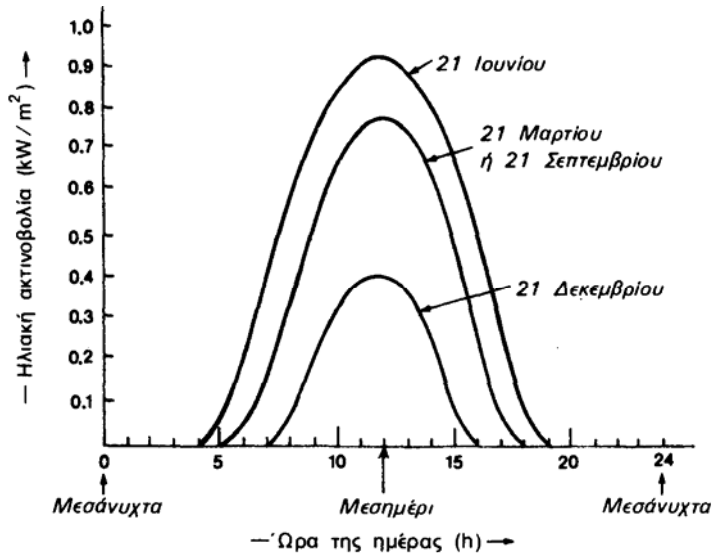
Όπως είναι γνωστό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του 24-ώρου, λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της, και κατά την διάρκεια του έτους, λόγω της περιστροφής της γης στο επίπεδο της εκλειπτικής. Η μεταβολή της απόστασης της γης από τον ήλιο έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας. Αν είναι  $G_{on}$  η ένταση της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας, που εκφράζει και την ακτινική ακτινοβολία αφού εκτός της ατμόσφαιρας δεν υπάρχουν οι υπόλοιπες συνιστώσες της ακτινοβολίας, σε επίπεδο κάθετο προς τις ακτίνες του ήλιου και  $G_{sc}$  η μέση τιμή της ηλιακής σταθεράς, θα είναι:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360}{365} n\right) \quad (2)$$

όπου  $n=1$  (1<sup>η</sup> Ιανουαρίου) έως 365 (31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου) η ημέρα του έτους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο Σχ.5 δείχνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της

ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) με συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού.



Σχ.5 Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια φωτεινών ωρών με εντελώς καθαρό ουρανό

### 3.3.4.3. Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της κίνησης κατά τη διάρκεια της ημέρας

Η ημερήσια κίνηση της γης απεικονίζεται με την ημερήσια περιστροφή της ουράνιας σφαίρας περί τον πολικό άξονα και η στιγμιαία θέση του ήλιου περιγράφεται από την ωριαία γωνία  $\omega$ , η οποία ορίζεται ως η γωνία μεταξύ του μεσημβρινού που περνάει από τον ήλιο και του μεσημβρινού που περνάει από την θέση της εγκατάστασης, Σχ.6 (α). Είναι  $\omega=0$  κατά το ηλιακό μεσημέρι και αυξάνει με ρυθμό  $15^\circ/h=0,25/min$ . Λαμβάνεται  $\omega<0$  για π.μ. και  $\omega>0$  για μ.μ. Η ωριαία γωνία του ήλιου  $\omega$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega = (t_s - 12)15 \quad (3)$$

όπου  $\omega$ , η ωριαία γωνία ήλιου σε ώρες  
 $t_s$ , ο ηλιακός χρόνος σε ώρες.

Ο ηλιακός χρόνος είναι ο χρόνος που μετράται με βάση την φαινόμενη κίνηση του ήλιου στον ουρανό και δεν συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο του ωρολογίου. Οι δύο χρόνοι συνδέονται με την σχέση:

$$t_s = t_c + \left( \frac{L_{loc}}{15} \right) - T_c + E \quad (4)$$

όπου  $t_s$  , ο ηλιακός χρόνος σε ώρες

$t_c$  , ο τοπικός χρόνος σε ώρες (1 έως 24)

$L_{loc}$  ,το γεωγραφικό μήκος της θέσης του παρατηρητή σε μοίρες

$T_c$  , η τοπική ωρολογιακή ζώνη αριστερά του GMT σε ώρες  
(για την Ελλάδα +2hours)

$E$ ,μία εξίσωση χρόνου σε ώρες

$$E = 3.82 \begin{pmatrix} 0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B \\ -0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B \end{pmatrix}$$

όπου  $B = 360 \frac{n-1}{365}$

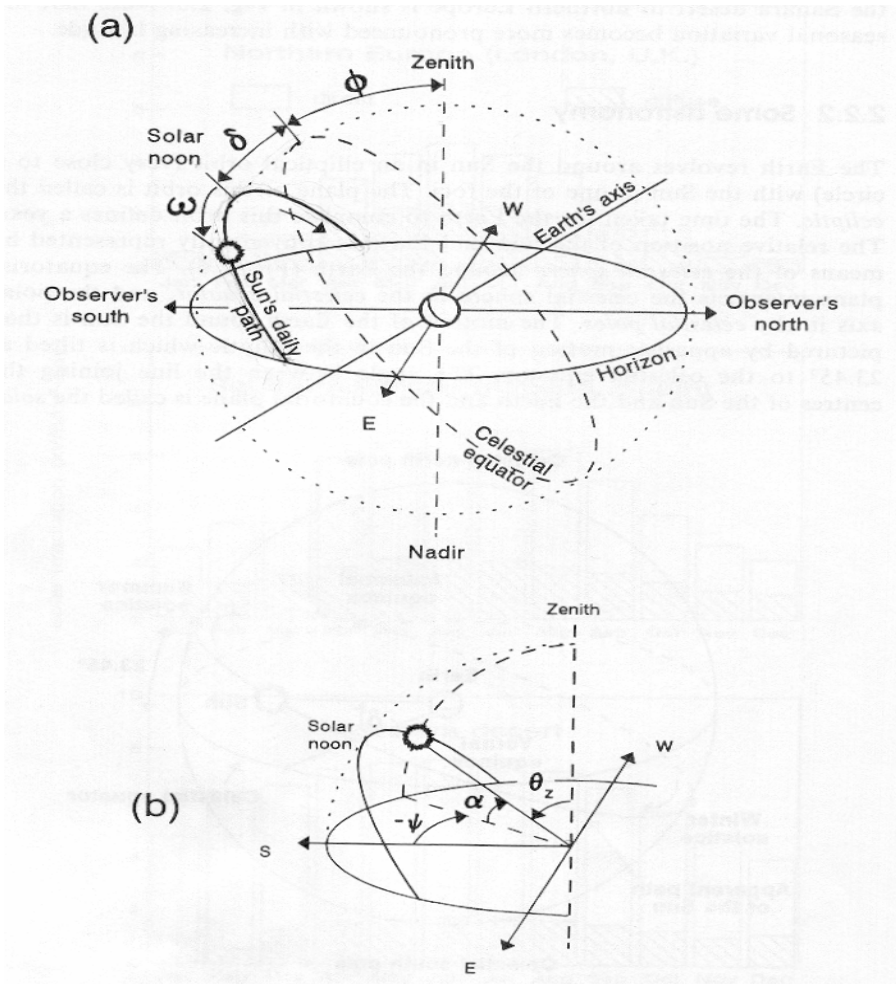
$n=1$  (1<sup>η</sup> Ιανουαρίου) έως 365 (31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου) η ημέρα του έτους.

Η εξίσωση του χρόνου  $E$  είναι ένας παράγοντας που συνεκτιμά τις επιδράσεις της στροφής των αξόνων της γης κατά την περιστροφή της στο επίπεδο της εκλειπτικής και της εκκεντρότητας της τροχιάς της.

### 3.3.4.4. Μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της γεωγραφικής θέσης του παρατηρητή

Λόγω της γεωγραφικής θέσης ενός παρατηρητή πάνω στην επιφάνεια της γης, προσφέρεται να οριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων με βάση την κατακόρυφο, η οποία τέμνει την ουράνια σφαίρα στο ζενίθ και το ναδίρ, και τον ορίζοντα που είναι το επίπεδο το κάθετο στον άξονα αυτόν, Σχ.6 (β). Η γωνία  $\theta_z$  μεταξύ του ζενίθ και της ευθείας όρασης του ήλιου ονομάζεται γωνία ζενίθ ή ζενιθιακή γωνία, η δε συμπληρωματική της  $\alpha=90^\circ-\theta_z$ ,

ονομάζεται ύψος του ήλιου. Η άλλη πολική συντεταγμένη για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου είναι η αζιμούθια γωνία  $\psi$ , Σχ.3(β), μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ήλιου στο επίπεδο του ορίζοντα και του νότου. Είναι  $\psi=0^{\circ}$  στο νότο,  $\psi=90^{\circ}$  στη δύση,  $\psi= -90^{\circ}$  στην ανατολή και  $\psi=180^{\circ}$  στο βορρά.



Σχ. 6 (α) Το σύστημα συντεταγμένων για τον προσδιορισμό της ημερήσιας κίνησης του ήλιου (β) Ορισμός των γωνιών ύψους του ήλιου  $\alpha$ , αζιμούθιας  $\psi$  και ζενιθιακής  $\theta_z$

Για οριζόντιες επιφάνειες, που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον δεδομένου ότι οι στατιστικές μετρήσεις αναφέρονται συνήθως στο οριζόντιο επίπεδο, ισχύουν μεταξύ των παραπάνω γωνιών οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (5)$$

όπου:  $\varphi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος της θέσης εγκατάστασης και  $\theta_z + \alpha = 90^\circ$ , Σχ.5(β).

Σημειώνεται, ότι δεν υπάρχει νόημα υπολογισμού της παραπάνω σχέσης για  $\theta_z > 90^\circ$ .

Η ωριαία γωνία  $\omega_s$  κατά την οποία δύνει ο ήλιος, προκύπτει προφανώς από την (5) αν τεθεί  $\theta_z = 90^\circ$ , οπότε:

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\tan \varphi \tan \delta \quad (6)$$

Συνεπώς ο ήλιος θα ανατέλλει σε γωνία  $-\omega_s$  και δύνει σε  $+\omega_s$ . Επίσης, αν είναι N (σε ώρες) η διάρκεια της ημέρας, δηλαδή ο χρόνος από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, θα είναι:

$$N = 2 \frac{24}{360} \omega_s = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (7)$$

### 3.3.5. Η ηλιακή ακτινοβολία στο φωτοβολταϊκό συλλέκτη

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη διαφέρει από αυτήν που προσπίπτει στο οριζόντιο επίπεδο όταν ο συλλέκτης έχει εγκατασταθεί υπό κάποια κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Η υπό γωνία εγκατάσταση του συλλέκτη συνηθίζεται για λόγους μέγιστης εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και μια τέτοια τοποθέτηση προσδίδει επιπλέον χαρακτηριστικά στην ηλιακή ακτινοβολία, που εξετάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

#### 3.3.5.1. Η επίδραση της κλίσης του συλλέκτη

Η απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια είναι μέγιστη όταν οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα στο επίπεδο του συλλέκτη. Συνεπώς για να επιτευχθεί η λήψη της μέγιστης ποσότητας της ηλιακής ενέργειας θα έπρεπε ο συλλέκτης να στρέφεται συνεχώς ώστε να παρακολουθεί την πορεία του ήλιου, πράγμα όμως που κατά κανόνα αυξάνει αδικαιολόγητα το κόστος της εγκατάστασης και εφαρμόζεται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις.



Στην πράξη, κατά γενικό κανόνα, η θέση των συλλεκτών, δηλαδή του προσανατολισμού και της κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο, παραμένει αμετάβλητη ή το πολύ προβλέπεται η χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης τους μια ή δύο φορές το έτος.

Στην γενικότερη περίπτωση η θέση του συλλέκτη προσδιορίζεται από την γωνία  $\beta$  που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο, (ονομάζεται κλίση του συλλέκτη), και την γωνία  $\gamma$  που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνειά του και την κατεύθυνση προς νότο (ονομάζεται αζιμούθια γωνία του συλλέκτη). Για μια τέτοια τυχούσα θέση του συλλέκτη, Σχ.7, αν είναι:

(α):  $\theta$  η γωνία πρόσπτωσης της ακτινικής (ή άμεσης) ακτινοβολίας του ήλιου, δηλαδή η γωνία των ηλιακών ακτινών με την κάθετο στην επιφάνεια του συλλέκτη,

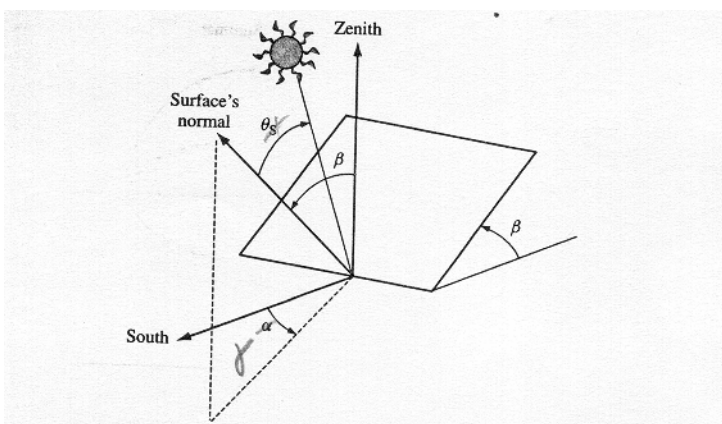
(β):  $\phi$  το γεωγραφικό πλάτος της θέσης ( $-90^{\circ} < \phi < 90^{\circ}$ ) και

(γ):  $\omega$  η ωριαία γωνία του ήλιου,

αποδεικνύεται ότι ισχύει η σχέση (για το βόρειο ημισφαίριο):

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \\ & \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \\ & \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (8)$$

Σημειώνεται, ότι δεν υπάρχει νόημα υπολογισμού της παραπάνω σχέσης για  $\theta > 90^{\circ}$ . (Για το νότιο ημισφαίριο θα πρέπει να αντιστραφεί το πρόσημο στον 2<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> από τους πέντε προσθετέους της (8)).



Σχ. 7 Τυχούσα θέση συλλέκτη (κλίση  $\beta$ , αζιμούθια γωνία  $\gamma$ ) και γωνία πρόσπτωσης του ήλιου  $\theta$ .

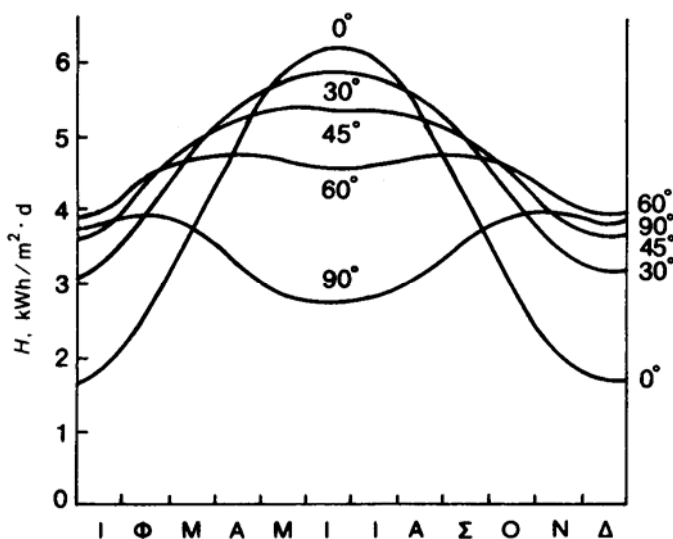
Για κάθετη επιφάνεια αρκεί να τεθεί  $\beta=90^{\circ}$ . Για οριζόντιες επιφάνειες, αρκεί να τεθεί  $\beta=0^{\circ}$ , οπότε η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με το ζενίθ, ήτοι  $\theta=\theta_z$ , και προκύπτει η σχέση (4) που προαναφέρθηκε. Επίσης για  $\omega=0$  προκύπτει η γωνία πρόσπτωσης κατά το μεσημέρι.

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες στο νότο, οπότε  $\gamma=0^{\circ}$ , προκύπτει:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos(\phi - \beta) \cos \omega \quad (9)$$

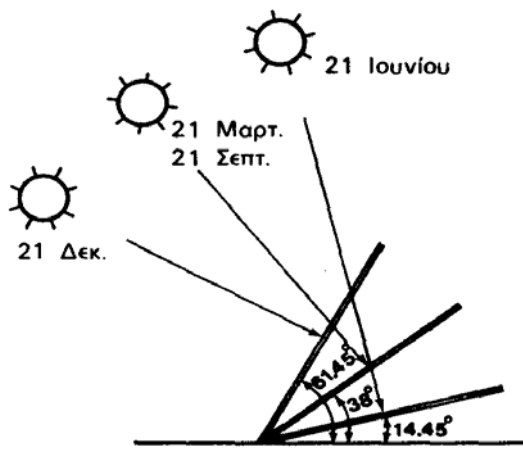
Σημειώνεται, ότι δεν υπάρχει νόημα υπολογισμού της παραπάνω σχέσης για  $\theta > 90^{\circ}$ . (Για το νότιο ημισφαίριο αρκεί να τεθεί η αρνητική τιμή της γωνίας  $\phi$ .)

Συχνά οι ηλιακοί συλλέκτες εγκαθίστανται ώστε να στρέφονται προς το νότο, εκτός βέβαια αν ο προσανατολισμός τους επιβάλλεται από τον τρόπο εγκατάστασης (π.χ. όταν οι συλλέκτες αποτελούν δομικά στοιχεία). Για εγκαταστάσεις στο βόρειο ημισφαίριο η μέγιστη απολαβή επιτυγχάνεται όταν ο συλλέκτης προσανατολίζεται στον νότο και η κλίση του συλλέκτη είναι ίση με την γεωγραφική παράλληλο του τόπου, ενώ εάν η κλίση μπορεί να μεταβάλλεται χειροκίνητα (σε χρονικά διαστήματα μηνών, π.χ. ανά εποχή του έτους) ενδείκνυται η κλίση να μειώνεται κατά  $10^{\circ}$  έως  $15^{\circ}$  κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και να αυξάνεται κατά το ίδιο ποσό κατά την διάρκεια του χειμώνα, λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Τα παραπάνω αποτελούν προσεγγίσεις που εφαρμόζονται σε μικρές εγκαταστάσεις, ενώ για μεγάλες πρέπει να γίνεται αναλυτική μελέτη (Σχ.8).



Σχ.8 Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία

Παρακάτω (Σχ.9) δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικότερες ημερομηνίες του έτους.



Σχ.9 Βέλτιστη κλίση του συλλέκτη στο θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο

Για να εξουδετερωθεί η διαφορά αυτή, βρέθηκε ότι αν τα φωτοβολταικά πλαίσια τοποθετηθούν έτσι ώστε να σχηματίζουν γωνία με το οριζόντιο επίπεδο ίση με  $(\varphi + 15)$  μοίρες ( $\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος του τόπου) η συνολική ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τα πλαίσια γίνεται μεγαλύτερη τον χειμώνα και μικρότερη το καλοκαίρι με αποτέλεσμα να υπάρχει σχεδόν σταθερότητα για όλη τη διάρκεια του έτους. Δηλαδή η μικρότερη ηλιοφάνεια κατά τις χειμερινές μέρες αντισταθμίζεται με την πιο κάθετη τοποθέτηση των πλαισίων προς τις ηλιακές ακτίνες και η μεγάλη ηλιοφάνεια κατά τις καλοκαιρινές μέρες δίνει λιγότερη ηλιακή ενέργεια με την πιο πλάγια τοποθέτηση τους στις ηλιακές ακτίνες.

Έτσι πρακτικά η ηλιακή ενέργεια που δέχονται τα πλαίσια το χειμώνα είναι ίση περίπου με εκείνη που δέχονται το καλοκαίρι. Επί πλέον η ενέργεια αυτή είναι ίση περίπου με εκείνη που δέχονται τα πλαίσια την άνοιξη και το φθινόπωρο και έτσι διατηρείται η σταθερότητα για όλο τον χρόνο.

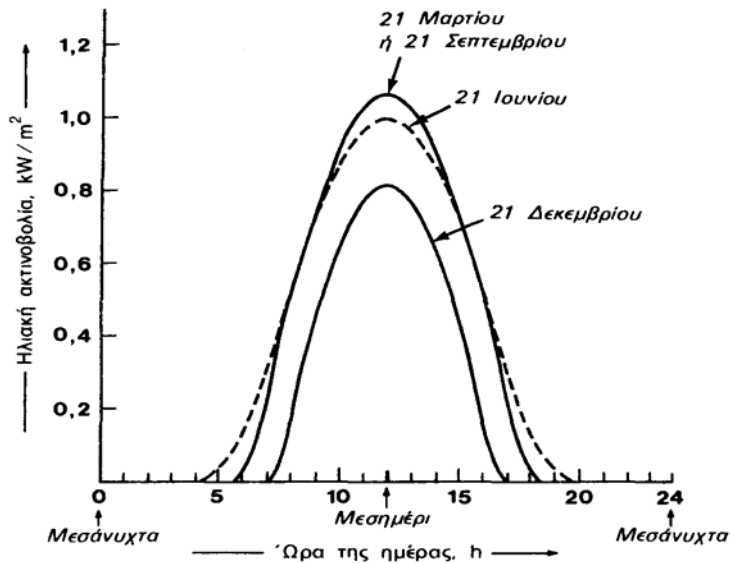
Οι τιμές της ολικής ηλιακής ενέργειας που δέχονται τα φωτοβολταικά πλαίσια κατά μέσο όρο κάθε μέρα για τις διάφορες εποχές του καταγράφονται στους διεθνείς χάρτες. Σημειώνεται ότι οι τιμές που αναγράφονται στους πίνακες αποτελούν μέσο όρο και καλύπτουν γενικά όλη την Ελλάδα. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν δεν υπάρχουν πιο ακριβή στοιχεία για την περιοχή που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταικό σύστημα. Τέτοια στοιχεία παρέχονται από τους κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς ή άλλα αρμόδια τμήματα του κράτους.

Επίσης, στον πίνακα 3.3 δίνονται τα γεωγραφικά πλάτη διαφόρων ελληνικών περιοχών, για την επιλογή της σωστής κλίσης του ηλιακού συλλέκτη. Υπάρχουν και εφαρμογές, όπου κρίνεται σκόπιμη η αναπροσαρμογή της κλίσης του συλλέκτη δύο ή περισσότερες φορές στη διάρκεια του έτους, ώστε να παρακολουθεί κάπως την απόκλιση του ήλιου.

<i>Πόλη ή περιοχή</i>	<i>Γεωγραφ. πλάτος</i>
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα	41° 30'
Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα, Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40° 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39° 30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλονία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Άμφισσα, Λειβαδιά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσία, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρτος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελλόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσσοι, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ. Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 Γεωγραφικό πλάτος διαφόρων ελληνικών πόλεων

Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της μέγιστης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. Στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολοί δείχνει 12:25 τον χειμώνα, και 13:25 το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα. Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτινών να γίνεται περισσότερο κάθετα (Σχ.10).



Σχ.10 Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις γεωγραφικές εποχικές και κλιματολογικές συνθήκες με τον συλλέκτη σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

### 3.3.5.2. Η επίδραση της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου.

Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυσης ακτινοβολίας από τον ουρανό. Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρά κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη

απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Στον πίνακα 3.4 δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 Παραδείγματα τιμών του συντελεστή ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας.**

<i>Είδος επιφάνειας</i>	<i>Συντελεστής ανάκλασης</i>
Επιφάνεια νερού, θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός με σκοτεινόχρωμο χώμα	0,08
Πράσινος αγρός	0,15
Βραχώδης επιφάνεια	0,20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0,24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου ή χρωματισμένη με ανοιχτό χρώμα	0,30
Χιόνι	0,60

### 3.3.6. Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη

Δεδομένου ότι οι μετρήσεις της εντάσεως της ακτινοβολίας γίνονται συνήθως στο οριζόντιο επίπεδο, ενδιαφέρει η συσχέτιση μεταξύ της μετρούμενης εντάσεως ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και εκείνης που προσπίπτει στο συλλέκτη.

#### 3.3.6.1. Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας

Αν  $G_{on}$  είναι η ένταση της άμεσης (ακτινικής) ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας όπως υπολογίζεται από τη σχέση (2), μετρούμενη σε κάθετο προς τις ακτίνες επίπεδο, τότε η ένταση στο οριζόντιο επίπεδο θα είναι

$$G_o = G_{on} \cos \theta_z \quad (10)$$

όπου  $G_o$ , η ένταση στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας  $\cos \theta_z$ , η τιμή του υπολογίζεται από τη σχέση (5).

