



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ, ΛΑΡΙΣΑ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ»**

**ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΩΝ**  
**ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ**  
**ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**  
**A.M. 7519006**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΡΙΟΣ ΜΟΣΧΑΚΗΣ**

**ΛΑΡΙΣΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2021**

## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

*«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών του ΠΜΣ Πλήρους Φοίτησης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας «Ενεργειακές Τεχνολογίες και Συστήματα Αυτοματισμών» έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος και το κείμενο είναι γραμμένο με τα δικά μου λόγια και δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής από τρίτες πηγές. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολο τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο».*

Ο Δηλών

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

*Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Μοσχάκη Μάριο, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο οποίος με τις κατευθυντήριες οδηγίες του βοήθησε στην εκπόνηση της. Ακόμα, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου για την αγαστή συνεργασία που είχαμε στην διάρκεια αυτής της διαδρομής.*

*Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την ενθάρρυνση και την υποστήριξη τους, στοιχεία όπως αποδείχθηκε καθοριστικά για να κατορθώσω να μετουσιώσω σε πράξη τους στόχους μου.*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>8</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>	<b>10</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>12</b>
1.1. Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).....	12
1.2. Αιολική Ενέργεια.....	13
1.3. Ηλιακή Ενέργεια .....	13
1.4. Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	14
1.5. Ενέργεια από Βιομάζα.....	15
1.6. Γεωθερμική Ενέργεια.....	15
1.7. Ενέργεια από Κυψέλες Καυσίμου.....	16
1.8. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	16
1.9. Εθνικοί Στόχοι.....	18
1.10. Σκοπός της εργασίας.....	19
1.11. Δομή της εργασίας.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ.....</b>	<b>22</b>
2.1 Περιγραφή των εισαγωγικών εφαρμογών ΑΠΕ.....	22
2.2 Επίδραση μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης κατανάλωσης ενέργειας στο χρόνο εξάντλησης των συμβατικών πλανητικών ενεργειακών αποθεμάτων .....	24
2.3 Υπολογισμός αναταράξεων και τύρβης ανέμου.....	25
2.4 Ελάχιστο ύψος τοποθέτησης Α/Γ.....	25
2.5 Βασικές ενεργειακές έννοιες αιολικής εγκατάστασης.....	26
2.6 Συντελεστής φορτίου και μέση ετήσια τεχνική διαθεσιμότητα εμπορικής αιολικής μηχανής.....	26
2.7 Διαδικασία εύρεσης τυποποιημένου μεγέθους μικρού υδροστροβίλου. ....	26
2.8 Νόμοι ομοιότητας λειτουργικών χαρακτηριστικών μικρών υδροστροβίλων.....	27
2.9 Καθορισμός της άριστης σύνθεσης μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού.....	27
2.10 Προσδιορισμός ποσότητας εξοικονομούμενου πετρελαίου λόγω αξιοποίησης του εγχώριου υδάτινου και αιολικού δυναμικού.....	28

2.11	Υπολογισμός γωνίας πρόσπτωσης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.....	28
2.12	Προσδιορισμός άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.....	29
2.13	Προσδιορισμός ενεργειακής συμπεριφοράς ηλιακού συλλέκτη κάνοντας χρήση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης του.....	29
2.14	Διαστασιολόγηση Φ/Β εγκατάστασης με συνυπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας.....	29
2.15	Υπολογισμός διαστάσεων Φ/Β στοιχείων που συγκροτούν αντίστοιχο Φ/Β πλαίσιο..	30
2.16	Προσδιορισμός οικονομικών-περιβαλλοντικών ωφελειών λόγω λειτουργίας τυπικού ηλιακού θερμοσίφωνα.....	31

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ.....32**

3.1	Εισαγωγή για τις προχωρημένες εφαρμογές ΑΠΕ .....	32
3.2	Ημιεμπειρικές κατανομές ταχύτητας ανέμου εντός του πλανητικού οριακού στρώματος.....	34
3.3	Βασικά λειτουργικά μεγέθη ανεμοκινητήρα.....	35
3.4	Διαχρονική πορεία του μέσου μεγέθους των εγκαθιστάμενων στη χώρα μας αιολικών μηχανών.....	37
3.5	Χρόνος απόσβεσης μικρής αιολικής εγκατάστασης απομονωμένου ιδιοπαραγωγού και επίδραση ετήσιας αναπροσαρμογής της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας .....	38
3.6	Οικονομική βιωσιμότητα ίδρυσης και λειτουργίας ανεξάρτητου αιολικού σταθμού σε νησιωτική περιοχή.....	39
3.7	Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικής μηχανής.....	41
3.8	Υπολογισμός συντελεστή χρησιμοποίησης ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει γωνίας τοποθέτησης συλλεκτικής επιφάνειας.....	43
3.9	Υπολογισμός χρόνου ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β εγκατάστασης αποτελούμενης από διαφορετικού τύπου πλαίσια.....	45
3.10	Προσδιορισμός καθαρής παρούσας αξίας και εσωτερικού συντελεστή απόδοσης συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας Φ/Β εγκατάστασης.....	47
3.11	Μελέτη κόστους ίδρυσης και υπολογισμός ελάχιστης απαιτούμενης στρεμματικής απόδοσης μικρής θερμοκηπιακής μονάδας.....	49

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΑΛΥΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....52**

4.1	Το αντικείμενο των άλυτων εφαρμογών ΑΠΕ.....	52
-----	----------------------------------------------	----

4.2	Υπολογισμός των αναγκών θέρμανσης ενός θερμοκηπίου με χρήση στερεάς βιομάζας.....	53
4.3	Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλου και επιλογή κατάλληλου τύπου τουρμπίνας.....	54
4.4	Θέρμανση θερμοκηπίου με γεωθερμικό ρευστό και αντλίες θερμότητας.....	55
4.5	Υπολογισμός διαφόρων παραμέτρων κατά τη λειτουργία κυψέλης καυσίμου με καύσιμο υδρογόνο.....	56
4.6	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β πάρκο διασυνδεδεμένο με το δίκτυο.....	56

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΑΝΑΛΥΣΗ & ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen....59**

5.1	Εισαγωγικά στοιχεία για το λογισμικό RETScreen.....	59
5.2	Παρουσίαση του RETScreen.....	59
5.2.1	<i>Εκκίνηση (εισαγωγικό φύλλο)</i> .....	61
5.2.2	<i>Τοποθεσία εγκατάστασης</i> .....	61
5.2.3	<i>Εγκατάσταση</i> .....	63
5.2.4	<i>Ενεργειακό μοντέλο</i> .....	64
5.2.5	<i>Ανάλυση Κόστους</i> .....	69
5.2.6	<i>Ανάλυση Εκπομπών</i> .....	71
5.2.7	<i>Χρηματοοικονομική ανάλυση</i> .....	72

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΕ ΜΕ**

### **ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen.....79**

6.1	Πληροφοριακά στοιχεία των δύο εξεταζόμενων εφαρμογών ΑΠΕ.....	79
6.2	Μελέτη αιολικού σταθμού ισχύος 9 MW σε νησί του Αιγαίου.....	79
6.3	Μελέτη Φ/Β σταθμού ισχύος 5 MW στην ηπειρωτική Ελλάδα.....	89

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....100**

7.1	Συμπεράσματα εργασίας.....	100
7.2	Προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.....	102

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....103**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία έχει ως κύριο αντικείμενο την ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για τεχνολογίες που αφορούν τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν και επιλύθηκαν, με χρήση λογισμικού μαθηματικών αναλύσεων, συνολικά 30 εφαρμογές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση των εφαρμογών είναι το MathCad. Στην επίλυση των εφαρμογών παρατηρείται ότι το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς δεν δίνει ιδιαίτερα σφάλματα στους υπολογισμούς των ζητούμενων αποτελεσμάτων.

Δευτερεύον αντικείμενο της εργασίας είναι η ολοκληρωμένη μελέτη δυο διαφορετικών οικονομοτεχνικών αναλύσεων με τη χρήση του προγράμματος RETScreen. Αφορά ένα αιολικό πάρκο ισχύος 9 MW στο νησί της Μήλου και ένα φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 5 MW στην περιοχή της Λαμίας. Τα δύο πάρκα αποτελούν 2 από τις 30 εφαρμογές ΑΠΕ, η οικονομοτεχνική επίλυση των οποίων γίνεται και με τη χρήση του προγράμματος MathCad. Πρωταρχικός στόχος είναι η εξέταση της οικονομικής βιωσιμότητας των δυο έργων και δευτερογενής η σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων και δεικτών επένδυσης μεταξύ των λογισμικών RETScreen και MathCad.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αιολικό Πάρκο, Ανεμογεννήτρια, Φωτοβολταϊκά, Υδροηλεκτρική Ενέργεια

## **ABSTRACT**

The main subject of this following thesis is the development of educational material for technologies related to Renewable Energy Sources (RES). For this purpose, a total of 30 Renewable Energy applications were studied and solved, using mathematical analysis software. The software used to solve the applications is MathCad. It is observed that the specific software gives accurate results as it does not give particular errors in the calculations of the requested results.

A secondary subject of this work is the complete study of two different financial and technical analysis using the RETscreen program. It concerns a 9 MW wind farm on the island of Milos and a 5 MW photovoltaic installation in the region of Lamia. This two projects are 2 of the 30 applications RES, the economic and technical analysis of which is also done using the MathCad program. The primary objective is to examine the financial viability of the two projects and the secondary is to compare the financial results and investment indicators between the RETscreen and MathCad software.

**Key-words:** Renewable Energy Sources, Wind farm, Wind turbine, Photovoltaic's, Hydropower energy



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ.....	13
<b>Εικόνα 1.2</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β.....	14
<b>Εικόνα 1.3</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικό σταθμό.....	14
<b>Εικόνα 1.4</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα.....	15
<b>Εικόνα 1.5</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία.....	15
<b>Εικόνα 1.6</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου.....	16
<b>Εικόνα 1.7</b> Μερίδιο ΑΠΕ επί της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα (1973-2016).....	17
<b>Εικόνα 1.8</b> Εγκατεστημένη ισχύς (MW) μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα της Ελλάδας (2015-217).....	17
<b>Σχήμα 2.1</b> Μεταβολή του χρόνου εξάντλησης των πλανητικών ενεργειακών αποθεμάτων συναρτήσει του μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας.....	21
<b>Σχήμα 2.2</b> Χαρακτηριστικές καμπύλες έντασης-τάσης ( $I-U'$ ) και ισχύος-τάσης ( $N-U'$ ) τυπικής Φ/Β συνδεσμολογίας.....	30
<b>Σχήμα 3.1</b> Σύγκριση θεωρητικών κατανομών ταχύτητας ανέμου.....	34
<b>Σχήμα 3.2</b> Μεταβολή ισχύος εξόδου της Α/Γ συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου.....	35
<b>Σχήμα 3.3</b> Μεταβολή του αεροδυναμικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει της παραμέτρου περιστροφής της πτερωτής.....	36
<b>Σχήμα 3.4</b> Διαχρονική εξέλιξη μέσου ετήσιου μεγέθους εγκατεστημένων αιολικών μηχανών.....	37
<b>Σχήμα 3.5</b> Διαχρονική εξέλιξη μέσου μεγέθους εγκατεστημένων αιολικών μηχανών.....	37
<b>Σχήμα 3.6</b> Οικονομική συμπεριφορά αιολικής επένδυσης.....	38
<b>Σχήμα 3.7</b> Επίδραση ετήσιου ρυθμού αναπροσαρμογής στο χρόνο απόσβεσης αιολικής επένδυσης.....	39
<b>Σχήμα 3.8</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικού πάρκου.....	41
<b>Σχήμα 3.9</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικών μηχανών συναρτήσει του βαθμού ενεργειακής ανάκτησης μέσω ανακύκλωσης.....	42
<b>Σχήμα 3.10</b> Ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης συναρτήσει της γωνίας κλίσης του ηλιακού συλλέκτη.....	44
<b>Σχήμα 3.11</b> Ετήσιοι συντελεστές χρησιμοποίησης συναρτήσει της γωνίας κλίσης και της διαφορετικής μηνιαίας ζήτησης.....	45

<b>Σχήμα 3.12</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β εγκαταστάσεων.....	46
<b>Σχήμα 3.13</b> Μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της Φ/Β επένδυσης.....	48
<b>Σχήμα 3.14</b> Μεταβολή του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας της επένδυσης.....	49
<b>Σχήμα 3.15</b> Μεταβολή στρεμματικής απόδοσης για μεταβλητή διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.....	50
<b>Εικόνα 5.1</b> Επεξήγηση χρωμάτων κελιών του προγράμματος RETScreen.....	60
<b>Εικόνα 5.2</b> Εκκίνηση προγράμματος.....	61
<b>Εικόνα 5.3</b> Κλιματολογικά δεδομένα της τοποθεσίας εγκατάστασης.....	62
<b>Εικόνα 5.4</b> Πληροφοριακά στοιχεία της εγκατάστασης.....	63
<b>Εικόνα 5.5</b> Τιμή πώλησης ενέργειας και κόστος καυσίμου.....	64
<b>Εικόνα 5.6</b> Χαρακτηριστικά αιολικής ενέργειας και Α/Γ.....	65
<b>Εικόνα 5.7</b> Επιλογή Α/Γ από τη βάση δεδομένων του προγράμματος.....	66
<b>Εικόνα 5.8</b> Καμπύλη ισχύος και της καμπύλη ενέργειας Α/Γ.....	66
<b>Εικόνα 5.9</b> Χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος.....	68
<b>Εικόνα 5.10</b> Επιλογή Φ/Β πλαισίων από τη βάση δεδομένων του προγράμματος.....	69
<b>Εικόνα 5.11</b> Ανάλυση κόστους του έργου.....	70
<b>Εικόνα 5.12</b> Υπολογισμός μείωσης εκπομπών από την πραγματοποίηση του έργου.....	72
<b>Εικόνα 5.13</b> Οικονομικοί παράμετροι επένδυσης.....	74
<b>Εικόνα 5.14</b> Ετήσια έσοδα επένδυσης.....	74
<b>Εικόνα 5.15</b> Κόστος, έσοδα και αποταμιεύσεις του έργου.....	75
<b>Εικόνα 5.16</b> Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας του έργου.....	77
<b>Εικόνα 5.17</b> Γραφήματα ετήσιων ταμειακών ροών.....	78
<b>Εικόνα 5.18</b> Πίνακας ετήσιων ταμειακών ροών.....	78
<b>Εικόνα 6.1</b> Τοποθεσία εγκατάστασης αιολικού σταθμού 9 MW.....	80
<b>Εικόνα 6.2</b> Μηνιαίες και ετήσιες τιμές κλιματικών δεδομένων της τοποθεσίας εγκατάστασης.....	81
<b>Εικόνα 6.3</b> Καμπύλη ταχύτητας άνεμου περιοχής.....	81
<b>Εικόνα 6.4</b> Πληροφοριακά στοιχεία εγκατάστασης αιολικού πάρκου.....	82
<b>Εικόνα 6.5</b> Τιμή πώλησης ενέργειας.....	82
<b>Εικόνα 6.6</b> Αξιολόγηση πηγών και χαρακτηριστικά Α/Γ.....	83
<b>Εικόνα 6.7</b> Εισαγωγή 30 μονάδων Α/Γ ονομαστικής ισχύος 300 kW.....	83

<b>Εικόνα 6.8</b> Καμπύλες ισχύος και ενέργειας των επιλεγμένων Α/Γ.....	84
<b>Εικόνα 6.9</b> Απώλειες, αρχικό κόστος Α/Γ και ετήσια πωλούμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	84
<b>Εικόνα 6.10</b> Ανάλυση κόστους αιολικού πάρκου.....	85
<b>Εικόνα 6.11</b> Οικονομικοί παράμετροι και ετήσια έσοδα αιολικού πάρκου.....	86
<b>Εικόνα 6.12</b> Κόστος, έσοδα και αποταμιεύσεις αιολικού πάρκου.....	87
<b>Εικόνα 6.13</b> Οικονομική βιωσιμότητα αιολικής επένδυσης.....	88
<b>Εικόνα 6.14</b> Ετήσια χρηματοροπή αιολικής επένδυσης.....	88
<b>Εικόνα 6.15</b> Γραφήματα ετήσιων χρηματορορών αιολικής επένδυσης.....	89
<b>Εικόνα 6.16</b> Τοποθεσία εγκατάστασης Φ/Β σταθμού 5 MW.....	90
<b>Εικόνα 6.17</b> Μηνιαίες και ετήσιες τιμές κλιματικών δεδομένων της περιοχής.....	91
<b>Εικόνα 6.18</b> Καμπύλη ημερήσιας οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας περιοχής.....	91
<b>Εικόνα 6.19</b> Πληροφοριακά στοιχεία εγκατάστασης Φ/Β πάρκου.....	92
<b>Εικόνα 6.20</b> Τιμή πώλησης ενέργειας παραγωγής σε €/kWh.....	92
<b>Εικόνα 6.21</b> Αξιολόγηση πηγών και χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος.....	93
<b>Εικόνα 6.22</b> Εισαγωγή 25.000 Φ/Β πλαισίων ονομαστικής ισχύος 200 W.....	93
<b>Εικόνα 6.23</b> Πίνακας τιμών ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης ενέργειας...94	94
<b>Εικόνα 6.24</b> Χαρακτηριστικά inverter και περίληψη Φ/Β συστήματος.....	94
<b>Εικόνα 6.25</b> Ανάλυση κόστους Φ/Β πάρκου.....	95
<b>Εικόνα 6.26</b> Οικονομικοί παράμετροι και ετήσια έσοδα Φ/Β πάρκου.....	96
<b>Εικόνα 6.27</b> Κόστος, έσοδα και αποταμιεύσεις Φ/Β πάρκου.....	97
<b>Εικόνα 6.28</b> Οικονομική βιωσιμότητα Φ/Β επένδυσης.....	98
<b>Εικόνα 6.29</b> Ετήσια χρηματοροπή Φ/Β επένδυσης.....	98
<b>Εικόνα 6.30</b> Γραφήματα ετήσιων χρηματορορών Φ/Β επένδυσης.....	99

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<b>Πίνακας 2.1</b> Μεταβολή χρόνου εξάντλησης ενεργειακών αποθεμάτων.....	24
<b>Πίνακας 2.2</b> Πίνακας με τις πειραματικές τιμές ταχύτητας ανέμου σε m/sec.....	25
<b>Πίνακας 2.3</b> Προκαταρκτική ανάλυση διαθέσιμων επιλογών υδροστροβίλων.....	27
<b>Πίνακας 2.4</b> Εξοικονόμηση συναλλάγματος από τη μείωση εισαγωγών πετρελαίου λόγω αξιοποίησης των εγχώριων ΑΠΕ.....	28
<b>Πίνακας 2.5</b> Υπολογιζόμενες παρούσες αξίες για 15-ετή λειτουργία της εγκατάστασης.....	31
<b>Πίνακας 3.1</b> Κατανομή ταχύτητας ανέμου.....	34

<b>Πίνακας 3.2</b> Υπολογισμός απωλειών κιβωτίου μετάδοσης.....	36
<b>Πίνακας 3.3</b> Υπολογιζόμενοι οικονομικοί παράμετροι επένδυσης.....	40
<b>Πίνακας 3.4</b> Διαχρονική εξέλιξη εσόδων-εξόδων της επένδυσης (χιλιάδες €).....	40
<b>Πίνακας 3.5</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικού πάρκου.....	41
<b>Πίνακας 3.6</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης (ώρες) αιολικής μηχανής (συνυπολογίζοντας και τη δυνατότητα ενεργειακής ανάκτησης).....	42
<b>Πίνακας 3.7</b> Συντελεστής χρησιμοποίησης για γωνίες κλίσης 0°, 30°, 45° και 60°.....	43
<b>Πίνακας 3.8</b> Συντελεστής χρησιμοποίησης για γωνίες κλίσης 0°, 30°, 45° και 60° αι με μηδενική ζήτηση για τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.....	44
<b>Πίνακας 3.9</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β πάρκου (πλαίσια πυριτίου).....	46
<b>Πίνακας 3.10</b> Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β εγκατάστασης πολυκρυσταλλικού πυριτίου (έτη) με ανάκτηση ενέργειας.....	46
<b>Πίνακας 3.11</b> Υπολογισμός IRR Φ/Β επένδυσης (30ετής λειτουργία).....	47
<b>Πίνακας 3.12</b> Μεταβολή IRR συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας της Φ/Β επένδυσης.....	48
<b>Πίνακας 3.13</b> Υπολογιζόμενοι παράμετροι της θερμοκηπιακής μονάδας.....	50
<b>Πίνακας 3.14</b> Απαιτούμενη στρεμματική απόδοση θερμοκηπίου για μεταβλητή διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.....	51
<b>Πίνακας 4.1</b> Υπολογιζόμενοι παράμετροι θέρμανσης θερμοκηπίου με πυρηνόξυλο.....	53
<b>Πίνακας 4.2</b> Ειδική ταχύτητα διαφόρων τύπων υδροστροβίλων.....	54
<b>Πίνακας 4.3</b> Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά και εκλογή τύπου τουρμπίνας.....	55
<b>Πίνακας 4.4</b> Υπολογιζόμενοι παράμετροι θέρμανσης θερμοκηπίου εφαρμογής 4.4.....	55
<b>Πίνακας 4.5</b> Υπολογιζόμενοι παράμετροι κυψέλης καυσίμου εφαρμογής 4.5.....	56
<b>Πίνακας 4.6</b> Μηναία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια Φ/Β πάρκου 100 kW.....	57
<b>Πίνακας 4.7</b> Μηναία και ετήσια ενέργεια πώλησης Φ/Β πάρκου 100 kW.....	58
<b>Πίνακας 4.8</b> Μηναία και ετήσια έσοδα Φ/Β πάρκου 100 kW.....	58
<b>Πίνακας 7.1</b> Οικονομικά αποτελέσματα αιολικού σταθμού ισχύος 9 MW στη Μήλο.....	101
<b>Πίνακας 7.2</b> Οικονομικά αποτελέσματα Φ/Β σταθμού ισχύος 5 MW στη Λαμία.....	101

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1. Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

*Ανανεώσιμες ή Ήπιες Μορφές Ενέργειας* αποκαλούνται οι πηγές ενέργειας που ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) συγκαταλέγονται η Αιολική, Ηλιακή και η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα ισχύος μέχρι 10 MW), η Βιομάζα αλλά και η Γεωθερμική Ενέργεια.

Οι ΑΠΕ αποτελούν μια στρατηγική επιλογή και η εφαρμογή τους συμβάλλει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών και ειδικότερα στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και την ανεξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο. Παράλληλα η οργανωμένη και συστηματική εκμετάλλευση του δυναμικού των ΑΠΕ, εκτός από τα πρωτεύοντα αποτελέσματα, μπορεί να αποδώσει μεγάλα οφέλη δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, αποκεντρωμένη ανάπτυξη, αλλά και εξέλιξη της τεχνογνωσίας, της τεχνολογίας και της κατασκευαστικής δραστηριότητας σε διάφορους κλάδους. Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι οι ΑΠΕ μπορούν να απαντήσουν αποτελεσματικά στο τρίπτυχο των προβλημάτων που απασχολούν τον τομέα της ενέργειας: επάρκεια αποθεμάτων, ασφάλεια ανεφοδιασμού και προστασία του περιβάλλοντος.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματοποιήσιμη εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Οι εγχώριοι ενεργειακοί πόροι είναι εκείνοι που συντελούν στην ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας και έχουν το πρόσθετο πλεονέκτημα να είναι φιλικό στο περιβάλλον, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Η πολιτική προώθησης των ΑΠΕ καθιστά ανεξάρτητη τη χώρα από το πετρέλαιο και στηρίζει την εθνική οικονομία και κατ' επέκταση τα εισοδήματα. Με τις σημερινές διεθνείς τιμές των δικαιωμάτων διοξειδίου του άνθρακα, το συνολικό όφελος για την Ελλάδα από την ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ ξεπερνά τα 80 ευρώ/MWh.

## 1.2. Αιολική Ενέργεια

Τα συστήματα ενεργειακής μετατροπής του αέρα (ανεμογεννήτριες) σχεδιάζονται για να μετατρέψουν την ενέργεια της μετακίνησης αέρα (κινητική ενέργεια) σε μηχανική δύναμη (μηχανική ενέργεια), η οποία είναι η κινητήρια δύναμη μιας μηχανής. Στην ανεμογεννήτρια (Α/Γ), αυτή η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται κατά την διάρκεια μεγάλων περιόδων ανέμων, μπορεί να αποθηκεύεται σε μπαταρίες και να χρησιμοποιείται σε περιόδους άπνοιας. Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται ένα αιολικό πάρκο.



**Εικόνα 1.1** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ

## 1.3. Ηλιακή Ενέργεια

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν το 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στην εικόνα 1.2 υπάρχει μια συστοιχία Φ/Β η οποία ακολουθεί την πορεία του ήλιου.



**Εικόνα 1.2** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β

#### **1.4. Υδροηλεκτρική Ενέργεια**

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς κατασκευάζεται ένα φράγμα για να εγκλωβιστεί το νερό σε κάποιο υψηλό επίπεδο. Όταν το νερό διοχετευθεί στους αγωγούς μεταφοράς, αποκτά μεγάλη κινητική ενέργεια και με μεγάλη ταχύτητα πέφτει στις συστοιχίες γεννητριών που υπάρχουν μέσα στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο παραγωγής. Η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική, που στέλνεται στη συνέχεια στους ρευματοφόρους αγωγούς και υπό υψηλή τάση στα κέντρα κατανάλωσης. Μάλιστα τα κέντρα αυτά μπορούν να μην παρέχουν συνεχώς την ίδια ισχύ αλλά να την ρυθμίζουν ανάλογα με την ζήτηση. Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζεται ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο την ώρα της λειτουργίας του.



**Εικόνα 1.3** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικό σταθμό

### 1.5. Ενέργεια από Βιομάζα

Στην βιομάζα έχουμε ένα σύνολο υλικών και υπολειμμάτων φυτικής ή ζωικής προελεύσεως και περιέχει μέσα της ενέργεια, που μπορεί να αποσπαστεί και να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως. Ένας καινούργιος τύπος καυσίμου βιομάζας είναι και τα συσσωματώματα (pellets) που είναι συμπιεσμένο θρύμμα ξύλου, έχουν χαμηλή υγρασία και υψηλή θερμαντική ικανότητα, και μπορούν να καούν σε σόμπες ή καυστήρες κεντρικής θέρμανσης ειδικά σχεδιασμένους με υψηλές αποδόσεις και χαμηλές εκπομπές.



**Εικόνα 1.4** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα

### 1.6. Γεωθερμική Ενέργεια



**Εικόνα 1.5** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία



Με τον όρο «γεωθερμία» ορίζουμε την εκμετάλλευση της σταθερής θερμοκρασίας και θερμοχωρητικότητας του υπεδάφους από όπου με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας επιτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος με στόχο την παραγωγή ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων, ζεστού νερού χρήσης αλλά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην εικόνα 1.5 απεικονίζεται η εκμετάλλευση μιας γεωθερμικής πηγής.

### 1.7. Ενέργεια από Κυψέλες Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Πραγματοποιούν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Το υδρογόνο και το οξυγόνο χρησιμοποιούνται για να παράγουν ηλεκτρισμό σε μια ηλεκτροχημική διαδικασία και το μόνο προϊόν είναι το νερό. Θερμότητα και ατμός καθαρού νερού είναι τα μόνα υποπροϊόντα από την ηλεκτροχημική αντίδραση των κυψελών καυσίμου. Στην εικόνα 1.6 απεικονίζεται ένα σύστημα κυψέλης καυσίμου χαμηλής ισχύος.



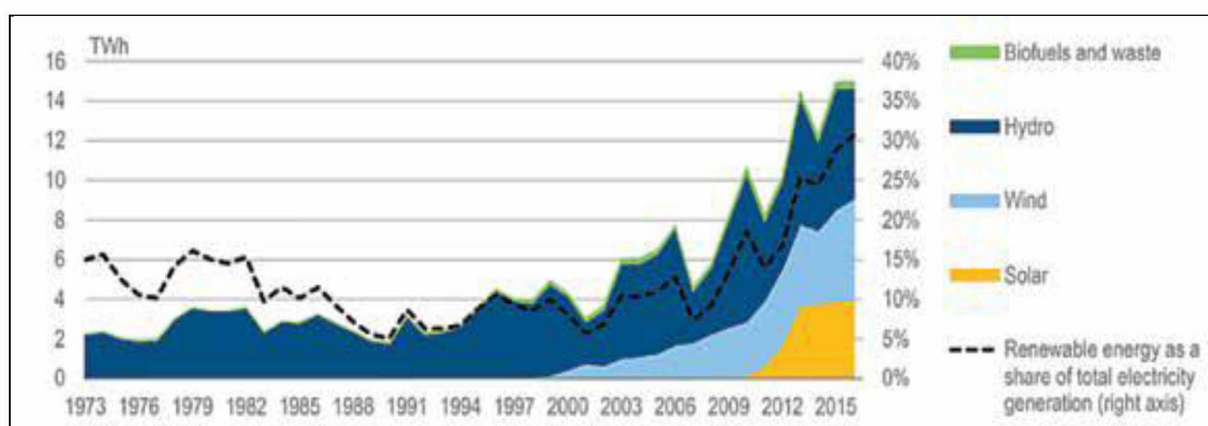
**Εικόνα 1.6** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου

### 1.8. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, οι ΑΠΕ έφθασαν τις 10,5 TWh ή το 20,1% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2017, συνέπεια της ταχείας ανάπτυξης της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής και ηλιακής ενέργειας και της μείωσης της συνολικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την τελευταία δεκαετία.

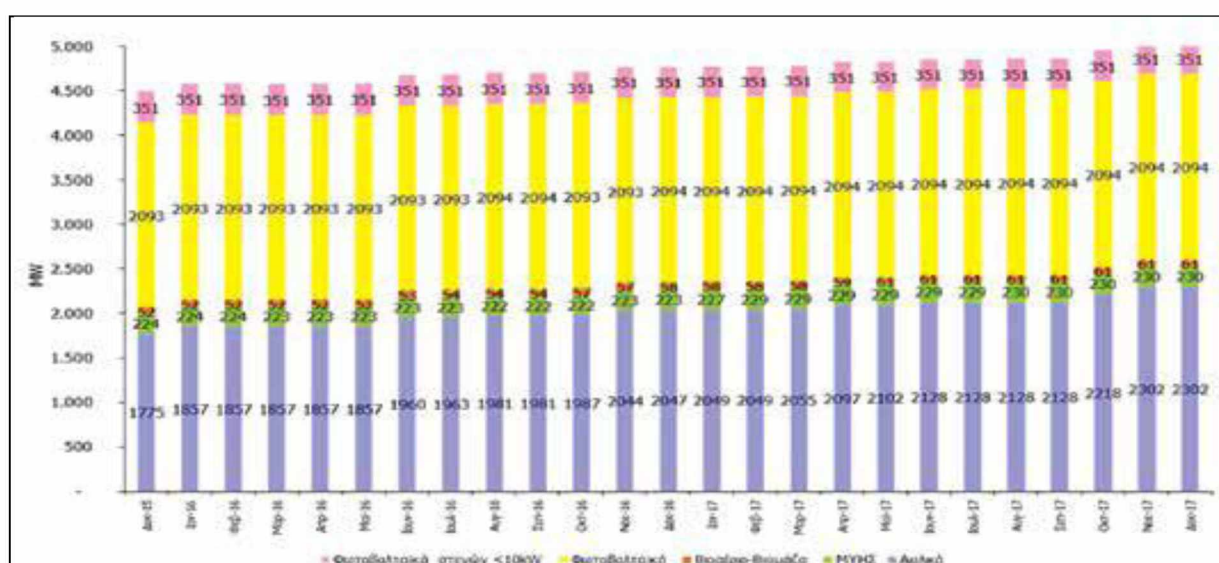
Η παραγωγή αιολικής ενέργειας αυξήθηκε από τα αμελητέα επίπεδα της στα τέλη της δεκαετίας του '90 σε 5,5 TWh το 2017, ενώ η ηλιακή ενέργεια πέτυχε μία ακόμα πιο

εντυπωσιακή ανάπτυξη, σημειώνοντας μία αύξηση σχεδόν είκοσι πέντε φορές μεγαλύτερη, από τις 0,16 TWh το 2010 στις 3,5 TWh το 2017. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί παγίως το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, αλλά με σημαντικές ετήσιες διακυμάνσεις. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανήλθε σε περίπου 3,5 TWh το 2017, ίση με το 5,4% της συνολικής παραγωγής (χωρίς εισαγωγές). Η Ελλάδα έχει, επίσης, ένα μικρό μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοκαύσιμα, αντιπροσωπεύοντας λιγότερο από το 1% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής.



**Εικόνα 1.7** Μερίδιο ΑΠΕ επί της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα (1973-2016)

Με βάση στοιχεία του συνοπτικού πληροφοριακού δελτίου του ΛΑΓΗΕ μηνός Δεκεμβρίου 2017, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο διασυνδεδεμένο σύστημα της Ελλάδας και Φ/Β σε στέγες μικρότερων των 10 kW ανήλθε σε 5.038 MW το 2017 (εικόνα 1.8).



**Εικόνα 1.8** Εγκατεστημένη ισχύς (MW) μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα της Ελλάδας (2015-2017)

## 1.9. Εθνικοί Στόχοι

Στο πλαίσιο χάραξης μιας ενιαίας Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής έχουν τεθεί συγκεκριμένοι στόχοι για κάθε κράτος μέλος της ΕΕ. Οι στόχοι αυτοί τίθενται σε συνεργασία με τις κυβερνήσεις των κρατών-μελών, με τα περισσότερα κράτη να αποδέχονται τους βασικούς κατευθυντήριους στόχους. Υπό αυτήν την έννοια, ο κεντρικός άξονας της ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας καθορίζεται εν πολλοίς από τις Βρυξέλλες, αν και υπάρχουν περιθώρια διαφοροποίησης αν μια χώρα επιθυμεί και δύναται να αναπτύξει ενεργειακούς πόρους, που εκτιμά ότι διαθέτει συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων χωρών (π.χ. ΑΠΕ, ενεργειακή αποδοτικότητα, παραγωγή υδρογονανθράκων, κτλ.).

Μία γνωστή επίπτωση για την Ελλάδα σε ότι αφορά την υιοθέτηση της σημερινής Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής αποτελεί το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, η οποία μέχρι πρόσφατα, δεν αποτελούσε προτεραιότητα της χώρας μας, καθώς η χρήση του λιγνίτη υπήρξε στρατηγική επιλογή, παρά τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μιας και είναι το μόνο εγχώριο ορυκτό καύσιμο. Σήμερα, η Ελλάδα έχει αποδεχθεί σιωπηλά την υιοθετηθείσα πολιτική της ΕΕ για την σταδιακή μείωση της χρήσης λιγνίτη εις βάρος ασφαλώς της παραγωγής και κερδοφορίας της ΔΕΗ και προς όφελος των εισαγωγών φυσικού αερίου.

Σήμερα, οι στόχοι της ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας, που είναι συμβατοί με αυτούς της ΕΕ, συνοψίζονται ως εξής:

- τουλάχιστον 20% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020, 2% μεγαλύτερος από τον εθνικό στόχο 18% της ΕΕ.
- τουλάχιστον 20% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη μέχρι το 2020.
- τουλάχιστον 10% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές μέχρι το 2020.
- έναν στόχο, δεσμευτικό σε επίπεδο ΕΕ, για επίτευξη κατά τουλάχιστον 32% του μεριδίου της κατανάλωσης ενέργειας από ΑΠΕ για το 2030.
- έναν στόχο σε επίπεδο ΕΕ για την κατά τουλάχιστον 32,5% βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας για το 2030.
- 20% μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, και τουλάχιστον 40% μείωση μέχρι το 2030.

