



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Οικονομοτεχνική μελέτη βέλτιστου σχεδιασμού μικρού
ηλεκτρικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

Διπλωματική Εργασία

Ανδρέου Αναστασία

Γιώτα Μαρία

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούλιος 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Οικονομοτεχνική μελέτη βέλτιστου σχεδιασμού μικρού
ηλεκτρικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

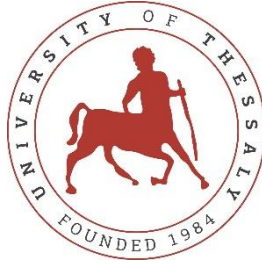
Διπλωματική Εργασία

Ανδρέου Αναστασία

Γιώτα Μαρία

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούλιος 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**Economic and technical study of the optimal design of a small
electrical network with renewable energy sources**

Diploma Thesis

Andreou Anastasia

Giota Maria

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

July 2025

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Μπαργιώτας Δημήτριος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Τσαλαπάτα Χαρίκλεια

Ε.ΔΙ.Π. , Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Δασκαλοπούλου Ασπασία

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Οι Δηλούσες

Ανδρέου Αναστασία

Γιώτα Μαρία

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarants

Andreou Anastasia

Giota Maria

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μας, Μπαργιώτα Δημήτριο, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας. Επίσης, ευχαριστούμε θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την κα Χαρίκλεια Τσαλαπάτα, Ε.ΔΙ.Π. του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και την κα Ασπασία Δασκαλοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του ίδιου Τμήματος, για τον χρόνο που διέθεσαν, τις παρατηρήσεις και τα εποικοδομητικά τους σχόλια, που συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Η επιστημονική του κατάρτιση, η προσήλωσή του στη λεπτομέρεια και η διαρκής διαθεσιμότητά του συνέβαλαν ουσιαστικά στην πρόοδο και την ολοκλήρωση της μελέτης μας. Οι εύστοχες παρατηρήσεις και οι καίριες παρεμβάσεις του αποτέλεσαν πολύτιμο εργαλείο για την εξέλιξή μας, τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

Ιδιαίτερα εκτιμούμε το ενδιαφέρον και τη διάθεση συνεργασίας που έδειξε σε κάθε στάδιο της εργασίας, καθώς και το υποστηρικτικό και ενθαρρυντικό του πνεύμα.

Είμαστε βαθιά ευγνώμονες για τη συμβολή του στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Με εκτίμηση,

Ανδρέου Αναστασία

Γιώτα Μαρία

Οικονομοτεχνική μελέτη βέλτιστου σχεδιασμού μικρού ηλεκτρικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ανδρέου Αναστασία

Γιώτα Μαρία

Περίληψη

Η επείγουσα ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα έχει αναδείξει τη σημασία της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως σε απομονωμένες νησιωτικές περιοχές. Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τις δυνατότητες ανάπτυξης συστημάτων αιολικής και ηλιακής ενέργειας στο νησί της Σκύρου, με στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETScreen, αναλύθηκαν διάφορα σενάρια αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου 2.000 kW, φωτοβολταϊκών συστημάτων στέγης συνολικής ισχύος 90 kW και ενός αιολικού πάρκου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα προτεινόμενα έργα είναι τεχνικά εφαρμόσιμα και οικονομικά βιώσιμα, με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO₂, της τάξης των 2.500 τόννων ετησίως. Επιπλέον, τα έργα παρουσίασαν υψηλό δείκτη απόδοσης (IRR) και σύντομο χρόνο απόσβεσης. Η μελέτη καταδεικνύει τη δυνατότητα της Σκύρου να καλύψει σημαντικό μέρος των ενεργειακών της αναγκών μέσω ΑΠΕ, τονίζοντας τον ρόλο του στρατηγικού ενεργειακού σχεδιασμού και της αξιοποίησης των τοπικών φυσικών πόρων στην ενεργειακή μετάβαση των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Λέξεις-κλειδιά: Αιολική Ενέργεια, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Βιωσιμότητα, Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου, Ενεργειακή Αυτονομία, Ενεργειακός Σχεδιασμός, Ηλιακή Ενέργεια, Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, RETScreen, Σκύρος, Φωτοβολταϊκά.

Economic and technical study of the optimal design of a small electrical network with renewable energy sources

Andreou Anastasia

Giota Maria

Abstract

The urgent need to address climate change and reduce dependence on fossil fuels has highlighted the importance of integrating renewable energy sources, especially in isolated island areas. This thesis explores the potential for developing wind and solar energy systems on the island of Skyros, with the aim of enhancing energy autonomy and environmental sustainability. Using the RETScreen software, various renewable energy development scenarios were analyzed, such as the installation of a 2,000 kW photovoltaic park, 90 kW rooftop photovoltaic systems and a wind farm. The results showed that the proposed projects are technically feasible and economically viable, with significant energy savings and a reduction in CO₂ emissions of around 2,500 tons per year. In addition, the projects presented a high rate of return (IRR) and a short payback period. The study demonstrates the potential of Skyros to cover a significant part of its energy needs through RES, highlighting the role of strategic energy planning and the utilization of local natural resources in the energy transition of non-interconnected islands.

Keywords:

Energy Autonomy, Energy Planning, Greenhouse Gas Emissions, Non-interconnected Islands, Photovoltaics, RETScreen, Renewable Energy, Skyros, Solar Energy, Sustainability, Wind Energy.

Πίνακας περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	<i>xiii</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>xv</i>
<i>Abstract</i>	<i>xvii</i>
<i>Πίνακας περιεχομένων</i>	<i>xix</i>
<i>Κατάλογος εικόνων</i>	<i>xxiii</i>
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	<i>xxv</i>
<i>Συντομογραφίες</i>	<i>xxvii</i>
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.2 Συνεισφορά.....	2
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	3
Κεφάλαιο 2 Περιβαλλοντικά Προβλήματα	5
2.1 Κλιματική αλλαγή.....	5
2.2 Προσπάθειες αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής.....	6
2.3 Ενεργειακό πρόβλημα	8
2.3.1 Το ενεργειακό πρόβλημα στην Ελλάδα- Στόχος Χώρας	9
Κεφάλαιο 3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	11
3.1 Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	11
3.1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα	11
3.2 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	15
3.3 Ενέργεια Βιομάζας.....	15
3.3.1 Έννοια και χαρακτηριστικά βιομάζας.....	15
3.3.2 Ενέργεια βιομάζας στην Ελλάδα.....	16
3.4 Γεωθερμική Ενέργεια	18
3.4.1 Έννοιες και χαρακτηριστικά Γεωθερμικής ενέργειας.....	18
3.4.2 Γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα.....	18

3.5 Ηλιακή Ενέργεια	19
3.5.1 Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια	19
3.5.2 Ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα	20
3.5.3 Εξελίξεις και Προγράμματα στην Ελλάδα:.....	20
3.6 Αιολική ενέργεια	21
3.6.1 Εισαγωγή στην Αιολική Ενέργεια.....	21
3.6.2 Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα	22
3.6.3 Εξελίξεις και Προγράμματα για την Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα	23
3.7 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	25
3.7.1 Εισαγωγή στην Υδροηλεκτρική Ενέργεια	25
3.7.2 Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα.....	26
3.7.3 Εξελίξεις και Προγράμματα για την Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα	27
3.8 Θαλάσσια Ενέργεια	29
3.8.1 Εισαγωγή στην Θαλάσσια Ενέργεια.....	29
3.8.2 Θαλάσσια Ενέργεια στην Ελλάδα	31
Κεφάλαιο 4 Το Λογισμικό RetScreen	35
4.1 Παρουσίαση του RETScreen.....	35
4.2 Το μοντέλο RETScreen Έργων Αιολικής Ενέργειας	35
4.2.1 Τυπική Ενεργειακή Παραγωγή	38
4.2.3 Κατανομή ταχύτητας ανέμου	38
4.2.4 Ενεργειακή καμπύλη.....	40
4.2.5 Τυπική Ενεργειακή Παραγωγή	42
4.2.6 Ακαθάριστη Ενεργειακή Παραγωγή.....	43
4.2.7 Αποδιδόμενη Ανανεώσιμη Ενέργεια.....	45
4.2.8 Συλλεγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια	46
4.2.9 Βαθμός απορρόφησης και αποδιδόμενη ανανεώσιμη ενέργεια	47
4.2.10 Διαθέσιμη πλεονάζουσα ανανεώσιμη ενέργεια.....	49
4.2.11 Συντελεστής δυναμικότητας αιολικής εγκατάστασης.....	49
4.2.12 Σύνοψη.....	50
4.3 Το Μοντέλο RETScreen Έργων Ηλιακής Ενέργειας και Φωτοβολταϊκών.....	51
4.3.1 Εισαγωγή Δεδομένων.....	52
4.3.2 Τύπος και Διαμόρφωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος	52
4.3.3 Υπολογισμός Παραγόμενης Ενέργειας	52
4.3.4 Αποδιδόμενη Ενέργεια στο Δίκτυο	53
4.3.5 Οικονομική Ανάλυση.....	53

4.3.6 Περιβαλλοντική Ανάλυση.....	53
4.3.7 Εφαρμογές και Περιορισμοί	54
4.3.8 Σύμπερασμα.....	54
Κεφάλαιο 5 Η νήσος Σκύρος.....	55
5.1 Η Σκύρος.....	55
5.2 Κλίμα και γεωγραφικά χαρακτηριστικά	55
5.3 Πως επηρεάζει το κλίμα του νησιού τους κατοίκους του στην κατανάλωση ενέργειας	56
5.4 Κατανάλωση ενέργειας στη νήσο Σκύρο	57
5.4.1 Χαρακτηριστικά Συστήματος Ηλεκτροδότησης στη Σκύρο.....	58
5.5 Γιατί επιλέχθηκε η νήσος Σκύρος.....	59
5.6 Σύνδεση της νήσου Σκύρου με το ηπειρωτικό δίκτυο.....	60
5.7 Η Ηλιακή Ακτινοβολία στη Νήσο Σκύρο και οι Προοπτικές Αξιοποίησής της για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	61
5.8 Η Αιολική Ενέργεια στη Νήσο Σκύρο και η Επάρκειά της για την Κάλυψη των Τοπικών Ενεργειακών Αναγκών	63
Κεφάλαιο 6 Ενεργειακή, Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση Αιολικού Πάρκου με τη Χρήση του Λογισμικού Ανάλυσης Έργων Καθαρής Ενέργειας RETScreen.....	65
6.1 Περιγραφή Αιολικού Πάρκου	65
6.1.1 Τοποθεσία.....	65
6.1.2 Τύπος Ανεμογεννήτριας.....	67
6.2 Ανάλυση Κόστους.....	76
6.2.1 Ετήσια Κόστη	81
6.2.2 Περιοδικά Κόστη	82
6.3 Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών RETScreen– Έργο Ηλεκτροπαραγωγής και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	83
6.4 Συμπέρασμα.....	84
Κεφάλαιο 7 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκού πάρκου των 2000KW στη Σκύρο.....	86
7.1 Περιβαλλοντική αδειοδότηση.....	87
7.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο.....	90
7.2.1 Φωτοβολταϊκό.....	96

7.2.2 Ανάλυση Κόστους	97
7.3 Συμπέρασμα	110
Κεφάλαιο 8 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκών σε στέγες συνολικής ισχύος 90 KW.....	112
8.1 Φωτοβολταϊκό πάρκο στη στέγη	117
8.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	120
8.1.2 Ανάλυση Κόστους Επένδυσης.....	121
8.1.3 Ετήσια και Περιοδικά Κόστη	125
8.1.4 Ανάλυση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑΤΘ)	127
8.1.5 Οικονομική Ανάλυση και Ερμηνεία Ετήσιας Χρηματορροής.....	130
8.2 Συμπέρασμα.....	133
Κεφάλαιο 9 - Συμπεράσματα	135
Βιβλιογραφία.....	138
Παράρτημα Α	143

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Στόχοι της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια.....	10
Εικόνα 2: Στερεό βιοκαύσιμο	16
Εικόνα 3: Κλιματικά στοιχεία για τη Νήσο Σκύρο	56
Εικόνα 4: Στιγμιότυπο από το RETscreen για την επιλογή των Α/Γ με τα συνολικά kW	69
Εικόνα 5: Δεδομένα ταχύτητας ανέμου (m/s) σε σχέση με την παραγόμενη ενέργεια (MWh)	70
Εικόνα 6: Απώλειες των Α/Γ από τη χρήση τους και τα συνολικά έσοδα από την πώληση ηλεκτρισμού	74
Εικόνα 7: Πληροφορίες για τους στροβίλους των Α/Γ	75
Εικόνα 8: Οικονομική ανάλυση του κόστους κατασκευής.....	80
Εικόνα 9: Οικονομική ανάλυση του κόστους τοποθέτησης	80
Εικόνα 10: Οικονομική ανάλυση του κόστους συντήρησης.....	81
Εικόνα 11: Περιοδικά κόστη της κατασκευής	83
Εικόνα 12: Πληροφορίες εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου	87
Εικόνα 13: Τοποθεσία εγκατάστασης.....	91
Εικόνα 14: Μηνιαία κλιματικά δεδομένα της τοποθεσίας.....	92
Εικόνα 15: Συνάρτηση κλιματικών δεδομένων-ηλιακής ακτινοβολίας	92
Εικόνα 16: Μηνιαίες καταναλώσεις ρεύματος	94
Εικόνα 17: Ειδικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πάνελ.....	95
Εικόνα 18: Οικονομική ανάλυση κόστους κατασκευής	101
Εικόνα 19: Οικονομική ανάλυση περιοδικών κοστών	102
Εικόνα 20: Ανάλυση εκπομπών του Φ/Β συστήματος	103
Εικόνα 21: Συνάρτηση χρηματικού κόστους-έτους	105
Εικόνα 22: Διάγραμμα ετήσιας χρηματορροής	106
Εικόνα 23: Ετήσιες χρηματορροές αθροιστικά και προ φόρων	106
Εικόνα 24: Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας.....	107
Εικόνα 25: Ανάλυση οικονομικής επικινδυνότητας	108
Εικόνα 26: Περιγραφή της Εγκατάστασης	113

Εικόνα 27: Ετήσια μεταβολή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και της μέσης θερμοκρασίας ανά μήνα.....	115
Εικόνα 28: Μηνιαία κλιματικά δεδομένα της τοποθεσίας.....	119
Εικόνα 29: Μηνιαίες καταναλώσεις ρεύματος	120
Εικόνα 30: Ειδικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πάνελ.....	121
Εικόνα 31: Ετήσια έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο με τιμή 0,061 €/kWh.....	121
Εικόνα 32: Οικονομική ανάλυση κόστους κατασκευής	125
Εικόνα 33: Οικονομική ανάλυση συντήρησης	127
Εικόνα 34: Σύγκριση εκπομπών CO ₂ μεταξύ σεναρίου και προτεινόμενης λύσης.....	129
Εικόνα 35: Συνάρτηση χρηματικού κόστους-έτος.....	132
Εικόνα 36: Διάγραμμα ετήσιας χρηματορροής	133

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Προτεινόμενοι βαθμοί απορρόφησης αιολικής ενέργειας για εφαρμογές απομονωμένου δικτύου και εκτός-δικτύου	48
Πίνακας 2: Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Σκύρο (ανά μήνα)	58
Πίνακας 3: Η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στη Σκύρο	62
Πίνακας 4: Συντεταγμένες Θέσεων Α/Γ	66
Πίνακας 5: Ταχύτητα ανέμου-ισχύς	68
Πίνακας 6: Όροι αδειοδότησης σχετικά με τα MW	88
Πίνακας 7: Πίνακας συντεταγμένων.....	114
Πίνακας 8: Πίνακας ετήσιων χρηματορροών αθροιστικά και προ φόρων	131

Συντομογραφίες

Συντομογραφία Επεξήγηση (Ελληνικά)

Explanation (English)

ΑΠΕ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Renewable Energy Sources
(RES)

ΔΕΔΔΗΕ Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου
 Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Hellenic Electricity Distribution
Network Operator

ΕΜΥ Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

Hellenic National
Meteorological Service

ΡΑΕ Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

Regulatory Authority for Energy

kW Κιλοβάτ

Kilowatt

kWh Κιλοβατώρα

Kilowatt-hour

MW Μεγαβάτ

Megawatt

PV Φωτοβολταϊκό

Photovoltaic

RETScreen Λογισμικό ανάλυσης έργων καθαρής
 ενέργειας

Clean Energy Project Analysis
Software

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποτελεί πλέον μια από τις πιο πειστικές παγκόσμιες προκλήσεις, που επηρεάζει τα οικοσυστήματα, τις οικονομίες και τις ανθρώπινες κοινωνίες [1], [2]. Η αύξηση των μέσων παγκόσμιων θερμοκρασιών, η εντατικοποίηση των ακραίων καιρικών φαινομένων και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι μερικές από τις πιο ανησυχητικές συνέπειες που αποδίδονται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [3], [4].

Η παραγωγή ενέργειας, που βασίζεται κυρίως σε ορυκτά καύσιμα, είναι μια από τις κύριες αιτίες αυτών των εκπομπών [5], [6]. Ως αποτέλεσμα, το παγκόσμιο ενδιαφέρον έχει στραφεί προς την υιοθέτηση τεχνολογιών καθαρής ενέργειας και την προώθηση μοντέλων βιώσιμης ανάπτυξης που δίνουν έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) όπως η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα και η γεωθερμική ενέργεια [7], [8], [9].

Η Ελλάδα έχει σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα στον τομέα αυτό λόγω της γεωγραφικής της θέσης και των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών, ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές της [10], [11]. Πολλά ελληνικά νησιά, όπως η Σκύρος, αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες ενεργειακές προκλήσεις λόγω της απομόνωσής τους από το κεντρικό δίκτυο και της εξάρτησής τους από ακριβές και ρυπογόνες γεννήτριες ντίζελ για την ηλεκτρική ενέργεια.

Η μετάβαση στην ενεργειακή αυτονομία μέσω των ΑΠΕ όχι μόνο εξυπηρετεί περιβαλλοντικούς στόχους αλλά ενισχύει και την ενεργειακή ασφάλεια και την οικονομική βιωσιμότητα για αυτές τις απομακρυσμένες κοινότητες [10], [12], [13].

1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στο νησί της Σκύρου και διερευνά την ικανότητά του να μεταβεί στην ενεργειακή αυτονομία μέσω της ενσωμάτωσης υβριδικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζονται περιλαμβάνουν:

- Υψηλή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα
- Υποβάθμιση του περιβάλλοντος που προκαλείται από συμβατικές πηγές ενέργειας
- Έλλειψη στρατηγικού σχεδιασμού για μακροπρόθεσμα βιώσιμα ενεργειακά μοντέλα [14], [15].

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει τα κλιματικά δεδομένα του νησιού, τα προφίλ ζήτησης ενέργειας και τις υπάρχουσες υποδομές [10], [16] και στη συνέχεια προτείνει ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα βασισμένο στην αιολική και ηλιακή ενέργεια, συμπληρωμένο από τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Το εργαλείο RETScreen [17] χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση ενεργειακής απόδοσης και εξετάζονται πολλαπλά σενάρια για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

1.2 Συνεισφορά

Η παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλλει στον τομέα της ενεργειακής μετάβασης και του βιώσιμου σχεδιασμού αυτόνομων ενεργειακών συστημάτων, ειδικά για νησιωτικές περιοχές, ως ακολούθως:

1. Μελετώντας την τρέχουσα κατάσταση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας στο νησί της Σκύρου χρησιμοποιώντας δημόσια διαθέσιμα δεδομένα [17], [18].
2. Ανάλυση τοπικών μετεωρολογικών δεδομένων για τον προσδιορισμό του δυναμικού ΑΠΕ [19].
3. Σχεδιάζοντας ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες και αποθήκευση σε μπαταρίες [12].
4. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETScreen για την προσομοίωση και αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος [17].
5. Προτείνοντας μια βέλτιστη διαμόρφωση που να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού με βιώσιμο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο [10], [19].

1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε εννέα κεφάλαια, καθένα από τα οποία διαδραματίζει συγκεκριμένο ρόλο στην ανάπτυξη και ανάλυση εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στο νησί της Σκύρου:

- Το Κεφάλαιο 2 παρέχει μια επισκόπηση των τρεχόντων περιβαλλοντικών προβλημάτων, με έμφαση στην κλιματική αλλαγή και τις παγκόσμιες και εθνικές προσπάθειες για τον μετριασμό των επιπτώσεών της. Συζητά επίσης το ευρύτερο ενεργειακό πρόβλημα και τους εθνικούς στόχους της Ελλάδας για την αντιμετώπισή του.
- Το Κεφάλαιο 3 εισάγει τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), περιγράφοντας τις κατηγορίες τους, τα οφέλη και την τρέχουσα κατάσταση της ανάπτυξής τους στην Ελλάδα. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη βιομάζα, τη γεωθερμική, την ηλιακή, την αιολική, την υδροηλεκτρική και τη θαλάσσια ενέργεια.

- Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει το λογισμικό RETScreen και τις δυνατότητές του. Περιγράφει το μοντέλο έργου αιολικής ενέργειας στο λογισμικό και περιγράφει λεπτομερώς τους υπολογισμούς του, όπως η παραγωγή ενέργειας, ο συντελεστής χωρητικότητας και οι μετρήσεις απόδοσης του συστήματος.
- Το Κεφάλαιο 5 εστιάζει στο νησί της Σκύρου. Αναλύει τη γεωγραφία, το κλίμα, την κατανάλωση ενέργειας του νησιού και τη λογική πίσω από την επιλογή της Σκύρου ως μελέτη περίπτωσης. Αξιολογεί επίσης το ηλιακό και αιολικό δυναμικό του νησιού.
- Το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει την ενεργειακή, περιβαλλοντική και οικονομική ανάλυση ενός αιολικού πάρκου στη Σκύρο, χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETScreen. Εξετάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά, το κόστος και τα περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η μείωση των εκπομπών CO₂.
- Το Κεφάλαιο 7 περιγράφει τον σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού (Φ/Β) πάρκου ισχύος 2000 kW στη Σκύρο, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων περιβαλλοντικής αδειοδότησης και των αναμενόμενων οφελών.
- Το Κεφάλαιο 8 διερευνά τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων στέγης συνολικής ισχύος 90 kW, ως πρόσθετο μέτρο για την αύξηση της ενεργειακής ανεξαρτησίας στο νησί.

Το Κεφάλαιο 9 ολοκληρώνει τη διπλωματική εργασία συνοψίζοντας τα βασικά ευρήματα, επισημαίνοντας την πρωτοτυπία και τη συμβολή της έρευνας, τις προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν και προτείνοντας κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2 Περιβαλλοντικά Προβλήματα

2.1 Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή είναι πλέον ένα από τα πιο φλέγοντα ζητήματα της ανθρωπότητας. Έχει κάνει πλέον αισθητή την παρουσία της σε όλες τις εκφάνσεις της καθημερινότητας του ανθρώπου. Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η παγκόσμια αλλαγή κλίματος και ιδιαίτερα αναφέρεται στη μεταβολή μετεωρολογικών συνθηκών σε βάθους χρόνου. Η κλιματική αλλαγή οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες όσο και στην ανθρώπινη δραστηριότητα με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη, την τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας, αλλαγή των καιρικών φαινομένων στη Γη, όπως η θερμοκρασία, η στάθμη της θάλασσας και ο υετός. Αξίζει να σημειωθεί εδώ πως στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια [17].

Κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η καύση ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο. Κατά την καύση αυτών παράγονται τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου. Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου που αυξάνουν τη θερμοκρασία του πλανήτη είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), οξείδια του αζώτου (N_2O), χλωροφθοράνθρακες (CFC) και όζον (O_3). Το πρόβλημα με τα αέρια αυτά είναι ότι παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η θερμότητα συγκρατείται στην ατμόσφαιρα της Γης και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς της. Ένα μέρος της θερμότητας προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και ένα άλλο από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Να σημειωθεί ότι χωρίς το φυσικό

φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση στους -18°C , ενώ στην πράξη είναι στους 14°C και έτσι η Γη καθίσταται κατοικήσιμη. Ωστόσο η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει συμβάλλει ραγδαία στην αύξηση του φαινομένου της τάξης του 31% την περίοδο 1750-1998 [5].

2.2 Προσπάθειες αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

Σήμερα η ανθρωπότητα έχοντας γευτεί τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (π.χ. τυφώνες, πλημμύρες, μακριές περίοδοι ξηρασίας, υψηλές θερμοκρασίες) τείνει να προσαρμόζεται σε αυτή την κατάσταση ενισχύοντας την ανθεκτικότητα της κοινωνίας μας. Αυτό μεταφράζεται ως προσαρμογή των γεωργικών και δασοκομικών πρακτικών, διασφάλιση ότι τα κτίρια και οι υποδομές είναι σε θέση να αντέξουν μελλοντικές κλιματικές συνθήκες και ακραία καιρικά φαινόμενα. Εάν, λοιπόν, δεν είναι εφικτό να ανατρέψουμε την κλιματική αλλαγή, μπορούμε τουλάχιστον να μετριάσουμε τις επιπτώσεις της [6].

Μερικούς από τους τρόπους αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, οι «καθαρές» συγκοινωνίες και μεταφορές, η απεξάρτηση της Ευρώπης από τον άνθρακα, η φιλική για το περιβάλλον γεωργία και η προστασία των δασών.

Αναλυτικότερα:

- Εξοικονόμηση Ενέργειας
- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την ενεργειακή αποδοτικότητα τους μπορούν να συμβάλουν στη μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και στην αναχαίτιση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η ΕΕ πρόσφατα συμφώνησε να φτάσει στο 32,5% το ποσοστό της ενεργειακής αποδοτικότητας και στο 32% την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μείγμα μέχρι το έτος 2030.

- «Καθαρές» συγκοινωνίες και μεταφορές
- Οι οδικές συγκοινωνίες και οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 1/5 όλων των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ. Έχει προωθηθεί από την ΕΕ νομοθεσία βάσει της οποίας οι εκπομπές CO₂ από τα νέα αυτοκίνητα θα πρέπει να υποχωρήσουν κατά 30% μεταξύ των ετών 2021 και 2030.
- Απεξάρτηση της Ευρώπης από τον άνθρακα
- Το 2015 το 18% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ προερχόταν από 284 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το κάρβουνο. Πολλές χώρες της ΕΕ ήδη εφαρμόζουν πλάνα για τον περιορισμό της λειτουργίας αυτών των μονάδων, που είναι υπεύθυνες και για 20 χιλιάδες πρόωρους θανάτους ετησίως. Υπάρχουν όμως και κράτη που δεν έχουν ακόμη σχετική στρατηγική.
- Γεωργία
- Η γεωργία είναι ένας κλάδος που έχει αισθανθεί έντονα τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις σοδιές τους. Ωστόσο και η ίδια η αγροτική παραγωγή ζημιώνει το περιβάλλον, καθώς πάνω από το 10% όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από τον αγροτικό κλάδο.
- Δάση
- Η ικανότητα των δέντρων να απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα τα καθιστά να είναι ένα από τα σημαντικότερα όπλα μας στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Το 42% της Ευρώπης καλύπτεται από δάση. Δυστυχώς όμως η αλλαγή των χρήσεων γης και η ανάγκη για απελευθέρωση μεγάλων εκτάσεων από τον φυτικό πλούτο τους, προκειμένου να καλλιεργούνται ζωοτροφές ή «ενεργειακά» φυτά για παραγωγή βιοκαυσίμων, απειλεί τα δάση.

2.3 Ενεργειακό πρόβλημα

Ο άνθρωπος είναι εκ φύσεως άρρηκτα συνδεδεμένος με την ενέργεια. Αρχικά όπως όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί ο άνθρωπος μέσω της τροφής καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του οργανισμού του. Σε επόμενο στάδιο η ενέργεια που υπάρχει άφθονη στο φυσικό περιβάλλον (ηλιακή, αιολική, υδραυλική ενέργεια) αποτέλεσαν το έναυσμα να δημιουργηθούν στον άνθρωπο ένα σύνολο ιδιαίτερων ψυχοπνευματικών αναγκών οι οποίες οδήγησαν στη μεγαλειώδη εξελικτική του πορεία φτάνοντας στον σημερινό τεχνολογικό ορυμαγδό. Τα ίδια αυτά στοιχεία θα καθορίσουν την πορεία και την τεχνολογική εξέλιξή του και στο μέλλον, μόνο που οι πρώτες ανησυχίες τόσο για τις επιπτώσεις στον ίδιο και στο περιβάλλον, όσο και για την τελική κατάληξη αυτής της πορείας, πολλαπλασιάζονται και ενισχύονται με ανάλογους ρυθμούς [6].

Σαν όρος το ενεργειακό πρόβλημα έρχεται στο προσκήνιο τη δεκαετία του 1950 και πρακτικά δηλώνει τη συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων που μειώνονται διαρκώς με την συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για κατανάλωση ενέργειας. Το ενεργειακό πρόβλημα αναφέρεται κυρίως στην ελαχιστοποίηση των αποθεμάτων της γης, κυρίως από συμβατικές πηγές ενέργειας. Η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη του ανθρώπου για ανάπτυξη βιοτικού επιπέδου του, οδήγησε στην κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας διογκώνοντας το πρόβλημα.

Από τις κυριότερες αιτίες δημιουργίας του ενεργειακού προβλήματος είναι:

- η εξάντληση των συμβατικών πηγών ενέργειας
- η αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας
- η ανοδική τάση των τιμών ενέργειας
- η ρύπανση του περιβάλλοντος
- οι απώλειες ενέργειας.

Προτού, λοιπόν, η κατάσταση με το ενεργειακό πρόβλημα ανακηρυχθεί σε μη αναστρέψιμη, ο άνθρωπος άρχισε να συνειδητοποιεί ότι απομύζηση των

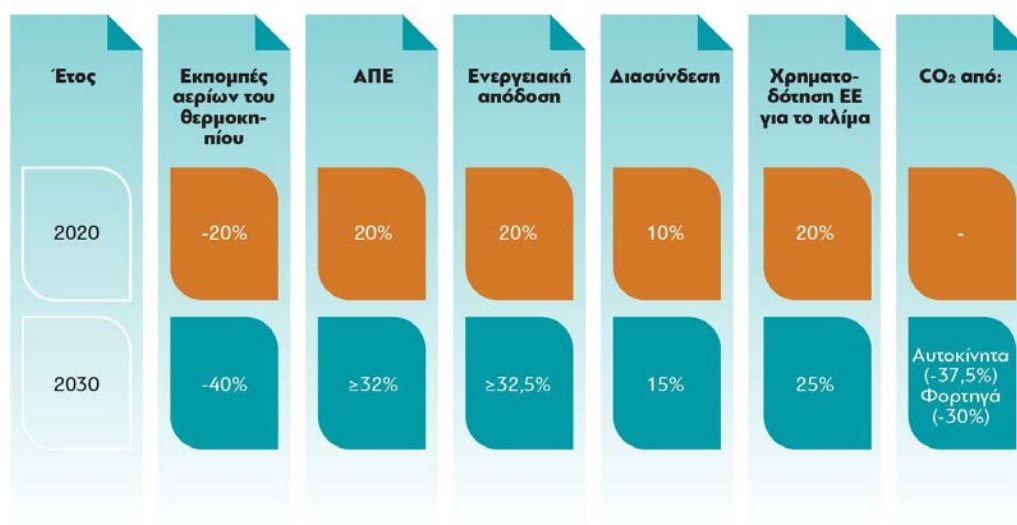
ενεργειακών πόρων οδηγεί σε αδιέξοδο και στράφηκε στην αναζήτηση λύσεων. Η εξοικονόμηση ενέργειας και η αναζήτηση άλλων μορφών ενέργειας, κυρίως ΑΠΕ, αποτελούν οι κύριες λύσεις για το ενεργειακό πρόβλημα [20].

2.3.1 Το ενεργειακό πρόβλημα στην Ελλάδα- Στόχος Χώρας

Η μετάβαση της Ελλάδας σε καθαρές μορφές ενέργειας αποτυπώνεται στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο προβλέπει διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά 35% σε μια δεκαετία, από 17% σήμερα. Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας, όπως και αυτό πολλών άλλων χωρών, ιδίως στη ΕΕ, εισέρχεται τώρα σε μια μεταβατική περίοδο με απώτερο στόχο την αποφυγή άνθρακα στην παραγωγή και χρήση ενέργειας και τη μετάβαση σε ένα πλέον καθαρό περιβάλλον, με δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για το 2030, με έμφαση στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Οι κύριοι στόχοι συνοψίζονται στην Εικόνα 1, η οποία απεικονίζει την πορεία μείωσης των εκπομπών και τις επιμέρους συνιστώσες της ευρωπαϊκής ενεργειακής στρατηγικής. Το 2019, η Ελλάδα αναδείχθηκε από ουραγός των εξελίξεων στην κλιματική πολιτική σε πρωταγωνίστρια, με την χώρα να στοχεύει πλέον στο κλείσιμο όλων των λιγνιτικών μονάδων το αργότερο έως το 2028. Η δέσμευση αυτή ενσωματώθηκε και στο νέο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), ενώ το νέο επιχειρηματικό σχέδιο της ΔΕΗ περιλαμβάνει την απόσυρση όλων των υφιστάμενων λιγνιτικών μονάδων ως το 2023 [16].

Έτσι, η Ελλάδα εντάσσεται πλέον στην ομάδα των 15 πιο προοδευτικών χωρών της ΕΕ, που αποφάσισαν ήδη την πλήρη απεξάρτησή τους από τον άνθρακα/λιγνίτη στον πλανήτη και ταυτόχρονα αποτελεί την πρώτη χώρα παραγωγής λιγνίτη στην ΕΕ που θέτει ημερομηνία απολιγνιτοποίησης πριν 2030.

Διάγραμμα. Στόχοι της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια



Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Εικόνα 1: Στόχοι της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια

Κεφάλαιο 3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

3.1 Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ο όρος ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναφέρεται στις μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικούς πόρους όπως ο άνεμος, ο ήλιος και η κυκλοφορία του νερού, των οποίων τα αποθέματα ανανεώνονται φυσικά. Το γεγονός αυτό τις κάνει πρακτικά και ανεξάντλητες. Οι μορφές αυτές ενέργειας ήταν και οι πρώτες μορφές που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα όμως η ανακάλυψη μεγάλων κοιτασμάτων πετρελαίου έστρεψε τον κόσμο την αποκλειστική χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως άνθρακα και υδρογονανθράκων. Ωστόσο οι δύο πετρελαϊκές κρίση το 1973 και 1979-80 καθιστούν ορόσημο για την παραδοχή πως η πλήρης εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και ιδιαίτερα το πετρέλαιο οδηγεί σε αδιέξοδο [21].

Οι βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες φέρουν ως μόνη λύση του ενεργειακού προβλήματος αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ακόμη αλόγιστη σπατάλη των διαθέσιμων πόρων έχει επιφέρει προβλήματα βιωσιμότητας στον πλανήτη μας. Η ρύπανση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι παράγοντες που επιβάλλουν πλέον τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

3.1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα βρίσκεται σε στρατηγική θέση στην άκρη της Ευρώπης, στραμμένη προς την Ανατολή και το Νότο, με ισχυρούς (και όχι πάντα φιλικούς) δεσμούς με χώρες της Ασίας και της Αφρικής. Η θέση της, ακριβώς στο σταυροδρόμι της ηπείρου, σε

συνδυασμό με τις στρατηγικές συμμαχίες που έχει συνάψει η Ελλάδα με την Κύπρο, το Ισραήλ (και την πρόσφατη στενή συνεργασία με την Αίγυπτο) έχει πλέον την ευκαιρία να διαδραματίσει βασικό ρόλο σε πολλές περιφερειακές αγορές ενέργειας, όπως αυτή της των Βαλκανίων ή της εξαιρετικά σημαντικής της Νοτιοανατολικής Μεσογείου [13].

Η Ελλάδα είναι επίσης ευλογημένη με τεράστιο διαθέσιμο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική και άλλα) σε συνδυασμό με πολλά συνεχιζόμενα μαζικά έργα υποδομής που αφορούν την Ελλάδα (TAP, EastMed Gas Pipelines, EuroAsia Interconnector κ.λπ.) δείχνουν ότι οι Έλληνες μπορούν να διεκδικήσουν σημαντική θέση στην ΕΕ πίνακα λήψης αποφάσεων σχετικά με την ενεργειακή της στρατηγική.

Η Ελλάδα αναδεικνύεται ως βασικός παίκτης στη μεταφορά ενέργειας από την Ανατολή στη Δύση μέσω έργων αγωγών, διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο και εναλλακτικών μέσων διασφάλισης της ασφάλειας του εφοδιασμού μέσω υπεράκτιων αποθεμάτων.

Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας έχει επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, αλλά υφίσταται σημαντική μεταμόρφωση. Κύριο χαρακτηριστικό του σήμερα είναι η προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης συμβατικών (ορυκτών) καυσίμων, όπως ο λιγνίτης. Η Ελλάδα επέλεξε στρατηγικά να επενδύσει στον λιγνίτη και τον θεωρούσε θεμελιώδες για το ενεργειακό της μείγμα, μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70. Εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική εξάρτηση από τις εισαγωγές αργού πετρελαίου (και άλλων προϊόντων πετρελαίου) μαζί με το φυσικό αέριο. Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε αυξανόμενη διείσδυση φυσικού αερίου στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας, αν και το μερίδιό του στην πίτα είναι ακόμα μικρό και πολύ μικρότερο από τα ευρωπαϊκά πρότυπα [16]. Η Ελλάδα επιδιώκει ενεργά τη σύγκλιση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, εφαρμόζοντας εθνικές πολιτικές όπως η εισαγωγή του φόρου CO₂. Ο ενεργειακός τομέας σε αυτή τη χώρα έχει μεγαλύτερη συμβολή στην ακαθάριστη προστιθέμενη αξία των περισσότερων χωρών της ΕΕ και οι προβλέψεις δείχνουν περαιτέρω επέκταση λόγω ορισμένων παραγόντων [1].

- Η απαραίτητη περαιτέρω βελτιστοποίηση του ενεργειακού μείγματος, που σημαίνει μείωση της παραγόμενης από ορυκτά καύσιμα ηλεκτρικής ενέργειας και αυξημένη συνεισφορά από ΑΠΕ. Αυτό θα οδηγηθεί τόσο από την αναθεωρημένη πολιτική της ΕΕ για 35% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2030, όσο και από την προτίμηση για φθηνότερες και καθαρότερες πηγές ενέργειας όπως το φυσικό αέριο.
- Η προγραμματισμένη από την ελληνική κυβέρνηση ιδιωτικοποίηση σημαντικών ενεργειακών περιουσιακών στοιχείων όπως η ΔΕΗ, η εταιρεία διανομής φυσικού αερίου (ΔΕΠΑ), ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) και τα Ελληνικά Πετρέλαια.
- Η απελευθέρωση και ολοκληρωτική ιδιωτικοποίηση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου και ο περαιτέρω διαχωρισμός της παραγωγής και της προσφοράς από τα δίκτυα μεταφοράς.
- Η δυνατότητα να γίνει πύλη για φυσικό αέριο, ηλεκτρική ενέργεια και πετρελαϊκούς πόρους μέσω μεγάλων έργων υποδομής όπως οι αγωγοί φυσικού αερίου TAP, IGB και EastMed, η EuroAsia Interconnector ή η εξερεύνηση και παραγωγή φυσικού αερίου και πετρελαίου.
- Νέες εξελίξεις σε τεχνολογίες όπως η έξυπνη μέτρηση, οι τεχνολογίες έξυπνου δικτύου, ο φωτισμός LED, τα ενεργειακά αποδοτικά κτίρια και άλλα.
- Το ελληνικό σχέδιο στοχεύει στην εξασφάλιση 12,73 δισεκατομμυρίων ευρώ από κονδύλια της ΕΕ πέρα από 18,2 δισεκατομμύρια ευρώ σε επιχορηγήσεις και αναμένεται να προσελκύσει 26,5 δισεκατομμύρια ευρώ μετρητά από τον ιδιωτικό τομέα τα 54,5 δισεκατομμύρια ευρώ που εξετάζει η κυβέρνηση ότι θα ενισχύσουν το ελληνικό ΑΕΠ κατά 7% έως το 2026 .
- Ο ελληνικός ενεργειακός τομέας υφίσταται μεγάλη μεταμόρφωση, επιδιώκοντας να απομακρυνθεί από την εξάρτησή του από τον λιγνίτη (μέχρι το ένα πέμπτο της παραγωγής ενέργειας το 2019) σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου λιγότερης έντασης άνθρακα.

Η στρατηγική αυτή στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά περισσότερο από 55% έως το 2030, μέσω ενός συνδυασμού παρεμβάσεων:

- Σταδιακή κατάργηση και των 4 GW λιγνιτικής δυναμικότητας έως το 2028.
- Χρησιμοποιώντας 8,7 GW νέας δυναμικότητας παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα προστεθεί έως το 2030.
- Προσθήκη νέας δυναμικότητας παραγωγής φυσικού αερίου 2GW για υποστήριξη και ασφάλεια του συστήματος.