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω εξίσωση στο πεδίο του χρόνου, η ωριαία μέση ακτινοβολία που προσπίπτει στο οριζόντιο επίπεδο σε κάθε ώρα του χρόνου δίνεται από την σχέση:

$$I_{oh} = \frac{12}{\pi} G_{on} \left[ \cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi}{180} (\omega_2 - \omega_1) \sin \delta \sin \phi \right] \quad (11)$$

όπου  $\omega_1$  , η ωριαία γωνία του ήλιου στην αρχή της ώρας και  
 $\omega_2$  , η ωριαία γωνία του ήλιου στο τέλος της ώρας.

Η πρώτη τιμή που παίρνει η  $\omega_1$  είναι η -ως, η ωριαία γωνία της ανατολής του ήλιου και η τελευταία τιμή της  $\omega_2$  είναι η +ως, η ωριαία γωνία της δύσης του ήλιου. Σημειώνεται ότι η ωριαία γωνία του ήλιου αυξάνεται από την ανατολή στη δύση με ρυθμό 15<sup>ο</sup>/h.

### 3.3.6.2. Επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.3, εκτός των μεταβολών που οφείλονται στην κίνηση της γης περί τον ήλιο, οι οποίες μπορούν να υπολογίζονται με γεωμετρικές σχέσεις, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης υφίσταται έντονες διακυμάνσεις λόγω της παρεμβολής της ατμόσφαιρας. Οι μειώσεις αυτές μπορεί να διακρίνονται ανάλογα με το εάν πρόκειται για αίθρια ατμόσφαιρα, δηλαδή δεν υπάρχουν νέφη, ή μη αίθρια (νεφελώδη) ατμόσφαιρα, χωρίς όμως να μπορεί να γίνεται σαφής διάκριση. Οποσδήποτε όμως λόγω των σημαντικών επιπτώσεων της καθαρότητας της ατμόσφαιρας στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, οι υπολογισμοί της ενεργειακής απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών γίνονται λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα στατιστικών μετρήσεων.

Έτσι από τις μετρήσεις της ηλιακής συνολικής ενέργειας  $I$  σε οριζόντιο επίπεδο στην τοποθεσία εγκατάστασης, μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής καθαρότητας της ατμόσφαιρας από το πηλίκο:

$$K_T = \frac{I}{I_{oh}} \quad (12)$$

όπου  $I$  , η μετρούμενη ολική ένταση της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και  
 $I_{oh}$  ,η ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας στην ίδια θέση.

Οι τιμές τους αναφέρονται συνήθως σε ημερήσιες μέσες τιμές, που προκύπτουν από μετρήσεις διάρκειας ενός μηνός. Ο  $K_T$  αποτελεί χαρακτηριστικό του τόπου εγκατάστασης, και συχνά δίδεται σε πίνακες ως μέση μηνιαία τιμή. Έχει αποδειχθεί στατιστικά ότι ανεξάρτητα από το γεωγραφικό πλάτος, το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο η συνολική ημερήσια ακτινοβολία είναι μικρότερη ή ίση από ορισμένη τιμή εξαρτάται άμεσα από την τιμή του  $K_T$ . Είναι επίσης διαπιστωμένο ότι όσο περισσότερο αίθρια είναι η ατμόσφαιρα τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ακτινοβολίας και μικρότερο το ποσοστό της διάχυτης επί της ολικής [πηγή 22]..

Από τις πολλές σχέσεις συσχέτισης διάχυτης και ολικής ακτινοβολίας που έχουν διατυπωθεί, η ακόλουθη εκφράζει τον λόγο της διάχυτης  $I_d$  προς την ολική  $I$ , ως συνάρτηση μόνον του συντελεστή καθαρότητας  $K_T$ , έτσι ώστε στη συνέχεια να διαχωρίσουμε από την ολική ακτινοβολία τις συνιστώσες της.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09K_T & K_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604K_T + 4.388K_T^2 - 16.638K_T^3 + 12.336K_T^4 & \text{για } 0.22 < K_T \leq 0.80 \\ 0.165 & K_T > 0.80 \end{cases}$$

Από την παραπάνω εξίσωση και γνωρίζοντας την μετρούμενη συνολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται η διάχυτη ακτινοβολία. Η άμεση ή ακτινική ακτινοβολία  $I_b$  που προσπίπτει στο οριζόντιο επίπεδο είναι το υπόλοιπο μέρος της ολικής ακτινοβολίας.

$$I_b = I - I_d \quad (13)$$

όπου  $I_b$ , η ακτινική ακτινοβολία  
 $I$ , η συνολική ακτινοβολία  
 $I_d$ , η διάχυτη ακτινοβολία.

### 3.3.6.3. Συνολική ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη

Πριν από τον υπολογισμό της συνολικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του κεκλιμένου συλλέκτη προσδιορίζονται τρεις ακόμη συντελεστές.



Το μέρος της απ' ευθείας ή ακτινικής ακτινοβολίας που πέφτει στην κεκλιμένη επιφάνεια προς αυτή που υπολογίζεται στην οριζόντια επιφάνεια, ως ποσοστό δίνεται από το ακόλουθο πηλίκο.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (14)$$

όπου  $\cos \theta_z$  και  $\cos \theta$  υπολογίζονται από τις σχέσεις (5) και (9) αντίστοιχα.

Ο ακόλουθος συντελεστής εκφράζει την ατμοσφαιρική διαπερατότητα (atmospheric transmittance) της ακτινικής ακτινοβολίας και δίνει μια εκτίμηση για το μέγεθος της διάχυτης ακτινοβολίας.

$$A_i = \frac{I_b}{I_{oh}} \quad (15)$$

όπου  $I_b$ , η ακτινική ακτινοβολία

$I_{oh}$ , η ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας.

Ο τελευταίος συντελεστής υπολογίζει την φωτεινότητα του ορίζοντα (horizon brightening) και σχετίζεται με τη συννεφιά (cloudiness).

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (16)$$

όπου  $I_b$ , η ακτινική ακτινοβολία

$I$ , η συνολική ακτινοβολία.

Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία  $I_T$  που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη δίνεται από τη σχέση:

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[ 1 + f \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] + I \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (17)$$

όπου  $\rho_g$ , ο συντελεστής ανάκλασης και

οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν υπολογισθεί παραπάνω.

### 3.3.7. Υπολογισμός της ισχύος εξόδου φωτοβολταϊκού

Η ισχύς εξόδου ενός Φ/Β συλλέκτη, ως ποσοστό της συνολικής ηλιακής που προσπίπτει στην επιφάνειά του, δίνεται από τη σχέση:

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left( \frac{I_T}{I_s} \right) \quad (18)$$

όπου  $P_{PV}$  , η έξοδος του συλλέκτη σε kW,

$f_{PV}$  , ο συντελεστής μείωσης αποδόσεως του συλλέκτη, λόγω υψηλών θερμοκρασιών, σκόνης στην επιφάνεια του συλλέκτη κ.λ.π.,

$Y_{PV}$  , η ονομαστική ισχύς του συλλέκτη,

$I_T$  , η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη, όπως έχει υπολογισθεί από την σχέση (17) και

$I_s$  , η ακτινοβολία ενός ηλίου ίση με  $1 \text{ kW/m}^2$  .

### 3.4. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

Οι εφαρμογές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ποικίλες και βρίσκονται ήδη στην πρώτη θέση του ενδιαφέροντος των επενδυτών. Ακολούθως, παραθέτονται ορισμένα παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών.

- **Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Είναι φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία συνδέονται και λειτουργούν παράλληλα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Δεν διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), οπότε δεν έχουν και αναλώσιμα υλικά. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν, καταναλώνεται από τον ιδιοκτήτη και η πλεονάζουσα ή και όλη η παραγόμενη ενέργεια πωλείται στο δίκτυο. Χρησιμοποιούνται για εξοικονόμηση ενέργειας ή παραγωγή και πώληση της ενέργειας στο δίκτυο.

	
<p>Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στο κτίριο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστικών του ΕΜΠ ισχύος 1 kW, εγκατεστημένο στην οροφή του κτιρίου.</p>	<p>Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στο κτίριο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστικών του ΕΜΠ ισχύος 1 kW, εγκατεστημένο στην οροφή του κτιρίου.</p>
	
<p>Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα, ισχύος 11,9 KW, σε πολυκατοικίες στον Ταύρο. Εγκαταστάθηκε τον Απρίλιο του 2002. Η φωτοβολταϊκή αυτή εγκατάσταση, αποτελεί πρωτοπορία στην εφαρμογή ενσωμάτωσης στο κτίριο και ως προς την ηλεκτρονική σύνδεση διαφορετικών φωτοβολταϊκών γεννητριών μεταξύ τους.</p>	<p>Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στο ξενοδοχείο ΠΑΡΟΣ ΦΙΛΟΞΕΝΙΑ στη Νέα Χρυσή Ακτή της Πάρου. Είναι ισχύος 10 KW και καλύπτει μέρος των ηλεκτρικών αναγκών του ξενοδοχείου. Εγκαταστάθηκε τον Μαΐο του 1999 και επιχορηγήθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης με 55%.</p>
	
<p>Διασυνδεδεμένο σύστημα με ενσωματωμένες τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες στην οροφή του κτιρίου (αντί για κεραμίδια) στο Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (ΚΠΕ) Καστοριάς. Πρωτοποριακή εφαρμογή για τον ελλαδικό χώρο διότι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι ενσωματωμένες στην οροφή του κτιρίου ως δομικά υλικά (αντί για κεραμίδια), συμβάλλοντας έτσι εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση κόστους των δομικών υλικών, αλλά και στην αισθητική του κτιρίου. Παρόμοια εγκατάσταση έχει πραγματοποιηθεί και στο 3ο Δημοτικό Σχολείο Σχηματαρίου.</p>	<p>Διασυνδεδεμένο σύστημα 4,5 KW στο 5ο Γυμνάσιο Νίκαιας. Εγκαινιάστηκε από τον υπουργό ΥΠΕΧΩΔΕ στις 2 Ιουνίου 1997. Για την αξιοπιστία του, αναφέρεται στο Renewable Energy: Best Practice Projects Yearbook της Ε.Ε.</p>

• **Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Απευθύνονται σε εφαρμογές που είναι εκτός κεντρικού δικτύου, κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές. Συνήθως διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) και η παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται από τον χρήστη. Το μέγεθος των συστημάτων αυτών, είναι πάντοτε ανάλογο με την ηλεκτρική κατανάλωση των ηλεκτρικών φορτίων της εφαρμογής καθώς και με την περιοχή εγκατάστασης.

	
<p>Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα σε κατοικία μόνιμης διαμονής στο Ρέθυμνο Κρήτης.</p>	<p>Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στην Κύμη Ευβοίας, που ηλεκτροδοτεί μοναστηριακό μετόχι μόνιμης διαμονής.</p>
	
<p>Αυτόνομο σύστημα στην Ελούντα (Κρήτη), το οποίο από τον Ιούνιο του 1996 ηλεκτροδοτεί το Elunda Island Villas, ένα ξενοδοχειακό συγκρότημα 50 κλινών. Για την αξιοπιστία και τη συμβολή του στην ανάπτυξη του Οικολογικού Τουρισμού, επιλέχθηκε και αναφέρεται στο "Renewable Energy: Best Practice Projects Yearbook" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.</p>	<p>Αυτόνομο σύστημα που ηλεκτροδοτεί τον παραδοσιακό τουριστικό Οικισμό 14 οικιών "Άσπρος Ποταμός", στο Μακρύ Γιαλό της Κρήτης. Αυτή η εφαρμογή τιμήθηκε το 1995 από την EUROSOLAR με το Ευρωπαϊκό Βραβείο Φωτοβολταϊκών Εφαρμογών, για την τεχνολογία, την άφογη λειτουργία, την αισθητική και την οικολογική ευαισθησία του ιδιοκτήτη.</p>

**3.5. Φωτοβολταϊκή παραγωγή**

Όπως είναι γνωστό, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, λόγω καιρικών και κλιματολογικών συνθηκών. Ένα τέτοιο περιβάλλον κρίνεται ευνοϊκό για την ανάπτυξη της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Στον ακόλουθο πίνακα καταγράφεται η μέση ετήσια φωτοβολταϊκή παραγωγή, μιας φωτοβολταϊκής μονάδας, μοναδιαίας ισχύος, σε κατάλληλη κλίση και προσανατολισμό εγκατεστημένη σε μεγάλες ελληνικές πόλεις, υπολογισμένη με την εφαρμογή [21].

<b>ΠΟΛΗ</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)</b>
ΑΙΓΙΟ	1205
ΑΡΓΟΣ	1268
ΑΘΗΝΑ	1315
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	1207
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1332
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	1253
ΚΩΣ	1445
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	1421
ΛΕΥΚΑΔΑ	1165
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	1314
ΧΑΝΙΑ	1374
ΡΟΔΟΣ	1463
ΣΑΜΟΣ	1346
ΣΥΡΟΣ	1363
ΧΙΟΣ	1374
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	1212

ΠΙΝΑΚΑΣ: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Παρά την έντονη ηλιακή ακτινοβολία ιδιαίτερα στα νησιά του Αιγαίου, η οποία ανέρχεται και στις 1800 kWh ετησίως, η ικανότητα μετατροπής της ηλιακής αυτής ενέργειας σε ηλεκτρική από τα φωτοβολταϊκά είναι μειωμένη. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων κυμαίνεται ανάλογα με την τεχνολογία της κατασκευής τους και καταγράφεται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Φωτοβολταϊκά Στοιχεία</b>	<b>Απόδοση</b>
άμορφο πυρίτιο	έως 10%
μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	12–15%
πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	15.0%
με προσμίξεις γάλλιου-αρσένιου (GaAs)	19.4%

Παρά της μικρής απόδοσης των φωτοβολταϊκών, τα όλα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις εφαρμογές τους, πυροδοτούν, την άμεσα μελλοντική και πιθανά διαρκώς αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

# **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ Α.Π.Ε. ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ**





#### 4.1. Εισαγωγή

Η παρούσα μεθοδολογία αφορά την εκτίμηση της ετησίως παραγόμενης αιολικής ενέργειας από τους αιολικούς σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι και λειτουργούν σε ένα αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι το σύστημα ενός μη διασυνδεδεμένου με το ηπειρωτικό Σύστημα νησιού, καθώς και ο προσδιορισμός της μέγιστης δυνατής διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος, στο σύστημα. Η μεθοδολογία αυτή αναφέρεται στη “μόνιμη κατάσταση λειτουργίας” του συστήματος, η οποία είναι και η πλέον καθοριστική για το όριο διείσδυσης. Λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ζήτησης του νησιού, τη σύνθεση και τη λειτουργία του τοπικού συμβατικού σταθμού παραγωγής, τους τεχνικούς περιορισμούς για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος, τα ανεμολογικά δεδομένα του νησιού καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία. Η μεθοδολογία επικεντρώνεται στους αιολικούς και τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς διότι μόνο αυτές οι τεχνολογίες από τις ανανεώσιμες πηγές μη ελεγχόμενου ρυθμού έχουν μέχρι σήμερα αναπτυχθεί, σε βαθμό που να επηρεάζει την λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων των νησιών, η δεύτερη δε ελάχιστα. Μπορεί όμως να επεκταθεί και σε άλλους σταθμούς παραγωγής που αξιοποιούν και άλλες μορφές ΑΠΕ μη ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής, καθώς και σε περιπτώσεις υβριδικών σταθμών. Η μεθοδολογία αυτή έχει δύο κύριους στόχους:

- Την εκτίμηση της αιολικής ενέργειας που δύναται να απορροφήσει ετησίως ένα δεδομένο αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από ηηζελογεννήτριες και αιολικούς σταθμούς συγκεκριμένης εγκατεστημένης ισχύος αλλά και αναμενόμενους φωτοβολταϊκούς σταθμούς.
- Τον προσδιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης, φωτοβολταϊκής και συνολικά ανανεώσιμης ισχύος που δύναται να συνδεθεί στο σύστημα (μέγιστη “διείσδυση”), χωρίς να μειώνεται η ασφάλεια λειτουργίας του ή να προκαλούνται ανεπίτρεπτες διαταραχές κατά τη λειτουργία του.

Σημειώνεται, ότι για το παρόν κεφάλαιο ο όρος ανανεώσιμη παραγωγή ενέργειας θα σημαίνει αιολική και φωτοβολταϊκή παραγωγή ενέργειας.

#### 4.2. Αρχές μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία αναφέρεται σε αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία ηλεκτροδοτούνται από ένα (ή περισσότερους) συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, οι

οποίοι περιλαμβάνουν μονάδες ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής (συνήθως πετρελαϊκές μονάδες ντίζελ ή μαζούτ). Στα συστήματα αυτά μπορεί να υπάρξουν και μη πετρελαϊκές μονάδες ελεγχόμενου ρυθμού, όπως είναι σταθμοί γεωθερμίας, βιομάζας ή και αντλησιοταμιευτικά-υβριδικά συστήματα. Προϋπόθεση όμως για την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι η λειτουργία των ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής μονάδων να διέπεται από έναν κεντρικό προγραμματισμό, από τον οποίο θα προκύπτει η σειρά ένταξής τους στο σύστημα καθώς και οι όροι και οι προϋποθέσεις λειτουργίας τους, τις οποίες καθορίζει ο Διαχειριστής του Δικτύου.

Οι βασικές αρχές που ακολουθούνται είναι οι εξής:

1. Βασική αρχή της μεθοδολογίας είναι η εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του συστήματος και η παροχή ικανοποιητικής ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές, με επιδίωξη τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης ανανεώσιμης ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού, όπως ορίζει ο Ν.2773/99 και η Κοινοτική Οδηγία 2001/77.
2. Η μεθοδολογία περιορίζεται στην εξέταση του θέματος μόνο από τεχνικής πλευράς και δεν λαμβάνει υπόψη την οικονομικότητα της λειτουργίας του συστήματος. Κατά συνέπεια δεν λαμβάνεται υπόψη καμία οικονομική επιβάρυνση ή ελάφρυνση που μπορεί να προκύψει από την υποχρεωτική λειτουργία του σταθμού (πολλές φορές σε συνθήκες μη βέλτιστης λειτουργίας του) εξαιτίας της εκ του νόμου 2773/1999 υποχρέωσης για απορρόφηση της ανανεώσιμης ενέργειας. Ωστόσο, η μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού των εν λόγω επιβαρύνσεων ή ελαφρύνσεων που μπορεί να προκύψουν (κόστος καυσίμου κλπ).
3. Λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του σταθμού συμβατικής παραγωγής καθώς και τα χαρακτηριστικά του φορτίου μέσω της μετρημένης ωριαίας καμπύλης ζήτησης του συστήματος κατά το προηγούμενο έτος.
4. Θεωρείται ότι η συνολικά παραγόμενη αιολική ισχύς μπορεί να ελέγχεται, έτσι ώστε να μπορεί να μειωθεί αν αυτό απαιτηθεί από το σύστημα. Για τον λόγο αυτόν, οι αιολικοί σταθμοί θεωρείται ότι αποτελούνται από μικρές μονάδες παραγωγής (π.χ. της τάξης των 500-700 kW), ή από μεγάλες μονάδες με δυνατότητα ελέγχου της παραγόμενης από αυτές ισχύος. Χρησιμοποιείται ενιαία καμπύλη ισχύος για όλες τις ανεμογεννήτριες του νησιού.
5. Οι ανεμολογικές συνθήκες ενός νησιού λαμβάνονται υπόψη με την μετρημένη χρονοσειρά της ταχύτητας ανέμου, η οποία αντιστοιχεί σε ορισμένη μέση ετήσια ταχύτητα του νησιού.
6. Τα μικρά φωτοβολταϊκά ισχύος έως 100 kW, που συνήθως εγκαθίστανται στις στέγες των σπιτιών και συνδέονται στη χαμηλή τάση, βρίσκονται διεσπαρμένα στο δίκτυο και η

ανεξέλεγκτη παραγωγή τους μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη κατά ένα μέρος της σε περίπτωση σφάλματος επί του δικτύου.

7. Τα μεγάλα φωτοβολταϊκά βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μεγάλους σταθμούς και συνδέονται στη μέση τάση. Η παραγωγή τους έχει μικρότερη αξιοπιστία, από την διανεμημένη παραγωγή της χαμηλής τάσης, καθώς επίσης υπάρχει δυνατότητα ελέγχου και περιορισμού της παραγωγής τους.

8. Η ηλιακή ακτινοβολία, όπως προκύπτει από μετρήσεις, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του συστήματος, η ωριαία κίνηση της γης και του ήλιου, λαμβάνονται υπόψη στον προσδιορισμό της πραγματικής φωτοβολταϊκής παραγωγής.

9. Η αναμενόμενη φωτοβολταϊκή παραγωγή προκύπτει από τον αλγόριθμο πρόβλεψης όπου χρησιμοποιείται μια μέση καμπύλη παραγωγής φωτοβολταϊκών.

10. Ακολουθείται η βασική αρχή ότι οι συμβατικές μονάδες του σταθμού δεν θα πρέπει να φορτίζονται κάτω από τα τεχνικά ελάχιστα όρια φορτίσεώς τους, τα οποία θα είναι σαφώς καθορισμένα για κάθε μονάδα. Αυτά θα καθορίζονται από τη ΡΑΕ με βάση σχετική πρόταση του Διαχειριστή του Δικτύου συνοδευόμενη με επαρκή τεκμηρίωση. Με τα σημερινά δεδομένα, τα τεχνικά ελάχιστα της πλειοψηφίας των πετρελαϊκών μονάδων που λειτουργούν στα νησιά με μαζούτ είναι μεταξύ 40-50% της ονομαστικής ισχύος. Για μονάδες ελαφρού πετρελαίου τα όρια είναι κατά πολύ χαμηλότερα.

11. Για να εξασφαλίζεται πλήρως η κάλυψη του φορτίου σε περίπτωση μερικής ή και ολικής απώλειας της ανανεώσιμης παραγωγής προβλέπεται, κατά τον καθορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης διείσδυσης, ότι ανά πάσα στιγμή θα βρίσκονται ενταγμένες οι ελάχιστες απαιτούμενες μονάδες ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής (με τα σημερινά δεδομένα οι πετρελαϊκές μονάδες συμβατικής παραγωγής των σταθμών) οι οποίες μπορούν να καλύψουν πλήρως το φορτίο και χωρίς την ανανεώσιμη ισχύ και επιπλέον ένα πρόσθετο ποσοστό 10% του φορτίου (εφεδρεία 110%). Όμως, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών, ο Διαχειριστής του Δικτύου έχει την ευχέρεια να λειτουργεί το σύστημα με μικρότερο ποσοστό εφεδρείας, λαμβάνοντας υπόψη τις εκάστοτε πραγματικές συνθήκες.

12. Τίθεται όριο για την στιγμιαία διείσδυση αιολικής ισχύος, δεδομένου ότι οι διακυμάνσεις της παραγόμενης ισχύος από τους αιολικούς και τους μεγάλους φωτοβολταϊκούς σταθμούς μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη διατήρηση της συχνότητας εντός των επιτρεπόμενων ορίων ή ακόμα και στην ευστάθεια του συστήματος. Το όριο αυτό μπορεί να κυμανθεί ανά νησί, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των συνθηκών λειτουργίας του συστήματος, τόσο από πλευράς συμβατικών μονάδων (π.χ. ικανότητα ρύθμισης), όσο και

από πλευράς αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών (αριθμός, μέγεθος και είδος των ανεμογεννητριών /φωτοβολταϊκών, διασπορά των ανεμογεννητριών /φωτοβολταϊκών στο νησί κλπ). Η ανάλυση και η εμπειρία έχουν δείξει ότι το όριο στιγμιαίας διείσδυσης δεν μπορεί να υπερβεί το 25-30% της ονομαστικής ισχύος των συμβατικών μονάδων του σταθμού με τη σημερινή τεχνολογία ανεμογεννητριών και τα συνήθη μέσα ρύθμισης των πετρελαϊκών μονάδων, χωρίς την εγκατάσταση άλλων μέσων αντιστάθμισης της ταχείας διακύμανσης της αιολικής παραγωγής, που είναι πιο πιθανή από μια απότομη διακύμανση της φωτοβολταϊκής παραγωγής. Οποσδήποτε για τον προσδιορισμό του ορίου στιγμιαίας ανανεώσιμης διείσδυσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η πραγματοποίηση μετρήσεων, από τις οποίες και μόνο μπορούν να διαπιστωθούν τα ακριβή ανά νησί όρια.

