



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μελέτη Αξιοποίησης Ελληνικών Γεωργικών Εκτάσεων με Συνύπαρξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Αγροτικής Παραγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Μ. Δημάκης
Μαρία Σ. Σωτηροπούλου

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μελέτη Αξιοποίησης Ελληνικών Γεωργικών Εκτάσεων με Συνύπαρξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Αγροτικής Παραγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Μ. Δημάκης
Μαρία Σ. Σωτηροπούλου

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τη 14^η Οκτωβρίου 2015.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χάρης Δούκας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

.....

Ιωάννης Μ. Δημάκης

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

.....

Μαρία Σ. Σωτηροπούλου

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

Copyright © Ιωάννης Μ. Δημάκης, Μαρία Σ. Σωτηροπούλου, 2015.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015 στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση μεθόδων αξιοποίησης των γεωργικών εκτάσεων στην Ελλάδα του 2015, προωθώντας την ιδέα της πολλαπλής χρήσης της γης. Στην παραθέτουσα διπλωματική εργασία, μελετώνται και αξιολογούνται διεξοδικά δύο περιπτώσεις συγκαλλιέργειας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αγροτικής παραγωγής. Τέλος, αναδεικνύεται η ανάγκη και ο στόχος ταυτόχρονα, για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, του ενεργειακού προβλήματος και της ραγδαίας πληθυσμιακής ανάπτυξης του πλανήτη μας.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Χάρης Δούκας, στον οποίο οφείλουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, όσον αφορά την ελευθερία στην επιλογή του θέματος και για τις συμβουλές που μας παρείχε κατά τη διάρκεια συγγραφής της.

Επιπλέον, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον Διπλ. Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π. Απόστολο Καταγή, το Γεωπόνο Γεώργιο Μπάβαρη και τον Ερευνητή Αγροδασοπονίας του Πανεπιστημίου INRA Christian Dupraz, για την πολύτιμη βοήθειά τους στη διαδικασία υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, οφείλουμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μας προς τους γονείς και τα αδέρφια μας για τη συμπαράσταση, τη στήριξη και την υπομονή που επέδειξαν καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Ιωάννης Μ. Δημάκης - Μαρία Σ. Σωτηροπούλου

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά διεξοδικά δυο σχέδια δράσης, που στοχεύουν στην αξιοποίηση των ελληνικών γεωργικών εκτάσεων. Προωθούν τη χρήση της ίδιας έκτασης γης με πολλαπλό τρόπο, μέσω της συνύπαρξης των ΑΠΕ και της αγροτικής παραγωγής.

Το πρώτο σχέδιο δράσης περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός υπερυψωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος πάνω ακριβώς από μια καλλιεργήσιμη έκταση της Ελλάδας, με στόχο την τροφοδοσία μιας κτηνοτροφικής μονάδας. Αξιοποιείται εποικοδομητικά η μέθοδος ενεργειακού συμψηφισμού, Net Metering, που επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύπτει μέρος της ιδιοκατανάλωσής του ενώ παράλληλα του παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της "πράσινης ενέργειας". Η δημιουργία ενός τέτοιου πρότυπου αγροτοφωτοβολταϊκού συστήματος συμβάλλει στη διπλή αξιοποίηση της γης, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας και τροφής, αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα χωρίς όμως να μειώνονται οι καλλιέργειες βρώσιμων προϊόντων.

Το δεύτερο σχέδιο δράσης περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός υπερυψωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος, με σύμβαση πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που τοποθετείται ακριβώς πάνω από μια ενεργειακή καλλιέργεια του φυτού switchgrass, σε μια άγονη έκταση της Ελλάδας. Η καλλιέργεια επιλεγμένων φυτών κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, αποτελεί έναν έξυπνο τρόπο διπλής αξιοποίησης της γης με παράλληλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιοκαυσίμων. Η σύσταση ενός τέτοιου πρότυπου συστήματος συντοποθέτησης αποτελεί μια καινοτόμο στρατηγική, η οποία προσφέρει πολλαπλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

Οι οικονομοτεχνικές μελέτες των δυο σχεδίων δράσης υλοποιήθηκαν με την χρήση σχεδιαστικών εργαλείων (Autocad, SketchUp), εξειδικευμένων υπολογιστικών εργαλείων (PVSYST, PVGIS, Meteonorm) και λογισμικού υπολογιστικών φύλλων (Excel).

Λέξεις κλειδιά: ΑΠΕ, Φωτοβολταϊκό σύστημα, Αγροτική παραγωγή, Διπλή αξιοποίηση γης, Ενεργειακός συμψηφισμός, Αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα, Σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, Ενεργειακή καλλιέργεια, Βιοκάσιμα, Συντοποθέτηση, Οικονομοτεχνική μελέτη.

Abstract

The present diplomatic project investigates thoroughly two action plans aiming at the exploitation of greek fields, which promote the use of the same piece of land in a multiple way, through the co-existence of RES and agricultural production.

The first action plan consists of the installation of an overhead photovoltaic system just on top of an arable piece of land, aiming at the catering of an animal farming unit. Net Metering, which allows the consumer to cover part of his own consumption while it gives him the potential to use the Net for indirect storage of green energy, is worthily exploited. The creation of such a template Agrivoltaic System contributes in the double-cropping of the land with simultaneous production of energy and food, dealing thus at the same time with the global energy problem without reducing the crops of edible products.

The second action plan consists of the installation of an overhead photovoltaic system with a contract of selling the electric energy produced, just on top of an energy crop of the plant switchgrass, in an arid area of Greece. The cultivation of selected plants under the Photovoltaic panels is a clever way of double-cropping of the land and producing electric energy and biofuels at the same time. The components of such a template collocation system is a novel policy which offers multiple financial and environmental benefits not only nationally but also internationally.

The financial and technical projects of the two action plans were materialized with the use of designing means (Autocad, SketchUp), specialized digital means (PVSYST, PVGIS, Meteonorm) and Excel calculating formulas.

Keywords: RES, Photovoltaic system, Agricultural production, Double-cropping, Net Metering, Agrivoltaic system, Feed-in tariff, Energy crop, Biofuels, Collocation, Feasibility study.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	7
Abstract	9
Πίνακας Περιεχομένων	11
Ευρετήριο Διαγραμμάτων.....	15
Ευρετήριο Πινάκων	18
Ευρετήριο Εικόνων.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	27
1.1. Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας	29
1.2. Φάσεις υλοποίησης.....	30
1.3. Οργάνωση τόμου.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	33
2.1. Κλιματική αλλαγή	35
2.2. Ενεργειακό πρόβλημα	38
2.3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	42
2.4. Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	45
2.4.1. Ηλιακή ενέργεια	45
2.4.2. Αιολική ενέργεια	50
2.4.3. Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	54
2.4.4. Γεωθερμική ενέργεια	56
2.4.5. Βιομάζα.....	60
2.4.6. Ενέργεια κυμάτων - ωκεανών	64
2.4.7. Ωσμωτική ενέργεια.....	66
2.5. ΑΠΕ και αγροτικές περιοχές στην Ελλάδα	68
2.5.1. Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας	69
2.5.2. Ελληνική χωροταξία και αγροτικός τομέας.....	76
Βιβλιογραφία	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	83
3.1. Ηλιακή ακτινοβολία.....	85
3.1.1. Ηλιακή γεωμετρία	86
3.1.2. Προσδιορισμός της θέσης του Ήλιου	87

3.1.3. Ο προσανατολισμός του συλλέκτη και η βέλτιστη κλίση του	89
3.2. Ιστορική αναδρομή στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία	91
3.2.1. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και Φωτοβολταϊκό στοιχείο	92
3.2.2. Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών στοιχείων	96
3.2.2.1. Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου μεγάλου πάχους.....	96
3.2.2.2. Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film).....	98
3.2.2.3. Υβριδικά ΦΒ στοιχεία	100
3.2.2.4. Οργανικά-πολυμερή κελιά	101
3.2.3. Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών	101
3.2.4. Χαρακτηριστικές καμπύλες ενός ηλιακού κελιού και STC	103
3.2.5. Φωτοβολταϊκά πλαίσια	104
3.2.6. Φωτοβολταϊκές συστοιχίες	106
3.2.7. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών	108
3.3. Συστατικά μέρη φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	112
3.3.1. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια.....	113
3.3.2. Αναστροφείς.....	114
3.3.2.1. Κατηγορίες αναστροφών.....	114
3.3.2.1.1. Κεντρικός αναστροφέας (central inverter).....	117
3.3.2.1.2. Αναστροφέας κλάδων ή συστοιχιών (string inverter).....	117
3.3.2.1.3. Αναστροφέας πολλαπλών κλάδων (multi-string inverter)	118
3.3.2.1.4. Αναστροφέας με ενσωμάτωση σε φ/β πάνελ (module integrated inverter)	118
3.3.2.2. Βασικά χαρακτηριστικά αναστροφών	119
3.3.3. Βάσεις στήριξης των φ/β πλαισίων.....	122
3.3.3.1. Σταθερές βάσεις	122
3.3.3.2. Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.....	123
3.3.4. Καλωδιώσεις.....	124
3.3.5. Μέσα προστασίας	126
3.3.6. Γειώσεις	126
3.4. Κατηγορίες φ/β συστημάτων ανάλογα με τη σύνδεσή τους.....	127
3.4.1. Απομονωμένα φ/β συστήματα (off grid pv systems).....	127
3.4.2. Φ/β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (grid connected pv systems)	129
3.5. Κατηγορίες φ/β συστημάτων ανάλογα με την ισχύ.....	130
Βιβλιογραφία	132
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	137
4.1. Συγκαλλιέργεια φωτοβολταϊκών πλαισίων και φυτών.....	139

4.2. Παραγωγικότητα φυτών υπό τη σκιά φωτοβολταϊκών συστοιχιών.....	147
4.3. Μικροκλίμα κάτω από τα αγροτοφωτοβολταϊκά συστήματα και ρυθμός ανάπτυξης καλλιεργειών	155
4.4. Η επίδραση των ηλιακών συλλεκτών στη ροή του νερού σε ένα α/φ/β σύστημα .	169
4.5. Ηλιακά πάρκα και βιοποικιλότητα	175
Βιβλιογραφία	179
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	181
5.1. Εισαγωγή	183
5.2. Νομοθετικό πλαίσιο	184
5.3. Καθορισμός δεδομένων και κύριων χαρακτηριστικών του ΦΒ συστήματος	191
5.4. Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών της μονάδας.....	197
5.5. Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής	200
5.5.1. Εξαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων από τη βάση δεδομένων PVGIS	200
5.5.2. Εισαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων στο λογισμικό PVSYST	202
5.6. Εκκίνηση μελέτης εγκατάστασης ΦΒ συστήματος στο PVSYST	205
5.7. Καθορισμός συντελεστή ανάκλασης του εδάφους	207
5.8. Προσανατολισμός ΦΒ πλαισίων	207
5.9. Προσδιορισμός ΦΒ συστήματος	208
5.10. Διάγραμμα ορίζοντα.....	214
5.11. Μελέτη σκίασης	217
5.12. Χωροθέτηση ΦΒ συστήματος	223
5.13. Προσομοίωση ΦΒ συστήματος	225
5.14. Σύστημα στήριξης του ΦΒ συστήματος	233
5.15. Σχεδιασμός ΦΒ συστήματος	234
5.16. Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης.....	237
Βιβλιογραφία	248
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	
6.1. Βιομάζα.....	251
6.2. Βιοκαύσιμα.....	252
6.2.1. Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς	253
6.2.2. Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς.....	255
6.2.3. Σύγκριση βιοκαυσίμων πρώτης και δεύτερης γενιάς	257
6.2.4. Η εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου για τα βιοκαύσιμα και οι στόχοι της ΕΕ.....	258

6.2.5. Η πορεία των βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	262
6.2.6. Η πορεία των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα	264
6.3. Ενεργειακή Γεωργία	266
6.4. Ενεργειακές καλλιέργειες.....	267
6.4.1. Κριτήρια επιλογής και χωροθέτησης ενεργειακών καλλιεργειών	267
6.4.2. Ενεργειακή καλλιέργεια Switchgrass	272
6.4.3. Καινοτόμος παραγωγή ενέργειας από ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα	278
6.4.4. Συντοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων και ενεργειακών καλλιεργειών	279
Βιβλιογραφία	281
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ SWITCHGRASS ΣΕ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ.....	283
7.1. Εισαγωγή	285
7.2. Νομοθετικό πλαίσιο	286
7.3. Καθορισμός δεδομένων και κύριων χαρακτηριστικών του ΦΒ συστήματος	297
7.4. Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής	299
7.5. Εκκίνηση μελέτης εγκατάστασης ΦΒ συστήματος στο PVSYST	302
7.6. Καθορισμός συντελεστή ανάκλασης του εδάφους	304
7.7. Προσανατολισμός ΦΒ πλαισίων	305
7.8. Προσδιορισμός ΦΒ πλαισίων	305
7.9. Διάγραμμα ορίζοντα.....	307
7.10. Μελέτη σκίασης	309
7.11. Χωροθέτηση ΦΒ συστήματος και επιλογή αναστροφέα DC-AC.....	312
7.12. Προσομοίωση ΦΒ συστήματος	317
7.13. Σύστημα στήριξης του ΦΒ συστήματος	323
7.14. Σχεδιασμός ΦΒ συστήματος	324
7.15. Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης.....	328
Βιβλιογραφία	339
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	341
8.1. Συμπεράσματα	343
8.2. Προοπτικές	345
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΦΥΛΛΑΔΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	347

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Συνολικές παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ από την κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από άνθρακα, πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.	37
Διάγραμμα 2.2: Συνολική παγκόσμια πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας την περίοδο 1980-2011.	39
Διάγραμμα 2.3: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση (quadrillion Btu) ανά είδος καυσίμου κατά την περίοδο 1990-2040.	41
Διάγραμμα 2.4: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά είδος καύσιμης ύλης κατά το έτος 2010.	41
Διάγραμμα 2.5: Εξέλιξη πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα το διάστημα 1972-2012.	70
Διάγραμμα 2.6: Εξέλιξη εισαγωγής καυσίμων στην Ελλάδα το διάστημα 1970-2011.	71
Διάγραμμα 2.7: Εξέλιξη εξαγωγής καυσίμων στην Ελλάδα το διάστημα 1970-2011.	71
Διάγραμμα 2.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα το διάστημα 1972-2012.	72
Διάγραμμα 2.9: Μεριδίο καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2012.	73
Διάγραμμα 2.10: Τελική κατανάλωση ενέργειας κατά καύσιμο την περίοδο 1960-2011 στην Ελλάδα.	73
Διάγραμμα 2.11: Συμμετοχή καυσίμων στην τελική κατανάλωση ενέργειας το 2012 στην Ελλάδα.	74
Διάγραμμα 2.12: Τελική ενεργειακή κατανάλωση κατά κλάδο το 1990 και το 2012 στην Ελλάδα.	75
Διάγραμμα 2.13: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά κλάδο το διάστημα 1960-2011 στην Ελλάδα.	75
Διάγραμμα 2.14: Αυτάρκεια διατροφικών αγροτικών προϊόντων (έτους 2011).	78
Διάγραμμα 3.1: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού.	108
Διάγραμμα 3.2: Επίδραση της θερμοκρασίας στην I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κελιού.	109
Διάγραμμα 3.3: Η χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου πριν από τη διαδικασία μείωσης της απόδοσης και κατά τη διάρκεια αυτής. Χαρακτηριστική είναι μία εξομάλυνση της χαρακτηριστικής καμπύλης, όπου η τάση χωρίς φορτίο και το ρεύμα βραχυκύκλωσης διατηρούνται σχεδόν χωρίς μεταβολή, αλλά η μέγιστη ισχύς (MPP) μειώνεται έως και 30 % ή περισσότερο.	110
Διάγραμμα 4.1: Σχετική ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά το φύλλωμα κατά τη διάρκεια του έτους σε δύο θέσεις κάτω από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες πλήρους πυκνότητας (αριστερό διάγραμμα) και μισής πυκνότητας (δεξί διάγραμμα).	145
Διάγραμμα 4.2: Η άμεση PAR στον πλήρη ήλιο (μετρήσεις) για κάθε σειρά φύτευσης (Rk2-Rk6 για το 2010 και Rk2-Rk5 για το 2011) στα συστήματα FD και HD (προσομοιώσεις), στις δύο περιόδους καλλιέργειας (καλοκαίρι 2010 και άνοιξη 2011). Η άμεση PAR εκφράζεται σαν επί τοις εκατό ποσοστό της PAR στον πλήρη ήλιο στο τέλος της περιόδου καλλιέργειας.	150