Το ελληνικό πρόγραμμα ανάκαμψης περιλαμβάνει σχέδια για έως και 1,38 GW αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας και μπαταριών, με ειδική ομάδα που εργάζεται για το κανονιστικό πλαίσιο αποθήκευσης ενέργειας φέτος. Τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα και περαιτέρω εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών είναι επίσης σημαντικές πτυχές του προγράμματος. Οι υποδομές επαγγελματικών οχημάτων θα κινηθούν επίσης προς τα ηλεκτρικά οχήματα, μια κίνηση που χρηματοδοτείται ή τουλάχιστον υποστηρίζεται από κρατικούς πόρους. Υπάρχουν επίσης σχέδια για την επέκταση ενός εθνικού δικτύου φόρτισης EV για να υποστηρίξει την κίνηση προς τα EV. Θα επεκταθεί επίσης η εν μέρει λειτουργική ηλεκτρική διασύνδεση μεταξύ της ηπειρωτικής χώρας και του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων.

Η κίνηση της χώρας προς ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον και οι επακόλουθες θεμελιώδεις μετασχηματισμοί θα έχουν προκλήσεις και ορισμένες μεγάλες επιπτώσεις:

- Ανασχεδιασμός του δικτύου διανομής της χώρας για την υποστήριξη της μεγάλης κλίμακας υιοθέτησης διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Αντιμετώπιση των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων του μετασχηματισμού, πιθανώς ενάντια στη θέληση των τοπικών συμφερόντων και των συνδικάτων που εξαρτώνται από τα οικοσυστήματα που έχουν χτιστεί γύρω από την τρέχουσα υποδομή.

Οι μεγάλες ελληνικές ιδιωτικές εταιρείες πρωτοστατούν στα έργα ΑΠΕ σε όλη την Ελλάδα. Τέτοιες εταιρείες είναι μεταξύ άλλων η ΓΕΚ ΤΕΡΝΑ, ο Όμιλος Μυτιληναίος και η ΕΛΠΕ [7], [24].

3.2 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εστιάζουν περισσότερο στα άμεσα οφέλη που έχουν για το περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά έχουν οφέλη και στην ανθρώπινη δραστηριότητα.

- Συμβάλλουν στην μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου
- Συμβάλλουν στην απεξάρτηση των ανθρώπων από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και βοηθούν στην ανεξαρτητοποίηση και τον εφοδιασμό ενέργειας σε εθνικό επίπεδο
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών
- Συνήθως έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος

3.3 Ενέργεια Βιομάζας

3.3.1 Έννοια και χαρακτηριστικά βιομάζας

Με τον όρο βιομάζα αναφερόμαστε σε κάθε οργανική ύλη που αποτελεί βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων ή υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης. Στη βιομάζα συγκαταλέγονται τα βιομηχανικά απόβλητα και τα οικιακά απορρίμματα. Ουσιαστικά, η βιομάζα αποτελεί την ύλη που έχει άμεση ή έμμεση βιολογική προέλευση. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές μορφές στερεής βιομάζας που χρησιμοποιούνται ενεργειακά, όπως ξυλεία, γεωργικά

υπολείμματα και συμπιεσμένα pellets.



Εικόνα 2: Στερεό βιοκαύσιμο

Η βιομάζα ακόμη μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη για παραγωγή ενέργειας και εκεί κάνουμε λόγο για στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα. Παράδειγμα στερεού βιοκαυσίμου που ανήκει στην κατηγορία της ξυλώδους βιομάζας είναι τα πέλλετ ξύλου. Τα πέλλετ παράγονται μέσω μηχανικής συμπίεσης υπολειμμάτων ξύλου, όπως πριονίδι ή ξυλόσκονη, χωρίς τη χρήση χημικών προσθέτων. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες σε βιομάζα. Από τα φυτά μπορούμε να παράγουμε καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης και ντίζελ. Από την επεξεργασία αστικών αποβλήτων είναι δυνατόν παραχθεί βιοαέριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτροπαραγωγή [11].

3.3.2 Ενέργεια βιομάζας στην Ελλάδα

Η βιομάζα διαδραματίζει επίσης βασικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας συμβάλλοντας στη θέρμανση, την ψύξη και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μια πρόσφατη έκθεση υποδηλώνει ότι περίπου 450.000 τόνους καυσόξυλων χρησιμοποιούνται για σκοπούς θέρμανσης, καλύπτοντας έως και το 2% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας. Η αύξηση της χρήσης βιομάζας είναι ο κύριος μοχλός για την αύξηση κατά 144% των ΑΠΕ στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1990-2008. Ο διαθέσιμος πόρος βιομάζας από γεωργικά

και δασικά υπολείμματα ετησίως στην Ελλάδα ισοδυναμεί με το 30–40% της συνολικής κατανάλωσης πετρελαίου στη χώρα [25].

Στην Ελλάδα, τα διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ανά έτος ισοδυναμούν ενεργειακά με 3 έως 4 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντανakλά ενεργειακά στο 30- 40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο [7].

Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων [25].

3.4 Γεωθερμική Ενέργεια

3.4.1 Έννοιες και χαρακτηριστικά Γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που παράγεται από την εκμετάλλευση του υπόγειου γεωθερμικού δυναμικού. Πηγάζει στο εσωτερικό της Γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Έχει ελάχιστο έως μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να παράγει θερμική είτε και ηλεκτρική ενέργεια. Σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες κάθε περιοχής. Είναι μια ήπια ενεργειακή πηγή που αξιοποιείται από το 1904, ενώ με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Για να υπάρξει διαθέσιμο θερμό νερό ή ατμός σε μια περιοχή πρέπει να δημιουργηθεί κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας αποθήκευσης σε κοντινή απόσταση από το θερμό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή το νερό του ταμιευτήρα θερμαίνεται και ανεβαίνει προς την επιφάνεια, τα θερμικά αυτά ρευστά εμφανίζονται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού και αντλούνται για να χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια.

3.4.2 Γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα λόγω των γεωλογικών συνθηκών έχει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση γεωθερμικό δυναμικό με υψηλή θερμοκρασία ($>150^{\circ}\text{C}$) συναντάται στη Μήλο και τη Νίσυρο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγική ηλεκτρικής ισχύος. Σημαντικές και σοβαρές ενδείξεις για δυναμικό με μέσες θερμοκρασίες ($90-150^{\circ}\text{C}$) έχουμε σε λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας και σε πολλά μεγάλα νησιά του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρώτα για ηλεκτροπαραγωγή, και αμέσως μετά σε διάφορες άμεσες θερμικές χρήσεις. Τέλος πολύ μεγάλο δυναμικό με χαμηλή

θερμοκρασία (30-90°C) με τα κυριότερα αποθέματα να είναι εντοπισμένα στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα, και σε πολλά νησιά του Αιγαίου. Αυτό το δυναμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θέρμανση, δροσισμό και παροχή ζεστού νερού χρήσης. Δυστυχώς, όμως, στην Ελλάδα λιγότερο από το 1% του επιβεβαιωμένου γεωθερμικού δυναμικού της χώρας έχει αξιοποιηθεί έως σήμερα.

3.5 Ηλιακή Ενέργεια

3.5.1 Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η φωτεινή ακτινοβολία και θερμότητα που προέρχεται από τον Ήλιο και η οποία αξιοποιείται με τη χρήση μιας σειράς συνεχώς εξελισσόμενων τεχνολογιών, όπως είναι η ηλιακή θέρμανση, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η ηλιακή θερμική ενέργεια, η παθητική ηλιακή αρχιτεκτονική, οι εγκαταστάσεις παραγωγής τετηγμένου αλατιού και η τεχνητή φωτοσύνθεση. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, τη συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (πχ. ηλιακοί θερμοσίφωνες) και την ηλιακή θέρμανση του νερού για την αξιοποίηση της ενέργειας. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν τον προσανατολισμό ενός κτιρίου σε σχέση με τη θέση του Ήλιου στον ορίζοντα, την επιλογή υλικών με ευνοϊκές ιδιότητες θερμικής μάζας ή διασποράς του φωτός, και το σχεδιασμό χώρων όπου υπάρχει φυσική κυκλοφορία του αέρα. Ο ήλιος είναι ένας αστέρας με μάζα $2 \cdot 10^{30}$ kg, ακτίνα 700.000 km, ηλικία πέντε δισεκατομμύρια χρόνια και προσδόκιμο ζωής περίπου άλλα τόσα χρόνια. Η επιφανειακή θερμοκρασία του εκτιμάται σε 5.800 K, η θερμοκρασία του πυρήνα του σε 14.000.000 K και η μέση απόσταση από τη Γη είναι 15 εκατομμύρια km. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά και με σωματιδιακή μορφή. Η σωματιδιακή ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια [26].

3.5.2 Ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα

Η ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα έχει σημαντική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, λόγω των ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών και της ανάγκης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η Ελλάδα, με τον ήλιο να λάμπει πάνω από 300 ημέρες τον χρόνο σε πολλές περιοχές, έχει τεράστιες δυνατότητες στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων.

3.5.3 Εξελίξεις και Προγράμματα στην Ελλάδα:

1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα: Η Ελλάδα έχει επενδύσει σημαντικά στην ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων. Σήμερα, διαθέτει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά διείσδυσης φωτοβολταϊκών στην Ευρώπη, με εγκαταστάσεις τόσο σε οικιακό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο.
2. Υποστήριξη από το Κράτος: Η ελληνική κυβέρνηση προσφέρει επιδοτήσεις και φορολογικά κίνητρα για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κατοικίες και επιχειρήσεις. Ο «Νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» προωθεί τις ΑΠΕ, ενώ το σύστημα του net metering επιτρέπει στους καταναλωτές να μειώνουν το κόστος της ενέργειας μέσω αυτοπαραγωγής και πώλησης της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.
3. Προγράμματα Ευρωπαϊκής Χρηματοδότησης: Η Ελλάδα επωφελείται από ευρωπαϊκά προγράμματα και ταμεία, τα οποία ενισχύουν την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών και γενικότερα των τεχνολογιών ΑΠΕ. Τα προγράμματα αυτά ενθαρρύνουν την έρευνα, την καινοτομία και τις επενδύσεις στον τομέα της ηλιακής ενέργειας.
4. Αναπτυξιακό Μοντέλο: Οι ηλιακοί σταθμοί ενέργειας στην Ελλάδα αξιοποιούν περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια — όπως η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου και η Πελοπόννησος — προκειμένου να επιτυγχάνεται μέγιστη παραγωγικότητα.
5. Ανάπτυξη Μικρών Σταθμών και Υποδομών: Στο πλαίσιο της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας, πολλές περιοχές — κυρίως νησιωτικές — καλύπτουν σημαντικό μέρος των ενεργειακών τους αναγκών μέσω της ηλιακής ενέργειας,

μειώνοντας την εξάρτησή τους από το πετρέλαιο και το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

6. Μελλοντικά Σχέδια: Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Πράσινου Συμφώνου, η Ελλάδα έχει δεσμευτεί να αυξήσει τη συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό της μείγμα και να μειώσει τις εκπομπές CO₂. Η ηλιακή ενέργεια αναμένεται να διαδραματίσει καίριο ρόλο στην προσπάθεια αυτή.

Με τις παραπάνω εξελίξεις και επενδύσεις, η Ελλάδα προχωρά σταθερά προς μια πιο βιώσιμη και πράσινη ενεργειακή μετάβαση, αξιοποιώντας στο έπακρο τις πλούσιες φυσικές της δυνατότητες στον τομέα της ηλιακής ενέργειας [19].

3.6 Αιολική ενέργεια

3.6.1 Εισαγωγή στην Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), η οποία αξιοποιεί την κινητική ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με την αυξανόμενη ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη και μείωση των εκπομπών ρύπων, η αιολική ενέργεια έχει αποκτήσει κεντρικό ρόλο στην ενεργειακή πολιτική πολλών χωρών, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας.

Η αιολική ενέργεια προέρχεται από την κίνηση του αέρα στην ατμόσφαιρα, που δημιουργείται λόγω των διαφορών στην πίεση, την θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Ο άνεμος μεταφέρει κινητική ενέργεια, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια μέσω ανεμογεννητριών και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση γεννητριών [11].

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γίνεται κυρίως μέσω ανεμογεννητριών, οι οποίες τοποθετούνται σε περιοχές με σταθερή και επαρκή ταχύτητα ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια που περιστρέφει τις λεπίδες τους, κι αυτή με τη σειρά της οδηγεί τη γεννήτρια να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι πολλά: είναι ανανεώσιμη, καθαρή, μη ρυπογόνος και μειώνει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, συμβάλλει στη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Ωστόσο, η εγκατάσταση αιολικών πάρκων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικές, κοινωνικές και τεχνικές παραμέτρους.

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση των βασικών αρχών και τεχνολογιών της αιολικής ενέργειας, καθώς και στη διερεύνηση των προοπτικών και των προκλήσεων της χρήσης της, με έμφαση στην ελληνική πραγματικότητα.

3.6.2 Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η αιολική ενέργεια αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες της ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα, συμβάλλοντας σημαντικά στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών ρύπων και στην προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η γεωγραφική θέση της χώρας, η έντονη αιολική δραστηριότητα και το φυσικό ανάγλυφο, ιδίως στα νησιά και τις παράκτιες περιοχές, δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων [6].

Η Ελλάδα διαθέτει υψηλό αιολικό δυναμικό, με μέσες ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται από 6 έως 9 m/s σε πολλές περιοχές, ιδιαίτερα στη Βόρεια Ελλάδα, την Πελοπόννησο, την Εύβοια και τα νησιά του Αιγαίου. Η αξιοποίηση αυτού του δυναμικού έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με την εγκατάσταση αιολικών πάρκων συνολικής ισχύος

που ξεπερνά τα 4.000 MW, καθιστώντας τη χώρα σε μια από τις ηγετικές δυνάμεις στην Ευρώπη στον τομέα αυτό [5].

Η συμβολή της αιολικής ενέργειας στο ελληνικό ενεργειακό μείγμα είναι σημαντική, καλύπτοντας ποσοστό περίπου 15-20% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας της χώρας.

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως γραφειοκρατικά εμπόδια, κοινωνικές αντιδράσεις σε ορισμένες περιοχές λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών, και την ανάγκη διασύνδεσης απομακρυσμένων νησιών με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, η σταδιακή βελτίωση των κανονισμών και η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών αναμένεται να ενισχύσουν περαιτέρω την ανάπτυξη του κλάδου.

Συνολικά, η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την επίτευξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων της χώρας, προωθώντας την αειφόρο ανάπτυξη και τη μετάβαση σε ένα ενεργειακό μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα [10].

3.6.3 Εξελίξεις και Προγράμματα για την Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια, η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα έχει γνωρίσει σημαντική ανάπτυξη, υποστηριζόμενη από εθνικές και ευρωπαϊκές πολιτικές που προωθούν τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η χώρα έχει θέσει ως στόχο την αύξηση του ποσοστού των ΑΠΕ στο ενεργειακό της μείγμα, συμβάλλοντας στην εκπλήρωση των δεσμεύσεων για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης.

Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο περιλαμβάνει συγκεκριμένους στόχους για την αιολική ενέργεια. Σύμφωνα με

το ΕΣΕΚ, η αιολική ενέργεια θα καλύπτει σημαντικό ποσοστό της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030, με έμφαση στην εγκατάσταση νέων αιολικών πάρκων και την αναβάθμιση των υφιστάμενων [22].

Επιπλέον, η Ελλάδα επωφελείται από ευρωπαϊκά χρηματοδοτικά εργαλεία, όπως το Ταμείο Ανάκαμψης (Recovery and Resilience Facility - RRF) και το πρόγραμμα Horizon Europe, τα οποία υποστηρίζουν έργα αιολικής ενέργειας, έρευνα και καινοτομία στον τομέα των ΑΠΕ. Μέσω αυτών των προγραμμάτων, χρηματοδοτούνται έργα που στοχεύουν στην αύξηση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας των αιολικών εγκαταστάσεων [16]. Στον τεχνολογικό τομέα, σημαντικές εξελίξεις έχουν σημειωθεί με την εισαγωγή μεγαλύτερων και αποδοτικότερων ανεμογεννητριών, ικανών να λειτουργούν και με χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου, διευρύνοντας έτσι το δυναμικό εγκατάστασης σε περιοχές με μέτριες αιολικές συνθήκες. Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων (smart grids) ενισχύουν την αξιοπιστία και ευελιξία του συστήματος, συμβάλλοντας στην ομαλή ένταξη της αιολικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο [27].

Παραδείγματα επιτυχημένων εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα περιλαμβάνουν σημαντικά αιολικά πάρκα στη Σκύρο, την Κρήτη, την Εύβοια και τη Θράκη. Αυτές οι περιοχές αξιοποιούν το τοπικό αιολικό δυναμικό, αυξάνοντας την ενεργειακή αυτονομία τους και μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Παράλληλα, η χώρα προωθεί την ανάπτυξη θαλάσσιας αιολικής ενέργειας (offshore wind farms), με στόχο την περαιτέρω μεγέθυνση του αιολικού δυναμικού και την κάλυψη ενεργειακών αναγκών στις παράκτιες ζώνες [28].

Ωστόσο, παρά την πρόοδο, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η χωροθέτηση αιολικών πάρκων που πρέπει να γίνεται με σεβασμό στο περιβάλλον και την τοπική κοινωνία, η αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η ανάγκη για εκσυγχρονισμό των δικτύων διανομής. Η συνεχής βελτίωση του νομοθετικού πλαισίου και η επένδυση στην έρευνα και την καινοτομία αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την επιτυχή υλοποίηση των στόχων [19].

Συνολικά, οι εξελίξεις και τα προγράμματα που υλοποιούνται στην Ελλάδα δημιουργούν ένα θετικό περιβάλλον για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, ενισχύοντας τον ρόλο της ως βασικού πυλώνα για την επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης και της αειφόρου ανάπτυξης στη χώρα [20].

3.7 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

3.7.1 Εισαγωγή στην Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες και πλέον καθαρές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Πρόκειται για την αξιοποίηση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του νερού, κυρίως από ποταμούς, φράγματα ή άλλες υδάτινες δεξαμενές, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια υδροηλεκτρικών σταθμών.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια βασίζεται στην αρχή της μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια. Το νερό, όταν ρέει ή πέφτει από μεγάλο ύψος, έχει ενέργεια που κινεί τις τουρμπίνες ενός υδροηλεκτρικού σταθμού. Οι τουρμπίνες με τη σειρά τους κινούν τις ηλεκτρογεννήτριες, οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαδικασία αυτή είναι καθαρή, χωρίς εκπομπές ρύπων, και ανανεώσιμη, καθώς το νερό ανανεώνεται συνεχώς μέσω του φυσικού κύκλου της βροχής και των ποταμών.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος και τον τρόπο λειτουργίας τους, όπως οι μεγάλοι σταθμοί με φράγματα, οι μικροί σταθμοί (μικροϋδροηλεκτρικά) και οι αντλησιοταμιευτικοί σταθμοί που παρέχουν αποθήκευση ενέργειας και ευελιξία στο ενεργειακό σύστημα.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση ενός βιώσιμου

ενεργειακού μέλλοντος, συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια, την προστασία του περιβάλλοντος και την επίτευξη των στόχων για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [27].

Συνοψίζοντας, η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες της πράσινης ενεργειακής μετάβασης και ένα πολύτιμο εργαλείο στην παγκόσμια προσπάθεια για την αειφόρο ανάπτυξη.

3.7.2 Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια από τις πιο καθιερωμένες και σημαντικές μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα. Η γεωγραφική μορφολογία της χώρας, με πλούσια υδρογραφικά δίκτυα, ποτάμια και ορεινές περιοχές, προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα, η υδροηλεκτρική παραγωγή καλύπτει ήδη ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, μεγάλου και μικρού μεγέθους, λειτουργούν σε διάφορες περιοχές, όπως στα φράγματα του Αχελώου, του Νέστου, του Αλιάκμονα και σε άλλους ποταμούς. Επιπλέον, υπάρχουν μικροϋδροηλεκτρικά έργα που αξιοποιούν μικρότερες υδάτινες ροές, προσφέροντας ευελιξία και υποστήριξη σε απομακρυσμένες ή ορεινές περιοχές [19].

Η ελληνική ενεργειακή πολιτική υποστηρίζει την ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), που στοχεύει στην αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της χώρας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια, πέρα από την καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλει και στην ευστάθεια του ηλεκτρικού συστήματος, ιδίως μέσω των αντλησιοταμιευτικών σταθμών που επιτρέπουν την αποθήκευση ενέργειας και την αντιμετώπιση αιχμών ζήτησης.

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες, η ανάπτυξη νέων υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και τις διαδικασίες αδειοδότησης. Η ισορροπία μεταξύ ενεργειακής αξιοποίησης και περιβαλλοντικής προστασίας αποτελεί κεντρικό ζήτημα στη χάραξη μελλοντικής πολιτικής.

Συνολικά, η υδροηλεκτρική ενέργεια παραμένει βασικός πυλώνας της ελληνικής ενεργειακής στρατηγικής, προσφέροντας σημαντική συνεισφορά στην ενεργειακή ασφάλεια, την βιώσιμη ανάπτυξη και την επίτευξη των κλιματικών στόχων της χώρας [12].

3.7.3 Εξελίξεις και Προγράμματα για την Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί διαχρονικά έναν από τους βασικότερους πυλώνες της ελληνικής ενεργειακής στρατηγικής. Ως ώριμη τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), συνεισφέρει αξιόπιστα στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας παράλληλα πολλαπλά οφέλη, όπως η ευελιξία στο ενεργειακό σύστημα, η αποθήκευση ενέργειας και η συμβολή στην απανθρακοποίηση της παραγωγής ενέργειας.

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) θέτει ως στόχο την αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος υδροηλεκτρικών μονάδων στα 3.800 MW έως το 2030. Σήμερα, λειτουργούν περίπου 3.100 MW, γεγονός που καθιστά σαφές ότι απαιτούνται επιπλέον επενδύσεις και επιτάχυνση των διαδικασιών ανάπτυξης νέων έργων [13].

Στο πλαίσιο αυτό, έχουν δρομολογηθεί σημαντικά μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα όπως:

- ΥΗΕ Μεσοχώρας (160 MW),
- ΥΗΕ Μετσοβίτικου (29 MW),
- ΥΗΕ Αγίου Νικολάου (140 MW),

- ΥΗΕ Αυλακίου (έως 100 MW).

Τα έργα αυτά αναμένεται να ενισχύσουν τη σταθερότητα του συστήματος και να μειώσουν την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ), με ισχύ έως 10 MW, παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον λόγω της περιφερειακής τους συμβολής και της δυνατότητας εγκατάστασης σε απομακρυσμένες περιοχές. Ενδεικτικά έργα που βρίσκονται σε εξέλιξη ή έχουν αδειοδοτηθεί περιλαμβάνουν:

- ΜΥΗΕ Μακροχώρι II (Ημαθία): Ικανότητα 4,84 MW, με αξιοποίηση της διώρυγας Αλιάκμονα, αναμένεται να παράγει άνω των 50 GWh ετησίως.
- ΜΥΗΕ Κλεινοβίτικο (Τρίκαλα): Ισχύς 4,03 MW. Εγκρίθηκαν πρόσφατα οι περιβαλλοντικοί όροι.
- ΜΥΗΕ Αμυγδαλιές και Μονή Κηπίνας (Ιωάννινα): Ικανότητες 0,94 MW και 0,54 MW αντίστοιχα.

Η ανάπτυξη των ΜΥΗΕ προωθεί την αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας και μπορεί να υποστηρίξει τοπικές αγορές ενέργειας.

Η ανάπτυξη νέων υδροηλεκτρικών έργων συνοδεύεται από ορισμένες προκλήσεις:

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ευαίσθητα οικοσυστήματα.
- Γραφειοκρατικές καθυστερήσεις στις αδειοδοτικές διαδικασίες.
- Ανταγωνισμός με άλλες μορφές ΑΠΕ σε όρους κόστους και απόδοσης.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων, απαιτείται:

- Αναθεώρηση των διαδικασιών αδειοδότησης,
- Θέσπιση ενισχυμένων οικονομικών και θεσμικών κινήτρων,
- Ενημέρωση των τοπικών κοινωνιών για τα οφέλη της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Η περαιτέρω αξιοποίηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού της χώρας, ιδίως σε συνδυασμό με αντλησιοταμιευτικά έργα, μπορεί να προσφέρει πολύτιμη υποστήριξη στη διαχείριση της αυξανόμενης διείσδυσης διαλειπουσών ΑΠΕ (αιολικών και φωτοβολταϊκών). Παράλληλα, μπορεί να λειτουργήσει ως αποθήκη ενέργειας μεγάλης κλίμακας. [29]

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο υδροηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο σε μεγάλο βαθμό παραμένει αναξιοποίητο. Οι πρόσφατες εξελίξεις και ο σχεδιασμός νέων έργων δείχνουν ότι υπάρχει βούληση και τεχνογνωσία για τη στροφή σε ένα πιο βιώσιμο, αποκεντρωμένο και ασφαλές ενεργειακό μοντέλο. Η επιτυχία της στρατηγικής αυτής προϋποθέτει τη συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, θεσμική ευελιξία και σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον.

3.8 Θαλάσσια Ενέργεια

3.8.1 Εισαγωγή στην Θαλάσσια Ενέργεια

Η θαλάσσια ενέργεια, η οποία κατατάσσεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), συνιστά έναν δυναμικά αναπτυσσόμενο τομέα της παγκόσμιας ενεργειακής στρατηγικής, με σημαντικές προοπτικές συμβολής στην απανθρακοποίηση του ενεργειακού μείγματος. Ο όρος "θαλάσσια ενέργεια" αναφέρεται στο σύνολο των τεχνολογιών που αξιοποιούν την κινητική, δυναμική, θερμική και χημική ενέργεια των ωκεανών και των θαλασσών. Οι τεχνολογίες αυτές βασίζονται σε φυσικά φαινόμενα όπως τα κύματα, οι παλίρροιες, τα θαλάσσια ρεύματα, οι θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις στη μάζα του νερού, καθώς και οι διαφορές αλατότητας μεταξύ διαφορετικών υδάτινων στρωμάτων [10].

Η ανάπτυξη της θαλάσσιας ενέργειας εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης και της επίτευξης των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης, καθώς αποτελεί μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας με χαμηλό περιβαλλοντικό

αποτύπωμα κατά τη φάση λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Οι κυριότερες μορφές θαλάσσιας ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Ενέργεια κυμάτων
- Προέρχεται από την ταλάντωση της επιφάνειας της θάλασσας λόγω της δράσης των ανέμων. Η τεχνολογία συλλογής κυματικής ενέργειας περιλαμβάνει διατάξεις πλωτήρων, ταλαντευόμενων στηλών νερού και άλλων μηχανισμών που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- Ενέργεια παλιρροιών
- Εκμεταλλεύεται τη διαφορά της στάθμης της θάλασσας κατά την εναλλαγή πλημμυρίδας και αμψώτιδας. Οι συνηθέστερες τεχνικές περιλαμβάνουν φράγματα παλιρροϊκής ενέργειας και υποθαλάσσιες τουρμπίνες.
- Ενέργεια θαλάσσιων ρευμάτων
- Βασίζεται στη σταθερή ροή των υποθαλάσσιων ρευμάτων, τα οποία μπορούν να κινήσουν ειδικές τουρμπίνες, παρόμοιες με τις ανεμογεννήτριες.
- Θερμική ενέργεια ωκεανών (OTEC—Ocean Thermal Energy Conversion)
Αξιοποιεί τις θερμικές διαφορές μεταξύ των επιφανειακών και των βαθύτερων υδάτινων στρωμάτων. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται κυρίως σε πειραματικό στάδιο.
- Ενέργεια διαφοράς αλατότητας (salinity gradient energy)
Προκύπτει από την ανάμειξη γλυκού και θαλάσσιου νερού, κυρίως σε περιοχές εκβολών ποταμών. Η ενεργειακή απόδοση προκύπτει από την εκμετάλλευση της ωσμωτικής πίεσης.

Ωστόσο, η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών συνοδεύεται από ορισμένες τεχνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις:

- Υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Δυσκολία εγκατάστασης και πρόσβασης σε απομακρυσμένα

θαλάσσια περιβάλλοντα.

- Ενδεχόμενες επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα.
- Περιορισμένη εμπορική ωριμότητα για ορισμένες τεχνολογικές εφαρμογές.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει τη θαλάσσια ενέργεια ως προτεραιότητα στη στρατηγική της για μια πράσινη μετάβαση, στοχεύοντας στην εγκατάσταση τουλάχιστον 40GW θαλάσσιας ισχύος έως το 2050. Μέσω χρηματοδοτικών εργαλείων, όπως το πρόγραμμα Horizon Europe, υποστηρίζονται ερευνητικά και πιλοτικά έργα σε χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Πορτογαλία, η Ιρλανδία και η Δανία.

Η Ελλάδα, ως χώρα με εκτεταμένη ακτογραμμή και σημαντικό θαλάσσιο δυναμικό, εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της θαλάσσιας ενέργειας. Παρά το υψηλό θεωρητικό δυναμικό, η αξιοποίησή της παραμένει περιορισμένη, καθώς δεν έχουν ακόμη υλοποιηθεί έργα εμπορικής κλίμακας. Ωστόσο, το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αναγνωρίζει τη σημασία των τεχνολογιών αυτών και προωθεί την ένταξή τους σε μελλοντικές επενδύσεις, μέσω ερευνητικών συνεργασιών και πιλοτικών εφαρμογών.

Η περαιτέρω πρόοδος στον τομέα της θαλάσσιας ενέργειας απαιτεί τη συντονισμένη δράση δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, καθώς και την ενίσχυση της ερευνητικής και τεχνολογικής καινοτομίας, με σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον και τη θαλάσσια βιοποικιλότητα.

3.8.2 Θαλάσσια Ενέργεια στην Ελλάδα

Η θαλάσσια ενέργεια, ως μία από τις πλέον καινοτόμες και αναδυόμενες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), προσφέρει σημαντικές δυνατότητες συμβολής στην επίτευξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων της Ελλάδας. Δεδομένης της γεωγραφικής ιδιομορφίας της χώρας —με εκτεταμένο θαλάσσιο χώρο, πολυάριθμα νησιά και σημαντική ακτογραμμή άνω των 15.000 χιλιομέτρων— η

αξιοποίηση των θαλάσσιων ενεργειακών πόρων αποτελεί στρατηγικής σημασίας επιλογή για τη μελλοντική ενεργειακή αυτάρκεια και τη στήριξη της βιώσιμης ανάπτυξης [12].

Η ελληνική θαλάσσια επικράτεια παρουσιάζει αξιόλογο δυναμικό για αξιοποίηση κυματικής ενέργειας, παλιρροϊκής ενέργειας, καθώς και ενέργειας θαλάσσιων ρευμάτων.

Ειδικότερα, περιοχές όπως το νοτιοανατολικό Αιγαίο, το Κρητικό Πέλαγος και το Ιόνιο διαθέτουν υψηλή κυματική δραστηριότητα, η οποία ενδείκνυται για την εγκατάσταση μετατροπών κυματικής ενέργειας. Παράλληλα, γεωμορφολογικά περάσματα με έντονη ροή, όπως ο Ευβοϊκός κόλπος, αποτελούν πιθανούς τόπους αξιοποίησης της ενέργειας παλιρροιών και θαλάσσιων ρευμάτων.

Η τεχνολογική αξιοποίηση των ανωτέρω μορφών ενέργειας στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε προκαταρκτικό στάδιο. Παρόλο που έχουν πραγματοποιηθεί εργαστηριακές μελέτες και πειραματικές εφαρμογές από ερευνητικά ιδρύματα, δεν έχουν υλοποιηθεί έως σήμερα έργα εμπορικής κλίμακας. Η έλλειψη ώριμων τεχνολογιών, η απουσία εξειδικευμένου θεσμικού πλαισίου και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την αδειοδότηση αποτελούν τους κύριους ανασταλτικούς παράγοντες.

Η θαλάσσια ενέργεια αναγνωρίζεται στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) ως τεχνολογία με μελλοντικό ενδιαφέρον, ωστόσο δεν περιλαμβάνεται ακόμη στους ποσοτικοποιημένους στόχους για το 2030. Το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο επικεντρώνεται κυρίως στην αιολική και ηλιακή ενέργεια, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για εξειδικευμένο νομοθετικό και διοικητικό μηχανισμό που να υποστηρίζει την ανάπτυξη και αδειοδότηση έργων θαλάσσιας ενέργειας.

Η χώρα καλείται να ευθυγραμμιστεί με τη Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Υπεράκτιες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (2020), η οποία θέτει ως στόχο την επίτευξη εγκατεστημένης ισχύος 40 GW έως το 2050 από θαλάσσιες ΑΠΕ. Στο πλαίσιο αυτό, η Ελλάδα οφείλει να ενσωματώσει τη θαλάσσια ενέργεια στον εθνικό

ενεργειακό σχεδιασμό και να θεσπίσει μηχανισμούς χρηματοδότησης και χωροταξικού σχεδιασμού.

Σημαντικές προσπάθειες έχουν καταγραφεί από ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα, όπως το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), για την ανάπτυξη τεχνολογιών αξιοποίησης κυματικής και παλιρροϊκής ενέργειας. Πιλοτικές μελέτες έχουν διεξαχθεί σε περιοχές όπως η Κρήτη, η Τήνος, τα Κύθηρα και το Ιόνιο, με σκοπό την αξιολόγηση του τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού [11].

Η Ελλάδα συμμετέχει επίσης σε ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα, μεταξύ των οποίων τα Horizon Europe, Interreg MED και Blue Growth, ενώ έχει αναπτυχθεί συνεργασία με διεθνή ερευνητικά κέντρα για τη μεταφορά τεχνογνωσίας.

Η ανάπτυξη της θαλάσσιας ενέργειας στην Ελλάδα παρουσιάζει αξιόλογες προοπτικές, ιδίως στο πλαίσιο της σταδιακής διασύνδεσης των νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, της ενίσχυσης της ενεργειακής αυτάρκειας των νησιωτικών περιοχών, καθώς και της ανάγκης περαιτέρω διαφοροποίησης του ενεργειακού μείγματος.

Εντούτοις, η πρόοδος στον τομέα προϋποθέτει την επίλυση κρίσιμων ζητημάτων, όπως:

- Η τεχνολογική ωρίμανση και πιστοποίηση των συστημάτων παραγωγής.
- Η εκπόνηση ολοκληρωμένου χωροταξικού σχεδιασμού για θαλάσσιες ΑΠΕ.
- Η εξασφάλιση κοινωνικής αποδοχής και περιβαλλοντικής συμβατότητας.
- Η ανάπτυξη υποδομών παρακολούθησης, συντήρησης και σύνδεσης με το δίκτυο.

Η θαλάσσια ενέργεια, ως τμήμα της ευρύτερης πολιτικής για την «πράσινη μετάβαση», μπορεί να καταστεί μεσοπρόθεσμα πυλώνας του ενεργειακού σχεδιασμού της χώρας, ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια και τη βιωσιμότητα της

ελληνικής οικονομίας, υπό την προϋπόθεση ενός ευέλικτου, ορθολογικού και μακροπρόθεσμου σχεδιασμού.

Κεφάλαιο 4 Το Λογισμικό RetScreen

4.1 Παρουσίαση του RETScreen

Το λογισμικό Διαχείρισης Καθαρής Ενέργειας RETScreen αποτελεί ένα ολοκληρωμένο λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από την Πολιτεία του Καναδά. Το RETScreen Expert αναγνωρίστηκε στη Διυπουργική Επιτροπή Καθαρής Ενέργειας του 2016 που πραγματοποιήθηκε στο Σαν Φρανσίσκο των ΗΠΑ.

Το RETScreen Expert επιτρέπει την καθολική εξερεύνηση, εκτίμηση και καλυτέρευση της δομικής και οικονομικής βιωσιμότητας τεχνικών έργων ανανεώσιμης ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης, καθώς επίσης και τη μέτρηση και επιβεβαίωση της πραγματικής απόδοσης του συστήματος και την εξέταση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης και παραγωγής ενέργειας. Η "Λειτουργία προβολής" στο RETScreen Expert είναι ελεύθερη για τους αναγνώστες και δίνει την ευκαιρία της προβολής όλων των ικανοτήτων του λογισμικού [6].

Το λογισμικό αποτελείται από βάσεις δεδομένων οι οποίες έχουν στόχο να βοηθήσουν τον χρήστη, μέσω μιας παγκόσμιας βάσης δεδομένων κλιματολογικών συνθηκών που λαμβάνονται από 6.700 επίγειους σταθμούς και δορυφορικά δεδομένα της NASA, μιας βάσης δεδομένων αναφοράς, μιας βάσης δεδομένων κόστους, μιας βάσης δεδομένων έργων, μιας υδρολογικής βάσης δεδομένων και μιας βάσης δεδομένων προϊόντων [20]. Το λογισμικό περιέχει εκτενές, ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό υλικό, συμπεριλαμβανομένου ενός ηλεκτρονικού εγχειριδίου [24], [25].

4.2 Το μοντέλο RETScreen Έργων Αιολικής Ενέργειας

Το μοντέλο RETScreen για έργα αιολικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για την αξιολόγηση της παραγωγής ενέργειας, του κόστους κύκλου ζωής, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας κεντρικού, απομονωμένου και εκτός δικτύου για ποικιλία μεγεθών , από

μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα πολλαπλών ανεμογεννητριών έως μικρής κλίμακας ενός ανεμοκινητήρα (υβριδικά συστήματα).

Υπάρχουν έξι φύλλα εργασίας :

- Ενεργειακό Μοντέλο
- Δεδομένα Εξοπλισμού, τα οποία ολοκληρώνονται πρώτα.
- Ανάλυση Κόστους, το οποίο πρέπει έπειτα να συμπληρωθεί ακολουθούμενο από την «Οικονομική Σύνοψη»
- Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου «Ανάλυση ΑΤΘ», το οποίο παρέχεται για να βοηθήσει στην εκτίμηση της δυνατότητας μετριασμού αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ) από το υπό εξέταση έργο
- Οικονομική Σύνοψη και Ευαισθησία-Ανάλυση Κινδύνου που περιέχονται στο ενιαίο αρχείο εργασίας, το οποίο παρέχεται για να βοηθήσει στην εκτίμηση της ευαισθησίας των σημαντικών οικονομικών δεικτών, σε σχέση με τις βασικές τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους.

Γενικά, ο χρήστης εργάζεται από επάνω προς τα κάτω σε κάθε ένα από τα φύλλα εργασίας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός του εγχειρήματος σε σχέση με τη χρήση ενέργειας και κόστους. Για να βοηθηθεί ο χρήστης να χαρακτηρίσει ένα σύστημα αιολικής ενέργειας πριν αξιολογήσει το κόστος και την ενεργειακή του συμπεριφορά, προτείνονται μερικές τιμές, όπως ο «συνιστώμενος βαθμός απορρόφησης αιολικής ενέργειας» για εγκαταστάσεις απομονωμένων δικτύων και εκτός δικτύου. Οι προτεινόμενες ή εκτιμώμενες τιμές, που είναι βασισμένες στις παραμέτρους εισόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα πρώτο βήμα στην ανάλυση και δεν είναι απαραίτητα οι βέλτιστες τιμές [26].

Τα φύλλα εργασίας «Ενεργειακό Μοντέλο» και «Δεδομένα Εξοπλισμού» ολοκληρώνονται πρώτα. Το φύλλο εργασίας «Ανάλυση Κόστους» πρέπει έπειτα να συμπληρωθεί, ακολουθούμενο από την «Οικονομική Σύνοψη». Τα φύλλα εργασίας

«Ανάλυση ΑΤΘ» και «Ευαισθησία» είναι προαιρετικά. Το φύλλο εργασίας «Ανάλυση ΑΤΘ» παρέχεται για να βοηθήσει στην εκτίμηση της δυνατότητας μετριασμού αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ) από το υπό εξέταση έργο. Το φύλλο εργασίας «Ευαισθησία» παρέχεται για να βοηθήσει στην εκτίμηση της ευαισθησίας των σημαντικών οικονομικών δεικτών, σε σχέση με τις βασικές τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους. Γενικά, ο χρήστης εργάζεται από επάνω προς τα κάτω σε κάθε ένα από τα φύλλα εργασίας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός του εγχειρήματος σε σχέση με τη χρήση ενέργειας και κόστους. Για να βοηθηθεί ο χρήστης να χαρακτηρίσει ένα σύστημα αιολικής ενέργειας πριν αξιολογήσει το κόστος και την ενεργειακή του συμπεριφορά, προτείνονται μερικές τιμές, όπως ο συνιστώμενος βαθμός απορρόφησης αιολικής ενέργειας για εγκαταστάσεις απομονωμένων δικτύων και εκτός δικτύου. Οι προτεινόμενες ή εκτιμώμενες τιμές, που είναι βασισμένες στις παραμέτρους εισόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα πρώτο βήμα στην ανάλυση και δεν είναι απαραίτητα οι βέλτιστες τιμές [13].