13. Η μεθοδολογία καθορίζει τη δυνατότητα απορρόφησης ελεγχόμενης ανανεώσιμης ενέργειας από το σύστημα σε ολιγόλεπτη ή ωριαία βάση. Η ενέργεια αυτή θα κατανέμεται σε όλους τους αιολικούς και τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς αναλογικά με την ισχύ τους αλλά και την αναμενόμενη δυνατότητα παραγωγής των φωτοβολταϊκών.

14. Η εκτίμηση της αιολικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί γίνεται με παρεμβολή στην καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας και της χρονοσειράς ανέμου. Η ταχύτητα ανέμου και η ζήτηση του φορτίου, είναι μεταβλητές οι οποίες θεωρούνται πλήρως ανεξάρτητες μεταξύ τους.

15. Η εκτίμηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί γίνεται με πρόβλεψη, από την πραγματική παραγωγή τους της προηγούμενης ώρας. Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών η ηλιακή ακτινοβολία και η ζήτηση του φορτίου, είναι μεταβλητές πλήρως εξαρτημένες μεταξύ τους.

### **4.3. Δεδομένα υπολογισμών**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι τα εξής:

1. Η ωριαία καμπύλη φορτίου του συστήματος του προηγούμενου έτους. Η καμπύλη προκύπτει από μετρήσεις που κρατούνται από τους σταθμούς παραγωγής και τον Διαχειριστή του Δικτύου. Εκφράζεται σε kW για την κάθε ώρα του έτους και με ένα συντελεστή αύξησης λαμβάνεται η ωριαία πρόβλεψη της ισχύος του φορτίου για το παρόν έτος.

2. Τα χαρακτηριστικά του σταθμού (ή των σταθμών) συμβατικής παραγωγής. Ειδικότερα απαιτούνται:

- Η σύνθεση του σταθμού παραγωγής και η σειρά ένταξης των μονάδων του.
- Η μέγιστη ικανότητα παραγωγής κάθε μονάδας και το αντίστοιχο τεκμηριωμένο τεχνικό της ελάχιστο.
- Οι ώρες συντήρησης της κάθε μονάδας, που ανέρχονται σε 100 ώρες περίπου το έτος αλλά όχι στην περίοδο υψηλού φορτίου (καλοκαιρινή περίοδο).
- Νέες μονάδες που προβλέπεται να ενταχθούν στις αρχές του τρέχοντος έτους (π.χ. μέχρι τέλος Μαρτίου).

3. Τους υφιστάμενους αιολικούς σταθμούς και ιδιαίτερα την ισχύ, τη θέση και τη σύνθεσή τους.

4. Τους νέους αιολικούς σταθμούς που έχουν λάβει άδεια παραγωγής και προβλέπεται να ενταχθούν εντός του τρέχοντος έτους.

5. Η μετρημένη χρονοσειρά ανέμου στην τοποθεσία του συστήματος στο ύψος της πλύμνης της ανεμογεννήτριας. Είναι αναμενόμενο τα χαρακτηριστικά του ανέμου σε ένα νησί (ιδιαίτερα σε νησί μικρού ή μέσου μεγέθους) να είναι παρόμοια, οπότε μπορεί να ληφθεί με πολύ καλή προσέγγιση μία μόνο χρονοσειρά για όλο το νησί.

6. Η διεύθυνση φωτοβολταϊκής ισχύος, ως ποσοστό της αιχμής του φορτίου.

7. Το μέρος του συνόλου των φωτοβολταϊκών που συνδέονται στη χαμηλή τάση και η παραγωγή τους δεν περιορίζεται καθώς και το μέρος αυτών που συνδέονται στη μέση τάση και η παραγωγή τους περιορίζεται σύμφωνα με τους περιορισμούς διεύθυνση.

8. Η θεώρηση ποσοστού αξιοπιστίας στην παραγωγή των διανεμημένων φωτοβολταϊκών (χαμηλής τάσης) και των συγκεντρωμένων σε μεγάλους σταθμούς φωτοβολταϊκών (μέσης τάσης), ως διατήρηση της παραγωγής τους παρά των διάφορων δυσμενών συνθηκών.

9. Η μετρημένη χρονοσειρά ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της τοποθεσίας του συστήματος για τον υπολογισμό της πραγματικής φωτοβολταϊκής παραγωγής σε κεκλιμένο συλλέκτη.

10. Μια μέση καμπύλη ισχύος για τα φωτοβολταϊκά, όπως έχει προκύψει από μετρήσεις και στατιστικά στοιχεία, για την εξαγωγή των ωριαίων συντελεστών πρόβλεψης της αναμενόμενης παραγωγής τους.

#### 4.4. Περιγραφή Μεθοδολογίας

Για την εκτίμηση της ετησίως παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία 1 - 10 της παραγράφου 4.3 και με βάση τις αρχές που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.2 ακολουθείται η εξής διαδικασία για κάθε ώρα του έτους:

1. Αποφασίζεται με ποια σειρά θα βγουν εκτός λειτουργίας οι συμβατικές μονάδες παραγωγής για συντήρηση και πόσες ώρες.
2. Γίνεται πρόβλεψη του φορτίου και της αναμενόμενης φωτοβολταϊκής παραγωγής για την επόμενη ώρα .
3. Εντάσσονται οι ελάχιστες απαιτούμενες μονάδες συμβατικής (ή ελεγχόμενης) παραγωγής που θα πρέπει να είναι ενταγμένες στο σταθμό (ή στους σταθμούς), σύμφωνα με τη σειρά ένταξής τους, ώστε να καλυφθεί το 110% του φορτίου μειωμένο κατά το αξιόπιστο ποσό της αναμενόμενης παραγωγής φωτοβολταϊκών.
4. Λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων υπολογίζεται η ισχύς του φορτίου που θα πρέπει να καλυφθεί από τις μονάδες συμβατικής παραγωγής.
5. Αφαιρείται από την υπόλοιπη ισχύ του φορτίου η αναμενόμενη φωτοβολταϊκή παραγωγή των μη ελεγχόμενων μικρών φωτοβολταϊκών.
6. Υπολογίζονται οι περιορισμοί διείσδυσης ανανεώσιμης ισχύος στο υπόλοιπο φορτίο και επιμερίζονται στους ελεγχόμενους παραγωγούς με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους αλλά και την αναμενόμενη δυνατότητα της φωτοβολταϊκής παραγωγής που έχει προβλεφθεί.
7. Γίνεται η προσομοίωση με βάση την πραγματική παραγωγή των αιολικών και αν είναι μικρότερη από το όριο που έχει επιβληθεί, παράγει χωρίς περιορισμό, διαφορετικά περιορίζεται στο όριο που έχει δοθεί.
8. Γίνεται η προσομοίωση με βάση την πραγματική παραγωγή των φωτοβολταϊκών και αν είναι μικρότερη από το όριο που έχει επιβληθεί, παράγει χωρίς περιορισμό, διαφορετικά περιορίζεται στο όριο που έχει δοθεί.
9. Στην περίπτωση αδυναμίας κάλυψης του φορτίου, αναλαμβάνουν οι ενταγμένες συμβατικές μονάδες με επιπλέον φόρτισή τους έως πλήρους κάλυψης του εναπομείναντος φορτίου.
10. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2-9 για όλες τις ώρες του έτους στην ωριαία προσομοίωση ή για περισσότερα βήματα στην ολιγόλεπτη προσομοίωση.
11. Υπολογίζονται ενεργειακές αποδόσεις και δίνεται εκτίμηση για ετήσια μεγέθη όπως:

- α) Συνολική παραγόμενη ενέργεια των συμβατικών μονάδων, των αιολικών πάρκων και των φωτοβολταϊκών σταθμών.
- β) Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια αιολικών και ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών.
- γ) Συντελεστές χρησιμοποίησης για την συνολική αιολική και φωτοβολταϊκή ισχύ.
- δ) Εκκινήσεις /στάσεις και συντελεστή χρησιμοποίησης της κάθε μίας συμβατικής μονάδας.
- ε) Καμπύλες διάρκειας της τηρούμενης στρεφόμενης εφεδρείας και της μέσης φόρτισης των μονάδων.

Ο θεωρητικός αυτός υπολογισμός προσδιορίζει τις δυνατότητες απορρόφησης ανανεώσιμης ενέργειας από το αυτόνομο σύστημα. Οπωσδήποτε όμως δεν λαμβάνονται υπόψη πιθανές αποκλίσεις του πραγματικού συστήματος, όπως π.χ. βλάβες των μηχανών Diesel που αλλοιώνουν τη σειρά ένταξης, διαφοροποίηση των συνθηκών ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας ή και φορτίου, αδυναμία απορρόφησης συστήματος λόγω βλάβης δικτύου, μη διαθεσιμότητα ορισμένων ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών κλπ.

Η θεώρηση πλήρους ανεξαρτησίας φορτίου και ανέμου (ασυσχέτιστες μεταβλητές) έχει θεμελιωθεί με βάση σχετικές μετρήσεις και λαμβάνεται ως δεδομένη σε όλες τις ανάλογες μελέτες. Ωστόσο, δεν αποκλείεται η συσχέτιση των δύο μεταβλητών που θα μπορούσε να προκύψει από την περιοδικότητα που παρουσιάζουν οι άνεμοι σε ορισμένες περιοχές, όπως π.χ. είναι τα μελέμια (ειδικά στα Κυκλαδονήσια). Η αγνόησή της όμως δίνει αποτελέσματα προς την ασφαλή πλευρά, ως προς την απορρόφηση αιολικής ενέργειας, αφού στην ουσία αγνοεί ευνοϊκές καταστάσεις για τους αιολικούς σταθμούς, όπου η υψηλή παραγωγή αιολικής ισχύος γίνεται τις ώρες μέσου και υψηλού φορτίου (9-10 π.μ. με 6-7 μ.μ.) οπότε το σύστημα είναι πιο δεκτικό στη διείσδυση αιολικής ισχύος.

Αντίθετα, η συσχέτιση φορτίου και ανέμου που παρουσιάζεται κατά την ένταξη κλιματιστικών τους καλοκαιρινούς μήνες - αύξηση φορτίου σε ώρες άπνοιας – δίνει αποτελέσματα με υπερεκτίμηση της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας.

#### **4.5. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και λήψη αποφάσεων**

Η εφαρμογή της ανωτέρω μεθοδολογίας για διάφορα ποσοστά διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος δίνει την εικόνα της δυνατότητας ενός συστήματος να απορροφήσει φωτοβολταϊκή ενέργεια. Επιπλέον με παραμετρική διερεύνηση ως προς τις τιμές των παραμέτρων που εμπλέκονται (ταχύτητα ανέμου, τεχνικό ελάχιστο συμβατικών μονάδων,

όριο στιγμιαίας διείσδυσης, ποσοστό επιπλέον τηρούμενης εφεδρείας, καμπύλη φορτίου κλπ) δίδεται η δυνατότητα πλήρους διερεύνησης του θέματος. Επίσης, κατά την αξιολόγηση θα λαμβάνονται υπόψη και άλλα δεδομένα τα οποία επηρεάζουν τον βαθμό διείσδυσης, όπως είναι π.χ. η διασπορά των αιολικών σταθμών, τυχόν ειδικές τεχνικές απαιτήσεις κ.α.

Τέλος, είναι προφανές ότι η συνολική απορρόφηση ανανεώσιμης ενέργειας από το σύστημα, μετά την ένταξη και των νέων αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών που θα αδειοδοτηθούν, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε, για τους ήδη αδειοδοτημένους και σε λειτουργία αιολικούς σταθμούς, οι οποίοι έχουν ήδη υπογράψει συμβάσεις για την απορρόφηση της παραγόμενης από αυτούς ενέργειας, να μην μειώνεται η συμβατική υποχρέωση απορρόφησης.

## 4.6. Μαθηματικός προσδιορισμός της ενεργειακής διείσδυσης των αιολικών και φωτοβολταϊκών

### 4.6.1. Περιορισμοί διείσδυσης

Σε ηλεκτρικά συστήματα περιορισμένου μεγέθους, όπως αυτά των μη διασυνδεδεμένων νησιών, οι συμβατικές μονάδες παραγωγής εισάγουν σημαντικούς περιορισμούς στη λειτουργία των ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών. Οι περιορισμοί αυτοί διείσδυσης διαμορφώνονται από τα τεχνικά ελάχιστα των συμβατικών μονάδων και από τη δυναμική συμπεριφορά τους.

- ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΛΑΧΙΣΤΑ

Οι συμβατικές μονάδες παραγωγής που τροφοδοτούν τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα είναι πετρελαϊκές, οι οποίες για λειτουργικούς λόγους (παλαιότητας, φθορών, συντήρησης, αντιοικονομικής λειτουργίας) δεν πρέπει να υποφορτίζονται κάτω από ένα ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύς που ανέρχεται στο 25% με 30%. Συνεπώς σε κάθε μονάδα παραγωγής ορίζεται το ελάχιστο όριο παραγωγής της.

$$P_{D\min} \leq P_D \leq P_{Dn}$$

$$P_{D\min} = c_T P_{Dn}$$

όπου  $P_D$  η παραγόμενη ισχύς από την μονάδα



$P_{Dn}$  η ονομαστική ισχύς  
 $P_{Dmin}$  το τεχνικό της ελάχιστο και  
 $c_T$  ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου,  
 ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύος της μονάδας

Ο περιορισμός της παραγωγής των συμβατικών μονάδων οδηγεί στον αντίστοιχο περιορισμό παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ, όπου πλέον με τον όρο αυτόν θα εννοούνται τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά). Δεδομένης της ισχύος του φορτίου και της παραγωγής των συμβατικών μονάδων ίση με την ελάχιστη φόρτισή τους επιβάλλεται μέγιστο όριο παραγωγής από ΑΠΕ και οδηγεί στον αντίστοιχο περιορισμό διείσδυσης τους ( $P_{RESmax,T}$ ).

$$P_D = P_L - P_{RES}$$

$$P_D \geq P_{Dmin} \Rightarrow P_{RES} \leq P_L - \sum c_T P_{Dn} = P_{RESmax,T}$$

όπου  $P_D$  η παραγωγή των συμβατικών μονάδων του σταθμού  
 $P_L$  η ισχύς του φορτίου του αυτόνομου συστήματος  
 $P_{RES}$  η παραγωγή από ΑΠΕ  
 $P_{Dmin} = \sum c_T P_{Dn}$  η ελάχιστη παραγωγή των συμβατικών μονάδων  
 $P_{RESmax,T}$  η μέγιστη παραγωγή από ΑΠΕ

- ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ

Λόγω της αδυναμίας ελέγχου του ρυθμού παροχής της πρωτογενούς ενέργειας (ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας) από τις ανεμογεννήτριες και τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες προκαλούνται έντονες διακυμάνσεις στην ισχύ εξόδου τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αντίστοιχες μεταβολές στην παραγόμενη ισχύ των συμβατικών μονάδων, ώστε να τηρείται το ισοζύγιο ισχύος, καθώς και επιπτώσεις στην συχνότητα του συστήματος, ιδίως όταν οι μεταβολές είναι μεγάλου μεγέθους όπως στην περίπτωση απότομης απώλειας της παραγωγής των ΑΠΕ. Μια τέτοια κατάσταση είναι δυσμενής για την ευστάθεια του συστήματος, η οποία μπορεί να προκληθεί λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο, λόγω υψηλών ταχυτήτων ανέμου που υπερβαίνουν την ταχύτητα αποσύνδεσης των ανεμογεννητριών ή λόγω μιας έντονης συννεφιάς. Λόγω της μη αξιόπιστης παραγωγής των ΑΠΕ, οι δυναμικοί περιορισμοί διείσδυσης παραγωγής αυτών

καθορίζονται σε ένα μέγιστο στιγμιαίο όριο διείσδυσης ( $P_{RESmax,D}$ ) που είναι συνήθως ένα ποσοστό 25%-30% της ονομαστικής ισχύος των ενταγμένων μονάδων.

$$P_{RES} \leq \sum c_D P_{Dn} = P_{RESmax,D}$$

όπου  $c_D$  , ο συντελεστής μέγιστης διείσδυσης ισχύος ΑΠΕ  
 $P_{Dn}$  , η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία μονάδων  
 $P_{RESmax,D}$  , η μέγιστη παραγωγή από ΑΠΕ

#### 4.6.2. Στρεφόμενη εφεδρεία

Το φορτίο καλύπτεται από την παραγωγή των συμβατικών μονάδων και την παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία κατηγοριοποιείται στις:

Α)ελεγχόμενη παραγωγή, όπως των αιολικών και των φωτοβολταϊκών πάρκων και  
 Β)μη ελεγχόμενη παραγωγή, όπως των μικρών φωτοβολταϊκών που εγκαθίστανται στη χαμηλή τάση.

Ο διαχωρισμός της ελεγχόμενης και μη ελεγχόμενης παραγωγής από ΑΠΕ έγκειται στον έλεγχο και στην αξιοπιστία της παραγωγής των ΑΠΕ, που όπως προαναφέρθηκε επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του συστήματος και διαμορφώνει τους περιορισμούς διείσδυσης αναλόγως.

##### ➤ ΕΛΕΓΧΟΣ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα και τα μεγάλα φωτοβολταϊκά, πρώτη κατηγορία, μπορεί να ελεγχθεί και συνεπώς να περιορισθεί σύμφωνα με τα όρια διείσδυσης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα μικρά φωτοβολταϊκά στη χαμηλή τάση, δεύτερη κατηγορία, είναι ανεξέλεγκτη και δεν υπόκειται σε περιορισμούς.

##### ➤ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Στο ενδεχόμενο σφάλματος επί του δικτύου, η πιθανότερη και δυσμενέστερη κατάσταση του συστήματος, τίθεται σοβαρό το θέμα της αξιοπιστίας της παραγωγής των ΑΠΕ. Η αξιοπιστία της παραγωγής από αιολικά είναι σχεδόν μηδενική, ενώ η αξιοπιστία της παραγωγής από, περιοριζόμενα και μη, φωτοβολταϊκά ανέρχεται σε ένα μικρό ποσοστό που κυμαίνεται από 0% έως 50%. Η αξιοπιστία παραγωγής από ΑΠΕ καθορίζει την εφεδρεία των εν λειτουργία μονάδων που πρέπει να τηρείται λόγω της

απαίτησης ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος καθώς και τον προγραμματισμό ένταξης των μονάδων.

- **ΕΝΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΩΝ**

Η σειρά ένταξης των συμβατικών μονάδων καθορίζεται από την ισχύ του φορτίου με βάση την αποδιδόμενη ισχύ τους, που θεωρείται ίση της ονομαστικής, έως την πλήρη κάλυψη του φορτίου ( $P_L$ ).

- **ΕΦΕΔΡΕΙΑ**

Συνήθως τηρείται πλήρης εφεδρεία όσον αναφορά την παραγωγή από ΑΠΕ, έτσι ώστε στο ενδεχόμενο πλήρους απώλειας αυτής, οι εν λειτουργία μονάδες να μπορούν να καλύψουν το φορτίο και ένα πρόσθετο ποσοστό εφεδρείας λόγω αβεβαιότητας πρόβλεψης του φορτίου, που ανέρχεται σε ένα μικρό ποσοστό επί της ισχύος του φορτίου, περίπου 10% αυτού.

$$Spinning ReserveD = P_L + 10\%P_L - P_D$$

όπου: SpinningReserveD η στρεφόμενη εφεδρεία των μονάδων του σταθμού

$P_L$  η ισχύς του φορτίου

$P_D$  η παραγωγή των συμβατικών μονάδων

Από το ισοζύγιο ισχύος έχουμε:

$$P_L = P_D + P_{RES}$$

Συνεπώς:

$$Spinning ReserveD = 10\%P_L + P_{RES}$$

#### **4.6.3. Διαμορφωμένοι περιορισμοί, συνολικοί περιορισμοί διείσδυσης και επιμερισμός**

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η διαμόρφωση των περιορισμών διείσδυσης ανάλογα με την σύσταση του συστήματος σε ΑΠΕ και ο διαχωρισμός του συστήματος σε επιμέρους καταστάσεις.

#### 4.6.3.1 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα

Τα όρια διείσδυσης καθώς και ο επιμερισμός αυτών διαμορφώνονται αναλόγως τη σύσταση του συστήματος.

$$P_{RES\ max,T} = P_{W\ max,T}$$

$$P_{W\ max,T} = P_L - \sum c_T P_{Dn}$$

όπου  $P_{W\ max,T}$  η μέγιστη αιολική παραγωγή λόγω τεχνικών ελαχίστων

$$P_{RES\ max,D} = P_{W\ max,D}$$

$$P_{W\ max,D} = c_D P_{Dn}$$

όπου  $P_{W\ max,D}$  η μέγιστη αιολική παραγωγή λόγω δυναμικών περιορισμών

Ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης αιολικής ισχύος ( $P_{W\ max}$ ) προκύπτει από τον αυστηρότερο εκ των δυο προαναφερόμενων.

$$P_W \leq P_{W\ max} = \min\{P_{W\ max,T}, P_{W\ max,D}\}$$

Ο επιμερισμός του συνολικού περιορισμού διείσδυσης στα αιολικά πάρκα γίνεται σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ τους.

$$P_{W\ max,i} = \frac{P_{Wn,i}}{P_{Wn,total}} P_{W\ max}$$

όπου  $P_{Wn,i}$  η ονομαστική ισχύ του αιολικού πάρκου  $i$

$P_{Wn,total} = \sum P_{Wn,i}$  η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στο σύστημα

Η εφεδρεία που τηρείται είναι για το ενδεχόμενο απότομης απώλειας όλη της αιολικής παραγωγής στην περίπτωση σφάλματος επί του δικτύου ή υψηλών ταχυτήτων ανέμου.

$$Spinning\ ReserveD = P_L + 10\%P_L - P_D$$

$$Spinning\ ReserveD = 10\%P_L + P_{RES}$$

$$Spinning\ ReserveD = 10\%P_L + P_{-W}$$

#### 4.6.3.2 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα και μεγάλα φωτοβολταϊκά (ελεγχόμενα)

Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών δίνεται ακολούθως:

$$P_{PVC} = a_Z P_{PVC,n}$$

$$P_{PVC,g} = \lambda_{PVC,g} P_{PVC}$$

όπου  $P_{PVC,n}$ , η ονομαστική ισχύς των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών  
 $a_Z=f(\text{ώρα ημέρας, μήνας})$ , συντελεστής ωριαίας παραγωγής  
 φωτοβολταϊκών

$P_{PVC}$ , η μέγιστη παραγωγή ισχύος

$\lambda_{PVC}$ , το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας

$P_{PVC,g}$ , η σίγουρα διαθέσιμη παραγωγή των ελεγχόμενων  
 φωτοβολταϊκών

Τα ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά (μέσης τάσης ) υπόκεινται στους προαναφερόμενους περιορισμούς αφού η παραγωγή τους είναι περιορίσιμη. Ένα ποσοστό, που κυμαίνεται από 0% έως 30%, της παραγωγής αυτών μπορεί να θεωρηθεί σίγουρο, λόγω της μερικής αξιοπιστίας σε περίπτωση σφάλματος, και αυτό επηρεάζει τα όρια διείσδυσης της ανανεώσιμης παραγωγής. Πρωτίστως όμως το ποσοστό αυτό επηρεάζει την σειρά ένταξης των συμβατικών μονάδων. Το σίγουρο ποσοστό της παραγωγής των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών, αφαιρείται από την ισχύ του φορτίου ( $P_L - P_{PVC,g}$ ) και έτσι διαφοροποιείται η σειρά ένταξης των μονάδων, αφού θα χρειαστούν πιθανών λιγότερες για την κάλυψη του υπόλοιπου φορτίου.

Τα νέα όρια διείσδυσης καθώς και ο επιμερισμός αυτών διαμορφώνονται αναλόγως.

- Για τον περιορισμό τεχνικού ελαχίστου:

$$\text{Για τα αιολικά πάρκα: } P_{W \max T,i} = \frac{P_{Wn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RES \max,T}$$

$$\text{Για τα φωτοβολταϊκά: } P_{PV \max T,i} = \frac{a_Z P_{PVn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RES \max,T}$$

- Για τον δυναμικό περιορισμό:

$$\text{Για τα αιολικά πάρκα: } P_{W \max D,i} = \frac{P_{Wn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RES \max,D}$$

$$\text{Για τα φωτοβολταϊκά: } P_{PV \max D,i} = \frac{a_Z P_{PVn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RES \max,D} + \lambda_{PVc,g} P_{PVc}$$

όπου  $P_{Wn,i}$  , η ονομαστική ισχύ του αιολικού πάρκου i

$P_{PVn,i}$  , η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκού πάρκου i

$P_{PVc}$  , η ισχύς των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών

$a_Z=f(\text{ώρα ημέρας, μήνας})$ , συντελεστής ωριαίας παραγωγής ΦΒ

$\lambda_{PVc,g}$  , το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας ελεγχόμενων ΦΒ

Ο πρόσθετος όρος στην τελευταία σχέση έγκειται στην μερική αξιοπιστία παραγωγής των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών. Το αξιόπιστο αυτό ποσοστό παραγωγής δεν υπόκειται σε δυναμικούς περιορισμούς αφού είναι αδύνατη η απώλειά του. Ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης ισχύος ΑΠΕ προκύπτει από τον αυστηρότερο εκ των δυο προαναφερόμενων.