Διάγραμμα 4.3: Η σχετική ξηρή βιομάζα των μαρουλιών σε σχέση με το λόγο RTE τις ημέρες συγκομιδής (ημέρα 47 το 2010, και ημέρα 63 το 2011).	151
Διάγραμμα 4.4: Ο αριθμός των φύλλων μακρύτερα από 1 εκατοστό ανά μαρούλι, για όλες τις ποικιλίες μαζί τις ημέρες 21, 34 και 47 από τη φύτευση το 2010, και 23, 44 και 63 το 2011. Οι κατακόρυφες γραμμές που δείχνουν το σφάλμα απεικονίζουν τις τυπικές αποκλίσεις.....	152
Διάγραμμα 4.5: Η συνολική φυλλική επιφάνεια για όλες τις ποικιλίες μαζί τις ημέρες 21, 34 και 47 από τη φύτευση το 2010, και 23, 44 και 63 το 2011. Η συνολική φυλλική επιφάνεια υπολογίζεται από το άθροισμα του εμβαδού κάθε φύλλου που είναι μεγαλύτερο από 1 εκ.	152
Διάγραμμα 4.6: Η μέση παραγωγή του σκληρού σίτου σε (qx/ha) δηλαδή (100kg/ha), στα τμήματα πλήρους ήλιου (PS), μερικής σκίασης (HD) και πλήρους σκίασης (FD) για το έτος 2014.	154
Διάγραμμα 4.7: Το βάρος χιλίων σπόρων (PMG) σε gr και το βάρος των μη υαλωδών σπόρων σε gr (mitadin), στα τμήματα πλήρους ήλιου (PS), μερικής σκίασης (HD) και πλήρους σκίασης (FD) για το έτος 2014.....	155
Διάγραμμα 4.8: Η ωριαία (a) για την HTE 128, και η ημερήσια (b) από HTE 115 έως HTE 230, προσπίπτουσα ακτινοβολία στο τμήμα FS (κουτιά με άσπρο φόντο), στο HD (κουτιά με γκρι φόντο) και στο FD (κουτιά με σκούρο γκρι φόντο). Τα πλαίσια διαθέτουν την χωρική μεταβλητότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (η ακτινοβολία καταγράφηκε την ίδια στιγμή από αισθητήρες που εγκαταστάθηκαν σε διάφορα σημεία στον άξονα Βορρά-Νότου).	160
Διάγραμμα 4.9: Η μέση ημερήσια θερμοκρασία (T_A) που μετρήθηκε στα 2 μέτρα πάνω από το έδαφος κατά τη διάρκεια όλων των κύκλων καλλιέργειας από τον Ιούλιο του 2010 έως τον Αύγουστο του 2011. Παρέχονται μεγεθύνσεις σε δύο 6-ήμερες περιόδους (6 ημέρες το χειμώνα και 6 ημέρες το καλοκαίρι). Το τμήμα FS αντιπροσωπεύεται με τα σκιασμένα διαστήματα στο κύριο γράφημα και με ανοικτούς κύκλους (ο) στις μεγεθυμένες περιοχές, ενώ τα τμήματα FD και HD αντιπροσωπεύονται αντίστοιχα με ανοικτά τρίγωνα (Δ) και με σκούρα τετράγωνα ($\blacksquare$). Στις μεγεθυμένες περιοχές, οι κατακόρυφες γραμμές αποτελούν τα χαρακτηριστικά τυπικά σφάλματα για όλες τις επεξεργασίες.	161
Διάγραμμα 4.10: Η ωριαία θερμοκρασία T_L που μετριέται (a) στο σιτάρι, (b) στο μαρούλι και (c) στο αγγούρι, κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης ημέρας (HTE 128 για το σιτάρι και το μαρούλι, HTE 202 για το αγγούρι). Τα σύμβολα ($\blacksquare, \Delta, \circ$) αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τα τμήματα FD, HD και FS. Οι κατακόρυφες γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση.....	163
Διάγραμμα 4.11: Η μέση ημερήσια θερμοκρασία καλλιέργειας (24 ώρες), (T_L), η μέση πρωινή θερμοκρασία ($T_{L,D}$), και η μέση νυχτερινή θερμοκρασία ($T_{L,N}$) μετριέται για κάθε καλλιέργεια που παρακολουθείται το 2011. Τα σκιασμένα διαστήματα αντιπροσωπεύουν τις μέσες τιμές $\pm$ τα τυπικά σφάλματα για τις T_L , $T_{L,D}$ και $T_{L,N}$ στο τμήμα FS. Οι γραμμές με τα γκρι τρίγωνα (Δ) αναπαριστούν το μέσο όρο των T_L , $T_{L,D}$ και $T_{L,N}$ στο HD, ενώ η γραμμή με κλειστό τετράγωνο ($\blacksquare$) αναπαριστούν το μέσο όρο των T_L , $T_{L,D}$ και $T_{L,N}$ στο FD. Οι κατακόρυφες γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση.....	164
Διάγραμμα 4.12: Η εξέλιξη της εισερχόμενης ($R_i\downarrow$) και εξερχόμενης ($R_i\uparrow$) μεγάλου μήκους ακτινοβολίας και της εισερχόμενης ($R_s\downarrow$) και εξερχόμενης ($R_s\uparrow$) μικρού μήκους ακτινοβολίας στα τρία τμήματα σκίασης για τρεις κοντινές ηλιόλουστες ημέρες. Η σκιασμένη περιοχή αναπαριστά την εισερχόμενη μικρού μήκους ακτινοβολία (παγκόσμια ακτινοβολία) στον πλήρη ήλιο (FS) για την ημέρα της μέτρησης.....	165
Διάγραμμα 4.13: Η κατανομή των ποσοστών της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας που μετρήθηκε από κάθε τις διάφορες κεφαλές του αισθητήρα “turtle” όταν τοποθετήθηκε σε δύο θέσεις στο οικόπεδο HD (HD.rg2 και HD.rg5) και στο οικόπεδο FD (FD.rg2 και FD.rg4), που αντιστοιχούν σε διαφορετικές θέσεις και σειρές φύτευσης κατά τη διάρκεια καλλιέργειας του μαρουλιού την άνοιξη του 2011, καθώς και στην FS, την ίδια ημέρα.	

Η κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο FS προσομοιώθηκε με τη χρήση του μοντέλου της ακτινοβολίας με παραμετροποιημένο με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και τον προσανατολισμό του αισθητήρα, όπως καταγράφηκε την ημέρα μέτρησης στη σκιασμένη έκταση.....	166
Διάγραμμα 6.1: Η πρωτογενής παραγωγή του βιοντίζελ στην ΕΕ τη χρονική περίοδο 2002-2013.....	263
Διάγραμμα 6.2: Η πρωτογενής παραγωγή της βιοαιθανόλης στην ΕΕ τη χρονική περίοδο 2002-2013.....	264
Διάγραμμα 6.3: Η πρωτογενής παραγωγή του βιοντίζελ στην Ελλάδα τη χρονική περίοδο 2004-2013.....	265
Διάγραμμα 6.4: Σύγκριση πέντε ποικιλιών switchgrass (Alamo, Blackwell, CIR, Kanlow και Pangburn).	274
Διάγραμμα 6.5: Επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην απόδοση της καλλιέργειας switchgrass.	276
Διάγραμμα 6.6: Επίδραση της άρδευσης στην απόδοση ξηρής βιομάζας της ποικιλίας Alamo.	276

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το διάστημα 2004-2012 στην Ελλάδα.	76
Πίνακας 3.1: Η επιλογή για τις βέλτιστες γωνίες του συλλέκτη (β_o , θ_o), ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη συλλογή ενέργειας από ένα σταθερό συλλέκτη ανάλογα με την περίοδο του έτους.	91
Πίνακας 3.2: Σύγκριση των αναστροφών με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή.	116
Πίνακας 4.1: Μεταβλητότητα της σχετικής ακτινοβολίας υπολογιζόμενη κάθε 10 εκατοστά κατά μήκος του άξονα του Βορρά-Νότου κάτω από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών, τις ισημερίες, τα ηλιοστάσια, και για όλο το έτος (σε 43° γεωγραφικό πλάτος βόρειο).	144
Πίνακας 4.2: Οι δείκτες LERs των δύο διαφορετικών αγροτοφωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως προβλέπεται από τη μοντελοποίηση.	147
Πίνακας 4.3: Η ξηρή βιομάζα (γραμμάρια/φυτό), για κάθε ποικιλία που δοκιμάστηκε στα δύο πειράματα (2010, 2011). Η τυπική απόκλιση (σε παρένθεση) εκφράζεται σαν ποσοστό της μέσης απόδοσης που υπολογίστηκε στο αντίστοιχο δείγμα (δηλαδή τρία έως πέντε μαρούλια).	153
Πίνακας 4.4: Η σχετική ξηρά μάζα (DM), η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AET) και συντελεστής αξιοποίησης νερού (WUE) ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) των αντίστοιχων τιμών στο τμήμα πλήρους ήλιου για τα μαρούλια (μεταξύ HTE 124 και 144) και για τα αγγούρια (μεταξύ HTE 175 και 241) στα συστήματα FD και HD.	174
Πίνακας 5.1: Αρχικά δεδομένα της μελέτης.	191
Πίνακας 5.2: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο του Χειμώνα για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.	197
Πίνακας 5.3: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο της Άνοιξης για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.	198
Πίνακας 5.4: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο του Καλοκαιριού για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.	198
Πίνακας 5.5: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο του Φθινοπώρου για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.	199
Πίνακας 5.6: Φύλλο δεδομένων ωραρίου λειτουργίας των συσκευών ανά εποχή.	199
Πίνακας 5.7: Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών.	220
Πίνακας 5.8: Τελικός καθορισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών μέσω του λογισμικού PVSYST. Η σχέση που συνδέει το "Pitch" με το " ϵ " είναι: $\epsilon = \text{Pitch} \times \cos(\tan^{-1}(K_e))$	221
Πίνακας 5.9: Υπολογισμός μήκους συστοιχίας, πλάτους συστοιχιών και εμβαδού της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος. Με κόκκινου χρώματος γραμματοσειρά σημειώνονται τα αποδεκτά με βάση όλα τα προαναφερθέντα κριτήρια χαρακτηριστικά και με κόκκινου χρώματος υπογράμμιση η βέλτιστη λύση.	224
Πίνακας 5.10: Τεχνικές αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων[10],[11].	238
Πίνακας 5.11: Αρχικό κόστος της επένδυσης εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος.	238
Πίνακας 5.12: Δεδομένα επένδυσης του ΦΒ συστήματος.	239

Πίνακας 5.13: Ετήσια και τετραμηνιαία παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το ΦΒ, εξερχόμενη και εισερχόμενη από το δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια, ιδιοκατανάλωση και κατανάλωση σε διάρκεια 25 ετών με ετήσια πώση παραγωγής του ΦΒ ίση με 0,9% η οποία επηρεάζει την παραγόμενη από το ΦΒ σύστημα ενέργεια και την εξερχόμενη προς το δίκτυο ενέργεια οι οποίες προκύπτουν από τις σχέσεις $\Pi.\Phi B_t = \Pi.\Phi B_{t-1} - 0,09 \cdot \Pi.\Phi B_{t-1}$ και $E\Xi_t = E\Xi_{t-1} - 0,09 \cdot E\Xi_{t-1}$ αντίστοιχα για $t \geq 2$. Η ιδιοκατανάλωση προκύπτει από τη σχέση $ΙΔ_t = \Pi.\Phi B_t - E\Xi_t$, η εισερχόμενη ενέργεια προκύπτει από τη σχέση $EΙΣ_t = \Sigma.K_t + E\Xi_t - \Pi.\Phi B_t$ και η συνολική κατανάλωση παραμένει σταθερή. Οι τιμές του πρώτου έτους προκύπτουν από το λογισμικό PVSYST.....	239
Πίνακας 5.14: Δεδομένα τιμολογίου επιχείρησης.	241
Πίνακας 5.15: Ετήσια και τετραμηνιαία διαφορά εξερχόμενης από εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε διάρκεια 25 ετών (με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα πλαίσια των οποίων η διαφορά είναι θετική και με πράσινο τα πλαίσια των οποίων η διαφορά είναι αρνητική).	242
Πίνακας 5.16: Παρουσίαση αναλυτικών χρεώσεων κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. ...	243
Πίνακας 5.17: Παρουσίαση τρόπου υπολογισμού χρέωσης κατανάλωσης πριν και μετά (πρώτο έτος) τη σύμβαση ενεργειακού συμψηφισμού στην περίπτωση εκκίνησης της σύμβασης το δεύτερο τετράμηνο.....	243
Πίνακας 5.18: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων και τετραμηνιαίων ταμειακών εισροών Net-metering.	244
Πίνακας 5.19: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εκροών.	245
Πίνακας 5.20: Υπολογισμός ονομαστικών και παρουσών χρηματοροών επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια.....	246
Πίνακας 5.21: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος... ..	247
Πίνακας 7.1: Αρχικά δεδομένα της μελέτης.	298
Πίνακας 7.2: Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών.	310
Πίνακας 7.3: Τελικός καθορισμός της ελάχιστης απόστασης (ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών μέσω του λογισμικού PVSYST. Η σχέση που συνδέει το "Pitch" με το "ε" είναι: $\varepsilon = Pitch \times \cos(\tan^{-1}(K_\varepsilon))$	312
Πίνακας 7.4: Υπολογισμός διαστάσεων και εμβαδού της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος καθώς και της ονομαστικής ισχύος και παραγωγής ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας του ΦΒ συστήματος. Με κόκκινου χρώματος γραμματοσειρά σημειώνονται τα αποδεκτά με βάση όλα τα προαναφερθέντα κριτήρια χαρακτηριστικά και με κόκκινου χρώματος υπογράμμιση η βέλτιστη λύση.....	314
Πίνακας 7.5: Αρχικό κόστος της επένδυσης εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος.	328
Πίνακας 7.6: Δεδομένα επένδυσης του ΦΒ συστήματος.....	329
Πίνακας 7.7: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εκροών.	330
Πίνακας 7.8: Παρουσίαση της ετήσιας απόδοσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΦΒ συστήματος, των ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εισροών και των ετήσιων αποσβέσεων.....	330
Πίνακας 7.9: Υπολογισμός ονομαστικών και παρουσών χρηματοροών επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια.	331
Πίνακας 7.10: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος... ..	332
Πίνακας 7.11: Αρχικό κόστος της επένδυσης της καλλιέργειας switchgrass σε 1512,24 τ.μ. έκτασης γης για επιδιωκόμενη παραγωγή 2tn/στρέμμα. Το κόστος κάθε κατηγορίας	

προέρχεται από τον υπολογισμό της μέσης τιμής κόστους που αναφέρεται σε κάθε βιβλιογραφική αναφορά, ανηγμένο στην επιδιωκόμενη παραγωγή βιομάζας και στη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση. 333

Πίνακας 7.12: Ετήσια έξοδα της καλλιέργειας switchgrass σε 1512,24 τ.μ. έκτασης γης για επιδιωκόμενη παραγωγή 2tn/στρέμμα. Το κόστος κάθε κατηγορίας προέρχεται από τον υπολογισμό της μέσης τιμής κόστους που αναφέρεται σε κάθε βιβλιογραφική αναφορά, ανηγμένο στην επιδιωκόμενη παραγωγή βιομάζας και στη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση. 333

Πίνακας 7.13: Δεδομένα επένδυσης της καλλιέργειας switchgrass. 334

Πίνακας 7.14: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εκροών και εισροών, ετήσιων αποσβέσεων, αρχικού κόστους και ετήσιας απόδοσης switchgrass σε βιομάζα. 335

Πίνακας 7.15: Υπολογισμός ονομαστικών και παρουσών χρηματοροών επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια. 336