Σ' αυτή την ενότητα περιγράφονται οι διάφοροι αλγόριθμοι του RETScreen που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί, σε ετήσια βάση, η παραγωγή ενέργειας αιολικών συστημάτων. Ο υπολογισμός της καμπύλης ενέργειας και της τυπικής ενεργειακής παραγωγής περιγράφεται στην υποενότητα 4.2.3 και 4.2.4. Η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή, που λαμβάνει υπόψη τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης, υπολογίζεται στην υποενότητα 4.2.5. Ο υπολογισμός της καθαρής παραγωγής ενέργειας και της αποδιδόμενης ανανεώσιμης ενέργειας καλύπτεται στην υποενότητα 4.2.6 [22].

Οι κύριοι περιορισμοί του μοντέλου είναι η μη-δυνατότητα ανάλυσης αυτόνομων συστημάτων αιολικής ενέργειας που απαιτούν αποθήκευση ενέργειας και ανεμοκινητήρων κάθετου άξονα. Επίσης, το μοντέλο απευθύνεται πρωταρχικά σε τεχνολογίες 'χαμηλής διείσδυσης'. Για να γίνει η κατάλληλη ανάλυση τεχνολογιών 'υψηλής διείσδυσης' (υπό εξέλιξη σήμερα για συστήματα diesel απομονωμένου δικτύου), ο χρήστης θα πρέπει προσεκτικά να αξιολογήσει τον

‘βαθμό απορρόφησης της αιολικής ενέργειας’ και μάλλον θα χρειαστεί περισσότερες πληροφορίες. Παρόλα αυτά για την πλειοψηφία των αιολικών συστημάτων που έχουν εγκατασταθεί σήμερα ανά τον κόσμο, οι παραπάνω περιορισμοί δεν έχουν καμία επιρροή [26].

4.2.1 Τυπική Ενεργειακή Παραγωγή

Το RETScreen υπολογίζει τη τυπική ενεργειακή παραγωγή από τους ανεμοκινητήρες. Είναι η ενέργεια που ένας ή περισσότεροι ανεμοκινητήρες θα παραγάγουν υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο υπολογισμός βασίζεται στην καμπύλη ενεργειακής παραγωγής του επιλεγμένου ανεμοκινητήρα (που εισάγεται στο φύλλο εργασίας «Δεδομένα Εξοπλισμού») και στη μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης για την προτεινόμενη περιοχή [30].

4.2.2 Κατανομή ταχύτητας ανέμου

Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου, όταν αυτή απαιτείται, υπολογίζεται στο RETScreen ως συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull. Αυτή η κατανομή χρησιμοποιείται συχνά στην αιολική ενεργειακή μηχανική, μιας και συμφωνεί καλά στην παρατηρούμενη μακροπρόθεσμη κατανομή των μέσων ταχυτήτων ανέμου για πληθώρα περιοχών. Σε μερικές περιπτώσεις το μοντέλο χρησιμοποιεί επίσης τη κατανομή Rayleigh, η οποία είναι μια ειδική περίπτωση της κατανομής Weibull, όπου ο παράγοντας μορφής (που περιγράφεται κατωτέρω) είναι ίσος με 2.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull εκφράζει τη πιθανότητα $p(x)$ να υφίσταται ταχύτητα ανέμου x κατά την διάρκεια του έτους, όπως παρακάτω:

$$p(x) = \left(\frac{k}{C}\right) \left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{C}\right)^k\right]$$

Αυτή η έκφραση είναι έγκυρη για $k > 1$, $x \geq 0$, και $C > 0$.

Το k είναι ο παράγοντας μορφής, ορισμένος από τον χρήστη. Ο παράγοντας μορφής τυπικά κυμαίνεται από 1 έως 3. Για δεδομένη μέση ταχύτητα ανέμου, μικρός παράγοντας μορφής υποδηλώνει σχετικά ευρεία κατανομή ταχυτήτων ανέμου γύρω από τη μέση τιμή, ενώ μεγάλος παράγοντας μορφής υποδηλώνει σχετικά στενή κατανομή ταχυτήτων ανέμου. Μικρός παράγοντας μορφής λογικά οδηγεί σε υψηλότερη ενεργειακή παραγωγή για δεδομένη μέση ταχύτητα ανέμου [16].

Το C είναι ο παράγοντας κλίμακας και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση [19].

$$C = \frac{\bar{x}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$

Όπου x είναι η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου και Γ η συνάρτηση Γάμμα, μια γενίκευση του παραγοντικού για μη ακέραιους αριθμούς και k είναι η παράμετρος σχήματος (shape parameter) της κατανομής Weibull.

Σε μερικές περιπτώσεις, το μοντέλο υπολογίζει τη κατανομή ταχύτητας ανέμου από την πυκνότητα της αιολικής ισχύος WPD του τόπου, παρά από την ταχύτητα του ανέμου. Οι σχέσεις μεταξύ της πυκνότητας αιολικής ισχύος WPD και της μέσης ταχύτητας ανέμου v είναι:

$$WPD = \sum_{x=0}^{x=25} 0.5 \rho x^3 p(x)$$

$$\bar{v} = \sum_{x=0}^{x=25} x p(x)$$

Όπου ρ είναι πυκνότητα του αέρα και $p(x)$ η πιθανότητα να φυσάει άνεμος ταχύτητας x κατά τη διάρκεια του έτους.

4.2.3 Ενεργειακή καμπύλη

Η ενεργειακή καμπύλη αποτελεί βασικό εργαλείο εκτίμησης της παραγωγικής ικανότητας ενός ανεμοκινητήρα. Αντιπροσωπεύει το συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μια ανεμογεννήτρια σε συνάρτηση με τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου [30]. Ουσιαστικά, περιγράφει τη συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβλητότητα των αιολικών πόρων σε ετήσια βάση [31].

Στο λογισμικό RETScreen, η ενεργειακή καμπύλη καθορίζεται για εύρος μέσων ετήσιων ταχυτήτων ανέμου από 3 έως 15 m/s, και παρουσιάζεται γραφικά στο φύλλο εργασίας «Δεδομένα Εξοπλισμού» [30]. Η προσέγγιση αυτή είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της αναμενόμενης ενεργειακής παραγωγής του έργου, η οποία στη συνέχεια τροφοδοτεί τις οικονομικές και περιβαλλοντικές αξιολογήσεις του μοντέλου.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής της μεθόδου εισαγωγής των δεδομένων της ενεργειακής καμπύλης από τις παρακάτω επιλογές:

- Standard: Χρήση προκαθορισμένων δεδομένων καμπύλης από εμπορικά διαθέσιμα μοντέλα ανεμογεννητριών.
- Custom: Προσαρμοσμένα δεδομένα που εισάγονται από τον χρήστη, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού.
- User-defined: Απευθείας εισαγωγή της ενεργειακής καμπύλης από τον χρήστη, χωρίς ενδιάμεσους υπολογισμούς.

Για τις περιπτώσεις Standard και Custom, η παραγωγή ενέργειας υπολογίζεται συνδυάζοντας την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας με την συνάρτηση πιθανότητας Weibull, η οποία περιγράφει την κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων ανέμου για κάθε περιοχή [32]. Η καμπύλη ισχύος εισάγεται για ταχύτητες ανέμου ανά διαστήματα του 1 m/s από 0 έως 25 m/s.

Κάθε τιμή της ενεργειακής καμπύλης υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{\bar{v}} = 8760 \sum_{x=0}^{25} P_x p(x)$$

όπου:

- $E(v)$: Ετήσια παραγωγή ενέργειας για μέση ταχύτητα ανέμου v
- $P(x)$: Η ισχύς της ανεμογεννήτριας στη στιγμιαία ταχύτητα ανέμου x
- $p(x)$: Η πυκνότητα πιθανότητας Weibull για την ταχύτητα x , υπολογισμένη για το συγκεκριμένο v

Η συνάρτηση Weibull, με παραμέτρους μορφής και κλίμακας που προκύπτουν από αιολικά δεδομένα της περιοχής, επιτρέπει τον στατιστικά ρεαλιστικό υπολογισμό της συνεισφοράς κάθε ταχύτητας ανέμου στην τελική ενεργειακή παραγωγή. Αυτός ο υπολογισμός είναι απαραίτητος, καθώς η απόδοση των ανεμογεννητριών είναι μη γραμμική ως προς την ταχύτητα ανέμου [33].

Η ενεργειακή καμπύλη χρησιμεύει για:

- Την αξιολόγηση της αποδοτικότητας διαφορετικών μοντέλων ανεμογεννητριών σε δεδομένο αιολικό προφίλ.
- Τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας, που τροφοδοτεί τους οικονομικούς δείκτες.
- Την τεκμηρίωση της βιωσιμότητας του έργου έναντι εναλλακτικών επιλογών.
- Την εκτίμηση των περιβαλλοντικών ωφελειών, με βάση την αντικατάσταση της παραγωγής ρυπογόνων πηγών.

Η ακρίβεια της καμπύλης εξαρτάται άμεσα από:

- Την ακρίβεια της καμπύλης ισχύος του ανεμοκινητήρα
- Τη σωστή επιλογή των παραμέτρων Weibull
- Την ποιότητα και χρονική διάρκεια των μετρήσεων αιολικών δεδομένων

Συνοψίζοντας, η ενεργειακή καμπύλη στο περιβάλλον του RETScreen αποτελεί κρίσιμο βήμα στον τεχνικό και οικονομικό σχεδιασμό ενός έργου αιολικής ενέργειας. Παρέχει μια αξιόπιστη εκτίμηση της ετήσιας απόδοσης του συστήματος, διευκολύνοντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για την υλοποίηση επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4.2.4 Τυπική Ενεργειακή Παραγωγή

Η τυπική ενεργειακή παραγωγή είναι η ενέργεια που παράγεται από τους ανεμοκινητήρες υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης [30]. Ο υπολογισμός βασίζεται στη μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης που επικρατεί στη προτεινόμενη περιοχή [31]. Η ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης είναι συνήθως σημαντικά υψηλότερη από την ταχύτητα του ανέμου που μετριέται στο ύψος του ανεμόμετρου λόγω αποκοπής του οριακού στρώματος του αέρα.

Η τυπική ενεργειακή παραγωγή είναι η ενέργεια που παράγεται από τους αεροκινητήρες υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο υπολογισμός βασίζεται στη μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης που επικρατεί στη προτεινόμενη περιοχή. Η ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης είναι συνήθως σημαντικά υψηλότερη από την ταχύτητα του ανέμου που μετριέται στο ύψος του ανεμόμετρου λόγω της εξίσωσης για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης [32], [33]:

$$\frac{\bar{V}}{\bar{V}_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

Όπου:

- $\bar{V}$: Η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος H(ύψος ενδιαφέροντος, π.χ. το ύψος του πύργου του ανεμοκινητήρα).
- $\bar{V}_0$: Η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος αναφοράς H_0 (συνήθως 10 μέτρα, από μετρητικά όργανα).
- H: Το ύψος για το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τη νέα μέση ταχύτητα ανέμου.
- H_0 : Το ύψος στο οποίο είναι γνωστή η μέση ταχύτητα ανέμου(ύψος βάσης ή μετεωρολογικών δεδομένων).
- α : Ο εκθέτης προσαρμογής ή δείκτης ατμοσφαιρικής τραχύτητας, που εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας. Τυπικές τιμές [30], [32]:
 - 0.10 για επίπεδη θάλασσα
 - 0.14 για ανοιχτό αγρό
 - 0.20–0.25 για δασώδεις ή αστικές περιοχές

Από τη στιγμή που έχει υπολογιστεί η ετήσια μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης, η αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή παραγωγή (EU) μπορεί να προσδιοριστεί από την ενεργειακή καμπύλη για την αντίστοιχη τιμή της ταχύτητας V .

4.2.5 Ακαθάριστη Ενεργειακή Παραγωγή

Η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή είναι η συνολική ετήσια ενέργεια που παράγεται από το σύστημα αιολικής ενέργειας, πριν από οποιεσδήποτε απώλειες, λόγω συνθηκών ταχύτητας ανέμου, ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας του τόπου

[31]. Χρησιμοποιείται στο RETScreen για να καθοριστεί η αποδιδόμενη ανανεώσιμη ενέργεια. Η Ακαθάριστη Ενεργειακή Παραγωγή (Gross Energy Production) αποτελεί μία από τις βασικές παραμέτρους που υπολογίζονται στο πρόγραμμα RETScreen, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση και αξιολόγηση ενεργειακών έργων, όπως φωτοβολταϊκά πάρκα, αιολικά συστήματα και μονάδες βιομάζας [34].

Ο όρος "Ακαθάριστη Ενεργειακή Παραγωγή" αναφέρεται στη συνολική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα παραγωγής πριν αφαιρεθούν οι ίδιες καταναλώσεις του σταθμού και άλλες εσωτερικές απώλειες [32]. Με άλλα λόγια, πρόκειται για την ενέργεια που παράγεται στην έξοδο της γεννήτριας ή των inverter, χωρίς καμία αφαίρεση.

Η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ισχύς του σταθμού, οι κλιματικές συνθήκες (π.χ. η ηλιακή ακτινοβολία ή η ταχύτητα ανέμου), οι τεχνικές απώλειες και το χρονικό διάστημα λειτουργίας [33]. Στο RETScreen, η παραγωγή υπολογίζεται βασισμένη σε φυσικά δεδομένα και τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων [30].

Η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή E_G υπολογίζεται ως εξής:

$$E_G = E_U \cdot c_H \cdot c_T$$

Όπου E_U είναι η τυπική ενεργειακή παραγωγή και c_H και c_T συντελεστές πίεσης και θερμοκρασίας, που δίνονται από τις σχέσεις:

$$c_H = \frac{P}{P_0}$$

$$c_T = \frac{T_0}{T}$$

Όπου:

- P: η ετήσια μέση ατμοσφαιρική πίεση (kPa) στην περιοχή εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα,
- $P_0=101,3$ kPa: η τυπική (αναφοράς) ατμοσφαιρική πίεση,
- T: η ετήσια μέση απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin,
- $T_0=288,1$ K (η τυπική απόλυτη θερμοκρασία).

4.2.6 Αποδιδόμενη Ανανεώσιμη Ενέργεια

Το μοντέλο RETScreen υπολογίζει την ανανεώσιμη ενέργεια που παραδίδεται τελικά στο ηλεκτρικό δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες τεχνικές και λειτουργικές απώλειες κατά τη διαδικασία μεταφοράς και διανομής της παραγόμενης ενέργειας από τον ανεμοκινητήρα [30], [31]. Αυτές οι απώλειες περιλαμβάνουν:

- Απώλειες μετατροπής και μετασχηματιστών,
- Απώλειες σε καλωδιώσεις και γραμμές μεταφοράς (γραμμικές απώλειες),
- Απώλειες από διακοπές λειτουργίας λόγω συντήρησης ή τεχνικών προβλημάτων,
- Απώλειες από ακραίες καιρικές συνθήκες ή δυσμενείς θερμοκρασίες.

Ο τελικός υπολογισμός της αποδιδόμενης ενέργειας βασίζεται στον εξής τύπο:

$$E_D = E_G \cdot (1-L)$$

Όπου:

- E_D : η αποδιδόμενη (ή παραδιδόμενη) ανανεώσιμη ενέργεια στο δίκτυο (σε

- MWh ή GWh),
- E_G : η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή (σε MWh ή GWh),
- L : το συνολικό ποσοστό απωλειών (εκφρασμένο ως δεκαδικό, π.χ. 0.08 για 8%).

Επιπλέον, το RETScreen δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει την ικανότητα απορρόφησης του τοπικού ή απομονωμένου ηλεκτρικού δικτύου. Σε εφαρμογές απομονωμένων δικτύων ή συστημάτων εκτός δικτύου (off-grid), η απορροφητικότητα του φορτίου περιορίζει την ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί [35]. Το λογισμικό λαμβάνει υπόψη αυτή την παράμετρο, εξαιρώντας την υπερβάλλουσα ενέργεια που δεν μπορεί να απορροφηθεί ή αποθηκευτεί.

Αυτή η προσέγγιση καθιστά δυνατή την ακριβή εκτίμηση της πραγματικής ενεργειακής συμβολής του έργου στο ενεργειακό ισοζύγιο της περιοχής, επιτρέποντας την αξιολόγηση τόσο της τεχνικής σκοπιμότητας όσο και της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης [30], [34].

4.2.7 Συλλεγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια

Η συλλεγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια ισούται με το παραγόμενο καθαρό ενεργειακό ποσό από το σύστημα αιολικής ενέργειας [31], [32]:

$$E_C = E_G c_L$$

Όπου E_G η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή και c_L ο συντελεστής απωλειών που υπολογίζεται ως:

$$c_L = (1 - \lambda_a) (1 - \lambda_{s\&i}) (1 - \lambda_d) (1 - \lambda_m)$$

Όπου:

- λ_a : απώλειες λόγω διάταξης του πάρκου (array losses), που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση μεταξύ ανεμογεννητριών (wake effect) [33],

- $\lambda_{\&i}$: απώλειες από επικάθιση σκόνης, πάγου ή βρωμιάς στα πτερύγια (soiling and icing losses) [35],
- λ_d : απώλειες λόγω περιόδων διακοπής λειτουργίας (downtime losses), είτε λόγω βλαβών είτε λόγω συντήρησης [34],
- λ_m : λοιπές απώλειες (miscellaneous losses), όπως απώλειες από δυσμενείς καιρικές συνθήκες, περιορισμοί δικτύου ή σφάλματα συστήματος [30].

4.2.8 Βαθμός απορρόφησης και αποδιδόμενη ανανεώσιμη ενέργεια

Το μοντέλο υπολογίζει την αποδιδόμενη αιολική ενέργεια E_D σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_D = E_C \mu$$

Όπου E_C η συλλεχθείσα ανανεώσιμη ενέργεια και μ ο βαθμός απορρόφησης. Ο βαθμός απορρόφησης αιολικής ενέργειας είναι το ποσοστό της συλλεγόμενης αιολικής ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί από το απομονωμένο δίκτυο ή το σύστημα εκτός δικτύου. Για εφαρμογές κεντρικού δικτύου, αυτό το ποσοστό είναι πάντα ίσο με 100%, δεδομένου ότι το δίκτυο υποτίθεται ότι είναι αρκετά μεγάλο ώστε πάντα να απορροφά όλη την ενέργεια που παράγεται από το σύστημα. Για τις εφαρμογές απομονωμένου δικτύου και εκτός δικτύου, ο χρήστης εισάγει την τιμή του βαθμού απορρόφησης.

Για εφαρμογές απομονωμένου δικτύου και εκτός – δικτύου, το μοντέλο υπολογίζει ένα προτεινόμενο βαθμό απορρόφησης αιολικής ενέργειας. Βρίσκεται με παρεμβολή στην Εικόνα 3, όπου το επίπεδο διεύθυνσης ανέμου (WPL) ορίζεται ως:

$$WPL = \frac{WPC}{PL} 100$$

Όπου WPC η συνολική ονομαστική ισχύς της αιολικής εγκατάστασης και PL το φορτίο αιχμής προσδιορισμένο από τον χρήστη. Ο όρος WPC προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των ανεμοκινητήρων επί την ονομαστική τους ισχύ.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, ο προτεινόμενος βαθμός απορρόφησης αιολικής ενέργειας ποικίλλει σύμφωνα με τη μέση ταχύτητα και το επίπεδο διείσδυσης του ανέμου. Ας σημειωθεί ότι αυτό είναι βασισμένο στην ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης του ανεμοκινητήρα. Οι τιμές του Πίνακα 1 προέρχονται από προσομοιώσεις που πραγματοποιούνται για να προσδιοριστεί το ποσό της αποδιδόμενης αιολικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα που εγκαθίστανται σε απομακρυσμένες περιοχές (δηλ. εφαρμογές απομονωμένου δικτύου και εκτός δικτύου). Οι προσομοιώσεις λαμβάνουν υπόψη συνδυασμούς κατανομών αιολικού δυναμικού, φορτίου και καμπυλών απόδοσης του συστήματος. Λεπτομερή αποτελέσματα μπορούν να βρεθούν στην εργασία των [31].

Πίνακας 1: Προτεινόμενοι βαθμοί απορρόφησης αιολικής ενέργειας για εφαρμογές απομονωμένου δικτύου και εκτός-δικτύου

Μέση Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	0%	10%	20%	30%
0.0	100%	100%	100%	100%
4.9	100%	98%	96%	93%
5.6	100%	98%	94%	90%
6.3	100%	98%	93%	87%
6.9	100%	97%	92%	84%
8.3	100%	96%	90%	82%

Το μοντέλο παρέχει μόνο προτεινόμενες τιμές για επίπεδα διείσδυσης ανέμου σε ποσοστό μικρότερο από 25%. Εντούτοις, εάν το επίπεδο διείσδυσης του ανέμου είναι μεγαλύτερο από 3% και η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης είναι 8,3m/s ή υψηλότερη, τότε το μοντέλο δεν παρέχει προτεινόμενες τιμές. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι βαθμοί απορρόφησης αιολικής ενέργειας θα ποικίλουν ευρέως ανάλογα με τη ρύθμιση του συστήματος και τις στρατηγικές ελέγχου που υιοθετούνται.

4.2.9 Διαθέσιμη πλεονάζουσα ανανεώσιμη ενέργεια

Η πλεονάζουσα διαθέσιμη ανανεώσιμη ενέργεια E_x είναι απλά η διαφορά της συλλεχθείσας αιολικής ενέργειας E_c και της αποδιδόμενης αιολικής ενέργειας E_D [31]:

$$E_x = E_c - E_D$$

Η ανάλυση της πλεονάζουσας ενέργειας συμβάλλει στον βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος, επιτρέποντας την εκτίμηση της πραγματικής αξιοποιήσιμης ενέργειας και τη βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας του έργου [31], [34].

4.2.10 Συντελεστής δυναμικότητας αιολικής εγκατάστασης

Ο συντελεστής δυναμικότητας (Power Capacity Factor – PCF) μιας αιολικής εγκατάστασης εκφράζει τον λόγο της πραγματικής μέσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε ετήσια βάση προς τη μέγιστη θεωρητική ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί εάν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε συνεχώς στη μέγιστη ονομαστική ισχύ της όλο το έτος [36].

Ο υπολογισμός του PCF δίνεται από τη σχέση [32]:

$$PCF = \left(\frac{E_c}{WPC \cdot h_Y} \right) 100$$

Όπου:

E_c : η συλλεχθείσα ανανεώσιμη ενέργεια σε ετήσια βάση (σε kWh),

WPC : η ονομαστική ισχύς της αιολικής εγκατάστασης (σε kW),

h_Y : ο αριθμός των ωρών σε ένα έτος (συνήθως 8760 ώρες).

Ο συντελεστής δυναμικότητας είναι ένας σημαντικός δείκτης αξιολόγησης της απόδοσης μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου, καθώς λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την ισχύ της εγκατάστασης αλλά και τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας (άνεμος, διαθέσιμη ενέργεια, απώλειες κ.ά.) [35].

Τυπικές τιμές του PCF κυμαίνονται από 0,20 (20%) έως και 0,45 (45%) για αποδοτικά αιολικά πάρκα, αναλόγως της τοποθεσίας, της τεχνολογίας και των συνθηκών ανέμου. Ένας υψηλός PCF συνεπάγεται βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης της εγκατεστημένης ισχύος και συνεπώς καλύτερη οικονομική απόδοση του έργου.

4.2.11 Σύνοψη

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό RETScreen παρουσιάστηκαν λεπτομερώς [30]. Αναλύθηκε ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων από τον χρήστη, είτε σε τυποποιημένη (Standard), προσαρμοσμένη (Custom) ή χρήστη-καθορισμένη (User-defined) μορφή, και εξηγήθηκε ο ρόλος των μέσων ετήσιων ταχυτήτων ανέμου ($v = 3-15$ m/s) στον υπολογισμό της συνολικής ετήσιας παραγωγής [31].

Η ακαθάριστη ενεργειακή παραγωγή (E_G) προσδιορίζεται με βάση την τυπική παραγωγή (E_U) και διορθώνεται ως προς συντελεστές πίεσης και θερμοκρασίας, ώστε να λαμβάνονται υπόψη τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες (μέση ετήσια θερμοκρασία και πίεση) [32]. Επιπρόσθετα, η συλλεχθείσα ενέργεια (E_c) προκύπτει μετά την αφαίρεση τεχνικών και λειτουργικών απωλειών, όπως απώλειες διάταξης (λ_a), απώλειες από πάγο και σκόνη ($\lambda_{s\&j}$), διακοπές (λ_d), και άλλες (λ_m).

Η αποδιδόμενη ανανεώσιμη ενέργεια (E_D) είναι το πραγματικό ενεργειακό φορτίο που αποδίδεται στο δίκτυο και εξαρτάται από το συνιστώμενο βαθμό απορρόφησης της ενέργειας από τον τελικό καταναλωτή ή το δίκτυο. Η πλεονάζουσα διαθέσιμη ενέργεια (E_x) υπολογίζεται ως διαφορά μεταξύ της συλλεχθείσας (E_c) και της αποδιδόμενης ενέργειας (E_D), υποδεικνύοντας την ποσότητα ενέργειας που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από το σύστημα.

Τέλος, παρουσιάστηκε ο συντελεστής δυναμικότητας (PCF) της αιολικής εγκατάστασης, ο οποίος εκφράζει την αποτελεσματικότητα εκμετάλλευσης της εγκατεστημένης ισχύος σε ετήσια βάση. Ο υπολογισμός του βασίζεται στον λόγο της συλλεχθείσας ενέργειας προς το γινόμενο της ονομαστικής ισχύος της μονάδας με τον αριθμό ωρών ενός έτους [36].

Συνολικά, το κεφάλαιο ανέδειξε τη δομή και λειτουργία του RETScreen ως ένα απλό αλλά αξιόπιστο εργαλείο προμελέτης έργων αιολικής ενέργειας. Οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται επιτρέπουν τη γρήγορη και ακριβή εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης, ακόμη και με περιορισμένα δεδομένα εισόδου. Η σύγκριση με πιο εξελιγμένα ωριαία μοντέλα δείχνει πως το RETScreen αποτελεί μια αποτελεσματική και αποδοτική λύση σε πρώιμα στάδια σχεδιασμού αιολικών έργων [31].

4.3 Το Μοντέλο RETScreen Έργων Ηλιακής Ενέργειας και Φωτοβολταϊκών

Το RETScreen είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό για την αξιολόγηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποδοτικότητας ενέργειας [30]. Στο πλαίσιο των φωτοβολταϊκών συστημάτων, παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης της απόδοσης, της παραγόμενης ενέργειας, των απωλειών, καθώς και της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης [37].

Το μοντέλο βασίζεται σε δεδομένα ακτινοβολίας (GHI ή και POA), κλιματολογικά στοιχεία, χαρακτηριστικά του εξοπλισμού, καθώς και στον τύπο και τον προσανατολισμό της εγκατάστασης. Οι υπολογισμοί περιλαμβάνουν τόσο την ενεργειακή απόδοση, όσο και τις τεχνικές απώλειες, που σχετίζονται με το περιβάλλον (σκόνη, θερμοκρασία, σκίαση), τον εξοπλισμό (μετατροπέας, καλωδιώσεις), καθώς και απώλειες ευθυγράμμισης ή συντήρησης.

4.3.1 Εισαγωγή Δεδομένων

Η ανάλυση ξεκινά με την εισαγωγή ηλιακών δεδομένων (ηλιακή ακτινοβολία), τα οποία μπορούν να προέρχονται από τη βάση δεδομένων NASA ή Environment Canada, ή να εισαχθούν απευθείας από τον χρήστη. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχεται συνήθως ως μέση ημερήσια τιμή (kWh/m²/ημέρα) σε οριζόντια επιφάνεια και μετατρέπεται σε τιμές επί του πραγματικού προσανατολισμού του συστήματος μέσω υπολογιστικών μοντέλων.

4.3.2 Τύπος και Διαμόρφωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Το RETScreen επιτρέπει την επιλογή μεταξύ:

- Σταθερών φωτοβολταϊκών πάνελ (fixed-tilt)
- Παρακολουθητών ενός άξονα (single-axis trackers)
- Παρακολουθητών δύο αξόνων (dual-axis trackers)

Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την κλίση (tilt) και τον προσανατολισμό (azimuth) των πάνελ, καθώς και το συντελεστή σκίασης και τις απώλειες μετατροπής, διανομής και συντήρησης.

4.3.3 Υπολογισμός Παραγόμενης Ενέργειας

Το λογισμικό υπολογίζει την ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε kWh, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$E = H_t \cdot A \cdot \eta_s \cdot (1 - L)$$

όπου:

H_t: είναι η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία επί της επιφάνειας των πάνελ (kWh/m²)

A: είναι η συνολική επιφάνεια συλλογής (m²)

η_s : είναι η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος

L: είναι το ποσοστό απωλειών (από καλώδια, μετατροπείς, σκίαση, σκόνη κ.λπ.)

Το RETScreen υπολογίζει και συντελεστές διόρθωσης ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας και τη γεωγραφική τοποθεσία του έργου [31], [38].

4.3.4 Αποδιδόμενη Ενέργεια στο Δίκτυο

Η τελική παραγόμενη ενέργεια που αποδίδεται στο δίκτυο (ή στο φορτίο για αυτόνομα συστήματα) είναι η καθαρή αποδιδόμενη ενέργεια, η οποία λαμβάνει υπόψη απώλειες από μετατροπείς, μπαταρίες (αν υπάρχουν) και συστήματα αποθήκευσης. Το λογισμικό υπολογίζει επίσης τον συντελεστή απόδοσης του συστήματος (performance ratio) που υποδεικνύει την πραγματική απόδοση σε σχέση με τη θεωρητικά μέγιστη [39].

4.3.5 Οικονομική Ανάλυση

Το RETScreen περιλαμβάνει εργαλεία για τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας (NPV), της εσωτερικής απόδοσης (IRR), του χρόνου αποπληρωμής, του κόστους παραγωγής ενέργειας (€/kWh) και της αναλογίας οφέλους-κόστους (B/C). Ο χρήστης μπορεί να εισάγει σενάρια χρηματοδότησης, ποσοστά επιδότησης, κόστη εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και την τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας [36], [37].

4.3.6 Περιβαλλοντική Ανάλυση

Επιπλέον, το μοντέλο υπολογίζει τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, NO_x, SO₂) που επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος, συγκρίνοντάς την με την παραγωγή ενέργειας από συμβατικά καύσιμα

4.3.7 Εφαρμογές και Περιορισμοί

Το RETScreen ενδείκνυται για προμελέτες σκοπιμότητας και λήψη αρχικών αποφάσεων. Δεν προσφέρει ωριαία προσομοίωση, όπως άλλα λογισμικά (π.χ. PVsyst), όμως απαιτεί πολύ λιγότερα δεδομένα εισόδου, καθιστώντας το εξαιρετικά χρήσιμο σε πρώιμα στάδια σχεδιασμού. Ο συνδυασμός τεχνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής ανάλυσης σε ένα μόνο εργαλείο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα [32].

4.3.8 Σύμπερασμα

Το μοντέλο RETScreen αποδεικνύεται ένα αξιόπιστο εργαλείο για την αρχική αξιολόγηση της βιωσιμότητας φωτοβολταϊκών έργων. Με περιορισμένα δεδομένα εισόδου, όπως η μέση ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να προσφέρει ρεαλιστικές εκτιμήσεις ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων στη φάση της προμελέτης [30], [31].

Κεφάλαιο 5 Η νήσος Σκύρος

5.1 Η Σκύρος

Η νήσος Σκύρος είναι το νοτιότερο και μεγαλύτερο σε έκταση 210 τετραγωνικών χιλιομέτρων νησί των Βορείων Σποράδων, με πληθυσμό 2.994 κατοίκων. Βρίσκεται ανατολικά της Εύβοιας, από την οποία απέχει περίπου 35 χλμ. Το νησί, κατά το μεγαλύτερο μέρος, είναι ορεινό κυρίως στα νοτιοανατολικά, όπου υπάρχουν τα όρη Κόχυλας (792 μ.), Κουμάρ, Πιριώνες και Φανόφτης. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Σκύρος ή Χώρα που βρίσκεται στην ανατολική ακτή. Το κλίμα του νησιού χαρακτηρίζεται από δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες με μέση ετήσια θερμοκρασία 17 βαθμούς Κελσίου.

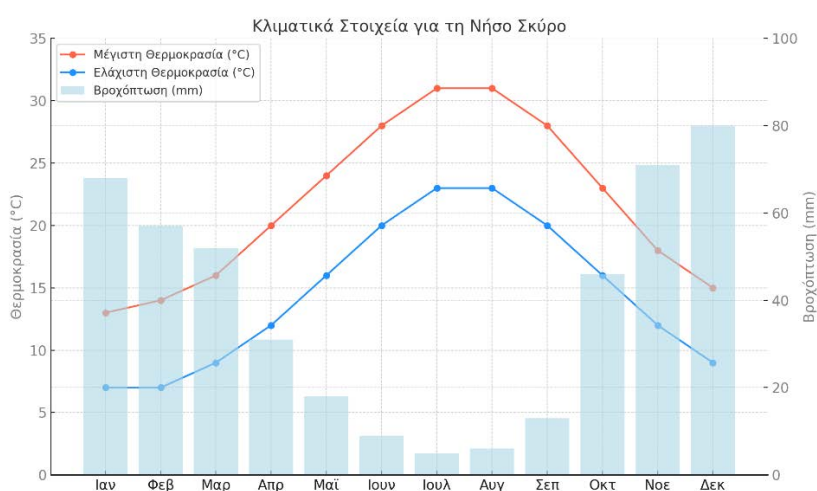
5.2 Κλίμα και γεωγραφικά χαρακτηριστικά

Η νήσος Σκύρος, η μεγαλύτερη των Σποράδων, έχει ένα ιδιαίτερο κλίμα που διαμορφώνεται από τη γεωγραφική της θέση και το έντονο ανάγλυφό της. Η νήσος έχει μεσογειακό κλίμα, αλλά με τοπικές διαφοροποιήσεις εξαιτίας του γεωμορφολογικού της χαρακτήρα. Το καλοκαίρι είναι αρκετά ζεστό και ξηρό, με μέσες μέγιστες θερμοκρασίες γύρω στους 28–32 °C. Αντίθετα, ο χειμώνας είναι ήπιος και οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 8 έως 12 °C. Οι δυνατοί βοριάδες, ωστόσο, κάνουν τον χειμώνα αρκετά ψυχρότερα. Σχετικά με την συχνότητα των βροχοπτώσεων, είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι είναι σχεδόν άνυδρο.

Ακόμη, οι άνεμοι που επικρατούν στο νησί είναι κυρίως βόρειοι το καλοκαίρι, κρατώντας το πιο δροσερό. Τον χειμώνα οι νοτιάδες και ανατολικοί άνεμοι ταλανίζουν το νησί. Όσον αφορά τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του νησιού, το βόρειο- κεντρικό τμήμα του νησιού είναι κυρίως ορεινό και δασωμένο. Εκεί το μικροκλίμα είναι πιο υγρό. Αντίθετα, το νότιο τμήμα είναι πιο ξηρό, βραχώδες σχεδόν

ημιορημικό τοπίο.

Τέλος, τα τοπικά μικροκλίματα ποικίλουν ανάλογα με τις γεωγραφικές ιδιαιτερότητες των εκάστοτε περιοχών. Οι παράκτιες περιοχές επηρεάζονται άμεσα από τη θαλάσσια αύρα, που μετριάζει τις ακραίες θερμοκρασίες. Το εσωτερικό παρουσιάζει μεγαλύτερες θερμικές διακυμάνσεις ανάμεσα σε μέρα και νύχτα [20]. Η Εικόνα 3 είναι ένα κλιματικό διάγραμμα που παρουσιάζει μέση μηνιαία μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και τη μέση μηνιαία βροχόπτωση για τη Νήσο Σκύρο.



Εικόνα 3: Κλιματικά στοιχεία για τη Νήσο Σκύρο

5.3 Πως επηρεάζει το κλίμα του νησιού τους κατοίκους του στην κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας των κατοίκων της νήσου Σκύρου επηρεάζεται σημαντικά από το κλίμα της. Επιδρά κυρίως στις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και γενικότερα τον τρόπο ζωής και τις ενεργειακές συνήθειες των κατοίκων.

Πιο αναλυτικά οι ηπιότεροι χειμώνες χαμηλώνουν τις ανάγκες για θέρμανση σε σχέση με την ηπειρωτική Ελλάδα. Χρησιμοποιούνται κυρίως τζάκια, ξυλόσομπες ή πετρέλαιο, αλλά με μικρότερη διάρκεια χρήσης μέσα στο έτος. Αυτό συνεπάγεται χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων για θέρμανση [20].

Ωστόσο, οι υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και η μακρά περίοδος ξηρασίας αυξάνουν τις ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη των κατοίκων. Η κατανάλωση αυξάνεται κατακόρυφα και με την αύξηση του τουρισμού τους καλοκαιρινούς μήνες.

Το κλίμα του νησιού, επιπρόσθετα, είναι ιδανικό για την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τόσο η ηλιακή ενέργεια όσο και η αιολική μπορούν να αξιοποιηθούν στο έπακρο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων του νησιού.

Εάν βασιστούμε στο γεγονός ότι η Σκύρος είναι νησί με περιορισμένες υποδομές και υψηλό κόστος μεταφοράς καυσίμων, η θέρμανση των κατοικιών στηρίζεται σε ατομικές λύσεις, όπως ξυλόσομπες, τζάκια και ηλεκτρικά κλιματιστικά [20].

Το ενεργειακό κόστος μπορεί να είναι υψηλότερο, διότι το νησί εξαρτάται ενεργειακά από το ηπειρωτικό δίκτυο ή τοπικές γεννήτριες, Ακόμη τυχόν προβλήματα στο δίκτυο (π.χ. διακοπές ρεύματος το καλοκαίρι) επηρεάζουν την καθημερινότητα, ειδικά σε τουριστική περίοδο.

5.4 Κατανάλωση ενέργειας στη νήσο Σκύρο

Η Σκύρος, ως μη διασυνδεδεμένο νησί, στηρίζει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της στις τοπικές μονάδες παραγωγής. Η μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται από περίπου 1.013 MWh τον Μάιο έως 2.125 MWh τον Αύγουστο, με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται κατά τους θερινούς μήνες λόγω τουρισμού, σύμφωνα με στοιχεία μελέτης που εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο [13].

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί βασίζεται κυρίως σε γεννήτριες ντίζελ, γεγονός που συνεπάγεται υψηλό κόστος παραγωγής και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για την αντιμετώπιση αυτών των

προκλήσεων, έχουν υλοποιηθεί έργα ενσωμάτωσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και η αντικατάσταση του δημοτικού φωτισμού με LED, επιτυγχάνοντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση εκπομπών CO₂. Στον Πίνακα 2, παρουσιάζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη νήσο Σκύρο ανά μήνα. Το σύνολο ετήσιας κατανάλωσης είναι περίπου 15.6 GWh.

Πίνακας 2: Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Σκύρο (ανά μήνα)

Μήνας	Κατανάλωση (MWh)
Ιανουάριος	1.291
Φεβρουάριος	1.090
Μάρτιος	1.059
Απρίλιος	1.034
Μάιος	1.013
Ιούνιος	1.211
Ιούλιος	1.778
Αύγουστος	2.125
Σεπτέμβριος	1.513
Οκτώβριος	1.144
Νοέμβριος	1.066
Δεκέμβριος	1.235

5.4.1 Χαρακτηριστικά Συστήματος Ηλεκτροδότησης στη Σκύρο

Το σύστημα ηλεκτροδότησης στη Σκύρο είναι αυτόνομο δηλαδή δεν είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος βασίζεται σε ατομικές μονάδες, κυρίως από ντιζελογεννήτριες. Αυτό συνεπάγεται και υψηλό κόστος ανά κιλοβατώρα λόγω καυσίμου και συντήρησης. Καθώς οι απώλειες και οι περιορισμοί ισχύος αυξάνονται τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουριστικής αιχμής.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι έχουν ήδη υλοποιηθεί ορισμένες πρωτοβουλίες που εντάσσονται στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης του νησιού. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε δημόσια κτίρια και η αντικατάσταση του δημοτικού φωτισμού με τεχνολογία LED, η οποία έχει οδηγήσει

σε εξοικονόμηση ενέργειας άνω του 60%. Επιπλέον, το νησί έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα «Ενεργειακή Απόδοση στα Νησιά», με τη στήριξη του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EEA Grants) [17].

Συμπερασματικά, καθώς η κατανάλωση ρεύματος στη Σκύρο αυξάνεται έντονα την τουριστική περίοδο του καλοκαιριού προκύπτει η ανάγκη απεξάρτησης από το πετρέλαιο και μετάβασης σε ΑΠΕ (ηλιακή, αιολική).

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ, η Σκύρος, ως μη διασυνδεδεμένο νησί, διαθέτει αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα, και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καταγράφεται καθημερινά μέσω του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ).