- Για τα αιολικά πάρκα:  $P_W \leq P'_{W \max} = \min\{P'_{W \max T,i}, P'_{W \max D,i}\}$
- Για τα φωτοβολταϊκά:  $P_{PV} \leq P'_{PV \max} = \min\{P'_{PV \max T,i}, P'_{PV \max D,i}\}$

Η εφεδρεία που τηρείται είναι για το ενδεχόμενο απότομης απώλειας όλη της παραγωγής από ΑΠΕ στην περίπτωση σφάλματος επί του δικτύου.

$$Spinning ReserveD = P_L + 10\%P_L - P_D$$

$$Spinning ReserveD = 10\%P_L + P_{RES} - P_{PVc,g}$$

$$Spinning ReserveD = 10\%P_L + P_W + P_{PVc,ng} + P_{PVc,g} - P_{PVc,g}$$

$$Spinning ReserveD = 10\%P_L + P_W + (1 - \lambda_{PVc,g})P_{PVc}$$

**4.6.3.3.1 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα, μεγάλα φωτοβολταϊκά ελεγχόμενα (μέσης τάσης) και μη ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά (χαμηλής τάσης)**

Τα μη ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά δεν υπόκεινται στους προαναφερόμενους περιορισμούς αφού η παραγωγή τους είναι ανεξέλεγκτη. Ένα ποσοστό, που κυμαίνεται από 0% έως 50%, της παραγωγής αυτών μπορεί να θεωρηθεί σίγουρο, λόγω της μερικής αξιοπιστίας σε περίπτωση σφάλματος αφού μπορούν να θεωρηθούν διασπαρμένα στο δίκτυο της χαμηλής τάσης. Το ποσοστό αυτό επηρεάζει ακόμη περισσότερο τα παραπάνω όρια διείσδυσης, το οποίο συν αθροιζόμενο με το σίγουρο ποσοστό της παραγωγής των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών, αφαιρείται από την ισχύ του φορτίου ( $P_L - P_{PVC,g} - P_{PVnc,g}$ ) και έτσι διαφοροποιείται η σειρά ένταξης των μονάδων, αφού θα χρειαστούν ακόμη λιγότερες για την κάλυψη του υπόλοιπου φορτίου.

$$P_{PVnc} = a_z P_{PVnc,n}$$

$$P_{PVnc,g} = \lambda_{PVnc,g} P_{PVnc}$$

όπου  $P_{PVnc,n}$ , η ονομαστική ισχύς των μη ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών

$a_z = f(\text{ώρα ημέρας, μήνας})$ , συντελεστής ωριαίας παραγωγής φωτοβολταϊκών

$P_{PVnc}$ , η μέγιστη παραγωγή ισχύος

$\lambda_{PVnc}$ , το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας

$P_{PVnc,g}$ , η σίγουρα διαθέσιμη παραγωγή των μη ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών

Τα νέα όρια διείσδυσης της ελεγχόμενης παραγωγής διαμορφώνονται αναλόγως.

$$P'_{RES \max,T} = P_L - \sum c_T P_{Dn} - P_{PVnc}$$

όπου  $P_L$ , η ισχύς του φορτίου

$P_{Dn}$ , η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία μονάδων

$c_T$ , ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου

$\sum c_T P_{Dn}$ , η ελάχιστη παραγωγή των συμβατικών μονάδων

$P_{PVnc}$ , η ισχύς των μη ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών

$P'_{RESmax,T}$  , η μέγιστη παραγωγή ελεγχόμενων ΑΠΕ λόγω τεχνικών ελαχίστων.

$$P'_{RESmax,D} = c_D P_{Dn} - (1 - \lambda_{PVnc,g}) P_{PVnc}$$

όπου  $c_D$  , ο συντελεστής μέγιστης διείσδυσης ισχύος ΑΠΕ

$\lambda_{PVnc,g}$  , το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας των μη ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών

$P'_{RESmax,D}$  , η μέγιστη παραγωγή ελεγχόμενων ΑΠΕ λόγω δυναμικών περιορισμών.

Ο επιμερισμός των περιορισμών διείσδυσης στα αιολικά πάρκα και στα μεγάλα φωτοβολταϊκά γίνεται όπως και προηγουμένως, ως εξής:

- Για τον περιορισμό τεχνικού ελαχίστου:

Για τα αιολικά πάρκα: 
$$P_{WmaxT,i} = \frac{P_{Wn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RESmax,T}$$

Για τα φωτοβολταϊκά: 
$$P_{PVmaxT,i} = \frac{a_Z P_{PVn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RESmax,T}$$

- Για τον δυναμικό περιορισμό:

Για τα αιολικά πάρκα: 
$$P_{WmaxD,i} = \frac{P_{Wn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RESmax,D}$$

Για τα φωτοβολταϊκά: 
$$P_{PVmaxD,i} = \frac{a_Z P_{PVn,i}}{\sum P_{Wn,i} + \sum a_Z P_{PVn,i}} P'_{RESmax,D} + \lambda_{PVc,g} P_{PVc}$$

όπου  $P_{Wn,i}$  η ονομαστική ισχύ του αιολικού πάρκου i

$P_{PVn,i}$  η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκού πάρκου i



$P_{PVC}$  η ισχύς των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών

$\alpha_Z=f(\text{ώρα ημέρας, μήνας})$  συντελεστής ωριαίας παραγωγής ΦΒ

$\lambda_{PVC,g}$  το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας ελεγχόμενων ΦΒ.

Ο πρόσθετος όρος στην τελευταία σχέση έγκειται στην μερική αξιοπιστία παραγωγής των ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών. Το αξιόπιστο αυτό ποσοστό παραγωγής δεν υπόκειται σε δυναμικούς περιορισμούς αφού είναι αδύνατη η απώλειά του.

Ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης ισχύος ΑΠΕ προκύπτει από τον αυστηρότερο εκ των δυο προαναφερόμενων.

- Για τα αιολικά πάρκα:  $P_W \leq P'_{W \max} = \min\{P'_{W \max T,i}, P'_{W \max D,i}\}$
- Για τα φωτοβολταϊκά:  $P_{PV} \leq P'_{PV \max} = \min\{P'_{PV \max T,i}, P'_{PV \max D,i}\}$

Η εφεδρεία που τηρείται είναι για το ενδεχόμενο απότομης απώλειας όλη της αιολικής και της σίγουρα μη διαθέσιμης παραγωγής των φωτοβολταϊκών, στην περίπτωση σφάλματος επί του δικτύου.

$$Spinning Reserve D = 10\%P_L + P_W + (1 - \lambda_{PVC,g})P_{PVC} + (1 - \lambda_{PVnc,g})P_{PVnc}$$

#### **4.6.3.3.2 Αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα, μεγάλα φωτοβολταϊκά μη ελεγχόμενα (μέσης τάσης) και μη ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά (χαμηλής τάσης)**

Αξίζει να εξεταστεί μία σύσταση του συστήματος με όλο μη ελεγχόμενα φωτοβολταϊκά. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών, μέσης και χαμηλής τάσης, δεν υπόκειται στους περιορισμούς αφού σε αυτή της σύσταση θεωρείται ανεξέλεγκτη.

Τα νέα όρια διείσδυσης της ελεγχόμενης παραγωγής διαμορφώνονται αναλόγως.

$$P'_{RES \max,T} = P_L - \sum C_T P_{Dn} - P_{PVC} - P_{PVnc}$$

όπου  $P_L$  , η ισχύς του φορτίου

$P_{Dn}$  , η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία μονάδων

$c_T$  , ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου

$\Sigma c_T P_{Dn}$  , η ελάχιστη παραγωγή των συμβατικών μονάδων

$P_{PVc}$  , η ισχύς των φωτοβολταϊκών μέσης τάσης

$P_{PVnc}$  , η ισχύς των φωτοβολταϊκών χαμηλής τάσης

$P'_{RESmax,T}$  , η μέγιστη παραγωγή ελεγχόμενων ΑΠΕ λόγω τεχνικών ελαχίστων.

$$P'_{RESmax,D} = c_D P_{Dn} - (1 - \lambda_{PVc,g}) P_{PVc} - (1 - \lambda_{PVnc,g}) P_{PVnc}$$

όπου  $c_D$  ο συντελεστής μέγιστης διείσδυσης ισχύος ΑΠΕ

$\lambda_{PVc,g}$  το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας ΦΒ μέσης τάσης

$\lambda_{PVnc,g}$  το ποσοστό σίγουρης παραγωγής λόγω αξιοπιστίας των φωτοβολταϊκών χαμηλής τάσης

$P'_{RESmax,D}$  η μέγιστη παραγωγή ελεγχόμενων ΑΠΕ λόγω δυναμικών περιορισμών

Ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης ισχύος αιολικών ( $P_{RESmax}$ ) προκύπτει από τον αυστηρότερο εκ των δυο προαναφερόμενων.

$$P_{RES} \leq P'_{RESmax} = \min\{P'_{RESmax,T}, P'_{RESmax,D}\}$$

Ο επιμερισμός του συνολικού περιορισμού διείσδυσης στα αιολικά πάρκα γίνεται σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ τους.

$$P_{Wmax,i} = \frac{P_{Wn,i}}{\sum P_{Wn,i}} P'_{RESmax}$$

όπου  $P_{Wn,i}$  η εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου  $i$

Η εφεδρεία που τηρείται είναι για το ενδεχόμενο απότομης απώλειας όλη της παραγωγής από ΑΠΕ στην περίπτωση σφάλματος επί του δικτύου.

$$Spinning Reserve D = P_L + 10\%P_L - P_D$$

$$Spinning Reserve D = 10\%P_L + P_{RES} - P_{PVc,g} - P_{PVnc,g}$$

$$Spinning Reserve D = 10\%P_L + P_W + (1 - \lambda_{PVc,g})P_{PVc} + (1 - \lambda_{PVnc,g})P_{PVnc}$$

#### 4.7. Υλοποίηση των περιορισμών

Ο ημερήσιος προγραμματισμός λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος καταστρώνεται από τον Διαχειριστή του Δικτύου από την προηγούμενη ημέρα. Με βάση την πρόβλεψη του φορτίου για το επόμενο 24ωρο συντάσσεται το ωριαίο πρόγραμμα του σταθμού και υπολογίζεται ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης καθώς και οι επιμέρους περιορισμοί διείσδυσης των ανανεώσιμων παραγωγών, τα οποία γνωστοποιούνται σε αυτούς με την υποχρέωση να τα τηρούν.

#### 4.8. Τρόπος λειτουργίας του αυτόνομου νησιωτικού συστήματος και κανόνες λειτουργίας αυτού

Γενικά η λειτουργία ενός συστήματος διέπεται από κάποιους προκαθορισμένους κανονισμούς, οι οποίοι αναφέρονται συγκεντρωμένα στην παρούσα παράγραφο. Σημειώνεται, ότι όσοι από τους κανονισμούς ήταν αναγκαίοι για την θεωρητική προσέγγιση λειτουργίας συστήματος που προαναφέρθηκε έχουν συνυπολογισθεί.

##### 4.8.1. Κανόνες λειτουργίας των συμβατικών μονάδων

###### 1) Σειρά ένταξης των μονάδων και τυχόν εποχιακές μεταβολές.

- Οι μονάδες που λειτουργούν με μαζούτ προηγούνται αυτών που χρησιμοποιούν ντίζελ, λόγω κόστους καυσίμου.
- Σύμφωνα με την ειδική κατανάλωση καυσίμου προηγούνται οι πλέον αποδοτικές μονάδες και έπονται οι λιγότερο αποδοτικές.

- Εν γένει οι μεγάλες μονάδες εντάσσονται πριν από τις μικρές. Αυτό δεν είναι απόλυτο καθώς πολλές φορές η ημερήσια διακύμανση φορτίου επιβάλλει τη λειτουργία μικρότερων μονάδων όταν πρόκειται να αντιμετωπισθούν μικρής διάρκειας αιχμές.

- Η σειρά ένταξης μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση των μονάδων (μονάδες σε συντήρηση ή σε βλάβη).

- Οι μονάδες βάσης δεν σβήνουν παρά μόνο όταν αυτό επιβάλλεται από τον μακροπρόθεσμο προγραμματισμό (εβδομαδιαίο ή μηνιαίο). Ομοίως μονάδες που χρησιμοποιούνται για ατμοπαραγωγή δεν είναι δυνατό να σβήσουν.

- Ιδιαίτερη φροντίδα δίνεται στην όσο το δυνατό περιορισμένη λειτουργία των αεριοστροβίλων που καταναλώνουν ντήζελ.

- Μονάδες παλαιές με προβλήματα εντάσσονται τελευταίες.

- Όταν υπάρχουν περισσότεροι του ενός σταθμοί στο ίδιο σύστημα θα πρέπει να υπάρχει σε λειτουργία τουλάχιστον μία μονάδα σε κάθε σταθμό.

## 2) Τα κριτήρια φόρτισης μιας μονάδας είναι:

- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου.
- Η κατάσταση της μονάδας.
- Οι καιρικές και φορτιακές συνθήκες.

Η οικονομικότερη φόρτιση των μονάδων είναι στο 85% της ισχύος. Η συνήθης φόρτιση των μονάδων βρίσκεται κοντά στην περιοχή της οικονομικής τους λειτουργίας ( 80%). Σε Κρήτη και Ρόδο οι μονάδες βάσης (ατμοστρόβιλοι και diesel) φορτίζονται στο μέγιστο φορτίο.

## 3) Κανόνες τήρησης στρεφόμενης εφεδρείας.

Η στρεφόμενη εφεδρεία είναι της τάξης του 10-20% προκειμένου να διασφαλίζεται η οικονομικότητα και η ευστάθεια του συστήματος σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων ή σε θέση εκτός λειτουργίας μονάδας του συστήματος. Με την λειτουργία των αιολικών πάρκων και των φωτοβολταϊκών σταθμών πρέπει να διατηρείται στρεφόμενη εφεδρεία τουλάχιστον ίση με τη συνολική ανανεώσιμη παραγόμενη ισχύ.

#### 4.8.2. Κανόνες διαχείρισης των αιολικών σταθμών

Οι περιορισμοί οι οποίοι επιβάλλουν μείωση της αιολικής παραγωγής είναι:

- τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων,
- περιορισμοί του συστήματος Μεταφοράς και
- λόγοι ασφάλειας του συστήματος.

Οι συμβατικές μονάδες πρέπει να λειτουργούν πάνω από τα τεχνικά τους ελάχιστα. Όταν υπάρχει πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, σε περιόδους χαμηλού φορτίου και υψηλής αιολικής παραγωγής, δίδονται εντολές περιορισμού της ισχύος των Α/Π. Παρόλα αυτά, μερικές φορές το σύστημα αναγκάζεται να λειτουργήσει και κάτω από τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων λόγω των έντονων μεταβολών του φορτίου των Α/Π και παρά τον περιορισμό της ισχύος τους που γίνεται.

Το όριο για τη στιγμιαία διείσδυση της αιολικής ισχύος ποικίλει από σύστημα σε σύστημα ενώ στην τιμή του λαμβάνεται υπόψη και η ποιότητα του ανέμου. Έτσι σε περιπτώσεις νοτίων ανέμων μειώνεται δραματικά ακόμα και κάτω από 10% (σε ακραίες περιπτώσεις μηδενίζεται)!

#### 4.8.3. Προγραμματισμός λειτουργίας συστήματος

##### Α. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΝΗΣΙΩΝ ΜΕ ΑΣΠ ή ΤΣΠ

Στην αίθουσα ελέγχου κάθε Αυτόνομου ή Τοπικού Σταθμού Παραγωγής (ΑΣΠ ή ΤΣΠ) που λειτουργεί στα νησιά, υπάρχουν εγκατεστημένες τερματικές μονάδες ελέγχου, μια για κάθε μονάδα ΑΠΕ που αποτελούν τις Κεντρικές Μονάδες Ελέγχου (ΚΜΕ) των αντίστοιχων μονάδων ΑΠΕ.

Ο χειρισμός των μονάδων αυτών ανατίθεται στον τεχνίτη (χειριστή πίνακα) του ΑΣΠ που είναι επιφορτισμένος ταυτόχρονα και με την ομαλή λειτουργία των συμβατικών μονάδων. Ο χειριστής πίνακα έχει ως αντικείμενο να συντονίζει τις συμβατικές μονάδες, να ρυθμίζει τάση και συχνότητα και ταυτόχρονα να δίνει εντολές χειρισμού μέσω των ΚΜΕ των διάφορων μονάδων ΑΠΕ. Σημειώνεται ότι ο αριθμός των ΚΜΕ σε ένα νησί ισούται στην καλύτερη περίπτωση με τον αριθμό των Παραγωγών ΑΠΕ στο συγκεκριμένο σύστημα.

Η επικοινωνία των ΚΜΕ με τις μονάδες ΑΠΕ επιτυγχάνεται μέσω “απευθείας” γραμμών του ΟΤΕ. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι γραμμές αυτές δεν είναι αξιόπιστες. Πολύ συχνά χάνεται η επικοινωνία μεταξύ ΑΣΠ και μονάδων ΑΠΕ, άλλες φορές για λίγα

δευτερόλεπτα και άλλες για αρκετές ημέρες. Είναι προφανές ότι με μη αξιόπιστη επικοινωνία δεν μπορεί να εξασφαλιστεί αξιόπιστος χειρισμός των μονάδων ΑΠΕ.

Σε περίπτωση περικοπών ο παραγωγός ενημερώνεται από τα set point που αποστέλλονται στον υπολογιστή του συστήματος εποπτείας που έχει στο ΑΠ. Συνήθως το ημερήσιο πρόγραμμα που ακολουθείται παραμένει σταθερό για μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. 7-10 ημέρες) εκτός από την περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών καθώς και όταν υπάρχουν προβλήματα στο δίκτυο ή στο σταθμό παραγωγής.

Σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας οι Παραγωγοί ειδοποιούνται τηλεφωνικά.

## **B. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Στο ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης υπάρχει εγκατεστημένο SCADA το οποίο παρακολουθεί και ελέγχει το σύστημα Παραγωγής και Μεταφοράς. Στο ίδιο SCADA (είναι συνδεδεμένα και τα αιολικά πάρκα των οποίων παρακολουθείται η παραγωγή τους, τα ανεμολογικά τους στοιχεία ενώ υπάρχει η δυνατότητα αποστολής εντολών Set Point σε πραγματικό χρόνο για την άμεση ρύθμιση της αποδιδόμενης ισχύος τους.

### **Λεπτομέρειες εφαρμογής του προγράμματος περικοπών σε ανώμαλες καιρικές συνθήκες.**

Όταν υπάρχουν ανώμαλες καιρικές συνθήκες ο βαθμός περικοπής είναι εν γένει υψηλότερος του συνήθους. Στην περίπτωση που αναμένεται κάτι τέτοιο οι παραγωγοί κατά κανόνα ειδοποιούνται τηλεφωνικά εκ των προτέρων.

## **4.9. Υφιστάμενη κατάσταση**

Όπως είναι γνωστό, σύμφωνα με την μέχρι σήμερα ακολουθούμενη πρακτική, η χορήγηση αδειών παραγωγής σε σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) μη πλήρως ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής, όπως είναι οι αιολικοί και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά πραγματοποιείται κάθε δύο έτη με σχετική πρόσκληση και ύστερα από ανά νησί μελέτη που εκπονείται από τη ΡΑΕ. Η μελέτη βασίζεται σε απολογιστικά και λοιπά τεχνικά στοιχεία της σύνθεσης και λειτουργίας των αυτόνομων νησιωτικών ηλεκτρικών συστημάτων, τα οποία διατίθενται από τον Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΗ ΑΕ). Ο υπολογισμός του περιθωρίου ισχύος των εν λόγω σταθμών για κάθε νησί γίνεται χωριστά για κάθε τεχνολογία ΑΠΕ. Ωστόσο, λόγω της εκδήλωσης ενδιαφέροντος σχεδόν αποκλειστικά για αιολικούς σταθμούς, η διαδικασία εφαρμόστηκε

μέχρι σήμερα μόνο για την τεχνολογία αυτή. Η πρώτη εφαρμογή της εν λόγω διαδικασίας έλαβε χώρα κατά το έτος 2003 και συνεπώς έπρεπε να εφαρμοστεί και κατά το 2005.

Για τον σκοπό αυτό, η ΡΑΕ με τα απαραίτητα στοιχεία από τον Διαχειριστή του Δικτύου (νυν Διαχειριστής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών) και την ανά νησί μελέτη προσδιόρισε τα περιθώρια διείσδυσης ισχύος σταθμών ΑΠΕ.

Αξιοποιώντας τα απολογιστικά στοιχεία καθώς και τη σχετική εμπειρία των τελευταίων τεσσάρων ετών από τη λειτουργία των αιολικών σταθμών στα νησιά, διαπιστώθηκε ότι ο τρόπος λειτουργίας των ηλεκτρικών συστημάτων των νησιών και η διαχείριση των αιολικών σταθμών κατά την πραγματική λειτουργία τους διαφέρει, σε ορισμένα σημεία, από τον αντίστοιχο τρόπο λειτουργίας και τη διαχείριση που λαμβάνεται υπόψη κατά το στάδιο της ανά νησί μελέτης με σκοπό την αδειοδότηση αιολικών σταθμών.

Η διαφορά συνίσταται στις τιμές ορισμένων παραμέτρων, ιδίως αναφορικά με τη λειτουργία των συμβατικών πετρελαϊκών μονάδων («τεχνικά ελάχιστα») και το ποσοστό της επιτρεπόμενης μέσης ωριαίας διείσδυσης αιολικής ισχύος κατά την on line λειτουργία των συστημάτων. Η διαφορά αυτή είναι σημαντική σε βαθμό που μεταβάλλει το μέγεθος της αιολικής ισχύος που θεωρείται «οικονομικά βιώσιμη» σε κάθε νησιωτικό σύμπλεγμα.

Συγκεκριμένα, ο προτεινόμενος τρόπος λειτουργίας των πετρελαϊκών σταθμών και η προτεινόμενη διαχείριση των αιολικών σταθμών στα νησιά μειώνει την «οικονομικά βιώσιμη» αιολική ισχύ στα νησιά μέχρι και ποσοστό της τάξης του 15-20%. Τα συμπεράσματα αυτά προέκυψαν από προσομοιώσεις της λειτουργίας των συστημάτων με τα πλέον πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία δυναμικού και φορτίων των νησιών (ετήσια απολογιστικά στοιχεία 2004).

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι δεν διατίθεται σε όλα τα νησιά κατάλληλος μετρητικός εξοπλισμός ώστε να μετριέται και να καταγράφεται, σε ωριαία τουλάχιστον βάση, η παραγωγή των συμβατικών μονάδων, των μονάδων ΑΠΕ και συνεπώς του συνολικού φορτίου κάθε νησιού. Μόνο στην Κρήτη υπάρχει η δυνατότητα αυτή (SCADA). Τα φορτία που ελήφθησαν υπόψη αποτελούν στιγμιαίες δειγματοληπτικές τιμές και όχι μέση τιμή της ισχύος του φορτίου με αποτέλεσμα να υπάρχουν αποκλίσεις από το πραγματικό φορτίο και άρα κατά προσέγγιση αποτελέσματα.

Κατά συνέπεια, εάν ακολουθηθεί ο προτεινόμενος τρόπος λειτουργίας των νησιωτικών συστημάτων και των αιολικών σταθμών δεν προκύπτουν νέα περιθώρια, αντιθέτως, υφίσταται κίνδυνος μη «οικονομικής βιωσιμότητας» μέρους των ήδη αδειοδοτημένων αιολικών σταθμών στα νησιά.

Κατόπιν αυτού, αναγκαία κρίνεται η διερεύνηση των παρατηρούμενων αποκλίσεων και του τρόπου αντιμετώπισής τους με στόχο τον προσδιορισμό ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού του τρόπου λειτουργίας των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων και της διαχείρισης των σταθμών ΑΠΕ σε αυτά, διασφαλίζοντας πλήρως την «οικονομική βιωσιμότητα» των αδειοδοτούμενων σταθμών, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις βελτιώσεις των χαρακτηριστικών λειτουργίας των σταθμών ΑΠΕ και βελτιώνοντας τις συνθήκες λειτουργίας των αυτόνομων συστημάτων (δημιουργία Κέντρων Ελέγχου στα νησιά - εκτός Κρήτης και Ρόδου που ήδη διαθέτουν Κέντρα Κατανομής - και εξοπλίζοντας τα με κατάλληλα συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης ή και πρόβλεψης παραγωγής ΑΠΕ, εξειδίκευση προσωπικού, κλπ).