Πίνακας 7.16: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου καλλιέργειας switchgrass. 336

Πίνακας 7.17: Υπολογισμός παρουσών χρηματοροών και αθροιστικών παρουσών χρηματοροών συνολικής επένδυσης συγκαλλιέργειας ΦΒ συστήματος και switchgrass ως προς τα ίδια κεφάλαια. 337

Πίνακας 7.18: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου καλλιέργειας switchgrass. 338

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1: Κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας.....	46
Εικόνα 2.2: Βιοκλιματική σχεδίαση κτιρίου	47
Εικόνα 2.3: Ηλιακός θερμοσίφωνας και η «αρχή του θερμοσίφωνα»	48
Εικόνα 2.4: Αυτόνομο και διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα	49
Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτρια.....	52
Εικόνα 2.6: Υδροηλεκτρική μονάδα	55
Εικόνα 2.7: Ηλεκτροπαραγωγή-Τηλεθέρμανση-Παραγωγή pellets με πρώτη ύλη τη βιομάζα	61
Εικόνα 3.1: Η ηλιακή ακτινοβολία S_0	85
Εικόνα 3.2: Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε έναν συλλέκτη σταθερής κλίσης β_0	86
Εικόνα 3.3: Η ηλιακή απόκλιση δ και οι ακραίες της τιμές κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο	87
Εικόνα 3.4: Οι γωνίες που συνδέουν τη θέση του Ήλιου με μια οριζόντια τοποθεσία της Γης. Με A, Δ, Β, Ν συμβολίζονται οι τέσσερις διευθύνσεις του ορίζοντα	88
Εικόνα 3.5: Οι γωνίες που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης	89
Εικόνα 3.6: Οι βέλτιστες συνθήκες κλίσης και προσανατολισμού των ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα	90
Εικόνα 3.7: Βασική δομή ενός ηλιακού κελιού.....	93
Εικόνα 3.8: Η χρονολογική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών κελιών	95
Εικόνα 3.9: Μονοκρυσταλλικό κελί πυριτίου.....	96
Εικόνα 3.10: Πολυκρυσταλλικό κελί πυριτίου	97
Εικόνα 3.11: Ηλιακά κελιά ταινίας πυριτίου	97
Εικόνα 3.12: Φωτοβολταϊκό πανέλο άμορφου πυριτίου.....	98
Εικόνα 3.13: Φωτοβολταϊκό πάρκο με πανέλα καδμίου-τελλουρίου	99
Εικόνα 3.14: Ηλιακοί συλλέκτες Γαλλίου-Αρσενικούχου 10kW τριπλού κόμβου.....	99
Εικόνα 3.15: Ηλιακός συλλέκτης χαλκού-Ινδίου/Γαλλίου - Δισεληνιούχου	100
Εικόνα 3.16: Υβριδικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο	100
Εικόνα 3.17: Οργανικό ηλιακό κελί	101
Εικόνα 3.18: Απλό μοντέλο ηλιακού κελιού.....	101
Εικόνα 3.19: Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις	102
Εικόνα 3.20: Καμπύλες I-V και P-V ενός ηλιακού κελιού	103
Εικόνα 3.21: Η τομή και τα κυριότερα τμήματα που συνθέτουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο..	105
Εικόνα 3.22: Καμπύλη του λόγου a/u σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου	106
Εικόνα 3.23: Διάταξη ΦΒ πλαισίων σε παράλληλες σειρές.....	107

Εικόνα 3.24: Σύνδεση του PV Offset Box στο κύκλωμα για την αντιμετώπιση του φαινομένου PID	111
Εικόνα 3.25: Χωροθέτηση σειρών πάνελ	112
Εικόνα 3.26: Οικογένεια αναστροφών	119
Εικόνα 3.27: Η απόδοση ενός αναστροφέα εξαρτάται από την ισχύ λειτουργίας του.....	121
Εικόνα 3.28: Εδαφόμενη βάση (αριστερά) και σκυροδέτηση σε δοκάρια (δεξιά).....	123
Εικόνα 3.29: Ηλιοστάτες μονού άξονα	124
Εικόνα 3.30: Ηλιοστάτες διπλού άξονα.....	124
Εικόνα 3.31: Αυτόνομο φ/β σύστημα χωρίς αποθήκευση ενέργειας (direct-coupled pv system)	128
Εικόνα 3.32: Αυτόνομο φ/β σύστημα με αποθήκευση ενέργειας για ηλεκτροδότηση κατοικίας	128
Εικόνα 3.33: Υβριδικό φ/β σύστημα με βοηθητικές πηγές και αποθήκευση ενέργειας	129
Εικόνα 3.34: Κατανεμημένο φ/β σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο. Όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στη ΔΕΗ και όλη η καταναλισκόμενη αγοράζεται από αυτήν. .	130
Εικόνα 4.1: Ένα πρότυπο ένα αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα που συνδυάζει ηλιακούς συλλέκτες και καλλιέργειες. Το ύψος τοποθέτησης των πλαισίων στα 4 μέτρα επιτρέπει την εύκολη επεξεργασία του συστήματος με μηχανήματα. Τοποθεσία: Μοντελιέ, Γαλλία	141
Εικόνα 4.2: Πειραματικός σχεδιασμός. Τα στοιχεία B+ FC+ B- FC- δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο διανεμήθηκαν οι ποικιλίες το 2011 από την Ανατολή προς τη Δύση. Το 2010, η ποικιλία B0 είχε φυτευτεί στη θέση των B+ και FC+, ενώ η ποικιλία FC+ είχε φυτευτεί στη θέση των B- και FC-. FD: πλήρους πυκνότητας οικόπεδο. HD: μισής πυκνότητας οικόπεδο. CP-E: ανατολικό οικόπεδο ελέγχου και CP-W: δυτικό οικόπεδο ελέγχου.....	149
Εικόνα 4.3: Ο γενικός χάρτης της πειραματικής έκτασης κατά τη διάρκεια της περιόδου φύτευσης σιταριού και μαρουλιού. Το FD αντιπροσωπεύει το οικόπεδο πλήρους πυκνότητας ενώ το HD αντιπροσωπεύει το οικόπεδο μισής πυκνότητας. Τα W-FS και E-FS αντιστοιχούν στα οικόπεδα ελέγχου δυτικά και ανατολικά.....	156
Εικόνα 4.4: Στάδια ανάπτυξης δημητριακών.....	158
Εικόνα 4.5: Ηλιακά αγροκτήματα στις πόλεις Νιουκουέι (αριστερά) και Γκλάστονμπερι (δεξιά) της Νότιας Αγγλίας, τα οποία εγκαταστάθηκαν το 2011.....	177
Εικόνα 5.1: Χρεώσεις για οικιακό και μικρό εμπορικό καταναλωτή.....	189
Εικόνα 5.2: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης της τοποθεσίας του οικοπέδου (5χλμ)...	191
Εικόνα 5.3: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης του οικοπέδου (700μ).	192
Εικόνα 5.4: Τοπογραφικό διάγραμμα οικοπέδου.	193
Εικόνα 5.5: Κάτοψη της στέγης του ποιμνιοστασίου, του αρμεκτηρίου και των σιλό.	194
Εικόνα 5.6: Κάτοψη του ισογείου του ποιμνιοστασίου, του αρμεκτηρίου και των σιλό.	195
Εικόνα 5.7: Πλάγια δεξιά, πλάγια αριστερή, πίσω και μπροστινή όψη του ποιμνιοστασίου, του αρμεκτηρίου και των σιλό.	196
Εικόνα 5.8: Απεικόνιση της καρτέλας επιλογής των απαραίτητων μετεωρολογικών στοιχείων από το PVGIS.....	201
Εικόνα 5.9: Πίνακας παρουσίασης των μέσων ημερήσιων ανά μήνα τιμών των επιλεγμένων μεγεθών όπως εξάγονται από το PVGIS.....	202
Εικόνα 5.10: Αρχική καρτέλα επιλογών του λογισμικού PVSYST.....	203

Εικόνα 5.11: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Tools”	203
Εικόνα 5.12: Καρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων.	204
Εικόνα 5.13: Καρτέλα παρουσίασης των μέσων μηνιαίων τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων.	204
Εικόνα 5.14: Αρχική καρτέλα επιλογών του είδους του ΦΒ συστήματος.	205
Εικόνα 5.15: Εισαγωγική καρτέλα της αναλυτικής μελέτης του ΦΒ συστήματος.	205
Εικόνα 5.16: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Project”	206
Εικόνα 5.17: Καρτέλα εισαγωγής των μετεωρολογικών δεδομένων στη μελέτη εγκατάστασης.	206
Εικόνα 5.18: Καρτέλα εισαγωγής του συντελεστή albedo.	207
Εικόνα 5.19: Καρτέλα προσδιορισμού του βέλτιστου προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων.	208
Εικόνα 5.20: Διάγραμμα ροής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα και το δίκτυο συμπεριλαμβανομένων των δύο απαιτούμενων μετρητών.	211
Εικόνα 5.21: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πλαισίου.	212
Εικόνα 5.22: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα ρεύματος.	212
Εικόνα 5.23: Απεικόνιση της καρτέλας “System” υπό συνθήκες STC (Standard Test Conditions).....	213
Εικόνα 5.24: Απεικόνιση μέρους της καρτέλας “System” υπό οριακές συνθήκες.	213
Εικόνα 5.25: Καρτέλα επιλογής είδους καταναλώσεων.	214
Εικόνα 5.26: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Locations” και της επιλογής “Add new”, η οποία βρίσκεται σε κόκκινο πλαίσιο του λογισμικού meteonorm 7.	215
Εικόνα 5.27: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Locations” του λογισμικού meteonorm 7.	216
Εικόνα 5.28: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Edit Horizon” του λογισμικού meteonorm 7.	216
Εικόνα 5.29: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Horizon” του λογισμικού PVSYST.	217
Εικόνα 5.30: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Near Shadings”	218
Εικόνα 5.31: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) μέρους του οικοπέδου.	219
Εικόνα 5.32: Τοπογραφική τομή του εδάφους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος με τη θέση του παρατηρητή να βρίσκεται ανατολικά του οικοπέδου.	220
Εικόνα 5.33: Καρτέλα υπολογισμού κύριων χαρακτηριστικών κάθετης διάταξης των ΦΒ πλαισίων.	221
Εικόνα 5.34: Καρτέλα ορισμού κάθετης διάταξης τριών συστοιχιών.	222
Εικόνα 5.35: Τοπογραφική τομή του εδάφους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος και υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών, της κλίσης του εδάφους, της κλίσης των ΦΒ πλαισίων και της απόστασης της οριζόντιας προβολής των πλαισίων για κάθετη και οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων.	223
Εικόνα 5.36: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Module layout” και αναπαράστασης της χωροθέτησης των ΦΒ πλαισίων σε κάθετη διάταξη. Οι οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν την παρουσία των διόδων παράκαμψης (3 δίοδοι ανά ΦΒ πλαίσιο). Το σύνολο των ΦΒ πλαισίων του ίδιου χρώματος αναπαριστούν μία συστοιχία. Το ΦΒ σύστημα προβάλλεται από γωνία κλίσης 60°.	225

Εικόνα 5.37: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Simulation” του λογισμικού PVSYST.....	225
Εικόνα 5.38: Καρτέλα παρουσίασης κύριων αποτελεσμάτων της προσομοίωσης τα οποία σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.....	226
Εικόνα 5.39: Σελίδα 1 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.....	227
Εικόνα 5.40: Σελίδα 2 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.....	228
Εικόνα 5.41: Σελίδα 3 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.....	229
Εικόνα 5.42: Σελίδα 4 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.....	230
Εικόνα 5.43: Σελίδα 5 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.....	231
Εικόνα 5.44: Σελίδα 6 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.....	232
Εικόνα 5.45: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Πρέβεζας από το λογισμικό RETScreen Plus.	233
Εικόνα 5.46: Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος στήριξης των ΦΒ πλαισίων.	234
Εικόνα 5.47: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του συστήματος στήριξης των ΦΒ πλαισίων. .	234
Εικόνα 5.48: Διάγραμμα σύνδεσης του ΦΒ συστήματος με δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας Χαμηλής Τάσης.(1: Μικρό ασφαλειοκιβώτιο, 2: Αυτόματος διακόπτης της σύνδεσης, 3: Φορτίο με ιδιοκατανάλωση, 4: Διακόπτης παραλληλισμού, 5: Προστατευτικές διατάξεις, 6: ΦΒ συστοιχίες και αναστροφέας, M: Μετρητής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, Ae: Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας παραγωγού).	235
Εικόνα 5.49: Το ΦΒ σύστημα εγκατεστημένης ισχύος 15,1kWp, συνδεδεμένο στο δίκτυο με τον τριφασικό αναστροφέα τάσεως DC-AC.....	235
Εικόνα 5.50: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) μέρους του οικοπέδου συμπεριλαμβανομένου του ΦΒ συστήματος.	236
Εικόνα 5.51: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κτηνοτροφικής μονάδας και του ΦΒ συστήματος.	236
Εικόνα 5.52: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος.....	237
Εικόνα 6.1: Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων	252
Εικόνα 6.2: Διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ πρώτης γενιάς	254
Εικόνα 6.3: Διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης πρώτης γενιάς.....	255
Εικόνα 6.4: Διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς	256
Εικόνα 6.5: Διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ δεύτερης γενιάς	257
Εικόνα 6.6: Νεαρό στάδιο, ανθοφορία και ώριμη καλλιέργεια.....	273
Εικόνα 6.7: Πρώιμη φθινοπωρινή, όψιμη χειμερινή συγκομιδή και αποθήκευση της δεματοποιημένης βιομάζας.....	277
Εικόνα 6.8: Απεικόνιση της "συντοποθέτησης"	280
Εικόνα 7.1: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης της τοποθεσίας του οικοπέδου (5χλμ)... ..	298
Εικόνα 7.2: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης του οικοπέδου (350μ).	298
Εικόνα 7.3: Τοπογραφικό διάγραμμα οικοπέδου.	299
Εικόνα 7.4: Απεικόνιση της καρτέλας επιλογής των απαραίτητων μετεωρολογικών στοιχείων από το PVGIS.....	300
Εικόνα 7.5: Πίνακας παρουσίασης των μέσων ημερήσιων ανά μήνα τιμών των επιλεγμένων μεγεθών όπως εξάγονται από το PVGIS.....	301

Εικόνα 7.6: Καρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων.	302
Εικόνα 7.7: Καρτέλα παρουσίασης των μέσων μηνιαίων τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων.	302
Εικόνα 7.8: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Project”	303
Εικόνα 7.9: Καρτέλα εισαγωγής των μετεωρολογικών δεδομένων στη μελέτη εγκατάστασης.	304
Εικόνα 7.10: Καρτέλα εισαγωγής του συντελεστή albedo.	304
Εικόνα 7.11: Καρτέλα προσδιορισμού του βέλτιστου προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων.	305
Εικόνα 7.12: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πλαισίου.	307
Εικόνα 7.13: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Locations” και της επιλογής “Add new”, η οποία βρίσκεται σε κόκκινο πλαίσιο του λογισμικού meteonorm 7.	308
Εικόνα 7.14: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Horizon” του λογισμικού PVSYST.	308
Εικόνα 7.15: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) μέρους του οικοπέδου.	310
Εικόνα 7.16: Καρτέλα υπολογισμού κύριων χαρακτηριστικών οριζόντιας διάταξης των ΦΒ πλαισίων με 17 ΦΒ πλαίσια ανά συστοιχία.	311
Εικόνα 7.17: Καρτέλα υπολογισμού κύριων χαρακτηριστικών κάθετης διάταξης των ΦΒ πλαισίων με 26 ΦΒ πλαίσια ανά συστοιχία.	311
Εικόνα 7.18: Τοπογραφική τομή του εδάφους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος και υπολογισμός της απόστασης (2'ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών και της κλίσης των ΦΒ πλαισίων για κάθετη και οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων.	313
Εικόνα 7.19: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα ρεύματος.	315
Εικόνα 7.20: Απεικόνιση της καρτέλας “System” υπό συνθήκες STC (Standard Test Conditions).....	316
Εικόνα 7.21: Απεικόνιση μέρους της καρτέλας “System” υπό οριακές συνθήκες.	316
Εικόνα 7.22: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Module layout” και αναπαράστασης της χωροθέτησης των ΦΒ πλαισίων σε κάθετη διάταξη. Οι δύο κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν την παρουσία των διόδων παράκαμψης (3 δίοδοι ανά ΦΒ πλαίσιο). Το σύνολο των ΦΒ πλαισίων του ίδιου χρώματος αναπαριστούν μία συστοιχία. Το ΦΒ σύστημα προβάλλεται από γωνία κλίσης 60°.	317
Εικόνα 7.23: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Simulation” του λογισμικού PVSYST.....	318
Εικόνα 7.24: Καρτέλα παρουσίασης κύριων αποτελεσμάτων της προσομοίωσης τα οποία σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.....	318
Εικόνα 7.25: Σελίδα 1 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.	319
Εικόνα 7.26: Σελίδα 2 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.	320
Εικόνα 7.27: Σελίδα 3 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.	321
Εικόνα 7.28: Σελίδα 4 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.	322
Εικόνα 7.29: Σελίδα 5 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.	323
Εικόνα 7.30: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Πυργέλας Άργους από το λογισμικό RETScreen Plus.....	324
Εικόνα 7.31: Διάγραμμα σύνδεσης του ΦΒ συστήματος με δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας Χαμηλής Τάσης.(1: Μικρό ασφαλειοκιβώτιο, 2: Αυτόματος διακόπτης της σύνδεσης, 3: ΦΒ συστοιχίες και αναστροφέας, 4: Διακόπτης παραλληλισμού, 5: Προστατευτικές	