Τα απολογιστικά δεδομένα του ΗΕΠ παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για την ημερήσια κατανάλωση, τις πηγές παραγωγής και τις ανάγκες φορτίου του νησιού. Αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στον ιστότοπο του ΔΕΔΔΗΕ, στην ενότητα για το Ηλεκτρικό Σύστημα (ΗΣ) Σκύρου.

5.5 Γιατί επιλέχθηκε η νήσος Σκύρος

Η νήσος Σκύρος, ως μη διασυνδεδεμένο νησί του ελληνικού αρχιπελάγους, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), λόγω τόσο των φυσικών της χαρακτηριστικών όσο και των ενεργειακών της αναγκών. Η υφιστάμενη ηλεκτροπαραγωγή βασίζεται σε πετρελαϊκές μονάδες, γεγονός που συνεπάγεται υψηλό λειτουργικό κόστος και αυξημένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις.

Η γεωμορφολογία και η κλιματολογική ταυτότητα του νησιού ευνοούν σημαντικά την αξιοποίηση του αιολικού και ηλιακού δυναμικού, καθιστώντας τη Σκύρο κατάλληλη για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων, φωτοβολταϊκών συστημάτων και υβριδικών διατάξεων με αποθήκευση ενέργειας. Η ανάπτυξη έργων ΑΠΕ μπορεί να οδηγήσει στη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας, την απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και τη

σταδιακή επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας.

Επιπλέον, η ενεργειακή μετάβαση συμβάλλει θετικά στην τοπική οικονομία, την κοινωνική συμμετοχή μέσω ενεργειακών κοινοτήτων και την ενίσχυση του βιώσιμου τουρισμού. Η στρατηγική αυτή ευθυγραμμίζεται πλήρως με τις εθνικές δεσμεύσεις και τις ευρωπαϊκές πολιτικές για την πράσινη ανάπτυξη και την ενίσχυση της καθαρής ενέργειας στα νησιά.

5.6 Σύνδεση της νήσου Σκύρου με το ηπειρωτικό δίκτυο

Η Σκύρος, ένα από τα μεγαλύτερα νησιά των Σποράδων, σήμερα ηλεκτροδοτείται μέσω τοπικών μονάδων παραγωγής, κυρίως με χρήση πετρελαίου. Ωστόσο, τίθεται το ερώτημα κατά πόσο μπορεί το νησί να συνδεθεί με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας.

Από τεχνική άποψη, η σύνδεση της Σκύρου με το δίκτυο είναι εφικτή. Το νησί βρίσκεται περίπου 40 χιλιόμετρα από την Εύβοια, μια απόσταση που μπορεί να καλυφθεί με την εγκατάσταση υποβρύχιου καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογα έργα έχουν ήδη πραγματοποιηθεί σε άλλα νησιά του Αιγαίου, όπως η Σύρος και η Άνδρος, αποδεικνύοντας ότι η τεχνολογία και η τεχνογνωσία υπάρχουν.

Ωστόσο, το έργο αυτό απαιτεί σημαντική οικονομική επένδυση. Η κατασκευή ενός τέτοιου καλωδίου είναι πολύ δαπανηρή και συνήθως χρειάζεται κρατική ή ευρωπαϊκή χρηματοδότηση. Παρά το υψηλό αρχικό κόστος, η σύνδεση με το ηπειρωτικό δίκτυο θα μειώσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε βάθος χρόνου, καθώς θα περιοριστεί η χρήση ακριβών και ρυπογόνων καυσίμων.

Επιπλέον, η διασύνδεση θα επιτρέψει στη Σκύρο να αξιοποιήσει περισσότερο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, όπως τον άνεμο και τον ήλιο, ενισχύοντας την

ενεργειακή της αυτάρκεια και μειώνοντας το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα [5].

Συμπερασματικά, η Σκύρος μπορεί να συνδεθεί με το ηπειρωτικό δίκτυο, και μια τέτοια επιλογή, αν και δαπανηρή αποτελεί σημαντική επένδυση για την αειφορία, την ενεργειακή ασφάλεια και την περιβαλλοντική προστασία του νησιού.

5.7 Η Ηλιακή Ακτινοβολία στη Νήσο Σκύρο και οι Προοπτικές Αξιοποίησής της για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η κλιματική αλλαγή και η ανάγκη για ενεργειακή μετάβαση προς φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας καθιστούν την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ζήτημα υψίστης σημασίας, ιδίως για τις νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας [8]. Η Σκύρος, το μεγαλύτερο νησί των Βόρειων Σποράδων, διαθέτει γεωγραφικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά που την καθιστούν κατάλληλη για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το νησί αποτελεί απαραίτητη βάση για τον ενεργειακό σχεδιασμό και την εκτίμηση του δυναμικού της περιοχής. Αν και δεν υπάρχουν επίσημα μετεωρολογικά δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας ειδικά για τη Σκύρο, μπορούν να γίνουν ασφαλείς εκτιμήσεις με βάση στοιχεία από γειτονικές περιοχές, όπως η Κεντρική και Νότια Εύβοια. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που κυμαίνεται από 1.400 έως 1.800 kWh/m², τιμές οι οποίες κατατάσσουν την Ελλάδα μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών με την υψηλότερη ηλιακή ενέργεια.

Περαιτέρω μελέτες καταγράφουν ημερήσια μέση ακτινοβολία περίπου 3,6 kWh/m², με συνολική ετήσια περίοδο ηλιοφάνειας που υπερβαίνει τις 2.600 ώρες. Είναι επομένως εύλογο να θεωρήσουμε ότι η Σκύρος απολαμβάνει παρόμοια επίπεδα ακτινοβολίας, γεγονός που καθιστά το νησί εξαιρετικά κατάλληλο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην ενεργειακή αυτάρκεια της Σκύρου, ιδίως σε συνδυασμό με την ενδεχόμενη σύνδεσή

της στο ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων και η εγκατάσταση συστημάτων σε κατοικίες, δημόσια κτήρια ή αγροτικές εκμεταλλεύσεις θα μπορούσαν να περιορίσουν τη χρήση ρυπογόνων μορφών ενέργειας, όπως το πετρέλαιο, το οποίο σήμερα κυριαρχεί στην παραγωγή ρεύματος στο νησί [31].

Η μετάβαση σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θα έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η μείωση των εκπομπών CO₂, αλλά και κοινωνικά και οικονομικά, μέσω της δημιουργίας θέσεων εργασίας και της μείωσης του κόστους ενέργειας για τους κατοίκους. Συμπερασματικά, Σκύρος διαθέτει υψηλό ηλιακό δυναμικό, συγκρίσιμο με εκείνο άλλων περιοχών της Ελλάδας που αξιοποιούν ήδη σε μεγάλο βαθμό την ηλιακή ενέργεια. Η συστηματική μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας και η χάραξη ενός στρατηγικού σχεδίου ενεργειακής μετάβασης προς ΑΠΕ μπορούν να μεταμορφώσουν το ενεργειακό προφίλ του νησιού. Η επένδυση στην ηλιακή ενέργεια δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντική υποχρέωση, αλλά και μια ουσιαστική ευκαιρία για βιώσιμη ανάπτυξη.

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 στον Πίνακα 3 αποτυπώνεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στη Σκύρο (σε kWh/m²) για οριζόντιο επίπεδο [35].

Πίνακας 3: Η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στη Σκύρο

Μήνας	Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m ²)
Ιανουάριος	51
Φεβρουάριος	69
Μάρτιος	112
Απρίλιος	154
Μάιος	200
Ιούνιος	215
Ιούλιος	223
Αύγουστος	204
Σεπτέμβριος	164
Οκτώβριος	116

Νοέμβριος	77
Δεκέμβριος	60

Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ετήσιας ηλιακής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από φωτοβολταϊκά συστήματα στη Σκύρο.

5.8 Η Αιολική Ενέργεια στη Νήσο Σκύρο και η Επάρκειά της για την Κάλυψη των Τοπικών Ενεργειακών Αναγκών

Η ενεργειακή μετάβαση προς Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, με στόχο την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Τα ελληνικά νησιά, λόγω της γεωμορφολογίας τους και του υψηλού αιολικού και ηλιακού δυναμικού, προσφέρουν ιδανικές συνθήκες για την αξιοποίηση καθαρών μορφών ενέργειας. Η νήσος Σκύρος, με έκταση περίπου 210 τετραγωνικά χιλιόμετρα και πληθυσμό κοντά στους 3.000 κατοίκους, αποτελεί ένα τέτοιο παράδειγμα, με αξιόλογο αιολικό δυναμικό που δύναται να αξιοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών [31].

Η Σκύρος χαρακτηρίζεται από έντονο αιολικό δυναμικό, ειδικά στους βόρειους και κεντρικούς της τομείς. Σύμφωνα με δεδομένα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ), το νησί καταγράφει μέση ταχύτητα ανέμου που ξεπερνά τα 7–8 m/s σε πολλές περιοχές, ιδιαίτερα σε υψόμετρα άνω των 300 μέτρων, γεγονός που το κατατάσσει στις περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα.

Με βάση αυτές τις ταχύτητες, είναι εφικτή η εγκατάσταση ανεμογεννητριών με υψηλό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30–40%, κάτι που καθιστά οικονομικά βιώσιμη και τεχνικά αποτελεσματική την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του

ανέμου.

Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της Σκύρου εκτιμώνται σε περίπου 10–12 GWh, με κυμαινόμενη ζήτηση ανάλογα με την εποχή, κυρίως λόγω του τουρισμού. Ένα αιολικό πάρκο ισχύος 10 MW με μέση ετήσια παραγωγή 2.500–3.000 MWh/MW εγκατεστημένης ισχύος θα μπορούσε να αποδώσει περίπου 25–30 GWh/έτος, δηλαδή πολλαπλάσια από την ετήσια κατανάλωση του νησιού.

Αυτό υποδηλώνει πως, όχι μόνο είναι επαρκής η αιολική ενέργεια για την κάλυψη των τοπικών αναγκών, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα μεταφοράς πλεονάζουσας ενέργειας προς το ηπειρωτικό δίκτυο, υπό την προϋπόθεση τεχνικής διασύνδεσης της Σκύρου με την Εύβοια.

Η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στη Σκύρο έχει προκαλέσει έντονο δημόσιο διάλογο και αντιδράσεις, κυρίως λόγω του φόβου αλλοίωσης του φυσικού τοπίου, επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα και πιθανών επιδράσεων στον τουρισμό. Παρ' όλα αυτά, οι σύγχρονες περιβαλλοντικές μελέτες και πρακτικές βιώσιμης ανάπτυξης μπορούν να μειώσουν τις επιπτώσεις και να εξισορροπήσουν την ανάγκη για καθαρή ενέργεια με την προστασία του περιβάλλοντος και της τοπικής πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η Σκύρος διαθέτει επαρκές και αξιόλογο αιολικό δυναμικό, ικανό να καλύψει πλήρως – και να υπερκαλύψει– τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Η αιολική ενέργεια, αν ενταχθεί σε έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό που συνυπολογίζει την κοινωνική αποδοχή και την περιβαλλοντική προστασία, μπορεί να αποτελέσει τον πυρήνα μιας βιώσιμης και αυτόνομης ενεργειακής στρατηγικής για το νησί.

Κεφάλαιο 6 Ενεργειακή, Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση Αιολικού Πάρκου με τη Χρήση του Λογισμικού Ανάλυσης Έργων Καθαρής Ενέργειας RETScreen

Σε αυτό το κεφάλαιο με τη χρήση του εγχειρίδιου RETScreen παρουσιάζεται διεξοδικά η ενεργειακή, περιβαλλοντική και χρηματοοικονομική ανάλυση ενός αιολικού πάρκου στη περιφέρεια της Σκύρου.

6.1 Περιγραφή Αιολικού Πάρκου

6.1.1 Τοποθεσία

Το Αιολικό Πάρκο συνολικής Ισχύος 8 MW , αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες τύπου VESTAS V90 2.0 MW με ύψος 80 m. Το έργο θα εγκατασταθεί σε υψόμετρο 127 m στη περιοχή Αραγάδες Σκύρου νομού Εύβοιας με γεωγραφικό πλάτος 38,8 και γεωγραφικό μήκος 24,7. Η σύνδεση γίνεται σε υποσταθμούς διασύνδεσης 20/150 kV και υπόγεια γραμμή Μ.Τ. μήκους 3 km.

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως μεσογειακό όπως και στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου και περιλαμβάνει δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Η επικράτηση των βόρειων ανέμων στο νησί το καλοκαίρι μετριάξει τις υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές, μειώνοντας σημαντικά τον δείκτη δυσφορίας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι οι 16,9 °C. Το νησί κατά το μεγαλύτερο μέρος είναι ορεινό, κυρίως στα νοτιοανατολικά όπου υπάρχουν και τα όρη Κόχυλας (792 m).

Η θερμοκρασία θέρμανσης εδάφους βάσει σχεδιασμού αγγίζει τους 3,1 °C ενώ η θερμοκρασία ψύξης τους 29,8 °C. Το νησί χαρακτηρίζεται από σχετική υγρασία ύψους 72,1% και η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή πλησιάζει τα 4,3 m/sγεγονός

που καθιστά ικανή τη δημιουργία και την λειτουργία ενός ευημερούς αιολικού πάρκου [40].

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τις γεωγραφικές συντεταγμένες των τεσσάρων ανεμογεννητριών της εγκατάστασης. Οι θέσεις αυτές επιλέχθηκαν με βάση το αιολικό δυναμικό της περιοχής και έχουν καταγραφεί με ακρίβεια για τη χωροθέτηση και τη μοντελοποίηση του ενεργειακού συστήματος. Η κατανομή των ανεμογεννητριών λαμβάνει υπόψη τη βέλτιστη απόσταση μεταξύ τους, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ροών αέρα και να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοση του πάρκου.

Πίνακας 4: Συντεταγμένες Θέσεων Α/Γ

A/Γ 1	38,769325	24,656944
A/Γ 2	38,772564	24,663125
A/Γ 3	38,776295	24,669347
A/Γ 4	38,776936	24,677681

Η σχεδίαση του πάρκου έγινε σύμφωνα (επιλογή τύπου ανεμογεννήτριας, αποστάσεις μεταξύ των μηχανών, προσανατολισμός) έγινε σύμφωνα με τους κανόνες της τέχνης και της επιστήμης όπως και η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

Οι λόγοι επιλογής αυτού του σημείου είναι αρκετοί καθώς υπάρχουν κάποιες προδιαγραφές για την εγκατάσταση ενός τέτοιου έργου. Συγκεκριμένα δεν ανήκει:

- στη ζώνη αποκλεισμού 150 m από το Υδρογραφικό Δίκτυο,
- στη ζώνη αποκλεισμού περιοχές Natura 2000 (ζώνες προστασίας της φύσης),
- στη ζώνη αποκλεισμού 1500 m από ακτές κολύμβησης,
- στη ζώνη αποκλεισμού 500 m από αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία,
- στη ζώνη αποκλεισμού 1500 m από παραδοσιακούς οικισμούς,
- στη ζώνη αποκλεισμού 1000 m από οικισμούς <2000 κατοίκων,
- στη ζώνη αποκλεισμού 130 m από το οδικό δίκτυο,

- στη ζώνη αποκλεισμού 500 m από μεταλλευτικές ζώνες και τέλος στη ζώνη αποκλεισμού 130 m από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.

Μετά από όλες τις ζώνες αποκλεισμού προέκυψε το σημείο και κάποια ακόμα. Ο χώρος εκτείνεται σε 9.428.581,029 m² γεγονός που επιτρέπει την εγκατάσταση έως 4 ανεμογεννητριών (Σύμφωνα με τον θεσμοθετημένο περιορισμό για τον νησιωτικό χώρο, η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα εγκατάστασης ανεμογεννητριών ορίζεται σε 0,53 τυπικές μονάδες ανά 1.000 στρέμματα, ήτοι μία ανεμογεννήτρια ανά 1.886 στρέμματα περίπου). Κάθε ανεμογεννήτρια είναι σχεδιασμένη για ελάχιστη διάρκεια ζωής 20 ετών συνεχούς λειτουργίας. Η αντοχή και η διαστασιολόγηση όλων των επιμέρους εξαρτημάτων και συνιστωσών έχουν υπολογισθεί με βάση την διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών καθώς και τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες [41].

6.1.2 Τύπος Ανεμογεννήτριας

Ο τύπος των ανεμογεννητριών Vestas V90-2.0 MW επιλέχθηκε ως ο καταλληλότερος για τη θέση αυτή καθώς καλύπτει στο έπακρο τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, τεχνικές προδιαγραφές, τις απαιτήσεις του έργου και τη βέλτιστη απόδοση του.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο ο πυλώνας του έχει ύψος 80 m, ο ρότορας κάθε στροβίλου έχει διάμετρο 90 m και η επιφάνεια σάρωσης του κάθε στροβίλου αγγίζει τα 6.361,73 m². Τα πτερύγια έχουν μήκος 44 m και βάρος 6,6 tn περίπου το καθένα. Είναι κατασκευασμένα από σύνθετο υλικό εποξειδικής ρητίνης ενισχυμένης με υαλονήματα και ανθρακονήματα. Το κάθε πτερύγιο αποτελείται από δύο κελύφη που συνδέονται σε μια κεντρική δοκό. Το πτερύγιο συνδέεται με το έδρανο του στη ρίζα με ένα ειδικό παρέμβυσμα αλουμινίου. Το έδρανο του πτερυγίου είναι έδρανο κυλίσεως που βρίσκεται στην κεφαλή των πτερυγίων ενώ διαθέτουν και σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, το οποίο αποτελείται από ειδικούς αισθητήρες.

Στον Πίνακα 5 παρατηρούμε το εύρος των τιμών της ισχύ που αποκτά η Α/Γ εξαιτίας

της ταχύτητας του ανέμου και σε ποιο σημείο αποκτά τη μέγιστη ισχύ του καθώς και η ζήτηση ενέργειας που προκύπτει σε kWh [42].

Πίνακας 5: Ταχύτητα ανέμου-ισχύς

Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Ισχύς (kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	56
5	165
6	339
7	570
8	863
9	1.215
10	1.606
11	1.878
12	1.974
13	1.995
14	2.000
15	2.000
16	2.000
17	2.000
18	2.000
19	2.000
20	2.000
21	2.000
22	2.000
23	2.000
24	2.000
25	2.000

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι τελευταίας τεχνολογίας, παρέχοντας το πλεονέκτημα της μέγιστης δεσμευόμενης από τον άνεμο ενέργεια σε κάθε επίπεδο ταχύτητας με ταυτόχρονη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου. Στην Εικόνα 4, παρουσιάζονται τα ειδικά χαρακτηριστικά των Α/Γ (ύψος, αριθμός στροβίλων μοντέλο επιλογής, διάμετρο και την συνολική ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει).

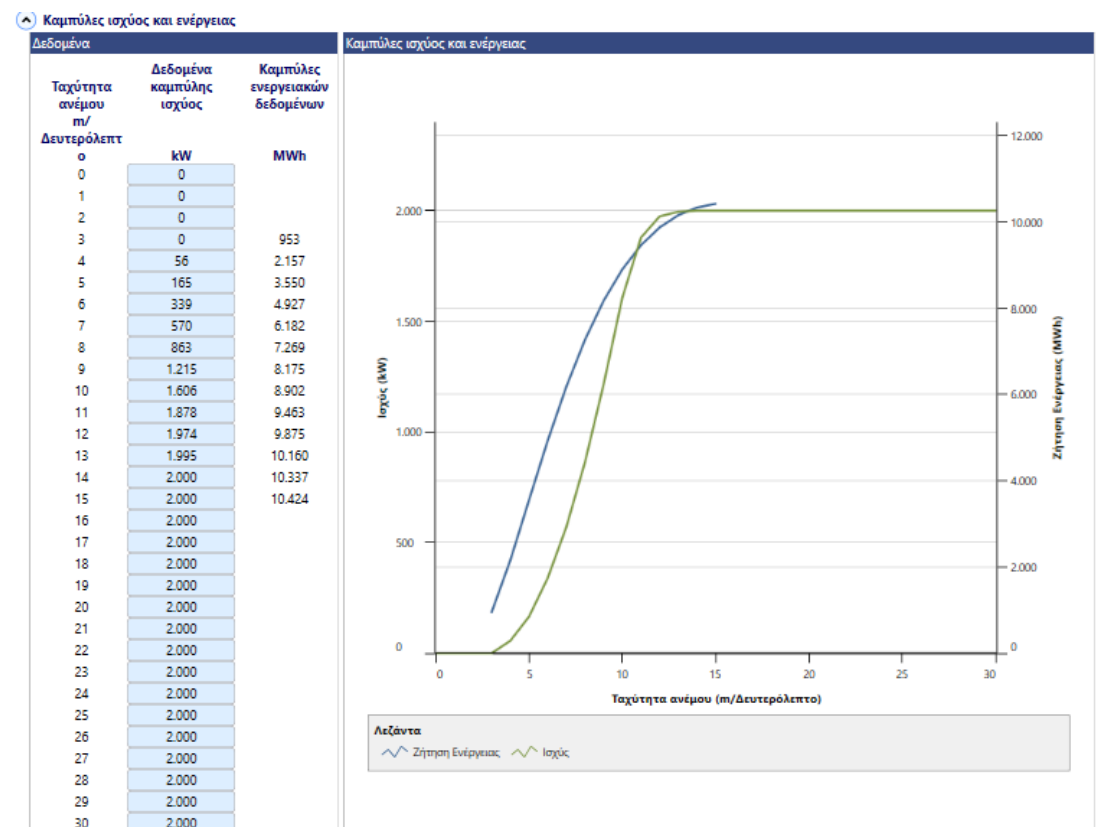
Στη συνέχεια, στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται τα δεδομένα ταχύτητας ανέμου (m/s) σε σχέση με την παραγόμενη ενέργεια (MWh). Η Εικόνα 5 απεικονίζει τις καμπύλες ισχύος και ενέργειας μιας ανεμογεννήτριας, με βάση την ταχύτητα του ανέμου. Οι καμπύλες αυτές είναι κρίσιμες για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της ενεργειακής παραγωγής μιας μονάδας αιολικής ενέργειας. Ακόμη, η Εικόνα 5 περιλαμβάνει τις αντίστοιχες τιμές ταχύτητας ανέμου (σε m/s), ισχύος (σε kW), και σωρευτικής ενέργειας (σε MWh). Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει μετρήσιμη ισχύ από τα 3 m/s και άνω, με σταδιακή αύξηση της ισχύος έως και τα 12 m/s. Από αυτό το σημείο και μετά, η παραγόμενη ισχύς σταθεροποιείται στα 2.000 kW, που αποτελεί και τη μέγιστη ισχύ (ονομαστική ισχύς) της μονάδας. Το γράφημα στην Εικόνα 5 αποτυπώνει δύο βασικές καμπύλες: την καμπύλη ισχύος (πράσινη), η οποία παρουσιάζει σημαντική αύξηση μεταξύ 3 και 12 m/s και σταθεροποιείται στα 2.000 kW, και την καμπύλη σωρευτικής ενέργειας (μπλε), η οποία συνεχίζει να αυξάνεται μετά τα 12 m/s, με χαμηλότερο ρυθμό λόγω της σταθερής ισχύος.

Μετρημένο σε	m	10	10
Εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου		0,2	
Ανεμογεννήτρια			
Ισχύς ανά στρόβιλο	kW	2.000	
Κατασκευαστής		Vestas	
Μοντέλο		VESTAS V90-2.0MW-80m	
Αριθμός στρόβιλων		4	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	8.000	
Υψος πυλώνα	m	80	6,5 m/Δευτερόλεπτο
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο	m	90	
Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο	m ²	6.361,73	
Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων		Εξατομικευμένη λύση	
Παράγων σχήματος		1,4	

Εικόνα 4: Στιγμιότυπο από το RETScreen για την επιλογή των Α/Γ με τα συνολικά kW

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως οι ανεμογεννήτριες, όταν φτάσουν στο σημείο καμπής τους, δηλαδή τα 2.000 kW στο 14ο δευτερόλεπτο και μετά, η απαιτούμενη ζήτηση ενέργειας μεγιστοποιείται και καλύπτει τις 10.424 MWh. Στη συνέχεια δίνονται και οι συναρτήσεις που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα RETScreen, προκειμένου να αποδώσει τη ζητούμενη συνολική ενέργεια του αιολικού πάρκου υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, με τιμές $T_0 = 288,1 \text{ K}$ και $P_0 = 101,3 \text{ kPa}$.

Η κατανόηση αυτών των καμπυλών είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των αιολικών πάρκων, καθώς επιτρέπει την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης με βάση τα τοπικά ανεμολογικά δεδομένα.



Εικόνα 5: Δεδομένα ταχύτητας ανέμου (m/s) σε σχέση με την παραγόμενη ενέργεια (MWh)

Για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που τροφοδοτεί το δίκτυο από ένα αιολικό πάρκο, λαμβάνονται υπόψη διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις τεχνικές απώλειες του συστήματος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ο συντελεστής θερμοκρασίας (c_T), ο συντελεστής πίεσης (c_H) και ο συντελεστής απωλειών (c_L), οι οποίοι προσαρμόζουν τη θεωρητική ενεργειακή παραγωγή βάσει των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας.

Οι συντελεστές θερμοκρασίας και πίεσης υπολογίζονται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας (T) και πίεσης (P) στην περιοχή όπου εγκαθίσταται το αιολικό

πάρκο, με τις τιμές αναφοράς $T_0 = 288,1 \text{ K}$ και $P_0 = 101,3 \text{ kPa}$. Οι διορθώσεις αυτές διασφαλίζουν ότι η εκτίμηση της ενέργειας γίνεται υπό ρεαλιστικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

$$C_T = \frac{T_0}{T}, C_H = \frac{P}{P_0}$$

Όπου $T_0 = 288,1 \text{ K}$ και $P_0 = 101,3 \text{ kPa}$ είναι οι συνθήκες αναφοράς, ενώ T και P είναι οι πραγματικές μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης της περιοχής.

Ο συντελεστής απωλειών (c_L) εκφράζεται ως γινόμενο επιμέρους συντελεστών, δηλαδή:

$$c_L = \lambda_{\text{διατ}} \times \lambda_{\text{πτερ}} \times \lambda_{\text{δφ}} \times \lambda_{\text{διαθ}}$$

όπου:

- $\lambda_{\text{διατ}}$ είναι ο συντελεστής απωλειών διάταξης (layout losses),
- $\lambda_{\text{πτερ}}$ είναι ο συντελεστής απωλειών πτερυγίου,
- $\lambda_{\text{δφ}}$ είναι ο συντελεστής λοιπών απωλειών (διάφορες λειτουργικές ή περιβαλλοντικές),
- $\lambda_{\text{διαθ}}$ είναι ο συντελεστής διαθεσιμότητας.

Με αυτές τις παραμέτρους οδηγούμαστε στον υπολογισμό της ενέργειας που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια ,με την μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου v , ο οποίες παρουσιάστηκαν αυτόματα στον πίνακα του RETScreen :

$$E_v = 8760 * \sum P_v f(v), (v=3,4,...,15 \text{ m/sec})$$

Όπου P_v η ισχύς για ταχύτητα v και $f(v)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του Weibull. Επιπλέον ο αριθμός 8760 είναι οι ώρες λειτουργίας δηλαδή ένας ολόκληρος χρόνος.

Συγκεκριμένα:

- Απώλειες Διάταξης: Η παράμετρος παρουσιάζει τις ενεργειακές απώλειες εξαιτίας της διάταξης των ανεμογεννητριών, δηλαδή εξαιτίας της απόστασης των στροβίλων, την κλίση και τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας εγκατάστασης του έργου. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0-20% της ακαθάριστης παραγωγής ενέργειας. Στο έργο επιλέχθηκε η τιμή 5% μετά της υπόδειξης του RETScreen.
- Απώλειες Πτερυγίου: Το πεδίο αυτό καθορίζεται και διαμορφώνει την τιμή του από τη ρύπανση των πτερυγίων λόγω σκόνης, εντόμων, από τη προσκόλληση πάγου ανάλογα με την τοποθεσία του και από κατασκευαστικά σφάλματα που επιβραδύνουν τη αποτελεσματικότητά τους. Οι καθορισμένες τιμές περιορίζονται μεταξύ 1 έως 10% της ακαθάριστης παραγωγής ενέργειας. Η τιμή 2% μπήκε προσεγγιστικά με τις παραπάνω ενδείξεις.
- Λοιπές Απώλειες: Η παράμετρος αυτή αναφέρεται σε γενικές απώλειες όπως είναι η συνεχής εκκίνηση και παύση των κινητήρων των ανεμογεννητριών λόγω της υψηλής θερμοκρασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια παραγόμενης ενέργειας. Οι τυπικές τιμές περιορίζονται μεταξύ 2-20% και στην περίπτωση μας επιλέξαμε την τιμή 3% για μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Διαθεσιμότητα: Εξαιτίας των απωλειών λόγω της διακοπής της λειτουργίας για συντήρηση, για επιδιόρθωση βλαβών προκύπτει η μέση διαθεσιμότητα λειτουργίας όλων των ανεμογεννητριών. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 90- 98% ωστόσο στην περίπτωση μας θα επιλέξουμε 95% λόγω του κλίματος και της σύνδεσης του νησιού με το δίκτυο.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του λογισμικού RETScreen στην Εικόνα 6, και λαμβάνοντας υπόψη όλους τους κρίσιμους διορθωτικούς συντελεστές που σχετίζονται με τις απώλειες και τη διαθεσιμότητα του συστήματος, προκύπτει ότι η συνολική καθαρή

ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τις τέσσερις ανεμογεννήτριες ανέρχεται σε 18.572.508kWh ετησίως. Οι επιμέρους απώλειες έχουν υπολογιστεί ως εξής: 5% για απώλειες λόγω διάταξης των ανεμογεννητριών, 2% για απώλειες πτερυγίων, 3% για λοιπές απώλειες, ενώ ο συντελεστής διαθεσιμότητας ανέρχεται στο 95%, τιμές που είναι εντός των συνιστώμενων ορίων για τέτοια έργα. Ο συντελεστής ισχύος του συστήματος έχει εκτιμηθεί στο 26,5%, γεγονός που φανερώνει την αποτελεσματικότητα της μετατροπής της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Το αρχικό κόστος επένδυσης για το έργο εκτιμάται σε περίπου 18.400.000 €, ενώ το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανέρχεται σε 552.000 €, βάσει της παραδοχής ότι οι σχετικές δαπάνες είναι της τάξης των 69 € ανά εγκατεστημένο kW. Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο έχει καθοριστεί στα 91,80 €/MWh, γεγονός που οδηγεί σε ετήσια έσοδα ύψους περίπου 1.705.000 €. Τα παραπάνω στοιχεία καταδεικνύουν τη σημαντική ενεργειακή και οικονομική συνεισφορά του έργου, αποδεικνύοντας τη βιωσιμότητα και αποδοτικότητά του τόσο σε τεχνικό όσο και σε χρηματοοικονομικό επίπεδο.

Επιπρόσθετα, ο όρος συντελεστής ισχύος αποτελεί κρίσιμο δείκτη αξιολόγησης της απόδοσης ενός αιολικού συστήματος και προκύπτει από τον λόγο της πραγματικής ετήσιας παραγωγής ενέργειας προς τη θεωρητικά μέγιστη παραγωγή που θα επιτυγχανόταν αν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στη μέγιστη ονομαστική της ισχύ. Τυπικές τιμές του συντελεστή ισχύος κυμαίνονται μεταξύ 20% και 40 %, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, τις συνθήκες ανέμου και την τεχνολογία της ανεμογεννήτριας.

Απώλειες		
Απώλειες διάταξης	%	5%
Απώλειες πτερυγίου	%	2%
Λοιπές απώλειες	%	3%
Διαθεσιμότητα	%	95%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	26,5%
Αρχικά κόστη	\$/kW	2.500
	\$	20.000.000
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$/kW-έτος	75
	\$	600.000
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - μηνι	
	\$/MWh	99,45
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kWh	18.572.508
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	\$	1.846.943

Εικόνα 6: Απώλειες των Α/Γ από τη χρήση τους και τα συνολικά έσοδα από την πώληση ηλεκτρισμού

Επιπρόσθετα, για την ακριβέστερη εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης και την αξιολόγηση της βιωσιμότητας του έργου, λαμβάνονται υπόψη επιμέρους παράμετροι όπως η μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή, ο συντελεστής πίεσης και ο συντελεστής θερμοκρασίας, οι οποίοι προσαρμόζουν την παραγωγή στις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Παράλληλα, σημαντικός είναι και ο συντελεστής απωλειών, που ενσωματώνει ενεργειακές απώλειες λόγω διατάξεων, πτερυγίων, λοιπών τεχνικών παραγόντων και διαθεσιμότητας.

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχει η ειδική παραγωγή (kWh/m²), ένας δείκτης που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων και αποτυπώνει την αποδοτικότητα της κάθε ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με τα αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης. Η παράμετρος αυτή επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών μονάδων και τη βέλτιστη επιλογή εξοπλισμού ως προς την τοπική ενεργειακή δυναμική.

Ειδικότερα,

$$\frac{E_{\text{ΔΙΚΤ.}}}{NA}$$

Όπου $E_{\text{Δικτ.}}$ είναι η συνολική ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο που παρέχεται από το εμβαδόν των ροτόρων των Α/Γ, N το πλήθος των Α/Γ και A το εμβαδόν από το ρότορα μιας ανεμογεννήτριας.

Η τιμή κυμαίνεται μεταξύ 150 έως 1500 kWh / m² ενώ το κατώτερο όριο υποδηλώνει μία μικρή ανεμογεννήτρια που λειτουργεί σε μη ευνοϊκές συνθήκες ανέμου.

Επιπλέον, το λογισμικό RETScreen όπως φαίνεται στην Εικόνα 7 παρέχει και άλλες κρίσιμες πληροφορίες που αφορούν τη ρεαλιστική αποτίμηση της παραγόμενης ενέργειας ανά στρόβιλο. Η μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή υπολογίστηκε σε 5.438.996 kWh, ενώ λαμβάνοντας υπόψη τους διορθωτικούς συντελεστές πίεσης (0,996) και θερμοκρασίας (0,994), η τελική διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή διαμορφώθηκε σε 5.412.097 kWh. Παράλληλα, εφαρμόζεται συντελεστής απωλειών 0,55 ο οποίος συνυπολογίζει διάφορες πηγές ενεργειακής απώλειας, όπως αεροδυναμικές, ηλεκτρικές ή μηχανικές απώλειες του συστήματος. Η ειδική παραγωγή ανέρχεται σε 471 kWh/m², δείκτης που εκφράζει την παραγωγή ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο εμβαδού σάρωσης της ανεμογεννήτριας και αποτελεί βασικό μέτρο αποδοτικότητας του εξοπλισμού.

Αλλες πληροφορίες		Ανά στρόβιλο
Μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή	kWh	5.438.996
Συντελεστής πίεσης		0,996
Συντελεστής θερμοκρασίας		0,994
Συνολική ενεργειακή παραγωγή	kWh	5.412.097
Συντελεστής απωλειών		0,55
Ειδική παραγωγή	kWh/m ²	471

Εικόνα 7: Πληροφορίες για τους στρόβιλους των Α/Γ

Συνοψίζοντας, στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάστηκε μία ολοκληρωμένη ανάλυση του αιολικού πάρκου στη Σκύρο, αξιοποιώντας το λογισμικό RETScreen για την εκτίμηση της ενεργειακής, περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσής του. Η επιλεγμένη τοποθεσία πληροί όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές, εξασφαλίζοντας

την καταλληλότητά της για εγκατάσταση ανεμογεννητριών, ενώ η τεχνολογική επιλογή των Vestas V90-2.0 MW διασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και απόδοση υπό τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Με ετήσια καθαρή παραγωγή 18.572.508 kWh και συντελεστή ισχύος 26,5%, το έργο αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποδοτικό ενεργειακά. Παράλληλα, το οικονομικό σκέλος της ανάλυσης καταδεικνύει τη βιωσιμότητα της επένδυσης, με σταθερά έσοδα και ελεγχόμενο λειτουργικό κόστος. Συνεπώς, η εφαρμογή του RETScreen συνέβαλε ουσιαστικά στην τεκμηριωμένη αξιολόγηση του έργου, επιβεβαιώνοντας την προοπτική του ως ένα επιτυχημένο παράδειγμα αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε νησιωτικές περιοχές.

6.2 Ανάλυση Κόστους

Το έργο προκειμένου να υλοποιηθεί απαιτούνται κάποιοι παράμετροι σχετικά με το κόστος. Συγκεκριμένα η ανάλυση χωρίζεται σε 3 επίπεδα τα οποία με τη σειρά τους σε άλλες υποενότητες.

Συγκεκριμένα τα τρία πεδία ανάλυσης κόστους είναι:

- Αρχικά Κόστη-Πιστώσεις
- Ετήσια Κόστη
- Περιοδικά Κόστη

Το πεδίο «Αρχικά Κόστη» διαιρείται στις υποενότητες:

- Μελέτη Σκοπιμότητας
- Ανάπτυξη Έργου
- Μηχανολογικά
- Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Ισοζύγιο Συστήματος & Διάφορα Έξοδα

Μελέτη Σκοπιμότητας

Αυτή η ενότητα μας ενημερώνει για την βιωσιμότητα της επένδυση μας, το μελλοντικό κέρδος ή ζημία και θα καθορίσει επίσης την υλοποίηση ή μη του αιολικού πάρκου μας. Τα έξοδα της ενότητας αυτής διαμορφώνονται από τη διερεύνηση του χώρου, την αξιολόγηση των πηγών, την αναλυτική εκτίμηση του κόστους, τη μελέτη σεναρίου αναφοράς ΑΤΘ (Αξιολόγηση Τεχνικής και Τεχνολογικής Λύση), τη προετοιμασία και τη διαχείριση του έργου και τέλος τις επιθυμητές μετακινήσεις για εξέταση του χώρου από κοντά. Το τυπικό κόστος κυμαίνεται μεταξύ 1-5% του συνολικού κόστους. Στη περίπτωση μας καλύπτει το 0,6% του συνολικού ποσού ενώ το κόστος είναι 200.000 ευρώ.

Ανάπτυξη του Έργου

Στο πεδίο αυτό ξεκινά η υλοποίηση του έργου και οι συγκεκριμένες δραστηριότητες που αποτελούν τα έξοδα αυτού του πεδίου είναι οι άδειες και οι εγκρίσεις από το υπουργείου Ανάπτυξης, τα δικαιώματα γης και η επισκόπηση του χώρου, οι νομικές και οι λογιστικές υπηρεσίες προκειμένου να έρθει σε πέρας η εγκατάσταση. Αυτό το πεδίο καλύπτει το 2,2% του συνολικού κόστους και η τιμή του είναι τα 700.000 ευρώ.

Μηχανολογικά

Τα μηχανολογικά κόστη προκύπτουν από την τοποθεσία και τον σχεδιασμό του έργου, από τον μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό σχεδιασμό, τα οικοδομικά υλικά και εργαλεία, τον αστικό σχεδιασμό, την κατασκευή του υποσταθμού καθώς φυσικά και από την επίβλεψη της κατασκευής. Το κόστος των μηχανολογικών ανέρχεται στα 13.000.000 ευρώ και καλύπτει το 40,4% του συνολικού κόστους.

Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το πεδίο αυτό περιλαμβάνει τα κόστη αγοράς των ανεμογεννητριών 2000 kW η κάθε μια, τα έργα οδοποιίας 7 km, η γραμμή μεταφοράς 7km, ο υποσταθμός που εξαρτάται

από την τάση και την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας παραγωγής ενέργειας κόστους 3.500.000 ευρώ. Όλα αυτά καλύπτουν το 37,7% του συνολικού κόστους και το ποσό ανέρχεται στα 12.159.995 ευρώ.

Ισοζύγιο Συστήματος και Διάφορα Έξοδα

Στο ισοζύγιο συστήματος βρίσκονται τα ανταλλακτικά των Α/Γ που καλύπτουν το 2% του συνολικού κόστους, η μεταφορά και η τοποθέτηση, η εκπαίδευση καθώς και τα απρόβλεπτα κόστη λόγω καταστροφών που καλύπτουν το 10% του συνολικού κόστους. Τέλος στο πεδίο αυτό βρίσκονται και οι τόκοι από το δάνειο για την κατασκευή του που είναι ετήσιοι και καλύπτουν το 9,5%.

Στις Εικόνες 8 και 9 παρουσιάζεται το αρχικό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου και παρατηρούμε αναλυτικά τα εξής:

Το συνολικό αρχικό κόστος του έργου ανέρχεται στα 32.216.904 \$, εκ των οποίων η πλειοψηφία αφορά τα μηχανολογικά έξοδα, με ποσό 13.000.000 \$ (περίπου 40,4% του επιμέρους κόστους), που αντιστοιχεί σε 13.000.000 \$ $\approx$ 13.040.427 €. Ακολουθεί το κόστος για το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο περιλαμβάνει τις ίδιες τις ανεμογεννήτριες ($8.000 \text{ kW} \times 1.000 \text{ $/kW} = 8.000.000 \text{ $}$), καθώς και έργα υποδομής, όπως οδοποιία, γραμμές μεταφοράς και υποσταθμός. Το συνολικό κόστος του συστήματος παραγωγής ανέρχεται σε 12.159.995 \$, ποσοστό περίπου 37,7%, το οποίο σε ευρώ αντιστοιχεί σε 9.523.810 €.