Ειδικότερα, στο πλαίσιο του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού τίθενται τρεις βασικοί ποσοτικοί στόχοι πολιτικής για την περίοδο έως το έτος 2030, οι οποίοι απορρέουν από τις προτεραιότητες που έχουν διαμορφωθεί σε εθνικό επίπεδο, καθώς και από τις περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιδιώξεις που έχουν αναπτυχθεί και συμφωνηθεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, οι στόχοι αυτοί αναφέρονται για την περίοδο μέχρι το 2030 και αφορούν:

- τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 16% σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα εκπομπών του έτους 2005 για τους τομείς εκτός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών,
- την επίτευξη μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας τουλάχιστον στο 30% και
- την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά τουλάχιστον 30%.

#### **1.10. Σκοπός της εργασίας**

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού σε θέματα που αφορούν τις ΑΠΕ. Για το σκοπό αυτό επιλέγονται 30 υπολογιστικές εφαρμογές από την εγχώρια βιβλιογραφία και στη συνέχεια επιλύονται με χρήση λογισμικού μαθηματικών αναλύσεων και συγκεκριμένα με το πρόγραμμα MathCad.

Οι εφαρμογές έχουν στόχο να συνεισφέρουν στην κατανόηση και επίλυση προβλημάτων που συνοδεύουν κυρίως την αξιοποίηση της αιολικής, ηλιακής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας και σε ένα μικρό βαθμό την ενέργεια που προέρχεται από γεωθερμία και βιομάζα, μέσα από την χρήση των βασικών νόμων της φυσικής και την οργανωμένη ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας αντιμετώπισης αντίστοιχων εφαρμογών. Οι εφαρμογές επιλύθηκαν με υποδειγματικό τρόπο, παρουσιάζοντας αφενός τον απαιτούμενο συλλογισμό επίλυσης του κάθε προβλήματος, αφετέρου αναλυτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα των απαραίτητων υπολογισμών.

Το εκπαιδευτικό υλικό των εφαρμογών ΑΠΕ απευθύνεται κυρίως σε σπουδαστές ΑΕΙ και ΤΕΙ, σαν εισαγωγικές ασκήσεις για την απόκτηση γενικών αλλά και ειδικών γνώσεων στους τομείς ΑΠΕ και νέων ενεργειακών τεχνολογιών. Σκοπός των εφαρμογών αυτών είναι η εξοικείωση του σπουδαστή ή ενός νέου επιστήμονα με εισαγωγικές γνώσεις και με τη βασική μεθοδολογία προσέγγισης διάφορων προβλημάτων που συναντώνται στους τομείς των ΑΠΕ.

Παράλληλα, η μαθηματική επίλυση των εφαρμογών ΑΠΕ της παρούσας εργασίας έχει ως δευτερεύον στόχο να αποτελέσει ένα υπολογιστικό βοήθημα στον τομέα της ανάλυσης, ανάπτυξης και μελέτης έργων ΑΠΕ. Πολλές από τις εφαρμογές αποτελούν κάλλιστα έναν οδηγό υπολογισμού κρίσιμων παραμέτρων σε έργα ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα υπολογισμούς που αφορούν την διαστασιολόγηση των μονάδων παραγωγής, τον υπολογισμό της ενεργειακής παραγωγής των μονάδων, την διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης τοποθεσίας εγκατάστασης των μονάδων κ.τ.λ.

Τέλος δευτερογενής στόχος της εργασίας είναι η οικονομοτεχνική ανάλυση-μελέτη ενός αιολικού και ενός Φ/Β σταθμού, χρησιμοποιώντας το λογισμικό RetScreen. Στα πλαίσια της οικονομοτεχνικής ανάλυσης υπολογίζονται τα ενεργειακά και χρηματοοικονομικά μεγέθη προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την βιωσιμότητα ανάπτυξης των σταθμών. Οι αναφερθέντες σταθμοί αποτελούν 2 από τις 30 εφαρμογές ΑΠΕ, που επιλύθηκαν με το λογισμικό μαθηματικών υπολογισμών MathCad. Τελικός στόχος είναι να συγκριθούν τα αποτελέσματα του θεωρητικού υπολογισμού με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του προγράμματος RetScreen.

### **1.11. Δομή εργασίας**

Η παρούσα εργασία αποτελείται συνολικά από επτά κεφάλαια. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις ΑΠΕ, που αποτελούν αντικείμενο των επόμενων κεφαλαίων της εργασίας, και δίνονται πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα καθώς και των στόχων που έχει θέσει η χώρα μας στα πλαίσια του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού. Επίσης γίνεται αναφορά στον σκοπό συγγραφής της εργασίας και παρουσιάζεται η δομή της.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η επίλυση, με την χρήση του λογισμικού MathCad, 15 υπολογιστικών εφαρμογών ΑΠΕ. Οι εφαρμογές του κεφαλαίου θεωρούνται εισαγωγικές σε θέματα ΑΠΕ. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει εφαρμογές που αφορούν την αιολική, της ηλιακή και την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η επίλυση, με την χρήση του λογισμικού MathCad, 10 υπολογιστικών εφαρμογών ΑΠΕ. Οι εφαρμογές του κεφαλαίου θεωρούνται πιο προχωρημένες σε θέματα ΑΠΕ, σε σχέση με τις εφαρμογές του 2<sup>ο</sup> κεφαλαίου. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει εφαρμογές που αφορούν την αιολική και την ηλιακή ενέργεια.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η επίλυση, με την χρήση του λογισμικού MathCad, 5 υπολογιστικών εφαρμογών ΑΠΕ. Οι εφαρμογές του κεφαλαίου θεωρούνται απλές σε θέματα

ΑΠΕ, καθώς η επίλυση τους γίνεται κυρίως με απλές και προσεγγιστικές εξισώσεις. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει εφαρμογές που αφορούν την υδροηλεκτρική, την ηλιακή, την γεωθερμική ενέργεια καθώς και την ενέργεια που προέρχεται από βιομάζα και κυψέλες καυσίμου.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των βημάτων του λογισμικού RetScreen, τα οποία περιλαμβάνουν το φύλλο της εκκίνησης, της τοποθεσίας εγκατάστασης, του ενεργειακού μοντέλου, την ανάλυση κόστους, την ανάλυση εκπομπών και τέλος το φύλλο της χρηματοοικονομικής ανάλυσης.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο πραγματοποιείται με το λογισμικό RetScreen οικονομοτεχνική ανάλυση 2 σταθμών παραγωγής ενέργειας, ενός αιολικού σταθμού και ενός Φ/Β σταθμού. Ο αιολικός σταθμός ισχύος 9 MW τοποθετείται στο νησί της Μήλου ενώ ο αιολικός σταθμός ισχύος 5 MW στην περιοχή της Λαμίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία καθώς και προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα βάση των αποτελεσμάτων της εργασίας.

Τέλος στο σημείο αυτό γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση των εφαρμογών του 2<sup>ου</sup>, 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου της εργασίας. Τα βιβλία από τα οποία αντλήθηκαν οι εφαρμογές είναι:

- Βιβλίο 1: Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Καββαδίας Α. Κοσμάς, “Υπολογιστικές εφαρμογές Ηπίων Μορφών Ενέργειας, Αιολική Ενέργεια, Μικρά Υδροηλεκτρικά”, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα 2005.
- Βιβλίο 2: Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Σπυρόπουλος Χ. Γεώργιος, Καββαδίας Α. Κοσμάς, “Υπολογιστικές εφαρμογές Ηπίων Μορφών Ενέργειας, Ηλιακή Ακτινοβολία, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Ηλιακά Θερμικά”, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα 2007.
- Βιβλίο 3: Γιάννης Βουρδούμπας, “Ασκήσεις και προβλήματα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Σελκα-4M ΕΠΕ, Αθήνα 2011.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

#### 2.1. Περιγραφή των εισαγωγικών εφαρμογών ΑΠΕ

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει αναλυτικά μεθόδους επίλυσης υπολογιστικών εφαρμογών, που συνδέονται με την αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας και πιο συγκεκριμένα της αιολικής, της ηλιακής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου εξετάζονται κυρίως απλά προβλήματα, κατάλληλα κυρίως για την κατανόηση και εμπέδωση των απαραίτητων θεωρητικών γνώσεων, αλλά και πιο σύνθετα προβλήματα, τα οποία πέρα από τη γνώση των βασικών θεωρητικών σχέσεων απαιτούν και συνθετική προσέγγιση.

Σε κάθε μια ενότητα αυτού του κεφαλαίου εξετάζεται από μια εφαρμογή ήπιων μορφών ενέργειας και συνολικά εξετάζονται 15 υπολογιστικές εφαρμογές. Στην περιγραφή των εννοιών του κεφαλαίου που ακολουθεί στην συνέχεια αναφέρεται μέσα στην παρένθεση η πηγή (βιβλίο) από την οποία αντλήθηκε η εφαρμογή καθώς και ο αύξων αριθμός της εφαρμογής (σύμφωνα με την βιβλιογραφική επισκόπηση που έγινε στο τέλος του 1<sup>ου</sup> κεφαλαίου). Πιο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο και το αντικείμενο της εφαρμογής, σε κάθε μια ενότητα που ακολουθεί, περιγράφεται συνοπτικά ως ακολούθως:

- Στην ενότητα 2.2 η εφαρμογή διερευνά την επίδραση του μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας στην αριθμητική τιμή του χρόνου εξάντλησης των συμβατικών πλανητικών ενεργειακών αποθεμάτων (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 1.6).
- Στην ενότητα 2.3 η εφαρμογή εξετάζει τον τρόπο υπολογισμού των αναταράξεων και της τύρβης του ανέμου μιας περιοχής, συναρτήσει πειραματικών μετρήσεων, ενώ ακολούθως συγκρίνει τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων με αντίστοιχα αποτελέσματα αναλυτικών εξισώσεων (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 2.3).
- Στην ενότητα 2.4 η εφαρμογή υπολογίζει το ελάχιστο ύψος τοποθέτησης μιας Α/Γ συναρτήσει της διαμέτρου της πτερωτής της (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 3.4).
- Στην ενότητα 2.5 η εφαρμογή επιχειρεί να παρουσιάσει τις βασικές έννοιες της αποδιδόμενης ισχύος, της ενεργειακής παραγωγής, του μέσου συντελεστή ισχύος καθώς και του συντελεστή φορτίου μιας αιολικής εγκατάστασης (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 4.1).
- Στην ενότητα 2.6 η εφαρμογή υπολογίζει το συντελεστή φορτίου και τη μέση ετήσια τεχνική διαθεσιμότητα μιας εμπορικής αιολικής μηχανής, λαμβάνοντας υπόψιν τα

καταγεγραμμένα λειτουργικά στοιχεία της υπό μελέτη ενεργειακής εγκατάστασης (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 4.4).

- Στην ενότητα 2.7 η εφαρμογή παρουσιάζει τη διαδικασία εύρεσης του τυποποιημένου μεγέθους ενός μικρού υδροστροβίλου, με στόχο τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγής της εγκατάστασης (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 5.4).
- Στην ενότητα 2.8 η εφαρμογή παρουσιάζει το απαραίτητο υπολογιστικό πλαίσιο για τον καθορισμό, μέσω ομοιότητας, των λειτουργικών χαρακτηριστικών μικρού υδροστροβίλου βάσει των γνωστών χαρακτηριστικών υφιστάμενου γεωμετρικά όμοιου πειραματικού υδροστροβίλου (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 5.11).
- Στην ενότητα 2.9 η εφαρμογή επιχειρεί τον καθορισμό της άριστης σύνθεσης ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού, λαμβάνοντας υπόψιν τη σχέση αναμενόμενης ενεργειακής παραγωγής και κόστους αρχικής επένδυσης (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 6.9).
- Στην ενότητα 2.10 η εφαρμογή επιχειρεί τον προσδιορισμό της ποσότητας εξοικονομούμενου πετρελαίου λόγω της αξιοποίησης του εγχώριου υδάτινου και αιολικού δυναμικού, καθώς και της αντίστοιχης εξοικονόμησης συναλλάγματος λόγω μείωσης των ενεργειακών εισαγωγών (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 8.3).
- Στην ενότητα 2.11 η εφαρμογή εξετάζει τον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην Αθήνα, για καθορισμένη κλίση και προσανατολισμό μιας επιφάνειας και για συγκεκριμένη ώρα και ημερομηνία μελέτης (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 1.4).
- Στην ενότητα 2.12 η εφαρμογή προσδιορίζει την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, χρησιμοποιώντας το ημιεμπειρικό μοντέλο των "Stauter and Klein" (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 1.7).
- Στην ενότητα 2.13 η εφαρμογή επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς ηλιακού συλλέκτη, κάνοντας χρήση του μέσου (στιγμιαίου) βαθμού απόδοσης του συλλέκτη (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 2.7).
- Στην ενότητα 2.14 η εφαρμογή παρουσιάζει τη διαδικασία διαστασιολόγησης μιας απλής Φ/Β εγκατάστασης με συνυπολογισμό της επίδρασης της αύξησης θερμοκρασίας των πλαισίων και προσδιορισμό της μέγιστης ισχύος της συνδεσμολογίας (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 3.2).
- Στην ενότητα 2.15 η εφαρμογή εξετάζει τον υπολογισμό των διαστάσεων Φ/Β στοιχείων που συγκροτούν κατάλληλο Φ/Β πλαίσιο. Ακολουθεί ανάλυση λειτουργίας αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης με τη χρήση συσσωρευτών (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 3.4).



- Στην ενότητα 2.16 η εφαρμογή επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των οικονομικών ωφελειών από την εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας λόγω της λειτουργίας ενός τυπικού ηλιακού θερμοσίφωνα σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του, σε παρούσες αξίες. Ακολούθως, επιχειρείται η εκτίμηση των περιβαλλοντικών ωφελειών από την αποφυγή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, λόγω της λειτουργίας του τυπικού ηλιακού συλλέκτη και υπολογισμός των εξοικονομούμενων χρημάτων από τη συμβολή του στη μη υπέρβαση των εθνικών δικαιωμάτων εκπομπής CO<sub>2</sub> και την καταβολή του αντίστοιχου προστίμου στην Ε.Ε. (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 4.5).

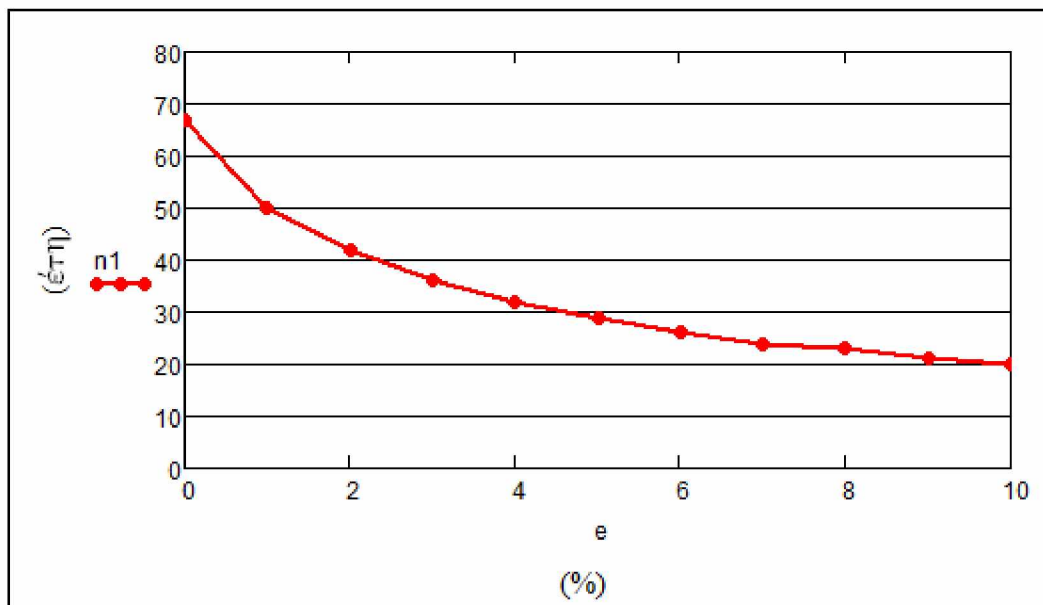
## 2.2. Επίδραση μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης κατανάλωσης ενέργειας στο χρόνο εξάντλησης των συμβατικών πλανητικών ενεργειακών αποθεμάτων (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 1.6)

Η συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίζει το χρόνο εξάντλησης των πλανητικών αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων ενέργειας με δεδομένο τη σημερινή πλανητική κατανάλωση ενέργειας και θεωρώντας μια σταθερή τιμή για την ετήσια αύξηση της πλανητικής κατανάλωσης ενέργειας. Στη συνέχεια υπολογίζει το χρόνο εξάντλησης αποθεμάτων ανάλογα με τη μεταβολή του ετήσιου ρυθμού μεταβολής της πλανητικής κατανάλωσης ενέργειας.

Για ετήσιο ρυθμό αύξησης της πλανητικής κατανάλωσης ενέργειας 4% υπολογίζεται ότι τα πλανητικά αποθέματα συμβατικών καυσίμων επαρκούν μόλις για 32 χρόνια. Επίσης στον πίνακα 2.1 φαίνεται η μεταβολή του χρόνου εξάντλησης ενεργειακών αποθεμάτων ανάλογα με τη μεταβολή του ετήσιου ρυθμού μεταβολής της πλανητικής κατανάλωσης ενέργειας. Τέλος στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του χρόνου εξάντλησης των βεβαιωμένων πλανητικών ενεργειακών αποθεμάτων συναρτήσει του μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας.

$e^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(%)
$n1^T =$	67	50	42	36	32	29	26	24	23	21	20	(έτη)

**Πίνακας 2.1** Μεταβολή χρόνου εξάντλησης ενεργειακών αποθεμάτων



**Σχήμα 2.1** Μεταβολή του χρόνου εξάντλησης των πλανητικών ενεργειακών αποθεμάτων συναρτήσει του μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας

### 2.3. Υπολογισμός αναταράξεων και τύρβης ανέμου (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 2.3)

Στην εφαρμογή της ενότητας 2.3 υπολογίζεται η ανατάραξη του ανέμου χρησιμοποιώντας πειραματικές τιμές ταχύτητας ανέμου μιας περιοχής. Στη συνέχεια για συγκεκριμένο ύψος από το έδαφος στην υπό μελέτη περιοχή υπολογίζεται η ένταση της ανατάραξης ανάλογα με το ισοδύναμο ύψος της τραχύτητας της περιοχής.

Υπολογίζεται ότι για την υπό μελέτη περιοχή η ένταση της ανατάραξης είναι 0.4506, ενώ στον πίνακα 2.2 δίνονται τα αποτελέσματα της έντασης της ανατάραξης για δύο διαφορετικές τιμές τοπικής τραχύτητας της περιοχής.

Τοπική τραχύτητα περιοχής σε μέτρα	Ένταση ανατάραξης ανέμου
0.15	0.2381
2.10	0.4332

**Πίνακας 2.2** Πίνακας με τις πειραματικές τιμές ταχύτητας ανέμου σε m/sec

### 2.4. Ελάχιστο ύψος τοποθέτησης Α/Γ (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 3.4)

Στην εφαρμογή της ενότητας 2.4 υπολογίζεται το ελάχιστο ύψος τοποθέτησης Α/Γ οριζοντίου άξονα με δεδομένα τη συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου, τον αριθμό ζευγών πόλων της Α/Γ, τον λόγο μετάδοσης κιβωτίου μηχανής και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα περιστροφής των ακροπτερυγίων της.

Η εφαρμογή της ενότητας 2.4 υπολογίζει το ελάχιστο ύψος τοποθέτησης της μηχανής σε 22.92 μέτρα.

## **2.5. Βασικές ενεργειακές έννοιες αιολικής εγκατάστασης (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 4.1)**

Στην ενότητα 2.5 η εφαρμογή υπολογίζει την ονομαστική ισχύ μιας αιολικής μηχανής ενώ είναι ο γνωστά ο ημερήσιος συντελεστής φορτίου της εγκατάστασης, η ημερήσια περίσσεια ενέργειας του συστήματος συσσωρευτών και η συνάρτηση της ημερήσιας ζήτησης ισχύος του καταναλωτή της αιολικής μηχανής.

Από τα αποτελέσματα της επίλυσης της εφαρμογής προκύπτει η ονομαστική ισχύς Α/Γ ίση με 299.76 kW.

## **2.6. Συντελεστής φορτίου και μέση ετήσια τεχνική διαθεσιμότητα εμπορικής αιολικής μηχανής (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 4.4)**

Η εφαρμογή της ενότητας 2.6 με δεδομένα την ονομαστική ισχύ μιας αιολικής μηχανής, την παραγόμενη ενέργεια ενός έτους και τις ώρες του έτους που δεν ήταν διαθέσιμη η αιολική μηχανή για παραγωγή ενέργειας (λόγω βλάβης, συντήρησης, προβλημάτων ευστάθειας, κ.τ.λ.) υπολογίζει την τον συντελεστή φορτίου (capacity factor) ίσο με 0.35 και την μέση τεχνική διαθεσιμότητα της εγκατάστασης 75.5%.

## **2.7. Διαδικασία εύρεσης τυποποιημένου μεγέθους μικρού υδροστροβίλου (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 5.4)**

Στο πρώτο τμήμα της εφαρμογής υπολογίζεται το τυποποιημένο μέγεθος ενός υδροστροβίλου Francis (ονομαστική ισχύς και παροχή) με δεδομένα τον ειδικό αριθμό στροφών και τον μέγιστο βαθμό απόδοσης υδροστροβίλου και επίσης τα ζεύγη των πόλων της γεννήτριας. Με βάση τα δεδομένα εκτιμάται η ονομαστική ισχύς του υδροστροβίλου ίση με 1.404.917 W και η παροχή του 3.288 m<sup>3</sup>/s. Επομένως επιλέγεται τυποποιημένος υδροστροβίλος Francis ισχύος 1.5 MW με διαθέσιμο ύψος υδατόπτωσης 50m.

Στο δεύτερο τμήμα της εφαρμογής, χρησιμοποιώντας ως επιπλέον δεδομένα την παροχή νερού στον υδροστροβίλο, την πυκνότητα του νερού, την επιτάχυνση της βαρύτητας και λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες του αγωγού προσαγωγής, υπολογίζεται η παρεχόμενη ωριαία ενέργεια του υδροστροβίλου που αντιστοιχεί στην τιμή των 692.8 kWh.

## 2.8. Νόμοι ομοιότητας λειτουργικών χαρακτηριστικών μικρών υδροστροβίλων (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 5.11)

Στην εφαρμογή εξετάζεται η αξιοποίηση της υδατόπτωσης ενός εμπορικού υδροστροβίλου έχοντας ως δεδομένο το γεωδαιτικό ύψος και την μέση παροχή του. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται πειραματικός υδροστροβίλος με συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά (ισχύς εξόδου, στροφές γεννήτριας, γεωδαιτικό ύψος υδατόπτωσης, βαθμός απόδοσης, πυκνότητα νερού και ποσοστό υδραυλικών απωλειών του).

Αρχικά εκτιμάται η αναλογία διαστάσεων μεταξύ του πειραματικού υδροστροβίλου και του γεωμετρικά όμοιου εμπορικού του μοντέλου η οποία ισούται με 87.83%. Έπειτα υπολογίζεται η αναμενόμενη ονομαστική ισχύς του υπό κατασκευή εμπορικού υδροστροβίλου η οποία προκύπτει 416.2 kW. Τέλος προσδιορίζονται οι στροφές της ηλεκτρογεννήτριας, η οποία θα κινείται απευθείας από τον υπό κατασκευή υδροστροβίλο, οι οποίες προκύπτουν ίσες με 1000 rpm.

## 2.9. Καθορισμός της άριστης σύνθεσης μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 6.9)

Στην περίπτωση της εφαρμογής της ενότητας 2.9, με δεδομένο το ύψος υδατόπτωσης και την συνολική ισχύ σχεδιασμού του υδροηλεκτρικού σταθμού, εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης 3 υδροστροβίλων με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά (ονομαστική ισχύ, μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος και τεχνική διαθεσιμότητα).

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 2.3 από τον οποίο προκύπτει ότι η βέλτιστη λύση είναι να χρησιμοποιηθούν 2 υδροστροβίλοι των 5 MW (2x5MW).

Μέγεθος Μηχανών (MW)	Αριθμός Μηχανών	Ανηγγεμένη τιμή Υ/Σ (€)	Αρχικό κόστος(Μ€)	Ετήσια Ενεργειακή Παραγωγή (GWh)	ε (kWh/€)	ε' (kWh/€)
2	5	850.3	16.84	39.10	2.323	3.871
5	2	760.4	15.06	35.48	2.357	3.928
10	1	698.7	13.83	31.61	2.285	3.808

**Πίνακας 2.3** Προκαταρκτική ανάλυση διαθέσιμων επιλογών υδροστροβίλων

## 2.10. Προσδιορισμός ποσότητας εξοικονομούμενου πετρελαίου λόγω αξιοποίησης του εγχώριου υδάτινου και αιολικού δυναμικού (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 8.3)

Η εφαρμογή αρχικώς υπολογίζει την ετήσια εξοικονομούμενη ποσότητα πετρελαίου για τα έτη 1990 έως 2004 στην περίπτωση που αιολικές μηχανές και υδροστρόβιλοι υποκαθιστούν την ηλεκτροπαραγωγή των θερμικών μηχανών με βάση το πετρέλαιο. Για τον σκοπό αυτό δίνονται για τα έτη 1990 έως 2004 η ανανεώσιμη εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή και η τιμή του πετρελαίου. Επίσης για τον παραπάνω υπολογισμό χρησιμοποιούνται ως δεδομένα η μέση θερμογόνος ικανότητα του πετρελαίου και ο ολικός βαθμός των θερμικών μηχανών. Τα αποτελέσματα υπολογισμού παρουσιάζονται στην τρίτη στήλη του πίνακα 2.4.

Στη συνέχεια εκτιμάται η εξοικονόμηση συναλλάγματος από τη μη εισαγωγή πετρελαίου λόγω αξιοποίησης των εγχώριων ΑΠΕ. Τα αποτελέσματα σε αυτήν την περίπτωση παρουσιάζονται στην πέμπτη στήλη του πίνακα 2.4.

n =	$E_R =$	$M_f =$	$M_f =$	$R_j =$
	·GWhr	·Mtonne	·Mbbl	·M\$
1990	1984	0.558	3.72	88.68
1991	3154	0.887	5.91	118.57
1992	2379	0.669	4.46	86.18
1993	2575	0.724	4.83	81.93
1994	2865	0.806	5.37	84.98
1995	3801	1.069	7.13	121.30
1996	4520	1.271	8.47	175.18
1997	4118	1.158	7.72	147.40
1998	3932.8	1.106	7.37	93.80
1999	4998.3	1.406	9.37	168.41
2000	4353.7	1.224	8.16	232.65
2001	3156.2	0.888	5.92	144.63
2002	4022.4	1.131	7.54	188.70
2003	4304	1.210	8.07	232.66
2004	4665.8	1.312	8.75	334.80

**Πίνακας 2.4** Εξοικονόμηση συναλλάγματος από τη μείωση εισαγωγών πετρελαίου λόγω αξιοποίησης των εγχώριων ΑΠΕ.

## 2.11. Υπολογισμός γωνίας πρόσπτωσης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 1.4)

Με δεδομένα το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, την γωνία κλίσης τοποθέτησης του ηλιακού συλλέκτη, την αζιμούθια γωνία της επιφάνειας (προσανατολισμός), τον τοπικό χρόνο, τον τοπικό μεσημβρινό και τον μεσημβρινό στον οποίο αναφέρεται η τοπική ώρα υπολογίζεται η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της

Αθήνας. Συγκεκριμένα για τις 10 Ιανουαρίου και ώρα 11:00 η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας προκύπτει  $35.15^\circ$  ενώ για τις 10 Ιουλίου και ώρα 11:00 προκύπτει  $34.16^\circ$ .

#### **2.12. Προσδιορισμός άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 1.7)**

Στην εφαρμογή της ενότητας 2.12 σε περιοχή του βόρειου ημισφαιρίου και σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα είναι γνωστή η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια. Με γνωστές επίσης της τιμές της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας σε καθαρό ουρανό υπολογίζεται, χρησιμοποιώντας τη σχέση των Stauter και Klein, η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία στην οριζόντια επιφάνεια η οποία προκύπτει ίση με  $0.53 \text{ MJ/m}^2$  και  $1.37 \text{ MJ/m}^2$  αντίστοιχα. Τέλος η αναλογία άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας υπολογίζεται στην τιμή 0.387.

#### **2.13. Προσδιορισμός ενεργειακής συμπεριφοράς ηλιακού συλλέκτη κάνοντας χρήση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης του (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 2.7)**

Στην εφαρμογή της ενότητας 2.13 θεωρώντας γνωστά την επιφάνεια, την πειραματικά επιβεβαιωμένη εξίσωση του βαθμού απόδοσης και τον ελάχιστο βαθμό απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη υπολογίζεται η μέγιστη θερμοκρασία του παρεχομένου ζεστού νερού προς την κατανάλωση και η μέση στιγμιαία παροχή ζεστού νερού προς την κατανάλωση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία εξόδου του νερού.

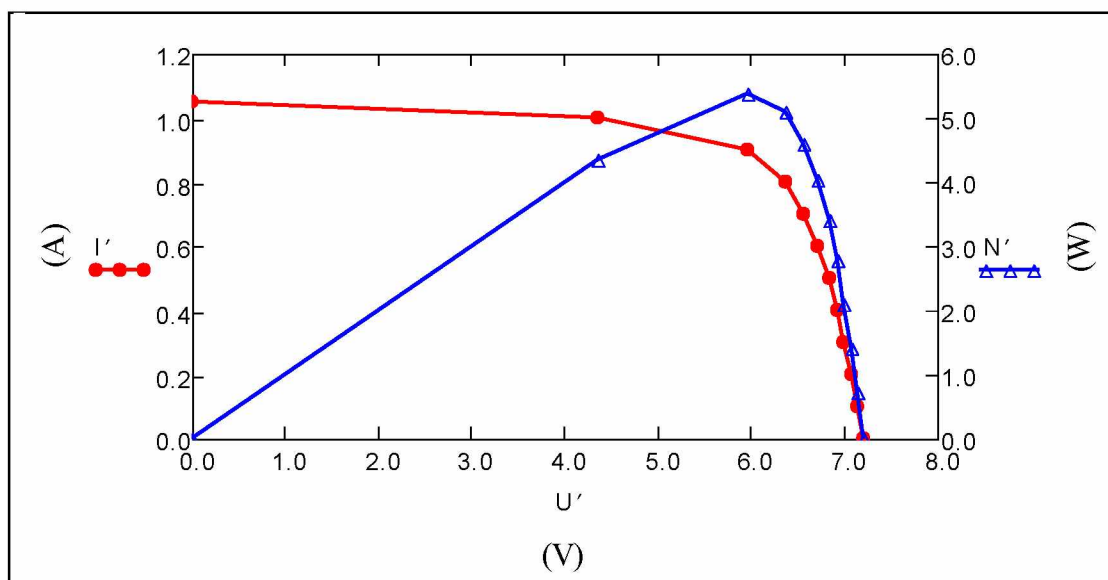
Για τον παραπάνω υπολογισμό χρησιμοποιούνται ως δεδομένα επίσης η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού και ορισμένα μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή της Ρόδου κατά μήνα Μάιο (ώρες ηλιοφάνειας, μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος και μηνιαία ηλιακή ενέργεια για συγκεκριμένη γωνία κλίσης ηλιακού συλλέκτη).

Από τον υπολογισμό προκύπτει η μέγιστη θερμοκρασία του παρεχομένου ζεστού νερού προς την κατανάλωση ίση με  $60.6^\circ\text{C}$  και η μέση στιγμιαία παροχή ζεστού νερού προς την κατανάλωση για θερμοκρασία εξόδου  $50^\circ\text{C}$  ίση με  $4.98 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ .

#### **2.14. Διαστασιολόγηση Φ/Β εγκατάστασης με συνυπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 3.2)**

Με γνωστή την χαρακτηριστική λειτουργίας Φ/Β στοιχείου (μέγιστη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και τάση ανοιχτού κυκλώματος Φ/Β στοιχείου) υπολογίζεται ο απαραίτητος

αριθμός Φ/Β στοιχείων για την εν σειρά συνδεσμολογία τους με σκοπό την τροφοδοσία κατανάλωσης με δεδομένη τάση λειτουργίας. Ο υπολογισμός μας δείχνει ότι απαιτούνται 12 Φ/Β στοιχεία σε σειρά. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τον παραπάνω αριθμό Φ/Β στοιχείων, κατασκευάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος-τάσης και ισχύος-τάσης της Φ/Β συνδεσμολογίας όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.



**Σχήμα 2.2** Χαρακτηριστικές καμπύλες έντασης-τάσης ( $I'-U'$ ) και ισχύος-τάσης ( $N'-U'$ ) τυπικής Φ/Β συνδεσμολογίας

### 2.15. Υπολογισμός διαστάσεων Φ/Β στοιχείων που συγκροτούν αντίστοιχο Φ/Β πλαίσιο (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 3.4)

Στην εφαρμογή της ενότητας 2.15 με δεδομένα την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, τον μέγιστο βαθμό απόδοσης και την χαρακτηριστική καμπύλη έντασης-τάσης του Φ/Β στοιχείου υπολογίζονται οι διαστάσεις του στοιχείου. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το Φ/Β στοιχείο είναι σχήματος τετραγώνου η πλευρά του υπολογίζεται 0.065 m.

Στη συνέχεια γνωρίζοντας τον αριθμό των όμοιων Φ/Β στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και παράλληλα συγκροτούμε Φ/Β πλαίσιο με σκοπό να υπολογίσουμε την αποθηκευόμενη περίσσεια ενέργειας σε Ah. Για το σκοπό αυτό γνωρίζουμε το χρονικό διάστημα αποθηκευόμενης περίσσεια ενέργειας, την ζήτηση ισχύος, την τάση φόρτισης των συσσωρευτών, τον βαθμό απόδοσης του συστήματος φόρτισης καθώς και μια προσάυξηση τάσης που απαιτείται για την φόρτιση των συσσωρευτών. Με υπολογισμούς καταλήγουμε ότι η αποθηκευόμενη περίσσεια ενέργειας στους συσσωρευτές της εγκατάστασης προκύπτει 393.75 Ah.

## 2.16. Προσδιορισμός οικονομικών-περιβαλλοντικών ωφελειών λόγω λειτουργίας τυπικού ηλιακού θερμοσίφωνα (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 4.5)

Με δεδομένα την επιφάνεια ενός οικιακού ηλιακού συλλέκτη, τον συντελεστή αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας, το κόστος υποκαθιστάμενης από τον ηλιακό συλλέκτη ενέργειας και την ετήσια διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία για την περιοχή της Ρόδου υπολογίζονται αρχικά τα ετήσια έσοδα της ηλιακής εγκατάστασης τα οποία εκτιμώνται σε 184.3 €.

Στη συνέχεια θεωρώντας δυο διαφορετικές τιμές για την μέση ετήσια αναπροσαρμογή του κόστους της υποκαθιστάμενης ενέργειας και μια τιμή για τον μέσο συντελεστή αναγωγής του χρήματος σε παρούσες αξίες εκτιμάται η συνολική παρούσα αξία σε μια περίοδο 15-ετούς λειτουργίας της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 2.5.