διατάξεις, 6:, M: Μετρητής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, Ae: Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας παραγωγού).	325
Εικόνα 7.32: Το ΦΒ σύστημα εγκατεστημένης ισχύος 25,2kW _p , συνδεδεμένο στο δίκτυο με δύο τριφασικούς αναστροφείς τάσεως DC-AC.	325
Εικόνα 7.33: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) του οικοπέδου συμπεριλαμβανομένου του ΦΒ συστήματος.	326
Εικόνα 7.34: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος και της καλλιέργειας switchgrass.	326
Εικόνα 7.35: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος και της καλλιέργειας switchgrass.	327
Εικόνα 7.36: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος και της καλλιέργειας switchgrass (κάτοψη).....	327

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Οι ανάγκες για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνονται με ταχύτατους ρυθμούς παγκοσμίως, με αποτέλεσμα τα ενεργειακά αποθέματα του πλανήτη να αντλούνται ανεξέλεγκτα. Οι συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας για την παραγωγή ενέργειας συνδέονται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας να αποτελούν τη μοναδική διέξοδο για τη διατήρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Η προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ οδήγησε στη ραγδαία εγκατάστασή τους τόσο σε καθολική όσο και σε τοπική κλίμακα.

Στην Ελλάδα, ένα μεγάλο ποσοστό του αγροτικού πληθυσμού, διαβλέποντας στη μεγιστοποίηση του προσωπικού κέρδους από τα επιδοτούμενα προγράμματα εγκατάστασης συστημάτων ΑΠΕ, οδηγήθηκε στη σταδιακή απώλεση της αγροτικής του ιδιότητας, καθησυχάζόμενο από το επαρκές εισόδημα που προσέφερε η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στον προμηθευτή. Κατά συνέπεια άρχισε να αυξάνεται η κλίμακα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων σε εκτάσεις γης που θα μπορούσαν να παράγονται τρόφιμα. Ωστόσο, η οικονομική κρίση που ξέσπασε σε συνδυασμό με το πάγωμα αδειοδότησης των έργων για είκοσι μήνες και τον καθορισμό εξαιρετικά χαμηλών αποζημιώσεων για την παραγόμενη πράσινη ενέργεια, οδήγησαν σε μία κατακόρυφη πτώση της αγοράς φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα το 2014, ενισχύοντας τη δυσπιστία για μελλοντική χρήση τους.

Η τοποθέτηση υπερυψωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος ακριβώς πάνω από τις διαθέσιμες καλλιεργήσιμες εκτάσεις οδήγησε στη δημιουργία ενός πρότυπου αγροτοφωτοβολταϊκού συστήματος. Η διπλή αξιοποίηση της ίδιας μονάδας γης, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας και τροφής, αντιμετωπίζει το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα, χωρίς όμως να μειώνονται οι καλλιέργειες βρώσιμων προϊόντων. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα προσφέρουν μείωση εκροών στους αγρότες, ενώ την ίδια στιγμή θα αποτελούν καταφύγιο για τις καλλιέργειες, παρέχοντας προστασία από την άνοδο των θερμοκρασιών, τις καταστροφικές καταιγίδες, το χαλάζι και τη βροχή. Οι προσομοιώσεις των επιστημόνων ενίσχυσαν την παραπάνω θεωρία και επεσήμαναν ότι μία τέτοια πράσινη συμβίωση θα έχει και ένα επιπλέον σημαντικό όφελος: το νερό για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων από τους ρύπους θα μπορούσε να καταλήγει στις καλλιέργειες, που βρίσκονται κάτω από αυτά, αντί να πηγαίνει χαμένο. Μία τέτοια προσέγγιση επιτρέπει την παραγωγή ενέργειας και τη γεωργία με το ίδιο νερό.

Παρ' όλα αυτά, στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες, ο αριθμός των εγκαταλελειμμένων γεωργικών γαιών αγγίζει τα έξι εκατομύρια στρέμματα. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο αριθμό άγονων εκτάσεων, στη μείωση της παραγωγικότητας των μονοκαλλιιεργειών, στο αυξανόμενο κόστος παραγωγής και στις σύγχρονες τάσεις προς εισαγόμενα αγροτικά προϊόντα. Η επανακαλλιέργεια αυτών των στρεμμάτων με ενεργειακά φυτά, για την παραγωγή βιομάζας, αποτελεί μία

συμφέρουσα επένδυση με τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Το κίνητρο εγκατάστασης ενεργειακών καλλιεργειών είναι ισχυρό λόγω του μεγαλύτερου κέρδους του παραγωγού, του ελάχιστου κόστους επένδυσης μετά τον πρώτο χρόνο της εγκατάστασής τους, της βελτίωσης της βιοποικιλότητας και της ποιότητας ζωής καθώς και της γονιμότητας του χωραφιού. Ωστόσο οι εκτάσεις που απαιτούνται για την εγκατάσταση ενεργειακών καλλιεργειών και φωτοβολταϊκών συστημάτων, με κοινό τους στόχο την επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος, μειώνουν δραματικά τις υπόλοιπες διαθέσιμες εκτάσεις για την παραγωγή βρώσιμων προϊόντων.

Η τοποθέτηση υπερυψωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος ακριβώς πάνω από μία, κατάλληλα επιλεγμένη, ενεργειακή καλλιέργεια σε μία άγονη έκταση, αποτελεί έναν έξυπνο τρόπο διπλής αξιοποίησης της γης με διπλή παραγωγή «πράσινης» ενέργειας. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα παρέχουν ένα σταθερό εισόδημα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η συγκομιδή της βιομάζας από την ενεργειακή καλλιέργεια και η πώλησή της ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων θα ενισχύσει περαιτέρω το εισόδημα του παραγωγού. Η σύσταση ενός τέτοιου πρότυπου συστήματος συντοποθέτησης αποτελεί μία ελκυστική λύση με πληθώρα οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών και είναι ιδανική για περιοχές με πολύ ήλιο και ελάχιστο νερό. Συνιστάται η επιλογή πολυετών ενεργειακών φυτών με χαμηλό κόστος εγκατάστασης και υψηλή παραγωγικότητα, ακόμα και σε συνθήκες χαμηλών εισροών, όπως η καλλιέργεια switchgrass.

1.2. Φάσεις υλοποίησης

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2014-2015, σύμφωνα με την παρακάτω ακολουθία φάσεων:

- 1^η Φάση: Βιβλιογραφική και διαδικτυακή αναζήτηση με στόχο την εύρεση της κεντρικής ιδέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με κατάληξη στη διερεύνηση της πολλαπλής αξιοποίησης της αγροτικής γης.
- 2^η Φάση: Προσδιορισμός των αναγκών που ικανοποιεί η εφαρμογή της τελικής ιδέας καθώς και των περαιτέρω στόχων που επιτυγχάνονται από την υιοθέτησή της.
- 3^η Φάση: Ανάθεση της διπλωματικής εργασίας από τον επιβλέποντα καθηγητή ύστερα από εκτενή συζήτηση για το αντικείμενο και το σκοπό της.
- 4^η Φάση: Επιλογή των δύο σχεδίων δράσης που τίθενται υπό τεχνική μελέτη και οικονομική αξιολόγηση, με στόχο να είναι ρεαλιστικά και εφαρμόσιμα από την πλειονότητα του αγροτικού πληθυσμού.
- 5^η Φάση: Βιβλιογραφική και διαδικτυακή αναζήτηση καθώς και πληροφόρηση από ειδήμονες σχετικά με τον τρόπο υλοποίησης των δύο σχεδίων δράσης, με

γνώμονα τη σύσταση ενός συστήματος πολλαπλής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας σε αγροτικές περιοχές.

- 6^η Φάση: Μελέτη του νομικού πλαισίου που διέπει τις ΑΠΕ στην Ελλάδα και καταγραφή των νομοθετημάτων που σχετίζονται με το πρόγραμμα Net-Metering και με τη σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΛΑΓΗΕ.
- 7^η Φάση: Καταγραφή των μετεωρολογικών, ενεργειακών και τοπογραφικών δεδομένων των περιοχών των εξεταζόμενων σχεδίων δράσης και τεχνική προμελέτη με τη χρήση των υπολογιστικών εργαλείων *PVSYST*, *PVGIS* και *Meteonorm*, και των σχεδιαστικών εργαλείων *Autocad* και *SketchUp*.
- 8^η Φάση: Λήψη απόφασης για την οικονομική βιωσιμότητα των προτεινόμενων έργων με τη βοήθεια βασικών τεχνικών αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων και με τη χρήση του λογισμικού υπολογιστικών φύλλων *Excel*.
- 9^η Φάση: Εξαγωγή συμπερασμάτων που προκύπτουν από την ανωτέρω μελέτη και παρουσίαση των προοπτικών που δημιουργούνται για επιπρόσθετη έρευνα.

1.3. Οργάνωση τόμου

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από τα ακόλουθα οκτώ κεφάλαια:

- Εισαγωγή: Παρουσιάζονται σε συνοπτική μορφή το αντικείμενο και ο σκοπός της διπλωματικής, οι φάσεις υλοποίησής της καθώς και η παρούσα οργάνωση τόμου.
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται διεξοδικά όλες οι μορφές των ΑΠΕ, που συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος καθώς και η συμμετοχή τους στη χώρα μας.
- Ηλιακή Ενέργεια και τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων: Ξεκινώντας από την ηλιακή ακτινοβολία και γεωμετρία, το κεφάλαιο αυτό εμβαθύνει στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και στα μέρη που συνθέτουν μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα και Αγροτική Παραγωγή: Παρουσιάζεται αναλυτικά η ερευνητική αναφορά ενός πρότυπου αγροτοφωτοβολταϊκού συστήματος, η οποία ολοκληρώνεται με την καταγραφή αποτελεσμάτων σχετικά με την επίδραση του φ/β συστήματος στην απόδοση της καλλιέργειας.
- Οικονομοτεχνική Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φ/Β Συστήματος Αυτοπαραγωγής σε Κτηνοτροφική Μονάδα: Πραγματοποιείται τεχνική προμελέτη της εγκατάστασης φ/β συστήματος αυτοπαραγωγής, μέσω κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων (*Autocad*, *PVsyst*, *Sketchup 3D*), που περιλαμβάνει την καταγραφή ενεργειακών αναγκών της μονάδας, την χωροθέτηση και την μελέτη σκίασης. Επιπλέον, με τη χρήση λογισμικού υπολογιστικών φύλλων (*Excel*) πραγματοποιείται εκτενής

οικονομική αξιολόγηση του παραπάνω έργου για τη λήψη απόφασης σχετικά με τη βιωσιμότητα της επένδυσης.

- Ενεργειακές Καλλιέργειες και Βιοκαύσιμα: Παρέχεται μια γενική επισκόπηση για θέματα αξιοποίησης της βιομάζας με στόχο την παραγωγή βιοκαυσίμων, που προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην πορεία αυτών των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα και στην ιδέα της συντοποθέτησης φ/β συστήματος και ενεργειακής καλλιέργειας.
- Οικονομοτεχνική Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φ/Β Συστήματος και Καλλιέργειας Switchgrass σε Αγροτική Έκταση: Πραγματοποιείται τεχνική προμελέτη της εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος με σύμβαση πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω κατάλληλων εργαλείων (Autocad, PVsyst, Sketchup 3D), που περιλαμβάνει την χωροθέτηση και την μελέτη σκίασης. Στη συνέχεια, με τη χρήση λογισμικού υπολογιστικών φύλλων (Excel) πραγματοποιείται εκτενής οικονομική αξιολόγηση της συντοποθέτησης φ/β συστήματος και ενεργειακής καλλιέργειας switchgrass.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. Κλιματική αλλαγή

Ως κλιματική αλλαγή νοείται η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), ως κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια[1].

Η ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη Γη αποτελεί ένα τοίχωμα διαπερατό στις ηλιακές ακτίνες. Το μεγαλύτερο μέρος της ορατής και υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, που δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα ή δεν ανακλάται προς το διάστημα, κινείται διαμέσου των ατμοσφαιρικών στρωμάτων προς την επιφάνεια της Γης, προκαλώντας τη θέρμανσή της. Το 70% από την αρχικά απορροφηθείσα από την επιφάνεια της Γης, ενέργεια, επανακτινοβολείται προς την ατμόσφαιρα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η ατμόσφαιρα, όμως, δεν είναι πλήρως διαπερατή στην υπέρυθη ακτινοβολία λόγω της περιεκτικότητάς της στα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία δεσμεύουν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας και το εκπέμπουν ξανά προς την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας της Γης και τη διατήρησή της σε επίπεδα που επιτρέπουν τη δημιουργία και τη διατήρηση ζωής πάνω σε αυτή[2].

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 150 ετών, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως αυτές που έγκεινται στην υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας και ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν προκαλέσει αύξηση των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου[3]. Επίσης η παραγωγή αγροτικών παραπροϊόντων και πλαστικών καθώς και οι διαδικασίες ψύξης, ψεκασμού και κλιματισμού έχουν προκαλέσει αύξηση των ποσοτήτων υποξειδίου του αζώτου, υδρογονοφθορανθράκων, υπερφθορανθράκων και εξαφθορειούχου θείου. Τα αέρια αυτά που ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου (GHGs) είναι υπεύθυνα για την θέρμανση του πλανήτη όμως η δυσανάλογη για τη φύση περιεκτικότητά τους στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνη για την εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια πληθώρα κλιματικών αλλαγών[2].

Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται και η τυπολογία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αλλάζει. Παρατηρούνται ακόμη ακραία καιρικά φαινόμενα, εντονότερα και πιο εντατικά, μείωση του ατμοσφαιρικού όζοντος, αλλαγές στο οικοσύστημα λόγω της απώλειας της βιοποικιλότητας, αλλαγές στα υδρολογικά συστήματα και τις προμήθειες του γλυκού πόσιμου νερού, υποβάθμιση του εδάφους και αστικοποίηση[3].