Η μελέτη σκοπιμότητας και τα έξοδα ανάπτυξης ανέρχονται σε 200.000 \$ και 700.000 \$ αντίστοιχα, δηλαδή συνολικά 900.000 \$, που αντιστοιχούν περίπου σε 900.000 € ή 2,8% του συνολικού αρχικού κόστους. Παρότι το ποσοστό αυτό είναι σχετικά μικρό, τα συγκεκριμένα κονδύλια καλύπτουν κρίσιμα στάδια του έργου, όπως η αδειοδότηση, οι προκαταρκτικές τεχνικές και περιβαλλοντικές μελέτες, καθώς και ο γενικός σχεδιασμός, που είναι απαραίτητα για την ορθή και επιτυχή υλοποίηση της επένδυσης.

Η Εικόνα 9 περιλαμβάνει το ισοζύγιο συστήματος και διάφορα έξοδα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται:

- Ανταλλακτικά: 400.000 \$ (336.134 €),
- Μεταφορά: 1.500.000 \$ (630.252 €),
- Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία: Χωρίς καθορισμένο ποσό, αλλά συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο,
- Απρόβλεπτα έξοδα: 2.796.000 \$, τα οποία αντιστοιχούν περίπου σε 2.796.000 €, καθώς αποτελούν το 10% των υπολογισμένων επιμέρους δαπανών και προβλέπονται για την κάλυψη μη προγραμματισμένων τεχνικών ή οικονομικών αναγκών κατά την υλοποίηση του έργου.
- Τόκοι κατά την κατασκευή: 1.460.910 \$, που αντιστοιχούν σε περίπου 1.460.910 €, και υπολογίζονται για χρονική διάρκεια 12 μηνών με επιτόκιο 9,5%, αναδεικνύοντας τη χρηματοοικονομική βαρύτητα της κατασκευαστικής περιόδου πριν την εμπορική λειτουργία του πάρκου.

Το συνολικό ποσό για αυτήν την κατηγορία ανέρχεται σε 6.156.909 \$, ποσοστό περίπου 19,1% του συνολικού κόστους, το οποίο μεταφράζεται σε 2.141.176 €. Το σύνολο του αρχικού κόστους, όπως καταγράφεται, ανέρχεται σε 32.216.904 \$, που ισοδυναμεί με 24.040.332 €.

Συμπερασματικά, το έργο αποτιμάται ως μια υψηλού προϋπολογισμού επένδυση, με το μεγαλύτερο ποσοστό δαπανών να συγκεντρώνεται στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις και στο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Η ανάλυση παρουσιάζει πλήρως τεκμηριωμένες προβλέψεις για κόστη ανάπτυξης, υποδομής, λειτουργίας και απρόβλεπτων παραμέτρων. Η συνυπολογισμένη απόδοση της επένδυσης σε όρους ρεαλιστικών οικονομικών δεδομένων διασφαλίζει την τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα του έργου, από τη φάση εγκατάστασης έως τη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος	%	Ποσό
Μελέτη σκοπιμότητας							
- Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	\$ 200.000	\$ 200.000			€ -
Υπο-σύνολο:				\$ 200.000	0,6%		€ -
Ανάπτυξη							
- Ανάπτυξη	κόστος	1	\$ 700.000	\$ 700.000			€ -
Υπο-σύνολο:				\$ 700.000	2,2%		€ -
Μηχανολογικά							
- Μηχανολογικά	κόστος	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000			€ -
Υπο-σύνολο:				\$ 13.000.000	40,4%		€ -
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας							
Ανεμογεννήτρια - 2000kW (7,3m/Δευτερόλεπτο @10n	kW	0	\$ -	-			€ -
Εργα οδοποιίας	km	7	\$ 4.285	\$ 29.995			€ -
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	7	\$ 90.000	\$ 630.000			€ -
Υποσταθμός	έργο	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000			€ -
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης			\$ -	-			€ -
- (Οριζόμενο από τον χρήστη)	κόστος		\$ -	-			€ -
Υπο-σύνολο:				\$ 12.159.995	37,7%	65,8%	€ 9.523.810

Εικόνα 8: Οικονομική ανάλυση του κόστους κατασκευής

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα							
Ανταλλακτικά	%	2,0%	\$ 20.000.000	\$ 400.000	100%		€ 336.134
Μεταφορά	έργο	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	50%		€ 630.252
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα		\$ -	-			€ -
- (Οριζόμενο από τον χρήστη)	κόστος	1	\$ -	-	3%		€ -
Απρόβλεπτα	%	10,0%	\$ 27.959.995	\$ 2.796.000	50%		€ 1.174.790
Τόκος κατά την κατασκευή	9,5%	12 μήνες(εξ)	\$ 30.755.995	\$ 1.460.910			€ -
Υπο-σύνολο:				\$ 6.156.909	19,1%	41,4%	€ 2.141.176
Συνολικά αρχικά κόστη				\$ 32.216.904	100,0%	88,8%	€ 24.040.332

Εικόνα 9: Οικονομική ανάλυση του κόστους τοποθέτησης

Η οικονομική ανάλυση του αρχικού κόστους κατασκευής του αιολικού πάρκου ανέδειξε την έκταση και την πολυπλοκότητα μιας τέτοιας επένδυσης, η οποία απαιτεί την ορθολογική κατανομή πόρων σε επιμέρους τομείς, με έμφαση στις μηχανολογικές υποδομές και στο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Παρά τη σχετικά μικρή αναλογία του κόστους στις προκαταρκτικές φάσεις (μελέτες και ανάπτυξη), οι συγκεκριμένες ενότητες κρίνονται κομβικές για την επιτυχή αδειοδότηση και την τεχνική ωρίμανση του έργου. Επιπλέον, η πρόβλεψη απρόβλεπτων εξόδων και τόκων κατασκευαστικής περιόδου ενισχύει τη ρεαλιστική προσέγγιση της ανάλυσης. Συνολικά, η αποτύπωση του κόστους κατασκευής καταδεικνύει τη σημασία της λεπτομερούς και τεκμηριωμένης προετοιμασίας ως θεμέλιο για την τεχνική, οικονομική και επιχειρησιακή βιωσιμότητα της επένδυσης.

6.2.1 Ετήσια Κόστη

Τα ετήσια κόστη λειτουργίας περιλαμβάνουν την ενοικίαση γης και πόρων, τον φόρο ιδιοκτησίας, το ποσοστό ασφαλίσεων, την παρακολούθηση και την επίβλεψη του έργου, τα έξοδα ανταλλακτικών και εργασίας, φόρους από τον έλεγχο των αερίων του θερμοκηπίου και τέλος διοικητικά έξοδα.

Επίσης τα απρόβλεπτα κόστη δηλαδή το επίδομα έκτακτης ανάγκης λόγω αναπάντεχων εξόδων τα οποία καθορίζονται από το επίπεδο ακρίβειας της λειτουργίας και συντήρησης κυμαίνεται από 10-20% .

Η Εικόνα 10 παρουσιάζει τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης του αιολικού πάρκου, τα οποία ανέρχονται συνολικά σε 600.000 δολάρια (περίπου 600.000 ευρώ). Το ποσό αυτό αφορά αποκλειστικά το κόστος συντήρησης των ανεμογεννητριών, χωρίς να περιλαμβάνονται επιπλέον έξοδα για ανταλλακτικά ή εργασία, καθώς αυτά καταγράφονται με μηδενική τιμή, ενώ εμφανίζεται και ένα θεωρητικό ποσό 20.000.000 \$ (20.000.000 €), το οποίο όμως δεν λαμβάνεται υπόψη στον τελικό υπολογισμό. Το προβλεπόμενο κόστος θεωρείται ρεαλιστικό για ένα πάρκο ισχύος 8 MW, και μεταφράζεται σε 75 \$/kW/έτος (δηλαδή 75 €/kW/έτος). Επιπλέον, προβλέπεται και κονδύλι για απρόβλεπτα έξοδα ίσης αξίας (600.000 \$ ή 600.000 €), γεγονός που ενισχύει την οικονομική ανθεκτικότητα και την ασφάλεια του έργου. Συνολικά, η Εικόνα 10 αποτυπώνει μια σταθερή και καλά οργανωμένη οικονομική στρατηγική για την κάλυψη των λειτουργικών απαιτήσεων, επιτρέποντας αξιόπιστη λειτουργία του αιολικού πάρκου με ελεγχόμενο ετήσιο κόστος.

Ετήσια κόστη λειτουργίας	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	%	Ποσό
Λειτουργία & Συντήρηση						
Δείξε δεδομένα						
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας						
Ανεμογεννήτρια - 2000kW (7,3m/Δευτερόλεπτο @10)			\$	600.000	-	€
			\$	600.000	-	€
Τμήματα & Εργασία						
Εργο			\$	-	-	€
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	0	\$	20.000.000	0	€
Απρόβλεπτα	%		\$	600.000	-	€
Υπο-σύνολο:			\$	600.000	-	€

Εικόνα 10: Οικονομική ανάλυση του κόστους συντήρησης

Η παρουσίαση των ετήσιων λειτουργικών και συντηρητικών εξόδων του αιολικού πάρκου αναδεικνύει μια ολοκληρωμένη και προσεκτικά δομημένη οικονομική προσέγγιση, η οποία ενσωματώνει όλες τις βασικές παραμέτρους για την απρόσκοπτη λειτουργία του έργου. Με ετήσιο κόστος 600.000 €, το οποίο θεωρείται ρεαλιστικό για την ισχύ των 8 MW, διασφαλίζεται η τακτική συντήρηση των ανεμογεννητριών, ενώ η πρόβλεψη ίσου ποσού για απρόβλεπτα έξοδα ενισχύει την οικονομική ευελιξία απέναντι σε έκτακτες καταστάσεις. Η κάλυψη δαπανών όπως η ενοικίαση γης, οι φόροι, τα ασφάλιστρα και τα διοικητικά έξοδα, σε συνδυασμό με τη συνεχή παρακολούθηση του έργου, εγγυώνται την εύρυθμη και ασφαλή λειτουργία του πάρκου. Συνεπώς, η οικονομική στρατηγική για τα ετήσια κόστη αποδεικνύεται ρεαλιστική, ισορροπημένη και προσαρμοσμένη στις ανάγκες ενός σύγχρονου ενεργειακού έργου μεγάλης κλίμακας.

6.2.2 Περιοδικά Κόστη

Το περιοδικό κόστος αντιπροσωπεύει επαναλαμβανόμενα κόστη που οφείλουν να πραγματοποιηθούν για τη διατήρηση του έργου σε κατάσταση λειτουργίας.

Στο πεδίο βρίσκονται τα διάφορα κόστη που αντικατοπτρίζουν τη χρηματική δαπάνη για τη λειτουργία του υποσταθμού. Το ποσό αυτό αποτελεί μια μέση τιμή των μηνιαίων δαπανών της επιχείρησης για τη λειτουργία των συστημάτων του υποσταθμού του αιολικού πάρκου και της συντήρησης τους.

Η Εικόνα 11 απεικονίζει τα περιοδικά κόστη που προβλέπονται για τη διάρκεια ζωής του έργου. Συγκεκριμένα, καταγράφεται ένα επαναλαμβανόμενο κόστος ύψους 4.000.000 δολαρίων, το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 4.000.000 ευρώ, σύμφωνα με τη συναλλαγματική ισοτιμία που εφαρμόζεται στη μελέτη, το οποίο προγραμματίζεται να πραγματοποιηθεί ανά δεκαετία. Το εν λόγω ποσό ενδέχεται να αφορά δαπάνες για εκτεταμένες εργασίες συντήρησης, αντικατάσταση εξοπλισμού ή άλλες κεφαλαιουχικές επενδύσεις, απαραίτητες για τη διατήρηση της εύρυθμης και αποδοτικής λειτουργίας του έργου. Δεν προβλέπεται επιπλέον κόστος κατά το τέλος

της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του έργου, γεγονός που ενδέχεται να υποδηλώνει είτε μη απαίτηση για έξοδα αποκατάστασης και αποξήλωσης είτε την απουσία σχετικής πρόβλεψης στον συγκεκριμένο προϋπολογισμό. Συνολικά, η καταγραφή του περιοδικού κόστους υποδηλώνει πρόνοια για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και λειτουργική συνέπεια του έργου.

Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Έτος	Μονάδα κόστους	Ποσό	%	Ποσό
- Περιοδικά κόστη	κόστος	10	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000		€ -
+ Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος		\$ -			

Εικόνα 11: Περιοδικά κόστη της κατασκευής

Η ανάλυση των περιοδικών εξόδων του έργου καταδεικνύει τη σημασία της μακροπρόθεσμης πρόβλεψης και της οικονομικής προνοητικότητας για τη διατήρηση της λειτουργικότητας του αιολικού πάρκου. Το ποσό των 4.000.000 € ανά δεκαετία, το οποίο προορίζεται για σημαντικές εργασίες συντήρησης και πιθανές κεφαλαιουχικές παρεμβάσεις, αντανακλά μια ρεαλιστική εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών του έργου. Η απουσία πρόβλεψης για κόστος αποξήλωσης στο τέλος της ωφέλιμης ζωής ενδέχεται να οφείλεται είτε σε στρατηγική επιλογή είτε σε έλλειψη σχετικής εκτίμησης στο παρόν στάδιο. Σε κάθε περίπτωση, η ύπαρξη περιοδικού κόστους ενισχύει την επιχειρησιακή συνέχεια και τη μακροχρόνια βιωσιμότητα της επένδυσης, διασφαλίζοντας ότι το έργο θα διατηρεί υψηλά επίπεδα απόδοσης καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του.

6.3 Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών RETScreen— Έργο Ηλεκτροπαραγωγής και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Σε αυτό το φύλλο ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που θα είχαμε επιπλέον στην ατμόσφαιρα αν δεν πραγματοποιήσουμε το συγκεκριμένο έργο. Το συγκεκριμένο φύλλο είναι προαιρετικό καθώς ενεργοποιείται μόνο εάν εμείς το επιλέξουμε, διαφορετικά παραμένει ανενεργό. Τα αέρια όπου

λογίζονται ως βλαβερά για το περιβάλλον από το πρόγραμμα, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και κάθε τύπος καυσίμου έχει το δικό του συντελεστή εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Το σύστημα υπολογίζει δυο συντελεστές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, έναν για το συμβατικό σύστημα που ήδη υπάρχει και έναν για το εναλλακτικό σύστημα που μελετά ο χρήστης. Η διαφορά των συντελεστών αερίων του θερμοκηπίου που υπολογιστήκαν για το συμβατικό και το εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης, επί την ετήσια παραδοθείσα ενέργεια θέρμανσης, δίνει το συνολικό μειούμενο όγκο εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, σε ισοδυνάμους τόνους αερίου CO_2 , που προκύπτει από την εφαρμογή.

Ο καθορισμός της παραγωγής αερίων θερμοκηπίου από κάθε καύσιμο, πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη συμμετοχή του κάθε τύπου καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (όσο μεγαλύτερη συμμετοχή έχει ένα καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο μεγαλύτερη συμμετοχή έχει και στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου) [14].

6.4 Συμπέρασμα

Το Κεφάλαιο 6 παρουσίασε μια εμπειριστατωμένη ανάλυση του σχεδιασμού, της ενεργειακής απόδοσης, της οικονομικής βιωσιμότητας και της περιβαλλοντικής συνεισφοράς του προτεινόμενου αιολικού πάρκου στη Σκύρο, με τη χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού RETScreen. Η μεθοδολογική προσέγγιση επέτρεψε την πολυδιάστατη αξιολόγηση του έργου, καλύπτοντας όλες τις κρίσιμες πτυχές που σχετίζονται με την εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε νησιωτικές περιοχές.

Αρχικά, η επιλεγμένη τοποθεσία εγκατάστασης αξιολογήθηκε ως τεχνικά κατάλληλη, ενώ η επιλογή της ανεμογεννήτριας Vestas V90-2.0 MW εξασφαλίζει αποδοτική και αξιόπιστη λειτουργία υπό τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Η ενεργειακή ανάλυση ανέδειξε καθαρή ετήσια παραγωγή 18.572.508 kWh και συντελεστή ισχύος

26,5%, γεγονός που υποδηλώνει υψηλή απόδοση του πάρκου σε σχέση με το δυναμικό του ανέμου στην περιοχή.

Στο οικονομικό σκέλος, η προσεκτικά σχεδιασμένη κατανομή των ετήσιων λειτουργικών και συντηρητικών εξόδων (600.000 €) καθώς και η πρόβλεψη αντίστοιχου ποσού για απρόβλεπτες δαπάνες προσδίδουν οικονομική σταθερότητα και ευελιξία. Η ένταξη περιοδικών εξόδων ύψους 4.000.000 € ανά δεκαετία για σημαντικές εργασίες συντήρησης και αναβάθμισης ενισχύει τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και τη λειτουργική συνέχεια του έργου. Αν και δεν προβλέφθηκε συγκεκριμένο κόστος αποξήλωσης, το γεγονός αυτό δεν μειώνει τη συνολική οικονομική και λειτουργική αρτιότητα του σχεδιασμού.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε επίσης στην περιβαλλοντική διάσταση της επένδυσης. Μέσω του RETScreen έγινε δυνατή η εκτίμηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αποφεύγονται χάρη στην υλοποίηση του έργου. Εφόσον το συγκεκριμένο φύλλο ενεργοποιηθεί, το σύστημα υπολογίζει τη διαφορά στις εκπομπές μεταξύ του υφιστάμενου (συμβατικού) ενεργειακού συστήματος και του προτεινόμενου (αιολικού), λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους συντελεστές εκπομπών για CO₂, CH₄ και N₂O. Η εξοικονόμηση αυτή αποτυπώνεται σε ισοδύναμους τόνους CO₂, προσφέροντας ένα ποσοτικά μετρήσιμο όφελος για το περιβάλλον και επιβεβαιώνοντας τη συμβολή του έργου στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Συνοψίζοντας, το αιολικό πάρκο στη Σκύρο αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης και της ενεργειακής μετάβασης προς καθαρότερες μορφές ενέργειας. Η τεχνολογική καταλληλότητα, η ενεργειακή αποδοτικότητα, η οικονομική βιωσιμότητα και η σημαντική περιβαλλοντική ωφέλεια συγκλίνουν στην επιβεβαίωση της σκοπιμότητας και της προοπτικής του έργου. Η περίπτωση αυτή μπορεί να λειτουργήσει ως πρότυπο για μελλοντικές επενδύσεις σε παρόμοιες περιοχές, ενισχύοντας τη στρατηγική αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη χώρα.

Κεφάλαιο 7 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκού πάρκου των 2000KW στη Σκύρο

Ένα φωτοβολταϊκό πάρκο μπορεί να εγκατασταθεί είτε σε κάποιο οικόπεδο, με την προϋπόθεση ότι, βάσει των επιτρεπόμενων χρήσεων γης στην περιοχή όπου βρίσκεται το οικόπεδο, επιτρέπεται η εγκατάστασή του, είτε σε κάποιο υφιστάμενο ή νέο κτήριο, είτε στον περιβάλλοντα χώρο του είτε επί της δομικής του κατασκευής (δώμα ή στέγη).

Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος μέχρι 1 MW δεν απαιτείται οικοδομική άδεια ούτε άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [12].

Σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με την δημιουργία και τον σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού πάρκου συνολικής απόδοσης 2000 kW, ικανό να συνεισφέρει στην ηλεκτροδότηση του νησιού. Αρχικά ζητείται από το χρήστη να συμπληρώσει τον τύπο εγκατάστασης, τον τύπο παραγωγής που στην περίπτωση μας είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού καθώς και την διεύθυνση του έργου.

Η Εικόνα 12 παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 2000 kW που βρίσκεται στη Σκύρο, στην περιοχή Λούτρου του νομού Μαγνησίας. Το πάρκο αυτό προορίζεται για παραγωγή ηλεκτρισμού και αποτελεί σημαντικό μέρος της ενεργειακής υποδομής της περιοχής.

Το φωτοβολταϊκό πάρκο θα αποτελεί ένα μη διασυνδεδεμένο με το δίκτυο πάρκο γεγονός που σημαίνει ότι θα είναι αποκομμένο από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και θα είναι αυτόνομο.

Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις	
Τύπος εγκαταστάσεων	Παραγωγή ηλεκτρισμού Θέρμανση Ψύξη
Τύπος Περιγραφή	Παραγωγή ηλεκτρισμού ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 2000KW
Συντάχθηκε για	Andreou-Giota
Συντάχθηκε από	Συντάχθηκε από
Όνομα εγκατάστασης	1ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 2000KW
Διεύθυνση	ΛΟΥΤΡΟ
Πόλη/Δήμος	ΣΚΥΡΟΣ
Επαρχία/Νομός	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ
Χώρα	Ελλάδα



Φωτογραφία | Εικόνα - Shutterstock.com

Εικόνα 12: Πληροφορίες εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου

Για συστήματα που εγκαθίστανται σε γήπεδα (οικόπεδα και αγροτεμάχια), δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για φωτοβολταϊκά συστήματα έως 1 MW εφόσον πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις (άρθρο 126, Ν.4685/2020). Για τα συστήματα αυτά, απαιτείται ειδική περιβαλλοντική εξαίρεση (βεβαίωση απαλλαγής από ΕΠΟ) από την αρμόδια Περιφέρεια, η οποία, σύμφωνα με το νόμο, δίνεται σε 20 μέρες από την υποβολή της σχετικής αίτησης. Για όσα συστήματα εγκαθίστανται σε γήπεδα, απαιτείται ΕΠΟ (Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων) εφόσον εγκαθίστανται σε περιοχές Natura και παράκτιες ζώνες (100 μ από οριογραμμή αιγιαλού).

7.1 Περιβαλλοντική αδειοδότηση

Με βάση την Υ.Α. 1958/2012 για την κατάταξη των δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1 παράγραφος 4 του ν.4014/2011 (ΦΕΚ 209/Α/2011) όπως ισχύει σήμερα με την διορθωτική παρέμβαση από την Υ.Α. 207741/2012 για τους Φωτοβολταϊκούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η κατηγοριοποίηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 6. Ο Πίνακας 6 κατατάσσει τα έργα ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) σε τρεις βασικές κατηγορίες (Α1, Α2, Β) ανάλογα με την ισχύ τους και τη θέση τους (π.χ. αν βρίσκονται σε προστατευόμενες περιοχές ή το μήκος των γραμμών μεταφοράς). Η κατηγορία Α1 αφορά μεγάλα έργα με αυστηρή περιβαλλοντική αδειοδότηση, η Α2 μεσαία έργα με πιο ήπιες απαιτήσεις, και η Β

μικρά έργα με απλοποιημένες διαδικασίες ή εξαιρέσεις. Ειδικές προϋποθέσεις και εξαιρέσεις ισχύουν ανάλογα με το είδος του έργου και τη νομοθεσία, όπως για οικιακά φωτοβολταϊκά ή σταθμούς ιδιωτικής χρήσης.

Πίνακας 6: Όροι αδειοδότησης σχετικά με τα MW

α/α	Είδος έργου	Υποκατηγορία A1	Υποκατηγορία A2	Κατηγορία B	Παρατηρήσεις
1	Ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια	$P \geq 60 \text{ MW}$ ή $P \geq 30 \text{ MW}$ και εντός περιοχών δικτύου Natura 2000 ή $L \geq 20 \text{ km}$	$5 \leq P < 60 \text{ MW}$ και $L < 20 \text{ km}$	$0,02 < P \leq 5 \text{ MW}$ ή $P < 0,02$ και ισχύει η Ξ	Από την κατετάξη εξαιρούνται τα έργα ΑΠΕ που σύμφωνα με νομοθεσία δεν απαιτούν την έγκριση περιβαλλοντικών όρων (π.χ. οικιακά, σταθμοί και εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν ίδια χρήση ή εντάσσονται σε εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων).
2	Ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκούς σταθμούς	$P \geq 2 \text{ MW}$	—	$0,5 < P \leq 2 \text{ MW}$ ή $P \leq 0,5$ και ισχύει η Ξ	—
3	Ηλεκτροπαραγωγή από ηλιοθερμικούς σταθμούς	$P \geq 10 \text{ MW}$	$0,5 < P < 10 \text{ MW}$ ή $\eta_{p_d} > 0,5 \text{ km}^2$	$P \leq 0,5 \text{ MW}$ και $\rho_d \leq 0,5 \text{ km}^2$	—
4	Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμικούς σταθμούς	$P \geq 5 \text{ MW}$	$0,5 < P < 5 \text{ MW}$	$P \leq 0,5 \text{ MW}$	—
5	Ηλεκτροπαραγωγή από σταθμούς βιοαερίου ή βιοαερίου ΧΥΤΑ	$P \geq 2 \text{ MW}$	—	$0,5 < P \leq 2 \text{ MW}$ ή $P \leq 0,5$ και ισχύει η Ξ	—
6	Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου προς παραγωγή	Κατατάσσονται σύμφωνα με το Παράρτημα IV	—	—	Τα συνοδά έργα (οδοποιία, δίκτυα, υποσταθμοί, κ.λπ.)

	ηλεκτρικής ενέργειας				ακολουθούν την κατάταξη του κυρίως έργου.
7	Ηλεκτροπαραγωγή από σταθμούς καύσης βιομάζας	$P \geq 10 \text{ MW}$	$0,5 \leq P < 10 \text{ MW}$	—	Ειδικές διατάξεις για εγκαταστάσεις σε χώρους ΧΥΤΑ – καύση SRF/RDF ισχύουν ειδικές προϋποθέσεις.

Από όπου προκύπτει ότι οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί εντάσσονται στην κατηγορία Β εάν η εγκατεστημένη ισχύς είναι από 500 kWp έως 2 MWp ενώ και οι σταθμοί μικρότερης ισχύος ($P < 500 \text{ kWp}$) βάση της παραγράφου 13 του άρθρου 8 του ν.3468/2006 όπως αυτή τροποποιήθηκε [18] από το άρθρο 3 του ν.3851/2010 εντάσσονται στην ίδια κατηγορία στις εξής περιπτώσεις:

1. Το έργο εγκαθίσταται σε γήπεδο που βρίσκεται σε περιοχή Natura 2000 (Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών: Τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (στα αγγλικά: Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ, και τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (στα αγγλικά: Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΤΚΣ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι οικοτόπων και τα είδη των Παραρτημάτων Ι και ΙΙ της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος ΙΙΙ αυτής. Οι ΖΕΠ, μετά τον χαρακτηρισμό τους από τα Κράτη Μέλη, εντάσσονται αυτόματα στο Δίκτυο Natura 2000, και η διαχείρισή τους ακολουθεί τις διατάξεις του άρθρου 6 παρ. 2, 3, 4 της Οδηγίας 92/43/ΕΚ και τις διατάξεις του άρθρου 4 της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ. Αντίθετα, για την ένταξη των ΤΚΣ πραγματοποιείται επιστημονική αξιολόγηση και διαπραγμάτευση μεταξύ των Κρατών Μελών και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [21], σύμφωνα με τα αποτελέσματα των κατά οικολογική ενότητα Βιογεωγραφικών Σεμιναρίων. Οι ΤΚΣ υπόκεινται στις διατάξεις του άρθρου 6 παρ. 2, 3, 4 της Οδηγίας

92/43/ΕΟΚ.). ή σε παράκτια θέση που απέχει λιγότερο από 100 m από την οριογραμμή του αιγιαλού εκτός βραχονησίδων.

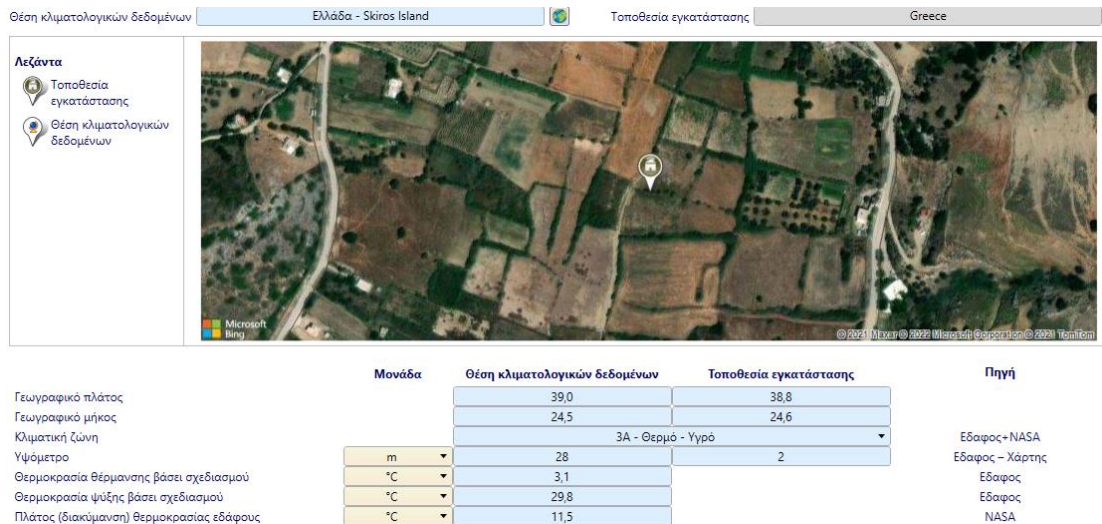
2. Το έργο γειτνιάζει σε απόσταση μικρότερη των 150 m με σταθμό ΑΠΕ ίδιας τεχνολογίας που είναι εγκατεστημένος σε άλλο γήπεδο και έχει εκδοθεί για αυτόν άδεια παραγωγής ή απόφαση Ε.Π.Ο. ή προσφορά σύνδεσης. Η δε συνολική ισχύς των σταθμών δεν υπερβαίνει τα 0.5 MWp για φωτοβολταϊκούς σταθμούς.

Συμπερασματικά, το υποκεφάλαιο 7.1 ανέδειξε τις κρίσιμες παραμέτρους που διέπουν την περιβαλλοντική αδειοδότηση φωτοβολταϊκών σταθμών στην ελληνική έννομη τάξη. Η κατανομή των έργων σε κατηγορίες (Α1, Α2 και Β), βάσει ισχύος και χωροθέτησης, επιτρέπει την εφαρμογή διαφοροποιημένων διαδικασιών, με στόχο την περιβαλλοντική προστασία και τη διοικητική αποφόρτιση μικρότερων έργων. Το υπό εξέταση έργο, με εγκατεστημένη ισχύ 2 MW και τοποθέτηση εκτός περιοχών Natura, εντάσσεται στην Κατηγορία Β, γεγονός που διευκολύνει την αδειοδοτική του πορεία. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι η ύπαρξη ειδικών περιορισμών —όπως η εγγύτητα σε παράκτιες ζώνες ή προστατευόμενες περιοχές— μπορεί να ενεργοποιήσει πρόσθετες υποχρεώσεις. Συνεπώς, η εμπειριστατωμένη αξιολόγηση της θέσης εγκατάστασης και η συμμόρφωση με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία αποτελούν αναγκαίες προϋποθέσεις για τη βιώσιμη και νομικά ορθή ανάπτυξη του έργου.

7.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται το ενεργειακό μοντέλο και ο τρόπος συμπλήρωσης του σχετικά με την αξιολόγηση των πηγών δηλαδή την παρακολούθηση του ήλιου. Επιπλέον παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση του έργου, ο μετατροπέας και τέλος ακολουθούν τα συμπερασματικά αποτελέσματα σχετικά με τον συντελεστή ισχύος και την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Η διεύθυνση εγκατάστασης βρίσκεται στο Λουτρό Σκύρου, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 10 χιλιόμετρα από τη Χώρα και 5 χιλιόμετρα από τη Λιναριά το λιμάνι του νησιού. Η τοποθεσία εγκατάστασης παρουσιάζεται την Εικόνα 13.

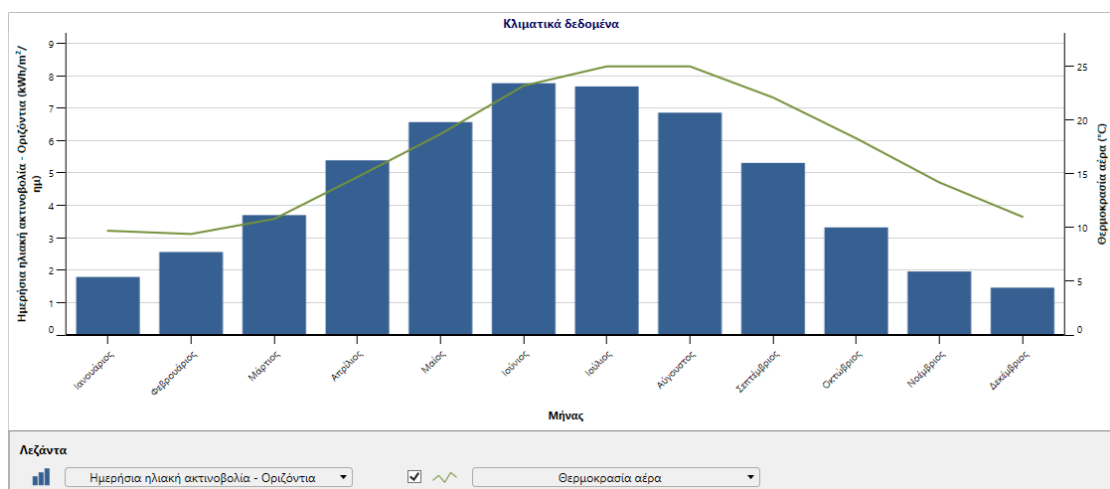


Εικόνα 13: Τοποθεσία εγκατάστασης

Ακόμη, στην Εικόνα 14 και 15 παρουσιάζονται οι μηνιαίες κλιματικές αλλαγές της σχετικής τοποθεσίας και η συνάρτηση κλιματικών δεδομένων και ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέση μηνιαία τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας τοποθετείται στις 4,54 μονάδες γεγονός που καθιστά την περιοχή αρκετά ηλιόλουστη με σχετικές μικρές αποκλίσεις από την κάθετη διάχυση της ακτινοβολίας. Επιπλέον, η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στις 4,3 m²/s βοηθά να ενισχυθεί η επιθυμητή απορρόφηση του φωτός από τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Κατακρήμνιση	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης 18 °C	Βαθμο-ημέρες ψύξης 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	9,7	75,6%	59,52	1,79	101,2	5,5	12,9	257	0
Φεβρουάριος	9,4	72,7%	53,48	2,56	101,0	5,5	12,8	241	0
Μάρτιος	10,8	72,6%	53,32	3,70	100,9	4,8	13,4	223	25
Απρίλιος	14,7	70,1%	35,40	5,39	100,7	3,8	14,9	99	141
Μαΐος	18,7	69,4%	20,15	6,57	100,7	3,2	18,4	0	270
Ιούνιος	23,2	66,5%	11,70	7,77	100,6	3,0	22,9	0	396
Ιούλιος	25,0	66,8%	8,99	7,67	100,5	3,7	25,1	0	465
Αύγουστος	25,0	69,4%	6,51	6,86	100,6	3,8	25,4	0	465
Σεπτέμβριος	22,1	71,7%	19,80	5,31	100,8	3,8	23,5	0	363
Οκτώβριος	18,3	75,5%	47,43	3,32	101,1	4,3	20,2	0	257
Νοέμβριος	14,2	77,4%	65,40	1,96	101,1	4,6	16,7	114	126
Δεκέμβριος	11,0	77,5%	76,26	1,46	101,2	5,5	14,1	217	31
Ετήσιο	16,9	72,1%	457,96	4,54	100,9	4,3	18,4	1.151	2.539
Πηγή	Εδαφος	Εδαφος	NASA	NASA	NASA	Εδαφος	NASA	Εδαφος	Εδαφος
Μετρημένο σε	m					10	0		

Εικόνα 14: Μηνιαία κλιματικά δεδομένα της τοποθεσίας



Εικόνα 15: Συνάρτηση κλιματικών δεδομένων-ηλιακής ακτινοβολίας

Έργα κατηγορίας Α υποβάλλεται, ως τμήμα, της ΜΠΕ, ειδική οικολογική αξιολόγηση στην αρμόδια, κατά περίπτωση, υπηρεσία σύμφωνα με τις παραγράφους 9 και 10 του άρθρου 11 του παρόντος (άρθρο 11 παράγραφος 9- 10 του ν.4014/2011, ειδική οικολογική αξιολόγηση για τα έργα και τις δραστηριότητες κατηγορίας Α εντάσσεται σε παράρτημα της ΜΠΕ, ως αναπόσπαστο μέρος της, παρουσιάζοντας επιπρόσθετα των προβλεπόμενων: Αναλυτική καταγραφή στοιχείων φυσικού περιβάλλοντος με έμφαση στα προστατευτέα είδη της περιοχής που δύναται να επηρεαστούν από το έργο. Η δέουσα εκτίμηση επιπτώσεων (όπως αυτή ορίζεται από το άρθρο 11 παράγραφος 10 του ν.4014/2011 πρέπει να περιλαμβάνει ανάλυση και αξιολόγηση των εκτιμώμενων επιπτώσεων με ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία επί:

1. Των τύπων των οικοτόπων όπως αυτοί ορίζονται στο παράρτημα Ι της ΚΥΑ Η.Π.

- 14849/853/E103/04.04.2008 (τεύχος Β'645) ιδίως ως προς την αντιπροσωπευτικότητα, την σχετική επιφάνεια και το καθεστώς διατήρησής τους.
2. Των ειδών χλωρίδας και πανίδας του παραρτήματος II της ΚΥΑ Η.Π. 14849/853/E103/04.04.2008 (τεύχος Β'645) ιδίως ως προς το μέγεθος και την πυκνότητα των πληθυσμών, την κατάσταση διατήρησής τους και την απομόνωση τους.
 3. Των ειδών ορνιθοπανίδας του παραρτήματος I της ΚΥΑ Η.Π. 37338/1807/E103 (τεύχος Β'1495), καθώς και άλλων ειδών μεταναστευτικής ορνιθοπανίδας με σημαντική παρουσία στην περιοχή η οποία εξετάζεται.

Σχετικά με τα ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία και το αν διασφαλίζεται η ακεραιότητα των περιοχών, σε περίπτωση πιθανών σημαντικών αρνητικών επιπτώσεων παρατίθεται με ανάλογη τεκμηρίωση τα αναγκαία μέτρα για την αποτροπή και ελαχιστοποίηση ώστε να διασφαλίζεται η ακεραιότητα της περιοχής. Σε περίπτωση που κατά τα δεδομένα δεν είναι δυνατή η διασφάλιση της ακεραιότητας της περιοχής παρατίθεται με ανάλογη τεκμηρίωση και σύμφωνα με τα προβλεπόμενα. Η ειδική οικολογική αξιολόγηση και η ΜΠΕ όπου αυτή απαιτείται εστιάζει στις συνέπειες για την περιοχή βάσει των στόχων διατήρησής της. Η σημασία των επιπτώσεων προσδιορίζεται σε σχέση με τα ειδικά χαρακτηριστικά και τις ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε προστατευόμενη περιοχή την οποία αφορά το έργο ή η δραστηριότητα, λαμβάνοντας ιδιαιτέρως υπόψη τους στόχους διατήρησης της περιοχής. Βάσει των συμπερασμάτων της ειδικής αξιολόγησης και της ΜΠΕ και της εξαιρούμενης περίπτωσης των διατάξεων της παραγράφου 4 (έργα ή δραστηριότητες τα οποία πρέπει να υλοποιηθούν παρά τα αρνητικά αρχικά συμπεράσματα ελλείψει εναλλακτικών λύσεων για επιτακτικούς λόγους σημασίας δημοσίου συμφέροντος, συμπεριλαμβανομένων λόγων κοινωνικής ή οικονομικής φύσεως), η αρμόδια αρχή συμφωνεί για το οικείο έργο ή την δραστηριότητα της συγκεκριμένης περιοχής. Ειδικότερα η εξέταση πιθανών μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων και εναλλακτικών λύσεων μπορεί να επιτρέψει την διαπίστωση ότι, βάσει τέτοιων λύσεων ή μέτρων, το έργο ή η δραστηριότητα δεν θα παραβιάσει την ακεραιότητα της περιοχής. Η ακεραιότητα μιας περιοχής αναφέρεται στις οικολογικές

λειτουργίες. Η απόφαση για το πόσο παραβλάπτεται πρέπει να εστιάζεται και να περιορίζεται στους στόχους διατήρησής της. Οι προδιαγραφές της ειδικής οικολογικής αξιολόγησης και η διαδικασία δημοσιοποίησης ανάλογα με την κατηγορία του έργου ή της δραστηριότητας καθορίζονται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, εντός τριών (3) μηνών [44].

Προκειμένου να επιτύχουμε την μέγιστη απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, επιλέξαμε τη διαξονική παρακολούθηση του ηλίου. Με τον όρο αυτό εννοούμε πως το φωτοβολταϊκό έχει τη δυνατότητα να κινείται και στους δύο άξονες (οριζόντια και κάθετα), να ανιχνεύει τη διάχυση της ακτινοβολίας και να περιστρέφει το πάνελ στην κατεύθυνση που θα αποδώσει τη μέγιστη ισχύ.