<i>Μέση ετήσια αναπροσαρμογή του κόστους υποκαθιστάμενης ενέργειας</i>	<i>Συνολική παρούσα αξία</i>
3%	2214.1 €
10%	3765.8 €

**Πίνακας 2.5** Υπολογιζόμενες παρούσες αξίες για 15-ετή λειτουργία της εγκατάστασης

Τέλος θεωρώντας μια τιμή εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά kWh για την υποκαθιστάμενη ηλεκτρική-θερμική ενέργεια και μια τιμή εξοικονόμησης χρημάτων σε € ανά τόνο λόγω αποφυγής διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζονται η ετήσια αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> και τα συνολικά ετήσια έσοδα λόγω της λειτουργίας του εν λόγω ηλιακού συλλέκτη. Η ετήσια αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> υπολογίζεται 0.921 τόνοι CO<sub>2</sub>/έτος ενώ τα ετήσια έσοδα που εξοικονομούνται από τη μη υπέρβαση εκπομπής CO<sub>2</sub> υπολογίζονται 92.15 €/έτος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

#### 3.1. Εισαγωγή για τις προχωρημένες εφαρμογές ΑΠΕ

Στο τρίτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας θα αναλυθούν 10 υπολογιστικές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας. Οι εφαρμογές που ακολουθούν θεωρούνται πιο προχωρημένες και ανώτερης υπολογιστικής δυσκολίας σε σχέση με τις εφαρμογές του δευτέρου κεφαλαίου, καθώς προσεγγίζουν κατά κανόνα πρακτικές εφαρμογές των ήπιων μορφών ενέργειας και συνεπώς η εξέταση τους αποσκοπεί στο να αποτελέσει οδηγό για την αντιμετώπιση αντίστοιχων μελετών κυρίως μικρών εφαρμογών ΑΠΕ.

Πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι όλες οι εφαρμογές του παρόντος κεφαλαίου ασχολούνται κυρίως με υπολογισμούς που αφορούν την αξιοποίηση της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Επίσης ορισμένες εφαρμογές, που θα αναπτυχθούν στις επόμενες ενότητες, αναφέρονται κατά κύριο λόγο στην οικονομοτεχνική ανάλυση και την οικονομική βιωσιμότητα των Φ/Β και αιολικών επενδύσεων. Γενικά οι εφαρμογές ασχολούνται κυρίως με τα εξής πεδία μελετών:

- Εκτίμηση αιολικού δυναμικού μέσω πειραματικών μετρήσεων και θεωρητικών μεθόδων.
- Προσδιορισμός λειτουργικών παραμέτρων σύγχρονων αιολικών μηχανών.
- Ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης της αγοράς αιολικών μηχανών.
- Οικονομικοτεχνική συμπεριφορά αιολικών και Φ/Β επενδύσεων.
- Υπολογισμός αξιοποίησης ηλιακού συλλέκτη.
- Εκτίμηση κοινωνικών και περιβαλλοντικών οφελών από την αξιοποίηση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

Παρακάτω περιγράφεται το περιεχόμενο και το αντικείμενο της κάθε εφαρμογής, που αναλύεται σε κάθε μια ενότητα του κεφαλαίου, ως ακολούθως:

- Στην ενότητα 3.2 η εφαρμογή μελετά τη συμπεριφορά των πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενων ημιμειρικών κατανομών ταχύτητας ανέμου εντός του πλανητικού οριακού στρώματος, ενώ επιχειρεί και μια προκαταρκτική σύγκριση των προτεινόμενων τιμών της ταχύτητας του ανέμου για επιλεγμένες περιπτώσεις τραχύτητας εδάφους. (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 2.12).
- Στην ενότητα 3.3 η εφαρμογή εξετάζει τη μεταβολή των βασικών λειτουργικών μεγεθών ενός ανεμοκινητήρα (ροπή αξόνων, ροή ισχύος, κ.λ.π) κατά τη διάρκεια λειτουργίας του

(Βιβλίο 1-Εφαρμογή 3.7).

- Στην ενότητα 3.4 η εφαρμογή μελετά τη διαχρονική πορεία του μέσου μεγέθους των εγκαθιστάμενων στη χώρα μας αιολικών μηχανών και επιχειρεί να το συγκρίνει με τα αντίστοιχα διεθνή μεγέθη (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 6.4).
- Στην ενότητα 3.5 η εφαρμογή εξετάζει το χρόνο απόσβεσης και τα οικονομικά αποτελέσματα μικρής αιολικής εγκατάστασης απομονωμένου ιδιοπαραγωγού, ο οποίος χρησιμοποιεί και συγκρότημα ηλεκτρικών συσσωρευτών για πλήρη κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Επίσης, μελετάται η επίδραση της ετήσιας αναπροσαρμογής της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας στην οικονομική συμπεριφορά της επένδυσης (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 7.3).
- Στην ενότητα 3.6 η εφαρμογή διερευνά την οικονομική βιωσιμότητα ίδρυσης και λειτουργίας ανεξάρτητου αιολικού σταθμού σε νησιωτική περιοχή, ο οποίος διαθέτει την ενεργειακή του παραγωγή στο τοπικό δίκτυο (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 7.6).
- Στην ενότητα 3.7 η εφαρμογή επιχειρεί τον προσδιορισμό του χρόνου ενεργειακής απόσβεσης μιας αιολικής μηχανής, δηλαδή του απαιτούμενου χρόνου μέσα στον οποίο η υπό μελέτη μηχανή θα παράγει από τον άνεμο την ενέργεια η οποία δαπανήθηκε για την κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση της (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 8.10).
- Στην ενότητα 3.8 η εφαρμογή εξετάζει τη μεθοδολογία υπολογισμού του συντελεστή χρησιμοποίησης ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει της γωνίας τοποθέτησης της συλλεκτικής επιφάνειας για διαφορετικές κατανομές κατανάλωσης ζεστού νερού (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 2.4).
- Στην ενότητα 3.9 η εφαρμογή επιχειρεί τον προσδιορισμό του χρόνου ενεργειακής απόσβεσης μιας Φ/Β εγκατάστασης αποτελούμενης από διαφορετικού τύπου πλαίσια, δηλαδή του απαιτούμενου χρόνου μέσα στον οποίο η υπό μελέτη εγκατάσταση θα παράγει από τον ήλιο την ενέργεια η οποία δαπανήθηκε για την κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση της (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 4.12).
- Στην ενότητα 3.10 η εφαρμογή επιχειρεί τον προσδιορισμό της καθαρής παρούσας αξίας Φ/Β επένδυσης, καθώς και τον καθορισμό του αντίστοιχου εσωτερικού συντελεστή απόδοσης. Ακολούθως, διερευνάται η μεταβολή του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας της εγκατάστασης (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 5.5).
- Στην ενότητα 3.11 η εφαρμογή μελετά το κόστος ίδρυσης και την ελάχιστη απαιτούμενη στρεμματική απόδοση ενός θερμοκηπίου σε νησί της χώρας μας, προκειμένου να εξασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 5.9).

### 3.2. Ημιεμπειρικές κατανομές ταχύτητας ανέμου εντός του πλανητικού οριακού στρώματος (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 2.12)

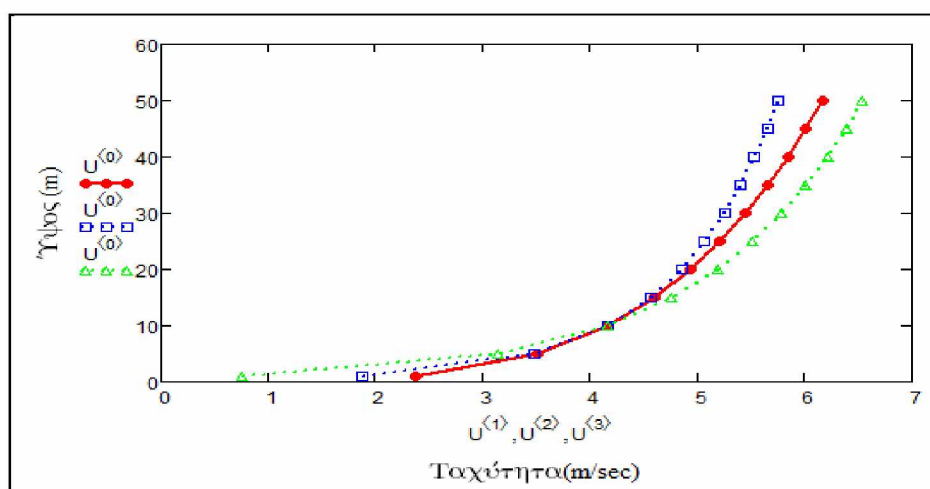
Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής της ενότητας 3.2 υπολογίζεται η αναμενόμενη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιώντας την εκθετική κατανομή. Για τον σκοπό αυτό έχουμε ως δεδομένα το μέγιστο ύψος υπολογισμού της ταχύτητας, το ύψος αναφοράς και τη μέση ταχύτητα στην υπό μελέτη περιοχή. Σε δεύτερο στάδιο υπολογίζεται η αναμενόμενη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στην ίδια περιοχή χρησιμοποιώντας τη λογαριθμική κατανομή ταχύτητας και για δυο διαφορετικές τιμές τοπικής τραχύτητας ανέμου.

Τα αποτελέσματα υπολογισμού της ταχύτητας για την εκθετική κατανομή και για ύψος από 1 έως 50 m δίνονται στην στήλη 1 του πίνακα 3.1. Επίσης για την λογαριθμική κατανομή και για τις δυο διαφορετικές τιμές τοπικής τραχύτητας τα αποτελέσματα φαίνονται στις στήλες 2 και 3. Τέλος στο σχήμα 3.1 φαίνεται γραφικά η σύγκριση των κατανομών.

	0	1	2	3	
0	1	2.3689	1.8792	0.7556	m sec
1	5	3.5114	3.4735	3.1354	
2	10	4.16	4.16	4.1603	
3	15	4.5936	4.5617	4.7598	
4	20	4.9285	4.8466	5.1852	
5	25	5.2049	5.0677	5.5151	
6	30	5.4422	5.2483	5.7847	
7	35	5.6513	5.401	6.0126	
8	40	5.8389	5.5332	6.2101	
9	45	6.0095	5.6499	6.3842	
10	50	6.1664	5.7543	6.54	

$U := \text{augment}(z_3, A, B, C) =$

Πίνακας 3.1 Κατανομή ταχύτητας ανέμου

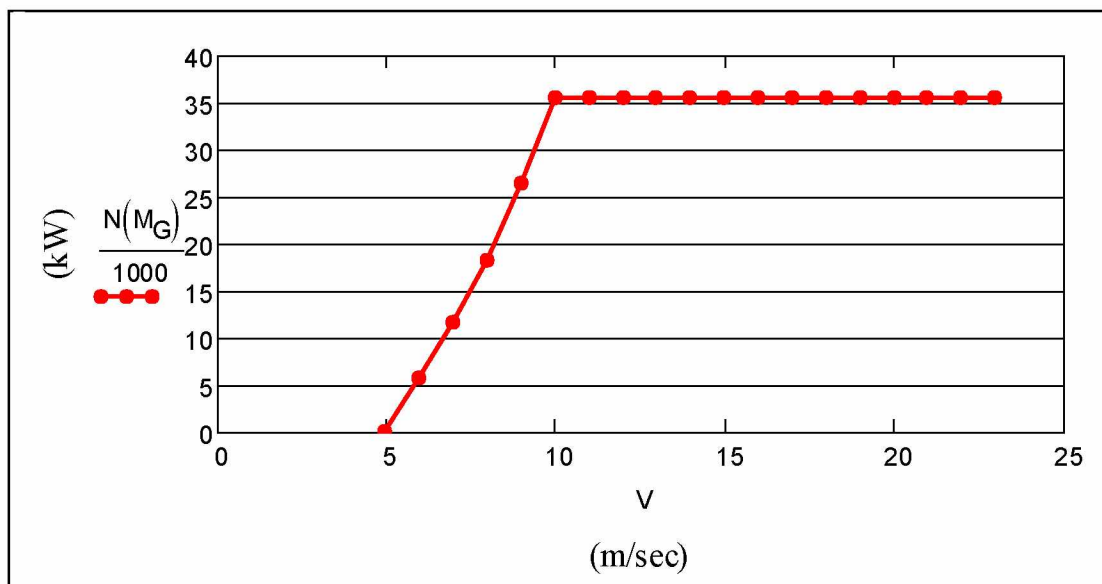


Σχήμα 3.1 Σύγκριση θεωρητικών κατανομών ταχύτητας ανέμου

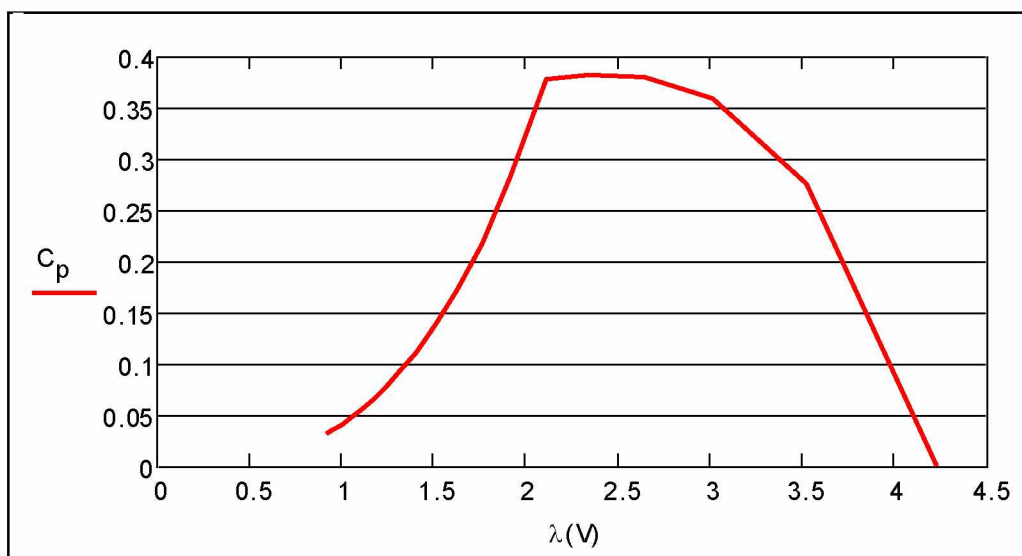
### 3.3. Βασικά λειτουργικά μεγέθη ανεμοκινητήρα (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 3.7)

Στην εφαρμογή της ενότητας 3.3 σχεδιάζεται η καμπύλη ισχύος εξόδου μιας πειραματικής Α/Γ και η καμπύλη του αεροδυναμικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει της παραμέτρου περιστροφής της περωτής. Επίσης υπολογίζονται οι απώλειες του κιβωτίου μετάδοσης της Α/Γ. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται ως δεδομένα η διάμετρος περωτής της Α/Γ, η πυκνότητα του αέρα της σήραγγας, οι στροφές, ο λόγος μετάδοσης κιβωτίου και ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας. Επίσης στην εφαρμογή δίνεται και πίνακας τιμών ροπών στον άξονα και μετά το κιβώτιο μετάδοσης της Α/Γ για διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου.

Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται η μεταβολή ισχύος εξόδου της Α/Γ ενώ στο σχήμα 3.3 η καμπύλη του αεροδυναμικού βαθμού απόδοσης της Α/Γ. Τέλος στην προτελευταία στήλη του πίνακα 3.2 υπολογίζονται οι απώλειες του κιβωτίου μετάδοσης σε kW.



Σχήμα 3.2 Μεταβολή ισχύος εξόδου της Α/Γ συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου



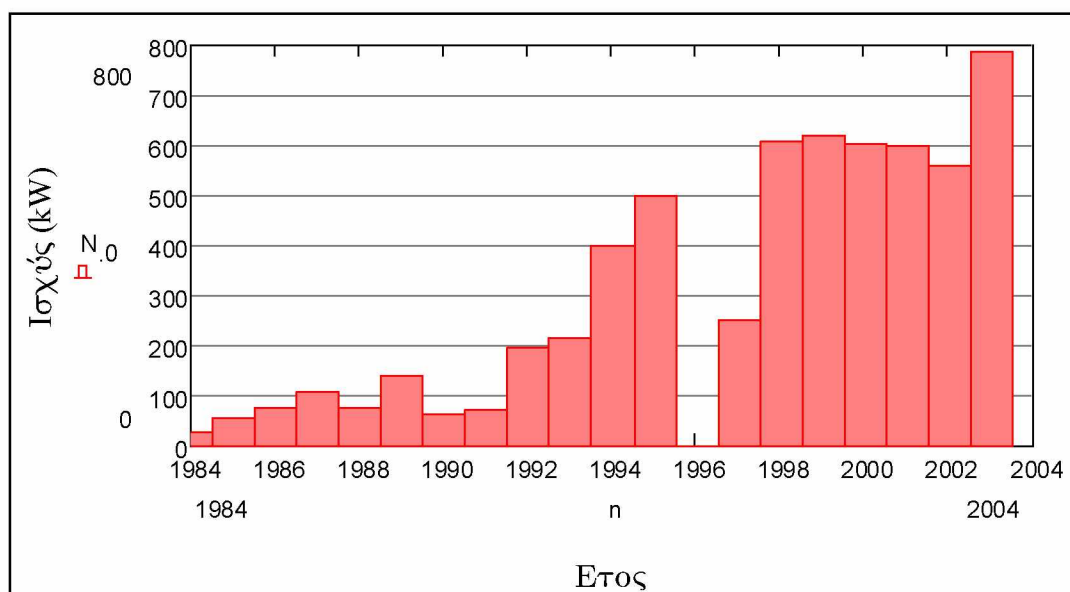
Σχήμα 3.3 Μεταβολή του αεροδυναμικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει της παραμέτρου περιστροφής της πτερωτής

V =	$M_{\pi\tau} =$	$M_G =$	$N_{in} =$	$N_{out} =$	$\delta N_k =$	$\frac{\delta N_k}{N(M_G)} =$
	·N·m	·N·m	·kW	·kW	·kW	·%
5	0	0	0.000	0.000	0.000	0.00
6	2197.4	476.1	6.202	5.983	0.220	3.94
7	4552.5	989.4	12.850	12.433	0.417	3.60
8	7168.3	1561.1	20.233	19.617	0.616	3.37
9	10282	2246.1	29.022	28.225	0.797	3.03
10	13898	3038.2	39.229	38.179	1.050	2.95
11	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
12	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
13	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
14	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
15	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
16	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
17	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
18	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
19	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
20	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
21	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
22	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91
23	13856	3030.2	39.110	38.079	1.032	2.91

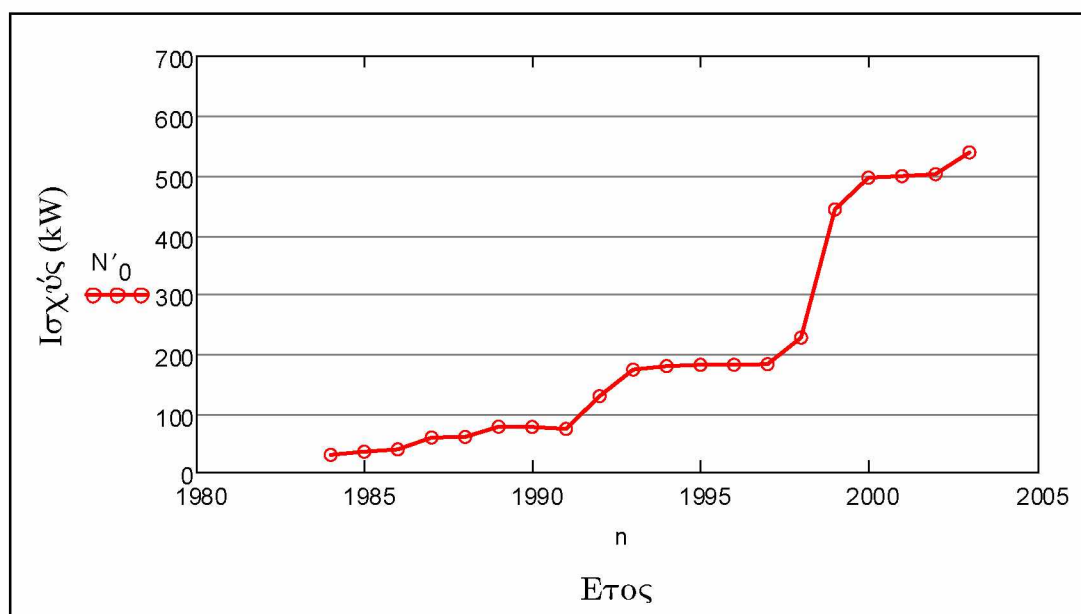
Πίνακας 3.2 Υπολογισμός απωλειών κιβωτίου μετάδοσης

### 3.4. Διαχρονική πορεία του μέσου μεγέθους των εγκαθιστάμενων στη χώρα μας αιολικών μηχανών (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 6.4)

Στην εφαρμογή της ενότητας 3.4 έχουμε ως δεδομένα τις γραφικές παραστάσεις της διαχρονικής εξέλιξης του αριθμού των υφιστάμενων αιολικών μηχανών και της μεταβολής της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα για την περίοδο 1984-2003. Με βάση αυτά τα δεδομένα υπολογίζουμε τη διαχρονική εξέλιξη του μέσου ετήσιου μεγέθους εγκατεστημένων αιολικών μηχανών (σχήμα 3.4) καθώς και τη διαχρονική εξέλιξη του μέσου μεγέθους εγκατεστημένων αιολικών μηχανών (σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.4 Διαχρονική εξέλιξη μέσου ετήσιου μεγέθους εγκατεστημένων αιολικών μηχανών



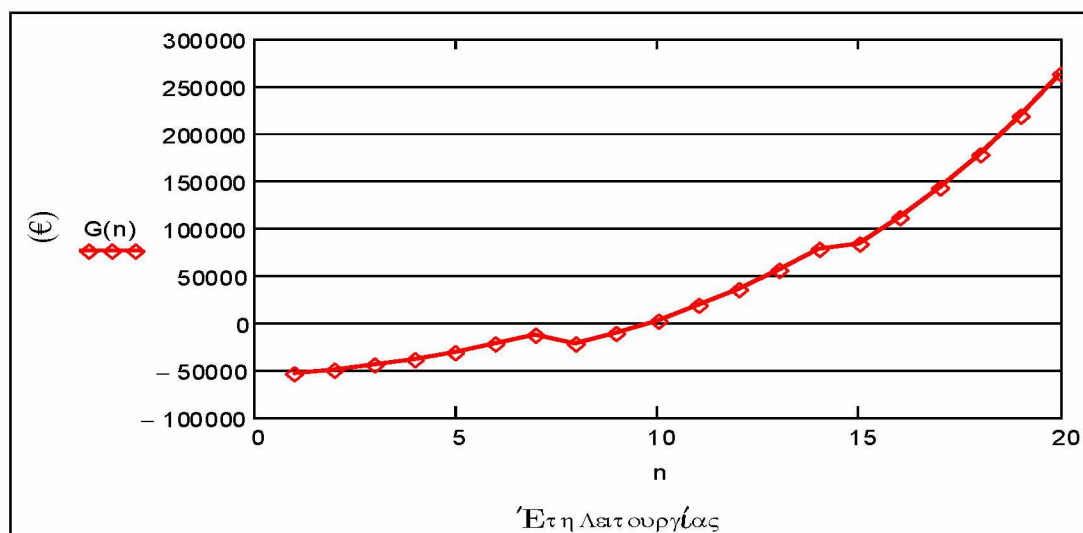
Σχήμα 3.5 Διαχρονική εξέλιξη μέσου μεγέθους εγκατεστημένων αιολικών μηχανών

### 3.5. Χρόνος απόσβεσης μικρής αιολικής εγκατάστασης απομονωμένου ιδιοπαραγωγού και επίδραση ετήσιας αναπροσαρμογής της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 7.3)

Κύριος στόχος της εφαρμογής της ενότητας 3.5 είναι να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης και τα κέρδη μετά από εικοσαετή λειτουργία μιας αιολικής εγκατάστασης, σε συνδυασμό με σύστημα συσσωρευτών, αλλά και να προσδιοριστεί η επίδραση του ετήσιου ρυθμού αναπροσαρμογής της τιμής διάθεσης της αιολικής ενέργειας στην τιμή του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης.

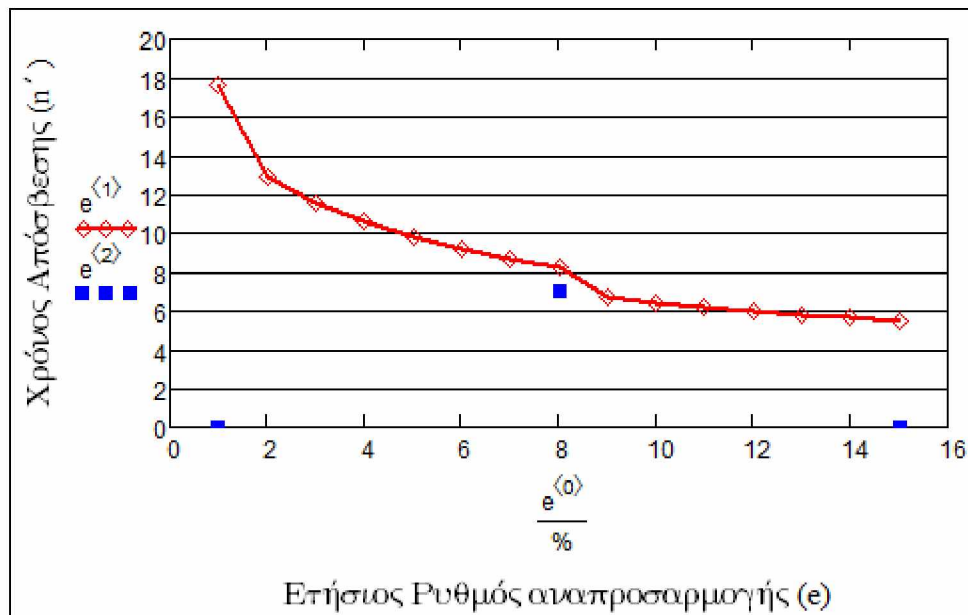
Για τον παραπάνω υπολογισμό χρησιμοποιούμε τα εξής δεδομένα: ονομαστική ισχύς Α/Γ, ενεργειακές απώλειες μονάδος, συντελεστής επιβάρυνσης αρχικού κόστους λόγω συσσωρευτών, έτος αντικατάστασης συστήματος συσσωρευτών, συντελεστής ετήσιου κόστους συντήρησης εγκατάστασης, μέσος συντελεστής ισχύος εγκατάστασης, τεχνική διαθεσιμότητα μονάδος, συντελεστής επιδότησης αρχικού κεφαλαίου επένδυσης, σταθερό ετήσιο επιτόκιο δανείου, ετήσιος πληθωρισμός, αποφευκτέο λειτουργικό κόστος λόγω καυσίμου και ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής της παραγόμενης ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας τα άνωθεν δεδομένα υπολογίζονται τα κέρδη της επένδυσης τα οποία αποτυπώνονται σε γράφημα στο σχήμα 3.6. Επίσης ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6, υπολογίζεται σε 9.82 έτη.



Σχήμα 3.6 Οικονομική συμπεριφορά αιολικής επένδυσης

Τέλος με επανάληψη υπολογισμών με τιμές του ετήσιου ρυθμού αναπροσαρμογής που κυμαίνονται από 1% έως 15% υπολογίζουμε εκ νέου τον χρόνο απόσβεσης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.7.



**Σχήμα 3.7** Επίδραση ετήσιου ρυθμού αναπροσαρμογής στο χρόνο απόσβεσης αιολικής επένδυσης

### 3.6. Οικονομική βιωσιμότητα ίδρυσης και λειτουργίας ανεξάρτητου αιολικού σταθμού σε νησιωτική περιοχή (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 7.6)

Η εφαρμογή της ενότητας 3.6 επιχειρεί να υπολογίσει τις εξής παραμέτρους για έναν αιολικό σταθμό ισχύος 9 MW: αρχικό κόστος της εγκατάστασης και ύψος ίδιων και ξένων κεφαλαίων επένδυσης, διαχρονική εξέλιξη των εσόδων και του κόστους της επένδυσης (αγνοώντας το μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας) και χρόνο απόσβεσης για διάρκεια ζωής επένδυσης 20 χρόνια.

Για τον υπολογισμό των ανωτέρω τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα είναι τα εξής: ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας, ετήσιος πληθωρισμός, ετήσιο κόστος χρήματος, αρχικό κόστος διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ, μέσος συντελεστής ισχύος και τεχνική διαθεσιμότητα εγκατάστασης, αριθμός και ονομαστική ισχύς μηχανών, συντελεστής ίδιων κεφαλαίων επένδυσης, συντελεστής κρατικής επιδότησης αρχικού κεφαλαίου και απόδοση ιδίων κεφαλαίων επενδυτή.

Με χρήση των ανωτέρω δεδομένων προκύπτει ο συγκεντρωτικός πίνακας 3.3 στον οποίο απεικονίζεται η τιμή ορισμένων οικονομικών παραμέτρων της επένδυσης. Επίσης στον πίνακα 3.4 φαίνονται τα αποτελέσματα της διαχρονικής εξέλιξης των εσόδων και των εξόδων της επένδυσης. Τέλος ο υπολογισμός για το χρόνο απόσβεσης της επένδυσης μας δίνει την τιμή 5.53 έτη.



<i>Ζητούμενα εφαρμογής</i>	<i>Υπολογισθείσα Τιμή</i>
Αρχικό κόστος επένδυσης	13.133.920 €
Ιδιωτικά κεφάλαια	3.940.176 €
Επιχορηγήσεις - Κρατική επιδότηση	5.253.568 €
Δανειακή συμμετοχή	3.940.176 €
Ετήσια έσοδα	2.011.602,6 €
Χρόνος απόσβεσης σε έτη	5.53

**Πίνακας 3.3** Υπολογιζόμενοι οικονομικοί παράμετροι επένδυσης

n =	$\frac{R(n)}{1000} =$	$\frac{FC(n)}{1000} =$	$\frac{C(n)}{1000} =$
1	2072	287	8995
2	4455	620	10243
3	7187	1004	11642
4	10314	1447	13209
5	13884	1957	14963
6	17952	2540	16926
7	22580	3208	19121
8	27838	3971	21577
9	33803	4840	24324
10	40563	5829	27394
11	48215	6953	30826
12	56868	8229	34662
13	66647	9675	38948
14	77687	11314	43737
15	90144	13168	49087
16	104189	15265	55064
17	120016	17634	61739
18	137843	20309	69195
19	157912	23327	77522
20	180494	26731	86821

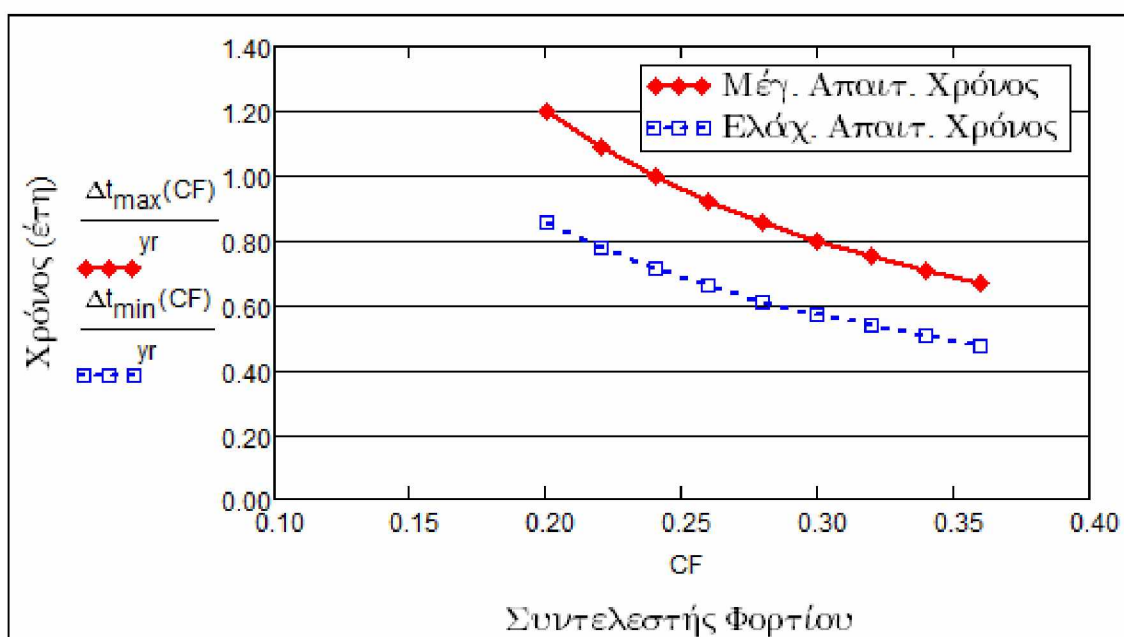
**Πίνακας 3.4** Διαχρονική εξέλιξη εσόδων-εξόδων της επένδυσης (χιλιάδες €)

### 3.7. Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικής μηχανής (Βιβλίο 1-Εφαρμογή 8.10)

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή σε πρώτο στάδιο προσπαθούμε να εκτιμήσουμε τον απαιτούμενο χρόνο λειτουργίας μιας αιολικής μηχανής, ώστε να επιτευχθεί η απόσβεση της ενέργειας. Για την εκτίμηση αυτού του χρόνου χρησιμοποιούμε τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτούνται για την ίδρυση του αιολικού σταθμού. Επίσης χρησιμοποιούνται αντιπροσωπευτικές τιμές για τον συντελεστή φορτίου της εγκατάστασης, που κυμαίνεται από 20% έως 36%. Με υπολογισμό καταλήγουμε στα αποτελέσματα του πίνακα 3.5 και στα γραφήματα του σχήματος 3.8.

CF =	$\Delta t_{\max}(\text{CF}) =$	$\Delta t_{\min}(\text{CF}) =$	$\Delta t_{\max}(\text{CF}) =$	$\Delta t_{\min}(\text{CF}) =$
	·hr	·hr	·yr	·yr
20	10500.00	7500.00	1.198	0.856
22	9545.45	6818.18	1.089	0.778
24	8750.00	6250.00	0.998	0.713
26	8076.92	5769.23	0.921	0.658
28	7500.00	5357.14	0.856	0.611
30	7000.00	5000.00	0.799	0.570
32	6562.50	4687.50	0.749	0.535
34	6176.47	4411.76	0.705	0.503
36	5833.33	4166.67	0.665	0.475

Πίνακας 3.5 Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικού πάρκου

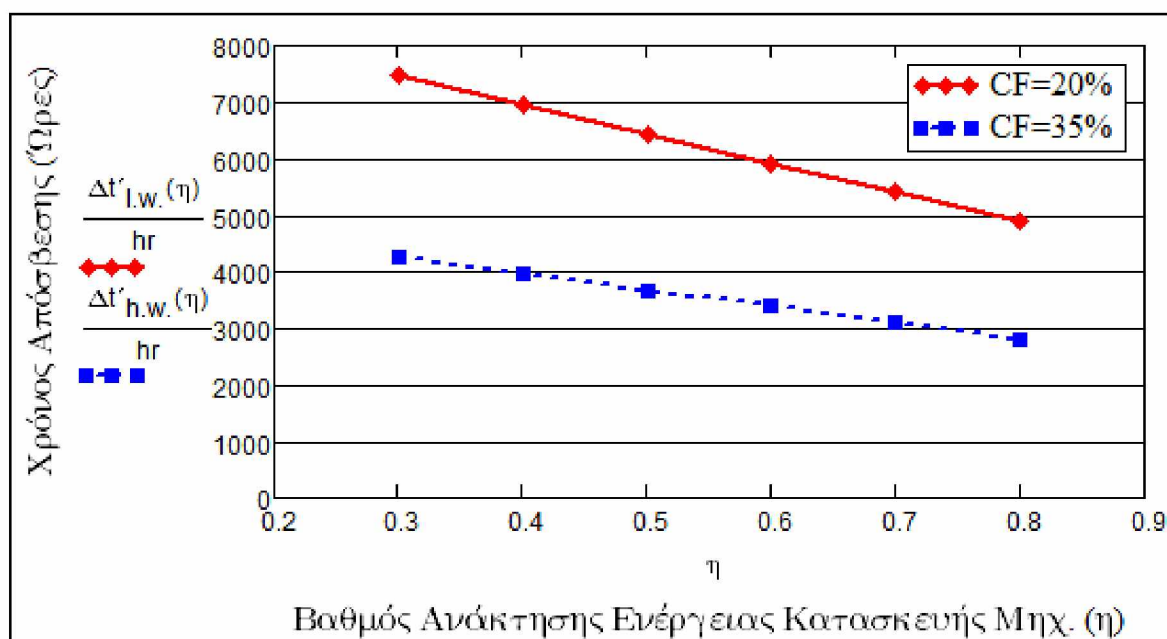


Σχήμα 3.8 Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικού πάρκου

Σε δεύτερο στάδιο, έχοντας ως δεδομένα δυο αντιπροσωπευτικές τιμές για τον συντελεστή φορτίου αιολικής εγκατάστασης (χαμηλός και υψηλός συντελεστής) και ένα διάλυμα τιμών για τον βαθμό ενεργειακής ανάκτησης, επανεκτιμούμε το χρόνο ενεργειακής απόσβεσης της αιολικής εγκατάστασης ώστε να συμπεριλάβουμε την δυνατότητα ανακύκλωσης των υλικών κατασκευής των Α/Γ. Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα του υπολογισμού αποτυπώνονται στον πίνακα 3.6 και στα γραφήματα του σχήματος 3.9.