Η ανθρώπινη επίδραση στο κλιματικό σύστημα είναι σαφής καθώς οι πρόσφατες ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι οι υψηλότερες στην

ιστορία. Η υπερθέρμανση του πλανήτη μας είναι αδιαμφισβήτητη, και από το 1950, πολλές από τις παρατηρούμενες αλλαγές είναι πρωτοφανείς. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και των ωκεανών έχει αυξηθεί και τα ποσά του χιονιού και του πάγου έχουν μειωθεί. Η αύξηση των ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που σημειώθηκε από την προβιομηχανική εποχή, προερχόμενη σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική και πληθυσμιακή ανάπτυξη, είναι τώρα μεγαλύτερη από ποτέ. Αυτή έχει οδηγήσει σε συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου πολύ υψηλές σε σχέση με τα τελευταία 800.000 έτη. Οι επιπτώσεις τους είναι πολύ πιθανό να ήταν η κυρίαρχη αιτία της παρατηρούμενης υπερθέρμανσης από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Τις τελευταίες δεκαετίες η αλλαγή του κλίματος έχει προκαλέσει επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και στον άνθρωπο σε όλες τις ηπείρους και τους ωκεανούς. Οι επιπτώσεις αυτές, ανεξάρτητα από την αιτία τους, καταδεικνύουν την ευαισθησία των φυσικών και ανθρωπίνων συστημάτων σε αυτή[4].

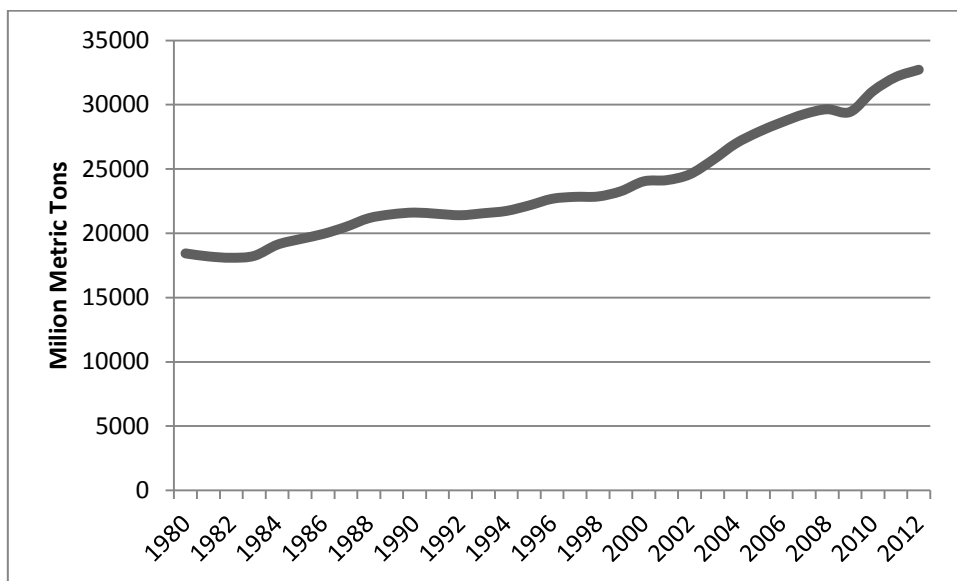
Η διατήρηση του επιπέδου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα προκαλέσει περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και μακροχρόνιες αλλαγές σε όλες τις συνιστώσες του κλιματικού συστήματος, αυξάνοντας την πιθανότητα σοβαρών και μη αναστρέψιμων επιπτώσεων για τους ανθρώπους και τα οικοσυστήματα. Ο περιορισμός της αλλαγής του κλίματος απαιτεί σημαντική και συνεχή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, κάτι το οποίο μπορεί να περιορίσει τους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής. Η θερμοκρασία της επιφάνειας προβλέπεται ότι θα αυξηθεί τον 21ο αιώνα εάν η κατάσταση παραμείνει ως έχει και είναι πολύ πιθανό να εμφανίζονται πιο συχνά τα λεγόμενα κύματα καύσωνα και να διαρκούν περισσότερο. Επίσης τα ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων θα γίνουν πιο έντονα και συχνά σε πολλές περιοχές. Οι ωκεανοί θα συνεχίσουν να θερμαίνονται και η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας να ανέβει. Η κλιματική αλλαγή θα ενισχύσει υπάρχοντες κινδύνους και θα δημιουργήσει νέους τόσο για τα φυσικά όσο και για τα ανθρώπινα συστήματα. Οι κίνδυνοι μάλιστα είναι άνισα κατανεμημένοι παγκόσμια πράγμα που σημαίνει πως θα είναι γενικά μεγαλύτεροι για τα άτομα και τις κοινότητες των χωρών που δε θα διαθέτουν τους πόρους για πιθανή μετανάστευση με στόχο την αποφυγή ακραίων φαινομένων. Βέβαια πρέπει να γίνει σαφές πως πολλές πτυχές της κλιματικής αλλαγής και οι συνακόλουθες επιπτώσεις τους θα συνεχιστούν για αιώνες, ακόμη και αν οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σταματήσουν[4].

Σύμφωνα με το πόρισμα του 5^{ου} συνεδρίου της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC, ένα σώμα χιλιάδων επιστημόνων που έχει συσταθεί από τα Ηνωμένα Έθνη και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό)[4]:

- Κάθε μία από τις τρεις τελευταίες δεκαετίες η επιφάνεια της Γης ήταν διαδοχικά θερμότερη από οποιαδήποτε προηγούμενη δεκαετία στο χρονικό διάστημα από το 1850 μέχρι και σήμερα.
- Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία των ηπείρων και των ωκεανών, δείχνουν μια αύξηση της τάξης των 0,85°C κατά την περίοδο 1880-2012.
- Κατά την περίοδο 1901-2010, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά 0,19m.

- Ο ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας από τα μέσα του 19ου αιώνα ήταν μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης των δύο προηγούμενων χιλιετιών.
- Η μέση ετήσια έκταση του πάγου της Αρκτικής μειώθηκε την περίοδο 1979-2012 κατά 3.5-4.1% ανά δεκαετία.
- Οι συγκεντρώσεις των CO₂, CH₄ και N₂O έχουν εμφανίσει μεγάλη αύξηση από το 1750 (40%, 150% και 20% αντίστοιχα).
- Οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων και τις βιομηχανικές διεργασίες συνέβαλε κατά 78% στη συνολική αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ των ετών 1970 και 2010.
- Οι συνολικές ετήσιες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί κατά περίπου 10GtCO₂-eq μεταξύ του 2000 και 2010. Η αύξηση αυτή προήλθε από την ενέργεια (47%), τη βιομηχανία (30%), τις μεταφορές (11%) και την οικοδόμηση (3%).
- Οι συνολικές ετήσιες εκπομπές CO₂ που προέρχονται από την κατανάλωση υγρών και στερεών καυσίμων έχουν αυξηθεί κατά 77,5% από το 1990 έως το 2012.

Διάγραμμα 2.1: Συνολικές παγκόσμιες εκπομπές CO₂ από την κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από άνθρακα, πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.



Πηγή: U.S. Energy Information Administration [25]

Ορισμένοι από τους βασικούς κινδύνους που θα κληθεί να αντιμετωπίσει ο άνθρωπος λόγω των παραπάνω στοιχείων είναι[4],[5]:

- Η εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων υγείας που θα προκύψουν από τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες σε αστικές περιοχές και περίοδοι υπερβολικής ζέστης.
- Σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, και κυρίως σε ξηρές και τροπικές περιοχές, ακόμα και μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας της τάξης των 1°C - 2°C, αναμένεται να αυξήσουν τον κίνδυνο λιμών.
- Την πιθανότητα κατάρρευσης των δικτύων υποδομών και άλλων κρίσιμων υπηρεσιών λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων.
- Η μείωση της γεωργικής παραγωγής στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες.

- Τα αποθέματα νερού που είναι αποθηκευμένα στους παγετώνες και στις χιονισμένες περιοχές θα μειωθούν προκαλώντας ελλείψεις νερού σε περισσότερο από 1 δις ανθρώπους.
- Το 20% με 30% όλων των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη θα αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης, αν η άνοδος της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας ξεπεράσει τους 1,5-2,5°C.

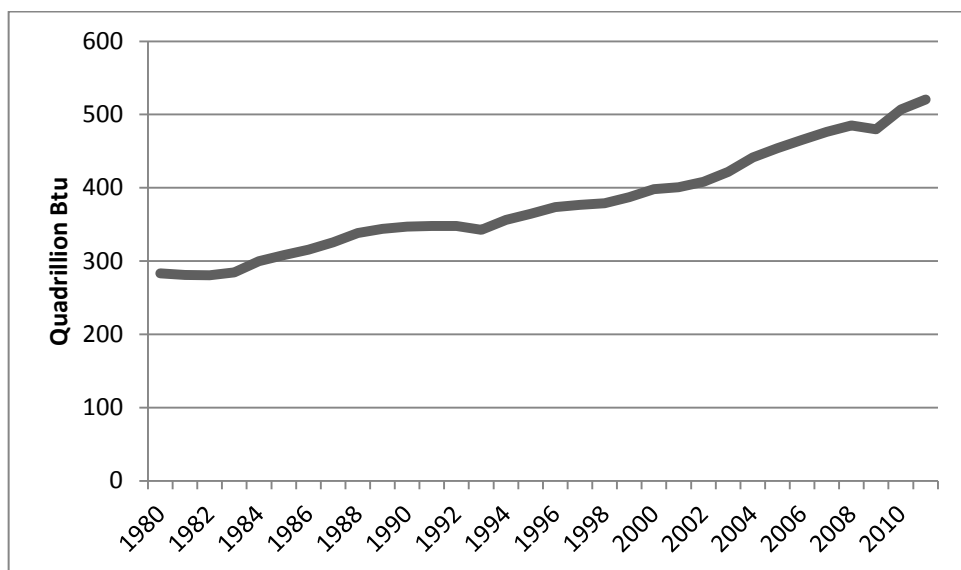
Η αλλαγή του κλίματος πρόκειται να επηρεάσει αναπόφευκτα τις βασικές απαιτήσεις για την διατήρηση της υγείας, όπως ο καθαρός αέρας και το νερό, η επαρκής τροφή και η ύπαρξη καταλύματος. Κάθε χρόνο, περίπου 800.000 άνθρωποι πεθαίνουν από αιτίες όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση 1,8 εκατ. που σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην έλλειψη πρόσβασης σε πόσιμο νερό και σύστημα αποχέτευσης καθώς και από την κακή υγιεινή, 3,5 εκατ. από τον υποσιτισμό και περίπου 60.000 από φυσικές καταστροφές[3].

Οι δράσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής οφείλουν να ακολουθήσουν την κατεύθυνση μιας βιώσιμης, πράσινης οικονομίας χαμηλών ή και μηδενικών εκπομπών άνθρακα με τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου μοντέλου θα πρέπει να στηριχθεί κυρίως στους τομείς της ενέργειας, της βιομηχανίας, της γεωργικής παραγωγής. Το κόστος του περιορισμού των εκπομπών και της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή μπορεί να φαίνεται αρχικά υψηλό, αλλά είναι πολύ χαμηλό σε σύγκριση με το κόστος που θα αναγκαστούμε να καταβάλουμε λόγω απραξίας. Η προσαρμογή των χωρών αποτελεί αναγκαιότητα και όχι πολυτέλεια καθώς η εξάρτησή μας από το φυσικό περιβάλλον είναι εξαιρετικά μεγάλη για να αγνοηθεί, ακόμα και σε συνθήκες οικονομικής κρίσης[6].

2.2. Ενεργειακό πρόβλημα

Η ουσία του ενεργειακού προβλήματος βρίσκεται στην συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων που διαρκώς μειώνονται με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται. Το ενεργειακό πρόβλημα από την άποψη της παραγωγής είναι η διαφοροποίηση της γεωγραφικής κατανομής παραγωγών και καταναλωτών ενέργειας. Αντίστοιχα, το ενεργειακό πρόβλημα από την άποψη της ζήτησης έγκειται στο ότι η ανθρώπινη κοινωνία του 21ου αιώνα έχει συνδέσει τον τρόπο ζωής της με μία συγκεκριμένη πηγή, τα υγρά καύσιμα, σε βαθμό που ποτέ στο παρελθόν δεν είχε συμβεί κάτι τέτοιο[7].

Διάγραμμα 2.2: Συνολική παγκόσμια πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας την περίοδο 1980-2011.



Πηγή: U.S. Energy Information Administration [25]

Το θέμα της ενέργειας παραμένει στο επίκεντρο του αιώνα μας και οι παράγοντες που το τροφοδοτούν είναι οι παρακάτω[8],[9]:

- Η αβεβαιότητα της επάρκειας της παράγωγης και της σταθερότητας στην τροφοδοσία με καύσιμα, με σκοπό την διατήρηση των αποθεμάτων. Το φαινόμενο της αβεβαιότητας συντηρείται από τοπικές και περιφερειακές συρράξεις, οι οποίες στις περισσότερες των περιπτώσεων δημιουργούνται από παρέμβαση τρίτων προκειμένου να αυξήσουν την επιρροή τους στο διεθνές κύκλωμα του πετρελαίου.
- Η εξάντληση των ενεργειακών πόρων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες.
- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών. Συγκεκριμένα η ενέργεια επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική χρήση τους, με συνέπεια να συμβάλλει τα μέγιστα στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου (από τις εκπομπές των αερίων καύσης) και ταυτόχρονα να μειώνει τη διαθεσιμότητα του υδάτινου δυναμικού (από την ποιοτική υποβάθμιση των αποδεκτών).
- Το κόστος της ενέργειας καθώς πολιτικά και μη γεγονότα αλλά και αστάθμητοι παράγοντες επηρεάζουν και ανεβάζουν τις τιμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα οι τιμές του αργού πετρελαίου έχουν τετραπλασιασθεί, γεγονός που πιστοποιεί τη μονιμότητα του ενεργειακού προβλήματος ως προς την άνοδο των τιμών.
- Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες, που ανέρχονται στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας. Διαπιστώνεται ως εκ τούτου ότι σημαντική συνιστώσα του ενεργειακού συστήματος είναι η μη ορθολογική διαχείρισή του ή, διαφορετικά, η χαμηλή αποδοτικότητά του.

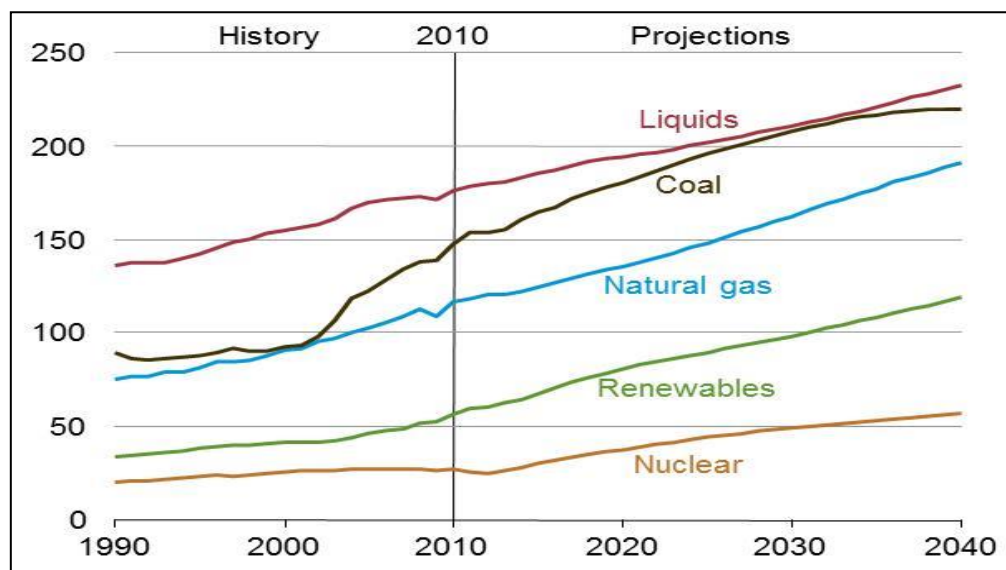
Αυτοί οι παράγοντες συνθέτουν ό,τι έχει γίνει ευρύτερα γνωστό με τον όρο ενεργειακό πρόβλημα. Αποτελούν, επομένως, το απαραίτητο υπόβαθρο που πρέπει

να αναλυθεί προτού κανείς μπορέσει να ασχοληθεί με το πρόβλημα της χρήσης και διαχείρισης ενεργειακών πόρων και της αξιολόγησης ενεργειακών συστημάτων. Ωστόσο, η ενέργεια, με την έννοια της διαθεσιμότητας ενεργειακών πόρων δεν επαρκεί από μόνη της. Προϋπόθεση για την ενεργειακή επάρκεια είναι η ύπαρξη του κατάλληλου συστήματος που θα μπορέσει να μετατρέψει τη διαθέσιμη ενέργεια σε ωφέλιμη ισχύ έναντι ενός αποδεκτού κόστους[7].