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 16 παρατίθεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρισμού του νησιού καθώς και την μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε διαξονικό σύστημα και σε οριζόντιο σταθερό. Συγκρίνοντας τις τιμές παρατηρούμε πως η διαφορά είναι πολύ μεγάλη καθώς οδηγούμαστε σε 69% περισσότερη απορρόφηση και παραγωγή 3.968.222,718 KWh.

Αξιολόγηση πηγών
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου

Διαξονικό

Δείξε δεδομένα

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m ² /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - κεκλιμένο επίπεδο kWh/m ² /ημ	Τιμή Ηλεκτρισμού - ετήσιο \$/kWh	Παραγωγή ηλεκτρισμού kWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο kWh	Ηλεκτρική ενέργεια αποδιδόμενη στο φορτίο kWh
Ιανουάριος	1,79	3,24	214,88	175.830,873	175.830,873	0,000
Φεβρουάριος	2,56	4,02	214,88	196.737,650	196.737,650	0,000
Μάρτιος	3,70	5,25	214,88	282.023,895	282.023,895	0,000
Απρίλιος	5,39	7,57	214,88	383.565,428	383.565,428	0,000
Μαΐος	6,57	8,74	214,88	448.058,500	448.058,500	0,000
Ιούνιος	7,77	10,42	214,88	502.695,663	502.695,663	0,000
Ιούλιος	7,67	10,47	214,88	517.283,110	517.283,110	0,000
Αύγουστος	6,86	9,98	214,88	493.452,817	493.452,817	0,000
Σεπτέμβριος	5,31	7,96	214,88	387.557,897	387.557,897	0,000
Οκτώβριος	3,32	5,12	214,88	265.138,392	265.138,392	0,000
Νοέμβριος	1,96	3,40	214,88	175.372,875	175.372,875	0,000
Δεκέμβριος	1,46	2,59	214,88	140.505,617	140.505,617	0,000
Ετήσιο	4,54	6,57	214,88	3.968.222,718	3.968.222,718	0,000
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο MWh/m ² 1,66						
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο MWh/m ² 2,40						

Εικόνα 16: Μηνιαίες καταναλώσεις ρεύματος

Στην Εικόνα 17 παρουσιάζονται τα ειδικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ που επιλέξαμε όπως παρατίθενται στο φύλλο εργασίας του προγράμματος Retscreen

με τις αποδόσεις τους, τις μετρήσεις τους και τη μέγιστη απόδοση ηλεκτρικού ρεύματος που μπορούν να αποδώσουν στο συγκεκριμένο δίκτυο.

Φωτοβολταϊκό		
Τύπος		Πολυ-Si
Ηλεκτρική ισχύς	kW	2.000,085
Κατασκευαστής		Sharp
Μοντέλο		Πολυ-Si - ND-Q235F4
Αριθμός μονάδων		8.511
Βαθμός απόδοσης	%	14,42%
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελτίου	°C	45
Συντελεστής θερμοκρασίας	% / °C	0,4%
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m ²	13.870
Συντελεστής ρύθμισης ηλιακής κυψέλης δύο όψεων	%	
Λοιπές απώλειες	%	5%
Μετατροπέας (inverter)		
Βαθμός απόδοσης	%	93%
Ισχύς	kW	90
Λοιπές απώλειες	%	0%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	22,6%
Αρχικά κόστη	\$/kW	2.100
	\$	4.200.179
Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$/kW-έτος	22
	\$	44.002
Ηλεκτρική ενέργεια αποδιδόμενη στο φορτίο	kWh	0
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kWh	3.968.223

Εικόνα 17: Ειδικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πάνελ

Η κατανάλωση ισχύος υπολογίστηκε στο πρόγραμμα RETscreen σύμφωνα με τα παρακάτω:

Πρότυπο – Ηλεκτρική Ισχύς (Archetype - Power)

Ηλεκτρικό φορτίο / Χαρακτηριστικά ζήτησης (Power load / Load characteristics)

- Εισάγετε το «μέσο ακαθάριστο φορτίο ισχύος», όπως προκύπτει από τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εναλλακτικά, υπολογίστε το φορτίο ισχύος για το κτήριο, Q_p σε kW:

$$Q_p = E_p / (8760 + \eta \times 143)$$

όπου:

Ερ: η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια (σε kWh) που δεν χρησιμοποιείται για θέρμανση ή ψύξη, και

η: ο λόγος της μέγιστης στιγμιαίας ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος προς τον μέσο όρο της μέγιστης μηνιαίας ζήτησης.

Σύστημα παροχής ισχύος – Προτεινόμενη περίπτωση (Proposed case power system)

- Επιλέξτε την τεχνολογία του εξοπλισμού παραγωγής ισχύος.
- Συμπληρώστε τη διαθεσιμότητα, τον θερμικό λόγο (heat rate) και την απόδοση ανάκτησης θερμότητας.

Στρατηγική λειτουργίας – Σύστημα βάσης (Operating strategy – Base load power system)

Επιλέξτε ως «στρατηγική λειτουργίας» την πλήρη ισχύ εξόδου (Full power capacity output). (Σημείωση: Η στρατηγική λειτουργίας πρέπει να επιλεγεί λαμβάνοντας υπόψη αν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται να εξαχθεί στο δίκτυο ή όχι.)

Χαρακτηριστικά προτεινόμενου συστήματος (Proposed case system characteristics)

Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος αιχμής πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 100% του φορτίου αιχμής, ώστε να καλύπτεται η ζήτηση σε περίπτωση που το σύστημα συμπαραγωγής δεν είναι διαθέσιμο [45].

7.2.1 Φωτοβολταϊκό

Όσον αφορά το τεχνικό κομμάτι της μελέτης επιλέξαμε 8511 μονάδες με χωρητικότητα ανά μονάδα 235 W ώστε η συνολική Ηλεκτρική ισχύς να είναι 2 MW. Η επιλογή μας είναι η κατασκευάστρια εταιρία Sharp με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τύπος: Πολυ-Si

- Μοντέλο: Πολυ-Si - ND-Q235F4
- Βαθμός απόδοσης: 14,4%
- Λοιπές απώλειες: 5%
- Μετατροπέας (inverter)
- Βαθμός απόδοσης: 93%
- Ισχύς: 90%
- Λοιπές απώλειες: 0%
- Περίληψη
- Συντελεστής Χρησιμοποίησης: 15.8%
- Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο: 2.766.819 kWh
- Κόστη Λειτουργίας και Συντήρησης(εξοικονόμηση) ευρώ/KW: Για το έτος 2022, 44.002 ευρώ

7.2.2 Ανάλυση Κόστους

Για την πραγματοποίηση ή όχι ενός έργου απαιτείται μια οικονομική ανάλυση της επιθυμητής επένδυσης, βάση συγκεκριμένων πεδίων που εξετάζονται στο τρίτο φύλλο εργασίας του προγράμματος RETScreen 4. Αυτά είναι:

- Αρχικό κόστος:
 1. Μελέτη σκοπιμότητας
 2. Ανάπτυξη του έργου
 3. Μηχανολογικά
 4. Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
 5. Ισοζύγιο του συστήματος & διάφορα έξοδα
- Ετήσια κόστη
- Περιοδικά κόστη

Αναλυτικά:

- Αρχικό κόστος:

Η ενότητα με το αρχικό κόστος χωρίζεται σε πέντε υποκατηγορίες.

1) Μελέτη Σκοπιμότητας

Στην πρώτη υποενότητα συμπληρώνονται τα αρχικά κόστη της επένδυσης. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν διερεύνηση του χώρου εγκατάστασης, τη μελέτη του βασικού σχεδιασμού, της ετοιμασίας αναφορών σχετικά με το έργο και τις διάφορες μετακινήσεις των υπευθύνων για διαπραγματεύσεις.

Απαραίτητη είναι η αξιολόγηση των φυσικών πόρων και η εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή πραγματοποίησης του έργου, έτσι ώστε να έχουμε ακριβείς μετρήσεις.

Αυτή η εγκατάσταση αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος των εξόδων που αφορούν τη μελέτη σκοπιμότητας. Στο τέλος της υποενότητας υπολογίζεται το συνολικό κόστος των διαδικασιών. Για το συγκεκριμένο έργο το υπολογιζόμενο κόστος της μελέτης σκοπιμότητας, ανέρχεται στο ποσό των 6.000 €.

2) Ανάπτυξη του έργου

Στη δεύτερη υποενότητα διαδικασιών, περιλαμβάνονται οι διαδικασίες ανάπτυξης του έργου.

Συγκεκριμένα, στην κατηγορία αυτή έχουμε τα κόστη από αδειοδοτήσεις και εγκρίσεις αιτήσεων, τη συνολική διαχείριση του έργου όπως την επισκόπηση του χώρου και τα δικαιώματα της γης εγκατάστασης, τις νομικές και λογιστικές υπηρεσίες καθώς και τις πιθανές μετακινήσεις των υπευθύνων για τη διεκπεραίωση τέτοιων διαδικασιών. Για την παρούσα μελέτη ο προϋπολογισμός για την ανάπτυξη του έργου ανέρχεται στο ποσό των 10.000 €.

3) Μηχανολογικά

Στην τρίτη υποκατηγορία περιλαμβάνονται τα κόστη κατασκευής του

έργου. Τα κόστη αυτά αφορούν:

- Την τοποθεσία και τον σχεδιασμό του φ/β συστήματος,
- το σχεδιασμό της συνολικής υποδομής του συστήματος,
- την υποδομή των ηλεκτρικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων,
- τα κόστη διεκπεραίωσης γραφειοκρατικών δραστηριοτήτων και συμβολαίων και την
- επίβλεψη της κατασκευής.

Η απαραίτητη επίβλεψη του μηχανικού καθ' όλη τη διάρκεια του έργου μαζί με τον αναγκαίο ηλεκτρολογικό, μηχανολογικό και οικοδομικό σχεδιασμό, την προκήρυξη διαγωνισμών και την υπογραφή συμβάσεων, επιβαρύνουν το κόστος της επένδυσης κατά 60.000 €.

4) Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Στην τέταρτη υποενότητα διαδικασιών, λαμβάνονται υπόψη τα έξοδα που οφείλονται στην απόκτηση του απαραίτητου φ/β εξοπλισμού για την ολοκλήρωση του έργου. Περιλαμβάνουν τα έξοδα για το φορτίο βάσης, το ενδιάμεσο και το φορτίο αιχμής, τα έργα οδοποιίας, το κόστος της γραμμής μεταφοράς ηλεκτρισμού, τον υποσταθμό και τέλος τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης.

Συγκεκριμένα:

- αγορά φ/β πλαισίων ($2 \text{ MW} * 5.500 \text{ €/KW}$) = 11.000.000 €
- εγκατάσταση φ/β πλαισίων (10% του κόστους τους) = 1.000.000 €
- έργο οδοποιίας 7 km (10.000 €)
- 8MECHATRON SOLAR TRACKER D180-BASIC SOLUTION (1.120 μονάδες το ένα) για τις
8511 μονάδες φωτοβολταϊκών πάνελ. (20.000 € κάθε tracker). Στο παρόν έργο επιλέγεται ο ηλιοστάτης 8MECHATRON SOLAR TRACKER D180 – BASIC SOLUTION, ο οποίος αποτελεί μια αξιόπιστη και οικονομικά

αποδοτική λύση για την παρακολούθηση της ηλιακής τροχιάς. Πρόκειται για μονοαξονικό σύστημα παρακολούθησης (single-axis tracker) με δυνατότητα περιστροφής έως και 180°, βελτιστοποιώντας τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η συγκεκριμένη βασική έκδοση χαρακτηρίζεται από απλοποιημένο σχεδιασμό, κατάλληλο για μικρής και μεσαίας κλίμακας φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, εξασφαλίζοντας υψηλότερη ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με σταθερές βάσεις. Ο σχεδιασμός του ηλιοστάτη επιτρέπει εύκολη εγκατάσταση και συντήρηση, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει σημαντική αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς την απαίτηση προηγμένων ηλεκτρονικών ελέγχων.

Οπότε το συνολικό κόστος ανέρχεται στο ποσό των 12.230.000 €.

5) Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα

Στην πέμπτη υποενότητα προβλέπεται η συμπλήρωση διάφορων εξόδων που δεν εμπίπτουν σε καμία από τις παραπάνω τέσσερις διαδικασίες, καθώς και τυχόν αποκλίσεις από τις εκτιμήσεις των εξόδων που περιγράφηκαν πριν, ως ποσοστό του συνολικού κόστους όλων αυτών των δραστηριοτήτων. Το κόστος των ανταλλακτικών υπολογίζεται στο 3% του συνολικού ποσού που προορίζεται για τα φωτοβολταϊκά. Το ποσό ανέρχεται στα 330.000 €. Η μεταφορά των πλαισίων κοστολογείται ανάλογα με τον προορισμό τους. Συγκεκριμένα για την Σκύρο το κόστος αυτό ανέρχεται στο ποσό των 1000 €. Προβλέπεται και ένα επιπλέον 10% επί του συνολικού κόστους αυτής της υποενότητας για τυχόν έκτακτα έξοδα που αφορούν τις δραστηριότητες αυτές. Τέλος μπορούμε να προσθέσουμε κάποιους 6 μηνιαίους τόκους κατά την κατασκευή.

Για κατασκευές μεγάλης διάρκειας είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη και η μεταβολή της αξίας του χρήματος, κάτι που δεν θα μας απασχολήσει στην συγκεκριμένη επένδυση αφού το πάρκο θα έχει ολοκληρωθεί σε διάστημα μισού έτους. Αθροίζοντας τα συνολικά κόστη των πέντε υποενότητων, προκύπτει το συνολικό αρχικό κόστος του έργου, το οποίο ανέρχεται στο ποσό 13.901.129 €. Όλα τα παραπάνω

αποτυπώνονται στην Εικόνα 18.

Μελέτη σκοπιμότητας				
☐ Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	\$ 6.000	\$ 6.000
Υπο-σύνολο:			\$ 6.000	0,0%
Ανάπτυξη				
☐ Ανάπτυξη	κόστος	1	\$ 10.000	\$ 10.000
Υπο-σύνολο:			\$ 10.000	0,1%
Μηχανολογικά				
☐ Μηχανολογικά	κόστος	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Υπο-σύνολο:			\$ 60.000	0,4%
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας				
Φορτίο βάσης - Ηλιακή θερμική ενέργεια	kW	0	\$ -	\$ -
Ενδιάμεσο φορτίο - Φωτοβολταϊκό	kW	2.000	\$ 5.500	\$ 11.000.000
Φορτίο αιχμής - Εμβολοφόρος μηχανή	kW	26.640	\$ -	\$ -
Εργα οδοποιίας	km	7	\$ 10.000	\$ 70.000
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km		\$ -	\$ -
Υποσταθμός	έργο		\$ -	\$ -
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης	έργο		\$ -	\$ -
☐ Εγκατάσταση ΦΒ	κόστος	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
☐ Tracker	κόστος	8	\$ 20.000	\$ 160.000
Υπο-σύνολο:			\$ 12.230.000	88,0%
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα				
Ανταλλακτικά	%	3,0%	\$ 11.000.000	\$ 330.000
Μεταφορά	έργο	1	\$ 1.000	\$ 1.000
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα	6	\$ 65	\$ 390
☐ ☐	κόστος		\$ -	\$ -
Απρόβλεπτα			% 10,0%	\$ 12.637.390
Τόκος κατά την κατασκευή		6 μήνας(ες)	\$ 13.901.129	\$ -
Υπο-σύνολο:			\$ 1.595.129	11,5%
Συνολικά αρχικά κόστη			\$ 13.901.129	100,0%

Εικόνα 18: Οικονομική ανάλυση κόστους κατασκευής

- Ετήσια κόστη (πιστώσεις):

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα ετήσια κόστη (κέρδη) που προκύπτουν από την εφαρμογή του έργου. Εδώ συμπεριλαμβάνονται έργα συντήρησης του φ/β πάρκου και των γραμμών μεταφοράς. Συγκεκριμένα το ποσό των 3000 € είναι αρκετό για να καλύψει τα συγκεκριμένα έξοδα. Στο κόστος αυτό προστίθεται και τα 44.000 € που αφορούν τα ετήσια λειτουργικά έξοδα από τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών. Οπότε το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 47.000 €.

- Περιοδικά κόστη:

Στην ενότητα αυτή, υπολογίζονται τα περιοδικά κόστη του έργου. Τέτοια έξοδα αναφέρονται κυρίως στην περιοδική αντικατάσταση των μπαταριών αλλά κυρίως αντικατάσταση του μετατροπέα κάθε 15 χρόνια λόγω φθοράς, αξίας 25.000 €. Η αντικατάστασή του δεν πρέπει να θεωρείται δεδομένη, καθώς μπορεί μέχρι το τέλος ζωής του έργου να μην αντιμετωπίσει κανένα πρόβλημα. Αξίζει να αναφερθεί και η

πιθανή αντικατάσταση εξαρτημάτων κάθε του tracker με κόστος 1.100 € κάθε 5 χρόνια. Το συνολικό κόστος των ετήσιων και περιοδικών κοστών 80.800 ευρώ το οποίο αποτυπώνεται και στην Εικόνα 19 στο φύλλο εργασίας του προγράμματος.

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Λειτουργία & Συντήρηση				
Δείξε δεδομένα				
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας				
Φορτίο βάσης - Ηλιακή θερμική ενέργεια			\$	- Ενημέρωση κόστους
Ενδιάμεσο φορτίο - Φωτοβολταϊκό			\$	44.000 Ενημέρωση κόστους
Φορτίο αιχμής - Εμβολοφόρος μηχανή			\$	- Ενημέρωση κόστους
Τμήματα & Εργασία	έργο	12	\$	250 \$ 3.000
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			\$ -
Απρόβλεπτα	%		\$	47.000 \$ -
Υπο-σύνολο:				\$ 47.000
Ετήσια εξοικονόμηση				
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			\$ -
Υπο-σύνολο:				\$ -
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)				
Αντικατάσταση μπαταριών και μετατροπέα	κόστος	15	\$	25.000 \$ 25.000
Αντικατάσταση tracker	κόστος	5	\$	8.800 \$ 8.800
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος			\$ -

Εικόνα 19: Οικονομική ανάλυση περιοδικών κοστών

- Ανάλυση Εκπομπών

Η Εικόνα 20 παρουσιάζει μια ανάλυση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ) για δύο σενάρια ηλεκτροδότησης: τη βασική περίπτωση με χρήση φυσικού αερίου και την προτεινόμενη περίπτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας. Στο βασικό σενάριο, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από φυσικό αέριο, με συντελεστή εκπομπής CO₂ 0,473 kgCO₂/kWh, οδηγώντας σε συνολικές εκπομπές 1.624,1 τόνους CO₂ για κατανάλωση 3.433.920 kWh. Αντίθετα, στο προτεινόμενο σενάριο η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται αποκλειστικά από ηλιακή ενέργεια, όπου οι συντελεστές εκπομπών CO₂, CH₄ και N₂O είναι μηδενικοί, με αποτέλεσμα μηδενικές εκπομπές CO₂. Συνολικά, η μετάβαση στην ηλιακή ενέργεια επιφέρει μια καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ κατά 1.624,1 τόνους CO₂, αναδεικνύοντας τη σημαντική περιβαλλοντική ωφέλεια από την αντικατάσταση του ορυκτού καυσίμου με ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρισμού %	Απώλειες M&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ kgCO ₂ /kWh
Φυσικό Αέριο	100,0%	49,6	0,0010	0,0009	40,8%	7,0%	0,473
Μίγμα Ηλεκτρισμού	100,0%	130,7	0,0025	0,0024		7,0%	0,473
☐ Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου							
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου kWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ kgCO ₂ /kWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Ηλεκτρική ενέργεια	100,0%	130,7	0,0025	0,0024	3.433.920	0,473	1.624,1
Σύνολο	100,0%	130,7	0,0025	0,0024	3.433.920	0,473	1.624,1
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου kWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ kgCO ₂ /kWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Ηλιακό	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	3.433.920	0,000	0,0
Σύνολο	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	3.433.920	0,000	0,0
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kWh	3.433.920	Απώλειες M&Δ		0	0,473	0,0
						Σύνολο	0,0
Σύνοψη μείωσης εκπομπών ΑΤΘ							
Εκπομπές ΑΤΘ							
Βασική περίπτωση	tn CO ₂	1.624,1					
Προτεινόμενη περίπτωση	tn CO ₂	0,0					
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tn CO ₂	1.624,1					

Εικόνα 20: Ανάλυση εκπομπών του Φ/Β συστήματος

- Οικονομική Ανάλυση

Για να βρεθεί το επικρατών σενάριο θα τρέξω το σενάριο με 40% τραπεζικό δάνειο και 60% αρχικό κεφάλαιο και επιτόκιο αναγωγής 8%, χρησιμοποιώντας τη διαξονική βάση.

Συγκεκριμένα στο φύλο “Οικονομική Ανάλυση” του προγράμματος RETScreen έχουμε:

- Γενικά:
 - η τιμή του πληθωρισμού στο 3%
 - το επιτόκιο αναγωγής στο 8%
 - η διάρκεια ζωής του έργου στα 25 έτη
- Χρηματοδότηση:
 - Χωρίς επιδότηση
 - τοκοχρεολύσιο της τάξης του 40%
 - επιτόκιο δανεισμού 8%

- περίοδος χρέους 15 έτη

Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση των ετήσιων και αθροιστικών χρηματορροών, καθώς και την εκτίμηση βασικών χρηματοοικονομικών δεικτών, όπως αποτυπώνονται στις Εικόνες 21 έως 23.

Το διάγραμμα στην Εικόνα 21 απεικονίζει τις ετήσιες προ φόρων χρηματορροές της επένδυσης για μια χρονική περίοδο 25 ετών. Παρατηρείται ότι το αρχικό κόστος επένδυσης (Έτος 0) ανέρχεται περίπου στα 8.340.986 \$, το οποίο αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κεφαλαιουχικό έξοδο. Από το Έτος 1 και εξής, η επένδυση αρχίζει να παράγει θετικές ροές, οι οποίες αυξάνονται σταδιακά, ιδίως μετά το Έτος 15.

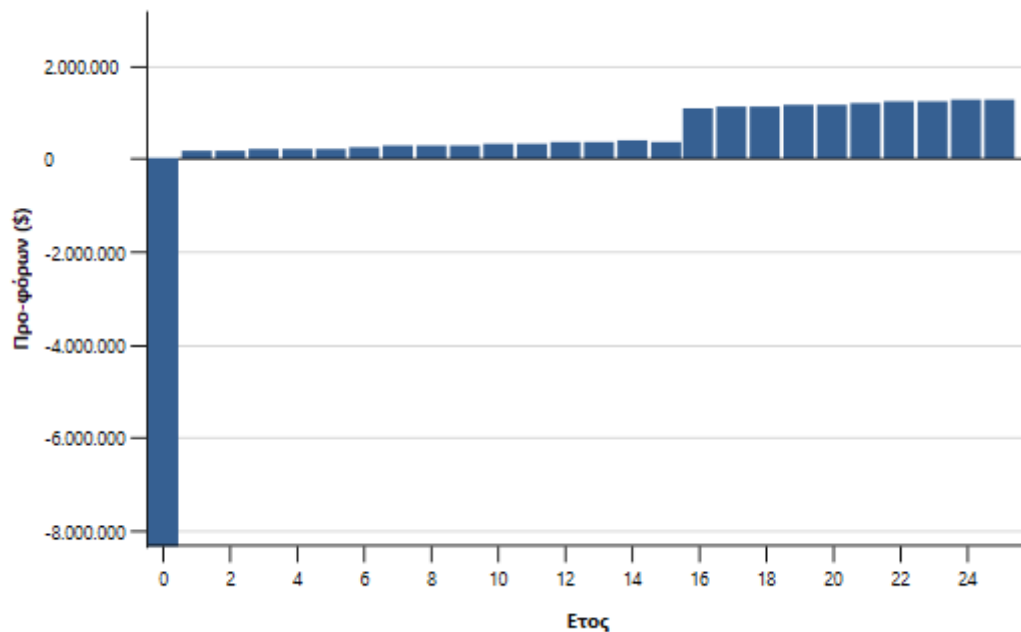
Στο διάγραμμα στην Εικόνα 22 παρουσιάζονται οι αθροιστικές χρηματορροές προ φόρων. Η γραφική απεικόνιση αποδεικνύει ότι το σημείο μηδενισμού των σωρευμένων χρηματορροών (δηλαδή το σημείο εξισορρόπησης του αρχικού κόστους) επιτυγχάνεται μεταξύ των Ετών 17 και 18, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον δείκτη απλής αποπληρωμής.

Η Εικόνα 23 περιλαμβάνει τις ετήσιες χρηματορροές (προ φόρων) και τις σωρευτικές τους τιμές. Διαπιστώνεται ότι το Έτος 16 η καθαρή θετική ροή ξεπερνά το 1.000.000 €, σηματοδοτώντας την ενίσχυση της κερδοφορίας της επένδυσης στα τελευταία χρόνια του κύκλου ζωής της.

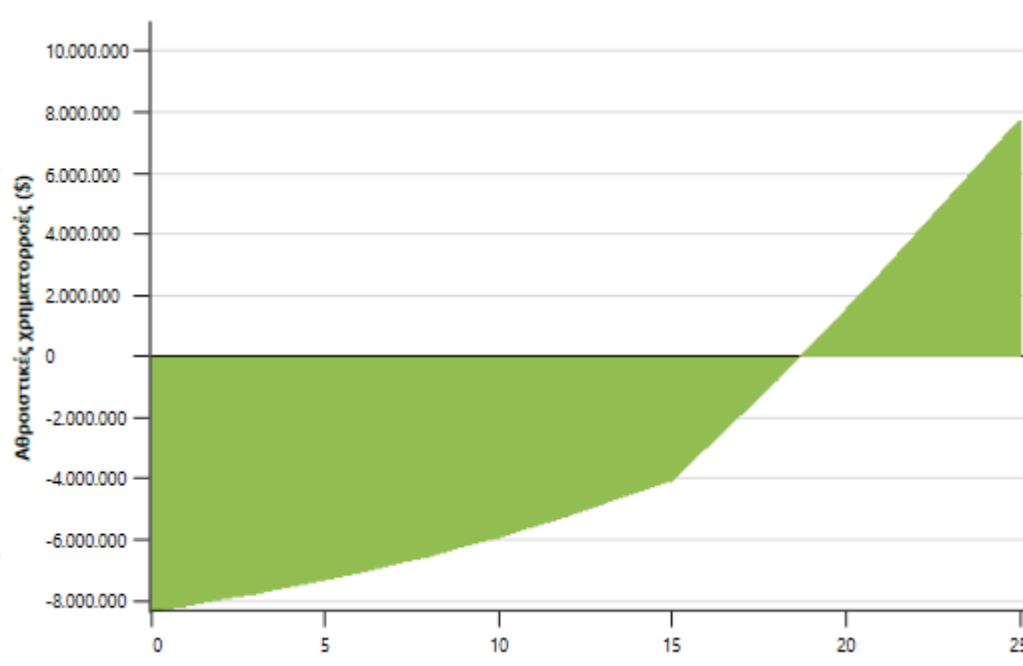
Το έργο προβλέπει την παραγωγή 3.968 MWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικά ενεργειακά οφέλη. Ωστόσο, σύμφωνα με τους οικονομικούς δείκτες, η επένδυση παρουσιάζει περιορισμένη οικονομική βιωσιμότητα. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι αρνητική (-3.641.202 \$), ενώ και οι ετήσιες αποταμιεύσεις του κύκλου ζωής διαμορφώνονται επίσης σε αρνητικό επίπεδο (-341.103 \$/έτος). Ο δείκτης εσωτερικής απόδοσης (IRR) για τις μετοχές ανέρχεται μόλις σε 4%, ενώ ο αντίστοιχος για τα περιουσιακά στοιχεία δεν ξεπερνά το 0,84%, γεγονός που υποδηλώνει περιορισμένο επενδυτικό ενδιαφέρον. Παράλληλα, η αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ) είναι 0,56, δηλώνοντας ότι τα κόστη υπερβαίνουν τα

οικονομικά οφέλη. Παρά το γεγονός ότι η αποπληρωμή του έργου επιτυγχάνεται μετά από 17,3 έτη, και η αποπληρωμή των μετοχών μετά από 18,7 έτη, το έργο δεν θεωρείται χρηματοοικονομικά ελκυστικό υπό τις παρούσες συνθήκες. Παρόλα αυτά, η συμβολή του στη μείωση εκπομπών CO₂, με κόστος 182 \$ ανά τόνο, μπορεί να ενισχύσει τη σκοπιμότητά του σε συνδυασμό με περιβαλλοντικά ή κοινωνικά κριτήρια. Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται στην Εικόνα 24.

Συμπερασματικά, η οικονομική αξιολόγηση δείχνει ότι, αν και η επένδυση εμφανίζει θετικές χρηματοροές μετά την πρώτη δεκαετία, το αρχικό υψηλό κόστος και η αρνητική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) υποδεικνύουν ότι το έργο δεν είναι απόλυτα βιώσιμο από αυστηρά οικονομική σκοπιά. Παρ' όλα αυτά, η σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ και η θετική καθαρή ροή στα μεταγενέστερα έτη καθιστούν το έργο περιβαλλοντικά επωφελές και δυνητικά βιώσιμο υπό πολιτικές στήριξης ή ευνοϊκές συνθήκες χρηματοδότησης.



Εικόνα 21: Συνάρτηση χρηματικού κόστους-έτους



Εικόνα 22: Διάγραμμα ετήσιας χρηματοροής

Ετος	Προ-φόρων	Αθροιστικά
#	\$	\$
0	-8.340.986	-8.340.986
1	167.313	-8.173.673
2	183.168	-7.990.505
3	199.326	-7.791.179
4	215.792	-7.575.387
5	222.370	-7.353.017
6	249.671	-7.103.345
7	267.096	-6.836.249
8	284.853	-6.551.396
9	302.948	-6.248.448
10	309.560	-5.938.888
11	340.176	-5.598.712
12	359.321	-5.239.391
13	378.831	-4.860.560
14	398.710	-4.461.850
15	366.307	-4.095.543
16	1.089.255	-3.006.287
17	1.110.286	-1.896.001
18	1.131.715	-764.286
19	1.153.549	389.263
20	1.159.902	1.549.166
21	1.198.463	2.747.629
22	1.221.558	3.969.187
23	1.245.089	5.214.276
24	1.269.063	6.483.338
25	1.275.063	7.758.402

Εικόνα 23: Ετήσιες χρηματοροές αθροιστικά και προ φόρων

Οι δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας που προκύπτουν συνοψίζονται ως εξής και αποτυπώνονται στην Εικόνα 24:

- ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) προ φόρων ανέρχεται στο 4%
- ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (MIRR) μετά φόρου ανέρχεται στο 6%
- ο απλός χρόνος αποπληρωμής τα 17,3 έτη
- ο δείκτης της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) είναι στα -3.641.202 €
- οι ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής είναι στα -341.103 €/έτος
- η αναλογία οφέλους – κόστους είναι στο 0,56.
- η κάλυψη των δανειακών υποχρεώσεων είναι 1,3
- Και το κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ είναι 182 €/tnCO₂

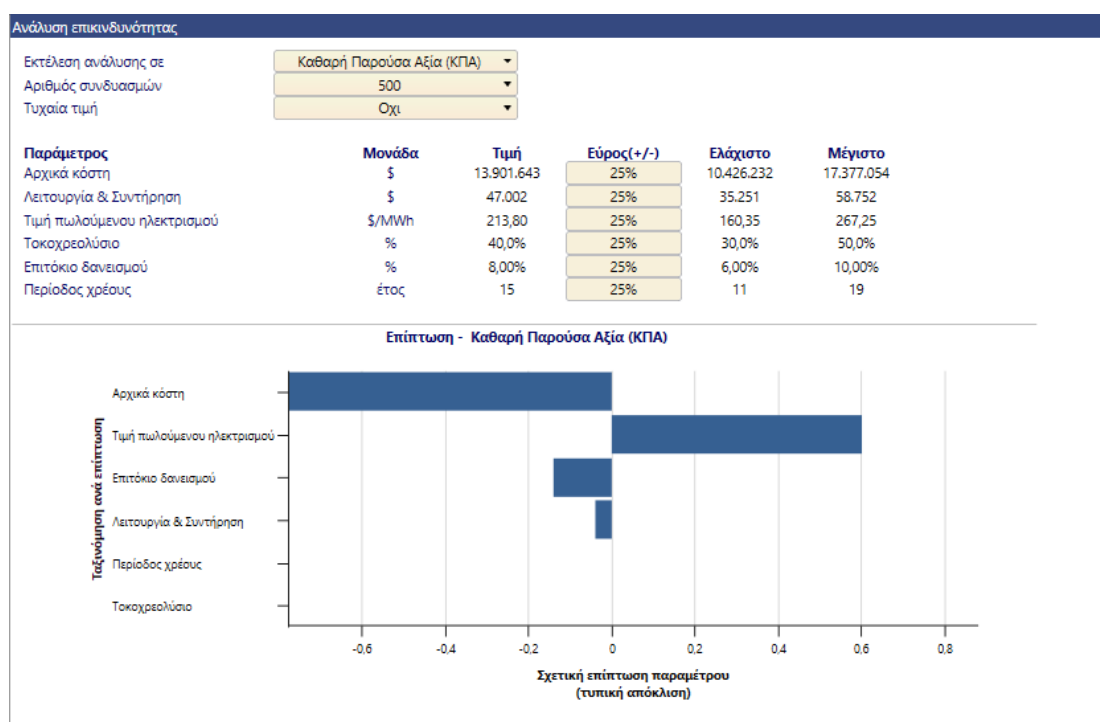
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	4%
MIRR προ φόρου - μετοχές	%	6%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	0,84%
MIRR προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	3,8%
Απλή αποπληρωμή	έτος	17,3
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	18,7
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	\$	-3.641.202
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	\$/έτος	-341.103
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K)		0,56
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1,3
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	\$/tn CO ₂	182

Εικόνα 24: Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας

Τα φωτοβολταϊκά με την σταθεροποιημένη βάση για παρακολούθηση του ηλίου δεν είναι το ίδιο αποδοτικά. Συγκεκριμένα με τα ίδιες μονάδες φωτοβολταϊκών η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά kWh αγγίζει μόλις 2.766 MWh δηλαδή 1 MWh λιγότερο.

Συμπερασματικά ο κατάλληλος δείκτης οικονομικής βιωσιμότητας για το φωτοβολταϊκό πάρκο των 2000 kW είναι με το δάνειο 40% και επιτόκιο 8% και το υπόλοιπο να αποτελείται από αρχικό κεφάλαιο.

Στην Εικόνα 25 παρατίθεται η ανάλυση επικινδυνότητας του έργου καθώς και διάφορες τροποποιήσεις στο τραπεζικό δάνειο. Η Εικόνα 25 αποτυπώνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εκτίμησης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) της επένδυσης. Η ανάλυση εξετάζει τη σχετική επίδραση βασικών οικονομικών παραμέτρων, όπως το αρχικό επενδυτικό κόστος, η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, το επιτόκιο δανεισμού, τα λειτουργικά έξοδα και η διάρκεια αποπληρωμής του δανείου, επί της ΚΠΑ. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη χρηματοοικονομική απόδοση του έργου είναι το αρχικό κόστος εγκατάστασης και η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας, καθώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη σχετική επίδραση. Η προσέγγιση αυτή καθιστά δυνατή την ταυτοποίηση των κρίσιμων μεταβλητών που ενδέχεται να επηρεάσουν τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα της επένδυσης.



Εικόνα 25: Ανάλυση οικονομικής επικινδυνότητας

Τέλος, στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 2000 kW με διαξονική βάση, στην περιοχή Λουτρό στο νησί Σκύρος. Σκοπός ήταν καταρχήν η καταγραφή της μηνιαίας ηλιακής

ακτινοβολίας που διοχετεύεται στο νησί καθώς και της μηνιαίας κατανάλωσης, ενώ στη συνέχεια το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πάρκου, ικανό να τροφοδοτήσει σε συνάρτησι φυσικά και με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις το νησί.

Επιπλέον, στόχος ήταν να γίνει μία αξιολόγηση της επένδυσης, μέσω της εκτίμησης της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου, καθώς και του οικολογικού κέρδους που προσφέρει με τη βοήθεια του λογισμικού RETScreen.

Το βασικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το έργο είναι οικονομικά βιώσιμο με μία δυνατότητα απόσβεσης στα 17,3 έτη ενώ από τον 19^ο έτος και μετά οι χρηματικές εισροές αποκτούν θετικό πρόσημο.

Αξιοσημείωτο αποτελεί ακόμα το γεγονός πως τα στοιχεία αυτά αποτελούν το χειρότερο σενάριο όσον αφορά τα ετήσια κόστη συντήρησης και πιθανής αντικατάστασης κάποιων εξαρτημάτων λόγω βλάβης, ενώ η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρήθηκε μία μέση τιμή των ετήσιων παραγωγών αντίστοιχων φωτοβολταϊκών πάρκων.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται βασίζεται στα μηνιαία στοιχεία εκκαθάρισης για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) του έτους 2023, όπως καταγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την ποσότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα, τόσο από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα, όσο και από συμβατικές μονάδες, κυρίως πετρελαϊκής καύσης. Η παρουσίαση των στοιχείων σε μονάδες μεγαβαττωρών (MWh) επιτρέπει την ποσοτική και συγκριτική αξιολόγηση της συμμετοχής κάθε τύπου παραγωγής στο συνολικό ενεργειακό μίγμα. Η κατανομή αυτή καθιστά εφικτή την παρακολούθηση της πορείας διείσδυσης των ΑΠΕ σε μηνιαία βάση. Επιπλέον, στο Παράρτημα Α περιλαμβάνονται δύο κρίσιμες οικονομικές παράμετροι: η Μέση Τιμή Προμήθειας Καθαρής Παραγωγής (ΜΠΚΠ_ΜΔΝ), η οποία αντιστοιχεί στο μέσο κόστος προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, και η Μέση Τιμή Μεταβλητού Κόστους (ΜΜΚ_ΜΔΝ), η οποία αντανακλά το λειτουργικό κόστος των συμβατικών μονάδων

παραγωγής. Οι τιμές αυτές παρουσιάζουν αξιοσημείωτες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους, γεγονός που επηρεάζει άμεσα την οικονομική απόδοση των επενδύσεων σε έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Στο υποκεφάλαιο 7.2, η ανάλυση εστιάζει στην οικονομική βιωσιμότητα του φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 2 MW, με έμφαση στη χρήση των μηνιαίων δεδομένων του Παραρτήματος Α για τον υπολογισμό της παραγωγής ενέργειας, του κόστους και των εσόδων. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETScreen 4, η μελέτη αξιολογεί τα οικονομικά μεγέθη, όπως την καθαρή παρούσα αξία (NPV), το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης (IRR) και το χρόνο απόσβεσης, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές ΜΠΚΠ_ΜΔΝ και ΜΜΚ_ΜΔΝ. Επίσης, εξετάζεται η επίδραση της εποχικότητας στην παραγωγή και την τιμή της ενέργειας, καθώς η υψηλή παραγωγή ΑΠΕ τους καλοκαιρινούς μήνες συχνά συμπίπτει με χαμηλότερες τιμές αγοράς. Η σύνδεση αυτή επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης και λειτουργίας του πάρκου, εξασφαλίζοντας ότι η επένδυση παραμένει ανταγωνιστική και προσαρμοσμένη στις ιδιαιτερότητες της αγοράς των ΜΔ.

7.3 Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, στο Κεφάλαιο 7 προσεγγίστηκαν διεξοδικά δύο κρίσιμες πτυχές για την υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 2 MW: η περιβαλλοντική αδειοδότηση (υποκεφάλαιο 7.1) και η οικονομική του βιωσιμότητα (υποκεφάλαιο 7.2). Η κατηγοριοποίηση των έργων σύμφωνα με την ισχύ και τη χωροθέτησή τους ανέδειξε το κανονιστικό πλαίσιο που διαμορφώνει τις απαιτήσεις για την περιβαλλοντική έγκριση, υπογραμμίζοντας τη σημασία της συμμόρφωσης με ειδικές προβλέψεις σε ευαίσθητες περιοχές. Παράλληλα, η οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού RETScreen ανέδειξε θετικούς δείκτες απόδοσης και ρεαλιστικό χρονικό ορίζοντα απόσβεσης, επιβεβαιώνοντας την επενδυτική σκοπιμότητα του έργου. Η συνδυασμένη θεώρηση των δύο αυτών παραμέτρων καταδεικνύει ότι η προτεινόμενη εγκατάσταση, εφόσον ακολουθήσει πιστά το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο και στηριχθεί σε

τεκμηριωμένο οικονομικό σχεδιασμό, αποτελεί μια περιβαλλοντικά αποδεκτή και οικονομικά βιώσιμη επιλογή για την ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας του νησιού.

Κεφάλαιο 8 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκών σε στέγες συνολικής ισχύος 90 kW

Η παρούσα μελέτη αφορά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 90 kW, τοποθετημένου σε στέγη στην περιοχή Χώρα Σκύρου, στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, με γεωγραφικό πλάτος 38,9° και γεωγραφικό μήκος 24,6°. Ο τόπος εγκατάστασης είναι το Γυμνάσιο Σκύρου, το οποίο βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού, εντός του οικιστικού ιστού της Χώρας.