$\eta =$	$\Delta t'_{l.w.}(\eta) =$	$\Delta t'_{h.w.}(\eta) =$
30 %	7462.5 hr	4264.3 hr
40	6950.0	3971.4
50	6437.5	3678.6
60	5925.0	3385.7
70	5412.5	3092.9
80	4900.0	2800.0

**Πίνακας 3.6** Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης (ώρες) αιολικής μηχανής (συνυπολογίζοντας και τη δυνατότητα ενεργειακής ανάκτησης)



**Σχήμα 3.9** Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης αιολικών μηχανών συναρτήσει του βαθμού ενεργειακής ανάκτησης μέσω ανακύκλωσης

### 3.8. Υπολογισμός συντελεστή χρησιμοποίησης ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει γωνίας τοποθέτησης συλλεκτικής επιφάνειας (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 2.4)

Η εφαρμογή της ενότητας 3.8 υπολογίζει τον μηνιαίο και τον ετήσιο συντελεστή χρησιμοποίησης (capacity factor) επίπεδου ηλιακού συλλέκτη τοποθετημένου στην Αθήνα. Για τον υπολογισμό έχουμε ως δεδομένα την επιφάνεια και τον μέσο βαθμό απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη, πίνακα τιμών με την μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία για την Αθήνα, την μέση ημερησία ζήτηση ζεστού νερού καθώς και τέσσερις διαφορετικές γωνίες κλίσης συλλέκτη για τις οποίες ζητείται ο υπολογισμός του συντελεστή χρησιμοποίησης.

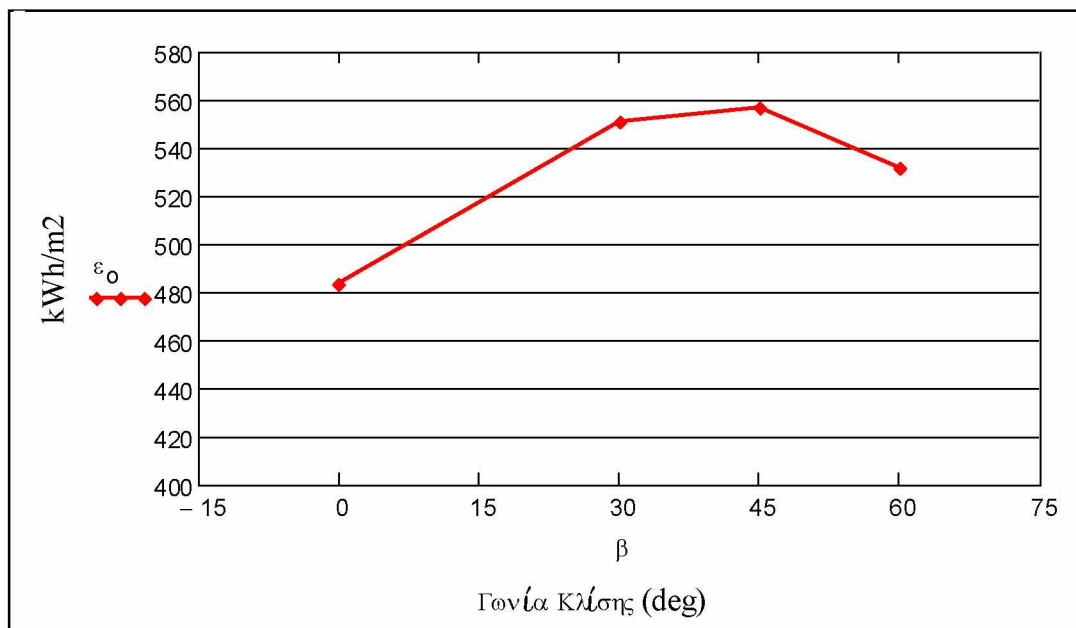
Στον πίνακα 3.7 απεικονίζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού του μηνιαίου και του ετήσιου συντελεστή χρησιμοποίησης. Ο ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης δίνεται στην τελευταία γραμμή του πίνακα 3.7. Βάσει των αποτελεσμάτων των υπολογισμών και την κλίση τοποθέτησης του συλλέκτη προκύπτει το σχήμα 3.10, που απεικονίζει τη μεταβολή του ετήσιου συντελεστή χρησιμοποίησης συναρτήσει της γωνίας κλίσης του συλλέκτη. Από το διάγραμμα του σχήματος 3.10 προκύπτει ότι η βέλτιστη αξιοποίηση του ηλιακού συλλέκτη επιτυγχάνεται για γωνία τοποθέτησης 45°.

Επίσης για την περίπτωση που η ζήτηση του φορτίου (ζεστό νερό) μηδενίζεται κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8 και το σχήμα 3.11. Και για την περίπτωση της τροποποιημένης ζήτησης η βέλτιστη αξιοποίηση του ηλιακού συλλέκτη επιτυγχάνεται για γωνία τοποθέτησης 45°.

$$\text{stack}\left(\text{augment}\left(G_T^{(0)}, \varepsilon_i, \varepsilon_0^T\right)\right) =$$

	0	1	2	3	4
0	"ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ"	20.30	30.45	33.25	33.95
1	"ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ"	25.90	34.65	36.40	36.05
2	"ΜΑΡΤΙΟΣ"	38.50	45.15	44.80	42.70
3	"ΑΠΡΙΛΙΟΣ"	51.45	53.20	50.40	45.15
4	"ΜΑΙΟΣ"	60.00	60.00	56.70	48.30
5	"ΙΟΥΝΙΟΣ"	55.00	55.00	55.00	47.25
6	"ΙΟΥΛΙΟΣ"	50.00	50.00	50.00	50.00
7	"ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ"	50.00	50.00	50.00	50.00
8	"ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ"	52.15	57.50	57.50	54.25
9	"ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ"	36.40	47.60	49.70	49.00
10	"ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ"	24.50	37.80	40.25	41.30
11	"ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ"	18.90	29.75	32.90	33.95
12	0.00	483.11	551.11	556.91	531.91

**Πίνακας 3.7** Συντελεστής χρησιμοποίησης για γωνίες κλίσης 0°, 30°, 45° και 60°

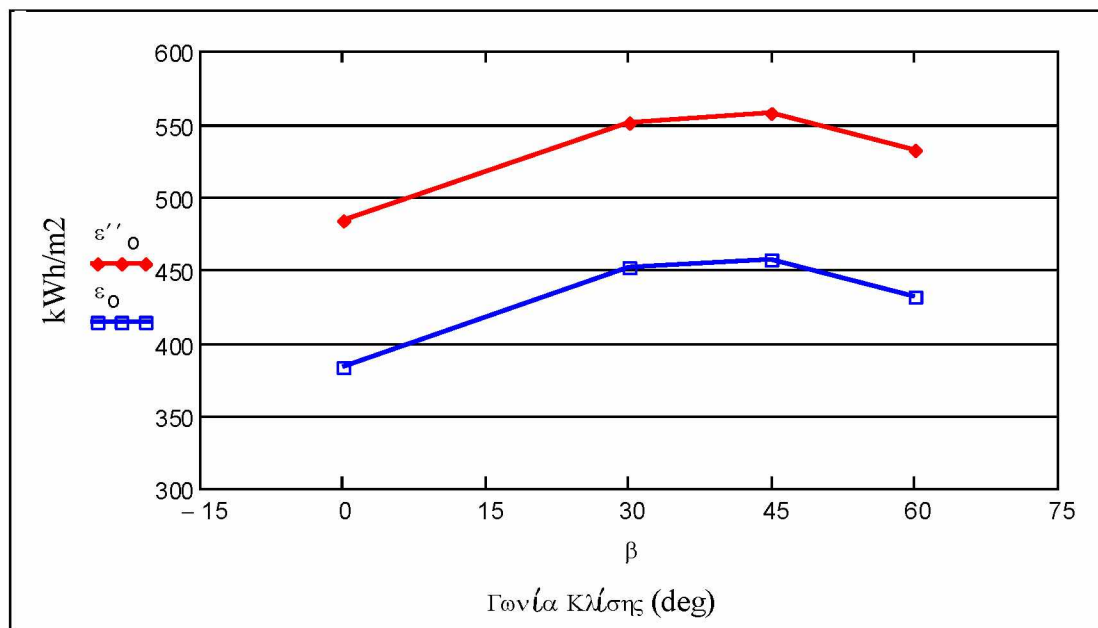


**Σχήμα 3.10** Ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης συναρτήσει της γωνίας κλίσης του ηλιακού συλλέκτη

$$\text{stack}\left(\text{augment}\left(G_T^{(0)}, Q_i, \varepsilon_i\right), \varepsilon_0^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5
0	"ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ"	140.00	20.30	30.45	33.25	33.95
1	"ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ"	134.99	25.90	34.65	36.40	36.05
2	"ΜΑΡΤΙΟΣ"	135.01	38.50	45.15	44.80	42.70
3	"ΑΠΡΙΛΙΟΣ"	125.01	51.45	53.20	50.40	45.15
4	"ΜΑΙΟΣ"	120.00	60.00	60.00	56.70	48.30
5	"ΙΟΥΝΙΟΣ"	110.01	55.00	55.00	55.00	47.25
6	"ΙΟΥΛΙΟΣ"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	"ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	"ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ"	114.99	52.15	57.50	57.50	54.25
9	"ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ"	124.99	36.40	47.60	49.70	49.00
10	"ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ"	135.00	24.50	37.80	40.25	41.30
11	"ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ"	140.00	18.90	29.75	32.90	33.95
12	0.00	0.00	383.11	451.10	456.90	431.90

**Πίνακας 3.8** Συντελεστής χρησιμοποίησης για γωνίες κλίσης 0°, 30°, 45° και 60° και με μηδενική ζήτηση για τον Ιούλιο και τον Αύγουστο



**Σχήμα 3.11** Ετήσιοι συντελεστές χρησιμοποίησης συναρτήσει της γωνίας κλίσης και της διαφορετικής μηνιαίας ζήτησης

### 3.9. Υπολογισμός χρόνου ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β εγκατάστασης αποτελούμενης από διαφορετικού τύπου πλαίσια (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 4.12)

Στην εφαρμογή της ενότητας 3.9 αρχικά θα εκτιμηθεί ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας μιας Φ/Β εγκατάστασης, αποτελούμενης με Φ/Β πλαίσια 3 διαφορετικών τύπων κάθε φορά, ώστε να επιτευχθεί η απόσβεση της ενέργειας για κάθε περίπτωση. Στην διαδικασία του υπολογισμού λαμβάνονται υπόψη τα εξής δεδομένα: βαθμοί απόδοσης για του τρεις καθιερωμένους τύπους Φ/Β πλαισίων με βάση το πυρίτιο (άμορφο, πολυκρυσταλλικό και μονοκρυσταλλικό πυρίτιο), διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για την περιοχή της Αθήνας και πίνακας τιμών (για κάθε τύπο Φ/Β πλαισίου) με την ενεργειακή κατανάλωση κατασκευής, εγκατάστασης, λειτουργίας και αποξήλωσης Φ/Β πάρκου.

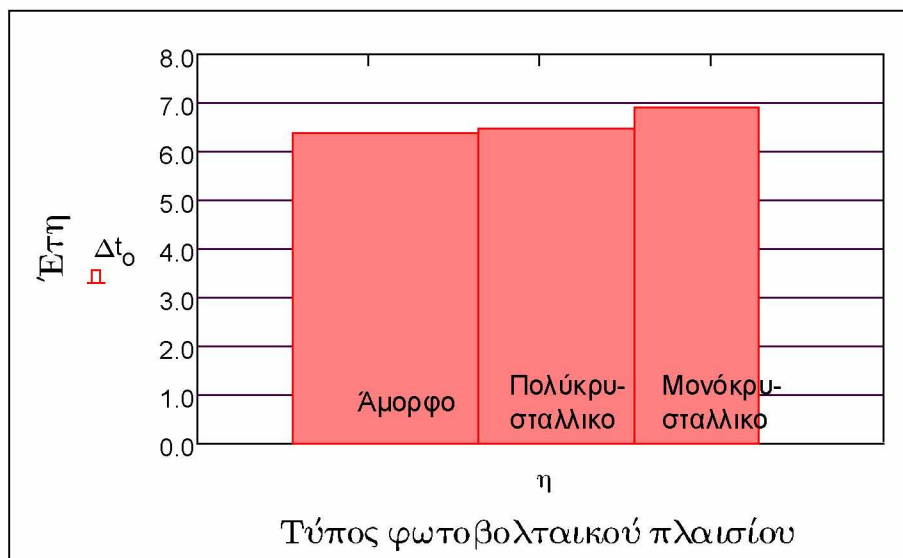
Βάσει των ανωτέρω, προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 3.9 και του σχήματος 3.12, για κάθε τύπο Φ/Β πλαισίου. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο αναμενόμενος χρόνος ενεργειακής απόσβεσης των Φ/Β εγκαταστάσεων πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ των έξι και των επτά ετών λειτουργίας και ότι τα πλαίσια άμορφου πυριτίου εμφανίζουν το χαμηλότερο χρόνο ενεργειακής απόσβεσης.

Στη συνέχεια θεωρούμε δυο οριακές τιμές για τον βαθμό ενεργειακής ανάκτησης ανακύκλωσης υλικών κατασκευής και για τον μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης Φ/Β πλαισίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου ώστε να επανεκτιμήσουμε τον χρόνο ενεργειακής απόσβεσης.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, για την περίπτωση της ενεργειακής ανάκτησης, φαίνονται στον πίνακα 3.10. Οπότε φαίνεται ότι στην περίπτωση της ανακύκλωσης των υλικών κατασκευής των Φ/Β πλαισίων παρατηρείται σημαντική μείωση του χρόνου ενεργειακής απόσβεσης των Φ/Β εγκαταστάσεων.

Δραστηριότητα	Άμορφο Πυρίτιο	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο
Βαθμός Απόδοσης(%)	9	12	14
Ανηγμένη Ετήσια Ενεργειακή Παραγωγή(kWh/m <sup>2</sup> )	155.7	207.6	242.2
Χρόνος Ενεργειακής Απόσβεσης(έτη)	6.387	6.463	6.916

**Πίνακας 3.9** Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β πάρκου (πλαίσια πυριτίου)



**Σχήμα 3.12** Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β εγκαταστάσεων

Βαθμός Ενεργειακής Ανάκτησης	Απόδοση Εγκατάστασης	
	14%	10%
30%	3.88	5.43
80%	1.11	1.55

**Πίνακας 3.10** Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης Φ/Β εγκατάστασης πολυκρυσταλλικού πυριτίου (έτη) με ανάκτηση ενέργειας

### 3.10. Προσδιορισμός καθαρής παρούσας αξίας και εσωτερικού συντελεστή απόδοσης συναρτήσεως του χρόνου λειτουργίας Φ/Β εγκατάστασης (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 5.5)

Στην εφαρμογή μελετάται η οικονομική βιωσιμότητα ίδρυσης και λειτουργίας ανεξάρτητου Φ/Β σταθμού ισχύος 5 MW. Συγκεκριμένα υπολογίζονται οι κάτωθι οικονομικοί παράμετροι:

- Καθαρά παρούσα αξία και εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) της επένδυσης μετά από τριακονταετή περίοδο λειτουργίας της εγκατάστασης.
- IRR για εικοσιπενταετή, εικοσαετή, δεκαπενταετή και δεκαετή περίοδο λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Την μεταβολή του IRR της επένδυσης συναρτήσεως του χρόνου λειτουργίας της εγκατάστασης.

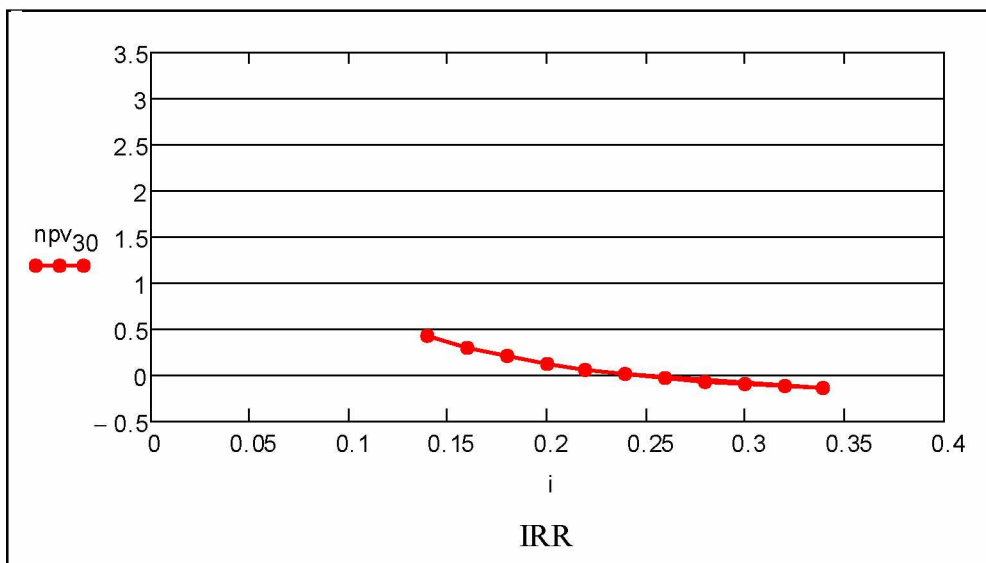
Για την πραγματοποίηση του υπολογισμού είναι γνωστές οι τιμές των ακόλουθων παραμέτρων: συνολική ισχύς, έτη λειτουργίας και συντελεστής φορτίου εγκατάστασης, ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας, ετήσιος πληθωρισμός, ετήσιο κόστος χρήματος, συντελεστής ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας, συντελεστής ίδιων κεφαλαίων επένδυσης, συντελεστής δανειακών κεφαλαίων επένδυσης, συντελεστής κρατικής επιδότησης αρχικού κεφαλαίου, ελάχιστη απόδοση ίδιων κεφαλαίων επενδυτή και η ανηγμένη τιμή κόστους αγοράς των Φ/Β.

Με τη χρήση των παραπάνω παραμέτρων υπολογίζονται το αρχικό κόστος επένδυσης 24.437.500 €, τα ετήσια έσοδα 2.628.000 € και τελικά η καθαρή παρούσα αξία 26.706.545 €. Επίσης στον πίνακα 3.11 (και στο σχήμα 3.13) αποτυπώνεται ο υπολογισμός του IRR για τριακονταετή λειτουργία εγκατάστασης, από τον οποίο εκτιμάται στο 23.97%.

i =	nr <sub>30</sub> =
14	0.4103
16	0.2863
18	0.1896
20	0.1128
22	0.0507
24	-0.0004
26	-0.0431
28	-0.0792
30	-0.1101
32	-0.1368
34	-0.1601
23.97	0.0003

Πίνακας 3.11 Υπολογισμός IRR Φ/Β επένδυσης (30ετής λειτουργία)





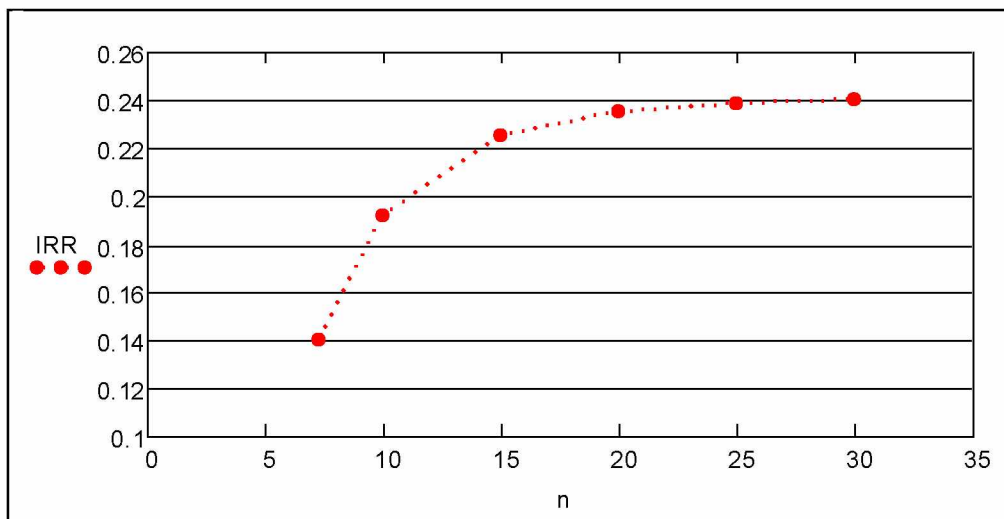
**Σχήμα 3.13** Μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της Φ/Β επένδυσης

Στη συνέχεια επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς για εικοσιπενταετή, εικοσαετή, δεκαπενταετή και δεκαετή λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης υπολογίζεται ο IRR και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.12. Βάσει των υπολογισθέντων τιμών του IRR προκύπτει ότι μετά τα είκοσι (20) έτη λειτουργίας της εγκατάστασης η τιμή του IRR δεν αυξάνει ιδιαίτερα και τείνει ασυμπτωτικά στο 24%.

n :=	IRR :=
7.27	0.1400
10	0.1915
15	0.2249
20	0.2350
25	0.2385
30	0.2397

**Πίνακας 3.12** Μεταβολή IRR συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας της Φ/Β επένδυσης

Τέλος, σύμφωνα με το σχήμα 3.14 και τον πίνακα 3.12, η επένδυση ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή (ελάχιστη απόδοση 14%) για χρόνο λειτουργίας μεγαλύτερο από 7.27 έτη.



**Σχήμα 3.14** Μεταβολή του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας της επένδυσης

### 3.11. Μελέτη κόστους ίδρυσης και υπολογισμός ελάχιστης απαιτούμενης στρεμματικής απόδοσης μικρής θερμοκηπιακής μονάδας (Βιβλίο 2-Εφαρμογή 5.9)

Η εφαρμογή μελετά το κόστος ίδρυσης και την ελάχιστη απαιτούμενη στρεμματική απόδοση ενός θερμοκηπίου σε νησί της χώρας μας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Συγκεκριμένα υπολογίζονται οι παρακάτω παράμετροι:

- Το εμβαδόν του υλικού κάλυψης και όγκος του θερμοκηπίου.
- Το αρχικό κόστος ίδρυσης του θερμοκηπίου.
- Το ετήσιο κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης λόγω της πρόσθετης κατανάλωσης πετρελαίου και το αντίστοιχο ετήσιο σταθερό κόστος συντήρησης. Στην περίπτωση αυτή εκτιμάται και η εξοικονομούμενη ποσότητα πετρελαίου λόγω της αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο περίβλημα του θερμοκηπίου.
- Η απαιτούμενη ελάχιστη ετήσια στρεμματική απόδοση του θερμοκηπίου για μεταβλητή διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.

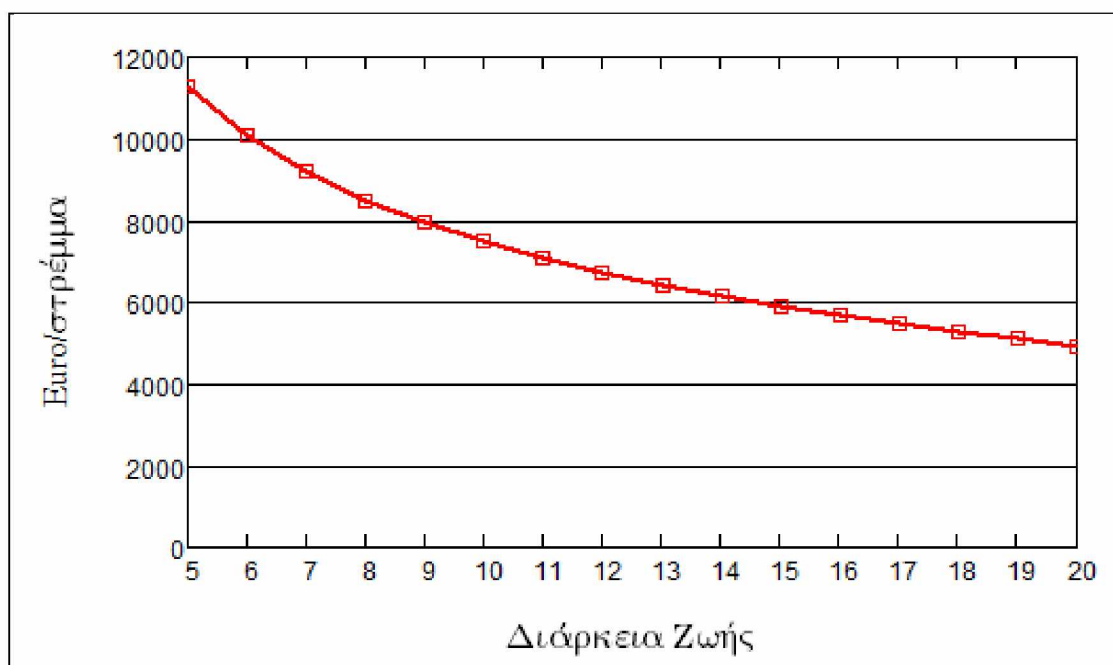
Για τους υπολογισμούς έχουμε ως δεδομένα τις εξής παραμέτρους: τις διαστάσεις του θερμοκηπίου, πίνακα τιμών με τις απαιτήσεις θερμότητας για την θερμοκηπιακή καλλιέργεια, τον μέσο ετήσιο ρυθμό αναπροσαρμογής της τιμής του πετρελαίου, την τιμή του αγροτικού πετρελαίου ανά μετρικό τόνο, την πυκνότητα και την θερμογόνο ικανότητα του πετρελαίου, το βαθμό απόδοσης του συμβατικού συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου, το ετήσιο κόστος του χρήματος, τον ετήσιο πληθωρισμό συντήρησης, τον συντελεστή κόστους

συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης και τέλος τον μέσο ετήσιο ρυθμό αναπροσαρμογής της τιμής του αγροτικού προϊόντος. Επίσης για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους εγκατάστασης του θερμοκηπίου δίνονται ως δεδομένα τα κόστη του υλικού κάλυψης, του σκελετού, της θεμελίωσης, του συστήματος θέρμανσης καθώς επίσης και ο συντελεστής αρχικού κόστους μελέτης-εγκατάστασης.

Από τον υπολογισμό προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 3.13. Για την απαιτούμενη ελάχιστη ετήσια στρεμματική για μεταβλητό χρόνο ζωής της εγκατάστασης τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 3.14 και στο σχήμα 3.15.

<i>Ζητούμενα εφαρμογής</i>	<i>Υπολογισθείσα Τιμή</i>
Συνολική επιφάνεια υλικού κάλυψης θερμοκηπίου	11398.96 m <sup>2</sup>
Συνολικός όγκος θερμοκηπίου	31719.70 m <sup>3</sup>
Αρχικό κόστος εγκατάστασης θερμοκηπίου	329442.06 €
Ετήσιο κόστος συντήρησης εγκατάστασης	16472.10 €
Ετήσια έξοδα λειτουργίας εγκατάστασης	57194.28 €
Εξοικονομούμενη ποσότητα πετρελαίου	3.86 m <sup>3</sup>

**Πίνακας 3.13** Υπολογιζόμενοι παράμετροι της θερμοκηπιακής μονάδας



**Σχήμα 3.15** Μεταβολή στρεμματικής απόδοσης για μεταβλητή διάρκεια ζωής της εγκατάστασης

$n_o =$	$c_o(n_o) =$	$\frac{\text{€}}{\text{acre}}$
5	11390.99	
6	10188.64	
7	9297.49	
8	8602.06	
9	8038.13	
10	7567.14	
11	7164.52	
12	6813.86	
13	6503.77	
14	6226.08	
15	5974.79	
16	5745.39	
17	5534.39	
18	5339.07	
19	5157.29	
20	4987.29	

**Πίνακας 3.14** Απαιτούμενη στρεμματική απόδοση θερμοκηπίου για μεταβλητή διάρκεια ζωής της εγκατάστασης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΛΥΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 4.1. Το αντικείμενο των άλυτων εφαρμογών ΑΠΕ

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η παρουσίαση, η ανάλυση αλλά παράλληλα και η επίλυση εφαρμογών σε θέματα ΑΠΕ και Εξοικονόμησης Ενέργειας. Οι ασκήσεις που επιλύονται, με την βοήθεια του λογισμικού MathCad, αντλούνται από το Βιβλίο 3 (Γιάννης Βουρδούμπας, “Ασκήσεις και προβλήματα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”). Από τις διαθέσιμες ασκήσεις του βιβλίου επιλέχθηκαν 5 εφαρμογές που εστιάζουν τόσο στους τομείς της ηλιακής και υδροηλεκτρικής ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα και υδροστρόβιλοι) αλλά όσο και στους τομείς της στερεάς βιομάζας, της γεωθερμικής ενέργειας με χρήση αντλίας θερμότητας και των κυψελών καυσίμου υδρογόνου.

Στη συνέχεια για κάθε μια εφαρμογή, που επιλύεται και παρουσιάζεται σε κάθε μια ενότητα του τρέχοντος κεφαλαίου, περιγράφεται συνοπτικά το περιεχόμενο και το αντικείμενο της ως εξής:

- Στην ενότητα 4.2 η εφαρμογή επιχειρεί να παρουσιάσει τη διαδικασία εύρεσης του ετήσιου κόστους θέρμανσης και της ετήσιας μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> λόγω της χρήσης του πυρηνόξυλου σαν καυσίμου για την θέρμανση ενός θερμοκήπιου. Επιπλέον επιχειρεί τον ακριβή προσδιορισμό της ποσότητας και του κόστους του εξοικονομούμενου πετρελαίου λόγω της αξιοποίησης του εγχώριου δυναμικού της στερεάς βιομάζας (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 3).
- Στην ενότητα 4.3 η εφαρμογή εξετάζει τον τρόπο εκλογής της κατάλληλης τυποποιημένης τουρμπίνας υδροστροβίλου ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά της υδατόπτωσης. Συνεπώς στην εφαρμογή υπολογίζονται κατάλληλα χαρακτηριστικά όπως η ισχύς του απαιτούμενου υδροστροβίλου και η ταχύτητα περιστροφής της τουρμπίνας του (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 10).
- Στην ενότητα 4.4 η εφαρμογή μελετά τον τρόπο θέρμανσης ενός θερμοκηπίου με την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και συνδυαστικά με την χρήση αντλίας θερμότητας (Α.Θ). Επομένως ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της υδροθερμικής πηγής υπολογίζονται διάφοροι παράμετροι όπως η ετήσια κατανάλωση ενέργειας, η ισχύς και η παροχή της Α.Θ καθώς και ο η έκταση του θερμοκηπίου που δύναται να θερμανθεί (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 11).
- Στην ενότητα 4.5 η εφαρμογή μας παρουσιάζει την μεθοδολογία υπολογισμού διαφόρων

παραμέτρων των κυψελών καυσίμου με καύσιμο υδρογόνο (H<sub>2</sub>). Οι χαρακτηριστικές παράμετροι της κυψέλης που υπολογίζονται στην άσκηση είναι η κατανάλωση του οξυγόνου, η ποσότητα εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα, η τάση λειτουργίας, το παραγόμενο νερό καθώς και η παραγόμενη θερμότητα (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 12).

- Τέλος στην ενότητα 4.6 η εφαρμογή επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της μηνιαίας και ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ενός μικρού Φ/Β πάρκου ισχύος 100 kW, διασυνδεδεμένου με το δίκτυο ενέργειας. Επίσης υπολογίζονται τα ετήσια έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας και των εσόδων της Φ/Β εγκατάστασης θα ληφθούν υπόψη οι απώλειες ενέργειας λόγω αυξημένης θερμοκρασίας, επικάθησης σκόνης και οι απώλειες στις καλωδιώσεις, τον αντιστροφέα κ.τ.λ (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 21).

#### **4.2. Υπολογισμός των αναγκών θέρμανσης ενός θερμοκηπίου με χρήση στερεάς βιομάζας (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 3)**

Η εφαρμογή της ενότητας 4.2 χρησιμοποιεί ως καύσιμο το πυρηνόξυλο για την θέρμανση ενός θερμοκηπίου 6 στρεμμάτων. Επομένως επιχειρεί να προσδιορίσει επακριβώς τα εξής ζητούμενα: την απαιτούμενη ποσότητα πυρηνόξυλου για την ετήσια κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, την παροχή του νερού που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις του θερμοκηπίου, το ετήσιο κόστος θέρμανσης με πυρηνόξυλο, τις ετήσιες απαιτήσεις σε μαζούτ για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και επίσης την ετήσια μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> λόγω της χρήσης του πυρηνόξυλου σαν καυσίμου στο θερμοκήπιο.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω ζητούμενων είναι γνωστές οι τιμές των παρακάτω παραμέτρων: οι ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου ανά στρέμμα, η θερμογόνος δύναμη του πυρηνόξυλου, ο βαθμός απόδοσης συστήματος θέρμανσης με πυρηνόξυλο, οι ετήσιες ώρες θέρμανσης του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του θερμού νερού στις σωληνώσεις, η ειδική θερμότητα νερού, το κόστος πυρηνόξυλου, η θερμογόνος δύναμη και ο βαθμός απόδοσης συστήματος θέρμανσης μαζούτ και τέλος οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά kg μαζούτ.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων υπολογίζονται τα ζητούμενα της εφαρμογής των οποίων οι τιμές απεικονίζονται στον πίνακα 4.1.

<i>Ζητούμενα εφαρμογής</i>	<i>Υπολογισθείσα Τιμή</i>
Ετήσια απαιτούμενη ποσότητα πυρηνόξυλου	242.915 τόνοι/έτος
Παροχή θερμού νερού	54545.45 κιλά/ώρα

Ετήσιο κόστος θέρμανσης με πυρηνόξυλο	12145.75 €/έτος
Ετήσιες απαιτήσεις θέρμανσης σε μαζούτ	84.706 τόνοι/έτος
Ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>	290.54 τόνοι CO <sub>2</sub> /έτος
Ετήσιο κόστος θέρμανσης με πετρέλαιο	25411.80 €/έτος

**Πίνακας 4.1** Υπολογιζόμενοι παράμετροι θέρμανσης θερμοκηπίου με πυρηνόξυλο

#### 4.3. Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλου και επιλογή κατάλληλου τύπου τουρμπίνας (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 10)

Στην εφαρμογή της ενότητας 4.3 με δεδομένα τα χαρακτηριστικά μιας υδατόπτωσης (παροχή νερού και κατακόρυφο ύψος υδατόπτωσης στον υδροστροβίλο), τον βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου και την πυκνότητα του νερού επιχειρείται να εκλεγεί ο σωστός τύπος τουρμπίνας βάσει του πίνακα 4.2. Για την εκλογή της τουρμπίνας πρώτα υπολογίζονται η ισχύς του υδροστροβίλου και έπειτα η ειδική ταχύτητα της τουρμπίνας. Στη συνέχεια μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά της υδατόπτωσης επιχειρείται εκ νέου ο ίδιος υπολογισμός.

Οι υπολογισθείσες τιμές για την ισχύ του στροβίλου και την ειδική ταχύτητα της τουρμπίνας καθώς και οι επιλεχθέντες τύποι τουρμπίνων, για 3 διαφορετικές περιπτώσεις υδατοπτώσεων, αποτυπώνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 4.3. Είναι προφανές ότι στην πρώτη περίπτωση, λόγω της πολύ μικρής παροχής νερού, δεν μπορούμε να εκλέξουμε κάποιο τύπο τουρμπίνας από τον πίνακα 4.2.