Η ανεξάρτητη στατιστική υπηρεσία Energy Information Agency (EIA) στην αναφορά που εξέδωσε στο τέλος του 2013 προβλέπει για το έτος 2040 τα εξής:

- Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί κατά 56% (τοίς εκατό) μεταξύ 2010 και 2040 καθώς η συνολική χρήση ενέργειας αυξάνεται από 524Quadrillion Btu το 2010 σε 820Quadrillion Btu το 2040.
- Μεγάλο μέρος της αύξησης (90%) της ενεργειακής κατανάλωσης πραγματοποιείται σε χώρες εκτός του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), όπου η ζήτηση οδηγείται από την ισχυρή, μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη ενώ στις χώρες του ΟΟΣΑ η αύξηση στη χρήση ενέργειας αυξάνεται κατά 17%.
- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η πυρηνική ενέργεια είναι οι ταχύτερα αναπτυσσόμενες πηγές ενέργειας στον κόσμο, σημειώνοντας αύξηση κατά 2,5% ετησίως.
- Τα ορυκτά καύσιμα θα συνεχίσουν να προμηθεύουν σχεδόν το 80% της χρήσης ενέργειας στον κόσμο το 2040.
- Το φυσικό αέριο είναι το ταχύτερα αναπτυσσόμενο εκ των ορυκτών καυσίμων καθώς η κατανάλωσή του αυξάνεται κατά 1,7% ετησίως.
- Η χρήση του άνθρακα αναπτύσσεται με ταχύτερο ρυθμό από ό, τι το πετρέλαιο και τα υπόλοιπα υγρά καύσιμα μετά το 2030, κυρίως λόγω της αύξησης της κατανάλωσης άνθρακα στην Κίνα και της σταθερά τιμής του πετρελαίου.
- Ο βιομηχανικός τομέας εξακολουθεί να δεσμεύει το μεγαλύτερο μερίδιο της παρεχόμενης προς κατανάλωση ενέργειας, καταναλώνοντας πάνω από το ήμισυ της παγκόσμιας ενέργειας το 2040.
- Λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες πολιτικές και τους κανονισμούς που περιορίζουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται από περίπου 31billion metric tons το 2010 σε 36billion metric tons το 2020 και, στη συνέχεια, σε 45billion metric tons το 2040 σημειώνοντας αύξηση 46%.

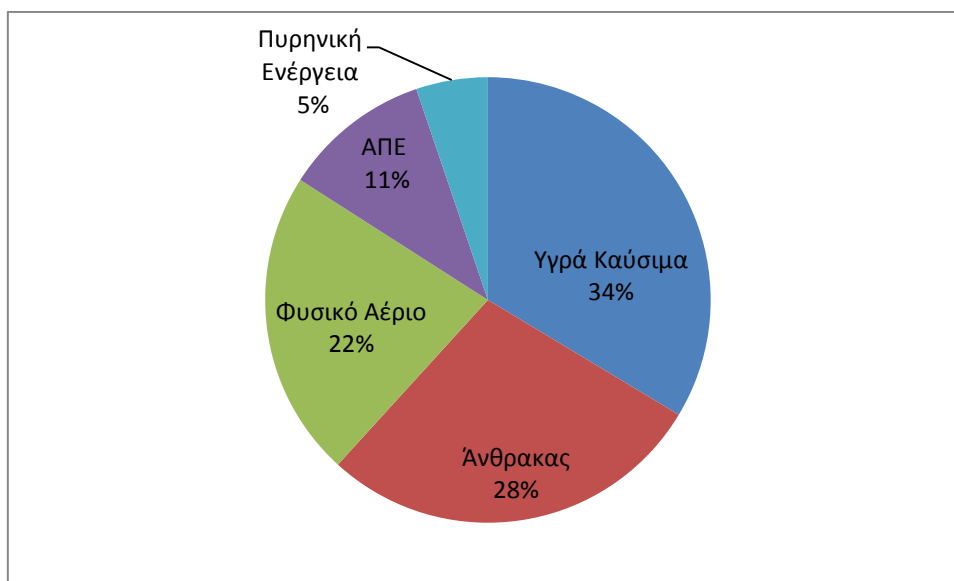
Διάγραμμα 2.3: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση (quadrillion Btu) ανά είδος καυσίμου κατά την περίοδο 1990-2040.



Πηγή: U.S. Energy Information Administration [25]

Τα προηγούμενα περιγράφουν το μέγεθος του ενεργειακού προβλήματος, το οποίο οφείλεται στην αποκλειστική εξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα. Τα υγρά και στερεά καύσιμα αποτελούν την κινητήρια δύναμη, όχι μόνο της πλειοψηφίας των μεταφορικών μέσων και της βιομηχανίας, αλλά κυρίως της οικονομίας. Μία απότομη αύξηση του κόστους τους αρκεί για την εμφάνιση αποσταθεροποιητικών τάσεων σε μία πληθώρα τομέων[7]. Σήμερα το 84% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, το 11% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - ΑΠΕ, και το 5% από πυρηνικούς σταθμούς. Είναι φανερό λοιπόν ότι για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων. Οποιαδήποτε όμως λύση θα πρέπει να εξασφαλίζει τις αξίες, τις παραδόσεις, την ευημερία και τις ελευθερίες του κοινωνικού συνόλου.

Διάγραμμα 2.4: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά είδος καύσιμης ύλης κατά το έτος 2010.



Πηγή: U.S. Energy Information Administration [25]

Προς αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος έγινε αποδεκτή η ανάγκη υλοποίησης στρατηγικών αντιμετώπισης του ενεργειακού προβλήματος σε δυο διαδοχικές χρονικές περιόδους[9]:

- Στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας

Η περίοδος αυτή ξεκινά από την ενεργειακή κρίση του 1973 και ολοκληρώνεται με τη μείωση της επάρκειας των συμβατικών καυσίμων που είναι και η αρχή της εξάντλησης των συμβατικών ενεργειακών αποθεμάτων. Η αντιμετώπιση στηρίζεται σε δυο κύριους άξονες:

- Αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας που εστιάζεται στο διαχωρισμό του διδύμου ενέργειας-οικονομικής ανάπτυξης και στην αύξηση της ωφέλιμης ενέργειας σε σχέση με την καταναλισκόμενη δηλαδή στην αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των απωλειών στα χρησιμοποιούμενα συστήματα.
- Μείωση της κατανάλωσης καθώς η πιο καθαρή και πιο φθηνή μορφή ενέργειας είναι αυτή που εξοικονομούμε κάνοντας σωστή χρήση της τεχνολογίας καλύπτοντας τις πραγματικές μας ανάγκες χωρίς υπερβολές και σπατάλες. Αυτό προϋποθέτει ευαισθητοποίηση των καταναλωτών με σκοπό την αλλαγή στάσεων και συμπεριφορών όχι μόνο σε προσωπικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο παραγωγής αξιοποιώντας παράλληλα και την σύγχρονη τεχνολογία.

Προφανώς στην πρώτη αυτή περίοδο οφείλουμε να εξελίξουμε τεχνικές εκμετάλλευσης μη αποδοτικών αλλά και ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών. Όλα αυτά με την προϋπόθεση ότι θα προηγηθεί κατάλληλη προετοιμασία, ο σχεδιασμός και δημιουργία του απαραίτητου θεσμικού πλαισίου για να μη δημιουργηθούν παράπλευρα προβλήματα στο κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο.

- Στρατηγική υποκατάστασης των συμβατικών ενεργειακών πηγών με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η στρατηγική αυτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την προηγούμενη όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την εξασφάλιση των προϋποθέσεων (οικονομική ανάπτυξη, νομισματική σταθερότητα, ορθός καταμερισμός του πλούτου, σταθερότητα τροφοδοσίας ενέργειας) μιας μακροχρόνιας στρατηγικής επιτυχούς εκμετάλλευσης των ΑΠΕ.

2.3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες[32]. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές θεωρείται η ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές δηλαδή αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέρια.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δύο πολύ βασικά χαρακτηριστικά τους και είναι τα εξής[32]:

- Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.
- Πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Ο όρος «ανανεώσιμες» από την άλλη πλευρά αναφέρεται σε δύο ακόμα βασικά χαρακτηριστικά τους[32],[10]:

- Ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται κατά συνέπεια πρακτικά ανεξάντλητες.
- Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο αλλά ακόμα και τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση των συμβατικών μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας[10]. Σήμερα μάλιστα λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για περαιτέρω αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας αν και στην αρχή ήταν ιδιαίτερα μεγάλο, πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως το φυσικό αέριο και η πυρηνική ενέργεια[32].

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι[32]:

- Η ηλιακή ενέργεια με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή.
- Η αιολική ενέργεια η οποία δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια η οποία προέρχεται από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας σε κινητική μορφή και χρησιμοποιείται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή.
- Η γεωθερμική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται είτε για απευθείας θερμικές εφαρμογές είτε για ηλεκτροπαραγωγή.

- Η βιομάζα η οποία είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.
- Η ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών οι οποίες προέρχονται από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.
- Η ωσμωτική ενέργεια η οποία προέρχεται από την ανάμειξη γλυκού και αλμυρού νερού.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι[32],[10]:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.

Παρά την πληθώρα ευεργετικών για τον άνθρωπο και τη Γη χαρακτηριστικών, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εμφανίζουν και ορισμένα μειονεκτήματα που συνίστανται στα εξής[11]:

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.

- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.

2.4. Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι κύριες εφαρμογές αξιοποίησής τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους παρουσιάζονται ακολούθως:

2.4.1. Ηλιακή ενέργεια

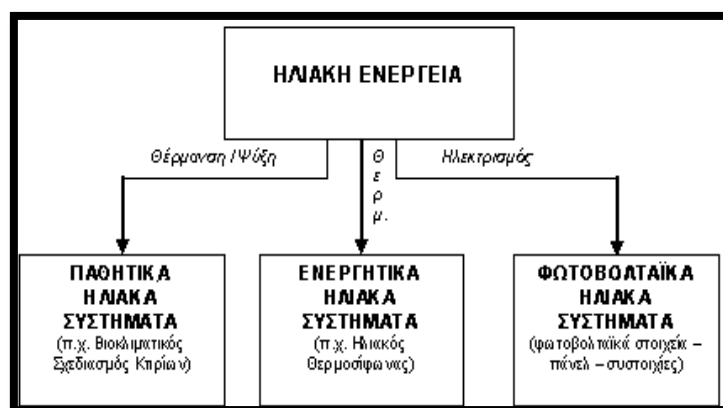
Με τον όρο ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας που εκπέμπονται από τον Ήλιο, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας[6].

Η ακτινοβολία του ήλιου (ηλιακή ακτινοβολία) αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας για τη Γη με ουσιαστική συμβολή στη δημιουργία των ορυκτών καυσίμων. Η ενέργεια του ήλιου επίσης, αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια μια σημαντική πηγή ενέργειας για τον άνθρωπο ο οποίος τη χρησιμοποίησε είτε άμεσα, (ξήρανση τροφών, στέγνωμα κλπ.), είτε έμμεσα (μέσω της γεωργίας για την παραγωγή σιτηρών). Στη δεκαετία του 1830 ο Βρετανός αστρονόμος John Herschel χρησιμοποίησε ένα ηλιακό θερμικό κουτί, μέσω του οποίου εκμεταλλευόταν την ηλιακή ενέργεια για μαγείρεμα του φαγητού κατά τη διάρκεια μιας εκστρατείας στην Αφρική[12].

Η ισχύς που τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας δέχονται από τον Ήλιο είναι 174PW. Περίπου το 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς και τη Γη. Το ηλιακό φως που απορροφάται από τους ωκεανούς και τη Γη διατηρεί την επιφάνεια σε μία μέση θερμοκρασία της τάξης των 15°C. Η συνολική ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς της Γης και μάζες γης είναι περίπου 3.850.000EJ ετησίως. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια του πλανήτη είναι τόσο μεγάλη ώστε μέσα σε ένα χρόνο είναι περίπου διπλάσια από όση μπορεί ποτέ να ληφθεί από το σύνολο των μη ανανεώσιμων πόρων της Γης δηλαδή τον άνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και το ουράνιο. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα σε όλο τον κόσμο, κυρίως ανάλογα με την απόσταση από τον ισημερινό[26].

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους: με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας με στόχο την παραγωγή θερμότητας (χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση νερού σε κτίρια, και πισίνες, για τη θέρμανση χώρου σε σπίτια και θερμοκήπια και τη μετατροπή του νερού σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων), ενώ στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών[12]. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Για παράδειγμα, η έρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές[11].

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου[26].



Εικόνα 2.1: Κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας

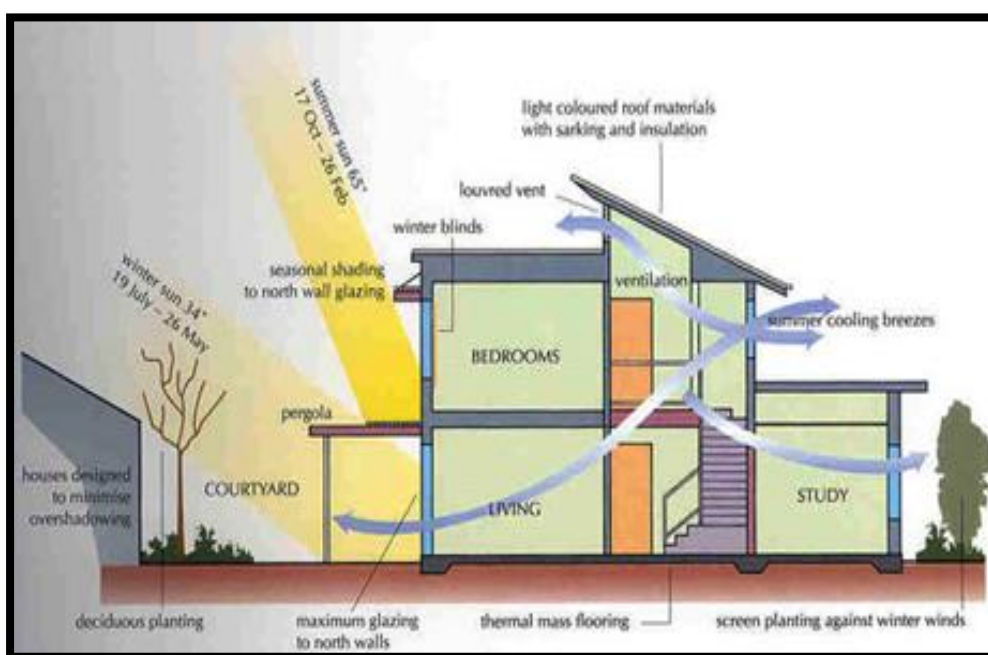
Πηγή: <http://el.wikipedia.org> [26]

- Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά[6].

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτιρίων[6]. Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του έτσι ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες. Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο "φαινόμενο του θερμοκηπίου" και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου, ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην

προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτινών του ήλιου στο κτίριο αλλά και στον φυσικό εξαερισμό που επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Τέλος τα συστήματα φυσικού φωτισμού στηρίζονται σε κατάλληλες τεχνικές μέσω των οποίων εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο της «θάμβωσης». Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται «βιοκλιματικό κτίριο» και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας[11].



Εικόνα 2.2: Βιοκλιματική σχεδίαση κτιρίου
Πηγή: <http://eco.firecat.gr> [27]

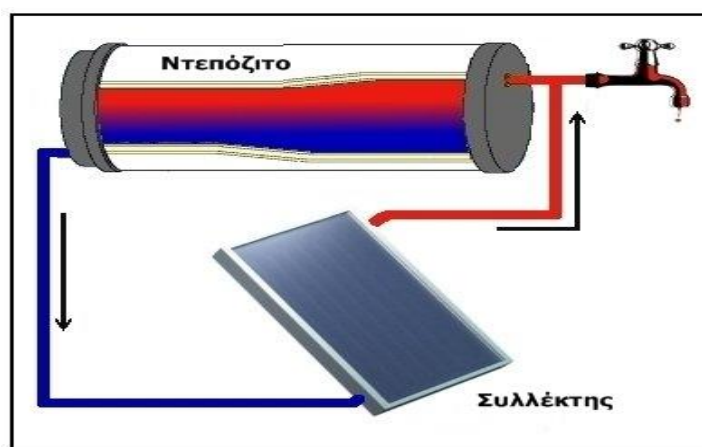
- Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα ονομάζονται τα συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό[10]. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιοθερμικών ή ενεργητικών συστημάτων και η διαφορά τους έγκειται στο βαθμό θερμότητας που μπορούν να παράγουν ανάλογα με το είδος των συλλεκτών που διαθέτουν (χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας)[34].