Λαμβανομένων υπόψη των ανακλήσεων αδειών που έχουν υπάρξει μέχρι σήμερα, στο μόνο νησί που φαίνεται να υπάρχει περιθώριο αδειοδότησης είναι η Θήρα, παρότι δεν υπάρχει βεβαιότητα για το ακριβές περιθώριο αιολικής ισχύος που μπορεί να αδειοδοτηθεί, όπως αναλύθηκε ανωτέρω. Κρίνεται αναγκαία η αναδιαμόρφωση του τρόπου λειτουργίας και διαχείρισης των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων και των σταθμών ΑΠΕ.

Η διαμόρφωση αυτή είναι σκόπιμο να λαμβάνει υπόψη και τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, επειδή υπάρχουν σημαντικά περιθώρια διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος στα νησιά, ακόμα και με τις χειρότερες δυνατές παραδοχές για την διείσδυσή τους, και ενόψει της διαφαινόμενης σημαντικής ενίσχυσής τους με το υπό κατάθεση νομοσχέδιο για τις ΑΠΕ, η οποία αναμένεται να προκαλέσει το έντονο ενδιαφέρον των επενδυτών, κρίνεται σκόπιμη η εφαρμογή, εντός του 2006, της διαδικασίας προσδιορισμού της «οικονομικά βιώσιμης» ισχύος φωτοβολταϊκών σταθμών ανά νησί με βάση τις «δυσμενέστερες» για τους σταθμούς αυτούς παραμέτρους λειτουργίας των συστημάτων.

Τέλος, κρίνεται αναγκαίος ο άμεσος προσδιορισμός των ορίων διείσδυσης μη ελεγχόμενης παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά επειδή για τη χορήγηση αδειών παραγωγής σε σταθμούς ΑΠΕ απαιτείται η οργάνωση της υποβολής και αξιολόγησης των αιτήσεων, τον καθορισμό των όρων, των προϋποθέσεων και των περιόδων υποβολής τέτοιων αιτήσεων, σε χρόνο που θα έχουν ολοκληρωθεί οι διαδικασίες που περιγράφηκαν ανωτέρω.



#### 4.10. Παράμετροι διερεύνησης ενός αυτόνομου συστήματος

Όλες οι πιθανές παράμετροι του συστήματος προς διερεύνηση αναφέρονται ακολούθως αναλυτικά αλλά σημειώνεται ότι η μελέτη της παρούσας εργασίας επικεντρώθηκε σε τρεις μεταβλητές, ενώ οι υπόλοιπες έχουν οριστεί εμπειρικά.

- Η στρεφόμενη εφεδρεία που τηρείται ίση με την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές και ένα επιπλέον ποσοστό  $\lambda$  (0% - 5% - 10% - 15% - 20%) του φορτίου αφαιρουμένου του αξιόπιστου ποσοστού παραγωγής των φωτοβολταϊκών

$$\text{Spinning Reserve} = P_L + \lambda P_L - P_D$$

$$\text{Spinning Reserve} = \lambda P_L + P_{RES} - P_{PV,g}$$

- Η ένταξη των μονάδων γίνεται σύμφωνα με την ισχύ του φορτίου αφαιρουμένου του αξιόπιστου ποσοστού παραγωγής των φωτοβολταϊκών ( $P_L - P_{PV,g}$ )
- Οι περιορισμοί διείσδυσης είναι οι:
  - 1) το τεχνικό ελάχιστο των συμβατικών μονάδων ίσο με ένα ποσοστό επί της ονομαστικής της ισχύς (40% - 50%)
  - 2) ο δυναμικός περιορισμός ίσος με ένα ποσοστό επί της ονομαστικής ισχύος των συμβατικών μονάδων (25% - 30%)
- Η αξιοπιστία παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ίση με:
  - 1) Αιολικά, μηδενική αξιοπιστία (0%):

$$\text{WindMargin} = \lambda_{w,g}$$

2.1) Φωτοβολταϊκά, μέσης τάσης, μερική αξιοπιστία (0% - 30%)

$$\text{PVcontrolledMargin} = \lambda_{PVc,g}$$

Φωτοβολταϊκά, χαμηλής τάσης, μερική αξιοπιστία (0% - 50%)

$$PV_{\text{noncontrolledMargin}} = \lambda_{PV_{\text{nc,g}}}$$

## 2.2) Φωτοβολταϊκά μέσης και χαμηλής, κοινή αξιοπιστία (0% - 50%)

$$PVMargin = \lambda_{PV,g}$$

- Η ονομαστική ισχύς των αιολικών πάρκων ίση με την ( $P_{\text{windN}}$ ):
  - 1) ήδη εγκατεστημένη και
  - 2) αδειοδοτημένη από ΡΑΕ
- Η ονομαστική συνολική ισχύς των φωτοβολταϊκών ίση με ένα ποσοστό (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) επί του φορτίου αιχμής:

$$P_{\text{pvN}} = \text{total} * P_{\text{max}}$$

- Τα φωτοβολταϊκά είναι:
  - 1) διαχωρισμένα σε ελεγχόμενα, αυτά της μέσης τάσης και σε μη ελεγχόμενα, αυτά της χαμηλής τάσης όπως φαίνεται ακολούθως:

$$P_{\text{pvN1}} = \text{controlled} * P_{\text{pvN}} \quad (100\% - 75\% - 50\% - 25\% - 0\%)$$

$$P_{\text{pvN2}} = \text{noncontrolled} * P_{\text{pvN}} \quad (0\% - 25\% - 50\% - 75\% - 100\%)$$

- 2) όλα μη ελεγχόμενα, και της μέσης τάσης και της χαμηλής
- Η καμπύλη παραγωγής ισχύος φωτοβολταϊκού είναι η:
    - 1) μέση ωριαία καμπύλη παραγωγής
    - 2) πραγματική καμπύλη παραγωγής όπως υπολογίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Σάμου
  - Η πρόβλεψη της ηλιακής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια της παραγωγής φωτοβολταϊκού από:

- 1) ωριαίους συντελεστές αυξομείωσης όπως έχουν υπολογισθεί από τη μέση καμπύλη,
- 2) ωριαίους συντελεστές αυξομείωσης όπως έχουν υπολογισθεί από τη πραγματική καμπύλη ως η τέλεια πρόβλεψη.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

# **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΣΑΜΟ**



### 5.1. Γενικά

Για την μελέτη και την παραμετρική διερεύνηση επιλέχθηκε τυχαία η Σάμος, ένα σύστημα μεσαίου μεγέθους. Το φορτίο της Σάμου το έτος 2005 ήταν ίσο με 154.44 GWh με ισχύ αιχμής 32.33 MW ενώ για το έτος 2006 έχει υπολογιστεί και αναμένεται να φτάσει τις 173.10 GWh με ισχύ αιχμής 36.24 MW. Ο συμβατικός σταθμός της Σάμου αποτελείται από έξι συμβατικές μονάδες συνολικής ονομαστικής ισχύος ίσης με 36.640 MW και προβλέπεται επίσης η ένταξη δύο νέων συμβατικών μονάδων συνολικής ονομαστικής ισχύος 16 MW, συνεπώς η συνολική εγκατεστημένη ισχύ περίπου 53 MW. Η εγκατεστημένη αιολική ισχύ ίση με 6.475 MW, με άδεια λειτουργίας και συνολική αιολική ισχύ 9.580 MW με άδεια παραγωγής. Το τεχνικό ελάχιστο των συμβατικών μονάδων έχει θεωρηθεί ίσο με 45%, ως μια ενδιάμεση του ελαστικού 40% και του συντηρητικού 50%. Αντίστοιχα, ο δυναμικός περιορισμός διείσδυσης Α.Π.Ε. έχει θεωρηθεί ίσος με 27.5% ως ενδιάμεση τιμή των ορίων 25% – 30%. Η διείσδυση της φωτοβολταϊκής ισχύος που θα διερευνηθεί είναι από 0 έως 20% της αιχμής του φορτίου, αν και διεισδύσεις της τάξης του 20% είναι πολύ υψηλές για τα σημερινά δεδομένα, εξετάζεται για λόγους πληρότητας της μελέτης.

Το όριο της φωτοβολταϊκής διείσδυσης καθορίζεται από τις επιπτώσεις που επιφέρει η διείσδυση της φωτοβολταϊκής ισχύος στο σύστημα, η θεώρηση αξιοπιστίας στην φωτοβολταϊκή παραγωγή και η εφαρμογή περιορισμών διείσδυσης στην παραγωγή τους, στην λειτουργία του συστήματος και συγκεκριμένα:

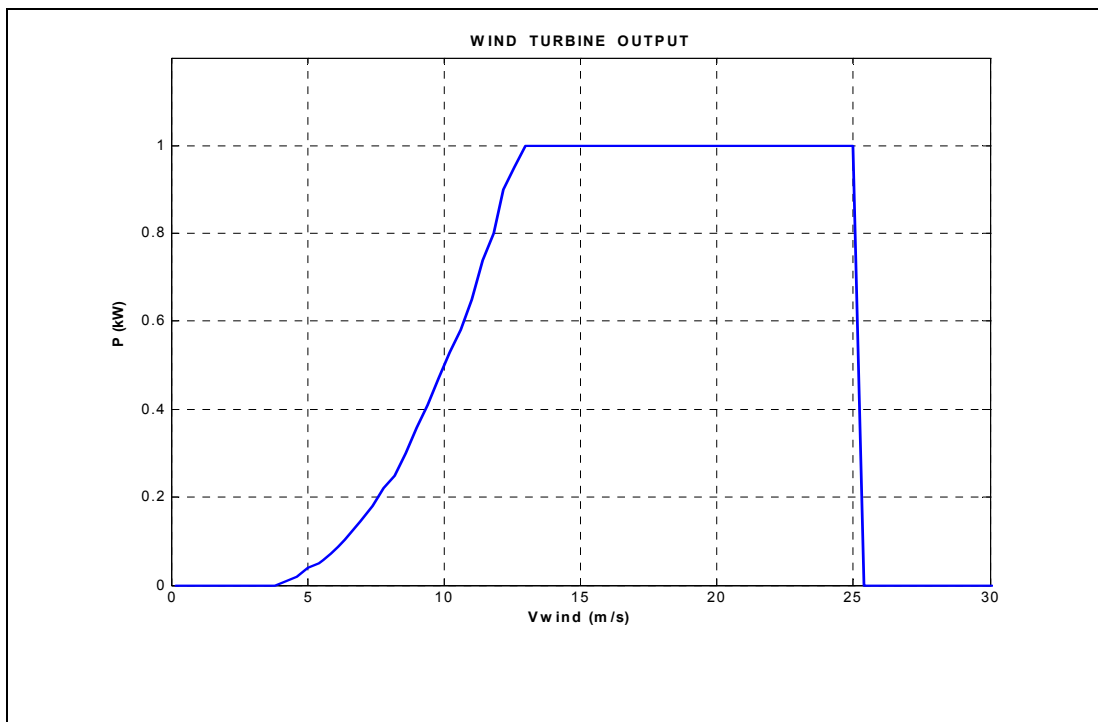
- στην μέση φόρτιση των συμβατικών μονάδων,
- στις εκκινήσεις/ στάσεις των συμβατικών μονάδων,
- στην παραγωγή των αιολικών πάρκων (ενέργεια και Capacity Factor),
- στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών που εγκαθίστανται στη μέση τάση (ενέργεια και Capacity Factor),
- στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών που εγκαθίστανται στη χαμηλή τάση (ενέργεια και Capacity Factor),
- στην παραγωγή του συνόλου των φωτοβολταϊκών,
- στη συνολική ανανεώσιμη παραγωγή (ενέργεια και ως ποσοστό κάλυψης φορτίου),
- στην απορριπτόμενη, λόγω περιορισμών, αιολική και φωτοβολταϊκή παραγωγή,
- και σε άλλες συνιστώσες του συστήματος.

## 5.2. Παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος τη Σάμου

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται η προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος της Σάμου όπως εξάγεται από το λογιστικό μοντέλο που έχει αναπτυχθεί, για το έτος 2006. Η αιολική ισχύ έχει ληφθεί ίση με την ήδη εγκατεστημένη (6475 kW) και το ποσοστό διείσδυσης της φωτοβολταϊκής ισχύος ίσο με το 10% της αιχμής του φορτίου, που αντιστοιχεί σε ισχύ ίση με 3624 kW. Από το σύνολο των φωτοβολταϊκών τα μισά έχει θεωρηθεί ότι συνδέονται στη μέση τάση με θεώρηση αξιοπιστίας στην παραγωγή τους ίση με 25% και τα άλλα μισά συνδέονται στη χαμηλή τάση με θεώρηση αξιοπιστίας στην παραγωγή τους ίση με 50%. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών της μέσης τάσης ελέγχεται και υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς διείσδυσης με τα αιολικά ενώ η παραγωγή των φωτοβολταϊκών της χαμηλής τάσης αφήνεται ανεξέλεγκτη.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η προσομοίωση της λειτουργίας με βάση τις πραγματικές χρονοσειρές φορτίου, ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας για μία τυχαία ημέρα και ο υπολογισμός ενεργειακών αποδόσεων, εκκινήσεων/ στάσεων κλπ. και γίνεται εκτίμηση μεγεθών για το σύνολο του έτους προσομοίωσης.

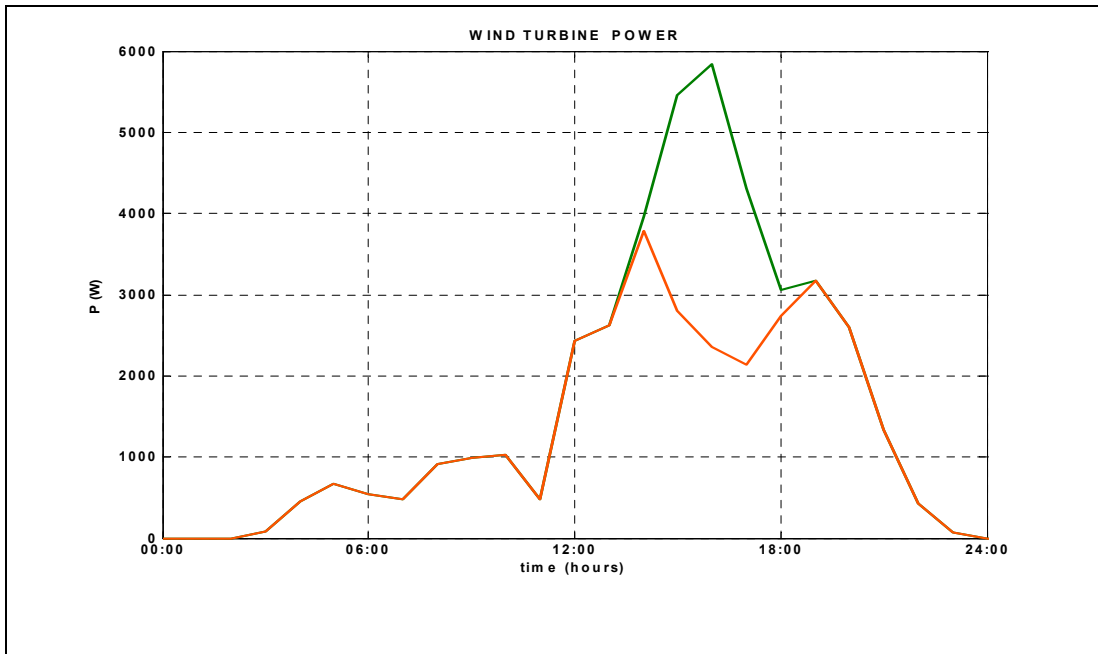
Η καμπύλη εξόδου ανεμογεννήτριας είναι ενιαία για όλες τις ανεμογεννήτριες των αιολικών πάρκων και φαίνεται στο διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1. Καμπύλη εξόδου ανεμογεννήτριας



Η ικανότητα παραγωγής των αιολικών πάρκων μια τυχαία ημέρα όπως η 23<sup>η</sup> Μαΐου, όπως υπολογίζεται από τη χρονοσειρά ανέμου και την καμπύλη εξόδου, και η απορροφηθείσα, λόγω περιορισμών από το σύστημα αιολική παραγωγή φαίνεται στο διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2. Παραχθείσα και απορροφηθείσα ισχύς αιολικών πάρκων

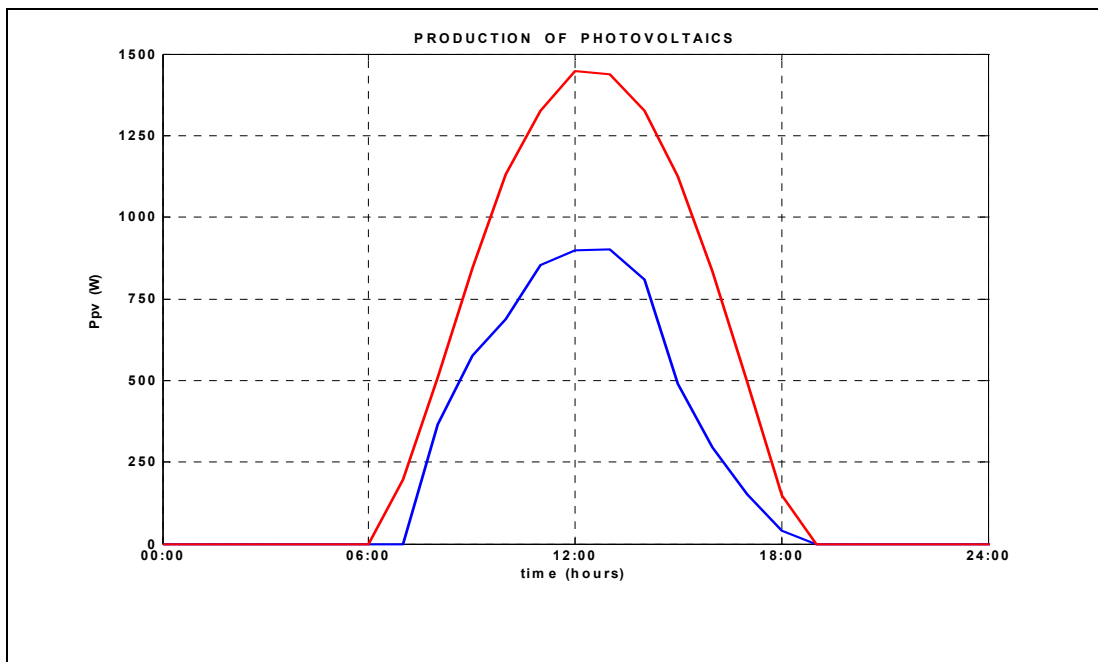
Η διαφοροποίηση της παραχθείσας ισχύος (πράσινη καμπύλη) με της απορροφηθείσας ισχύος (πορτοκαλί καμπύλη) έγκειται στο γεγονός ότι η αιολική παραγωγή υπόκειται στους περιορισμούς διείσδυσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αιολικά πάρκα ενώ θα μπορούσα να παράγουν περισσότερο λόγω μεγαλύτερης ταχύτητας ανέμου τελικά παράγουν όσο επιτρέπεται από τους περιορισμούς διείσδυσης, όταν το όριο παραγωγής είναι μικρότερο από την ικανότητα παραγωγής τους. Εξάγοντας την χρονοσειρά της παραχθείσας ισχύος όλου του έτους, υπολογίζεται η συνολική ενέργεια (16.97 GWh) των αιολικών πάρκων και ο συντελεστής χρησιμοποίησης των αιολικών πάρκων (Capacity Factor, CF), όπως φαίνεται παρακάτω.

$$CF = \frac{E}{8760 \cdot P_n} = \frac{16972000kWh}{8760 \cdot 6475kW} = 0.2992 \Rightarrow CF = 29.92\%$$

όπου  $E$  , η ενέργεια που παράγεται σε ένα έτος και

$P_n$ , η ονομαστική ισχύς.

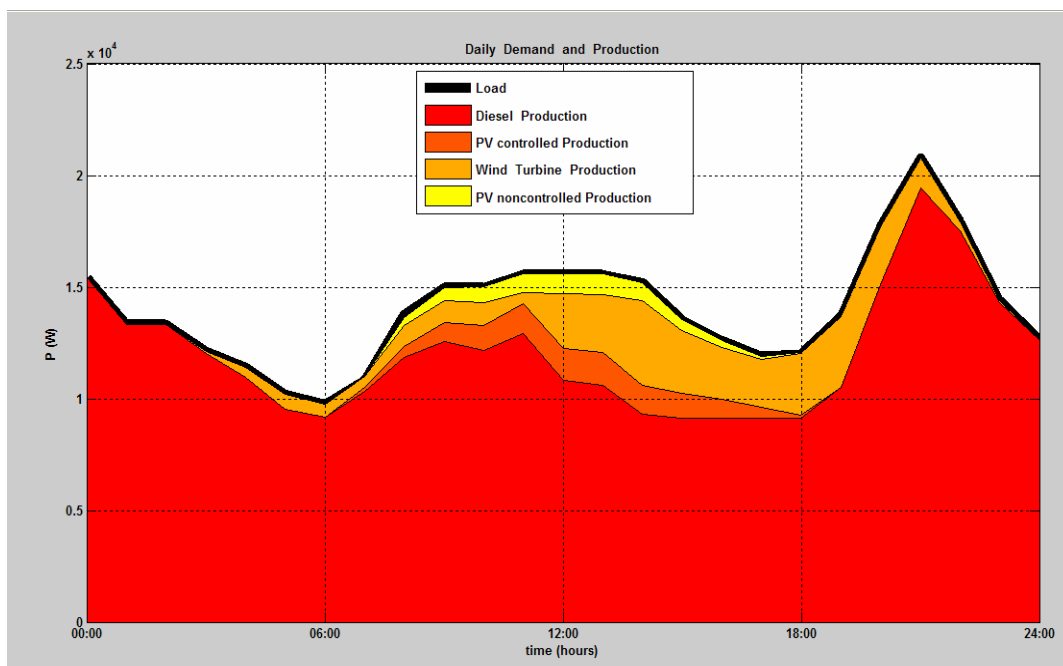
Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών μέσης και χαμηλής τάσης για μία τυχαία ημέρα του έτους φαίνεται στο διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 3: Παραγωγή φωτοβολταϊκών μέσης και χαμηλής τάσης

Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών χαμηλής τάσης (κόκκινη καμπύλη) είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή αυτών της μέσης τάσης (μπλε καμπύλη) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά της μέσης τάσης υπόκεινται στους περιορισμούς διείσδυσης. Η παραχθείσα ενέργεια των φωτοβολταϊκών χαμηλής τάσης για όλο το έτος είναι 2.5598 GWh και ο Capacity Factor είναι 16.13%. Η παραχθείσα ενέργεια των φωτοβολταϊκών μέσης τάσης για όλο το έτος είναι 2.1184 GWh και ο Capacity Factor είναι 13.35%. Ο συνολικός Capacity Factor των φωτοβολταϊκών είναι 14.74%.

Στο ακόλουθο αθροιστικό διάγραμμα φαίνεται το η ζήτηση του φορτίου, η παραγωγή των συμβατικών μονάδων, η αιολική παραγωγή και η παραγωγή των φωτοβολταϊκών μέσης και χαμηλής τάσης.