ΤΥΠΟΣ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
Francis	70-500
Propeller	600-900
Kaplan	350-1000
Pelton 1-jet	10-35
Pelton 2-jet	10-45
Turgo	20-80
Cross-flow	20-90

**Πίνακας 4.2** Ειδική ταχύτητα διαφόρων τύπων υδροστροβίλων

Χαρακτηριστικά υδατόπτωσης		Υπολογισθείσες Τιμές		Τύπος τουρμπίνας
Ύψος υδατόπτωσης	Παροχή νερού	Ισχύς υδροστροβίλου	Ειδική ταχύτητα τουρμπίνας	
100 m	2.4 lt/sec	1.95 kW	7 στροφές/sec	-
200 m	200 lt/sec	325.7 kW	37.9 στροφές/sec	Pelton 2-jet
300 m	2 m <sup>3</sup> /sec	4.9 MW	88.5 στροφές/sec	Francis

**Πίνακας 4.3** Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά και εκλογή τύπου τουρμπίνας

#### 4.4. Θέρμανση θερμοκηπίου με γεωθερμικό ρευστό και αντλίες θερμότητας (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 11)

Στην εφαρμογή της ενότητας 4.4 επιχειρείται ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών θέρμανσης ενός θερμοκηπίου χρησιμοποιώντας μια αντλία θερμότητας (Α.Θ) και ταυτόχρονα αξιοποιώντας την θερμότητα μιας γεωθερμικής πηγής. Με δεδομένα την θερμοκρασία και την παροχή θερμού νερού της γεωθερμικής πηγής, τον βαθμό απόδοσης της Α.Θ, τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού στο θερμοκηπίο, τις ετήσιες ώρες θέρμανσης του θερμοκηπίου, τις ανάγκες θέρμανσης θερμοκηπίου ανά στρέμμα και τη θερμοκρασία εξόδου γεωθερμικού ρευστού από την Α.Θ υπολογίζονται τα οι παράμετροι που φαίνονται στον πίνακα 4.4.

Ζητούμενα εφαρμογής	Υπολογισθείσα Τιμή
Αριθμός στρεμμάτων θερμοκηπίου που δύναται να θερμανθούν	20.45
Συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας από την Α.Θ	624.21 MWh/έτος
Ετήσια θερμότητα που προσδίδεται στο θερμοκήπιο	1997.48 MWh/έτος
Ισχύς Α.Θ	780 kW
Παροχή θερμού νερού εντός του χώρου του θερμοκηπίου	89.5 m <sup>3</sup> /h.

**Πίνακας 4.4** Υπολογιζόμενοι παράμετροι θέρμανσης θερμοκηπίου εφαρμογής 4.4.



#### 4.5. Υπολογισμός διαφόρων παραμέτρων κατά τη λειτουργία κυψέλης καυσίμου με καύσιμο υδρογόνο (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 12)

Με δεδομένα την συνολική ισχύ, τις ώρες λειτουργίας και το βαθμό απόδοσης μιας κυψέλης καυσίμου με καύσιμο το υδρογόνο ( $H_2$ ) υπολογίζονται διάφοροι παράμετροι λειτουργίας της. Οι υπολογιζόμενες αριθμητικές τιμές για τις παραμέτρους παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 4.5.

<i>Ζητούμενα εφαρμογής</i>	<i>Υπολογισθείσα Τιμή</i>
Ποσότητα καταναλισκόμενου $O_2$	80.66 kg/h
Αέρας που χρησιμοποιείται για την παροχή του απαιτούμενου οξυγόνου $O_2$	347.35 kg/h
Εξερχόμενος αέρας από την κυψέλη καυσίμου	266.69 kg/h
Τάση λειτουργίας κυψέλης καυσίμου	0.74 Volt
Ποσότητα χρησιμοποιούμενου $H_2$	10.22 kg/h
Ποσότητα παραγόμενου $H_2O$	90.88 kg/h
Παραγόμενη θερμότητα κατά τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου	1378.4 kW

**Πίνακας 4.5** Υπολογιζόμενοι παράμετροι κυψέλης καυσίμου εφαρμογής 4.5.

#### 4.6. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β πάρκο διασυνδεδεμένο με το δίκτυο (Βιβλίο 3-Εφαρμογή 21)

Στην εφαρμογή της παραγράφου 4.6 επιχειρείται ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας και των εσόδων ενός Φ/Β πάρκου. Το Φ/Β πάρκο είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και βρίσκεται στην περιοχή ης Κρήτης. Ως δεδομένα της εφαρμογής δίνονται η ονομαστική ισχύς και ο συντελεστής καθαρότητας του Φ/Β πάρκου, η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο καθώς και ο συντελεστής απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας της παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πλαίσια. Επίσης δίνεται πίνακας με τις μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και τις μηνιαίες τιμές του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης για συγκεκριμένη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και με υπολογισμούς καταλήγουμε στα αποτελέσματα του πίνακα 4.6, στον οποίο πίνακα φαίνονται οι τιμές της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας.

Επίσης στον πίνακα 4.6 αποτυπώνεται και η συνολική ετήσια ενέργεια που παράγεται από το Φ/Β πάρκο και προκύπτει περίπου 145,5 MWh.

Στη συνέχεια δεχόμενοι ότι υπάρχουν απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας στους αγωγούς και στις ηλεκτρονικές διατάξεις προκύπτουν οι μηνιαίες τιμές της ενέργειας καθώς και η συνολική ετήσια ενέργεια που παρέχει ο Φ/Β σταθμός στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (πίνακας 4.7). Η συνολική ετήσια διοχετευόμενη ενέργεια στο δίκτυο από τον Φ/Β πάρκο, που φαίνεται στην τελευταία γραμμή του πίνακα 4.7, είναι περίπου 119,3 MWh.

Τέλος υπολογίζονται τα έσοδα που προκύπτουν από την λειτουργία του Φ/Β πάρκου (πίνακας 4.8). Τελικά τα ετήσια έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, όπου υπολογίζονται από το άθροισμα όλων των μηνιαίων εσόδων, φαίνονται στην τελευταία γραμμή του πίνακα 4.6 και είναι 50121,60 €.

$a := \text{stack}(\text{"Μήνας"}, M, \text{"Σύνολο"})$   
 $b := \text{stack}(\text{"Παραγόμενη Ενέργεια"}, E, \sum E)$   
 $\text{augmen}(a, b) =$

"Μήνας"	Παραγόμενη Ενέργεια"	· kW · hr
"Ιανουάριος"	7507.20	
"Φεβρουάριος"	8478.72	
"Μάρτιος"	11415.36	
"Απρίλιος"	13005.12	
"Μάιος"	14986.80	
"Ιούνιος"	15220.48	
"Ιούλιος"	16061.36	
"Αύγουστος"	15744.88	
"Σεπτέμβριος"	14407.20	
"Οκτωβρίου"	11511.04	
"Νοέμβριος"	9599.28	
"Δεκέμβριος"	7595.52	
"Σύνολο"	145532.96	

**Πίνακας 4.6** Μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια Φ/Β πάρκου 100 kW

$$c := \text{stack} \left( \text{"Ενέργεια Πώλησης στο Δίκτυο"} , E_{\delta\kappa\tau\upsilon\omicron} , \sum E_{\delta\kappa\tau\upsilon\omicron} \right)$$

augment(a, c) =

"Μήνας"	Ενέργεια Πώλησης στο Δίκτυο"	· kW · hr
"Ιανουάριος"	6155.90	
"Φεβρουάριος"	6952.55	
"Μάρτιος"	9360.60	
"Απρίλιος"	10664.20	
"Μάιος"	12289.18	
"Ιούνιος"	12480.79	
"Ιούλιος"	13170.32	
"Αύγουστος"	12910.80	
"Σεπτέμβριος"	11813.90	
"Οκτωβρίου"	9439.05	
"Νοέμβριος"	7871.41	
"Δεκέμβριος"	6228.33	
"Σύνολο"	119337.03	

**Πίνακας 4.7** Μηνιαία και ετήσια ενέργεια πώλησης Φ/Β πάρκου 100 kW

$$d := \text{stack} \left( \text{"Έσοδα από Πώληση Ενέργειας"} , E_{\sigma} , \sum E_{\sigma} \right)$$

augment(a, d) =

"Μήνας"	Έσοδα από Πώληση Ενέργειας"	€
"Ιανουάριος"	2585.5	
"Φεβρουάριος"	2920.1	
"Μάρτιος"	3931.4	
"Απρίλιος"	4479.0	
"Μάιος"	5161.5	
"Ιούνιος"	5241.9	
"Ιούλιος"	5531.5	
"Αύγουστος"	5422.5	
"Σεπτέμβριος"	4961.8	
"Οκτωβρίου"	3964.4	
"Νοέμβριος"	3306.0	
"Δεκέμβριος"	2615.9	
"Σύνολο"	50121.6	

**Πίνακας 4.8** Μηνιαία και ετήσια έσοδα Φ/Β πάρκου 100 kW

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°**

### **ΑΝΑΛΥΣΗ & ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen**

#### **5.1. Εισαγωγικά στοιχεία για το λογισμικό RETScreen**

Το λογισμικό RETScreen είναι ένα πάρα πολύ εύχρηστο εργαλείο το οποίο έχει την ικανότητα να αξιολογεί επενδυτικά σχέδια τα οποία αφορούν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί αναλυτικά ο τρόπος που καταχωρεί ο χρήστης τα στοιχεία που θέλει στο πρόγραμμα για να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα θεωρείται από τα πλέον αξιόλογα αφού έχει αναπτυχθεί από διακεκριμένους γνώστες του χώρου τόσο της ακαδημαϊκής όσο και της βιομηχανικής κοινότητας. Το RETScreen παραχωρείται ελεύθερα από το διαδίκτυο και αποτελεί εφαρμογή πάνω στο πρόγραμμα Excel του Microsoft Office. Η έκδοση η οποία χρησιμοποιείται στην εργασία είναι η RETScreen 6.

Επίσης αναφέρουμε ότι το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει το κομμάτι του προγράμματος που έχει να κάνει με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά και Φ/Β πάρκα, καθώς στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας θα γίνει λεπτομερής ενεργειακή και τεχνοοικονομική ανάλυση ενός Φ/Β και ενός αιολικού σταθμού με τη χρήση του λογισμικού RETScreen. Οι αναφερόμενοι σταθμοί αποτελούν 2 εφαρμογές του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου όπου ο υπολογισμός των τεχνοοικονομικών παραμέτρων έγινε με τη χρήση του λογισμικού MathCad.

#### **5.2. Παρουσίαση του RETScreen**

Η εφαρμογή του RETScreen μπορεί να έχει παγκόσμια εφαρμογή αφού χρησιμοποιεί δεδομένα από σχεδόν όλες τις χώρες παγκοσμίως. Το πρόγραμμα παράγει αποτελέσματα τα οποία είναι προσιτά στον χρήστη και σχετίζονται με τον υπολογισμό της παραγωγής ενέργειας, του κόστους των εγκαταστάσεων, την μείωση των εκπομπών που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και το χρόνο απόσβεσης της επένδυσης που μελετά ο χρήστης.

Ακόμα ο χρήστης μπορεί να κάνει εφαρμογές με τα περισσότερα μοντέλα από την μονάδα που θέλει να χρησιμοποιήσει, αφού είναι καταχωρημένα μέσα στο πρόγραμμα όλα τα στοιχεία τους. Όσα στοιχεία δεν υπάρχουν, ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα χαρακτηριστικά τους. Το πρόγραμμα παρέχει και τα μετεωρολογικά δεδομένα της κάθε περιοχής που μελετά ο χρήστης. Με όλα τα παραπάνω ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει εφαρμογές που αφορούν είτε συνδεδεμένο είτε απομακρυσμένο δίκτυο.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τέσσερις διαφορετικούς τύπους κελιών τα οποία ξεχωρίζουν από την απόχρωσή τους (εικόνα 5.1). Αυτοί οι τύποι κελιών είναι:

- 1) Τα λευκά κελιά που περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα που βγάξει το μοντέλο και συμπληρώνονται από αυτό.
- 2) Τα κίτρινα κελιά που είναι απαραίτητα για να τρέξει το μοντέλο και είναι δεδομένα που τα εισάγει ο χρήστης.
- 3) Τα γαλάζια κελιά, που είναι απαραίτητα για να τρέξει το μοντέλο, και υπάρχουν σε αυτά πληροφορίες από τη βάση δεδομένων του προγράμματος και τα εισάγει ο χρήστης.
- 4) Τα γκρι κελιά που δεν είναι απαραίτητα για να τρέξει το μοντέλο και τα βάζει ο χρήστης μόνο για απλή αναφορά.

Κελιά Εισόδου και Εξόδου	
Λευκό	Εξοδος μοντέλου – Υπολογισμός από το μοντέλο
Κίτρινο	Καταχώρηση χρήστη – Απαιτούμενο για την εκτέλεση του μοντέλου
Μπλε	Καταχώρηση χρήστη – Απαιτούμενο για την εκτέλεση του μοντέλου – Διαθέσιμες Online Βάσεις Δεδομένων
Γκρι	Καταχώρηση χρήστη – Για λόγους αναφοράς μόνο – Μη απαιτούμενο για εκτέλεση του μοντέλου.

**Εικόνα 5.1** Επεξήγηση χρωμάτων κελιών του προγράμματος RETScreen

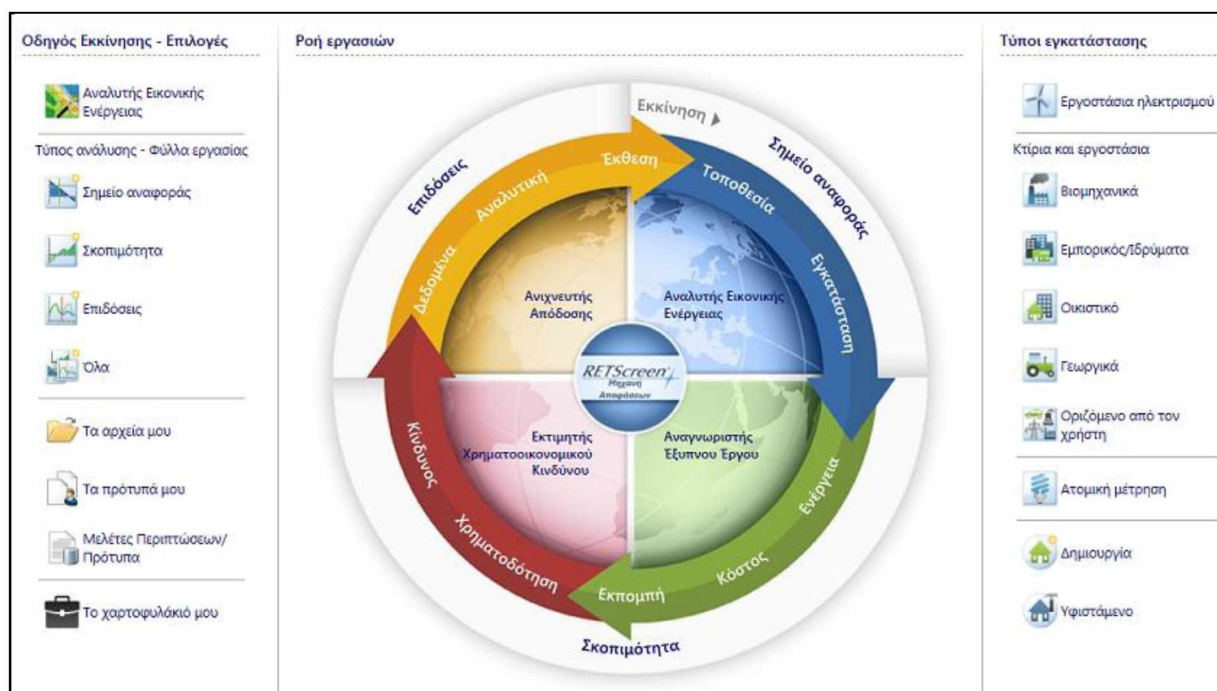
Το κύριο μέρος του λογισμικού αποτελείται από επτά λογιστικά φύλλα. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- 1) Εκκίνηση (εισαγωγικό φύλλο)
- 2) Τοποθεσία εγκατάστασης
- 3) Εγκατάσταση
- 4) Ενεργειακό μοντέλο
- 5) Ανάλυση κόστους
- 6) Ανάλυση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου
- 7) Χρηματοοικονομική ανάλυση.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα επτά, βασικά για την λειτουργία του προγράμματος, φύλλα εργασίας του RETScreen.

### 5.2.1. Εκκίνηση (εισαγωγικό φύλλο)

Μόλις ανοίξει το λογισμικό, παρουσιάζεται το εισαγωγικό φύλλο το οποίο αποτελεί μια εισαγωγή στο περιβάλλον του, όπου περιγράφονται σύντομα οι δυνατότητες και οι λειτουργίες που αυτό παρέχει. Το εισαγωγικό φύλλο παρουσιάζεται στην εικόνα 5.2. Στην *εκκίνηση* φαίνεται η ροή εργασιών που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης του λογισμικού. Ακόμα, υπάρχουν παραπομπές για διάφορες πρότυπες μελέτες από την βάση δεδομένων του λογισμικού καθώς και οι διάφοροι τύποι εγκατάστασης που μπορεί να μελετήσει ο χρήστης. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις δυνατότητες του λογισμικού για τα εργοστάσια ηλεκτρισμού και ποιό συγκεκριμένα για παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β. Επίσης στην ίδια σελίδα υπάρχουν και οι διασυνδέσεις με τα υπόλοιπα μέρη του λογισμικού, τα οποία στην ουσία αποτελούνται από ειδικά μορφοποιημένα φύλλα.



**Εικόνα 5.2** Εκκίνηση προγράμματος

### 5.2.2. Τοποθεσία εγκατάστασης

Έπειτα ακολουθούν πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας, όπου επιλέγεται η κατάλληλη τοποθεσία κλιματολογικών δεδομένων μέσα από πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων με μετεωρολογικά δεδομένα ανά τον κόσμο (εικόνα 5.3).

Στην εικόνα 5.3 φαίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες, το υψόμετρο και η θερμοκρασία της θέσης των κλιματολογικών δεδομένων (με πηγή άντλησης δεδομένων από την βάση δεδομένων της NASA ή από μετρήσεις στο έδαφος) καθώς αντίστοιχα και της τοποθεσίας εγκατάστασης του έργου.



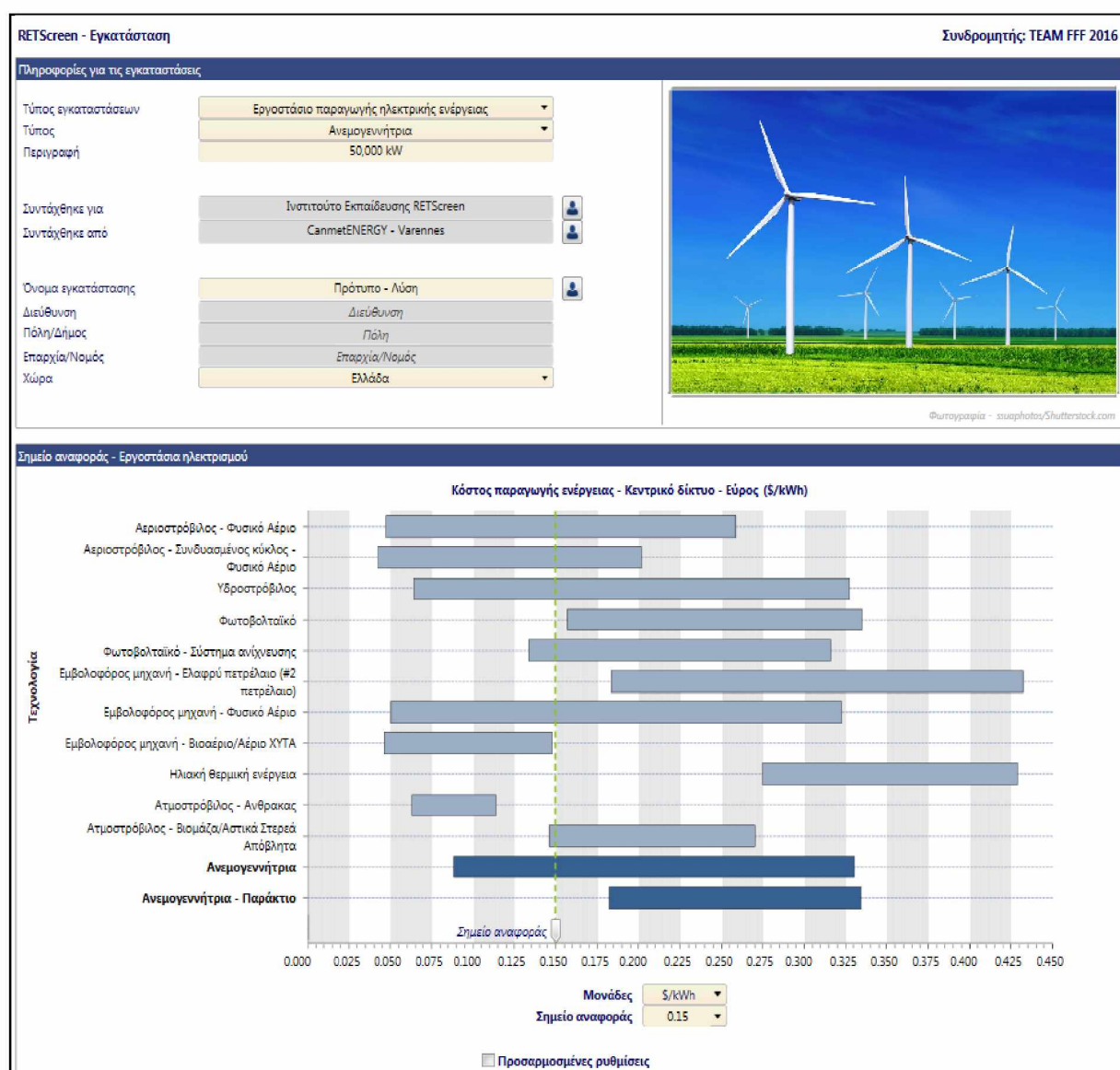
**Εικόνα 5.3** Κλιματολογικά δεδομένα της τοποθεσίας εγκατάστασης

Στη συνέχεια δίνεται ο πίνακας με τις μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές θερμοκρασίας αέρα, σχετικής υγρασίας, ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, ταχύτητας ανέμου, θερμοκρασίας εδάφους κ.τ.λ. Τέλος μπορούμε να επιλέξουμε τον τύπο των παραμέτρων που αναφέραμε και το λογισμικό να σχεδιάσει την μεταβολή της παραμέτρου ανά μήνα. Στην εικόνα 5.3 φαίνεται η γραφική παράσταση της μηνιαίας μεταβολής της

ηλιακής ακτινοβολίας (σε ραβδογράφημα) και της ταχύτητας του ανέμου (σε μορφή καμπύλης).

### 5.2.3. Εγκατάσταση

Στην εγκατάσταση δίνουμε πληροφορίες στο πρόγραμμα σχετικά με το έργο όπως: η ονομασία και τοποθεσία του έργου, ο τύπος των εγκαταστάσεων του (παραγωγή-συμπαγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού/ψύξης), η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί (φωτοβολταϊκό, αιολικό, αεριοστρόβιλος, υδροστρόβιλος, ηλιακή θερμική ενέργεια, γεωθερμική, κ.τ.λ.) καθώς και την ονομασία του συντάκτη και του λόγου σύνταξης κυρίως για πληροφοριακούς λόγους. Έπειτα μπορούμε να ορίσουμε την τιμή αναφοράς του κόστους παραγωγής ενέργειας σε €/kWh ή €/MWh.



Εικόνα 5.4 Πληροφοριακά στοιχεία της εγκατάστασης



#### 5.2.4. Ενεργειακό μοντέλο

Σε αυτό το σημείο καθορίζουμε τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά, διαφορετικά κάθε φορά ανάλογα την τεχνολογία της επένδυσης που θέλουμε να υλοποιήσουμε, με σκοπό το πρόγραμμα να μας υπολογίσει την συνολική ετήσια ηλεκτρική ενέργεια πώλησης καθώς και τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας. Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά στην καρτέλα *Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα* του φύλλου *Ενεργειακό μοντέλο* ορίζουμε την ετήσια τιμή πώλησης ενέργειας (αν είναι σταθερή κατά την διάρκεια του έτους) ή την μηνιαία (αν είναι μεταβλητή στην διάρκεια του έτους). Επίσης στην συγκεκριμένη καρτέλα μπορούμε να ορίσουμε και την τιμή του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας προκειμένου να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους παραγωγής ενέργειας. Όλα τα παραπάνω απεικονίζονται στην εικόνα 5.5.

RETScreen - Ενεργειακό Μοντέλο Συνδρομητής: TEAM FFF 2016

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - Ανεμογεννήτρια - 50,000 kW

**Καύσιμα & προγράμματα**

- Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

**Τεχνολογία**

- Ηλεκτρισμός
- Ανεμογεννήτρια

**Περίληψη**

- Να συμπεριληφθεί το σύστημα:
- Καύσιμα

**- Καύσιμα**

Τύπος Καυσίμου: Φυσικό Αέριο - m<sup>3</sup>

Τιμή Καυσίμου - μονάδα: €/m<sup>3</sup>

Τιμή Καυσίμου: [ ]

Θερμογόνος Ικανότητα & Τιμή Καυσίμου

**- Ηλεκτρική ενέργεια**

Τύπος: Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - ετήσιο

Περιγραφή: Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσιο

Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - μηνιαία: Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - μηνιαία

Ρυθμός - μονάδα: €/kWh

Ρυθμός - ετήσιο: 0.10

Μηνιαίος Ρυθμός	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - μηνιαία
Ιανουάριος	0.10
Φεβρουάριος	0.10
Μάρτιος	0.10
Απρίλιος	0.10
Μαΐος	0.10
Ιούνιος	0.10
Ιούλιος	0.10
Αύγουστος	0.10
Σεπτέμβριος	0.10
Οκτώβριος	0.10
Νοέμβριος	0.10
Δεκέμβριος	0.10

**Εικόνα 5.5** Τιμή πώλησης ενέργειας και κόστος καυσίμου

Ακολούθως στην καρτέλα *Τεχνολογία - Ηλεκτρισμός* θα πρέπει να καταχωρίσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιήσουμε. Παρουσιάζονται παρακάτω τα τεχνικά χαρακτηριστικά για τις Α/Γ και τα Φ/Β.

#### Α) Για τις Α/Γ:

Στην *Αξιολόγηση πηγών* (εικόνα 5.6) μπορούμε να καθορίσουμε σαν μέθοδο (εκτίμησης) φυσικών πόρων την ταχύτητα ανέμου ή την πυκνότητα αιολικής ενέργειας. Έπειτα

καταχωρούμε τις τιμές της ετήσιας ταχύτητας ανέμου, θερμοκρασίας αέρα και ατμοσφαιρικής πίεσης της περιοχής εγκατάστασης του έργου από τα κλιματικά δεδομένα που αντλούνται από το φύλλο *Τοποθεσία εγκατάστασης*. Ο εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου εκφράζει το ανάγλυφο της περιοχής και ένας χαμηλός εκθέτης αντιστοιχεί σε ομαλό ανάγλυφο ενώ αντίθετα υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε ποιο ακραίο. Οι τιμές κυμαίνονται από 0.10 έως 0.40.

Αιολικό

Περιγραφή **Ανεμογεννήτρια**

Σημείωση

Επίπεδο

Επίπεδο 1    **Επίπεδο 2**    Επίπεδο 3

---

Αιολικό - Επίπεδο 2

**Αξιολόγηση πηγών**

Μέθοδος (εκτίμηση) φυσικών πόρων			
Ταχύτητα ανέμου - ετήσια	m/Δευτερόλεπτο	Ταχύτητα ανέμου	3.5
Μετρημένο σε	m		10
Εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου			0.22
Θερμοκρασία αέρα - ετήσια	°C		18
Ατμοσφαιρική πίεση - ετήσια	kPa		101

**Κλιματικά δεδομένα**  
Ελλάδα - Souda Bay (GAFB)

3.5  
10  
18  
101

---

**Ανεμογεννήτρια**

Ισχύς ανά στρόβιλο	kW	2,000	
Κατασκευαστής		Enercon	
Μοντέλο		ENERCON - 82 E2 2MW - 78m	
Αριθμός στρόβιλων		25	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	50,000	
Υψος πύλων	m	78	5.5 m/Δευτερόλεπτο
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο	m	82	
Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο	m <sup>2</sup>	5,281.02	
Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων		Τυποποιημένο	
Παράγων σχήματος		2	

---

**Καμπύλες ισχύος και ενέργειας**

**Απώλειες**

Απώλειες διάταξης	%	5%	
Απώλειες περυσίου	%	3%	
Λοιπές απώλειες	%	5%	
Διαθεσιμότητα	%	95%	

---

**Περίληψη**

Συντελεστής ισχύος	%	17.9%	
Αρχικά κόστη	€/kW	2,000	
	€	100,000,000	
Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/kW-έτος	70	
	€	3,500,000	
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσι	
	€/kWh	0.10	
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	78,402	
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	7,840,157	

---

**Άλλες πληροφορίες**

**Εικόνα 5.6** Χαρακτηριστικά αιολικής ενέργειας και Α/Γ

Έπειτα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον τύπο της Α/Γ και τον αριθμό των μονάδων που επιθυμεί να βάλει στο σχέδιο του. Στην εικόνα 5.7 φαίνεται η εισαγωγή μιας Α/Γ στο *Ενεργειακό μοντέλο*. Το πρόγραμμα έχει καταχωρημένο από μόνο του μια μεγάλη γκάμα από Α/Γ με όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται αλλά μπορεί να επέμβει και ο χρήστης και να

βάλει μια πέρα από αυτές που έχει μέσα το RETScreen, αρκεί να ξέρει την ισχύ της, το ύψος του πυλώνα και την διάμετρο του δρομέα. Ακόμα μπορεί να εισάγει το μοντέλο και τον κατασκευαστή της Α/Γ που επιθυμεί.

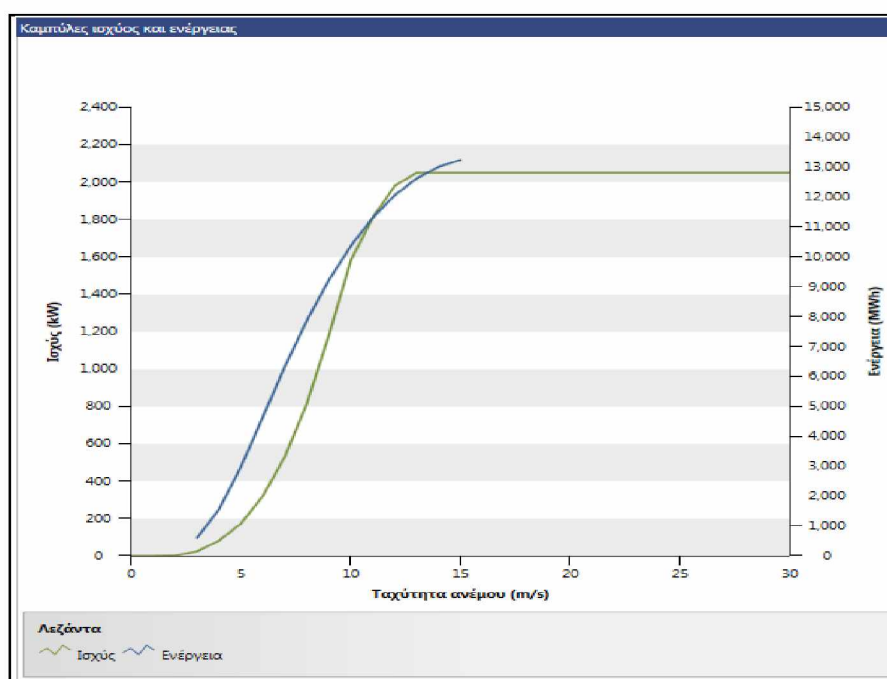
The screenshot shows the 'System' configuration window in RETScreen. The 'System' is set to 'Electricity' and the 'Technology' is 'Wind Turbine'. The power range is set from 0 to 8,000 kW. The selected manufacturer is 'Enercon' and the model is 'ENERCON - 82 E2 2MW - 78m'. The unit capacity is 2,000 kW and the number of units is 25, resulting in a total capacity of 50,000 kW. A text box provides turbine specifications: tower height 78 m, rotor diameter 82 m, and swept area 5,281.02 m².

On the right, a table titled 'Δεδομένα καμπύλης ισχύος' (Power Curve Data) shows wind speed in m/s and power in kW:

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτα	Ισχύς kW
0	0
1	0
2	3
3	25
4	82
5	174
6	321
7	532
8	815
9	1,180
10	1,580
11	1,810
12	1,980
13	2,050
14	2,050
15	2,050
16	2,050
17	2,050
18	2,050
19	2,050
20	2,050
21	2,050
22	2,050
23	2,050
24	2,050
25	2,050

**Εικόνα 5.7** Επιλογή Α/Γ από τη βάση δεδομένων του προγράμματος

Επίσης μετά την εκλογή του τύπου της Α/Γ στο *Ενεργειακό μοντέλο* και στην επιλογή *Καμπύλες ισχύος και ενέργειας* (εικόνα 5.6) εμφανίζεται η γραφική παράσταση της καμπύλης ισχύος και της καμπύλης ενέργειας (εικόνα 5.8).



**Εικόνα 5.8** Καμπύλη ισχύος και της καμπύλη ενέργειας Α/Γ

Στη συνέχεια στο *Ενεργειακό μοντέλο* (εικόνα 5.6) πρέπει να εισάγουμε και τις παρακάτω παραμέτρους για το σύστημα των Α/Γ:

- Τις *απώλειες διάταξης*, που οφείλεται στην αλληλεπίδραση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους μέσω των κυματισμών τους. Οι απώλειες εξαρτώνται από την απόσταση των στροβίλων, τον προσανατολισμό, τα χαρακτηριστικά του τόπου και της τοπογραφίας. Τυπικές τιμές είναι 0 έως 20%, όμως για μικρό αριθμό μονάδων το ποσοστό αυτό περιορίζεται έως 5%.
- Τις *απώλειες πτερυγίου* που προκαλούνται από το λέρωμα των λεπίδων με συσσώρευση πάγου και από άλλα σφάλματα τα οποία επηρεάζουν την αεροδυναμική απόδοση των λεπίδων και εμποδίζουν την εκκίνησή τους. Οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το υψόμετρο στο οποίο είναι εγκατεστημένο το μηχάνημα, το επίπεδο της υγρασίας και του σχεδιασμού της μηχανής. Τυπικές τιμές κυμαίνονται από 1% έως 10% της παραγωγής ενέργειας.
- Οι *λοιπές απώλειες παραγωγής ενέργειας* που οφείλονται στο ξεκινά-σταματά, στον ισχυρό άνεμο και σε τυχόν παρασιτικές απαιτήσεις ισχύος και απώλειες στη γραμμή μεταφοράς από το χώρο πραγματοποίησης του έργου μέχρι το σημείο όπου το έργο συνδέεται με το τοπικό δίκτυο διανομής. Τυπικές τιμές κυμαίνονται από 2% έως 6% της παραγωγής ενέργειας.
- Η *διαθεσιμότητα* των Α/Γ σε ένα αιολικό πάρκο που είναι οι απώλειες του χρόνου διακοπής των Α/Γ λόγω προγραμματισμένης συντήρησης, λόγω διαφόρων βλαβών, διακοπής ρεύματος του σταθμού καθώς και του βοηθητικού προγράμματος ελέγχου του αιολικού πάρκου. Οι τιμή της διαθεσιμότητας στα αιολικά πάρκα κυμαίνεται από 93% έως 98%.

Εισάγοντας τις παραπάνω παραμέτρους το πρόγραμμα υπολογίζει το *συντελεστή ισχύος ή συντελεστή χρησιμοποίησης (Capacity Factor-CF)* που είναι ο λόγος της πραγματικής παραγωγής ενέργειας στη διάρκεια ενός χρόνου προς την μέγιστη δυνατή παραγωγή. Είναι ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται σε έργα ΑΠΕ προκειμένου να αξιολογηθεί η ικανότητα παραγωγής ισχύος. Τυπικές τιμές για τον συντελεστή χρησιμοποίησης είναι στο εύρος του 20-40%.