Οι χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας συλλέκτες είναι επίπεδες πλάκες που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου για να ζεστάνουν νερό μέσα στο πλαίσιο. Αυτά τα συστήματα παράγουν ζεστό νερό για οικιακή ή βιομηχανική χρήση[34]. Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι

ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° - 60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως[10]. Το πιο απλό και διαδομένο ηλιακό ενεργητικό σύστημα είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας. Η αρχή λειτουργίας του είναι απλή και βασίζεται στο γεγονός ότι το νερό που θερμαίνεται στο συλλέκτη διαστέλλεται και γίνεται ελαφρύτερο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό της δεξαμενής. Αυτή η διαφορά πυκνότητας του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική κυκλοφορία του μέσου του συλλέκτη και τη μεταφορά του θερμού νερού στην αποθηκευτική δεξαμενή. Την ίδια στιγμή το κρύο νερό της δεξαμενής ωθείται προς το συλλέκτη[12]. Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη και κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών) και τη συνεργασία του χρήστη[10].

Οι υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με παραβολικά κάτοπτρα, ηλιακούς δίσκους ή ηλιακούς πύργους ισχύος σε ένα ντεπόζιτο νερού μετατρέποντας το σε ατμό, ο οποίος στην συνέχεια κινεί ατμογεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Για να λειτουργήσουν αποδοτικά, τα ηλιοθερμικά συστήματα χρειάζονται άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες ή τα κάτοπτρα. Εάν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια η απόδοση τους μειώνεται αισθητά[34].



Εικόνα 2.3: Ηλιακός θερμοσίφωνας και η «αρχή του θερμοσίφωνα»
Πηγή: <http://efepereth.wikidot.com> [28]

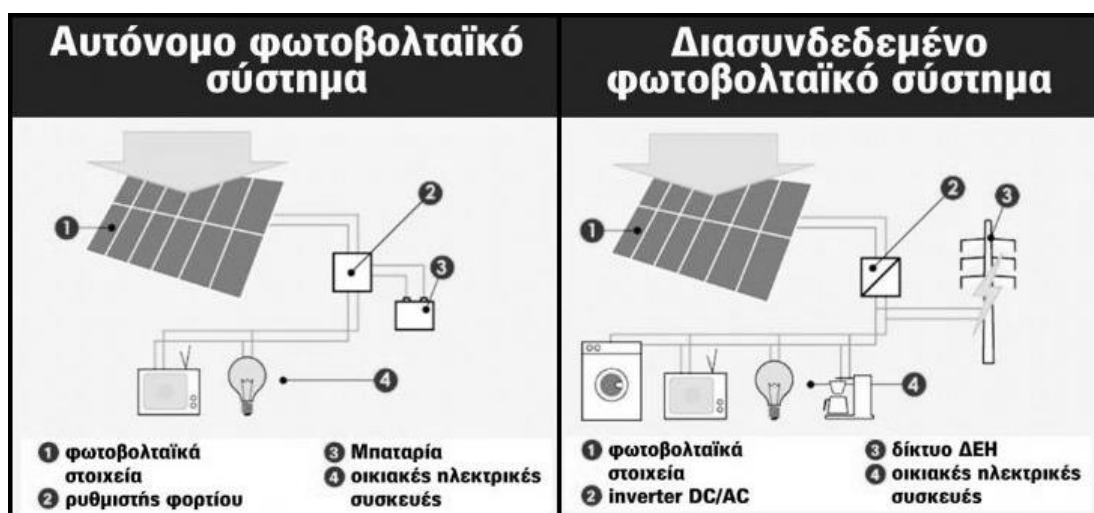
- Φωτοβολταϊκά συστήματα

Μια πολλά υποσχόμενη και συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα που μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, αντλώντας όπως και τα ηλιοθερμικά συστήματα, ενέργεια από τον ήλιο. Οι ηλιακές κυψέλες, κοινώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ημιαγωγοί), είναι «συσκευές» που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι δυνατό να αλλάξει τις ιδιότητες ορισμένων υλικών (ημιαγωγών) παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Κατά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το ηλιακό φως που προσπίπτει σε έναν ημιαγωγό δυο στρωμάτων δημιουργεί ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ τους. Η τάση αυτή μπορεί να ενεργοποιήσει μια, ανάλογης τάσης και ισχύος, συσκευή ή να διανεμηθεί στο ηλεκτρικό σύστημα. Το σύνολο των φωτοβολταϊκών στοιχείων που συνδέονται ηλεκτρονικά μεταξύ τους ονομάζεται φωτοβολταϊκή γεννήτρια και το σύνολο των φωτοβολταϊκών γεννητριών συνδεδεμένων μεταξύ τους ονομάζεται φωτοβολταϊκή συστοιχία. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί το βασικότερο μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος και συνοδεύεται από κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα για έλεγχο και διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και από σύστημα αποθήκευσης (μπαταρίες). Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι συνεχούς τάσης και ανάλογα με την εφαρμογή μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο με τη βοήθεια ενός αντιστροφέα τάσης[12].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να αξιοποιηθούν ως[12]:

- Αυτόνομα, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται μόνο για κάλυψη των αναγκών του χρήστη και συνήθως διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης (μπαταριών). Εφαρμόζονται για τη δημιουργία μικρών τοπικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, εξοικονομώντας σημαντικό κόστος από την εγκατάσταση νέων δικτύων και γραμμών μεταφοράς ηλεκτρισμού σε περιοχές που δεν καλύπτει το υφιστάμενο δίκτυο.
- Ενωμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, όπου η τυχόν πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια ή το σύνολό της διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 2.4: Αυτόνομο και διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

Πηγή: <http://www.4green.gr> [29]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι οι εξής[11],[12],[13]:

- Μηδενική ρύπανση.
- Για κάθε 1kWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκό σύστημα αποφεύγεται η έκλυση περίπου 0.9kg ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής.

- Απεξάρτηση από τροφοδοσία καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας (μπαταρίες).
- Δυνατότητα επέκτασης.
- Μεγάλη αναλογία ισχύος προς βάρος (~100 W/kg), που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές.
- Μηδενικό κόστος παραγωγής ενέργειας.
- Ελάχιστη συντήρηση.
- Έχουν μέγιστη παραγωγή την περίοδο μεγάλης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου είναι αδύνατο ή ασύμφορο να μεταφερθεί ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο.
- Μπορούν να ενσωματωθούν στην αρχιτεκτονική των κτιρίων.

Πρέπει παρά ταύτα να αναφερθούν και ορισμένα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι παραπάνω εφαρμογές όπως[1],[11],[14]:

- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται αποθήκευση υπάρχει το επιπρόσθετο κόστος των μπαταριών των οποίων η διάρκεια ζωής δεν υπερβαίνει ποτέ τη χρήσιμη ζωή των πλαισίων, δημιουργώντας επιπρόσθετο κόστος συντήρησης και αντικατάστασής τους.
- Χαμηλή απόδοση.
- Η κατασκευή τους προκαλεί ρύπανση.

2.4.2. Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου[1]. Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, διότι η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα ή αλλιώς ρευμάτων μεταφοράς από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους[12].

Οι εναέριες μάζες της ατμόσφαιρας, κάτω από την επίδραση των συνεχών μεταβολών της ατμοσφαιρικής πίεσης, κινούνται και αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι ο άνεμος. Δυο βασικά φαινόμενα συντελούν στη δημιουργία των ανέμων, η ηλιακή ακτινοβολία και η περιστροφή της γης. Λόγω της θέσης της ως προς τον ήλιο, η γη είναι πιο ζεστή γύρω από τον ισημερινό παρά κοντά στους πόλους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πνέουν ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν τον θερμό αέρα μικρότερης πυκνότητας των τροπικών ζωνών που ανεβαίνει σε ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα και από εκεί κινείται προς τους πόλους. Επίσης η περιστροφή της γης επιδρά στις κινήσεις της ατμόσφαιρας. Η αδράνεια τείνει να στρέψει τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της γης προς τα δυτικά και τον θερμό των ανωτέρω στρωμάτων προς τα ανατολικά. Ενώ θεωρητικά ο άνεμος πνέει από τις ζώνες υψηλής πίεσης προς τις ζώνες χαμηλής πίεσης, στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά μήκη η διεύθυνση του ανέμου, επηρεαζόμενη από την περιστροφή της γης, γίνεται παράλληλη με τις ισοβαρείς αντί να είναι κάθετη προς αυτές. Έτσι στο βόρειο ημισφαίριο ο άνεμος

περιστρέφεται γύρω από τις περιοχές χαμηλής πίεσης με φορά αντίθετη αυτής των δεικτών του ρολογιού και γύρω από τις περιοχές υψηλής πίεσης με φορά αυτή των δεικτών του ρολογιού. Στο νότιο ημισφαίριο οι διευθύνσεις περιστροφής είναι αντίθετες[13].

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου, από όπου προέρχεται και η ονομασία της αιολικής ενέργειας, δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου η οποία γινόταν αξιοποιήσιμη μέσω των ιστίων, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία[10].

Με τη σημερινή τεχνολογία, εάν υπήρχε η δυνατότητα, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα[11].

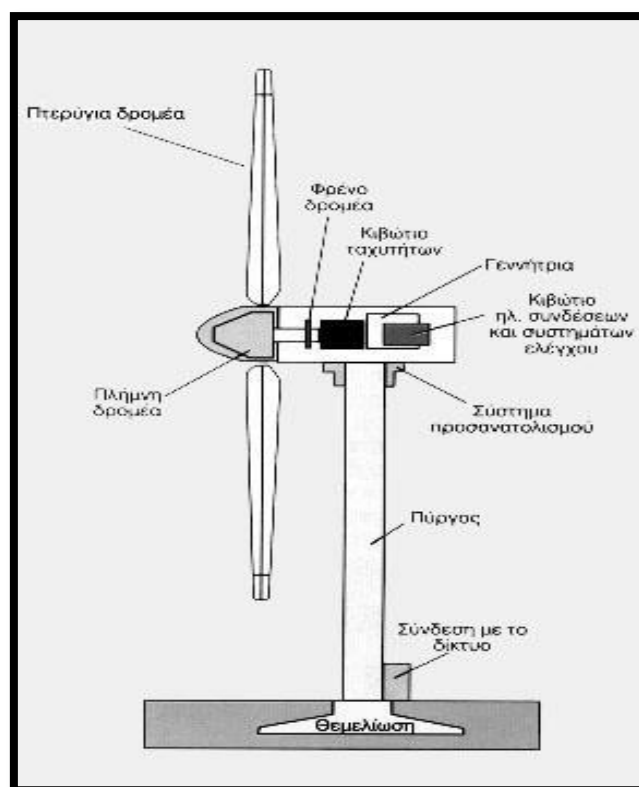
Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας σήμερα, χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική[6]. Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt[10].

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες[10]:

- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει σε ποσοστό 90% οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη[10]:

- Το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- Το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτρια

Πηγή: <http://www.cres.gr> [10]

Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1 έως 3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η άτρακτος στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο δρομέας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο και στο τέλος γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις[35].

Η πιο σημαντική εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα αιολικά πάρκα (συστοιχίες πολλών ανεμογεννητριών) εγκαθίστανται και λειτουργούν σε περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού και το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο. Υπάρχει επίσης δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα για κάλυψη ή τη συμπλήρωση ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένων κατοικιών ή αγροτικών μονάδων. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει, όπως και στην περίπτωση των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας με εγκατάσταση μπαταριών[12].

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των εφαρμογών αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας είναι τα εξής[10],[11],[14]:

- Δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με αέριους ρύπους.
- Συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550 kW σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτρέπεται η εκπομπή 735 περίπου τόνων CO₂ ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και την συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας, αφού εκτιμάται ότι για κάθε νέο MW αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας.
- Η έκταση γης κάτω από τις ανεμογεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για καλλιέργειες.
- Δυνατότητα κατασκευής στο θαλάσσιο χώρο.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εφαρμογές εκμετάλλευσης των ανέμων είναι οι παρακάτω[10],[11],[13],[14]:

- Η οπτική όχληση.
- Ο θόρυβος καθώς από τη λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας η ισχύς εκπνευόμενου θορύβου εκτιμάται στα 98 με 104 dB.
- Απαιτείται μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση.
- Η πιθανότητα παρουσίας ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών στις τηλεπικοινωνίες και στα σήματα μετάδοσης των τηλεοράσεων και των ραδιοφώνων που δημιουργούνται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής.

- Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και αρκετά μικρός συντελεστής απόδοσης της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο.
- Η αβεβαιότητα στην εμφάνιση του ανέμου, καθώς πρόκειται για ένα καθαρά στοχαστικό μέγεθος που έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη διακυμάνσεων στο δίκτυο.
- Υψηλό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης.

2.4.3. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδραυλική είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου, είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική, ώστε τελικά να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις[36].

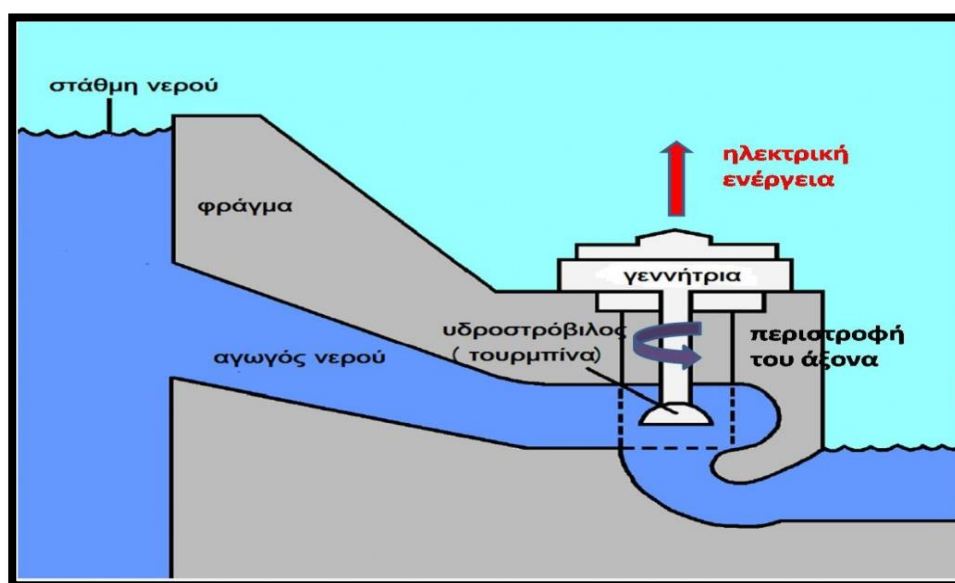
Η χρήση της υδραυλικής ενέργειας ήταν γνωστή από τα αρχαία χρόνια. Μάλιστα πολυάριθμοι υδραυλικοί τροχοί, νερόμυλοι, δριστελλές, υδροτριβεία, πριονιστήρια, κλωστοϋφαντουργεία και άλλοι μηχανισμοί υδροκίνησης συνεχίζουν ακόμη και σήμερα να χρησιμοποιούν τη δύναμη του νερού εκμεταλλευόμενοι την κινητική ενέργεια του νερού, συμβάλλοντας σημαντικά στην πρόοδο της τοπικής οικονομίας πολλών περιοχών, με απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο[10].

Σήμερα η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για σκοπούς ηλεκτροπαραγωγής με τη βοήθεια των υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) και για το λόγο αυτό ονομάζεται υδροηλεκτρική[12]. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική[6]. Μόνο σε περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευασθούν υδατοταμιευτήρες. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής[12].