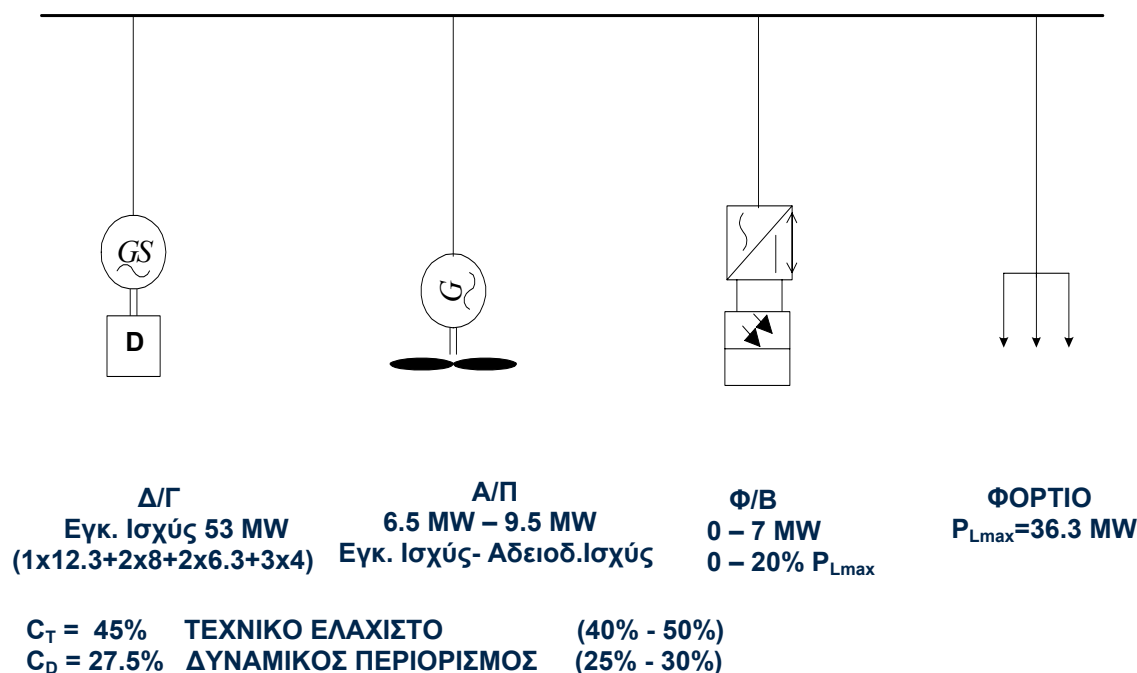
Διάγραμμα 4: Αθροιστικό διάγραμμα ζήτησης και παραγωγής

### 5.3. Παραμετρική διερεύνηση

Η παραμετρική διερεύνηση γίνεται για το φορτίο της Σάμου του έτους 2006 με ισχύ αιχμής 36.24 MW. Υπενθυμίζεται ότι, ο συμβατικός σταθμός της Σάμου αποτελείται από έξι συμβατικές μονάδες συνολικής ονομαστικής ισχύος ίσης με 36.640 MW και προβλέπεται επίσης η ένταξη δύο νέων συμβατικών μονάδων συνολικής ονομαστικής ισχύος 16 MW, συνεπώς η συνολική εγκατεστημένη ισχύ περίπου 53 MW. Η εγκατεστημένη αιολική ισχύ ίση με 6.475 MW, με άδεια λειτουργίας και συνολική αιολική ισχύ 9.580 MW με άδεια παραγωγής. Το τεχνικό ελάχιστο των συμβατικών μονάδων έχει θεωρηθεί ίσο με 45%, ως μια ενδιάμεση του ελαστικού 40% και του συντηρητικού 50%. Αντίστοιχα, ο δυναμικός περιορισμός διείσδυσης Α.Π.Ε. έχει θεωρηθεί ίσος με 27.5% ως ενδιάμεση τιμή των ορίων 25% – 30%. Η διείσδυση της φωτοβολταϊκής ισχύος που θα διερευνηθεί είναι από 0 έως 20% της αιχμής του φορτίου, αν και διεisdύσεις της τάξης του 20% είναι πολύ υψηλές για τα σημερινά δεδομένα, εξετάζεται για λόγους πληρότητας της μελέτης.

### 5.3.1. Αυτόνομο σύστημα Σάμου

Η σύνθεση του αυτόνομου συστήματος της Σάμου, φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Σύνθεση Αυτόνομου Συστήματος Σάμου

Έτσι η διερεύνηση της μελέτης επικεντρώθηκε στις εξής τρεις παραμέτρους:

1. Το ποσοστό διείσδυσης να παίρνει τιμές 0% – 5% – 10% – 10% – 15% και 20% της μεγίστης ζήτησης.
2. Την εφαρμογή ή όχι των περιορισμών διείσδυσης στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών.
3. Και την αξιοπιστία της φωτοβολταϊκής παραγωγής με διαφορετικά ποσοστά στη μέση και στη χαμηλή τάση. Μηδενική αξιοπιστία στη μέση και στη χαμηλή τάση, διαφορετική αξιοπιστία για μέση και χαμηλή τάση με τυχαία σενάρια, που επιλέχθηκαν τα 0 – 50 % και 25 – 50 % και κοινή αξιοπιστία ίση με 50%.

Η εξέταση θα γίνει για δύο καταστάσεις αιολικής ισχύος:

- για τα 6.5 MW (**6475 kW – 18 % P<sub>Lmax</sub>**) εγκατεστημένα και για τα 9.5 MW (**9580 kW – 26 % P<sub>Lmax</sub>**) αδειοδοτημένα.

### 5.3.2. Σύστημα με μέση αιολική ισχύ

#### 5.3.2.1. Επιπτώσεις φωτοβολταϊκής διείσδυσης και αξιοπιστίας

Αρχικά εξετάζεται το σύστημα της Σάμου με φορτίο 36.5 MW, μέση αιολική ισχύ 6.5 MW, ως προς τις επιπτώσεις της διείσδυσης και της αξιοπιστίας των Φβων . Τα φωτοβολταϊκά είναι ισομοιρασμένα στη μέση και στη χαμηλή. Τα ΦΒ της μέσης τάσης υπόκεινται στους περιορισμούς διείσδυσης. Το ποσοστό διείσδυσης κυμαίνεται από 0 έως 20% του φορτίου αιχμής του φορτίου και η αξιοπιστία της παραγωγής των Φ/Β κυμαίνεται από 0 έως 50%.

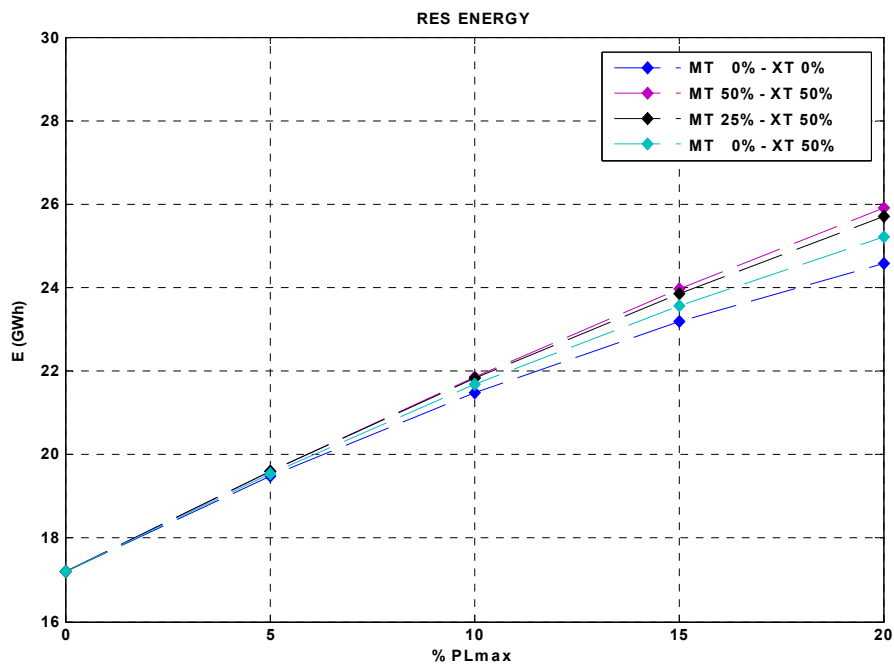
Σύνθεση συστήματος:

- Μέγιστο φορτίο **36.5 MW**
- Αιολική ισχύς **6.475 MW**
- Φωτοβολταϊκά **ισομοιρασμένα σε MT και XT (50%-50%)**
- Εφαρμογή **περιορισμών διείσδυσης** στα Φ/Β της MT (**ελεγχόμενα**)

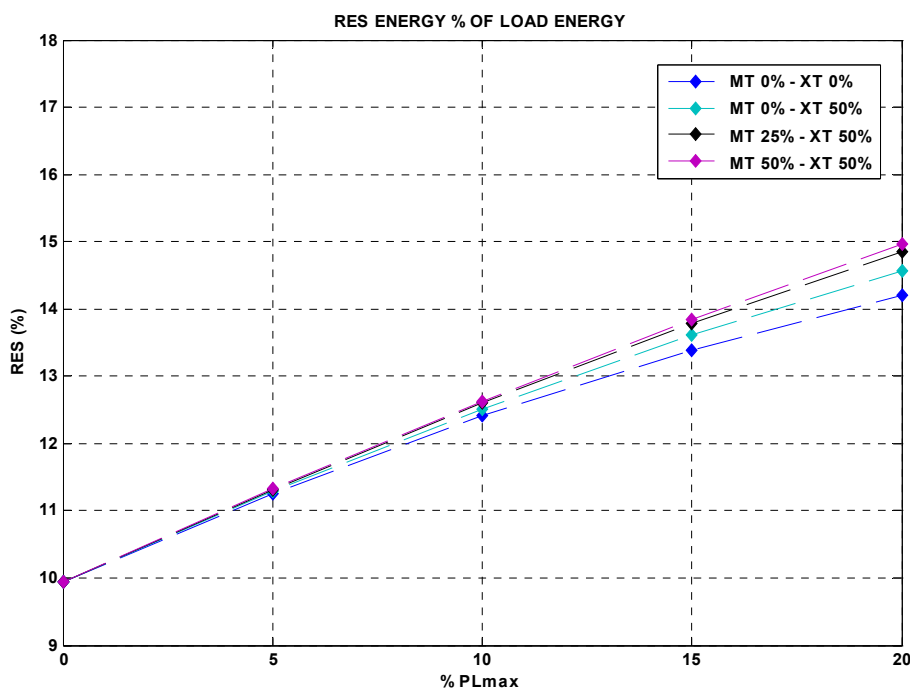
Κύριες παράμετροι διερεύνησης

- Ποσοστό **διείσδυσης** φωτοβολταϊκών: **0-20% P<sub>lmax</sub>**
- Θεωρούμενη **αξιοπιστία** παραγωγής των Φ/Β: **0-50%**

Στα δύο διαγράμματα που ακολουθούν, στον χ-άξονα εμφανίζεται το ποσοστό διείσδυσης των Φ/Β να παίρνει τιμές 0 - 5% - 10% - 15% - 20% της αιχμής του φορτίου και στον ψ-άξονα εμφανίζεται η ενέργεια της συνολικής ανανεώσιμης παραγωγής σε GWh στο 1<sup>ο</sup> διάγραμμα αλλά και ως ποσοστό της ενέργειας του φορτίου στο 2<sup>ο</sup> διάγραμμα.



Διάγραμμα 1: Ολική ανανεώσιμη παραγωγή (GWh)

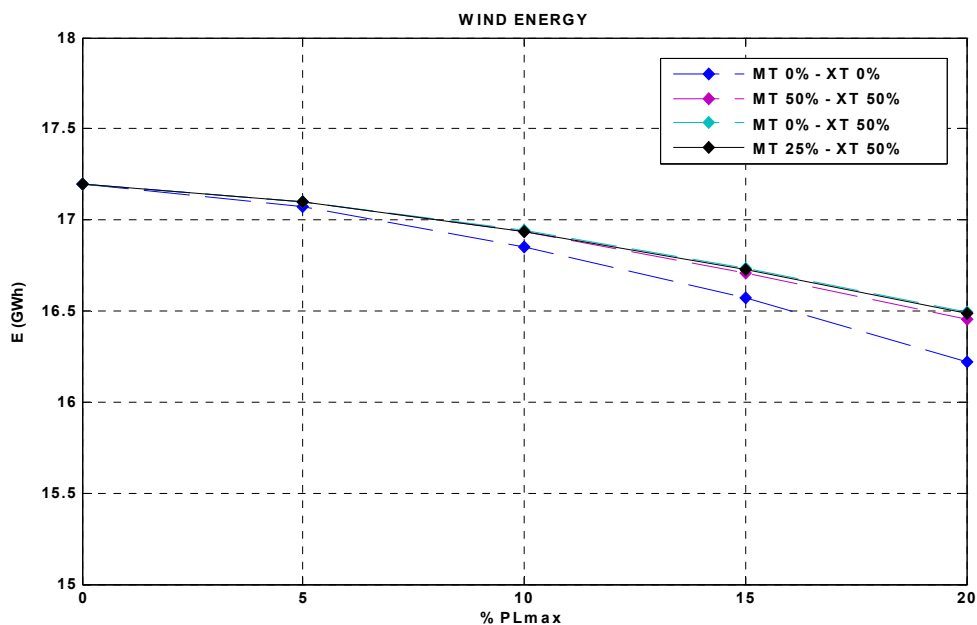


Διάγραμμα 2: Ολική ανανεώσιμη παραγωγή (%)

Από τις μπλε καμπύλες που είναι με θεώρηση μηδενικής αξιοπιστίας στη φωτοβολταϊκή παραγωγή, παρατηρείται η αύξηση της ανανεώσιμης παραγωγής όσο αυξάνεται το ποσοστό διείδυσης των Φ/Β. Οι υπόλοιπες καμπύλες που είναι διαρκώς

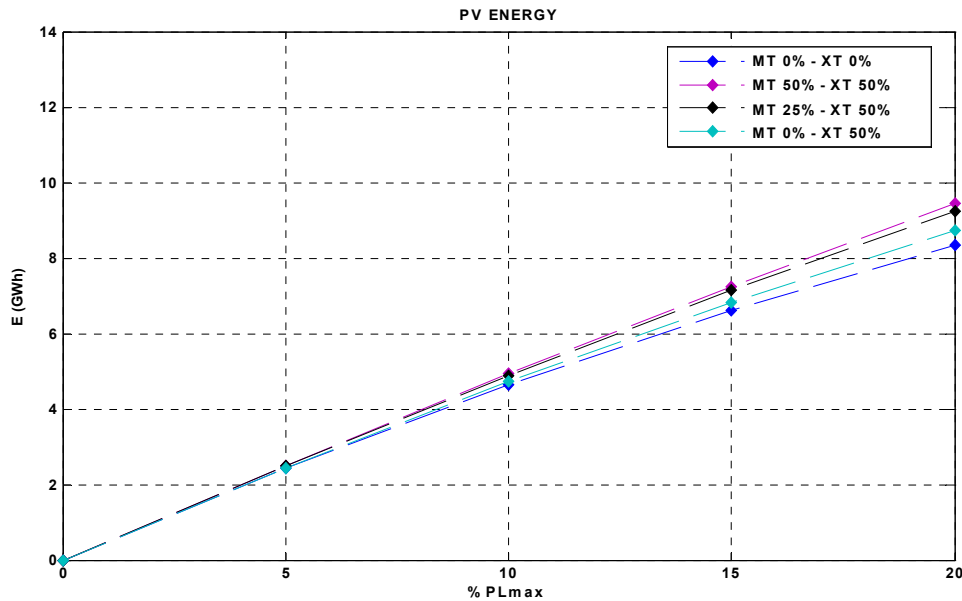
πάνω από τις μπλε, είναι με θεώρηση κάποιας αξιοπιστίας με ακραία αξιοπιστία το 50% που είναι η μοβ καμπύλη. Σε μικρές διεισδύσεις 10%, η θεώρηση αξιοπιστίας δίνει ανεπαίσθητες βελτιώσεις στην παραγωγή των Α.Π.Ε.. Σε μεγαλύτερες όμως διεισδύσεις της τάξης του 20%, οι θετικές επιπτώσεις της αξιοπιστίας είναι πιο αισθητές. Είναι εμφανή μάλιστα η αύξηση της παραγωγής των ΑΠΕ έως και 1% αν θεωρηθεί αξιοπιστία 50% όπως φαίνεται στο 2<sup>ο</sup> διάγραμμα, συγκρίνοντας τη μπλε και τη μοβ καμπύλη σε διείσδυση 20%.

Στα δύο επόμενα διαγράμματα φαίνονται οι επιπτώσεις της διείσδυσης των Φ/Β και της θεωρούμενης αξιοπιστίας τους στην αιολική και στην φωτοβολταϊκή παραγωγή.



Διάγραμμα 3: Αιολική Παραγωγή (GWh)

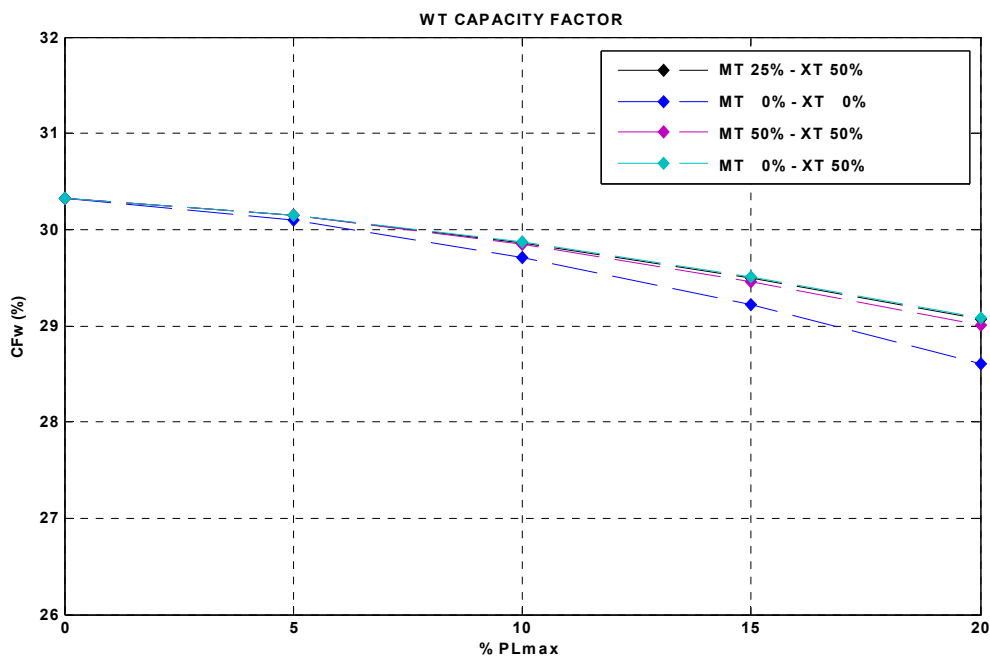
Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται η μικρή μείωση που υφίσταται η αιολική παραγωγή σε διείσδυση Φ/Β 10% και την λίγο μεγαλύτερη μείωση σε διείσδυση Φ/Β της τάξης του 20%, όπως φαίνεται από τη μπλε καμπύλη με τη θεώρηση μηδενικής αξιοπιστίας στην παραγωγή των Φ/Β.



Διάγραμμα 5: Φωτοβολταϊκή Παραγωγή (GWh)

Στο 5<sup>ο</sup> διάγραμμα φαίνεται η αύξηση της φωτοβολταϊκής παραγωγής όσο αυξάνεται το ποσοστό διεύθυνσης τους, ενώ είναι εμφανή και πάλι, σε διευσχύσεις 20%, οι θετικές επιπτώσεις της θεωρούμενης αξιοπιστίας παρατηρώντας τις μοβ καμπύλες.

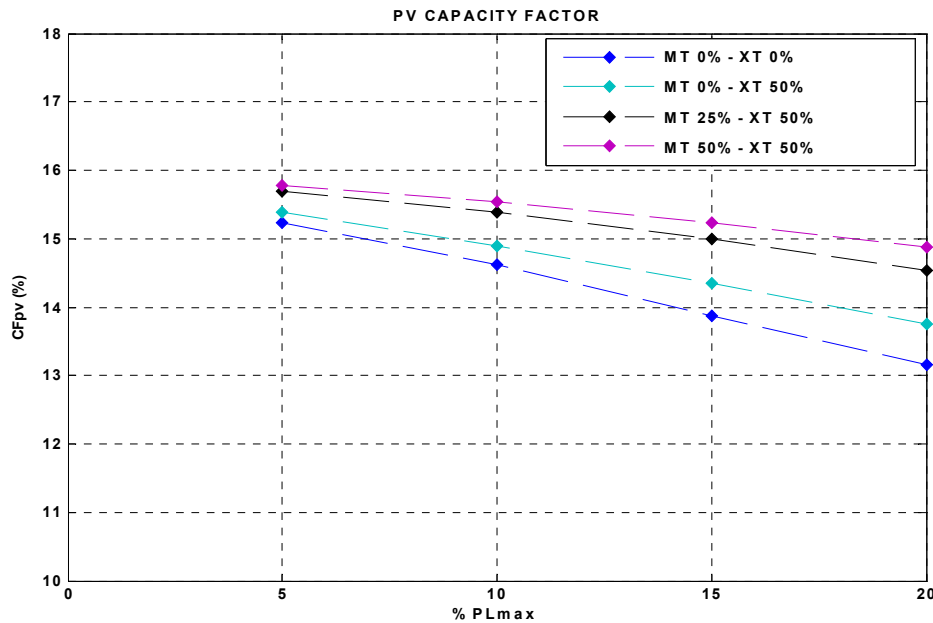
Στα δύο επόμενα διαγράμματα εμφανίζεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor, CF) των αιολικών και των φωτοβολταϊκών.



Διάγραμμα 7: Συντελεστής χρησιμοποίησης αιολικών



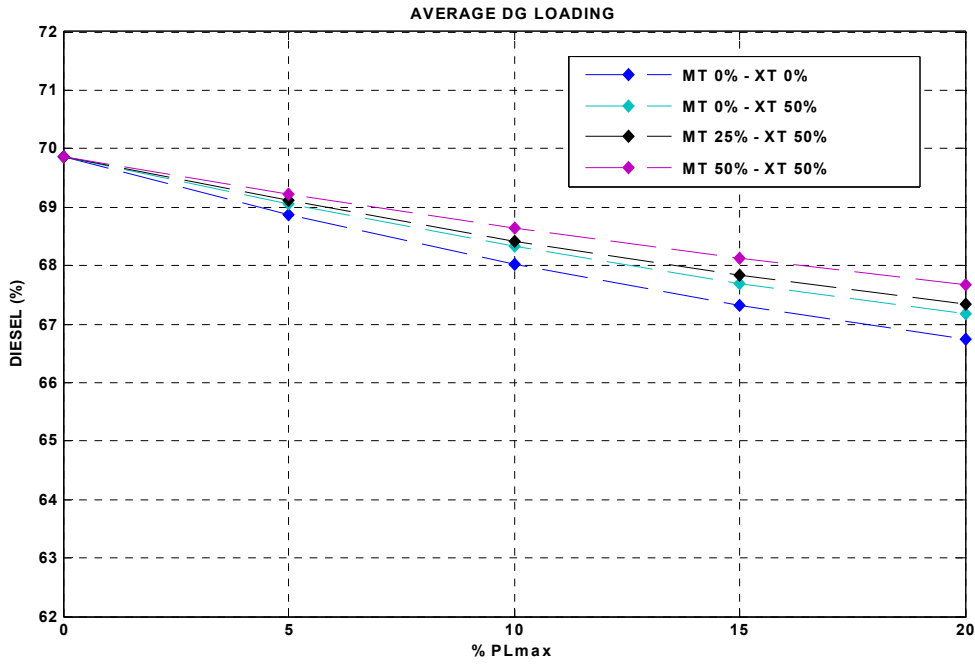
Ο Capacity Factor των αιολικών είναι 30.3% χωρίς καθόλου ΦΒ και υφίσταται ανεπαίσθητη μείωση σε διείσδυση Φ/Β 10% ενώ μειώνεται στο 28.6% σε διείσδυση Φ/Β 20%. Η θεώρηση αξιοπιστίας και πάλι συμβάλλει θετικά στη μείωση του Capacity Factor των αιολικών και ιδιαίτερα σε διεισδύσεις 20%.