Τέλος καταχωρώντας το *αρχικό κόστος εγκατάστασης* των Α/Γ σε €/kW και το *ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας* σε €/kW το RETScreen υπολογίζει την *παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια* που διοχετεύεται στο δίκτυο καθώς και τα *ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας*.

## B) Για τα Φ/Β:

Στην *Αξιολόγηση πηγών* (εικόνα 5.9) αρχικά μπορούμε να καθορίσουμε την λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου με τέσσερις διαφορετικές επιλογές: σταθεροποιημένα πλαίσια, μονό-αξονικά, διαξονικά και αζιμούθιο. Έπειτα καταχωρούμε τις γωνίες του αζιμούθιου και της κλίσης των Φ/Β πλαισίων.

- Φωτοβολταϊκό		Επίπεδο	
Περιγραφή	Φωτοβολταϊκό	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2
Σημείωση			
- Φωτοβολταϊκό - Επίπεδο 2			
<b>Αξιολόγηση πηγών</b>		Σταθεροποιημένα	
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	:		
Κλίση	:	30	
Αζιμούθιο	:	0	
Δείξε δεδομένα			
<b>Φωτοβολταϊκό</b>			
Τύπος		μονο-Si	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	250	
Κατασκευαστής		DeiSolar	
Μοντέλο		μονο-Si - D6M-250W - B3A	
Αριθμός μονάδων		1,000	
Βαθμός απόδοσης	%	15.3%	
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελλίου	°C	45	
Συντελεστής θερμοκρασίας	% / °C	0.4%	
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m <sup>2</sup>	1,634	
Λοιπές απώλειες	%	1%	
<b>Μετατροπέας (inverter)</b>			
Βαθμός απόδοσης	%	95%	
Ισχύς	kW	250	
Λοιπές απώλειες	%	1%	
<b>Περίληψη</b>			
Συντελεστής ισχύος	%	16.9%	
Αρχικά κόστη	€/kW	1,500	
	€	375,000	
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/kW-έτος	40	
	€	10,000	
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - μηνιαία	
	€/kWh	0.42	
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	370	
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	155,260	

Εικόνα 5.9 Χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος

Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον τύπο του Φ/Β πλαισίου (μόνο-Si, πολυ-Si, a-Si, κ.τ.λ) καθώς και την κατασκευάστρια εταιρία και το συγκεκριμένο μοντέλο. Στην εικόνα 5.10 φαίνεται η εισαγωγή ενός Φ/Β στο *Ενεργειακό μοντέλο*. Όπως και για τις Α/Γ το πρόγραμμα έχει καταχωρημένο στη βάση δεδομένων του μια μεγάλη γκάμα από Φ/Β. Επιλέγοντας τον τύπο και τον αριθμό των πλαισίων το RETScreen υπολογίζει το μέγεθος της εγκατάστασης.

Σύστημα	Ηλεκτρισμός	
Τεχνολογία	Φωτοβολταϊκό	
Τύπος	μονο-Si	
Εύρος δυναμικότητας	<input checked="" type="checkbox"/> kW 0 προς kW 1	
Κατασκευαστής	DeiSolar	
Μοντέλο	μονο-Si - D6M-250W - B3A	
Χωρητικότητα ανά μονάδα	W	250
Αριθμός μονάδων		1,000
Ισχύς	kW	250

Βαθμός απόδοσης: 15.3 %  
 Επιφάνεια πλαισίου: 1.633 m<sup>2</sup>

Δεν έγκριση οποιωνδήποτε προϊόντων ή υπηρεσιών είναι ρητή ή σιωπηρή.

**Εικόνα 5.10** Επιλογή Φ/Β πλαισίων από τη βάση δεδομένων του προγράμματος

Για το μετατροπέα (inverter) που θα χρησιμοποιηθεί, επιλέγεται ο βαθμός απόδοσης, η ισχύς και οι απώλειες του.

Στο τελευταίο τμήμα του φύλλου υπάρχει η *περίληψη* που περιλαμβάνει αρχικά το *συντελεστή ισχύος ή συντελεστή χρησιμοποίησης (Capacity Factor-CF)* ο οποίος υπολογίζεται από το πρόγραμμα. Τέλος ο χρήστης καταχωρεί το *αρχικό κόστος εγκατάστασης* του Φ/Β συστήματος σε €/kW και το *ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας* σε €/kW και το RETScreen υπολογίζει την *παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια* που διοχετεύεται στο δίκτυο καθώς και τα *ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας*.

### 5.2.5. Ανάλυση Κόστους

Το φύλλο του προγράμματος *Ανάλυση Κόστους* (εικόνα 5.11) ασχολείται με τις δαπάνες που χρειάζονται προκειμένου να πραγματοποιηθεί το έργο και να λειτουργήσει. Πιο συγκεκριμένα οι δαπάνες αυτές έχουν να κάνουν με την μελέτη, την ανάπτυξη, την εφαρμογή και τη λειτουργία της εφαρμογής που εξετάζεται.

Στην αρχή ο χρήστης ορίζει τα *αρχικά κόστη* επένδυσης όπου συμπληρώνει τα έξοδα που έγιναν για την εκπόνηση μελέτης σκοπιμότητας για το έργο, την μελέτη για την πορεία ανάπτυξης και εξέλιξης του έργου, το μηχανολογικό κομμάτι της έρευνας για την υλοποίηση του έργου και τον εξοπλισμό ΑΠΕ της εφαρμογής. Ακόμα συμπληρώνει τις δαπάνες για την

θεμελίωση και ανέγερση των Α/Γ, την κατασκευή οδικών αξόνων, την κατασκευή κτιριακών εγκαταστάσεων και τη δημιουργία υποσταθμού. Ακόμη σε αυτό το κομμάτι συμπληρώνει και τα διάφορα έξοδα που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια του έργου και δεν περιγράφονται παραπάνω (απρόβλεπτα).

RETScreen - Ανάλυση Κόστους						Συνδρομητής: TEAM FFF 2016	
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος		
<b>Μελέτη σκοπιμότητας</b>							
Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	€	100,000	€	100,000	
Υπο-σύνολο:				€		100,000 0.1%	
<b>Ανάπτυξη</b>							
Ανάπτυξη	κόστος	1	€	80,000	€	80,000	
Υπο-σύνολο:				€		80,000 0.1%	
<b>Μηχανολογικά</b>							
Μηχανολογικά	κόστος	1	€	200,000	€	200,000	
Υπο-σύνολο:				€		200,000 0.2%	
<b>Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας</b>							
Ανεμογεννήτρια	kW	50,000	€	2,000	€	100,000,000	
Έργα οδοποιίας	km	5	€	50,000	€	250,000	
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	6	€	70,000	€	420,000	
Υποσταθμός	έργο	1	€	200,000	€	200,000	
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης					€	-	
Υπόλοιπα (Θεμελίωση Α/Γ,Κτιριακά κ.τ.λ)	κόστος	1	€	500,000	€	500,000	
Υπο-σύνολο:				€		101,370,000 92.6%	
<b>Ισοζύγιο συστήματος &amp; διάφορα</b>							
Ανταλλακτικά	%	1.0%	€	59,304,700	€	593,047	
Μεταφορά	έργο	1	€	68,000	€	68,000	
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα	90	€	1,000	€	90,000	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	0	€	0	€	0	
Απρόβλεπτα	%	3.0%	€	102,501,047	€	3,075,031	
Τόκος κατά την κατασκευή	5.9%	15 μήνας(ες)	€	105,576,078	€	3,893,118	
Υπο-σύνολο:				€		7,719,196 7.1%	
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>				€		109,469,196 100.0%	
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)							
	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό			
<b>Λειτουργία &amp; Συντήρηση</b>							
Δείτε δεδομένα							
<b>Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας</b>							
Ανεμογεννήτρια			€	3,500,000	Ενημέρωση κόστους		
Τμήματα & Εργασία	έργο		€			-	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	0	€	0	€	0	
Απρόβλεπτα				%	5.0%	€	3,500,000
Υπο-σύνολο:				€		3,675,000	
<b>Ετήσια εξοικονόμηση</b>							
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€			-	
Υπο-σύνολο:				€		-	
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)							
	Μονάδα	Ετος	Μονάδα κόστους	Ποσό			
Περιοδικά κόστη	κόστος		€			-	
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος		€			-	

**Εικόνα 5.11** Ανάλυση κόστους του έργου

Στη συνέχεια αναφέρονται τα ετήσια κόστη. Σε αυτή την κατηγορία περιγράφονται τα κόστη που προκύπτουν από την λειτουργία της εφαρμογής σε ετήσια βάση. Τέτοια έξοδα μπορεί να είναι η εκμίσθωση γης, οι φόροι και τα ασφάλιστρα, η συντήρηση των γραμμών μεταφοράς του δικτύου, τα κόστη που αφορούν το εργατικό δυναμικό, τα ανταλλακτικά που θα χρειαστούν αλλά και τα διάφορα διαχειριστικά έξοδα.

Τέλος αναφέρονται τα *περιοδικά κόστη*. Σε αυτά υπολογίζονται δαπάνες που αφορούν διαδικασίες αντικατάστασης κομματιών του εξοπλισμού. Ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει το κόστος αυτών των κομματιών καθώς και την περιοδικότητα με την οποία αυτά αλλάζουν. Η περιοδικότητα ορίζεται σε χρόνια.

### **5.2.6. Ανάλυση Εκπομπών**

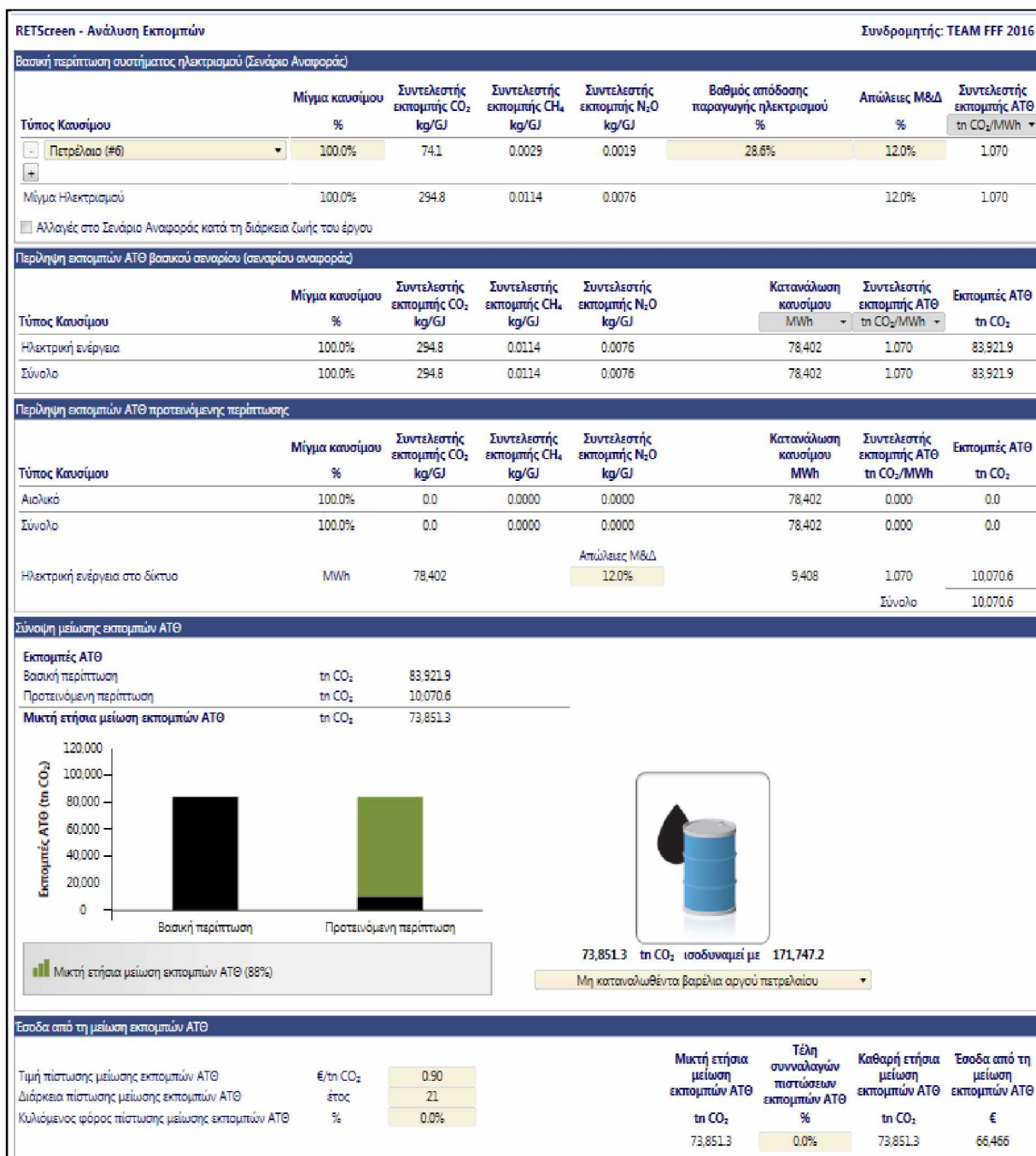
Σε αυτό το φύλλο ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που θα είχαμε επιπλέον στην ατμόσφαιρα αν δεν πραγματοποιήσουμε το συγκεκριμένο έργο. Τα αέρια όπου λογίζονται ως βλαβερά για το περιβάλλον από το πρόγραμμα, είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και κάθε τύπος καυσίμου έχει το δικό του συντελεστή εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Το φύλλο *Ανάλυση Εκπομπών* φαίνεται στην εικόνα 5.12.

Το πρόγραμμα 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, επί την ετήσια παραδοθείσα ηλεκτρική ενέργεια, δίνει το συνολικό μειούμενο όγκο εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, σε ισοδύναμους τόνους αερίου  $\text{CO}_2$ , 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).

Στο τέλος του φύλλου *Ανάλυση Εκπομπών* υπολογίζονται από το πρόγραμμα τα ετήσια έσοδα από τη μείωση εκπομπών  $\text{CO}_2$ . Εάν οριστεί μια σταθερή τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών, με την οποία πληρώνεται ο ιδιώτης ανά τόνο  $\text{CO}_2$  λόγω της συνεισφοράς της επένδυσης του στη μείωση εκπομπών, τότε το πρόγραμμα υπολογίζει ετησίως τα έσοδα από την μείωση των εκπομπών αφού προηγουμένως το πρόγραμμα έχει υπολογίσει την μειούμενη ετήσια ποσότητα εκπομπών σε τόνους  $\text{CO}_2$ . Τα έσοδα από την μείωση των εκπομπών μεταφέρονται και στο φύλλο της *Οικονομικής Ανάλυσης*, το οποίο θα αναλυθεί στην επόμενη υποενότητα του παρόντος κεφαλαίου, προκειμένου να συμπεριληφθούν στις ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα της επένδυσης.





Εικόνα 5.12 Υπολογισμός μείωσης εκπομπών από την πραγματοποίηση του έργου

### 5.2.7. Χρηματοοικονομική ανάλυση

Το φύλλο *Οικονομική Ανάλυση* του RETScreen επιτρέπει στο χρήστη αφού εισάγει διαφορές οικονομικές παραμέτρους, όπως επιτόκιο αναγωγής κ.λ.π., να υπολογίσει αυτόματα βασικούς δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας, όπως εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR), καθαρή παρούσα αξία (NPV), έτος αποπληρωμής κ.λ.π. Το φύλλο *Οικονομική Ανάλυση* χωρίζεται σε πέντε ενότητες: *Οικονομικοί παράμετροι*, *Ετήσια έσοδα*, *Κόστος-Αποταμιεύσεις-Έσοδα*, *Οικονομική βιωσιμότητα* και *Ετήσια χρηματοροφή*.

Στην ενότητα *Οικονομικοί παράμετροι*, η οποία απεικονίζεται στην εικόνα 5.13, ο χρήστης συμπληρώνει τις χρηματοοικονομικές παραμέτρους. Τέτοιες παράμετροι είναι:

- Ο *πληθωρισμός* που είναι η αύξηση του κόστους των αγαθών και υπηρεσιών ανά μονάδα χρόνου. Ο πληθωρισμός των επιμέρους συνιστωσών κόστους μιας επένδυσης μπορεί να διαφέρει από συνιστώσα σε συνιστώσα και από έτος σε έτος, μπορεί να είναι είτε θετικός είτε αρνητικός οπότε μιλάμε για αποπληθωρισμό.
- Το *επιτόκιο αναγωγής ή προεξοφλητικό επιτόκιο* (ή απόδοση κεφαλαίων επενδυτή) χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η παρούσα αξία μιας σειράς μελλοντικών εισροών ή εκροών. Το επιτόκιο αναγωγής καθορίζεται από τον επενδυτικό φορέα, στο πλαίσιο των κανόνων της αγοράς αλλά με υποκειμενικά κατά βάση κριτήρια. Εκφράζει είτε το κόστος κεφαλαίου της ήδη υπάρχουσας επιχείρησης, είτε το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο από τον αποφασίζοντα, προκειμένου να καλυφθεί ο κίνδυνος της εξεταζόμενης επένδυσης έναντι μιας πιο ασφαλούς τοποθέτησης. Συνήθως, η τιμή του επιτοκίου αναγωγής είναι 8% - 12%.
- Η *διάρκεια ζωής έργου* που είναι η διάρκεια κατά τη οποία η οικονομική βιωσιμότητα του έργου αξιολογείται. Ανάλογα με τις περιστάσεις, μπορεί να αντιστοιχεί με την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού που σχετίζεται με την ενέργεια, το χρέος, ή τη διάρκεια μιας συμφωνίας για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τυπικός χρόνος ζωής ενός Φ/Β ή αιολικού πάρκου είναι 20 έως 25 χρόνια.
- Η *επιχορήγηση ή επιδότηση* εννοείται η δωρεάν χρηματοδότηση, χωρίς την υποχρέωση επιστροφής ή την χρέωση τόκων, μέρους του συνολικού ύψους μιας επένδυσης. Οι επιχορηγήσεις δίνονται από δημόσιες, εθνικές ή κοινοτικές αρχές, ως κίνητρο για την ενθάρρυνση και την πραγματοποίηση επενδύσεων, οι οποίες δημιουργούν νέες θέσεις απασχόλησης και ανταποκρίνονται σε ορισμένα κριτήρια.
- Το *τοκοχρεολύσιο* το οποίο είναι το ποσοστό του συνολικού κόστους που θα χρειαστεί να δανειστεί ο ιδιώτης από χρηματοπιστωτικό ίδρυμα υπό μορφή δανείου.
- Το *επιτόκιο δανεισμού*, το οποίο είναι το ετήσιο επιτόκιο που καταβάλλεται από τον κάτοχο του χρέους στο τέλος κάθε έτους της διάρκειας του χρέους.
- Η *περίοδος χρέους*, που είναι ο αριθμός των ετών κατά την οποία εξοφλείται η οφειλή του δανείου. Γενικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια, τόσο βελτιώνεται η οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τη περίοδο του χρέους κατά τον υπολογισμό των πληρωμών χρέους και για της ετήσιες ταμειακές ροές. Η διάρκεια του χρέους συνήθως ορίζεται από 1 έως 25 χρόνια.

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση			
Οικονομικοί Παράμετροι			
<b>Γενικά</b>			
Τιμή πληθωρισμού	%		3%
Επιτόκιο αναγωγής	%		7%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		25
<b>Χρηματοδότηση</b>			
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€		50,000,000
Τοκοχρεολύσιο	%		40%
Χρέος	€		43,787,679
Μετοχή	€		65,681,518
Επιτόκιο δανεισμού	%		6%
Περίοδος χρέους	έτος		25
Πληρωμές χρέους	€/έτος		3,425,366
<b>Ανάλυση φόρου εισοδήματος</b> <input type="checkbox"/>			

**Εικόνα 5.13** Οικονομικοί παράμετροι επένδυσης

Εφόσον ο χρήστης εισάγει τις παραπάνω παραμέτρους το πρόγραμμα υπολογίζει, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.13, τα εξής οικονομικά στοιχεία της επένδυσης:

- Το *χρέος* που είναι το συνολικό ποσό που έχει δανειστεί ο επενδυτής και οφείλει να το αποπληρώσει.
- Την *μετοχή* (αρχικό ποσό που θα επενδύσει ο ιδιώτης μαζί με το ποσό της επιδότησης).
- Τις *ετήσιες πληρωμές χρέους* που είναι το άθροισμα του κεφαλαίου και των τόκων που καταβάλλονται ετησίως για την εξυπηρέτηση του χρέους.

Στην ενότητα *Ετήσια έσοδα* του φύλλου *Οικονομική Ανάλυση*, η οποία δίνεται στην εικόνα 5.14, φαίνονται οι τιμές της ετήσιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο, του πωλούμενου ηλεκτρισμού καθώς και των ετήσιων εσόδων από την πώληση της ενέργειας, τιμές οι οποίες έχουν οριστεί ή υπολογιστεί στο φύλλο *Ενεργειακό μοντέλο*.

Ετήσια έσοδα			
<b>Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας</b>			
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kWh		78,401,567
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh		0.10
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€		7,840,157
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%		4%
<b>Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ</b>			
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tn CO <sub>2</sub> /έτος		73,851
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ - 25 έτη	tn CO <sub>2</sub>		1,846,282
Τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO <sub>2</sub>		0.90
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€		66,466
Διάρκεια πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	έτος		21
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ - 21 έτη	tn CO <sub>2</sub>		1,550,877
Κυλιόμενος φόρος πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	%		0%
<b>Λοιπά έσοδα (έξοδα)</b> <input type="checkbox"/>			
<b>Έσοδα παραγωγής Καθακής Ενέργειας (ΚΕ)</b> <input type="checkbox"/>			

**Εικόνα 5.14** Ετήσια έσοδα επένδυσης

Ο χρήστης στην ενότητα *Ετήσια έσοδα* μπορεί να ορίσει την *κυλιόμενη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας* ως ποσοστό (%). Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει τον προβλεπόμενο μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να εφαρμόσει ποσοστά πληθωρισμού στην αξία του πωλούμενου ηλεκτρισμού, η οποία μπορεί να είναι διαφορετική από το γενικό πληθωρισμό. Η τιμή αυτή ονομάζεται και *ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας*.

Επίσης στην ενότητα *Ετήσια έσοδα* μεταφέρονται ορισμένες τιμές παραμέτρων της μείωσης εκπομπών του φύλλου *Ανάλυση Εκπομπών*, όπως η ετήσια καθαρή μείωση εκπομπών, η τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών, τα ετήσια έσοδα από τη μείωση εκπομπών, η οριζόμενη διάρκεια πίστωσης μείωσης εκπομπών, κ.τ.λ. προκειμένου τα υπολογιζόμενα ετήσια έσοδα από τη μείωση εκπομπών να συμπεριληφθούν στην ενότητα *κόστος-αποταμιεύσεις-έσοδα* και να υπολογιστούν εκεί τα συνολικά ετήσια έσοδα της επένδυσης.

Στην επόμενη ενότητα (εικόνα 5.15), *Κόστος-Αποταμιεύσεις-Έσοδα*, παρουσιάζονται τα κόστη και έσοδα του έργου καθώς και οι αποταμιεύσεις που θα γίνουν. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται όλες οι αρχικές, ετήσιες και περιοδικές δαπάνες που καταχώρησε ο χρήστης στο φύλλο *Ανάλυση Κόστους*. Επίσης φαίνεται και το ποσό της επιχορήγησης που καταχώρησε ο χρήστης στην ενότητα *Οικονομικοί παράμετροι*. Τέλος συνοψίζονται τα ετήσια έσοδα και οι ετήσιες αποταμιεύσεις του έργου από τη πώληση ενέργειας και από τη μείωση των εκπομπών, οι τιμές των οποίων παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Επομένως υπολογίζονται τα συνολικά αρχικά και ετήσια κόστη καθώς και τα συνολικά ετήσια έσοδα προκειμένου στην επόμενη ενότητα, *Οικονομική Βιωσιμότητα*, να υπολογιστούν οι σημαντικοί οικονομικοί δείκτες που μας δείχνουν την βιωσιμότητα του έργου.

Κόστος   Αποθκεύσεις   Έσοδο			
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Μελέτη σκοπιμότητας	0.09%	€	100,000
Ανάπτυξη	0.07%	€	80,000
Μηχανολογικά	0.18%	€	200,000
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	92.6%	€	101,370,000
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	7.1%	€	7,719,196
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>100%</b>	<b>€</b>	<b>109,469,196</b>
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		€	50,000,000
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Λειτουργία & Συντήρηση		€	3,675,000
Πληρωμές χρέους - 25 έτη		€	3,425,366
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>		<b>€</b>	<b>7,100,366</b>
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	7,840,157
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ - 21 έτη		€	66,466
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>		<b>€</b>	<b>7,906,623</b>

**Εικόνα 5.15** Κόστος, έσοδα και αποταμιεύσεις του έργου

Στην ενότητα *Οικονομική Βιωσιμότητα*, η οποία απεικονίζεται στην εικόνα 5.16, το πρόγραμμα παρουσιάζει στον χρήστη τις επιδόσεις της επένδυσης με βάση κάποιους χρηματοοικονομικούς δείκτες όπου του δείχνουν το κατά πόσο είναι βιώσιμο οικονομικά το έργο. Βιώσιμο οικονομικά χαρακτηρίζεται ένα έργο όταν το συνολικό χρηματικό ποσό των χρημάτων που θα λάβει ο επενδυτής από το έργο για όλα τα χρόνια λειτουργίας του θα είναι μεγαλύτερο από το χρηματικό ποσό που θα δώσει για να πραγματοποιήσει και να λειτουργήσει για τα ίδια χρόνια το συγκεκριμένο έργο.

Το RETScreen υπολογίζει συγκεκριμένα τους παρακάτω οικονομικούς δείκτες:

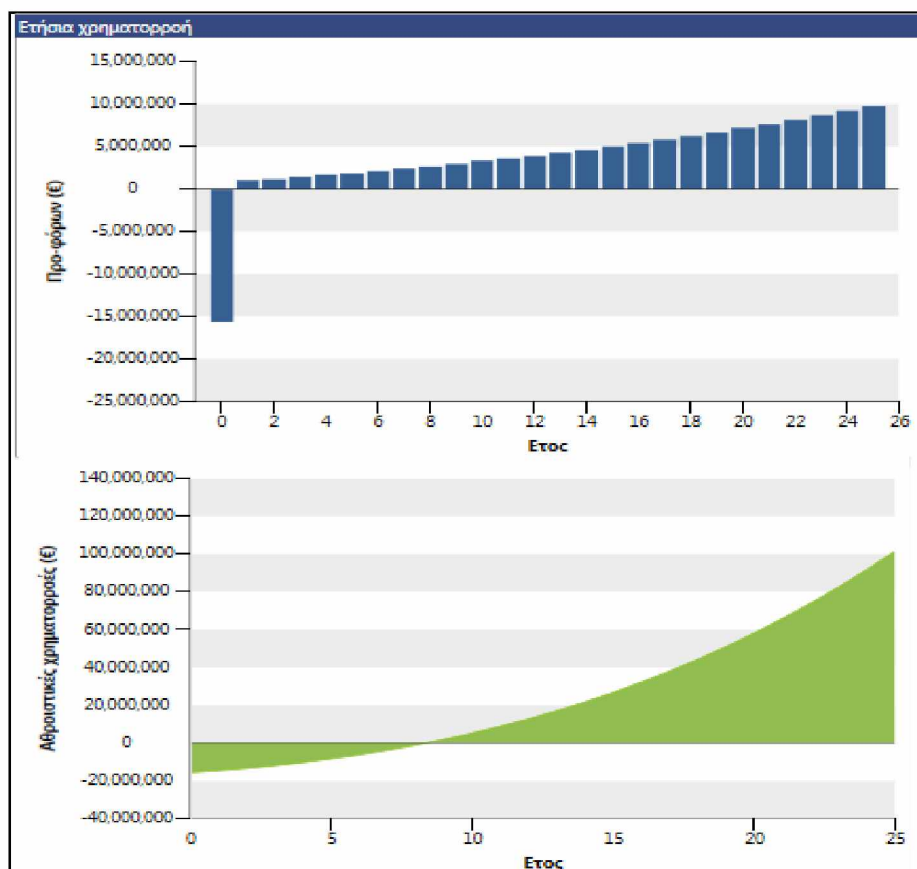
- Τον *Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR) Μετοχικού Κεφαλαίου* που είναι το επιτόκιο προεξόφλησης που εξισώνει την παρούσα αξία των χρηματορροών προ φόρων με το ποσό των ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης (από το μετοχικό κεφάλαιο αφαιρούμε το ποσό της επιδότησης).
- Τον *Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR) Περιουσιακών Στοιχείων* που είναι το επιτόκιο προεξόφλησης που εξισώνει την παρούσα αξία των χρηματορροών προ φόρων με το ποσό των περιουσιακών στοιχείων προ φόρων της επένδυσης (ως περιουσιακά στοιχεία θεωρούνται τα ίδια κεφάλαια και το ποσό του δανείου). Η τιμή του IRR περιουσιακών στοιχείων συγκρίνεται με την τιμή του επιθυμητού από τον επενδυτή επιτοκίου αναγωγής και αν είναι μεγαλύτερη η επένδυση θεωρείται βιώσιμη.
- Την *Απλή Αποπληρωμή* που αποτελεί το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης αν λάβουμε υπόψη τα εισοδήματα και τα κόστη που προκύπτουν από το έργο μη συμπεριλαμβανομένου του φόρου.
- Την *Αποπληρωμή Μετοχικού Κεφαλαίου* που αποτελεί το χρονικό διάστημα που απαιτείται προκειμένου οι αθροιστικές χρηματικές ροές να είναι μη αρνητικές. Το έτος θετικής ταμειακής ροής είναι το έτος όπου η επένδυση έχει κάνει απόσβεση του αρχικού της κεφαλαίου λαμβάνοντας υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος. Η αποπληρωμή μετοχικού κεφαλαίου ονομάζεται και *χρόνος απόσβεσης επένδυσης*.
- Την *Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)* είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Αν η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική μας υποδεικνύει ότι η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη.
- Τις *Ετήσιες Αποταμιεύσεις Κύκλου Ζωής* που είναι στην ουσία η ετήσια σταθερή ταμειακή ροή για κάθε έτος η οποία για τη διάρκεια ζωής και το επιτόκιο αναγωγής του έργου θα έδινε την ίδια καθαρά παρούσα αξία με το έργο.

- Την *Αναλογία Οφέλους-Κόστους* που είναι ένας ακόμα δείκτης που υπολογίζεται για να βρεθεί το κατά πόσο είναι ένα έργο κερδοφόρο. Τα καθαρά οφέλη αντιπροσωπεύουν την παρούσα αξία των ετήσιων εσόδων ενώ το κόστος ορίζεται ως τα αρχικά κεφάλαια του έργου. Όταν η αναλογία αυτή είναι πάνω από τη μονάδα τότε το έργο χαρακτηρίζεται αυτομάτως ως κερδοφόρο. Όσο πιο μεγάλη είναι η αναλογία του καθαρού οφέλους ως προς το κόστος τόσο πιο κερδοφόρο είναι το έργο.
- Την *Κάλυψη Δανειακών Υποχρεώσεων* που είναι ένας δείκτης που αντικατοπτρίζει τη δυνατότητα ικανοποιητικής ρευστότητας έτσι ώστε να αποπληρωθεί το δάνειο. Είναι ένας λόγος εισοδήματος προς το ποσό του δανείου και όσο πιο μεγαλύτερος από τη μονάδα είναι τόσο πιο βιώσιμη χαρακτηρίζεται η επένδυση.
- Το *Κόστος Μείωσης Εκπομπών (ATΘ)* που είναι το θεωρητικό ετήσιο έσοδο που έχουμε για κάθε μονάδα μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>.
- Το *Κόστος Παραγωγής Ενέργειας* που είναι ο κυλιόμενος φόρος πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία.

Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	15.8%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	4.3%
Απλή αποπληρωμή	έτος	14.1
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	8.4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	25,289,941
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	2,170,143
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K)		1.4
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1.3
Κόστος μείωσης εκπομπών ATΘ	€/tn CO <sub>2</sub>	-29
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/kWh	0.125

**Εικόνα 5.16** Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας του έργου

Τέλος στην ενότητα *Ετήσια Χρηματοροή* το πρόγραμμα μας παρέχει γράφημα (εικόνα 5.17) και πίνακα (εικόνα 5.18) με τις ετήσιες ταμειακές ροές της επένδυσης.



Εικόνα 5.17 Γραφήματα ετήσιων ταμειακών ροών

Ετήσια χρηματοροή		
Ετος	Προ-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€
0	-15,681,518	-15,681,518
1	1,009,613	-14,671,905
2	1,222,206	-13,449,699
3	1,444,438	-12,005,261
4	1,676,729	-10,328,532
5	1,919,517	-8,409,015
6	2,173,257	-6,235,758
7	2,438,425	-3,797,333
8	2,715,516	-1,081,818
9	3,005,046	1,923,228
10	3,307,554	5,230,783
11	3,623,601	8,854,384
12	3,953,772	12,808,156
13	4,298,676	17,106,832
14	4,658,947	21,765,779
15	5,035,249	26,801,028
16	5,428,270	32,229,298
17	5,838,730	38,068,028
18	6,267,377	44,335,405
19	6,714,993	51,050,398
20	7,182,390	58,232,788
21	7,670,416	65,903,204
22	8,113,488	74,016,692
23	8,645,459	82,662,151
24	9,200,822	91,862,973
25	9,780,574	101,643,547

Εικόνα 5.18 Πίνακας ετήσιων ταμειακών ροών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΕ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen

#### 6.1. Πληροφοριακά στοιχεία των δύο εξεταζόμενων εφαρμογών ΑΠΕ

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο θα μελετηθούν δυο εφαρμογές ΑΠΕ οι οποίες θα αναλυθούν τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής πλευράς. Η τεχνοοικονομική μελέτη των δύο εφαρμογών θα πραγματοποιηθεί με το λογισμικό RETScreen καθώς και οι δύο εφαρμογές αποτελούν σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η τεχνοοικονομική ανάλυση και παρουσίαση των οποίων έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο με τη βοήθεια του λογισμικού RETScreen. Επίσης οι δυο εφαρμογές ΑΠΕ αποτελούν περιπτώσεις του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου, εφαρμογές όπου η οικονομοτεχνική ανάλυση και ο υπολογισμός ορισμένων οικονομικών παραμέτρων έγινε με το λογισμικό MathCad.

Η πρώτη εφαρμογή που θα εξεταστεί με το RETScreen θα πραγματεύεται το αιολικό πάρκο της ενότητας 3.6 του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου και θα αποτελεί την ενότητα 6.2 του παρόντος κεφαλαίου, ενώ η δεύτερη εφαρμογή θα πραγματεύεται τον Φ/Β σταθμό της ενότητας 3.10 του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου και θα αποτελεί την ενότητα 6.3 του παρόντος κεφαλαίου.

Τόσο για το αιολικό πάρκο της ενότητας 6.2 όσο και για τον Φ/Β σταθμό της ενότητας 6.3 θα υπολογιστούν, με τη χρήση του λογισμικού RETScreen, οικονομικοί παράμετροι που υπολογίστηκαν στις αντίστοιχες ενότητες του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου όπως αρχικό κόστος επένδυσης, ετήσια κόστη, ετήσια έσοδα από πώληση ενέργειας, χρέος, κ.τ.λ. Επίσης θα προσδιοριστούν οι οικονομικοί δείκτες που καθορίζουν τη βιωσιμότητα μιας πιθανής επένδυσης, όπως εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR), καθαρή παρούσα αξία (NPV), έτος αποπληρωμής κ.τ.λ.