Πρόκειται για έργο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, και συγκεκριμένα από ηλιακή ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η εν λόγω εγκατάσταση εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και συνεισφέρουν στην ενεργειακή μετάβαση προς ένα βιώσιμο μοντέλο ανάπτυξης.

Η μελέτη εξετάζει διεξοδικά την οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης, καθώς και την περιβαλλοντική της συμβολή, ιδίως σε ό,τι αφορά τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), επιβεβαιώνοντας τη συμβατότητά της με τις σύγχρονες κατευθύνσεις της ενεργειακής πολιτικής και της αειφόρου ανάπτυξης.

Στην Εικόνα 26, παρουσιάζεται η βασική καρτέλα πληροφοριών του έργου, όπου έχουν καταχωρηθεί τα βασικά στοιχεία της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, πρόκειται για εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκά σε στέγη, συνολικής ισχύος 90 kW, που βρίσκεται στην περιοχή Χώρα Σκύρου, στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, ενώ η περιγραφή της εγκατάστασης έχει καταχωρηθεί με σαφήνεια στο αντίστοιχο πεδίο [46].

Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις

Τύπος εγκαταστάσεων	Παραγωγή ηλεκτρισμού Θέρμανση Ψύξη
Τύπος	Παραγωγή ηλεκτρισμού
Περιγραφή	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΑ ΣΕ ΣΤΕΓΗ 90 KW
Συντάχθηκε για	Andreou-Giota
Συντάχθηκε από	Συντάχθηκε από
Όνομα εγκατάστασης	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΑ ΣΕ ΣΤΕΓΗ 90KW
Διεύθυνση	ΧΩΡΑ ΣΚΥΡΟΪ
Πόλη/Δήμος	Skíros
Επαρχία/Νομός	Central Greece
Χώρα	Ελλάδα



©outtoposplia | Eivóvel - Shutterstock.com

Εικόνα 26: Περιγραφή της Εγκατάστασης

Ο Πίνακας 7 και η Εικόνα 27 παρουσιάζουν βασικά κλιματικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στον Πίνακα 7 παρατίθενται στοιχεία όπως το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της θέσης των μετεωρολογικών δεδομένων και της τοποθεσίας εγκατάστασης, η κλιματική ζώνη, το υψόμετρο, καθώς και κρίσιμες θερμοκρασίες σχεδιασμού για θέρμανση και ψύξη. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητες για την ενεργειακή μοντελοποίηση και τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος.

Στην Εικόνα 27 παρουσιάζεται η εποχιακή κατανομή δύο βασικών κλιματικών παραμέτρων, της ηλιακής ενέργειας που δέχεται καθημερινά μια επιφάνεια ανά τετραγωνικό μέτρο (σε kWh/m²) και της μέσης θερμοκρασίας αέρα (σε °C), καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι μπλε ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η πράσινη γραμμή αποδίδει τη θερμοκρασιακή μεταβολή ανά μήνα. Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνεται σταδιακά από τον Ιανουάριο, φθάνοντας στο μέγιστο τους θερινούς μήνες (Ιούνιος–Ιούλιος), όπου ξεπερνά τις 8 kWh/m² ημερησίως, ενώ στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά έως τον Δεκέμβριο. Η μέση θερμοκρασία ακολουθεί αντίστοιχη εποχική κυκλικότητα, με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται τον Ιούλιο (περίπου 27 °C) και τις χαμηλότερες τον Ιανουάριο και τον Δεκέμβριο. Η παράλληλη αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κατά τους θερμούς μήνες υποδηλώνει ευνοϊκές συνθήκες για την αξιοποίηση ηλιακών ενεργειακών συστημάτων, όπως τα φωτοβολταϊκά και τα ηλιοθερμικά, καθιστώντας τη συγκεκριμένη περιοχή ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για ενεργειακό σχεδιασμό και μελέτες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. Συνολικά, τα δεδομένα αυτά τεκμηριώνουν την καταλληλότητα της περιοχής για την

εγκατάσταση και τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

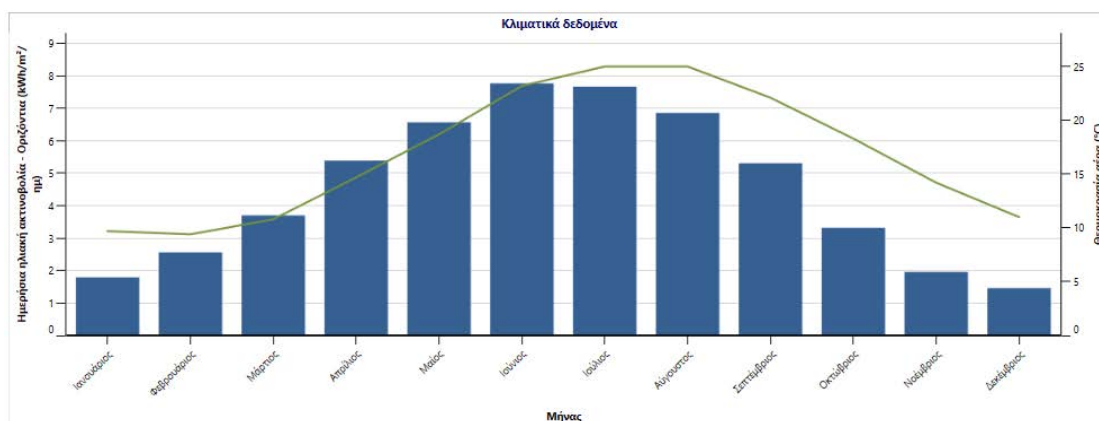
Η θερμοκρασία θέρμανσης εδάφους βάσει σχεδιασμού αγγίζει τους 3,1 °C ενώ η θερμοκρασία ψύξης τους 29,8 °C. Το νησί χαρακτηρίζεται από σχετική υγρασία ύψους 72,1% και η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή πλησιάζει τα 4,3m/s γεγονός που καθιστά ικανή τη δημιουργία και την λειτουργία ενός ευημερούς αιολικού πάρκου.

Η θερμοκρασία του αέρα σύμφωνα με τα στοιχεία της NASA είναι 16,9 °C ενώ η θερμοκρασία εδάφους αγγίζει τους 18,4 °C γεγονός που καθιστά επιτρεπτή τη συνδεσμολογία και την ομαλή λειτουργία ενός σύμπλεγμα φωτοβολταϊκών στέγης.

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει τις γεωγραφικές συντεταγμένες, το υψόμετρο, την κλιματική ζώνη και βασικές θερμοκρασιακές παραμέτρους για τη θέση των κλιματολογικών δεδομένων και την τοποθεσία εγκατάστασης. Οι μικρές αποκλίσεις μεταξύ των δύο θέσεων επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα των δεδομένων για τη μελέτη, ενώ οι τιμές σχεδιασμού θερμοκρασίας και το εύρος διακύμανσης του εδάφους είναι καθοριστικά στοιχεία για τον ενεργειακό σχεδιασμό [47].

Πίνακας 7: Πίνακας συντεταγμένων

Παράμετρος	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης
Γεωγραφικό πλάτος	-	39,0	38,9
Γεωγραφικό μήκος	-	24,5	24,6
Κλιματική ζώνη	-	4B – Μικτό - Ξηρό	
Υψόμετρο	m	28	60
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	3,1	
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	29,8	
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	11,5	



Εικόνα 27: Ετήσια μεταβολή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και της μέσης θερμοκρασίας ανά μήνα.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο η οποία αποτελεί τον καλύτερο τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα εγκαταστάθηκαν πολλά φωτοβολταϊκά με το καθεστώς της "ταρίφας" δηλαδή της αποζημίωσης από το κράτος της ενέργειας που εγχέεται στο δημόσιο δίκτυο (ΔΕΗ).

Όσο το κόστος των φωτοβολταϊκών μειώνεται τόσο ο κλάδος μετακινείται προς την άμεση παραγωγή και κατανάλωση της ηλιακής ενέργειας κοντά στη θέση παραγωγής είτε με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά είτε με τα φωτοβολταϊκά αυτοπαραγωγής (net metering).

Τα οικιακά φωτοβολταϊκά αποτελούν την πιο δημοφιλή χρήση της ηλιακής τεχνολογίας καθώς τα νοικοκυριά είναι οι καταναλωτές εκείνοι που έχουν ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων.

Συνήθως ονομάζονται φωτοβολταϊκά στέγης ή φωτοβολταϊκά σε στέγες και διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- Φωτοβολταϊκά αυτονομίας

Κτίρια τα οποία δεν έχουν ρεύμα για διάφορους λόγους (είτε γιατί είναι

απομακρυσμένα από το δίκτυο, είτε γιατί δεν έχουν άδεια κλπ.) μπορούν να εκμεταλλευτούν τον ήλιο εγκαθιστώντας ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά λειτουργούν χωρίς σύνδεση με τη ΔΕΗ παράγοντας ρεύμα από τον ήλιο και αποθηκεύοντάς το σε μπαταρίες για τις περιόδους έλλειψης ηλιοφάνειας (συννεφιά, νύχτα).

- Φωτοβολταϊκά σε στέγες αυτοπαραγωγής

Τα φωτοβολταϊκά αυτοπαραγωγής (netmetering) είναι διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά τα οποία παράγουν ενέργεια από τον ήλιο η οποία αφαιρείται από την καταναλισκόμενη ενέργεια. Ο χρήστης με αυτόν τον τρόπο πληρώνει μόνο τη διαφορά ενέργειας αν η καταναλισκόμενη είναι μεγαλύτερη από την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά.

- Φωτοβολταϊκά σε στέγες με ταρίφα

Το πρόγραμμα "φωτοβολταϊκά σε στέγες" συνεχίζεται στην Ελλάδα. Σπίτια που δεν είναι μόνιμες κατοικίες και έχουν ΔΕΗ συμφέρει να εγκαθιστούν ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό με ταρίφα.

- Φωτοβολταϊκά σε στέγες αυτοκατανάλωσης

Το Net Billing είναι ένα σύστημα συμψηφισμού ενέργειας μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, επιτρέποντας την ταυτόχρονη κατανάλωση παραγόμενης ενέργειας και την έγχυση του πλεονάσματος στο δίκτυο για πώληση [48].

Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ή άλλες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας) χρησιμοποιείται άμεσα στις εγκαταστάσεις του παραγωγού. Όταν η παραγωγή ξεπερνά την κατανάλωση, το πλεόνασμα εγχέεται στο

δίκτυο. Η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο συμψηφίζεται με την ενέργεια που εγχέεται στο δίκτυο. Η περισσεύουσα ενέργεια πωλείται στην τιμή που ισχύει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. ΔΕΗ, ΗΡΩΝ) αγοράζουν την περισσεύουσα ενέργεια. Το Net Billing προσφέρει οικονομικά οφέλη στους παραγωγούς, καθώς μειώνουν τους λογαριασμούς ρεύματος και επιπλέον, τους επιτρέπει να πωλούν το πλεόνασμα και τα έσοδα από Net Billing συστήματα συμψηφισμού για οικιακούς καταναλωτές δεν φορολογούνται.

Ποια είναι η διαφορά μεταξύ “Net Metering” και “Net Billing” και ποια η σημασία τους για τους οικιακούς χρήστες και τις επιχειρήσεις;

- Στο Net Metering συμψηφίζεται η ενέργεια, ενώ στο Net Billing συμψηφίζεται το κόστος της ενέργειας βάσει σταθερής τιμής πώλησης (65,74 €/MWh) της εξαγόμενης ενέργειας.
- Στο net-metering τα ανώτατα όρια ισχύος του Φωτοβολταϊκού σταθμού είναι 10,8 kW για τους οικιακούς καταναλωτές και 100 kW για τους εμπορικούς καταναλωτές, ενώ στο Net Billing δεν έχουν τεθεί όρια.
- Ο χρόνος απόσβεσης μέσω Net Billing είναι τυπικά λίγο μεγαλύτερος απ’ ότι μέσω Net Metering, παραμένοντας ελκυστική επένδυση, και τρόπος σταθεροποίησης του ενεργειακού κόστους [49].

8.1 Φωτοβολταϊκό πάρκο στη στέγη

Στο κεφάλαιο αυτό ξεκινάμε με την ανάλυση των κλιματικών και ενεργειακών δεδομένων της περιοχής μελέτης. Η αποδοτικότητα και ο ενεργειακός σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτώνται άμεσα από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα ενότητα παρουσιάζει και αναλύει τα βασικά μηνιαία και ετήσια κλιματικά και ενεργειακά δεδομένα της υπό μελέτη περιοχής. Οι πληροφορίες αυτές αποτελούν κρίσιμο υπόβαθρο για την ακριβή εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος.

Αρχικά, στην Εικόνα 28 παρουσιάζει αναλυτικά τα βασικά κλιματικά δεδομένα της

υπό μελέτη περιοχής, τα οποία είναι κρίσιμα για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών έργων. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα ανέρχεται σε 16,9 °C, με υψηλότερες τιμές τους θερινούς μήνες (μέγιστη 25 °C τον Αύγουστο) και χαμηλότερες τον χειμώνα (ελάχιστη 9,4 °C τον Φεβρουάριο). Η σχετική υγρασία κυμαίνεται σε μέσο ετήσιο ποσοστό 72,1%, παρουσιάζοντας αυξημένες τιμές τους χειμερινούς μήνες. Η συνολική ετήσια κατακρήμνιση φτάνει τα 457,96 mm, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εμφανίζεται τους μήνες Νοέμβριο έως Ιανουάριο.

Η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο έχει ετήσιο μέσο όρο 4,54 kWh/m²/ημέρα, με σημαντική αύξηση κατά τους θερινούς μήνες (μέγιστη τιμή 7,77 kWh/m²/ημέρα τον Ιούνιο και Ιούλιο), στοιχείο που ενισχύει την αποδοτικότητα φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Η μέση ταχύτητα ανέμου διατηρείται σχετικά σταθερή, μεταξύ 3,0 και 5,5 m/s. Η θερμοκρασία εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 11,2 και 25,3 °C, στοιχείο σημαντικό για την απόδοση των θεμελιώσεων και την επίδραση σε υπόγειες εγκαταστάσεις. Επιπλέον, οι βαθμο-ημέρες θέρμανσης (με βάση τους 18 °C) ανέρχονται σε 1.151 ετησίως, ενώ οι βαθμο-ημέρες ψύξης (με βάση τους 10 °C) σε 2.539, αποτυπώνοντας τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου κατά τη διάρκεια του έτους. Συνολικά, τα δεδομένα αυτά καθιστούν σαφές το προφίλ του κλίματος, το οποίο συνδυάζει εύκρατες θερμοκρασίες, επαρκή ηλιοφάνεια και μέτρια επίπεδα υγρασίας, γεγονός που ενισχύει τη βιωσιμότητα εφαρμογών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Η Εικόνα 29 εστιάζει στην κατανομή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και της αντίστοιχης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για το υπό μελέτη φωτοβολταϊκό σύστημα. Η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο κυμαίνεται από 1,46 kWh/m²/ημέρα τον Δεκέμβριο έως 7,77 kWh/m²/ημέρα τον Ιούνιο, με μέσο ετήσιο όρο 4,54 kWh/m²/ημέρα. Όταν εξετάζεται σε κεκλιμένο επίπεδο (σύμφωνα με τη βέλτιστη γωνία κλίσης των πάνελ), οι τιμές βελτιώνονται περαιτέρω, φτάνοντας ετήσιο μέσο όρο 4,91 kWh/m²/ημέρα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παρουσιάζει αντίστοιχη εποχικότητα, με μέγιστες τιμές τους θερινούς μήνες, όπως τον Ιούλιο (28.999.917 kWh), και ελάχιστες τον χειμώνα, όπως

τον Δεκέμβριο (9.313.390 kWh). Συνολικά, η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται σε 241.046.524 kWh. Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στα 0,07 €/kWh, γεγονός που μεταφράζεται σε ετήσια έσοδα ύψους περίπου 16.873.257 €. Η ανάλυση αυτή αποδεικνύει την υψηλή απόδοση του έργου και ενισχύει τη βιωσιμότητά του τόσο σε ενεργειακό όσο και σε οικονομικό επίπεδο.

Τα παραπάνω δεδομένα αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας και της αποτελεσματικότητας της επένδυσης.

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Κατακρήμνιση	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης 18 °C	Βαθμο-ημέρες ψύξης 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	9,7	75,6%	59,52	1,79	101,2	5,5	12,9	257	0
Φεβρουάριος	9,4	72,7%	53,48	2,56	101,0	5,5	12,8	241	0
Μάρτιος	10,8	72,6%	53,32	3,70	100,9	4,8	13,4	223	25
Απρίλιος	14,7	70,1%	35,40	5,39	100,7	3,8	14,9	99	141
Μαΐος	18,7	69,4%	20,15	6,57	100,7	3,2	18,4	0	270
Ιούνιος	23,2	66,5%	11,70	7,77	100,6	3,0	22,9	0	396
Ιούλιος	25,0	66,8%	8,99	7,67	100,5	3,7	25,1	0	465
Αύγουστος	25,0	69,4%	6,51	6,86	100,6	3,8	25,4	0	465
Σεπτέμβριος	22,1	71,7%	19,80	5,31	100,8	3,8	23,5	0	363
Οκτώβριος	18,3	75,5%	47,43	3,32	101,1	4,3	20,2	0	257
Νοέμβριος	14,2	77,4%	65,40	1,96	101,1	4,6	16,7	114	126
Δεκέμβριος	11,0	77,5%	76,26	1,46	101,2	5,5	14,1	217	31
Ετήσιο	16,9	72,1%	457,96	4,54	100,9	4,3	18,4	1.151	2.539
Πηγή	Εδαφος	Εδαφος	NASA	NASA	NASA	Εδαφος	NASA	Εδαφος	Εδαφος
Μετρημένο σε	m 10 0								

Εικόνα 28: Μηνιαία κλιματικά δεδομένα της τοποθεσίας

Όσον αφορά την λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου, αυτό είναι το πεδίο που θα διαφοροποιηθεί κατά τη μελέτη διαφορετικών σεναρίων.

Για το βασικό σενάριο έχουμε:

- Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου: Σταθεροποιημένο
- Κλίση: 30° (Αν και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι 35°, και τα πάνελ θα έπρεπε να τοποθετηθούν σε κλίση ίση με αυτή του γεωγραφικού πλάτους, λόγω της τυποποίησης των σιδερένιων στηριγμάτων τοποθετήθηκαν στις 30° σε νότιο προσανατολισμό
- Αζιμούθιο: 0

Οι νέες εγγυημένες τιμές αγοράς της κιλοβατώρας από τη ΔΕΗ και συγκεκριμένα για το δικό μας μη διασυνδεδεμένο σύστημα η τιμή είναι 0,06574 €/kWh.

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m ² /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - κεκλιμένο επίπεδο kWh/m ² /ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού \$/kWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο kWh
Ιανουάριος	1,79	2,58	0,07	11.448,496
Φεβρουάριος	2,56	3,33	0,07	13.257,171
Μάρτιος	3,70	4,29	0,07	18.671,977
Απρίλιος	5,39	5,68	0,07	23.313,549
Μαίος	6,57	6,35	0,07	26.382,240
Ιούνιος	7,77	7,19	0,07	28.171,378
Ιούλιος	7,67	7,23	0,07	28.999,917
Αύγουστος	6,86	7,01	0,07	28.097,097
Σεπτέμβριος	5,31	6,10	0,07	24.067,592
Οκτώβριος	3,32	4,22	0,07	17.779,616
Νοέμβριος	1,96	2,75	0,07	11.544,102
Δεκέμβριος	1,46	2,10	0,07	9.313,390
Ετήσιο	4,54	4,91	0,07	241.046,524

Εικόνα 29: Μηνιαίες καταναλώσεις ρεύματος

8.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Η παρούσα ενότητα περιγράφει τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού συστήματος που μελετάται. Το σύστημα αποτελείται από σταθερού προσανατολισμού φωτοβολταϊκές μονάδες τύπου πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Poly-Si), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 90,005 kW. Οι μονάδες είναι κατασκευασμένες από την εταιρεία Sharp και πρόκειται για το μοντέλο ND-Q235F4, με βαθμό απόδοσης 14,42%. Το σύστημα περιλαμβάνει 383 φωτοβολταϊκές μονάδες, καλύπτοντας επιφάνεια συλλέκτη 624 m². Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του κυττάρου είναι 45 °C, ενώ ο θερμοκρασιακός συντελεστής είναι 0,4% ανά βαθμό Κελσίου. Οι απώλειες λόγω απόκλισης από το βέλτιστο προσανατολισμό και γωνία πρόσπτωσης εκτιμώνται στο 5%, ενώ ο συντελεστής ρύθμισης ηλιακής κυψέλης σε δύο άξονες έχει υπολογιστεί στο 80%. Το σύστημα συνδέεται με inverter απόδοσης 93%, ονομαστικής ισχύος 90 kW, με μηδενικές λοιπές απώλειες. Ο συνολικός συντελεστής ισχύος του συστήματος ανέρχεται σε 30,6%, υποδηλώνοντας έναν ικανοποιητικό βαθμό συνολικής απόδοσης. Στην Εικόνα 30 αποτυπώνονται όλα τα παραπάνω τεχνικά χαρακτηριστικά.

Η Εικόνα 31 παρουσιάζει τα οικονομικά δεδομένα που σχετίζονται με την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, βάσει της τιμής αγοράς ηλεκτρισμού. Η τιμή πώλησης έχει οριστεί στα 0,066 \$/kWh, που αντιστοιχεί περίπου σε 0,061 €/kWh. Η

συνολική ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο σε ετήσια βάση ανέρχεται σε 241.047 kWh, αποφέροντας ετήσια έσοδα της τάξης των 15.837 \$, δηλαδή περίπου 14.740 €. Το ποσό αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης και τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ένα φωτοβολταϊκό πάρκο.

-Φωτοβολταϊκό - Επίπεδο 2

Αξιολόγηση πηγών

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου Σταθεροποιημένα

Κλίση 30

Αζιμούθιο 0

Δείξε δεδομένα

Φωτοβολταϊκό

Τύπος Πολυ-Si

Ηλεκτρική ισχύς kW 90,005

Κατασκευαστής Sharp

Μοντέλο Πολυ-Si - ND-Q235F4

Αριθμός μονάδων 383

Βαθμός απόδοσης % 14,42%

Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελίου °C 45

Συντελεστής θερμοκρασίας % / °C 0,4%

Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη m² 624

Συντελεστής ρύθμισης ηλιακής κυψέλης δύο όψεων % 80%

Λοιπές απώλειες % 5%

Μετατροπέας (inverter)

Βαθμός απόδοσης % 93%

Ισχύς kW 90

Λοιπές απώλειες % 0%

Περίληψη

Συντελεστής ισχύος % 30,6%

Εικόνα 30: Ειδικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πάνελ

Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - ετήσιο

\$/kWh 0,066

Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο kWh 241.047

Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας \$ 15.837

Εικόνα 31: Ετήσια έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο με τιμή 0,061 €/kWh.

8.1.2 Ανάλυση Κόστους Επένδυσης

Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός έργου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί τη λεπτομερή ανάλυση του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Η ενότητα αυτή βασίζεται στην τρίτη καρτέλα του λογισμικού RETScreen 4, η οποία

περιλαμβάνει όλες τις βασικές συνιστώσες του αρχικού κόστους μιας επένδυσης. Συγκεκριμένα, το αρχικό κόστος διακρίνεται σε πέντε βασικές υποκατηγορίες:

1. Μελέτη σκοπιμότητας
2. Ανάπτυξη του έργου
3. Μηχανολογικά
4. Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
5. Ισοζύγιο συστήματος και διάφορα έξοδα

Αναλυτικά, οι κατηγορίες αυτές διαμορφώνονται ως εξής:

Μελέτη σκοπιμότητας

Η πρώτη υποενότητα του αρχικού κόστους αφορά τη μελέτη σκοπιμότητας, δηλαδή το προκαταρκτικό στάδιο σχεδιασμού του έργου, το οποίο περιλαμβάνει τις τεχνικές, οικονομικές και ρυθμιστικές αναλύσεις. Στην παρούσα περίπτωση, το κόστος αυτής της ενέργειας υπολογίζεται στα 6.500 €.

Ανάπτυξη του έργου

Η ανάπτυξη του έργου αποτελεί τη δεύτερη υποενότητα και αφορά ενέργειες όπως η αδειοδότηση, η περιβαλλοντική αξιολόγηση, οι απαραίτητες διαβουλεύσεις, καθώς και ο στρατηγικός σχεδιασμός υλοποίησης. Για το συγκεκριμένο έργο, το αντίστοιχο κόστος ανέρχεται στα 7.000 €.

Μηχανολογικά

Η τρίτη κατηγορία αφορά τις μηχανολογικές εργασίες και περιλαμβάνει:

- Τον σχεδιασμό και την τοποθέτηση της φ/β εγκατάστασης,
- Την ανάπτυξη ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών υποδομών,

- Τη διεκπεραίωση γραφειοκρατικών και συμβατικών διαδικασιών,
- Την επίβλεψη της κατασκευής από εξειδικευμένο μηχανικό.

Το συνολικό κόστος των μηχανολογικών εργασιών ανέρχεται στα 20.000 €.

Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η τέταρτη και σημαντικότερη σε ποσοστό συμμετοχής ενότητα αφορά την αγορά και εγκατάσταση του εξοπλισμού παραγωγής ενέργειας. Περιλαμβάνει:

- Την αγορά φωτοβολταϊκών πλαισίων 90 kWp, συνολικού κόστους 315.000 €,
- Την εγκατάσταση των πλαισίων με επιπλέον 15.000 €,
- Την κατασκευή 1 km έργου οδοποιίας κόστους 1.000 €,
- Την αγορά 3 ηλιακών ιχνηλατών (MECHATRON SOLAR TRACKER D180-BASIC SOLUTION), αξίας 15.000 € (5.000 € έκαστος).

Το συνολικό κόστος του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα 346.018 €, καλύπτοντας το 84,4% του συνολικού προϋπολογισμού του έργου.

Ισοζύγιο Συστήματος και Διάφορα Έξοδα

Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει έξοδα που δεν εντάσσονται στις προαναφερθείσες ενότητες, αλλά είναι απαραίτητα για την ολοκλήρωση του έργου.

Συγκεκριμένα περιλαμβάνονται:

- Ανταλλακτικά (3% του κόστους φωτοβολταϊκών): 9.450 €,
- Κόστος μεταφοράς στη Σκύρο: 800 €,
- Εκπαίδευση σε θέματα χρήσης και λειτουργίας: 600 €,
- Απρόβλεπτα έξοδα (5%): 19.518 €,
- Τόκοι κατά την κατασκευή (6 μήνες): 0 €.

Το συνολικό κόστος της ενότητας ανέρχεται στα 30.368 €.

Συνολικό Αρχικό Κόστος

Αθροίζοντας όλα τα παραπάνω κόστη, το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης ανέρχεται στα 409.886 €, το οποίο αποτελεί τη βάση για τη συνολική χρηματοοικονομική αξιολόγηση του έργου. Η κατανομή του κόστους καταδεικνύει την έντονη εξάρτηση της επένδυσης από τον τεχνικό εξοπλισμό και τη σχετική υποδομή, επιβεβαιώνοντας τον τεχνολογικά εντατικό χαρακτήρα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Η Εικόνα 32 παρουσιάζει την αναλυτική εκτίμηση του αρχικού κόστους εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος, κατανεμημένη σε επιμέρους κατηγορίες δαπανών. Το συνολικό αρχικό κόστος ανέρχεται στα 409.886 \$, με το μεγαλύτερο ποσοστό να αφορά το υποσύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (84,4% του συνολικού κόστους), το οποίο περιλαμβάνει την προμήθεια και εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των μετατροπέων (inverters), των γραμμών μεταφοράς και λοιπών εξαρτημάτων. Επίσης, καταγράφονται τα κόστη μελέτης σκοπιμότητας (1,6%), αναπτυξιακών διαδικασιών (1,7%) και μηχανολογικών εργασιών (4,9%). Επιπλέον, περιλαμβάνονται και δευτερεύουσες δαπάνες για ανταλλακτικά, εκπαίδευση του προσωπικού, αποθέματα και λοιπά έξοδα ισοζυγίου συστήματος, που αθροίζονται στο 7,4% του προϋπολογισμού. Η κατανομή των εξόδων προσφέρει σαφή εικόνα της επένδυσης και επιτρέπει τη στοχευμένη ανάλυση του κόστους ανά φάση υλοποίησης του έργου.

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
- Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	\$	6.500	
Υπο-σύνολο:				\$	6.500 1,6%
Ανάπτυξη					
- Ανάπτυξη	κόστος	1	\$	7.000	
Υπο-σύνολο:				\$	7.000 1,7%
Μηχανολογικά					
- Μηχανολογικά	κόστος	1	\$	20.000	
Υπο-σύνολο:				\$	20.000 4,9%
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας					
Φωτοβολταϊκό	kW	90	\$	3.500	315.018
Εργα οδοποιίας	km	1	\$	1.000	1.000
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km		\$		-
Υποσταθμός	έργο	1	\$	15.000	15.000
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης		3	\$	5.000	15.000
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		\$		-
Υπο-σύνολο:				\$	346.018 84,4%
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα					
Ανταλλακτικά	%	3,0%	\$	315.000	9.450
Μεταφορά	έργο	1	\$	800	800
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα	6	\$	100	600
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		\$		-
Υπο-σύνολο:				\$	30.368 7,4%
Συνολικά αρχικά κόστη				\$	409.886 100,0%

Εικόνα 32: Οικονομική ανάλυση κόστους κατασκευής

8.1.3 Ετήσια και Περιοδικά Κόστη

Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας μιας ενεργειακής επένδυσης, όπως αυτή που περιγράφεται μέσω του λογισμικού RETScreen, απαιτεί τον λεπτομερή υπολογισμό τόσο των ετήσιων όσο και των περιοδικών εξόδων λειτουργίας. Τα κόστη αυτά δεν επηρεάζουν μόνο το ταμειακό ρεύμα του έργου αλλά και κρίσιμους δείκτες απόδοσης όπως η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και η εσωτερική απόδοση (IRR).

Ετήσια Κόστη

Η Εικόνα 33 παρουσιάζει τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Όπως προκύπτει από τα στοιχεία::

- Το κόστος που σχετίζεται με τμήματα και εργασία για τη συντήρηση του συστήματος ανέρχεται στα 2.000 € ετησίως.
- Το κόστος που έχει οριστεί από τον χρήστη —και αφορά λειτουργικά έξοδα όπως παρακολούθηση απόδοσης, μικροεπισκευές, καθαρισμό πάνελ κ.ά.— είναι 14.000 € ετησίως.

- Δεν αναφέρονται απορρίμματα ή επιπλέον απώλειες, καθώς η σχετική κατηγορία είναι κενή.

Το συνολικό ετήσιο κόστος, όπως φαίνεται και στο υποσύνολο της Εικόνας 33, ανέρχεται στα 16.000 €. Το ποσό αυτό είναι αντιπροσωπευτικό ενός καλά σχεδιασμένου συστήματος με ετήσιες ανάγκες συντήρησης και λειτουργίας σε λογικά πλαίσια.

Περιοδικά Κόστη

Στην Εικόνα 33 αποτυπώνονται τα περιοδικά κόστη του έργου, τα οποία δεν εμφανίζονται κάθε χρόνο αλλά προκύπτουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, κυρίως λόγω αντικατάστασης εξοπλισμού.

Συγκεκριμένα, έχει προβλεφθεί:

- Αντικατάσταση μετατροπέα (inverter) κάθε 15 έτη, με κόστος 10.000 €. Οι μετατροπείς έχουν χαμηλότερη διάρκεια ζωής από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, καθιστώντας την περιοδική τους αντικατάσταση αναγκαία για την απρόσκοπτη λειτουργία του έργου.

Το υπολογιζόμενο συνολικό περιοδικό κόστος ανέρχεται στα 10.000 €.

Η Εικόνα 33 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα ετήσια και περιοδικά κόστη του φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως αυτά έχουν οριστεί στο λογισμικό RETScreen. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης ύψους 16.000 €, καθώς και το περιοδικό κόστος αντικατάστασης του μετατροπέα ανά 15 έτη, ύψους 10.000 €. Η απεικόνιση αυτή παρέχει συνολική εικόνα των προβλεπόμενων εξόδων σε βάθος χρόνου, διευκολύνοντας την οικονομική αξιολόγηση του έργου και ενισχύοντας τη διαφάνεια στη χάραξη του χρηματοοικονομικού σχεδιασμού.

Συνολική Επιβάρυνση

Συνοψίζοντας, τα κόστη που αναμένεται να προκύψουν από τη λειτουργία και τη συντήρηση του έργου περιλαμβάνουν:

- Ετήσια κόστη: 16.000 €
- Περιοδικά κόστη (ανά 15 χρόνια): 10.000 €
- Συνολικό προβλεπόμενο κόστος για τον οικονομικό κύκλο ζωής του έργου: τουλάχιστον 26.000 €

Το ποσό αυτό ενσωματώνεται στον χρηματοοικονομικό σχεδιασμό της επένδυσης και είναι κρίσιμο για την αποτίμηση της πραγματικής απόδοσης του έργου μακροπρόθεσμα. Η πρόβλεψη τέτοιων εξόδων ενισχύει την ακρίβεια της μελέτης σκοπιμότητας και μειώνει τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο.

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Λειτουργία & Συντήρηση				
Δείξε δεδομένα				
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας				
Φωτοβολταϊκό			\$	- Ενημέρωση κόστους
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	\$ 2.000	\$ 2.000
☐ Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	1	\$ 14.000	\$ 14.000
Απρόβλεπτα	%		\$ 16.000	\$ -
Υπο-σύνολο:				\$ 16.000
Ετήσια εξοικονόμηση				
☐ Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		\$	-
Υπο-σύνολο:				\$ -
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)				
☐ Περιοδικά κόστη	κόστος	15	\$ 10.000	\$ 10.000
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος		\$	-

Εικόνα 33: Οικονομική ανάλυση συντήρησης

8.1.4 Ανάλυση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑΤΘ)

Στο πλαίσιο της συνολικής αξιολόγησης της επένδυσης, ιδιαίτερη σημασία δίνεται και στην περιβαλλοντική της επίδραση, με έμφαση στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η Εικόνα 34 παρουσιάζει τη σύγκριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ) μεταξύ του βασικού σεναρίου αναφοράς (χωρίς την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος) και της προτεινόμενης περίπτωσης (με την εφαρμογή του συστήματος). Η ανάλυση βασίζεται στα στοιχεία της ενεργειακής κατανάλωσης και στους συντελεστές εκπομπής που ισχύουν για κάθε τύπο καυσίμου ή πηγής ενέργειας, όπως αυτά καθορίζονται από το λογισμικό RETScreen.

Βασικό Σενάριο

Στην ενότητα "Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου" στην Εικόνα 34, υπολογίζεται ότι η απαιτούμενη ετήσια ηλεκτρική ενέργεια του έργου (241.047 kWh) καλύπτεται κατά 100% από το ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο βασίζεται κυρίως σε ορυκτά καύσιμα. Αυτό συνεπάγεται:

- Συντελεστής εκπομπής CO₂: 130,7 kg/GJ
- Συντελεστές μεθανίου (CH₄) και υποξειδίου του αζώτου (N₂O): 0,0025 και 0,0024 kg/ GJ αντίστοιχα
- Συνολικές εκπομπές: 114,0 τόνοι CO₂ ετησίως

Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει το αποτύπωμα άνθρακα του έργου εφόσον δεν εφαρμοστεί καμία μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.

Προτεινόμενη Περίπτωση

Στο επόμενο τμήμα της Εικόνας 34, "Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης", υπολογίζεται η επίδραση από την πλήρη κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας μέσω ηλιακής ενέργειας:

- Μείγμα καυσίμου: 100% ηλιακή ενέργεια
- Όλοι οι συντελεστές εκπομπής (CO₂, CH₄, N₂O): 0,0000

- Κατανάλωση καυσίμου: 241.047 kWh
- Συνολικές εκπομπές: 0,0 τόνοι CO₂

Αυτό καταδεικνύει ότι η μετάβαση σε ηλιακή ενέργεια μηδενίζει τις εκπομπές ΑΤΘ που σχετίζονται με την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύνοψη Μείωσης Εκπομπών

Η τελευταία ενότητα στην Εικόνα 34 συνοψίζει τη διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων:

- Εκπομπές βασικού σεναρίου: 114,0 tn CO₂
- Εκπομπές προτεινόμενης περίπτωσης: 0,0 tn CO₂
- Μεικτή ετήσια μείωση εκπομπών: 114,0 tn CO₂

Η τιμή αυτή υποδηλώνει ότι με την εφαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος, το έργο θα συμβάλει στη μείωση των εκπομπών άνθρακα κατά 114 τόνους CO₂ ετησίως, γεγονός που ενισχύει σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της επένδυσης και προσδίδει ιδιαίτερη αξία στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης.

Περίληψη εκπομπών ΑΤΟ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου kWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΟ kgCO ₂ /kWh	Εκπομπές ΑΤΟ tn CO ₂
Ηλεκτρική ενέργεια	100,0%	130,7	0,0025	0,0024	241.047	0,473	114,0
Σύνολο	100,0%	130,7	0,0025	0,0024	241.047	0,473	114,0
Περίληψη εκπομπών ΑΤΟ προτεινόμενης περίπτωσης							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου kWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΟ kgCO ₂ /kWh	Εκπομπές ΑΤΟ tn CO ₂
Ηλιακό	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	241.047	0,000	0,0
Σύνολο	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	241.047	0,000	0,0
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kWh	241.047	Απώλειες Μ&Δ		0	0,473	0,0
						Σύνολο	0,0
Σύνοψη μείωσης εκπομπών ΑΤΟ							
Εκπομπές ΑΤΟ							
Βασική περίπτωση	tn CO ₂	114,0					
Προτεινόμενη περίπτωση	tn CO ₂	0,0					
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΟ	tn CO ₂	114,0					

Εικόνα 34: Σύγκριση εκπομπών CO₂ μεταξύ σεναρίου και προτεινόμενης λύσης

8.1.5 Οικονομική Ανάλυση και Ερμηνεία Ετήσιας Χρηματορροής

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η οικονομική αξιολόγηση του έργου μέσω της πλατφόρμας RETScreen, με έμφαση στους χρηματοοικονομικούς δείκτες, τις προβλέψεις ταμειακών ροών και την απόδοση της επένδυσης με βάση τις βασικές παραμέτρους κόστους και εσόδων.

Γενικές Παράμετροι Ανάλυσης

Η ανάλυση εκπονήθηκε με τα παρακάτω δεδομένα:

- Πληθωρισμός: 2%
- Επιτόκιο αναγωγής: 7%
- Διάρκεια ζωής του έργου: 20 έτη

Στοιχεία Χρηματοδότησης

- Αρχικό κεφάλαιο: 70%
- Τραπεζικό δάνειο: 30% με επιτόκιο 7%
- Διάρκεια εξόφλησης δανείου: 15 έτη
- Ετήσια πληρωμή χρέους: 12.661 €

Οικονομικοί Δείκτες Βιωσιμότητας

- IRR (Προ φόρων): 2,1%
- MIRR (Μετά φόρων): 4,7%
- Απλός χρόνος αποπληρωμής: 24,3 έτη
- Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ): -128.618 €
- Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής: -12.141 €/ έτος
- Αναλογία οφέλους/κόστους: 0,55
- Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων: 1,4

- Κόστος παραγωγής ενέργειας: 0,238 €/ kWh
- Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ: 106 €/ t_nCO₂

Έσοδα από την Πώληση Ενέργειας

- Έσοδα από πώληση στο δίκτυο: 15.837 €/έτος (με τιμή 0,0657 €/kWh)
- Συμπληρωματικά έσοδα: 17.000 €/έτος (τιμή 0,85 €/kWh για 20.000 kWh)
- Ρυθμός αύξησης τιμών πώλησης: 5% ετησίως

Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει την ετήσια χρηματορροή (σε προ-φόρων τιμές) καθώς και τη σωρευτική καθαρή χρηματορροή ανά έτος. Ο Πίνακας 8 δείχνει ότι:

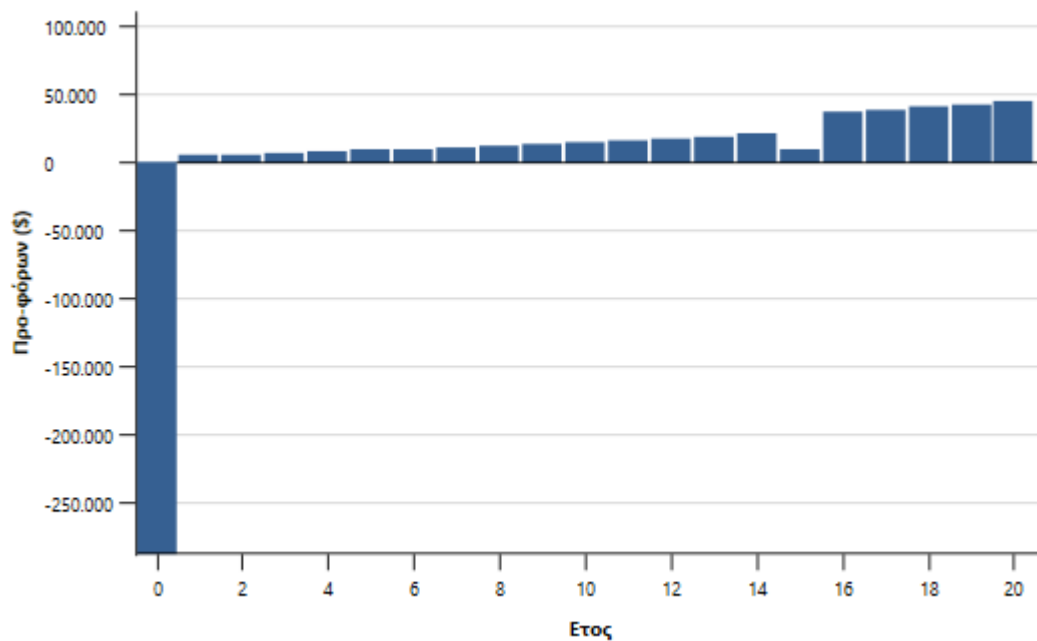
- Το έργο ξεκινά με μια σημαντική αρχική επένδυση (-286.920 €)
- Από το έτος 1 ξεκινούν θετικές ετήσιες χρηματορροές, οι οποίες σταδιακά αυξάνονται
- Το σημείο μηδενισμού (break-even) έρχεται μεταξύ των ετών 18 και 19
- Το έργο παρουσιάζει τελική θετική καθαρή αθροιστική ροή 95.889 € στο έτος 20

Το γράφημα στην Εικόνα 35 αποτυπώνει καθαρά την αρνητική εκκίνηση (έτος 0) και τις σταδιακά αυξανόμενες θετικές ροές. Από το έτος 16 παρατηρείται έντονη άνοδος στα ετήσια έσοδα. Το πράσινο γράφημα στην Εικόνα 36 απεικονίζει τη συνολική πορεία της απόδοσης του έργου. Μέχρι το έτος 18 η επένδυση είναι ακόμα σε φάση απόσβεσης, ενώ στο έτος 19 περνά σε καθαρά θετικό ισοζύγιο.