Διάγραμμα 8: Συντελεστής χρησιμοποίησης φωτοβολταϊκών

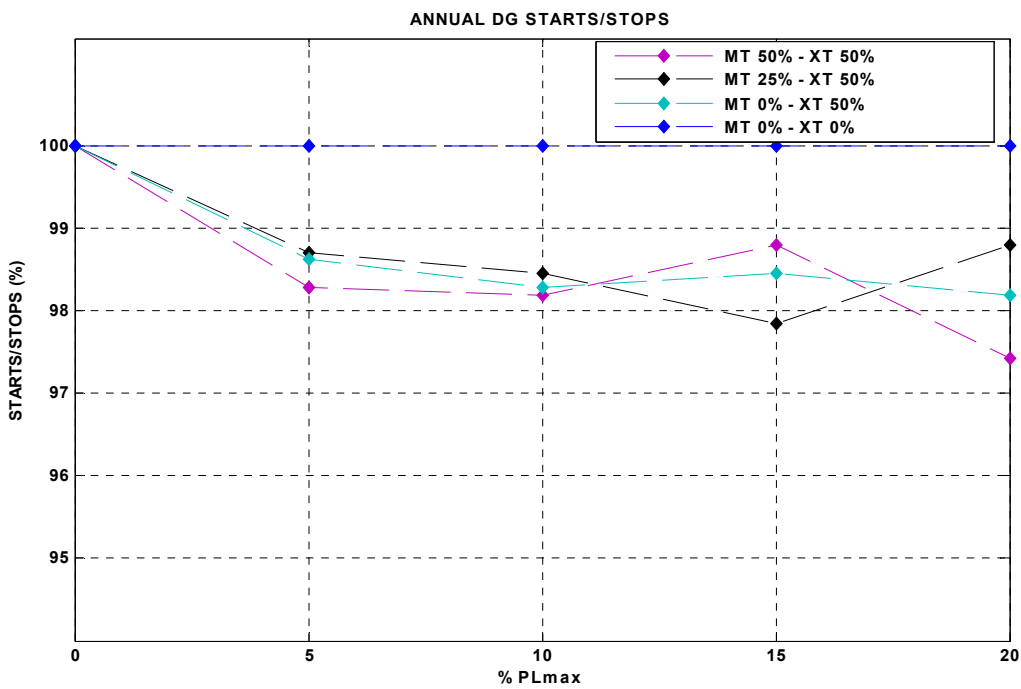
Στο διάγραμμα 8 παρατηρείται η μείωση του Capacity Factor του συνόλου των Φ/Β καθώς αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσής τους, μείωση που οφείλεται αποκλειστικά στο γεγονός του ότι τα μισά Φ/Β του συνόλου (Φ/Β μέσης τάσης) υπόκεινται στους περιορισμούς διείσδυσης. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η θεώρηση της αξιοπιστίας όπως φαίνεται από τη μοβ καμπύλη ακόμη και σε πολύ μικρή διείσδυση Φ/Β.

Στα δύο επόμενα διαγράμματα εμφανίζονται οι επιπτώσεις της διείσδυσης των Φ/Β στη λειτουργία των μονάδων του σταθμού και πιο συγκεκριμένα στη μέση φόρτιση των μονάδων αλλά και στο ποσοστό εκκινήσεων/ στάσεων.



Διάγραμμα 9: Μέση φόρτιση των συμβατικών μονάδων

Μικρή επίπτωση της τάξης του 1.5% στη μέση φόρτιση των μονάδων προκαλεί η διείσδυση 10% των Φ/Β και λίγο μεγαλύτερη σε διείσδυση 20%.



Διάγραμμα 10: Ποσοστό εκκινήσεων/ στάσεων των μονάδων

Καμία επίπτωση στις εκκινήσεις/ στάσεις των μονάδων του σταθμού ως ποσοστό των εκκινήσεων/ στάσεων στη περίπτωση που δεν υπάρχουν Φ/Β όπως φαίνεται στο 10<sup>ο</sup> διάγραμμα. Η θεώρηση αξιοπιστίας μειώνει ελάχιστα το ποσοστό αυτό όπως φαίνεται από τις υπόλοιπες καμπύλες.

Συγκεντρωτικά στο ακόλουθο πίνακα εμφανίζονται ορισμένα αποτελέσματα.

	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Φ/Β 10% P <sub>Lmax</sub>		ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Φ/Β 20% P <sub>Lmax</sub>	
	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 0%	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 50%	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 0%	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ A 50%
CAPACITY FACTOR Α/Π (30.3%)	29.7%	29.9%	28.6%	29.0%
CAPACITY FACTOR Φ/Β (16.1%)	14.6%	15.5%	13.2%	14.9%
ΕΝΕΡΓΕΙΑ Α/Π+Φ/Β, %E <sub>Load</sub> (10%)	12.4%	12.6%	14.2%	15.0%
ΜΕΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗ Δ/Γ %P <sub>Dnom</sub> (70%)	68.0%	68.6%	66.7%	67.7%

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης των αιολικών από 30.3% σε μεγάλη διείσδυση φωτοβολταϊκών μειώνεται στο 28.6% και με θεώρηση αξιοπιστίας στην παραγωγή των Φ/Β βελτιώνεται στο 29%. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης των ΦΒ από 16.1% που θα ήταν αν παρήγαν όλα ανεξέλεγκτα μειώνεται στο 13.2% σε διείσδυση της τάξης του 20%, που με τη θεώρηση της αξιοπιστίας βελτιώνεται στο 14.9%. Η συνολική ανανεώσιμη παραγωγή από 10% του φορτίου που προσφέρουν μόνο τα αιολικά φθάνει στο 14.2% σε μεγάλες διεισδύσεις φωτοβολταϊκών. Μικρή επίπτωση υφίσταται η μέση φόρτιση των μονάδων με μείωση 3% σε πολύ μεγάλες διεισδύσεις Φ/Β.

Καταλήγοντας, τα βασικά συμπεράσματα για το σύστημα με αιολική ισχύ 6.5 MW και φωτοβολταϊκή διείσδυση 10%, είναι:

- σημαντική αύξηση της συνολικής παραγωγής από Α.Π.Ε,
- αμελητέα μείωση στην αιολική παραγωγή,

- μικρή επίπτωση στη λειτουργία του σταθμού που οδηγεί σε μια αποδεκτή κατάσταση λειτουργίας παρά τη μη θεώρηση της αξιοπιστίας της παραγωγής των ΦΒ που δεν είναι κρίσιμη σε μικρές διεισδύσεις. Σε διείσδυση όμως των ΦΒ της τάξης του 20% οι επιπτώσεις θετικές ή αρνητικές είναι αναλογικά αυξημένες, που οδηγεί σε μία μάλλον αποδεκτή κατάσταση λειτουργίας για το σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση μεγάλης διείσδυσης ΦΒ, η θεώρηση αξιοπιστίας στην παραγωγή τους, συμβάλλει σημαντικά σε όλες τις συνιστώσες του συστήματος.

### 5.3.2.2. Επιπτώσεις ελέγχου Φ/Β και αξιοπιστίας

Στην παρούσα παράγραφο εξετάζονται οι επιπτώσεις του ελέγχου και της αξιοπιστίας της φωτοβολταϊκής παραγωγής, στο σύστημα της Σάμου, με αιολική ισχύ 6.5 MW και φωτοβολταϊκή ισχύ 3.6 MW που όπως προαναφέρθηκε είναι μια αποδεκτή κατάσταση για το σύστημα. Η αναλογία των Φ/Β που ελέγχονται και δεν ελέγχονται μεταβάλλεται από 0 έως 100% του συνόλου των φωτοβολταϊκών με ακραίες καταστάσεις το 100% ελεγχόμενα και το 100% μη ελεγχόμενα. Επιπλέον παρακολουθείται και πάλι η θεώρηση της αξιοπιστίας σε δύο ακραίες καταστάσεις της μηδενικής αξιοπιστίας και της κοινής αξιοπιστίας 50% στην παραγωγή των Φ/Β.

Σύνθεση συστήματος:

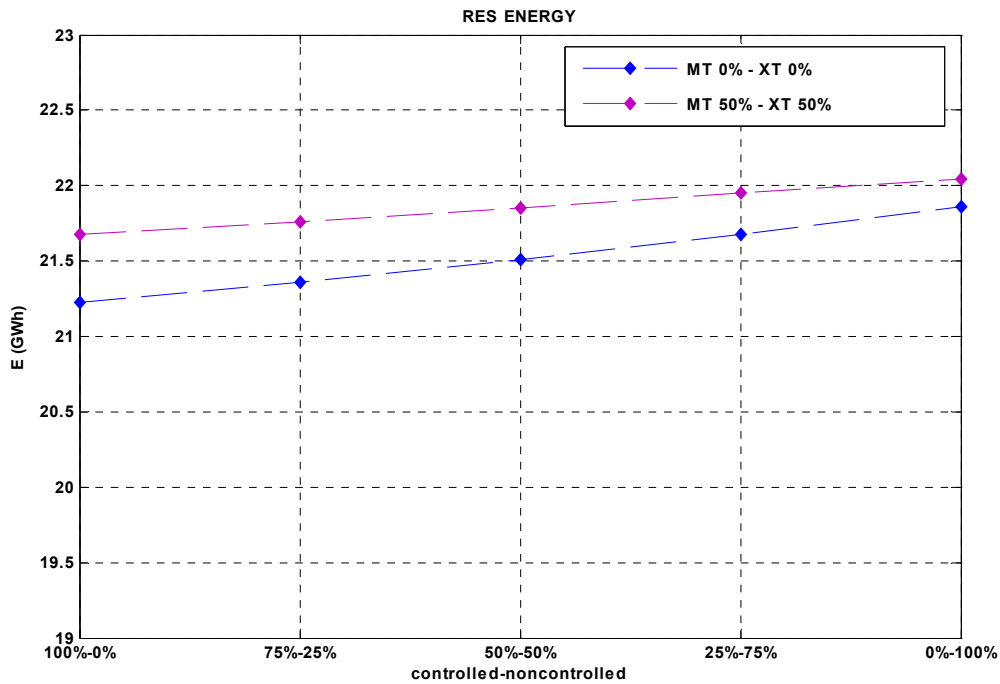
- Μέγιστο φορτίο **36.5 MW**
- Αιολική ισχύς **6.475 MW**
- Φωτοβολταϊκή ισχύς **3.624 MW** (10% PLmax)

Κύριες παράμετροι διερεύνησης:

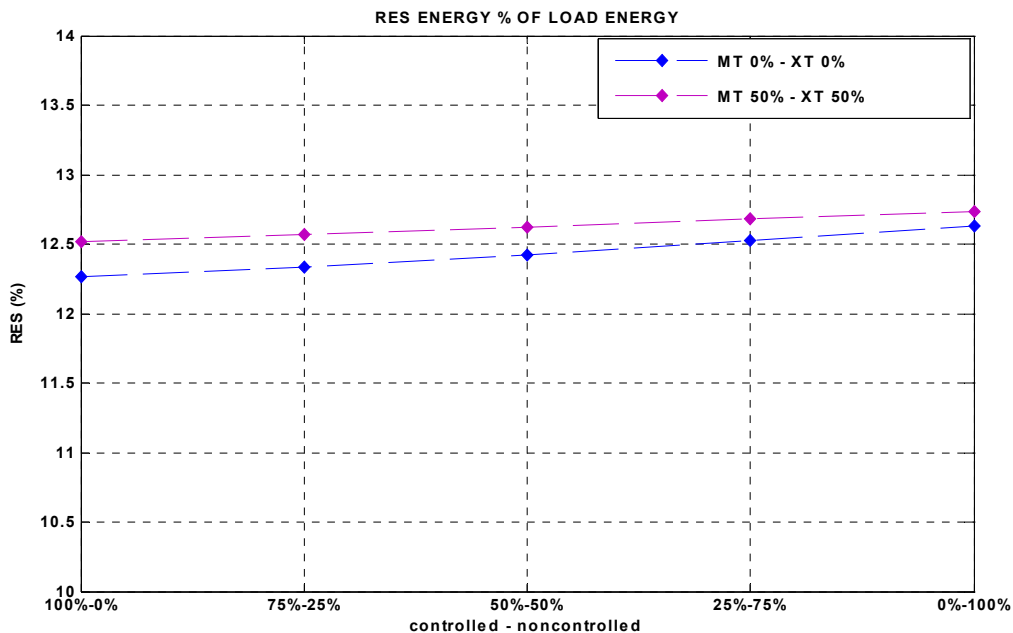
- **Αναλογία ελεγχόμενων-μη ελεγχόμενων Φ/Β (MT-XT):**  
 ελεγχόμενα => 100% - 75% - 50% - 25% - 0%  
 ελεγχόμενα => 0% - 25% - 50% - 75% - 100%
- **Αξιοπιστία παραγωγής των Φ/Β: 0-50%**

Στα διαγράμματα που ακολουθούν στο χ-άξονα αριστερά βρίσκεται το ποσοστό των Φ/Β που είναι 100% ελεγχόμενα και δεξιά το ποσοστό των Φ/Β που είναι 100% μη ελεγχόμενα και ενδιάμεσα μικρότερα ποσοστά ελεγχόμενων-μη ελεγχόμενων Φ/Β (75% – 25%, 50% - 50%, 25% – 75%). Στα δύο διαγράμματα που ακολουθούν, εμφανίζεται η

ενέργεια της συνολικής ανανεώσιμης παραγωγής σε GWh στο 1<sup>ο</sup> διάγραμμα αλλά και ως ποσοστό της ενέργειας του φορτίου στο 2<sup>ο</sup> διάγραμμα



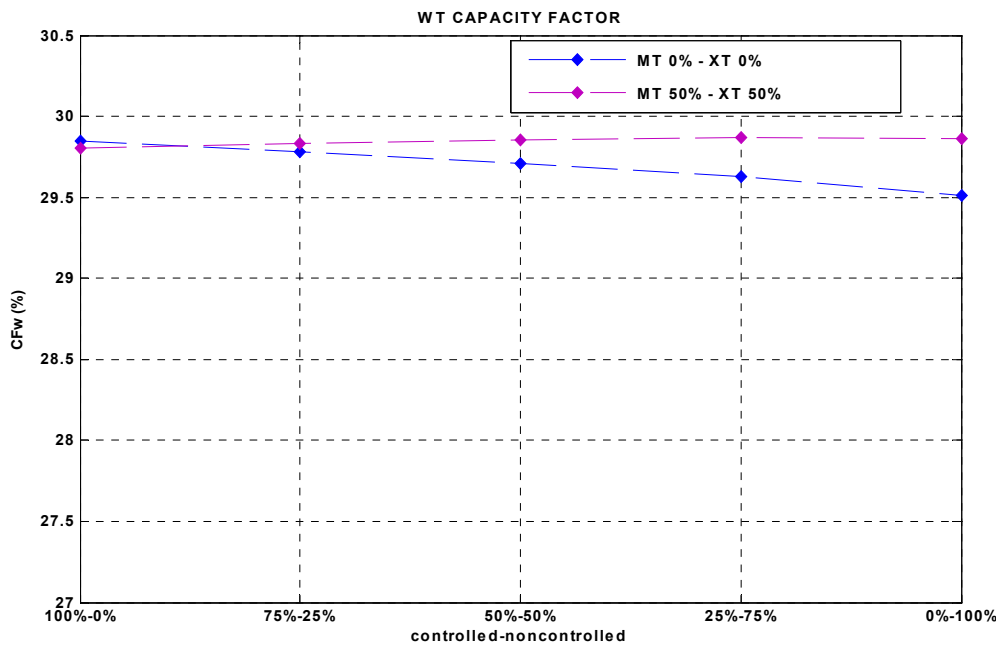
Διάγραμμα 1: Ολική ανανεώσιμη παραγωγή (GWh)



Διάγραμμα 2: Ολική ανανεώσιμη παραγωγή (%)

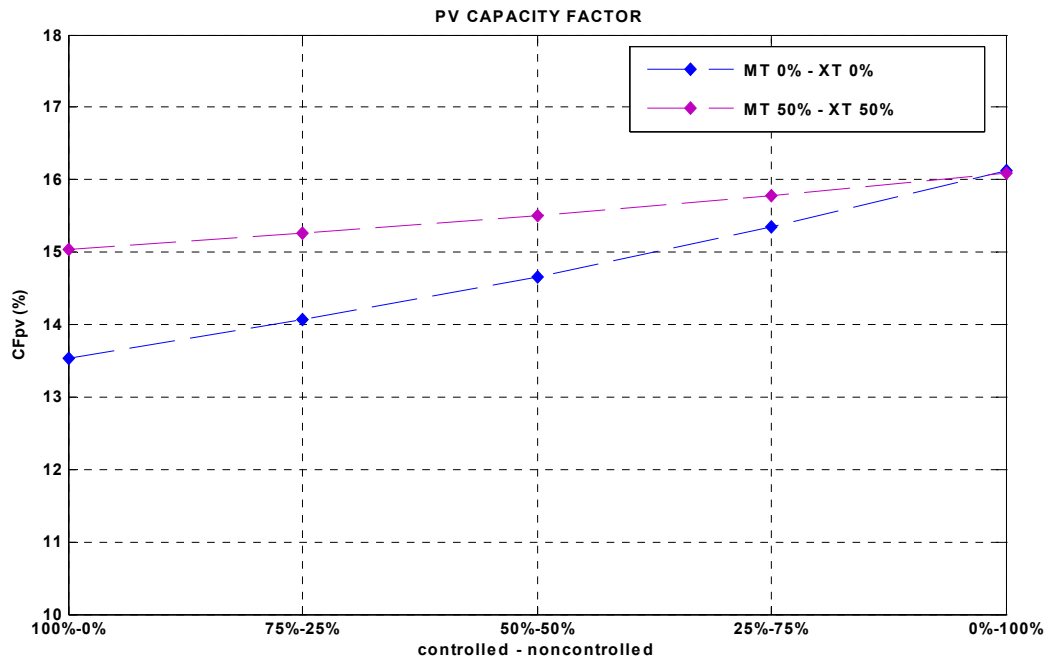
Στις μπλε καμπύλες της μηδενικής αξιοπιστίας φαίνεται η αύξηση της ολικής ανανεώσιμης παραγωγής καθώς αυξάνεται το ποσοστό των φωτοβολταϊκών των οποίων η παραγωγή αφήνεται ανεξέλεγκτη και η μείωση αυτής καθώς αυξάνεται το ποσοστό των φωτοβολταϊκών των οποίων η παραγωγή περιορίζεται, σε GWh στο 1<sup>ο</sup> διάγραμμα και ως ποσοστό του φορτίου στο 2<sup>ο</sup> διάγραμμα. Οι επιπτώσεις της θεωρούμενης αξιοπιστίας ίση με 50%, όπως φαίνεται από τις μοβ καμπύλες, είναι εντονότερες όταν τα Φ/Β υπόκεινται σε περιορισμούς ενώ είναι ανύπαρκτες όταν τα Φ/Β παράγουν ανεξέλεγκτα.

Στα δύο επόμενα διαγράμματα εμφανίζεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor, CF) των αιολικών και των φωτοβολταϊκών.



Διάγραμμα 3: Συντελεστής χρησιμοποίησης αιολικών

Μικρή μείωση υφίσταται ο συντελεστής χρησιμοποίησης των αιολικών καθώς αυξάνεται το ποσοστό των φωτοβολταϊκών των οποίων η παραγωγή δεν ελέγχεται και έχει θεωρημένη μηδενική αξιοπιστία όπως φαίνεται από την μπλε καμπυλή.

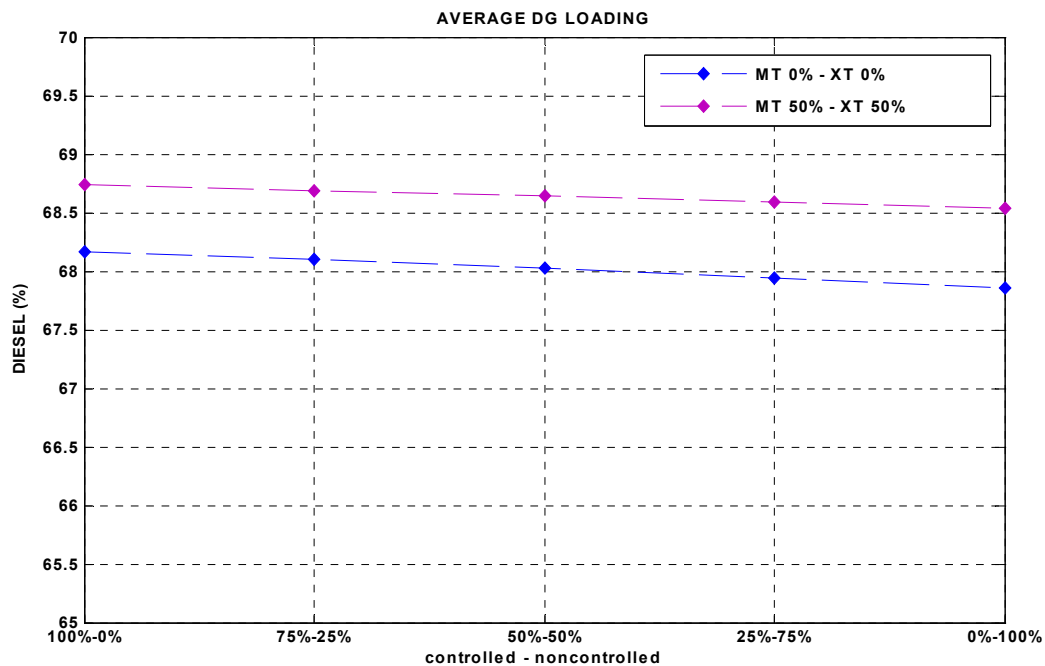


Διάγραμμα 4: Συντελεστής χρησιμοποίησης φωτοβολταϊκών

Σε αντίθεση με τα αιολικά σημαντική είναι η αύξηση του συντελεστή χρησιμοποίησης των φωτοβολταϊκών από 13.5% σε 16.1% καθώς αυξάνεται το ποσοστό των Φ/Β που δεν ελέγχονται, όπως φαίνεται στο 4<sup>ο</sup> διάγραμμα.

Η θεώρηση της αξιοπιστίας, όπως φαίνεται και στα δύο διαγράμματα, εξαλείφει τη μείωση του συντελεστή χρησιμοποίησης των αιολικών όταν τα φωτοβολταϊκά είναι μη ελεγχόμενα και έχει θετική επίπτωση στον συντελεστή χρησιμοποίησης των φωτοβολταϊκών όταν αυτά όμως είναι ελεγχόμενα.

Όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος το αν τα Φ/Β είναι ελεγχόμενα ή όχι, δεν έχει καμία επίπτωση στη μέση φόρτιση των μονάδων όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 5: Μέση φόρτιση των συμβατικών μονάδων

Σταθερό είναι και το ποσοστό των στάσεων/ εκκινήσεων των μονάδων του σταθμού, ανεξάρτητο του ποσού των φωτοβολταϊκών που ελέγχονται ή δεν ελέγχονται ενώ θετικές παραμένουν και πάλι οι επιπτώσεις αξιοπιστίας.

Συγκεντρωτικά δίνονται τα αποτελέσματα στον πίνακα 2, όπου είναι εμφανή η μείωση του συντελεστή χρησιμοποίησης των φωτοβολταϊκών από 16.1% σε 13.5% όταν τα φωτοβολταϊκά υπόκεινται στους περιορισμούς χωρίς να κερδίζουν τίποτα τα αιολικά.



	ΧΩΡΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΤΑ Φ/Β		ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΤΑ Φ/Β	
	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 0%	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 50%	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 0%	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ Α 50%
CAPACITY FACTOR Α/Π ( <b>30.3%</b> )	29.5%	29.9%	29.9%	29.8%
CAPACITY FACTOR Φ/Β ( <b>16.1%</b> )	16.1%	16.1%	13.5%	15.0%
ΕΝΕΡΓΕΙΑ Α/Π+Φ/Β, %E <sub>Load</sub> ( <b>10%</b> )	12.6%	12.7%	12.3%	12.5%

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Καταλήγοντας, τα βασικά συμπεράσματα για το σύστημα, με αιολική ισχύ 6.5 MW και φωτοβολταϊκή διείσδυση 10%, είναι ότι δεν είναι συμφέρον για κανένα από τους ανανεώσιμους παραγωγούς να εφαρμόζονται περιορισμοί διείσδυσης στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών αφού:

- μειώνεται η απόδοσή των φωτοβολταϊκών
- μειώνεται και η ολική ανανεώσιμη παραγωγή
- πολύ μικρή αύξηση υφίσταται η αιολική παραγωγή
- αμελητέα επίπτωση στη λειτουργία του σταθμού.

Λαμβάνοντας υπόψη, όλων των παραπάνω και της πολυπλοκότητας του ελέγχου της φωτοβολταϊκής παραγωγής, δεν τίθεται πλέον θέμα για τον έλεγχο της παραγωγής των φωτοβολταϊκών, τουλάχιστον σε μικρές διεισδύσεις αυτών, που παρά το γεγονός του ότι η αξιοπιστία περιορίζει τις αρνητικές συνέπειες της εφαρμογής των περιορισμών, γενικά δεν αλλάζει την συνολική εικόνα.

### 5.3.3. Σύστημα με αυξημένη αιολική ισχύ

Στη παρούσα παράγραφο εξετάζονται οι αντίστοιχες επιπτώσεις της διείσδυσης, ελέγχου και αξιοπιστίας της παραγωγής των φωτοβολταϊκών, όταν η αιολική ισχύ είναι αυξημένη ίση με 9.5 MW. Το ποσοστό διείσδυσης των φωτοβολταϊκών κυμαίνεται από 0 έως 20%, αν και μία διείσδυση της τάξης του 10%, όπως θα φανεί στη συνέχεια έχει κατά

πολύ υπερβεί τα όρια. Η θεωρούμενη αξιοπιστία των Φ/Β είναι μηδενική και ίση με 50%, ως τις δύο ακραίες καταστάσεις. Οι περιορισμοί διείσδυσης εφαρμόζονται σε δύο περιπτώσεις: α) στο 50% των φωτοβολταϊκών ενώ στο υπόλοιπο 50% αφήνεται ανεξέλεγκτη η παραγωγή του και β) αφήνεται το 100% των φωτοβολταϊκών ανεξέλεγκτο.