#### 6.2. Μελέτη αιολικού σταθμού ισχύος 9 MW σε νησί του Αιγαίου

Στην ενότητα αυτή θα μελετηθεί το αιολικό πάρκο ισχύος 9 MW της ενότητας 3.6 (σελ. 39 ως 40) που αποτελεί ένα πάρκο σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο αφού θα τοποθετηθεί σε νησί του Αιγαίου. Επειδή η εφαρμογή δεν προσδιορίζει επακριβώς την γεωγραφική τοποθεσία εγκατάστασης του πάρκου επιλέγουμε αυτό να εγκατασταθεί στο νησί της Μήλου, λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού που παρουσιάζει η περιοχή.

Πριν την παρουσίαση των φύλλων του λογισμικού RETScreen, για την περίπτωση του αιολικού σταθμού που εξετάζουμε, θα παρουσιάσουμε πρώτα τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στη συμπλήρωση των φύλλων. Τα δεδομένα αυτά είναι τα εξής:



- Τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας: **0.070 €/kWh**
- Αριθμός μηχανών - Ισχύς μηχανών: **30 - 300 kW**
- Μέσος συντελεστής ισχύος εγκατάστασης - Διαθεσιμότητα: **0.45 - 90%**
- Ανηγμένη τιμή αρχικού κόστους των Α/Γ: **929.5 €/kW**
- Συντελεστής προσαύξησης αρχικού κόστους εγκατάστασης Α/Γ: **57%**
- Συντελεστής ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης: **2.1%**
- Πληθωρισμός - Επιτόκιο αναγωγής - Διάρκεια ζωής έργου: **4% - 12% - 20 έτη**
- Συντελεστής επιχορήγησης - Τοκοχρεολύσιο - Επιτόκιο δανεισμού : **40% - 30% - 9%**
- Κυλιόμενη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας : **3%**

Αρχικά, επιλέγουμε την τοποθεσία εγκατάστασης (εικόνα 6.1) που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η Μήλος. Στην εικόνα 6.1 φαίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής της Μήλου που επιλέξαμε καθώς και της θέσης λήψης των κλιματολογικών δεδομένων. Έπειτα στην εικόνα 6.2 δίνεται ο πίνακας με τις μηνιαίες και τις ετήσιες τιμές των κλιματικών δεδομένων. Στην εικόνα 6.3 δίνεται και η καμπύλη της ταχύτητας ανέμου της περιοχής.

**RETScreen - Τοποθεσία**

Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας

Θέση κλιματολογικών δεδομένων: Ελλάδα - Milos | Τοποθεσία εγκατάστασης: Greece

**Λεζάντα**

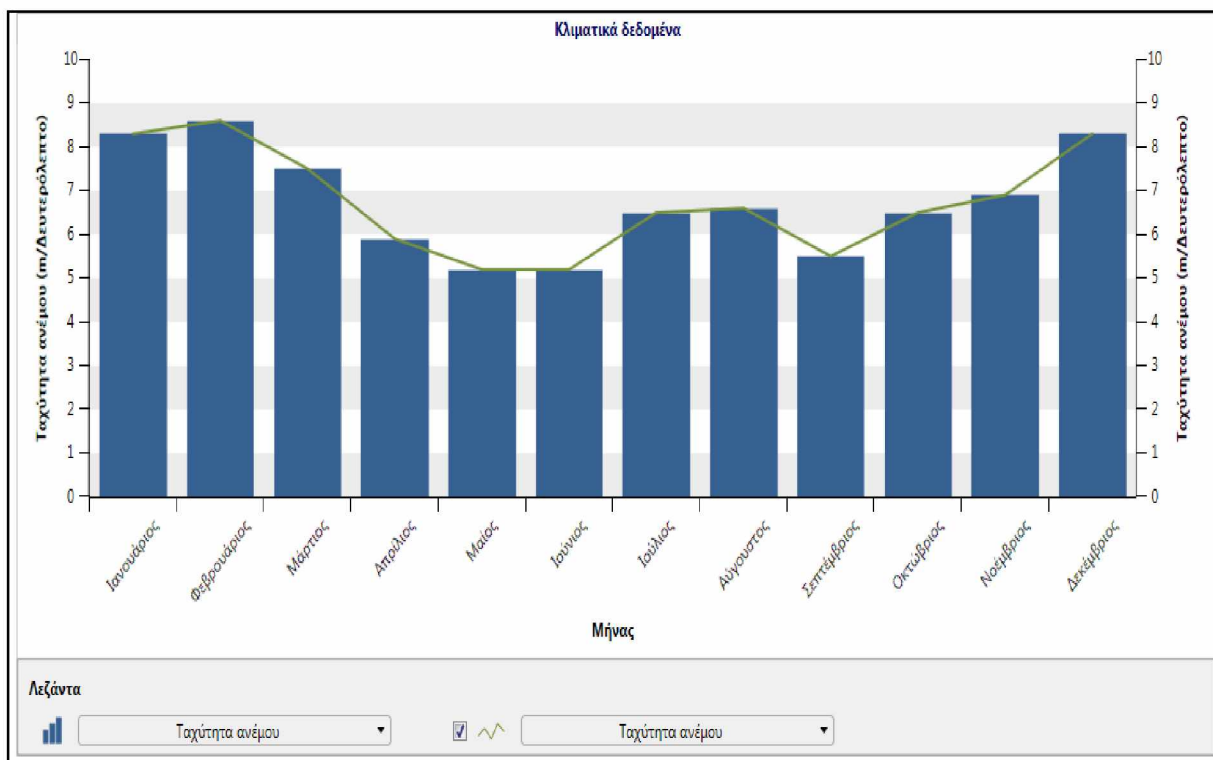
- Τοποθεσία εγκατάστασης
- Θέση κλιματολογικών δεδομένων

Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης	Πηγή	
Γεωγραφικό πλάτος	36,7	36,7		
Γεωγραφικό μήκος	24,5	24,3		
Κλιματική ζώνη	3Α - Θερμό - Υγρό			
Υψόμετρο	m	183	112	Εδαφος+NASA
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	5,1		Εδαφος - Χάρτης
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	31,7		Εδαφος
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	7,2		NASA

**Εικόνα 6.1** Τοποθεσία εγκατάστασης αιολικού σταθμού 9 MW

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Κατακρήμνιση	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης 18 °C	Βαθμό-ημέρες ψύξης 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	5.9	72.0%	97.24	1.94	97.6	4.2	5.1	377	0
Φεβρουάριος	6.4	66.8%	80.97	2.60	97.5	4.4	6.5	326	0
Μάρτιος	9.3	59.5%	75.46	3.62	97.4	3.8	10.6	269	0
Απρίλιος	14.1	50.2%	60.65	4.89	97.1	3.4	16.5	116	124
Μαΐος	19.9	42.5%	37.19	5.80	97.2	3.2	23.2	0	307
Ιούνιος	24.7	36.8%	34.67	7.08	97.2	3.0	28.8	0	442
Ιούλιος	27.3	34.1%	26.74	6.93	97.1	3.3	31.4	0	536
Αύγουστος	26.9	36.3%	27.36	6.20	97.1	3.3	30.6	0	525
Σεπτέμβριος	22.7	43.3%	67.87	4.83	97.4	3.1	25.5	0	382
Οκτώβριος	17.5	53.0%	73.35	3.16	97.6	3.5	18.8	16	232
Νοέμβριος	11.6	66.1%	131.39	2.01	97.6	3.9	11.5	192	48
Δεκέμβριος	7.2	73.4%	136.53	1.56	97.6	4.3	6.4	336	0
Ετήσιο	16.2	52.7%	849.42	4.23	97.4	3.6	18.0	1,631	2,596
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Μετρημένο σε						m	10	0	

Εικόνα 6.2 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές κλιματικών δεδομένων της τοποθεσίας εγκατάστασης



Εικόνα 6.3 Καμπύλη ταχύτητας ανέμου περιοχής

Στη συνέχεια στο φύλλο *Εγκατάσταση* εισάγουμε της πληροφορίες του έργου όπως φαίνεται στην εικόνα 6.4. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε σαν τύπο εγκαταστάσεων εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας και τύπο τεχνολογίας Α/Γ. Στη συνέχεια εισάγουμε την περιγραφή, το όνομα εγκατάστασης κ.τ.λ.

RETScreen - Εγκατάσταση Συνδρομητής: TEAM FFF 2016

Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις

Τύπος εγκαταστάσεων	Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
Τύπος	Ανεμογεννήτρια
Περιγραφή	Αιολικό πάρκο συνολικής ισχύος 9MW
Συντάχθηκε για	Συντάχθηκε για
Συντάχθηκε από	Συντάχθηκε από
Όνομα εγκατάστασης	Αιολικό πάρκο Μήλου
Διεύθυνση	Διεύθυνση
Πόλη/Δήμος	Μήλος
Επαρχία/Νομός	Νοτιό Αιγαίο
Χώρα	Ελλάδα



Φωτογραφία - ssuaphotos/Shutterstock.com

**Εικόνα 6.4** Πληροφοριακά στοιχεία εγκατάστασης αιολικού πάρκου

Στο φύλλο του *Ενεργειακού μοντέλου* και στην καρτέλα *Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα* εισάγουμε την τιμή της πωλούμενης ενέργειας σε €/kWh. Η σταθερή ετήσια τιμή πώλησης ορίζεται 0,063 €/kWh, καθώς η τιμή πώλησης στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) σε περίπτωση μη διασυνδεδεμένων νησιών ορίζεται ίση με 90% της τιμής διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας εκ μέρους της ΔΕΗ. Οπότε  $0.9 \times 0.070 \text{ €/kWh} = 0,063 \text{ €/kWh}$ .

RETScreen - Ενεργειακό Μοντέλο

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - Ανεμογεννήτρια - Αιολικό πάρκο συνολικής ισχύος 9MW

Καύσιμα & προγράμματα

- ▶ Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

- ▶ Ηλεκτρισμός
- Ανεμογεννήτρια

Περίληψη

- ▶ Να συμπεριληφθεί το σύστημα:
- ▶ Καύσιμα

Καύσιμα

Τύπος Καυσίμου: Φυσικό Αέριο - m<sup>3</sup>

Τιμή Καυσίμου - μονάδα: €/m<sup>3</sup>

Τιμή Καυσίμου: [ ]

Θερμογόνος Ικανότητα & Τιμή Καυσίμου: [ ]

---

Ηλεκτρική ενέργεια

Τύπος: Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - ετήσιο

Περιγραφή: Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσιο

Ρυθμός - μονάδα: €/kWh

Ρυθμός - ετήσιο: 0.063

[ ]

**Εικόνα 6.5** Τιμή πώλησης ενέργειας

Στη συνέχεια στη καρτέλα *Ανεμογεννήτρια* εισάγονται τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης και συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά των Α/Γ (εικόνα 6.6). Η τιμή του εκθέτη παραμόρφωσης επιλέγεται 0.22 λόγω του αγρίου και βραχύδους ανάγλυφου της επιλεγμένης περιοχής. Στην εικόνα 6.6 και 6.7 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των επιλεχθέντων Α/Γ. Εισάγουμε 30 Α/Γ ονομαστικής ισχύος 300 kW η καθεμία με αποτέλεσμα

η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου να προκύψει 9000 kW. Ο κατασκευαστής και το μοντέλο της επιλεγμένης, από τη βάση δεδομένων του RETScreen, Α/Γ είναι SIEMENS-AB BONUS 300 kW MKII με ύψος πυλώνα 40 m.

RETScreen - Ενεργειακό Μοντέλο Συνδρομητής: TEAM FFF 2016

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - Ανεμογεννήτρια - Αιολικό πάρκο συνολικής ισχύος 9MW

**Καύσιμα & προγράμματα**

- Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

**Τεχνολογία**

- Ηλεκτρισμός
- Ανεμογεννήτρια

**Περίληψη**

- Να συμπεριληφθεί το σύστημα:
- Καύσιμα

Αιολικό - Περιγραφή: Ανεμογεννήτρια

Αιολικό - Σημείωση:

Επίπεδο: 1, 2, 3

Αιολικό - Επίπεδο 2

**Αξιολόγηση πηγών**

Μέθοδος (εκτίμηση) φυσικών πόρων: Ταχύτητα ανέμου

Ταχύτητα ανέμου - ετήσια	m/Δευτερόλεπτο	6.7	Κλιματικά δεδομένα Ελλάδα - Μίλος	6.7
Μετρημένο σε	m	10		10
Εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου		0.22		
Θερμοκρασία αέρα - ετήσια	°C	17.7		17.7
Ατμοσφαιρική πίεση - ετήσια	kPa	101		101

**Ανεμογεννήτρια**

Ισχύς ανά στρόβιλο	kW	300	
Κατασκευαστής		Siemens	
Μοντέλο		AN BONUS 300 kW Mk III - 40m	
Αριθμός στρόβιλων		30	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	9,000	
Ύψος πυλώνα	m	40	91 m/Δευτερόλεπτο
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο	m	33.4	
Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο	m <sup>2</sup>	876.16	
Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων		Τυποποιημένο	
Παράγων σχήματος		2	

Εικόνα 6.6 Αξιολόγηση πηγών και χαρακτηριστικά Α/Γ

Σύστημα: Ηλεκτρισμός

Τεχνολογία: Ανεμογεννήτρια

Εύρος δυναμικότητας:

kW: 300 προς kW: 300

Κατασκευαστής: Siemens

Μοντέλο: AN BONUS 300 kW Mk III - 40m

Χωρητικότητα ανά μονάδα: kW: 300

Αριθμός μονάδων: 30

Ισχύς: kW: 9,000

Ύψος πυλώνα: 40 m

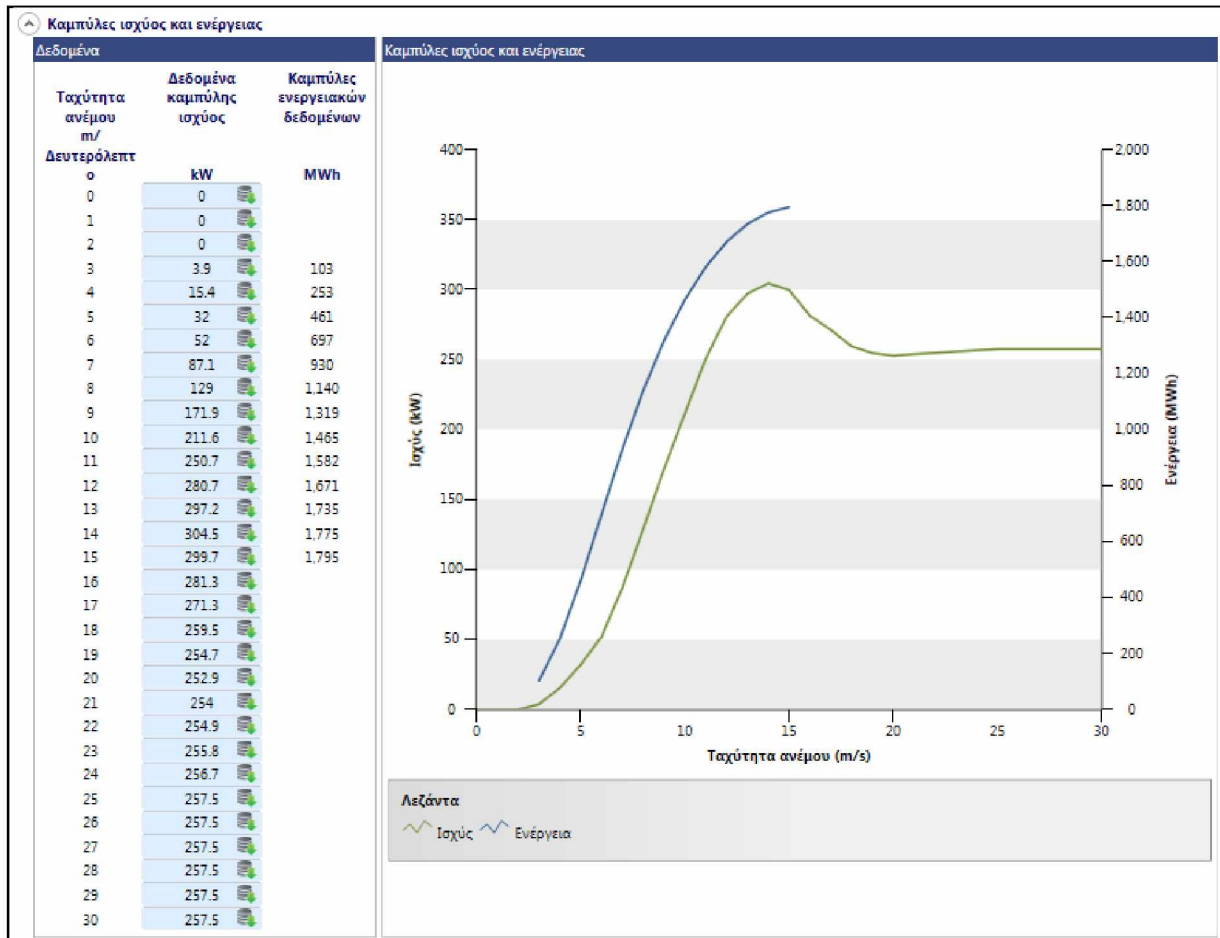
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο: 33.4 m

Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο: 876.16 m<sup>2</sup>

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	Ισχύς kW
0	0
1	0
2	0
3	3.9
4	15.4
5	32
6	52
7	87.1
8	129
9	172
10	212
11	251
12	281
13	297
14	305
15	300
16	281
17	271
18	260
19	255
20	253
21	254
22	255
23	256
24	257
25	258

Εικόνα 6.7 Εισαγωγή 30 μονάδων Α/Γ ονομαστικής ισχύος 300 kW

Μετά την επιλογή τύπου-μεγέθους Α/Γ το πρόγραμμα εμφανίζει αυτόματα της καμπύλες ισχύος και ενέργειας, που δείχνονται στην εικόνα 6.8.



**Εικόνα 6.8** Καμπύλες ισχύος και ενέργειας των επιλεγμένων Α/Γ

Έπειτα καθορίζουμε τις απώλειες (απώλειες διάταξης, πτερυγίου και λοιπές) και την διαθεσιμότητα των Α/Γ στο 90% (εικόνα 6.9). Ο συντελεστής ισχύος (Capacity Factor-CF) της εγκατάστασης προκύπτει 40.3%.

Απώλειες		
Απώλειες διάταξης	%	4%
Απώλειες πτερυγίου	%	4%
Λοιπές απώλειες	%	3%
Διαθεσιμότητα	%	90%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	40.3%
Αρχικά κόστη	€/kW	930
	€	8,365,500
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€	0
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh	0.063
	€/kWh	0.063
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kWh	31,753,371
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	2,000,462

**Εικόνα 6.9** Απώλειες, αρχικό κόστος Α/Γ και ετήσια πωλούμενη ηλεκτρική ενέργεια

Ο θεωρητικός υπολογισμός του CF προκύπτει από το γινόμενο του μέσου συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης, που είναι 0.45, και της διαθεσιμότητας. Επομένως για τον συντελεστή ισχύος έχουμε  $0.45 \times 90\% = 40.5\%$ , πράγμα που επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό του CF στο RETScreen (εικόνα 6.9).

Επίσης στην εικόνα 6.9 εισάγουμε την ανηγμένη τιμή αρχικού κόστους των Α/Γ που ανέρχεται σε 929,5 €/kW. Το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης των Α/Γ προκύπτει 8.365.500 €. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης δεν ορίζεται στο παρόν φύλλο καθώς θα οριστεί στη συνέχεια στο φύλλο *Ανάλυση Κόστους*. Τέλος απεικονίζεται και η υπολογισθείσα ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το αιολικό πάρκο στη διάρκεια ενός έτους και ανέρχεται σε 31.753.371 kWh αλλά και τα ετήσια έσοδα από την πώληση ενέργειας που ανέρχονται σε 2.000.462 €.

Στη συνέχεια, στο φύλλο *Ανάλυση Κόστους* (εικόνα 6.10), εισάγουμε την προσαύξηση στο αρχικό κόστος που είναι 57% επί του αρχικού κόστους εγκατάστασης των Α/Γ, οπότε προκύπτει 4.768.335 €. Η προσαύξηση οφείλεται στις δαπάνες των έργων για την ανάπτυξη και λειτουργία του σταθμού καθώς και σε απρόβλεπτους παράγοντες (μελέτη, ανάπτυξη, μηχανολογικά, οδοποιία, απρόβλεπτα, κ.τ.λ.). Το συνολικό αρχικό κόστος εγκατάστασης του αιολικού σταθμού προκύπτει 13.133.835 €. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή κόστους λειτουργίας και συντήρησης (2.1%) και του συνολικού αρχικού κόστους, οπότε υπολογίζεται 275.810 €.

RETScreen - Ανάλυση Κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αρχικό κόστος			€	8,365,500
Δείξε δεδομένα				
<b>Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας</b>				
Ανεμογεννήτρια			€	8,365,500 <a href="#">Ενημέρωση κόστους</a>
<input type="checkbox"/> Μελέτη, Ανάπτυξη, Απρόβλεπτα, κ.τ.λ.	κόστος	1	€	4,768,335
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>				<b>€ 13,133,835</b>
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		€	0
Δείξε δεδομένα				
<input type="checkbox"/> Κόστος λειτουργίας & Συντήρησης	κόστος	1	€	275,810
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>				<b>€ 275,810</b>
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-
<b>Συνολική ετήσια εξοικονόμηση</b>				<b>€ -</b>

**Εικόνα 6.10** Ανάλυση κόστους αιολικού πάρκου

Στην ενότητα *Οικονομικοί Παράμετροι* (εικόνα 6.11) του φύλλου *Οικονομική Ανάλυση* ορίζουμε την τιμή του πληθωρισμού στο 4%. Ακόμη, το επιτόκιο αναγωγής και η διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου έργου ορίζονται σε 12% και 20 έτη αντίστοιχα. Έπειτα, στην υποενότητα της χρηματοδότησης, το ποσό που καλύπτεται από επιχορηγήσεις είναι 40% του συνολικού αρχικού κόστους οπότε ανέρχεται σε 5.235.534 €. Όσο για το τοκοχρεολύσιο, το θέτουμε στο 30% του συνολικού αρχικού κόστους, συνεπώς το ποσό των 3.940.151 € θα καλυφθεί από δάνειο. Η μετοχή υπολογίζεται από το άθροισμα του ιδιωτικού κεφαλαίου, που αντιστοιχεί στο 30% του συνολικού αρχικού κόστους ήτοι 3.940.151 €, και του ποσού της επιχορήγησης, άρα υπολογίζεται σε 9.193.685 €. Θεωρούμε το επιτόκιο δανεισμού στο επίπεδο του 9% και ως περίοδο χρέους τα 5 έτη. Οι πληρωμές του χρέους υπολογίζονται 1.012.983 €/έτος.

Όσον αφορά την ενότητα *Ετήσια Έσοδα*, τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκαν σε 2.000.462 €, ενώ η κυλιόμενη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται σε 3%.

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
<b>Γενικά</b>		
Τιμή πληθωρισμού	%	4%
Επιτόκιο αναγωγής	%	12%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	20
<b>Χρηματοδότηση</b>		
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€	5,253,534
Τοκοχρεολύσιο	%	30%
Χρέος	€	3,940,151
Μετοχή	€	9,193,685
Επιτόκιο δανεισμού	%	9%
Περίοδος χρέους	έτος	5
Πληρωμές χρέους	€/έτος	1,012,983
<b>Ανάλυση φόρου εισοδήματος</b> <input type="checkbox"/>		
<b>Ετήσια έσοδα</b>		
<b>Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	31,753
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh	0,06
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	2,000,462
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%	3%
<b>Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ</b>		
Μικτή μείωση ΑΤΘ	tn CO <sub>2</sub> /έτος	22,870
Μικτή μείωση ΑΤΘ - 20 έτη	tn CO <sub>2</sub>	457,409
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€	0
<b>Λοιπά έσοδα (έξοδα)</b> <input type="checkbox"/>		
<b>Έσοδα παραγωγής Καθαρής Ενέργειας (ΚΕ)</b> <input type="checkbox"/>		

**Εικόνα 6.11** Οικονομικοί παράμετροι και ετήσια έσοδα αιολικού πάρκου

Στην ενότητα *Κόστος-Αποταμιεύσεις-Έσοδα* (εικόνα 6.12), τα συνολικά αρχικά κόστη είναι 13.133.835 €, τα συνολικά ετήσια κόστη ισοδυναμούν με 1.288.793 €, ενώ οι συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα ανέρχονται σε 2.000.462 €.

Κόστος   Αποθηκεύσεις   Έσοδο			
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Αρχικό κόστος	63.7%	€	8,365,500
Μελέτη, Ανάπτυξη, Απροβλεπτά, κ.τ.λ.	36.3%	€	4,768,335
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>100%</b>	<b>€</b>	<b>13,133,835</b>
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		€	5,253,534
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)		€	0
Κόστος λειτουργίας & Συντήρησης		€	275,810
Πληρωμές χρέους - 5 έτη		€	1,012,983
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>		<b>€</b>	<b>1,288,793</b>
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	2,000,462
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>		<b>€</b>	<b>2,000,462</b>

**Εικόνα 6.12** Κόστος, έσοδα και αποταμιεύσεις ολικού πάρκου

Στην ενότητα *Οικονομική Βιωσιμότητα* (εικόνα 6.13), οι οικονομικοί δείκτες που υπολογίζονται από το RETScreen είναι οι εξής:

- IRR μετοχών: **30.3%**
- IRR περιουσιακών στοιχείων: **17.8%**. Για να θεωρηθεί αποδεκτή η επένδυση, επιβάλλεται ο IRR να είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής, που το θέσαμε στο 12 %. Επομένως, η επενδυτική επιλογή θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα.
- Χρόνος απλής αποπληρωμής & αποπληρωμής μετόχων: **4,6 έτη**.
- Καθαρή παρούσα αξία (NPV): **8.244.802 €**. Στην προκειμένη περίπτωση ο δείκτης NPV είναι θετικός, οπότε η επένδυση θεωρείται βιώσιμη.
- Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής: **1.103.804 €**.
- Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K): **1.9**. Οπότε η επένδυση θεωρείται βιώσιμη, διότι ο δείκτης O-K είναι μεγαλύτερος της μονάδος.
- Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων: **1.8**.



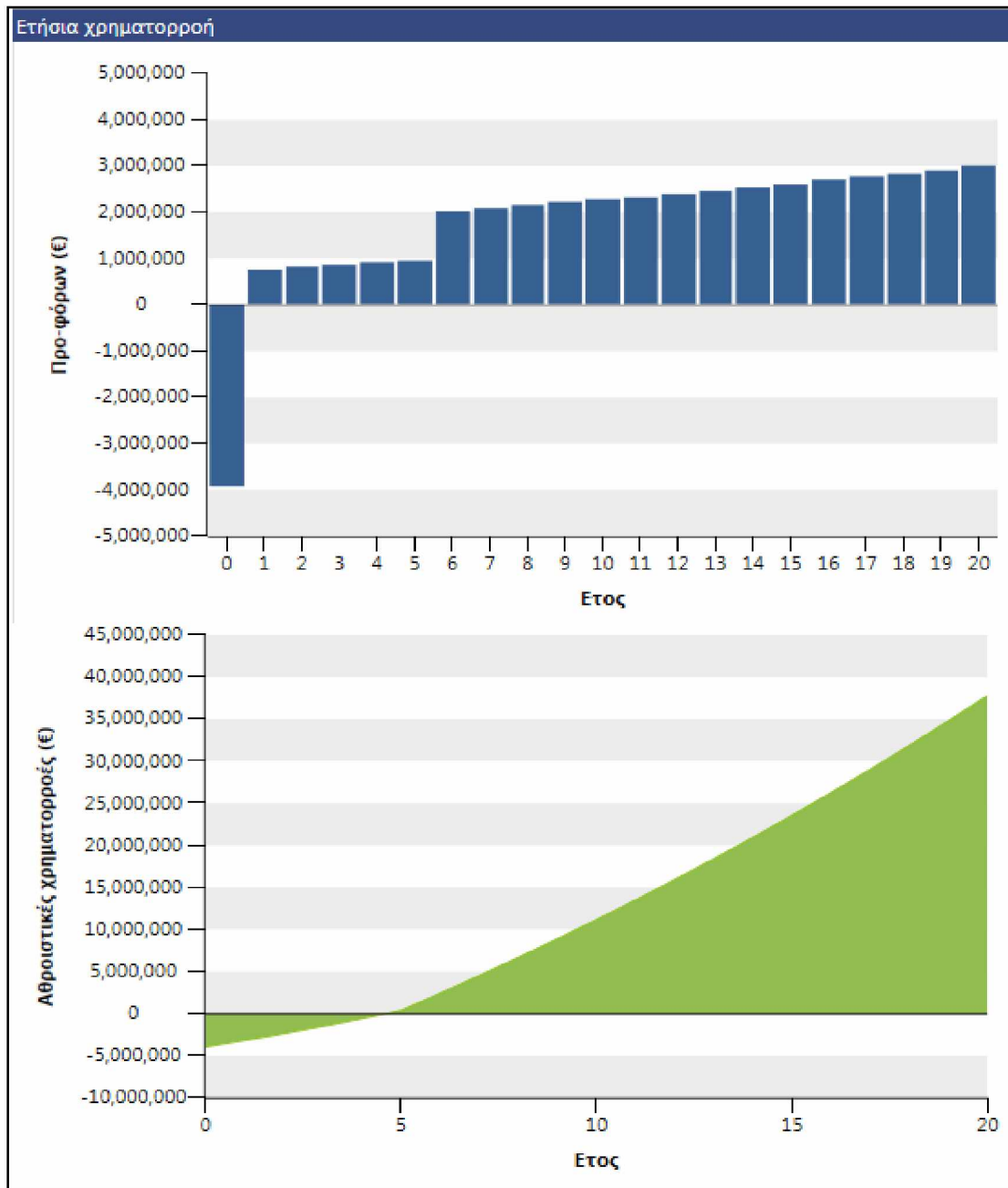
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	30.3%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	17.8%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4.6
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4.6
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	8,244,802
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	1,103,804
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		1.9
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1.8
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO <sub>2</sub>	-48
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/kWh	0.044

**Εικόνα 6.13** Οικονομική βιωσιμότητα αιολικής επένδυσης

Ακόμη στο τέλος του φύλλου *Οικονομική Ανάλυση* παρουσιάζεται ο αναλυτικός πίνακας με τις ετήσιες χρηματοροές (εικόνα 6.14), καθώς και τα γραφήματα προ φόρων και αθροιστικών χρηματοροών (εικόνα 6.15).

Ετήσια χρηματοροή		
Ετος	Προ-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€
0	-3,940,151	-3,940,151
1	760,651	-3,179,500
2	810,991	-2,368,508
3	862,728	-1,505,781
4	915,896	-589,884
5	970,536	380,652
6	2,039,669	2,420,321
7	2,097,369	4,517,690
8	2,156,661	6,674,351
9	2,217,586	8,891,937
10	2,280,188	11,172,125
11	2,344,511	13,516,636
12	2,410,600	15,927,237
13	2,478,503	18,405,739
14	2,548,265	20,954,004
15	2,619,937	23,573,941
16	2,693,568	26,267,509
17	2,769,209	29,036,718
18	2,846,913	31,883,631
19	2,926,733	34,810,364
20	3,008,724	37,819,088

**Εικόνα 6.14** Ετήσια χρηματοροή αιολικής επένδυσης



**Εικόνα 6.15** Γραφήματα ετήσιων χρηματοροών αιολικής επένδυσης

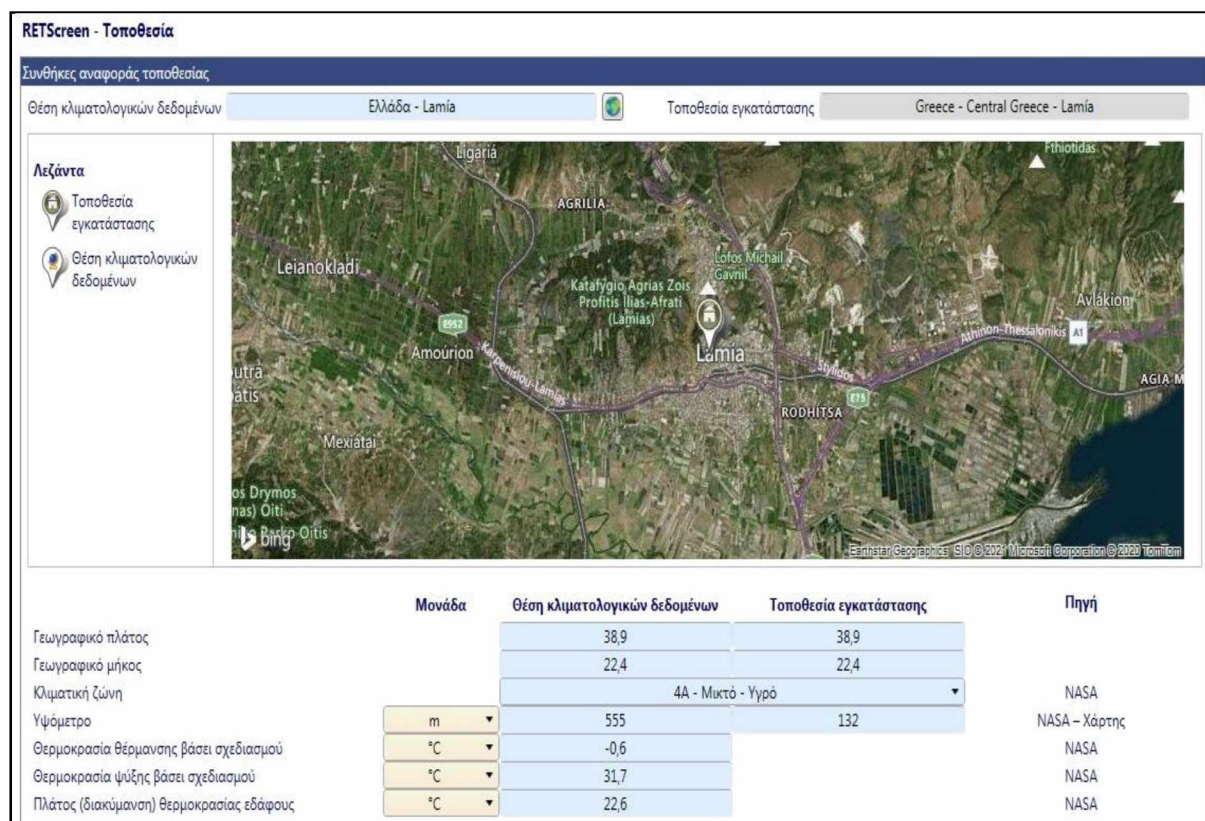
### 6.3. Μελέτη Φ/Β σταθμού ισχύος 5 MW στην ηπειρωτική Ελλάδα

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί το Φ/Β πάρκο ισχύος 5 MW της ενότητας 3.10 (σελ. 47 ως 49) που αποτελεί ένα πάρκο στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο αφού θα τοποθετηθεί σε περιοχή της ηπειρωτικής Ελλάδας. Επειδή και σε αυτήν την περίπτωση η εφαρμογή δεν προσδιορίζει επακριβώς την γεωγραφική τοποθεσία εγκατάστασης επιλέγουμε να εγκατασταθεί στην ευρύτερη περιοχή της Λαμίας. Πριν την παρουσίαση των φύλλων του λογισμικού RETScreen, για το Φ/Β σταθμό που θα μελετήσουμε, θα δώσουμε πρώτα τα

δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στη συμπλήρωση των φύλλων. Τα δεδομένα αυτά είναι τα εξής:

- Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα: **0.40 €/kWh**
- Συντελεστής ισχύος εγκατάστασης (Capacity Factor): **0.15**
- Ανηγμένη τιμή αρχικού κόστους Φ/Β: **4250 €/kW**
- Συντελεστής προσαύξησης αρχικού κόστους εγκατάστασης Φ/Β: **15%**
- Συντελεστής ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης: **0.5%**
- Πληθωρισμός - Επιτόκιο αναγωγής - Διάρκεια ζωής έργου: **4% - 8% - 30 έτη**
- Συντελεστής επιχορήγησης - Τοκοχρεολύσιο - Επιτόκιο δανεισμού : **50% - 30% - 8%**
- Κυλιόμενη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας : **3%**

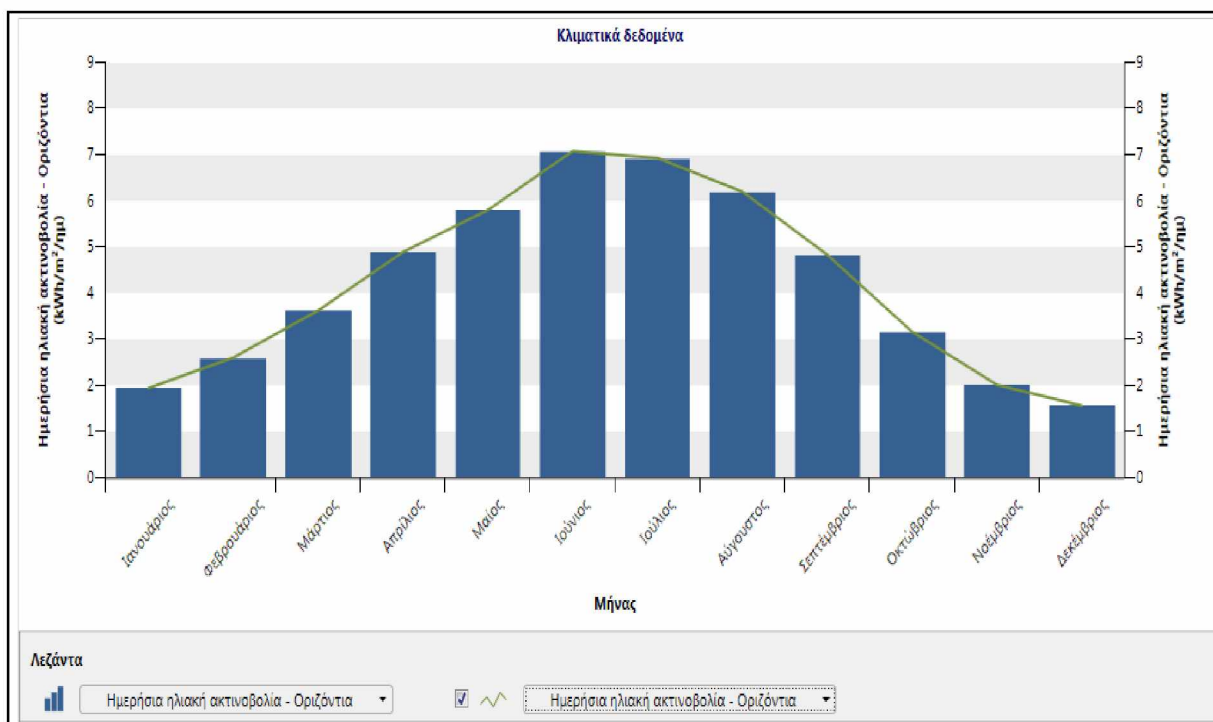
Στο φύλλο *Τοποθεσία* επιλέγουμε την τοποθεσία εγκατάστασης (εικόνα 6.16) που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η Λαμία. Στην εικόνα 6.16 φαίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής της Λαμίας που επιλέξαμε καθώς και της θέσης λήψης των κλιματολογικών δεδομένων. Έπειτα στην εικόνα 6.17 δίνεται ο πίνακας με τις μηνιαίες και τις ετήσιες τιμές των κλιματικών δεδομένων της περιοχής και στην εικόνα 6.18 δίνεται η καμπύλη της ημερήσιας οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας.