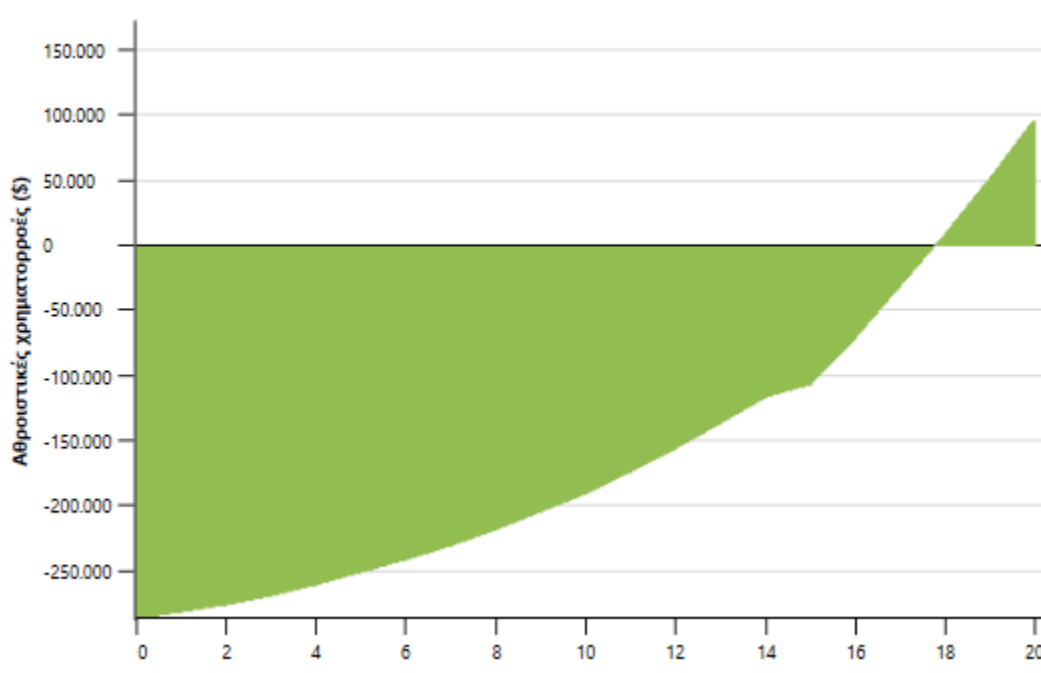
Πίνακας 8: Πίνακας ετήσιων χρηματορροών αθροιστικά και προ φόρων

Έτος	Προ-φόρων (\$)	Αθροιστικά (\$)
0	-286.920	-286.920
1	5.023	-281.898
2	5.912	-275.986
3	6.846	-269.140
4	7.826	-261.314
5	8.856	-252.459

6	9.937	-242.522
7	11.072	-231.449
8	12.265	-219.185
9	13.517	-205.668
10	14.831	-190.837
11	16.212	-174.625
12	17.662	-156.963
13	19.184	-137.779
14	20.783	-116.997
15	9.003	-107.994
16	36.885	-71.110
17	38.736	-32.374
18	40.679	8.306
19	42.720	51.026
20	44.863	95.889



Εικόνα 35: Συνάρτηση χρηματικού κόστους-έτος



Εικόνα 36: Διάγραμμα ετήσιας χρηματοροής

Εν κατακλείδι, στο υποκεφάλαιο 8.1.5 παρουσιάστηκε μια ολοκληρωμένη οικονομική αξιολόγηση του έργου μέσω της πλατφόρμας RETScreen, η οποία κατέδειξε ότι, παρά τις αρχικές αρνητικές ταμειακές ροές και τον σχετικά μεγάλο χρόνο απόσβεσης, το φωτοβολταϊκό πάρκο εμφανίζει σταδιακά βελτιούμενη οικονομική πορεία και καταλήγει σε θετικό χρηματοοικονομικό αποτέλεσμα στο τέλος της 20ετίας. Οι βασικοί δείκτες (NPV, IRR, MIRR) επισημαίνουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα του έργου, ωστόσο η προβλεπόμενη θετική καθαρή χρηματοροή και η σταθερή αύξηση των εσόδων από το έτος 16 και μετά υποδεικνύουν ότι, υπό προϋποθέσεις, η επένδυση δύναται να καταστεί οικονομικά αποδοτική σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

8.2 Συμπέρασμα

Ως τελική αποτίμηση, στο Κεφάλαιο 8 πραγματοποιήθηκε αναλυτική τεχνικοοικονομική μελέτη της εγκατάστασης και λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 90 kW στη στέγη του Γυμνασίου της Σκύρου. Η ανάλυση αποσκοπούσε

στην ενίσχυση των υφιστάμενων ΑΠΕ στο νησί, καλύπτοντας μέρος της συνολικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη συλλογή ηλιακών δεδομένων, στον υπολογισμό κόστους και εσόδων, καθώς και στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας του έργου μέσω της πλατφόρμας RETScreen. Παρά τον σχετικά μεγάλο χρόνο απόσβεσης (24,3 έτη) και τις αρχικά αρνητικές ταμειακές ροές, η οικονομική ανάλυση ανέδειξε θετική συνολική χρηματορροή στο τέλος της 20ετίας. Καταλυτικό ρόλο στη βελτίωση των οικονομικών δεικτών διαδραματίζει η πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, η οποία αποφέρει σταθερά έσοδα (15.837 €/έτος), ενώ η θετική καθαρή ροή από τον 18ο έτος και εξής επιβεβαιώνει τη μακροπρόθεσμη δυναμική του έργου. Η εκτίμηση βασίστηκε σε συντηρητικό σενάριο κόστους, λαμβάνοντας υπόψη ενδεχόμενες βλάβες και ανάγκες συντήρησης, γεγονός που προσδίδει επιπλέον αξιοπιστία στα αποτελέσματα. Συνολικά, το έργο αξιολογείται ως οικονομικά βιώσιμο και συμβατό με τον στόχο της ενεργειακής αυτάρκειας της Σκύρου, υπό την προϋπόθεση της συνεχούς παρακολούθησης και συμμόρφωσης με τις τεχνικές και χρηματοοικονομικές παραμέτρους που τέθηκαν.

Κεφάλαιο 9 - Συμπεράσματα

Η μετάβαση προς ένα βιώσιμο, αποκεντρωμένο και φιλικό προς το περιβάλλον ενεργειακό μοντέλο συνιστά σήμερα όχι απλώς μία επιθυμητή κατεύθυνση, αλλά μία επιτακτική ανάγκη. Ιδιαίτερα για τις νησιωτικές και απομονωμένες περιοχές, όπως η νήσος Σκύρος, η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό τους μείγμα αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα με πολλαπλά οφέλη. Η παρούσα διπλωματική εργασία ανέλαβε να διερευνήσει με συστηματικό και επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο τη βιωσιμότητα και τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης αιολικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων στη Σκύρο, παρέχοντας μία πλήρη ενεργειακή, οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση [35].

Η χρήση του λογισμικού RETScreen ως εργαλείο προσομοίωσης και ανάλυσης υπήρξε καθοριστική για την ποσοτική αποτίμηση των επιλεγμένων έργων. Μέσω της προσομοίωσης ενός αιολικού πάρκου ισχύος 8 MW, ενός φωτοβολταϊκού σταθμού ισχύος 2 MW, καθώς και ενός συστήματος στέγης 90 kW στο Γυμνάσιο Σκύρου, αποδείχθηκε ότι οι διαθέσιμοι φυσικοί πόροι —αιολικό και ηλιακό δυναμικό— επαρκούν για την κάλυψη ενός σημαντικού μέρους ή ακόμη και της πλειονότητας των ενεργειακών αναγκών του νησιού [30].

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ήταν ιδιαιτέρως ενθαρρυντικά. Καταδείχθηκε ότι τα έργα ΑΠΕ όχι μόνο προσφέρουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂, αλλά και παρουσιάζουν θετικούς χρηματοοικονομικούς δείκτες, όπως ικανοποιητική καθαρή παρούσα αξία (NPV) και εύλογο χρόνο απόσβεσης της επένδυσης. Επιπλέον, η εφαρμογή συστήματος διπλής παρακολούθησης της ηλιακής ακτινοβολίας στο φωτοβολταϊκό πάρκο, καθώς και η επιλογή αξιόπιστου εξοπλισμού (όπως ανεμογεννήτριες Vestas V90 και πάνελ Sharp), ενίσχυσε την ενεργειακή αποδοτικότητα και διασφάλισε τη μακροχρόνια λειτουργικότητα των συστημάτων.

Παράλληλα, εξετάστηκε σε βάθος το θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τα

ενεργειακά έργα στην Ελλάδα, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες και τις προκλήσεις για την υλοποίησή τους σε τοπικό επίπεδο. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην επιλογή της κατάλληλης νομικής μορφής για την υλοποίηση των επενδύσεων, με την Ανώνυμη Εταιρεία Ειδικού Σκοπού (ΑΕΕΣ) να προβάλλει ως η πιο ενδεδειγμένη λύση, λόγω της ευελιξίας και της προσβασιμότητας σε κεφάλαια που προσφέρει [44].

Το έργο που αναλύθηκε για τη στέγη του Γυμνασίου Σκύρου προσέδωσε μια επιπλέον κοινωνική διάσταση στη μελέτη, επισημαίνοντας τη σημασία της εκπαίδευσης, της τοπικής αποδοχής και της ευαισθητοποίησης των νέων γύρω από την πράσινη ενέργεια. Η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε δημόσιο εκπαιδευτικό ίδρυμα ενισχύει το κοινωνικό αποτύπωμα της ενεργειακής μετάβασης, καλλιεργεί περιβαλλοντική συνείδηση και αποτελεί πρότυπο εφαρμογής βιώσιμων πρακτικών [20].

Η διπλωματική εργασία, επομένως, δεν περιορίστηκε μόνο στην τεχνική τεκμηρίωση των έργων, αλλά παρουσίασε μία ολιστική προσέγγιση, ενσωματώνοντας την τεχνολογική και οικονομική διάσταση με την περιβαλλοντική και κοινωνική βιωσιμότητα. Τα προτεινόμενα έργα είναι ρεαλιστικά, εφαρμόσιμα και προσφέρουν ουσιαστικά οφέλη σε επίπεδο τοπικής και περιφερειακής ανάπτυξης, καθιστώντας τη Σκύρο πρότυπο νησιωτικής ενεργειακής αυτονομίας.

Προτείνεται, τέλος, η διεύρυνση της μελέτης με μελλοντικά ερευνητικά πεδία όπως: η ενσωμάτωση υβριδικών συστημάτων (π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια), η αξιολόγηση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), καθώς και η ανάλυση στρατηγικών διαχείρισης ζήτησης μέσω "έξυπνων" τεχνολογιών. Τέτοιες παρεμβάσεις μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των τοπικών ενεργειακών συστημάτων, δημιουργώντας ένα νέο, πιο δίκαιο και πράσινο ενεργειακό μέλλον.

Συμπερασματικά, η εργασία αυτή αναδεικνύει την τεχνική εφικτότητα, την οικονομική βιωσιμότητα και την κοινωνική σκοπιμότητα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε

μικρές νησιωτικές κοινότητες, προσφέροντας ένα πρακτικό υπόδειγμα εφαρμογής βιώσιμων ενεργειακών λύσεων για την Ελλάδα και πέρα από αυτήν.

Βιβλιογραφία

- [1] Dialyna, E., & Tsoutsos, T. (2021). Wave energy in the mediterranean sea: Resource assessment, deployed wecs and prospects. *Energies*, 14(16), 4764.
- [2] U.S. Energy Information Administration. (2025). *Analysis & projections*. <https://www.eia.gov/analysis/>
- [3] Wikipedia. (2025a). *Φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Retrieved June 9, 2025, from https://el.wikipedia.org/wiki/Φαινόμενο_του_θερμοκηπίου
- [4] Φιλιππίδου, Α. Μ. (2015). Στατιστική και στοχαστική ανάλυση της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου για την προσομοίωση παραγωγής αιολικής ενέργειας. εφαρμογή σε σταθμούς της Κεντρικής Ελλάδας.
- [5] Elsevier. (2011). Energy policy article on renewables and economics. *Energy Policy*, 39(11), 7005–7016. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511008949>
- [6] Elsevier. (2013). Renewable and Sustainable Energy Reviews article on bioenergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 19–36. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113000725>
- [7] Royal Society of Chemistry (RSC). (2023). Recent advances in sustainable materials. *Materials Advances*. Retrieved June 9, 2025, from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/qm/d2qm00970f>
- [8] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2025a). *Εθνικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ – Νομοθεσία*. <https://ypen.gov.gr/energeia/ape/nomothesia/ethniko-plaisio/>
- [9] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2025). Βιομάζα, βιορευστά,

- βιοαέριο. Retrieved June 9, 2025, from <https://ypen.gov.gr/energeia/ape/technologies/viomaza-viorefstavioaerio/>
- [10] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ). (2025). Στατιστικά για το κλίμα Σκύρου και των Σποράδων. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.emy.gr>
- [11] Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. (2025). Πληροφορίες για το κλίμα της Σκύρου και τις καιρικές συνθήκες. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.meteo.gr>
- [12] Kavadias, K. A., Alexopoulos, P., Charis, G., & Kaldellis, J. K. (2019). Sizing of a solar– geothermal hybrid power plant in remote island electrical network. *Energy Procedia*, 157, 901-908.
- [13] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2025). *Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) 2021–2030*. <https://ypen.gov.gr/ethniko-sxedio-gia-tin-energeia-kai-to-klima-2021-2030/>
- [14] Duchaud, J. L., Notton, G., Fouilloy, A., & Voyant, C. (2019). Hybrid renewable power plant sizing–Graphical decision tool, sensitivity analysis and applications in Ajaccio and Tilos. *Applied Energy*, 254, 113601.
- [15] Energy Industry Review. (2025). Greece and its renewable energy sources: Opportunity. Retrieved June 9, 2025, from <https://energyindustryreview.com/renewables/greece-and-its-renewable-energy- sources-opportunity/>
- [16] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. (2025). Δεδομένα για κατανάλωση ρεύματος στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Retrieved June 9, 2025, from <https://deddie.gr>
- [17] NASA. (2025). *RETScreen: Clean energy management software*. https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_RETScreen.html
- [18] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). (2025). Μελέτες για την ενεργειακή κάλυψη στα νησιά και την ανάπτυξη ΑΠΕ. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.rae.gr> In-text citation: (ΡΑΕ, n.d.)

- [19] Soukissian, T. H., Denaxa, D., Karathanasi, F., Prospathopoulos, A., Sarantakos, K., Iona, A., ... & Mavrakos, S. (2017). Marine renewable energy in the Mediterranean Sea: status and perspectives. *Energies*, 10 (10), 1512.
- [20] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). (2025). Στρατηγική για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.cres.gr/>
- [21] European Commission – Directorate-General for Energy. (2025). Funding & tenders portal. Retrieved June 9, 2025, from <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/home>
- [22] Royal Society of Chemistry (RSC). (2023). Recent advances in sustainable materials. *Materials Advances*. Retrieved June 9, 2025, from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/qm/d2qm00970f>
- [23] Martinopoulos, G., & Tsalikis, G. (2018). Diffusion and adoption of solar energy conversion systems—The case of Greece. *Energy*, 144, 800-807.
- [24] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2025). Πολιτικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις ενεργειακές ανάγκες των νησιών. Retrieved June 9, 2025, from <https://ypen.gr>
- [25] Kavadias, K. A., Alexopoulos, P., & Charis, G. (2019). Techno-economic evaluation of geothermal-solar power plant in Nisyros island in Greece. *Energy Procedia*, 159, 136-141.
- [26] Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. (2025). Πληροφορίες για το κλίμα της Σκύρου και τις καιρικές συνθήκες. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.meteo.gr>
- [27] Kavadias, K. A., Alexopoulos, P., Charis, G., & Kaldellis, J. K. (2019). Sizing of a solar– geothermal hybrid power plant in remote island electrical network. *Energy Procedia*, 157, 901-908.
- [28] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). (2025). Πολιτικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις ενεργειακές ανάγκες των νησιών. Retrieved June 9, 2025, from <https://www.rae.gr>
- [29] EnergyPress. (2023, Δεκέμβριος). Τι προβλέπει το νέο ΕΣΕΚ για τις ΑΠΕ,

την αποθήκευση και τα υδροηλεκτρικά. Ανακτήθηκε από
<https://www.energypress.gr>

- [30] Natural Resources Canada. (2021). RETScreen® Expert: Clean energy management software [Software and documentation]. Government of Canada. Διαθέσιμο από: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis/7465>
- [31] RETScreen International. (2016). RETScreen® Expert User Manual. Government of Canada
- [32] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). Wind Energy Explained: Theory, Design and Application (2nd ed.). Wiley.
- [33] Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2011). Wind Energy Handbook (2nd ed.). Wiley
- [34] Kaygusuz, K. (2010). Wind energy status in renewable electrical energy production in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(7), 2104–2112. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.024>
- [35] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). Innovation Landscape for a Renewable-Powered Future: Solutions to integrate variable renewables. <https://www.irena.org/>
- [36] Ackermann, T., & Söder, L. (2002). An overview of wind energy-status 2002. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(1–2), 67–127. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00008-4)
- [37] Kamel, S., & Dahl, C. (2005). The economics of wind and solar energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9(4), 395–408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.05.005>
- [38] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes (4th ed.). Wiley.
- [39] Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. Solar Energy, 83(5), 614–624.
- [40] Κορωναίος, Π. (2015). Αιολικά Πάρκα: Σχεδίαση, Ανάπτυξη και Οικονομική Ανάλυση. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.

- [41] Papadopoulos, A., & Karteris, M. (2020). Regulatory Issues in Wind Farm Development in Greece: A Case Study on Natura 2000 Areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109784.
- [42] Bianchi, F. D., De Battista, H., & Mantz, R. J. (2007). *Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design*. London: Springer.
- [43] Solarway. (2025). Αδειοδότηση φωτοβολταϊκών σταθμών – Οδηγός. Ανάκτηση από: <https://www.solarway.gr>
- [44] **Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.** (2011). *Νόμος 4014/2011 – Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας ΥΠΕΚΑ* (ΦΕΚ Α' 209/21.09.2011). Αθήνα: Εθνικό Τυπογραφείο. Διαθέσιμο στο https://www.et.gr/api/DownloadFeksApi/?fek_pdf=20110100114
- [45] **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).** (2022). *Οδηγός κατανάλωσης και επιλογής παροχής ηλεκτρικής ισχύος για επιχειρήσεις και κτήρια*. Αθήνα: ΔΕΗ.
- [46] **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).** (2020). *Οδηγός σχεδιασμού και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτήρια*. Αθήνα: ΚΑΠΕ.
- [47] NASA – National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Surface meteorology and solar energy: A renewable energy resource web site (SSE)*. Ανακτήθηκε από <https://power.larc.nasa.gov>
- [48] **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).** (2022). *Οδηγός για οικιακά φωτοβολταϊκά και net metering*. Αθήνα: ΚΑΠΕ.
- [49] **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).** (2023). *Οδηγός Net Metering και Net Billing στην Ελλάδα*. Αθήνα: ΚΑΠΕ.

Παράρτημα Α

Α / Α	ΗΛΕΚΤ ΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗ ΜΑ	*ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΕΤΟΥΣ 2023							
		Jan-23				Feb-23			
		**ΕΝΕ ΡΓΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΣΥΜΒ ΑΤΙΚΩ Ν ΜΟΝΑ ΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ _ΜΔΝ (€/M Wh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/M Wh)	**ΕΝΕ ΡΓΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΣΥΜΒ ΑΤΙΚΩ Ν ΜΟΝΑ ΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ _ΜΔΝ (€/M Wh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/M Wh)
1	ΑΓ.ΕΥΣ ΤΡΑΤΙΟ Σ	0.00	99.64	492.85	288.67	0.00	89.21	522.62	291.75
2	ΑΓΑΘΟ ΝΗΣΙ	0.00	67.35	995.55	303.76	0.00	57.63	789.17	297.74
3	ΑΜΟΡΓ ΟΣ	18.97	800.55	391.87	260.11	23.66	732.60	361.47	247.78
4	ΑΝΑΦ Η	0.00	90.65	542.98	282.89	0.00	86.44	490.41	282.42
5	ΑΝΤΙΚΥ ΘΗΡΑ	0.00	25.24	1,283. 30	330.80	0.00	20.41	1,647. 76	336.78
6	ΑΡΚΙΟΙ	0.00	21.19	1,113. 23	365.21	0.00	17.45	1,313. 38	411.33
7	ΑΣΤΥΠ ΑΛΛΙΑ	22.21	540.43	462.30	271.05	31.44	445.63	463.72	274.01

8	ΓΑΥΔΟ Σ	0.00	37.74	865.12	346.75	0.00	34.07	691.25	336.05
9	ΔΟΝΟΥ ΣΑ	0.00	53.39	1,102. 05	355.27	0.00	48.31	1,064. 80	387.53
1 0	ΕΡΕΙΚΟ ΥΣΣΑ	0.00	41.11	1,178. 95	361.01	0.00	39.99	1,382. 25	376.36
1 1	ΘΗΡΑ	49.06	11,015 .03	237.79	156.59	49.47	10,589 .67	251.94	170.84
1 2	ΙΚΑΡΙΑ	101.44	2,562. 90	417.28	279.49	240.13	1,971. 11	399.10	246.10
1 3	ΚΑΡΠΑ ΘΟΣ	255.06	2,630. 61	242.11	146.66	193.77	2,243. 01	200.79	126.14
1 4	ΚΡΗΤΗ	52,940. 41	208,05 3.80	226.34	194.63	46,658. 44	181,40 7.87	209.97	176.53
1 5	ΚΥΘΟΝΟ Σ	20.13	682.13	398.02	258.68	20.77	608.53	376.18	255.75
1 6	ΚΩΣ	4,794.2 7	23,404 .38	176.70	130.43	3,662.3 8	18,675 .01	164.95	113.99
1 7	ΛΕΣΒΟ Σ	3,934.3 9	27,511 .09	185.53	148.27	3,608.6 5	23,012 .94	185.43	127.88
1 8	ΛΗΜΝ ΟΣ	805.24	4,864. 79	215.22	142.42	772.21	4,279. 38	205.13	130.72
1 9	ΜΕΓΙΣΤ Η	0.00	277.64	535.72	292.20	0.00	230.59	568.74	288.33
2 0	ΜΗΛΟ Σ	440.96	3,681. 54	189.69	132.67	551.72	3,326. 68	161.38	111.66
2 1	ΟΘΩΝ ΟΙ	0.00	45.46	1,119. 20	299.48	0.00	41.26	1,157. 23	332.14
2 2	ΠΑΤΜ ΟΣ	222.58	1,409. 66	385.79	291.78	236.40	1,073. 34	399.85	263.76

2	ΡΟΔΟΣ	6,522.5	55,030	232.61	184.62	4,173.5	43,135	204.70	146.74
3		5	.96			7	.46		
2	ΣΑΜΟΣ	1,735.5	12,110	178.09	119.13	2,129.6	8,967.	189.05	110.39
4		4	.83			1	90		
2	ΣΕΡΙΦ	10.99	611.08	389.90	264.67	11.31	587.46	352.47	251.27
5	ΟΣ								
2	ΣΙΦΝΟ	28.70	1,233.	426.77	296.34	28.28	1,093.	391.92	276.66
6	Σ		63				69		
2	ΣΚΥΡΟ	13.72	1,400.	389.82	245.12	22.80	1,256.	539.26	245.34
7	Σ		64				23		
2	ΣΥΜΗ	6.45	1,178.	375.09	249.96	12.99	910.88	436.63	288.43
8			14						
2	ΧΙΟΣ	1,677.3	21,344	146.53	112.03	1,436.7	17,327	141.15	101.42
9		9	.88			7	.51		
		*Σημειώνεται ότι τα στοιχεία είναι προσωρινά και βασίζονται στην τρέχουσα μηνιαία εκκαθάριση							
		** Στις μονάδες ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β Ειδικού Προγράμματος							
		ΜΠΚΠ_ΜΔΝ : Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							
		ΜΜΚ_ΜΔΝ : Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							

***ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΕΤΟΥΣ 2023**

Mar-23

Apr-23

**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙ Α ΣΥΜΒΑΤ ΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔ ΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)	**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙ Α ΣΥΜΒΑΤ ΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔ ΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)
0.00	84.43	426.70	306.01	0.00	80.72	446.38	288.79
0.00	54.47	772.77	291.68	0.00	55.02	845.40	293.68
40.74	748.83	354.44	243.66	44.54	757.06	367.71	245.79
0.00	88.15	513.95	262.76	0.00	81.94	513.90	274.80
0.00	25.23	1,235.62	319.71	0.00	24.42	1,236.92	349.22
0.00	21.00	1,055.02	374.58	0.00	22.44	934.62	381.91
48.09	420.26	483.36	270.94	55.06	413.77	537.23	265.98
0.00	37.41	894.50	333.18	0.00	35.49	969.05	349.09
0.00	51.23	1,021.92	359.97	0.00	62.65	949.90	332.24
0.00	50.81	896.53	338.84	0.00	41.01	1,094.25	366.89
70.85	12,268.0 3	226.24	158.77	89.33	17,455.1 3	250.92	195.80
268.76	1,837.95	482.31	315.09	411.35	1,791.28	449.88	275.72
286.85	1,986.62	193.98	131.66	371.61	1,952.71	321.23	122.17
50,286.3 5	166,212. 54	203.79	164.36	49,803.9 7	167,912. 28	217.29	175.86

37.85	629.69	391.76	256.04	36.24	708.75	413.55	257.06
3,463.53	17,600.9 1	160.96	107.87	4,343.31	18,676.4 8	168.27	112.13
4,505.51	20,228.3 4	194.61	120.19	3,612.57	19,096.8 1	186.61	116.02
949.62	3,886.08	214.02	128.65	694.66	3,731.11	223.63	129.42
0.00	243.12	577.40	273.27	0.00	245.78	509.24	307.51
490.84	3,235.58	165.28	111.53	634.60	3,157.45	172.32	111.58
0.00	46.47	1,145.41	432.13	0.00	41.16	1,133.82	313.11
186.54	1,114.99	384.15	258.61	183.48	1,223.60	385.87	263.22
4,970.63	40,027.8 5	212.19	148.04	6,717.51	45,488.0 3	191.66	124.64
2,377.07	8,551.48	183.65	114.56	2,221.81	7,491.82	203.81	119.07
18.26	593.43	387.69	252.59	19.27	632.18	367.33	256.43
49.24	1,114.73	379.57	265.06	103.73	1,249.83	377.61	256.90
28.52	1,287.95	383.33	243.47	39.17	1,201.23	381.19	239.68
22.94	850.01	337.59	211.50	26.09	869.24	416.07	272.91
1,957.35	15,035.9 2	148.11	103.68	1,687.01	13,665.5 4	161.25	106.73
*Σημειώνεται ότι τα στοιχεία είναι προσωρινά και βασίζονται στην τρέχουσα μηνιαία εκκαθάριση							
** Στις μονάδες ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β Ειδικού Προγράμματος							

ΜΠΚΠ_ΜΔΝ : Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ						
ΜΜΚ_ΜΔΝ : Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ						

***ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΕΤΟΥΣ 2023**

May-23				Jun-23			
**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)	**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)
0.00	81.84	840.21	286.95	0.00	99.20	763.50	284.01
0.00	56.12	858.06	293.10	0.00	65.56	747.65	257.15
44.30	767.04	338.33	251.70	54.52	1,014.21	371.35	254.53
0.00	95.09	701.98	385.17	0.00	130.91	545.80	279.96
0.00	26.29	1,336.56	366.49	0.00	27.57	1,487.22	396.03
0.00	36.12	880.18	306.63	0.00	46.25	827.88	323.06
59.48	432.71	498.51	267.13	64.26	617.95	463.60	274.39
0.00	36.69	894.85	317.22	0.00	48.82	650.49	305.52

0.00	78.40	698.07	302.90	0.00	135.88	585.81	264.15
0.00	58.49	1,213.42	304.03	0.00	80.91	693.83	299.31
93.35	20,542.6 5	246.55	190.20	101.00	24,444.9 4	234.76	198.72
322.95	1,635.22	520.45	301.45	352.28	1,852.78	409.00	272.02
400.35	2,649.84	327.30	129.83	498.37	3,748.18	204.10	134.41
41,116.9 7	199,419. 85	208.24	176.73	70,918.2 4	219,355. 15	219.15	191.41
39.57	663.40	383.83	250.54	41.87	902.59	384.32	259.06
3,315.87	31,513.7 4	137.15	108.32	4,758.34	41,523.2 5	132.08	109.87
3,239.86	17,539.6 3	164.68	114.15	4,066.19	20,583.8 1	187.43	119.66
545.17	3,532.30	249.41	134.62	810.68	4,408.41	248.46	133.04
0.00	256.63	794.09	279.05	0.00	361.02	606.75	297.58
289.16	3,752.86	164.85	112.23	722.76	4,440.40	159.90	118.72
0.00	46.11	1,319.58	333.74	0.00	57.26	1,495.13	309.73
101.05	1,313.05	365.66	260.44	333.12	1,522.54	375.11	274.32
8,537.83	63,525.3 6	197.78	122.26	12,037.9 2	83,628.4 1	174.47	120.37
1,523.86	8,548.52	201.31	116.67	2,938.52	9,536.84	200.83	122.76
22.59	618.25	373.27	251.02	24.27	909.85	364.07	252.79
94.47	1,335.13	378.76	257.04	210.19	1,860.62	383.49	260.49

55.69	1,010.07	510.50	291.80	51.10	1,350.00	345.91	200.41
28.63	1,112.47	342.58	201.00	29.21	1,327.45	419.55	288.47
1,550.18	12,168.13	167.20	110.83	1,892.79	14,805.73	153.22	109.76
*Σημειώνεται ότι τα στοιχεία είναι προσωρινά και βασίζονται στην τρέχουσα μηνιαία εκκαθάριση							
** Στις μονάδες ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β Ειδικού Προγράμματος							
ΜΠΚΠ_ΜΔΝ : Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							
ΜΜΚ_ΜΔΝ : Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							

*ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΕΤΟΥΣ 2023							
Jul-23				Aug-23			
**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh)	**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh)
0.00	121.64	496.51	278.80	0.00	140.11	474.15	282.56
0.00	80.88	739.79	339.12	0.00	93.05	697.45	313.29
56.02	1,409.24	330.39	243.45	53.57	1,559.05	309.04	237.08

0.00	192.18	484.05	277.82	0.00	240.97	392.81	252.11
0.00	29.52	1,400.77	383.22	0.00	30.73	1,280.51	370.80
0.00	55.87	1,625.30	362.58	0.00	65.26	741.80	310.06
64.73	928.27	376.74	261.12	64.27	1,077.51	360.32	247.79
0.00	60.60	933.00	321.45	0.00	67.75	603.63	296.94
0.00	186.10	511.77	263.62	0.00	209.45	483.94	266.08
0.00	121.61	548.35	245.33	0.00	149.90	484.52	285.66
104.94	27,531.3 6	204.63	169.02	94.41	29,586.5 1	223.66	191.09
382.17	2,553.10	386.34	283.52	622.65	2,959.17	351.84	236.16
584.26	4,723.93	171.14	120.65	524.03	5,272.96	175.82	127.91
73,186.4 3	263,843. 60	203.67	181.17	88,045.3 7	259,343. 29	216.71	191.29
42.81	1,277.95	346.39	254.12	44.24	1,611.11	315.44	243.80
5,244.87	48,088.1 2	131.62	112.59	5,615.19	51,462.6 0	139.27	120.75
3,829.33	23,771.7 4	170.41	124.95	5,198.29	25,003.1 0	158.97	126.10
757.35	5,496.70	188.70	129.56	1,213.17	5,878.35	198.78	133.19
0.00	506.31	577.27	293.46	0.00	588.06	381.65	283.11
781.46	5,375.46	153.25	118.42	1,055.71	5,334.13	150.82	115.88
0.00	75.68	870.36	273.72	0.00	109.89	779.22	258.35

343.66	2,003.87	336.04	263.88	461.33	2,273.27	349.43	260.53
16,017.90	97,501.84	195.20	121.16	15,542.15	106,353.25	172.41	121.37
3,183.77	11,071.75	193.38	114.96	4,086.82	11,862.36	188.67	118.92
25.41	1,313.11	338.48	254.07	24.76	1,534.53	350.13	245.39
304.27	2,467.50	352.52	254.03	478.90	2,646.21	345.45	250.34
43.66	1,744.61	350.70	237.72	66.75	2,049.50	335.79	237.55
30.10	1,764.60	346.40	232.13	29.32	2,098.81	328.47	245.28
1,936.19	17,548.93	146.09	108.90	2,585.59	19,478.06	147.41	113.61
*Σημειώνεται ότι τα στοιχεία είναι προσωρινά και βασίζονται στην τρέχουσα μηνιαία εκκαθάριση							
** Στις μονάδες ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β Ειδικού Προγράμματος							
ΜΠΚΠ_ΜΔΝ : Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							
ΜΜΚ_ΜΔΝ : Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							

*ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΕΤΟΥΣ 2023							
Sep-23				Oct-23			
**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)	**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)

	MONAD ΩN (MWh)				MONAD ΩN (MWh)		
0.00	85.50	987.68	284.73	0.00	77.51	671.66	298.54
0.00	57.99	928.76	342.42	0.00	48.63	1,101.93	348.31
44.26	1,050.93	383.77	246.18	36.53	737.67	413.13	254.37
0.00	130.10	552.91	282.64	0.00	80.26	777.58	335.34
0.00	27.01	1,393.85	390.78	0.00	23.22	1,580.17	388.34
0.00	45.76	819.03	323.08	0.00	33.58	1,211.26	340.15
56.82	622.91	425.75	253.52	49.45	422.89	513.98	266.32
0.00	52.76	628.69	334.04	0.00	37.94	722.01	327.26
0.00	135.10	616.14	266.18	0.00	68.19	985.15	303.97
0.00	89.66	578.08	242.54	0.00	54.78	970.69	272.29
105.27	23,306.8 7	195.93	164.60	78.93	20,042.2 0	219.04	156.47
515.39	1,798.05	441.08	250.28	379.07	1,596.04	471.23	258.71
537.18	3,647.62	190.44	125.26	384.17	2,418.22	249.98	147.43
69,433.8 3	217,202. 78	228.03	188.55	45,325.9 1	207,339. 72	229.80	196.34
34.89	841.13	395.46	254.14	31.56	572.22	454.23	254.03
4,796.58	38,541.4 7	139.15	113.87	3,668.30	31,000.8 2	145.78	114.86

4,011.32	18,557.5 3	168.93	125.79	2,582.65	17,124.3 2	150.46	124.80
991.18	3,873.53	228.41	136.81	639.94	3,440.21	246.24	144.52
0.00	420.52	400.62	241.91	0.00	283.73	499.96	239.46
591.98	4,387.15	158.18	114.26	520.30	3,291.18	225.64	123.78
0.00	54.85	1,088.69	331.93	0.00	38.57	1,407.16	383.05
313.35	1,479.31	376.44	265.08	166.92	1,155.07	394.73	269.58
15,090.3 3	81,947.2 6	182.89	124.31	9,371.95	65,490.1 1	196.20	123.88
2,945.48	8,918.36	203.89	123.06	1,718.82	7,776.78	216.49	125.10
20.84	803.15	397.90	254.91	17.94	493.62	481.64	255.60
290.81	1,667.05	395.33	259.17	141.31	1,052.00	482.39	265.89
58.56	1,237.27	472.67	247.15	41.22	977.49	473.13	247.90
24.55	1,529.84	367.82	242.17	19.95	1,175.57	389.40	251.80
2,128.55	13,129.8 7	164.09	117.45	1,744.99	12,355.3 4	173.96	121.29
*Σημειώνεται ότι τα στοιχεία είναι προσωρινά και βασίζονται στην τρέχουσα μηνιαία εκκαθάριση							
** Στις μονάδες ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β Ειδικού Προγράμματος							
ΜΠΚΠ_ΜΔΝ : Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							
ΜΜΚ_ΜΔΝ : Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							

*ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΕΤΟΥΣ 2023							
Nov-23				Dec-23			
**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)	**ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΑΠΕ (MWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ ΜΔΝ (€/MWh)
0.00	74.05	769.74	287.52	0.00	89.37	699.22	281.92
0.00	55.71	990.68	334.20	0.00	72.44	1,778.68	352.05
25.04	604.91	419.77	250.72	19.43	660.94	413.57	254.47
0.00	67.80	879.01	325.87	0.00	73.60	870.28	300.19
0.00	20.08	1,702.13	370.73	0.00	20.62	1,652.55	409.65
0.00	25.39	1,178.43	342.84	0.00	22.17	1,943.39	379.26
32.79	378.13	554.46	274.17	28.89	436.22	514.53	261.60
0.00	30.31	899.01	350.79	0.00	32.64	1,466.54	327.83
0.72	47.85	1,465.76	315.76	0.75	48.20	1,326.05	339.94
0.00	43.11	1,267.35	357.98	0.00	48.26	1,161.39	402.36
63.50	10,051.23	229.30	120.14	51.31	9,852.65	201.30	121.80
303.00	1,651.59	397.27	236.44	486.85	1,949.81	395.78	245.64

249.28	1,816.85	251.68	122.37	287.16	2,181.87	229.13	123.26
34,743.53	162,248.98	220.22	184.13	48,116.70	186,044.47	212.97	179.13
25.32	502.15	481.28	258.21	18.40	606.55	436.57	250.59
2,455.53	16,209.17	173.87	113.21	3,679.76	19,892.65	168.18	111.75
3,571.69	17,548.10	172.10	118.74	3,393.65	24,664.58	169.79	117.14
524.92	3,573.62	230.31	130.84	506.54	4,590.77	203.33	128.92
0.00	206.80	647.08	336.03	0.00	246.18	572.33	287.77
319.43	2,905.50	175.56	114.57	406.72	2,892.27	182.76	116.91
0.00	34.65	1,911.30	410.69	0.00	37.39	1,497.44	383.47
113.98	1,008.56	433.47	271.75	207.90	1,171.00	438.47	265.35
4,586.91	34,989.39	271.13	132.48	6,099.77	42,257.11	247.26	129.97
1,218.96	7,831.01	217.15	118.42	1,977.17	9,944.12	185.72	111.35
13.38	427.59	518.33	259.52	11.74	493.49	484.06	253.15
118.69	873.40	517.45	260.72	160.06	991.47	506.80	262.14
33.32	975.22	453.76	244.51	14.62	1,203.83	830.73	243.62
11.07	877.38	407.15	245.42	9.51	954.79	412.21	244.27
1,736.97	13,188.14	161.13	111.63	1,869.26	17,770.34	144.24	108.16
*Σημειώνεται ότι τα στοιχεία είναι προσωρινά και βασίζονται στην τρέχουσα μηνιαία εκκαθάριση							

** Στις μονάδες ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β Ειδικού Προγράμματος							
ΜΠΚΠ_ΜΔΝ : Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							
ΜΜΚ_ΜΔΝ : Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα ΜΔΝ							