Σύνθεση συστήματος:

- Μέγιστο φορτίο **36.5 MW**
- Αιολική ισχύς **9.580 MW**
- Εφαρμογή **περιορισμών διείσδυσης** στα Φ/Β της ΜΤ (**ελεγχόμενα**)

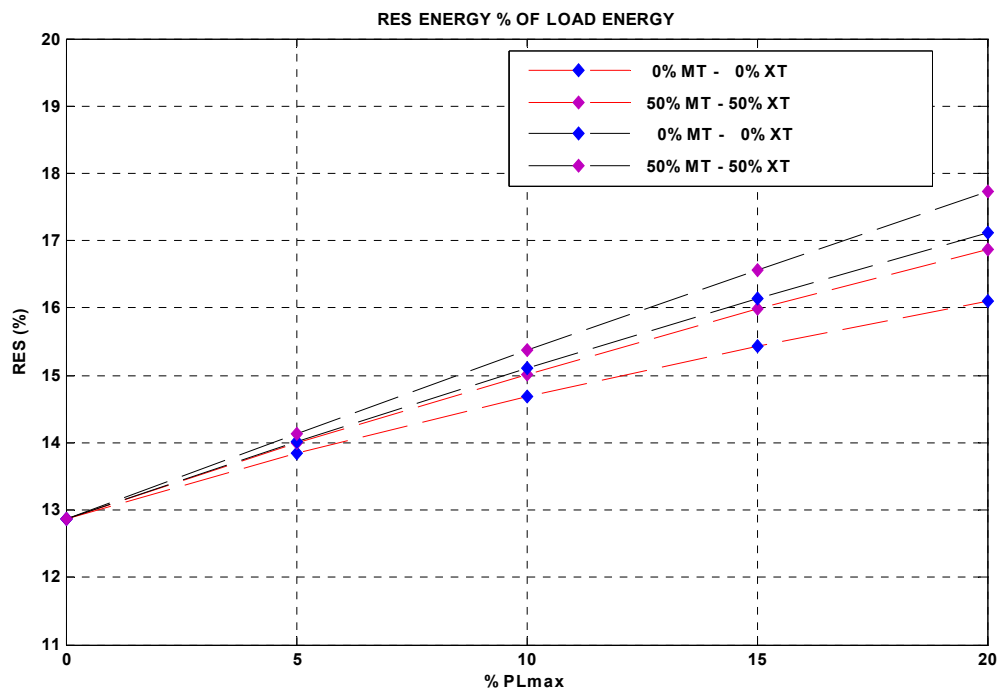
Κύριες παράμετροι διερεύνησης:

- Ποσοστό **διείσδυσης** φωτοβολταϊκών: **0-20% PLmax**
- Θεωρούμενη **αξιοπιστία** παραγωγής των Φ/Β: **0-50%**
- **Αναλογία ελεγχόμενων-μη ελεγχόμενων Φ/Β (ΜΤ-ΧΤ):**

ελεγχόμενα => 50% - 0%

μη ελεγχόμενα => 50% - 100%

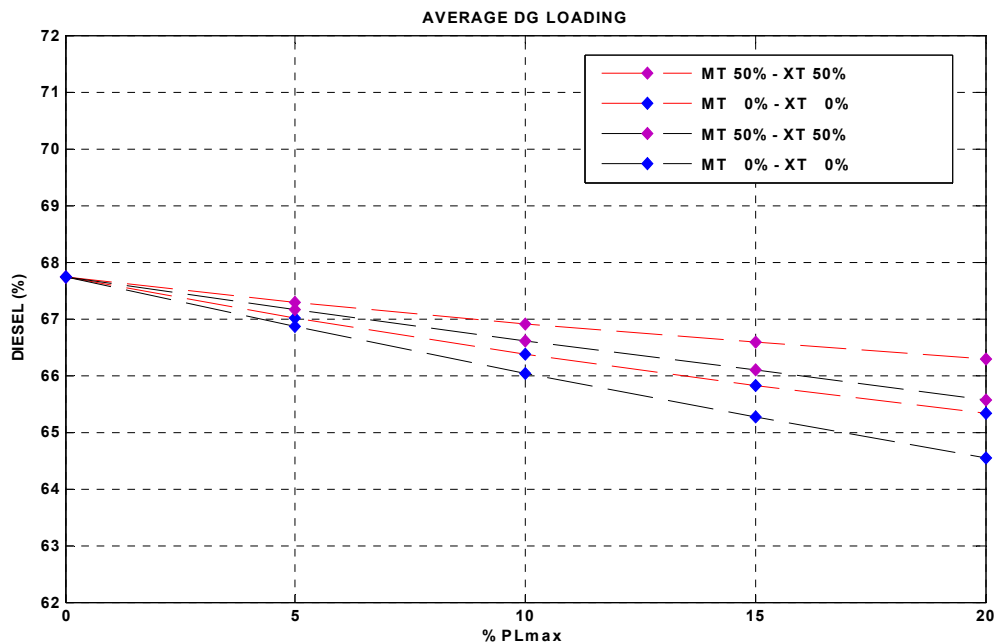
Στα διαγράμματα που ακολουθούν στον χ-άξονα είναι το ποσοστό διείσδυσης των φωτοβολταϊκών. Οι κόκκινες καμπύλες απεικονίζουν τις επιπτώσεις της εφαρμογής των περιορισμών στο 50% των Φ/Β, ενώ οι μαύρες καμπύλες αντιστοιχούν στην μη εφαρμογή των περιορισμών στην παραγωγή των Φ/Β. Με μπλε δείκτες είναι η θεώρηση της μηδενικής αξιοπιστίας και με μοβ δείκτες είναι η θεώρηση κοινής αξιοπιστίας ίση με 50%. Οι επιπτώσεις της διείσδυσης, ελέγχου και αξιοπιστίας της παραγωγής των φωτοβολταϊκών, στην ολική ανανεώσιμη παραγωγή, ως ποσοστό του φορτίου, φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 1: Ολική Ανανεώσιμη Παραγωγή

Οι κόκκινες καμπύλες είναι κάτω από τις μαύρες όπως φαίνεται στο διάγραμμα και αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της ολικής ανανεώσιμης παραγωγής είναι αισθητά μικρότερη όταν εφαρμόζονται οι περιορισμοί ακόμη και σε ποσοστό 50% του συνόλου τους, ιδίως σε μεγάλες διεισδύσεις των φωτοβολταϊκών της τάξης του 20%.

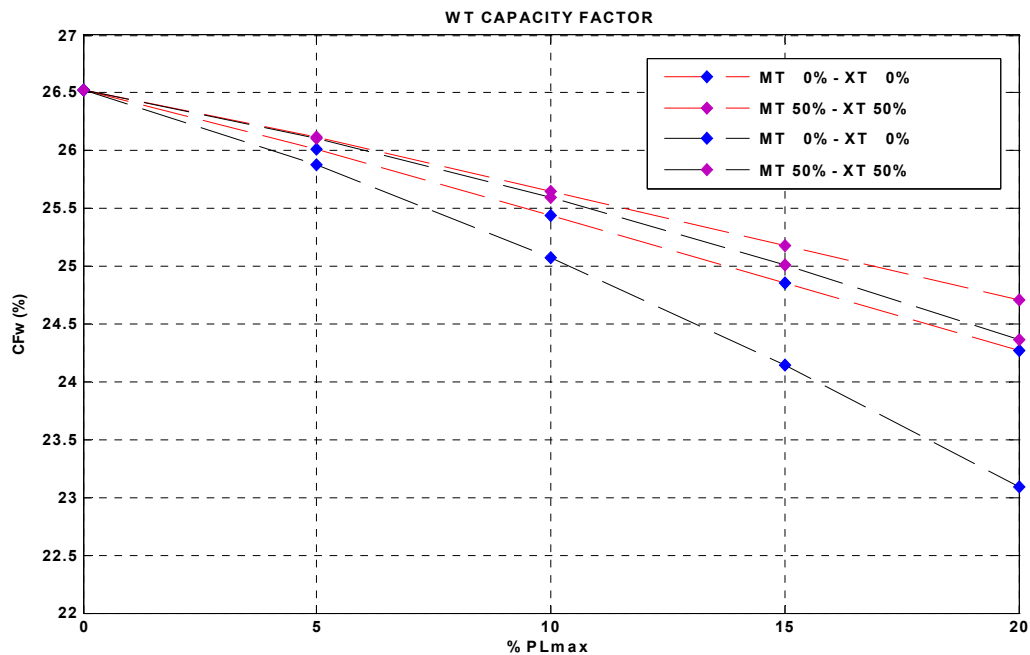
Οι επιπτώσεις της διείσδυσης, ελέγχου και αξιοπιστίας της παραγωγής των φωτοβολταϊκών, στη μέση φόρτιση των συμβατικών μονάδων παραγωγής, φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 2: Μέση Φόρτιση Συμβατικών Μονάδων

Στο 2<sup>ο</sup> διάγραμμα παρατηρώντας τις μαύρες καμπύλες κάτω από τις κόκκινες, φαίνεται ότι ο καθόλου έλεγχος της φωτοβολταϊκής μειώνει έως 3% τη μέση φόρτιση των μονάδων σε μεγάλες διεισδύσεις φωτοβολταϊκών. Η θεώρηση της αξιοπιστίας στην κάθε περίπτωση όμως βελτιώνει τις επιπτώσεις θετικές ή αρνητικές.

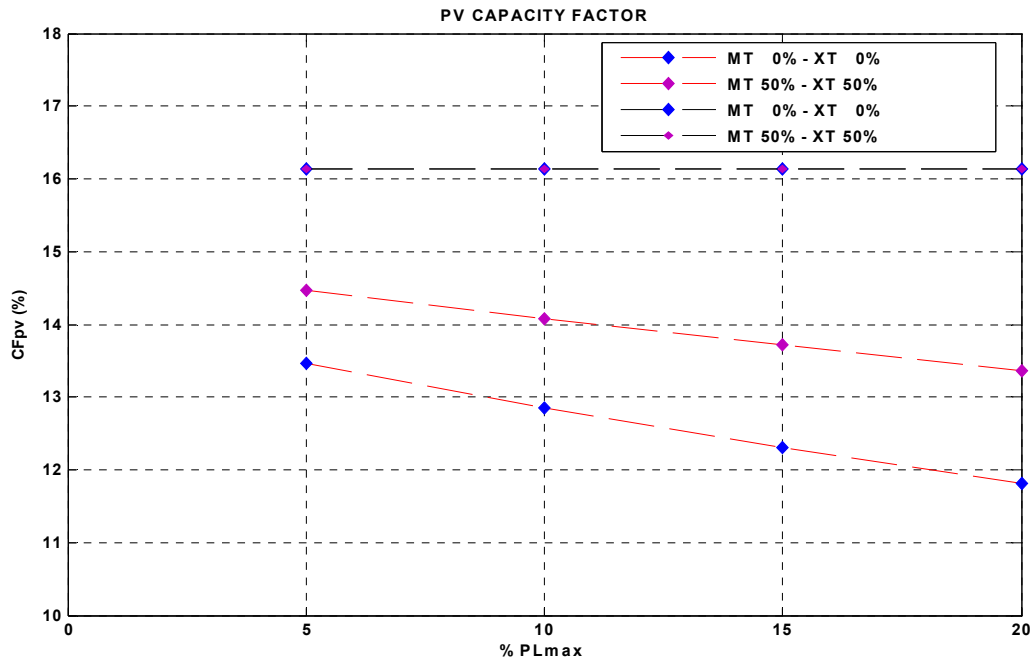
Στα δύο επόμενα διαγράμματα εμφανίζεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor, CF) των αιολικών και των φωτοβολταϊκών.



Διάγραμμα 3: Συντελεστής χρησιμοποίησης αιολικών

Ο ήδη χαμηλός Capacity Factor των αιολικών από πολύ μικρές διεισδύσεις φωτοβολταϊκών από 26.5% που είναι χωρίς Φ/Β υφίσταται επιπλέον μείωση και φτάνει έως και το 23.2%, ιδίως όταν τα φωτοβολταϊκά είναι όλα μη ελεγχόμενα, όπως φαίνεται από την μαύρη καμπύλη μηδενικής αξιοπιστίας.

Ακολούθως, δείχνονται οι επιπτώσεις της διείσδυσης, ελέγχου και αξιοπιστίας της παραγωγής των φωτοβολταϊκών, στον Capacity Factor των Φ/Β.



Διάγραμμα 4: Συντελεστής χρησιμοποίησης φωτοβολταϊκών

Ιδιαίτερα σημαντική όμως είναι η μείωση που υφίσταται ο Capacity Factor των φωτοβολταϊκών λόγω του ελέγχου της παραγωγής τους. Από 16.1% μειώνεται στο 12.8% σε διείσδυση 10% των Φ/Β με μηδενική θεώρηση αξιοπιστίας όπως φαίνεται στην κόκκινη καμπύλη μηδενικής αξιοπιστίας και φτάνει το 11.8% σε διείσδυση 20% των Φ/Β. Ίδιες είναι και πάλι οι θετικές επιπτώσεις της θεωρούμενης αξιοπιστίας στην παραγωγή των Φ/Β.

Καταλήγοντας τα βασικά συμπεράσματα της διερεύνησης για το σύστημα της Σάμου, με αιολική ισχύ ίση με 9.5 MW, είναι ότι το αυξανόμενο ποσοστό διείσδυσης των φωτοβολταϊκών:

- μειώνει σημαντικά την ήδη χαμηλή απόδοση των αιολικών,
- αυξάνει την ολική ανανεώσιμη παραγωγή χωρίς να φαίνεται έντονος ο κορεσμός του συστήματος από Α.Π.Ε. και
- δεν επηρεάζεται σημαντικά η λειτουργία του σταθμού.

Οι επιπτώσεις της αξιοπιστίας είναι θετικές για τα φωτοβολταϊκά μόνο όταν είναι ελεγχόμενα και για τα αιολικά σε μεγάλες διεισδύσεις κυρίως μη ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών.

Η εφαρμογή περιορισμών μειώνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών και αυξάνει την απόδοση των αιολικών μόνο σε μεγάλες διεισδύσεις φωτοβολταϊκών και εφόσον η αξιοπιστία τους είναι μηδενική. Επίσης η θεώρηση της αξιοπιστίας των φωτοβολταϊκών

έχει μικρές επιπτώσεις στην απόδοση των αιολικών όταν τα φωτοβολταϊκά είναι ελεγχόμενα.

#### 5.4. Γενικά συμπεράσματα για το σύστημα της Σάμου

Γενικά για τη Σάμο επιτρεπτή διείσδυση φωτοβολταϊκής ισχύος είναι το 10% του φορτίου, ενώ μεγαλύτερες διεισδύσεις είναι επιτρεπτές κάτω υπό προϋποθέσεις και εφόσον η αιολική ισχύ δεν είναι υψηλή.

Η αξιοπιστία εισάγει πολυπλοκότητα στη λειτουργία του συστήματος, αυξάνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών όταν είναι ελεγχόμενα, έχει θετικές επιπτώσεις στην απόδοση αιολικών ιδίως σε μεγάλες διεισδύσεις μη ελεγχόμενων φωτοβολταϊκών. Κρίσιμη είναι συμβολή της αξιοπιστίας σε μεγάλες διεισδύσεις φωτοβολταϊκών.

Η εφαρμογή περιορισμών στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών, τελικώς εισάγει πολυπλοκότητα στη λειτουργία του συστήματος, μειώνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών και ευνοεί τα αιολικά μόνο σε υψηλές διεισδύσεις αναξιόπιστης φωτοβολταϊκής παραγωγής.

Συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα αναγράφονται ακολούθως.

#### Ποσοστό διείσδυσης Φ/Β:

- Διεισδύσεις μέχρι 10% του μέγιστου φορτίου χωρίς αξιόλογες επιπτώσεις στη λειτουργία του συστήματος και των Α/Π.
- Μεγαλύτερες διεισδύσεις, μέχρι 20%, υπό προϋποθέσεις επιτρεπτές, εφόσον η διείσδυση υφιστάμενων αιολικών όχι υψηλή.

#### Θεώρηση βαθμού αξιοπιστίας για τη Φ/Β παραγωγή:

- Εισάγει πολυπλοκότητα στην ένταξη μονάδων του ΑΣΠ και στον καθορισμό των ολικών περιορισμών διείσδυσης (ανάγκη πρόβλεψης της ηλιακής παραγωγής)
- Αυξάνει την απόδοση των Φ/Β μόνο όταν εφαρμόζονται περιορισμοί στην παραγωγή τους
- Θετική επίπτωση στην απόδοση των Α/Π, κυρίως σε μεγάλες διεισδύσεις μη ελεγχόμενων Φ/Β
- Μη κρίσιμη για σχετικά χαμηλές διεισδύσεις Φ/Β (<10%). Αποκτά σημασία για υψηλές διεισδύσεις Φ/Β.

Εφαρμογή **περιορισμών διείσδυσης** για τη Φ/Β παραγωγή:

- Εισάγει πολυπλοκότητα στον επιμερισμό των ολικών περιορισμών διείσδυσης στους σταθμούς ΑΠΕ (ανάγκη πρόβλεψης της ηλιακής παραγωγής)
- Μεγάλη μείωση της απόδοσης των Φ/Β, ιδιαίτερα σε καταστάσεις υψηλής διείσδυσης ΑΠΕ
- Αισθητή βελτίωση στην απόδοση των Α/Π μόνο σε καταστάσεις υψηλής διείσδυσης ΑΠΕ και εφόσον η Φ/Β παραγωγή θεωρείται αναξιόπιστη.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

# **ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**



### 6.1. Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, μελετήθηκε η Σάμος, ένα σύστημα μεσαίου μεγέθους, ως προς την λειτουργία του κατά την αιολική και φωτοβολταϊκή διείσδυση. Γενικά για τη Σάμο κρίθηκε επιτρεπτή διείσδυση φωτοβολταϊκής ισχύος της τάξης του 10% της αιχμής του φορτίου, ενώ μεγαλύτερες διεισδύσεις είναι επιτρεπτές κάτω υπό προϋποθέσεις και εφόσον η αιολική ισχύ δεν είναι υψηλή. Το γενικό αυτό συμπέρασμα δεν είναι κατά ανάγκην αντιπροσωπευτικό για όλα τα συστήματα, αφού το κάθε ένα έχει τη δικιά του σύνθεση και διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων και λαμβάνοντας υπόψη την ήδη εγκατεστημένη ισχύ αιολικών και φωτοβολταϊκών μπορεί να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα γενικό για όλα τα συστήματα.

Συν εκτιμώντας, ότι:

- η διείσδυση φωτοβολταϊκής ισχύος στα νησιά είναι σήμερα πρακτικώς μηδενική,
- η επίτευξη ποσοστών φωτοβολταϊκής διείσδυσης άνω του 10% του μέγιστου φορτίου απαιτεί πολύ χρόνο και υψηλές επενδύσεις,
- η παρούσα διείσδυση αιολικής ισχύος σε κάθε αυτόνομο σύστημα (εγκατεστημένοι-αδειοδοτημένοι αιολικοί σταθμοί) είναι ήδη σε μεσαία έως υψηλά επίπεδα, κατά περίπτωση, και ότι
- ο υφιστάμενος βαθμός αυτοματοποιημένης διαχείρισης, στα νησιωτικά συστήματα, των συμβατικών σταθμών με τους σταθμούς Α.Π.Ε είναι από χαμηλός έως μηδενικός,

μπορεί να καθοριστεί μια προσωρινή, αλλά όχι δεσμευτική, τιμή φωτοβολταϊκής διείσδυσης.

Συγκεκριμένα προτείνεται, για την παρούσα φάση, η εφαρμογή γενικού ορίου διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος έως 10% της αιχμής του φορτίου, με επιτρεπτή τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών σταθμών, χωρίς περιορισμούς διείσδυσης και με θεώρηση μηδενικής αξιοπιστίας στην παραγωγή τους.

### 6.2. Περαιτέρω διερεύνηση

Η προαναφερθείσα διερεύνηση επικεντρώθηκε σε ορισμένες εκ των παραμέτρων που καθορίζουν την λειτουργία του συστήματος. Αναγκαία κρίνεται η εξέταση της λειτουργίας του αυτόνομου νησιωτικού συστήματος, διερευνώντας και τις υπόλοιπες

παραμέτρους που την διέπουν, καθώς και η επέκταση της μελέτης σε άλλα αυτόνομα συστήματα, πέραν της Σάμου, με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Η εξέταση νησιωτικών συστημάτων διαφορετικού μεγέθους, από μικρά συστήματα (της τάξης του MW) έως και μεγάλα συστήματα (αιχμή άνω των 100 MW), με διερεύνηση των ακραίων καταστάσεων διείσδυσης φωτοβολταϊκών και αιολικών, θα οδηγήσει σε ασφαλέστερη εξαγωγή των προαναφερόμενων γενικών συμπερασμάτων. Επίσης κρίνεται απαραίτητη η διερεύνηση της επίπτωσης σημαντικών χαρακτηριστικών και άλλων παραμέτρων του συστήματος, όπως:

- η καμπύλη διάρκειας του φορτίου
- το αιολικό δυναμικό του νησιού
- η σύνθεση του συμβατικού σταθμού παραγωγής,
- η πολιτική στρεφόμενης εφεδρείας που τηρείται,
- τα τεχνικά ελάχιστα και οι δυναμικοί περιορισμοί των μονάδων.

Σημαντική επίσης κρίνεται και η αντιμετώπιση ορισμένων πρακτικών ζητημάτων που απαιτεί η συνεργασία της λειτουργίας του συμβατικού σταθμού του αυτόνομου συστήματος και αυτής των φωτοβολταϊκών σταθμών (εκτίμηση φορτίου, υπολογισμός περιορισμών διείσδυσης κ.λ.π.).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Antonio Luque and Steven Hegends, 2002, ' Handbook of Photovoltaic Science and Engineering', Wiley.
2. Κ. Βουρνάς και Γ. Κονταξή, 2001, 'Εισαγωγή Στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας', Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
3. Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, 1997, ' Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Ανανεώσιμες Πηγές' , Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
4. Βασιλείου Κ. Παπαδιά, 1985, ' Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας', Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
5. Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, 1994, ' Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας' , Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
6. Duffie JA, Beckman WA (1991) Solar Engineering of Thermal Processes 2nd edition, Wiley, New York, NY
7. Graham VA, Hollands KGT (1990) A method to generate synthetic hourly solar radiation globally, *Solar Energy*, 44 (6), 333-341
8. Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL (2002) Wind Energy Explained, Wiley, New York, NY
9. Stevens MJM, Smulders PT (1979) The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes, *Wind Engineering*, 3, 132-145
10. Brett AC, Tuller SE (1991) The autocorrelation of hourly wind speed observations, *Journal of Applied Meteorology*, 30, 823-83
11. Manwell JF, McGowan JG (1993) Lead acid battery storage model for hybrid energy systems, *Solar Energy*, 50, 399-405
12. Barley CD, Winn CB (1996) Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems, *Solar Energy*, 58, 165-179
13. Tomas Mavkvart, 2000, 'Solar Electricity', second edition, John Wiley and Sons, LTD
14. Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου, 2004, 'Εκτίμηση Της Ενεργειακής Απόδοσης Αιολικών Πάρκων',
15. M. R. Patel, 1999, 'Wind And Solar Power Systems', CRC Press.
16. J.F. Walker, N. Jenkins, 1997, 'Wind Energy Technology', John Wiley and Sons

17. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Φεβρουάριος 2003, 'Μεθοδολογία Προσδιορισμού του Ορίου Δείσδυσης Α.Π.Ε. στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά'
18. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Ιούλιος 2001, 'Όδηγός Αξιολόγησης Αιτήσεων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Α.Π.Ε. και Μικρη ΣΗΘ'
19. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Φεβρουάριος 2006, 'Γνωμοδότηση για τη διαδικασία χορήγησης αδειών παραγωγής για σταθμούς ΑΠΕ μη ελεγχόμενης παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά'
20. Υπουργείο Ανάπτυξης, Μέρος Γ, 'Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) Και Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού Και Θερμότητας (ΣΗΘ)'
21. <http://re.jrc.cec.eu.int>
22. <http://www.nrel.gov/homer/>
23. <http://www.dei.gr/>
24. <http://www.ypan.gr>
25. <http://www.cres.gr/kape>
26. <http://www.rae.gr>