**Εικόνα 6.16** Τοποθεσία εγκατάστασης Φ/Β σταθμού 5 MW

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 <sup>2</sup> /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	5.9	72.0%	97.24	1.94	97.6	4.2	5.1	377	0
Φεβρουάριος	6.4	66.8%	80.97	2.60	97.5	4.4	6.5	326	0
Μάρτιος	9.3	59.5%	75.46	3.62	97.4	3.8	10.6	269	0
Απρίλιος	14.1	50.2%	60.65	4.89	97.1	3.4	16.5	116	124
Μαΐος	19.9	42.5%	37.19	5.80	97.2	3.2	23.2	0	307
Ιούνιος	24.7	36.8%	34.67	7.08	97.2	3.0	28.8	0	442
Ιούλιος	27.3	34.1%	26.74	6.93	97.1	3.3	31.4	0	536
Αύγουστος	26.9	36.3%	27.36	6.20	97.1	3.3	30.6	0	525
Σεπτέμβριος	22.7	43.3%	67.87	4.83	97.4	3.1	25.5	0	382
Οκτώβριος	17.5	53.0%	73.35	3.16	97.6	3.5	18.8	16	232
Νοέμβριος	11.6	66.1%	131.39	2.01	97.6	3.9	11.5	192	48
Δεκέμβριος	7.2	73.4%	136.53	1.56	97.6	4.3	6.4	336	0
<b>Ετήσιο</b>	<b>16.2</b>	<b>52.7%</b>	<b>849.42</b>	<b>4.23</b>	<b>97.4</b>	<b>3.6</b>	<b>18.0</b>	<b>1,631</b>	<b>2,596</b>
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Μετρημένο σε					m	10	0		

**Εικόνα 6.17** Μηνιαίες και ετήσιες τιμές κλιματικών δεδομένων της περιοχής



**Εικόνα 6.18** Καμπύλη ημερήσιας οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας περιοχής

Έπειτα στο φύλλο *Εγκατάσταση* βάζουμε της πληροφορίες του έργου όπως φαίνεται στην εικόνα 6.19. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε σαν τύπο εγκαταστάσεων εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας και τύπο τεχνολογίας Φ/Β. Στη συνέχεια εισάγουμε την περιγραφή, το όνομα εγκατάστασης κ.τ.λ.

RETScreen - Εγκατάσταση Συνδρομητής: TEAM FFF 2016

Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις

Τύπος εγκαταστάσεων	Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
Τύπος	Φωτοβολταϊκό
Περιγραφή	Φωτοβολταϊκό πάρκο συνολικής ισχύος 5MW
Συντάχθηκε για	Συντάχθηκε για
Συντάχθηκε από	Συντάχθηκε από
Όνομα εγκατάστασης	Φωτοβολταϊκό πάρκο Λαμίας 5MW
Διεύθυνση	Διεύθυνση
Πόλη/Δήμος	Lamia
Επαρχία/Νομός	Central Greece
Χώρα	Ελλάδα



Φωτογραφία - Windwärts Energie, CC BY-NC-ND 2.0

**Εικόνα 6.19** Πληροφορικά στοιχεία εγκατάστασης Φ/Β πάρκου

Στο φύλλο του *Ενεργειακού μοντέλου* και στην καρτέλα *Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα* εισάγουμε την τιμή πώλησης της ενέργειας παραγωγής σε €/kWh. Η σταθερή ετήσια τιμή πώλησης ορίζεται 0.40 €/kWh σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για παραγωγή ενέργειας από Φ/Β.

RETScreen - Ενεργειακό Μοντέλο Συνδρομητής: TEAM FFF 2016

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - Φωτοβολταϊκό - Φωτοβολταϊκό πάρκο συνολικής ισχύος 5MW

**Καύσιμα & προγράμματα**

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

**Τεχνολογία**

Ηλεκτρισμός  
Φωτοβολταϊκό

**Περίληψη**

Να συμπεριληφθεί το σύστημα;

Καύσιμα

**Καύσιμα**

Τύπος Καυσίμου: Φυσικό Αέριο - m<sup>3</sup>

Τιμή Καυσίμου - μονάδα: €/m<sup>3</sup>

Τιμή Καυσίμου: [ ]

Θερμογόνος Ικανότητα & Τιμή Καυσίμου: [ ]

---

**Ηλεκτρική ενέργεια**

Τύπος: Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - ετήσιο

Περιγραφή: Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσιο

Ρυθμός - μονάδα: €/kWh

Ρυθμός - ετήσιο: 0.40

**Εικόνα 6.20** Τιμή πώλησης ενέργειας παραγωγής σε €/kWh

Έπειτα στη καρτέλα *Φωτοβολταϊκό* επιλέγονται τα χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος (εικόνα 6.21). Αρχικά καθορίζεται η λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου ως σταθεροποιημένα Φ/Β πλαίσια και η γωνία κλίσης τους 30°. Μετά επιλέγεται το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (μόνο-Si) ως τύπος υλικού των πλαισίων και στη συνέχεια ο κατασκευαστής και το μοντέλο των πλαισίων (εικόνα 6.22). Στην εικόνα 6.21 και 6.22 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των επιλεγθέντων πλαισίων. Εισάγουμε 25.000 Φ/Β πλαίσια

ονομαστικής ισχύος 200 W το κάθε ένα, με αποτέλεσμα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του Φ/Β πάρκου να προκύψει 5000 kW. Ο κατασκευαστής και το μοντέλο των επιλεγμένων Φ/Β πλαισίων, από τη βάση δεδομένων του RETScreen, είναι Apin Solar μόνο-Si SPP200 με βαθμό απόδοσης 12.2% και επιφάνεια πλαισίου 1.64 m<sup>2</sup>.

**RETScreen - Ενεργειακό Μοντέλο** Συδρομητής: TEAM FFF 2016

Εργαστήριο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - Φωτοβολταϊκό - Φωτοβολταϊκό πάρκο συνολικής ισχύος 5MW

**Καύσιμα & προγράμματα**  
 Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

**Τεχνολογία**  
 Ηλεκτρισμός  
 Φωτοβολταϊκό

**Περίληψη**  
 Να συμπεριληφθεί το σύστημα;  
 Καύσιμα

Φωτοβολταϊκό  
 Περιγραφή: Φωτοβολταϊκό  
 Σημείωση:

Επίπεδο  
 Επίπεδο 1  
 Επίπεδο 2

Φωτοβολταϊκό - Επίπεδο 2

**Αξιολόγηση πηγών**  
 Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου: Σταθεροποιημένα  
 Κλίση: 30  
 Αζιμούθιο: 0

Δείξε δεδομένα

**Φωτοβολταϊκό**

Τύπος	μονο-Si
Ηλεκτρική ισχύς	5,000 kW
Κατασκευαστής	Apin Solar
Μοντέλο	μονο-Si - SPP200
Αριθμός μονάδων	25,000
Βαθμός απόδοσης	12.2%
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελλίου	45 °C
Συντελεστής θερμοκρασίας	0.4% / °C
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	40,984 m <sup>2</sup>
Λοιπές απώλειες	3%

Εικόνα 6.21 Αξιολόγηση πηγών και χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος

**RETScreen - Βάση δεδομένων προϊόντων**

Σύστημα: Ηλεκτρισμός  
 Τεχνολογία: Φωτοβολταϊκό  
 Τύπος: μονο-Si

Εύρος δυναμικότητας: 0 kW προς 1 kW

Κατασκευαστής: Apin Solar  
 Μοντέλο: μονο-Si - SPP200

Χωρητικότητα ανά μονάδα: 200 W  
 Αριθμός μονάδων: 25,000  
 Ισχύς: 5,000 kW

Βαθμός απόδοσης: 12.2 %  
 Επιφάνεια πλαισίου: 1.64 m<sup>2</sup>

Εικόνα 6.22 Εισαγωγή 25.000 Φ/Β πλαισίων ονομαστικής ισχύος 200 W

Επίσης στην *Αξιολόγηση πηγών* το πρόγραμμα εμφανίζει τον παρακάτω πίνακα (εικόνα 6.23) με τις μηνιαίες και ετήσιες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο καθώς και την μηνιαία και ετήσια παραγωγή ενέργειας σε MWh.

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - κεκλιμένο επίπεδο kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού €/kWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh
Ιανουάριος	1.94	2.88	0.40	373.784
Φεβρουάριος	2.60	3.39	0.40	395.662
Μάρτιος	3.62	4.18	0.40	530.779
Απρίλιος	4.89	5.11	0.40	612.940
Μαίος	5.80	5.60	0.40	676.023
Ιούνιος	7.08	6.57	0.40	745.538
Ιούλιος	6.93	6.54	0.40	758.022
Αύγουστος	6.20	6.31	0.40	731.046
Σεπτέμβριος	4.83	5.47	0.40	628.194
Οκτώβριος	3.16	3.97	0.40	487.516
Νοέμβριος	2.01	2.83	0.40	348.546
Δεκέμβριος	1.56	2.30	0.40	299.497
<b>Ετήσιο</b>	<b>4.23</b>	<b>4.60</b>	<b>0.40</b>	<b>6,587.547</b>
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο	MWh/m <sup>2</sup>	1.54		
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο	MWh/m <sup>2</sup>	1.68		

**Εικόνα 6.23** Πίνακας τιμών ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης ενέργειας

Έπειτα καθορίζουμε τα χαρακτηριστικά του μετατροπέα (inverter) και ακολουθεί περίληψη όπου εισάγονται τα κόστη (εικόνα 6.24). Ο βαθμός απόδοσης του μετατροπέα ορίζεται 90%, η ισχύς του 5.000 kW και οι απώλειες του 5%. Ο συντελεστής ισχύος (Capacity Factor-CF) της εγκατάστασης προκύπτει 15%.

Μετατροπέας (inverter)		
Βαθμός απόδοσης	%	90%
Ισχύς	kW	5,000
Λοιπές απώλειες	%	5%
<b>Περίληψη</b>		
Συντελεστής ισχύος	%	15%
Αρχικά κόστη	€/kW	4,250
	€	21,250,000
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/kW-έτος	0
	€	0
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh	0.40
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	6,588
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	2,635,019

**Εικόνα 6.24** Χαρακτηριστικά inverter και περίληψη Φ/Β συστήματος

Επίσης στην εικόνα 6.24 εισάγουμε την ανηγμένη τιμή αρχικού κόστους των Φ/Β που ανέρχεται σε 4.250 €/kW. Το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης των Φ/Β προκύπτει

21.250.000 €. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης δεν ορίζεται στο παρόν φύλλο καθώς θα οριστεί στη συνέχεια στο φύλλο *Ανάλυση Κόστους*. Ακόμη φαίνεται και η υπολογισθείσα ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το Φ/Β πάρκο στη διάρκεια ενός έτους και ανέρχεται σε 6.588 MWh αλλά και τα ετήσια έσοδα από την πώληση ενέργειας που ανέρχονται σε 2.635.019 €.

Στη συνέχεια, στο φύλλο *Ανάλυση Κόστους* (εικόνα 6.25), εισάγουμε την προσαύξηση αρχικού κόστους, που είναι 15% επί του αρχικού κόστους εγκατάστασης των Φ/Β, οπότε προκύπτει 3.187.500 €. Το συνολικό αρχικό κόστος εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού προκύπτει 24.437.500 €. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή κόστους λειτουργίας και συντήρησης (0.5%) και του συνολικού αρχικού κόστους, οπότε υπολογίζεται 122.188 €.

RETScreen - Ανάλυση Κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αρχικό κόστος			€	21,250,000
Δείξε δεδομένα				
<input type="checkbox"/> Μελέτη, Ανάπτυξη, Απρόβλεπτα, κ.τ.λ	κόστος	1	€ 3,187,500	€ 3,187,500
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>				<b>€ 24,437,500</b>
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		€	0
Δείξε δεδομένα				
<input type="checkbox"/> Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης	κόστος	1	€ 122,188	€ 122,188
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>				<b>€ 122,188</b>
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-
<b>Συνολική ετήσια εξοικονόμηση</b>				<b>€ -</b>

**Εικόνα 6.25** Ανάλυση κόστους Φ/Β πάρκου

Στην ενότητα *Οικονομικοί Παράμετροι* (εικόνα 6.26) του φύλλου *Οικονομική Ανάλυση* ορίζουμε την τιμή του πληθωρισμού στο 4%. Ακόμη, το επιτόκιο αναγωγής και η διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου έργου ορίζονται σε 8% και 30 έτη αντίστοιχα. Έπειτα, στην υποενότητα της χρηματοδότησης, το ποσό που καλύπτεται από επιχορηγήσεις είναι 50% του συνολικού αρχικού κόστους οπότε ανέρχεται σε 12.218.750 €. Όσο για το τοκοχρεολύσιο, το θέτουμε στο 30% του συνολικού αρχικού κόστους, συνεπώς το ποσό των 7.331.250 € θα καλυφθεί από δάνειο. Η μετοχή υπολογίζεται από το άθροισμα του ιδιωτικού κεφαλαίου, που αντιστοιχεί στο 20% του συνολικού αρχικού κόστους ήτοι 4.887.500 €, και του ποσού της επιχορήγησης, άρα υπολογίζεται σε 17.106.250 €. Θεωρούμε το επιτόκιο δανεισμού 8% και



ως περίοδο χρέους τα 30 έτη. Οι πληρωμές του χρέους υπολογίζονται 651.216 €/έτος.

Όσον αφορά την ενότητα *Ετήσια Έσοδα*, τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται σε 2.635.019 €, ενώ η κυλιόμενη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται σε 3%.

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση		
<b>Οικονομικοί Παράμετροι</b>		
<b>Γενικά</b>		
Τιμή πληθωρισμού	%	4%
Επιτόκιο αναγωγής	%	8%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	30
<b>Χρηματοδότηση</b>		
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€	12,218,750
Τοκοχρεολύσιο	%	30%
Χρέος	€	7,331,250
Μετοχή	€	17,106,250
Επιτόκιο δανεισμού	%	8%
Περίοδος χρέους	έτος	30
Πληρωμές χρέους	€/έτος	651,216
<b>Ανάλυση φόρου εισοδήματος</b>		<input type="checkbox"/>
<b>Ετήσια έσοδα</b>		
<b>Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	6,588
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh	0.40
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	2,635,019
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%	3%
<b>Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ</b>		
Μικτή μείωση ΑΤΘ	tn CO <sub>2</sub> /έτος	4,745
Μικτή μείωση ΑΤΘ - 30 έτη	tn CO <sub>2</sub>	142,341
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€	0
<b>Λοιπά έσοδα (έξοδα)</b>		<input type="checkbox"/>
<b>Έσοδα παραγωγής Καθαρής Ενέργειας (ΚΕ)</b>		<input type="checkbox"/>

**Εικόνα 6.26** Οικονομικοί παράμετροι και ετήσια έσοδα Φ/Β πάρκου

Στην ενότητα *Κόστος-Αποταμιεύσεις-Έσοδα* (εικόνα 6.27), τα συνολικά αρχικά κόστη είναι 24.437.500 €, τα συνολικά ετήσια κόστη ισοδυναμούν με 773.404 €, ενώ οι συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα ανέρχονται σε 2.635.019 €.

Κόστος   Αποθηκεύσεις   Έσοδο			
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Αρχικό κόστος	87%	€	21,250,000
Μελέτη, Ανάπτυξη, Απρόβλεπτα, κ.τ.λ	13%	€	3,187,500
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>100%</b>	<b>€</b>	<b>24,437,500</b>
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		€	12,218,750
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)		€	0
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης		€	122,188
Πληρωμές χρέους - 30 έτη		€	651,216
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>		<b>€</b>	<b>773,404</b>
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	2,635,019
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>		<b>€</b>	<b>2,635,019</b>

**Εικόνα 6.27** Κόστος, έσοδα και αποταμιεύσεις Φ/Β πάρκου

Στην ενότητα *Οικονομική Βιωσιμότητα* (εικόνα 6.28), οι οικονομικοί δείκτες που υπολογίζονται ως εξής:

- IRR μετοχών: **43.5%**
- IRR περιουσιακών στοιχείων: **19.4%**. Για να θεωρηθεί αποδεκτή η επένδυση, επιβάλλεται ο IRR να είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής, που το θέσαμε στο 8%. Επομένως, η επενδυτική επιλογή θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα.
- Χρόνος απλής αποπληρωμής: **4,9 έτη**.
- Χρόνος αποπληρωμής μετόχων: **2,4 έτη**.
- Καθαρή παρούσα αξία (NPV): **26.816.245 €**. Ο δείκτης NPV είναι θετικός, οπότε η επένδυση θεωρείται βιώσιμη.
- Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής: **2.382.018 €**.
- Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K): **2.6**. Η επένδυση θεωρείται βιώσιμη, διότι ο δείκτης O-K είναι μεγαλύτερος της μονάδος.
- Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων: **4**.

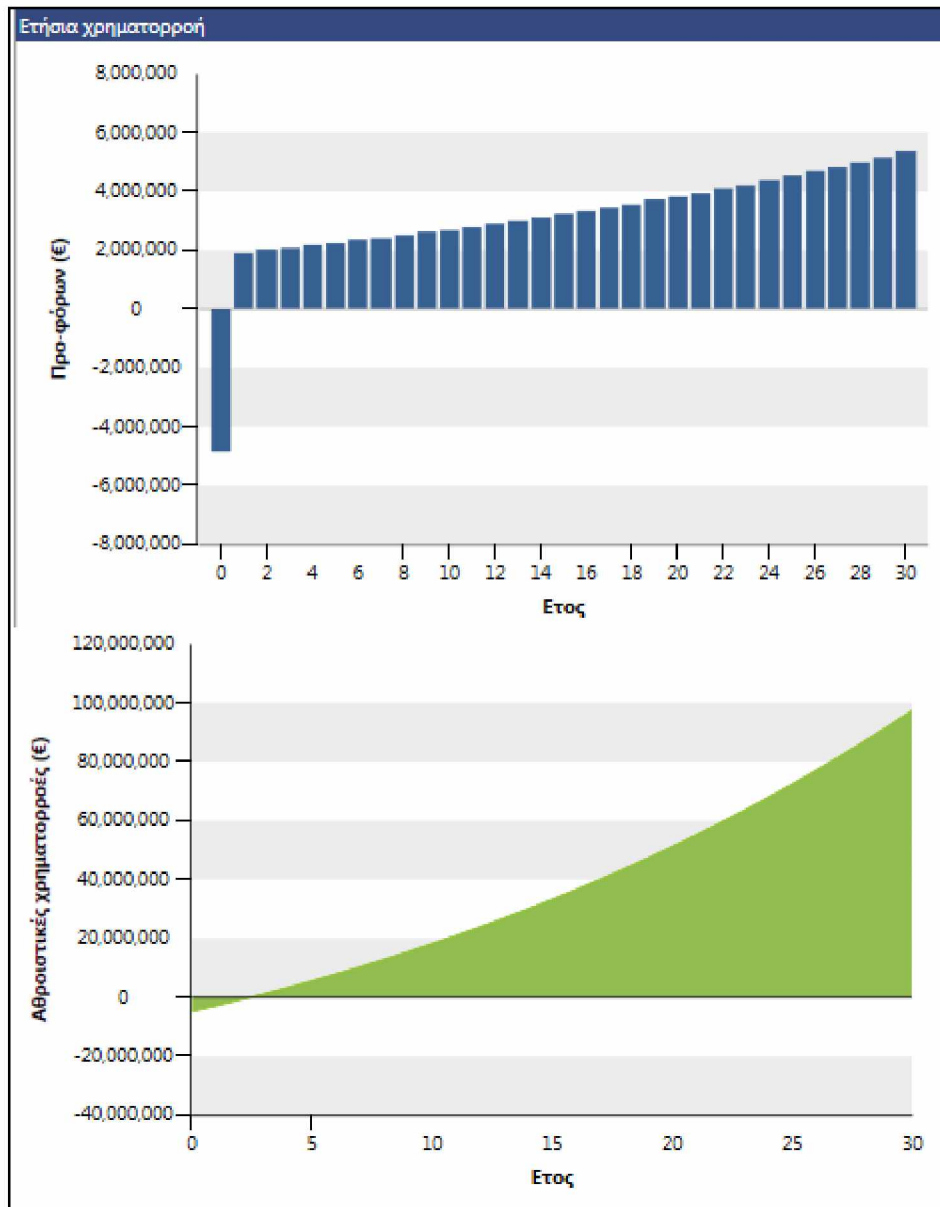
Ακόμη στο τέλος του φύλλου Οικονομική Ανάλυση παρουσιάζεται ο αναλυτικός πίνακας με τις ετήσιες χρηματορροές (εικόνα 6.29), καθώς και τα γραφήματα προ φόρων και αθροιστικών χρηματορροών (εικόνα 6.30).

Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	43,5%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	19,4%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	2,4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	26,816,245
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	2,382,018
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		2,6
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		4
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO <sub>2</sub>	-502
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/kWh	0,194

Εικόνα 6.28 Οικονομική βιωσιμότητα Φ/Β επένδυσης

Ετήσια χρηματοροή		
Ετος	Προ-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€
0	-4,887,500	-4,887,500
1	1,935,778	-2,951,722
2	2,012,117	-939,606
3	2,090,695	1,151,089
4	2,171,578	3,322,667
5	2,254,832	5,577,500
6	2,340,527	7,918,027
7	2,428,733	10,346,760
8	2,519,524	12,866,284
9	2,612,974	15,479,258
10	2,709,161	18,188,419
11	2,808,163	20,996,582
12	2,910,064	23,906,645
13	3,014,946	26,921,591
14	3,122,896	30,044,487
15	3,234,003	33,278,490
16	3,348,359	36,626,850
17	3,466,058	40,092,908
18	3,587,196	43,680,104
19	3,711,873	47,391,978
20	3,840,192	51,232,170
21	3,972,257	55,204,426
22	4,108,177	59,312,603
23	4,248,063	63,560,665
24	4,392,029	67,952,695
25	4,540,195	72,492,889
26	4,692,680	77,185,569
27	4,849,609	82,035,178
28	5,011,110	87,046,288
29	5,177,316	92,223,605
30	5,348,362	97,571,966

Εικόνα 6.29 Ετήσια χρηματοροή Φ/Β επένδυσης



**Εικόνα 6.30** Γραφήματα ετήσιων χρηματοροών Φ/Β επένδυσης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 7.1. Συμπεράσματα εργασίας

Αρχικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν σε πρώτο στάδιο να γίνει μια σύντομη παρουσίαση των ΑΠΕ καθώς και της παρούσας κατάστασης τους στον Ελληνικό χώρο με σκοπό να αναδειχθεί η σπουδαιότητα της περαιτέρω ανάπτυξης τους στο τομέα της παραγωγής ενέργειας.

Σε δεύτερο στάδιο επιλύθηκαν 30 υπολογιστικές εφαρμογές ΑΠΕ με τη βοήθεια λογισμικού μαθηματικών αναλύσεων και συγκεκριμένα με το πρόγραμμα MathCad. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι σε όλες τις εφαρμογές ο υπολογισμός είναι ακριβής καθώς δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση στα ζητούμενα αποτελέσματα. Επομένως το λογισμικό του MathCad μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάλλιστα για την επίλυση εφαρμογών ΑΠΕ καθώς στην επίλυση των εξισώσεων που απαιτήθηκαν δεν δίνει σφάλματα.

Όσο αναφορά την επίλυση των 5 εφαρμογών του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου δεν υπάρχει μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων καθώς ο συγγραφέας του Βιβλίου 3 παρουσιάζει μεν το πρόβλημα αλλά δεν το επιλύει. Χρησιμοποιώντας όμως τις μαθηματικές εξισώσεις και το θεωρητικό υπόβαθρο των εφαρμογών του Βιβλίου 3 επιλύονται με τη βοήθεια του MathCad και τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά, σύμφωνα με τα δεδομένα και το περιεχόμενο του προβλήματος.

Σαν γενικό συμπέρασμα σχετικά με την επίλυση των εφαρμογών ΑΠΕ των κεφαλαίων 1, 2 και 3 είναι ότι οι συγκεκριμένες εφαρμογές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικό σκοπό άλλα και για τον υπολογισμό κρίσιμων παραμέτρων μελετών μικρών κυρίως έργων ΑΠΕ. Ο χρήστης, μιας εφαρμογής ΑΠΕ της παρούσας εργασίας, είναι δυνατό να διαφοροποιήσει ένα η περισσότερα δεδομένα με σκοπό να δει πως αυτά επιδρούν στα αποτελέσματα του προβλήματος. Επομένως με αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογίσει τις παραμέτρους που απαιτούνται για την επίλυση του δικού του προβλήματος. Επιπλέον η διαφοροποίηση των δεδομένων των εφαρμογών και η επίδραση τους στα αποτελέσματα μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση και στην εκμάθηση των ΑΠΕ.

Στο τελευταίο στάδιο της παρούσας εργασίας (κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>) έγινε η οικονομοτεχνική ανάλυση δυο σταθμών παραγωγής ενέργειας με τη χρήση του λογισμικού RetScreen. Από τα αποτελέσματα του 5<sup>ου</sup> κεφαλαίου αποδεικνύεται ότι η επένδυση, τόσο για τον αιολικό σταθμό ισχύος 9 MW στο νησί της Μήλου όσο και για τον Φ/Β σταθμό ισχύος 5 MW σε περιοχή της

Λαμίας, είναι οικονομικά βιώσιμη. Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε και από τον υπολογισμό των αντίστοιχων οικονομικών μεγεθών για τον αιολικό σταθμό στην ενότητα 3.6 και για τον Φ/Β σταθμό στην ενότητα 3.10 του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου. Τα κοινά οικονομικά αποτελέσματα των υπολογισμών από τα δύο λογισμικά (RetScreen και MathCad) φαίνονται στον πίνακα 7.1 για τον αιολικό και στον πίνακα 7.2 για τον Φ/Β σταθμό.

<i>Αποτέλεσμα</i>	<i>RetScreen (ενότητα 6.2)</i>	<i>MathCad (ενότητα 3.6)</i>
Αρχικό κόστος επένδυσης	13.133.835 €	13.133.920 €
Ιδιωτικά κεφάλαια	3.940.151 €	3.940.176 €
Επιχορηγήσεις	5.235.534 €	5.253.568 €
Χρέος	3.940.151 €	3.940.176 €
Ετήσια έσοδα	2.000.462 €	2.011.602,6 €
Χρόνος απόσβεσης σε έτη	4,6	5,53

**Πίνακας 7.1** Οικονομικά αποτελέσματα αιολικού σταθμού ισχύος 9 MW στη Μήλο

Στον πίνακα 7.1 διαπιστώνουμε ότι οι διαφοροποιήσεις στους υπολογισμούς ανάμεσα στα δύο λογισμικά είναι πολύ μικρές εκτός από τον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης που στην περίπτωση υπολογισμού με το RetScreen υπολογίζεται σχεδόν κατά 1 έτος μικρότερος σε σχέση με αυτόν που προέκυψε με το MathCad. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε ότι, προκειμένου να προσδιοριστεί με επιπλέον ασφάλεια η βιωσιμότητα της επένδυσης, με το RetScreen υπολογίζονται και επιπλέον οικονομικοί δείκτες όπως Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV), Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR), Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ), κ.τ.λ., πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει στον υπολογισμό με το MathCad. Ο υπολογισμός όλων αυτών των δεικτών στην ενότητα 6.2 έδειξε ότι η επένδυση καθίσταται οικονομικά βιώσιμη.

<i>Αποτέλεσμα</i>	<i>RetScreen (ενότητα 6.3)</i>	<i>MathCad (ενότητα 3.10)</i>
Αρχικό κόστος επένδυσης	24.437.500 €	24.437.500 €
Ετήσια έσοδα	2.635.019 €	2.628.000 €
Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)	26.816.245 €	26.706.545 €
Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR)	19,4%	23,97%

**Πίνακας 7.2** Οικονομικά αποτελέσματα Φ/Β σταθμού ισχύος 5 MW στη Λαμία

Επιπλέον από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2 για τον Φ/Β σταθμό διαπιστώνουμε και εδώ ότι τα δύο λογισμικά υπολογίζουν με ελάχιστες διαφορές τα

περισσότερα οικονομικά μεγέθη εκτός από τον συντελεστή IRR, ο οποίος στην περίπτωση του RetScreen υπολογίζεται σχεδόν 4,6% μικρότερος σε σχέση με αυτόν που προέκυψε με το MathCad. Και στην περίπτωση του Φ/Β σταθμού με το λογισμικό RetScreen υπολογίζονται επιπλέον οικονομικοί δείκτες όπως έτος απόσβεσης, Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K), κ.τ.λ. που μας δείχνουν με επιπλέον ασφάλεια την βιωσιμότητα της επένδυσης.

Επομένως συμπεραίνουμε ότι για την πλήρη προσδιορισμό της βιωσιμότητας μιας επένδυσης, με υπολογισμό όλων των οικονομικών δεικτών και παραμέτρων, ο υπολογισμός με χρήση εξισώσεων μέσω του λογισμικού MathCad αυξάνει την πολυπλοκότητα, την δυσκολία και τον χρόνο επίλυσης του προβλήματος. Αντίθετα μέσω του λογισμικού RetScreen οι οικονομικοί παράμετροι υπολογίζονται εύκολα και γρήγορα αφού δεν απαιτείται ο χρήστης να υπεισέρχεται σε χρήση υπολογιστικών εξισώσεων.

## **7.2. Προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα**

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα θα μπορούσε μελλοντικά να διερευνηθούν και να επιλυθούν, με τη χρήση του λογισμικού MathCad, επιπλέον εφαρμογές ΑΠΕ από την βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ή/και από την υπάρχουσα εγχώρια και ξενόγλωσση βιβλιογραφία. Επιπλέον οι εφαρμογές ΑΠΕ που επιλύθηκαν στην παρούσα εργασία θα ήταν δυνατό να επιλυθούν και με διάφορα άλλα λογισμικά μαθηματικών αναλύσεων, όπως το Matlab, το Mathematica, κ.τ.λ. ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για τα λογισμικά από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της εκάστοτε εφαρμογής.

Ακόμη μια εναλλακτική πρόταση για περαιτέρω μελλοντική έρευνα είναι η επίλυση εφαρμογών που εστιάζουν σε συγκεκριμένη τεχνολογία ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα την βιομάζα, την γεωθερμία, τις κυψέλες καυσίμου και την κυματική/παλιρροιακή ενέργεια. Στη συγκεκριμένη εργασία οι αναφερόμενες τεχνολογίες ΑΠΕ είτε μελετήθηκαν ελάχιστα είτε καθόλου. Παράλληλα οι εφαρμογές μπορούν να μελετηθούν, και με τη χρήση του λογισμικού RetScreen ώστε να προκύψουν συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Τέλος θα μπορούσε να γίνει η μελέτη-ανάλυση περισσότερων εφαρμογών ΑΠΕ της παρούσας εργασίας με τη χρήση του προγράμματος RetScreen καθώς και με άλλα λογισμικά τεχνοοικονομικών αναλύσεων όπως τα προγράμματα Homer, TRNSYS, κ.τ.λ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βουρδούμπας Γιάννης, “*Ασκήσεις και προβλήματα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*”, Σελκα-4Μ ΕΠΕ, Αθήνα 2011.

Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Καββαδίας Α. Κοσμάς, “*Υπολογιστικές εφαρμογές Ηπίων Μορφών Ενέργειας, Αιολική Ενέργεια, Μικρά Υδροηλεκτρικά*”, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα 2005.

Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Σπυρόπουλος Χ. Γεώργιος, Καββαδίας Α. Κοσμάς, “*Υπολογιστικές εφαρμογές Ηπίων Μορφών Ενέργειας, Ηλιακή Ακτινοβολία, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Ηλιακά Θερμικά*”, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα 2007.

Μπιτζιώνης Β.Δ , “*Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας*”, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2010

Παπαδάκης Νικόλαος, “*Οικονομοτεχνική ανάλυση αιολικού πάρκου σε διασυνδεδεμένα και αυτόνομα συστήματα*”, Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Χανιά 2012.

Μηλιώνης Αλέξανδρος-Γεώργιος, “*Ανάλυση και διαχείριση ρίσκου σε έργα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Χανιά 2014.

Σαραφόπουλος Νικόλαος, “*Ενεργειακή οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση αιολικού πάρκου με χρήση του προγράμματος RETScreen*”, Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη 2017.

Ι.Ε.Ν.Ε. (2019), “*Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας*”, Ετήσια Έκθεση 2019, Αθήνα 2019.

Φραγκιαδάκης Ι. , “*Εφαρμογές ΑΠΕ: Υδροηλεκτρικά συστήματα*”, Σημειώσεις ΤΕΙ Κρήτης.

RETScreen International (2001-2005), “*Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook*”, Third Edition, Canada 2005.

[www.rae.gr](http://www.rae.gr)

[www.lagie.gr](http://www.lagie.gr)

[www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)