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού που περιστρέφει μια τουρμπίνα η οποία θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια. Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν ένα φράγμα το οποίο συγκρατεί μια μεγάλη ποσότητα νερού δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη δεξαμενή. Κάποιες θύρες στο φράγμα ανοίγουν και λόγω της βαρύτητας το νερό περνάει σε έναν αγωγό ο οποίος το οδηγεί σε μια τουρμπίνα. Καθώς αυτό περνάει από τον αγωγό δημιουργεί μεγάλη πίεση. Το νερό πέφτει πάνω στις φτερωτές μιας τουρμπίνας και την περιστρέφει. Η περιστροφική αυτή κίνηση μεταφέρεται στην γεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη με την τουρμπίνα με ένα άξονα. Καθώς οι

φτερωτές της τουρμπίνας περιστρέφονται, περιστρέφουν τους μαγνήτες της γεννήτριας γύρω από ένα πηνίο θέτοντας σε κίνηση ηλεκτρόνια και δημιουργώντας έτσι εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα[12].

Η δέσμευση και αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα υδροηλεκτρικό σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται κυρίως από τον όγκο του νερού που ρέει και τη διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας[6].



Εικόνα 2.6: Υδροηλεκτρική μονάδα
Πηγή: <http://www.cie.org.cy> [12]

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας[36]. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

- Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής.
- Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στροβίλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της ενέργειας του νερού είναι οι εξής[36],[12],[10]:

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων, πετρελαίου), που απαιτούν χρόνο προετοιμασίας.
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, αναψυχή, αθλητισμός.
- Μεγάλος βαθμός απόδοσης που μερικές φορές υπερβαίνει το 90%.
- Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, καθώς το σύνολο των επιμέρους παρεμβάσεων στην περιοχή εγκατάστασης του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους.
- Η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων.
- Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής που μπορεί να υπερβαίνει τα 100 χρόνια.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.
- Η παραγωγή ενέργειας άριστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις.
- Ο υδατοταμιευτήρας εξασφαλίζει σταθερή ροή νερού συνεπώς οι υδροηλεκτρικές μονάδες είναι πολύ αξιόπιστες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί βέβαια παρουσιάζουν και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα[36],[12]:

- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.
- Η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτήρα (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης και του τοπικού κλίματος, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας).
- Βρίσκουν ευρεία εφαρμογή μόνο σε χώρες με άφθονα νερά και σημαντικές βροχοπτώσεις. Η λειτουργία τους απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, η δέσμευση των οποίων ενδέχεται να δημιουργήσει πρόβλημα στην χλωρίδα και πανίδα της περιοχής.

2.4.4. Γεωθερμική ενέργεια

Η φυσική θερμική ενέργεια της γης η οποία, σύμφωνα με το φυσικό νόμο μετάδοσης της θερμότητας, μεταφέρεται από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς τη ψυχρότερη επιφάνεια, είτε με θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων, είτε με κατακόρυφη κίνηση ρευστών, ονομάζεται γεωθερμία[13].

Η γη είναι ζεστή στο εσωτερικό της και η αύξηση της θερμοκρασίας της συναρτάται του βάθους σε κανονικές συνθήκες είναι περίπου σταθερή και ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα. Η φυσιολογική τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας στα πρώτα χιλιόμετρα της λιθόσφαιρας κυμαίνεται από 20 έως 50 °C/km, ενώ η μέση τιμή της θεωρείται 33 °C/km. Το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμίας μεταδίδεται με αγωγή και

με ρυθμό 0,04-0,06 W/m². Τα ηφαιστειακά και υδροθερμικά φαινόμενα από την άλλη μεριά, μεταδίδουν θερμότητα με ρεύματα μεταφοράς, αλλά προορίζονται στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει χώρα ροή θερμότητας με τιμές πολλαπλάσιες της μέσης γήινης. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί «γεωθερμική ανωμαλία» και η περιοχή χαρακτηρίζεται ως «γεωθερμικό πεδίο»[13].

Ο φορέας μεταφοράς της γεωθερμικής ενέργειας από το υπέδαφος είναι τα νερά και οι ατμοί που βρίσκονται μέσα σε υδροπερατό γεωλογικό σχηματισμό (πορώδη πετρώματα) ή αλλιώς ταμιευτήρα. Οι ταμιευτήρες των γεωθερμικών πεδίων τροφοδοτούνται κυρίως από επιφανειακά αρχικώς νερά, που κατεισδύουν και κυκλοφορούν υπογείως, θερμαίνονται, εμπλουτίζονται σε άλατα και αέρια και μπαίνουν στο διαρκή κύκλο της θερμικής μεταφοράς. Τα ρευστά αυτά καθώς κατεβαίνουν προς τα βαθύτερα στρώματα, ζεσταίνονται στο καινούργιο θερμότερο πλέον περιβάλλον, γίνονται έτσι ελαφρύτερα και προσπαθούν να ανέβουν προς τα πάνω. Αν δεν τα καταφέρουν μόνα τους, επειδή συναντούν κάποιο στεγανό γεωλογικό κάλυμμα πάνω από τον ταμιευτήρα, εγκλωβίζονται εκεί. Μέσα στους ταμιευτήρες, όπου η κυκλοφορία είναι πιο γρήγορη και εύκολη, υπάρχει νερό κάτω από συνθήκες αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας. Με τις γεωτρήσεις δίνεται η διέξοδος προς τα πάνω και μάλιστα με τρόπο ελεγχόμενο. Τα γεωθερμικά ρευστά ανεβαίνουν προς την επιφάνεια συνήθως με πίεση και η θερμική τους ενέργεια χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης στην επιφάνεια. Από τη χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους εξαρτάται η οικονομικότητα της αξιοποίησής τους, αλλά και ο καταλληλότερος τρόπος εκμετάλλευσης του κάθε πεδίου. Για τον εντοπισμό των γεωθερμικών ταμιευτήρων χρειάζονται να γίνουν ειδικές γεω-επιστημονικές έρευνες και μελέτες, έως ότου προσδιοριστούν οι καταλληλότερες θέσεις των πολυδάπανων γεωτρήσεων[13].

Ανάλογα με το ενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού (ενθαλπία, θερμοκρασία και πίεση) διακρίνονται τρεις βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας[13]:

- Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας: Σαν υψηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C, που είναι είτε υπέρθερμοι (ξηροί) ατμοί, είτε υγροί ατμοί (μίγμα ατμών και νερού). Χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Γεωθερμία μέσης ενθαλπίας: Σαν μέσης ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 80 και 150 °C. Χρησιμοποιούνται μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με την χρησιμοποίηση ενδιάμεσου κλειστού κυκλώματος με εργαζόμενο μέσο, ουσία που σε κανονικές συνθήκες έχει χαμηλό σημείο ζέσης, π.χ. φρέον ή ισοβουτάνιο.
- Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας: Σαν χαμηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία από 25 έως 80 °C. Είναι άφθονα σε πολλές περιοχές της γης και σε οικονομικά βάθη, αρκεί να υπάρχει ικανοποιητικός υπόγειος υδροφορέας σε κατάλληλο βάθος.

Τα γεωθερμικά πεδία παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και πολλές ιδιαιτερότητες που οφείλονται στη θέση της πηγής θερμότητας, στα γεωλογικά χαρακτηριστικά του

εδάφους, στους υδροφόρους ορίζοντες, κλπ. Με βάση την κατάσταση του γεωθερμικού ρευστού, διακρίνονται βασικά μοντέλα γεωθερμικών πεδίων[13]:

- Μοντέλο πεδίου ατμού

Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Πηγή θερμότητας, δηλαδή την πύρινη μάζα (μάγμα).
- Υπόστρωμα μη υδροπερατού πετρώματος για τη μετάδοση της θερμότητας.
- Γεωθερμικός ταμιευτήρας με υδροπερατό και πορώδες πέτρωμα για εύκολη διακίνηση του νερού κατά τη θέρμανση και την παροχή νερού από το πηγάδι.
- Μη υδροπερατό πέτρωμα κάλυψης του γεωθερμικού ταμιευτήρα.
- Παροχή νερού για την αναπλήρωση του αποθέματος του ταμιευτήρα.

- Μοντέλο πεδίου ζεστού νερού χαμηλής θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία στο άνω μέρος του ταμιευτήρα δεν ξεπερνά το σημείο βρασμού υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στον ταμιευτήρα του πεδίου περιέχεται νερό θερμοκρασίας 60-100 °C ενώ η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται συνήθως από την κανονική τιμή (33 °C/km) έως διπλάσια. Πολλές φορές τα νερά των πεδίων αυτών περιέχουν μεγάλο ποσοστό αλάτων, όπως και τα υψηλής ενθαλπίας. Ένα τέτοιο πεδίο παρουσιάζει ενδιαφέρον για εκμετάλλευση εάν:

- Ο ταμιευτήρας βρίσκεται σε βάθος μικρότερο των 2.000m και έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 60 °C.
- Η πυκνότητα ροής θερμότητας είναι τουλάχιστον κατά 50% μεγαλύτερη της κανονικής, δηλαδή τουλάχιστον 22 $\mu\text{cal}/\text{cm}^2/\text{s}$.
- Η παροχή νερού είναι πολύ μεγάλη ανά πηγάδι.

- Μοντέλο πεδίου θερμών ξηρών πετρωμάτων (hot dry rocks)

Τα προηγούμενα μοντέλα βασίζονται στην ύπαρξη πετρωμάτων πορώδους υφής, από όπου μπορούν να αντληθούν τα υπάρχοντα υπόγεια νερά των υδροφόρων οριζόντων. Όμως η επιφάνεια της γης σε πολλά μέρη καλύπτεται από μη πορώδη πετρώματα και σε βάθος μερικών χιλιομέτρων τα υπόγεια πετρώματα είναι μη πορώδη. Αν η θερμότητα αυτών των πετρωμάτων καταστεί δυνατόν να εκμεταλλευτεί, τα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας που θα είναι διαθέσιμα θα αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό. Υπάρχουν μερικοί επιφανειακοί σχηματισμοί πετρωμάτων μαγματικής προέλευσης που παρουσιάζουν υψηλές τιμές της γεωθερμικής βαθμίδας και για τον λόγο αυτό ενδείκνυνται για εκμετάλλευση. Έχει αρχίσει να γίνεται σημαντική έρευνα στον τομέα αυτό και μακροπρόθεσμα είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από γεωτρήσεις μεγάλου βάθους.

Τα πεδία υψηλής ενθαλπίας είναι ιδανικά για την εκμετάλλευση τόσο του ατμού, όσο και των διάφορων αερίων, είτε απευθείας, είτε αφού διαχωριστούν από την υγρή φάση, με την οποία συνυπάρχουν. Και στις δυο περιπτώσεις οδηγούνται σε ειδικούς στροβίλους χαμηλής πίεσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας[13].

Τα ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού, είτε σε άλλες χρήσεις. Τα γεωθερμικά ρευστά διέρχονται από

εναλλάκτη θερμότητας, θερμαίνουν ένα δευτερεύοντα οργανικό ρευστό χαμηλού σημείου ζέσης (π.χ. φρέον, ισοβουτάνιο, πεντάνιο), οι ατμοί του οποίου κινούν ένα στρόβιλο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμαίνουν κανονικό νερό, που χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές, τηλεθερμάνσεις οικισμών κλπ[13].

Στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας το υπόγειο νερό θερμαίνεται από την κανονική γήινη θερμική ροή και τέτοια πεδία απαντώνται σε εκτεταμένες περιοχές της γης. Τα ρευστά θερμοκρασίας 20-100 °C χρησιμοποιούνται είτε απευθείας, είτε με τη μεσολάβηση εναλλακτών θερμότητας ή ακόμα και αντλιών θερμότητας, έτσι ώστε να αυξηθεί το φάσμα χρήσεων, οι οποίες συνήθως επιβάλλεται να είναι διαδοχικές ή ετεροχρονισμένες. Αυτό οδηγεί σε αυξημένο συντελεστή χρήσης και γρηγορότερη απόσβεση των εγκαταστάσεων. Η επαναδιοχέτευση των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, μετατρέπει την εκμετάλλευση αυτή σε ένα κλειστό σχεδόν κύκλωμα, ενώ αποφεύγεται έτσι οποιαδήποτε αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον[13].

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν[10]:

- Ηλεκτροπαραγωγή ($\theta > 90$ °C).
- Θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για $\theta > 60$ °C, με αερόθερμα για $\theta > 40$ °C, με ενδοδαπέδιο σύστημα ($\theta > 25$ °C)).
- Ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για $\theta > 60$ °C, ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για $\theta < 30$ °C).
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ($\theta > 25$ °C), ή και για αντιπαγετική προστασία.
- Ιχθυοκαλλιέργειες ($\theta > 15$ °C) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους.
- Βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ($\theta > 60$ °C), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κλπ.
- Θερμά λουτρά για θερμοκρασίες 25-40 °C.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη των εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής[37]:

- Συνεχής παροχή ενέργειας, με υψηλό συντελεστή λειτουργίας μεγαλύτερο του 90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.* Μηδενικές ή μικρές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον.
- Μικρή απαίτηση γης.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο.
- Αποτελεί τοπική μορφή ενέργειας με συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη της γεωθερμικής περιοχής.
- Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

Η γεωθερμία παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα που συνίστανται στα εξής[14]:

- Δαπανηρή κατασκευή.
- Κατάλληλη μόνο για ορισμένες περιοχές.

2.4.5. Βιομάζα

Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ[6].

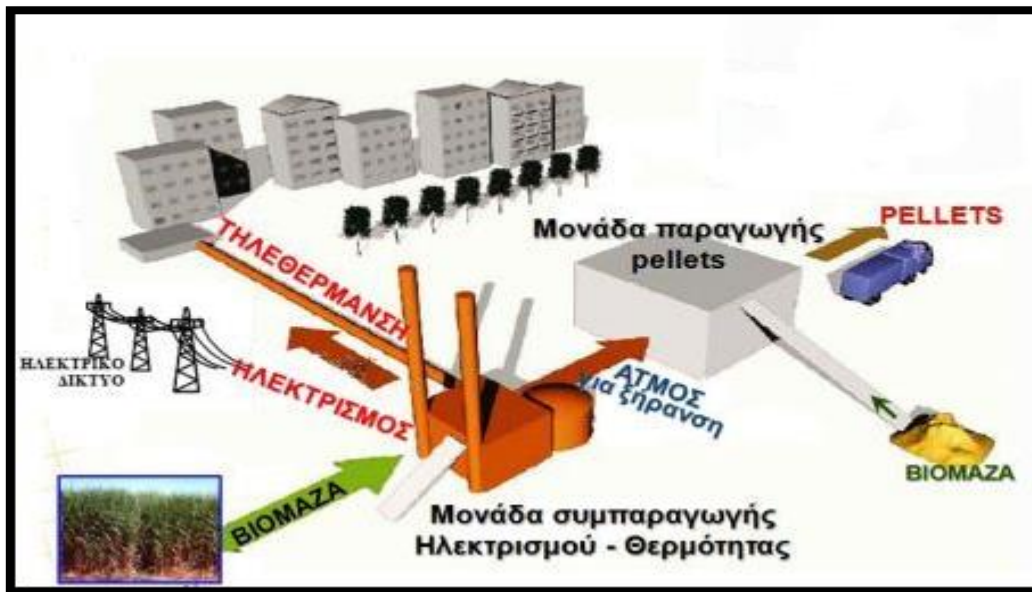
Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο[6]. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες[10].

Οι υπολειμματικές μορφές βιομάζας συνίστανται στις εξής[10]:

- Βιομάζα γεωργικής προέλευσης: Η γεωργική βιομάζα που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λ.π.).
- Βιομάζα ζωϊκής προέλευσης: Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωϊκής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία. Η εκτροφή προβάτων, αιγών κι αρνιών είναι εκτατική (η οποία είναι επί το πλείστον ποιμενικής μορφής) και τα παραγόμενα απόβλητα διασκορπίζονται σε όλο το βοσκότοπο.
- Βιομάζα δασικής προέλευσης: Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.
- Αστικά απόβλητα: Το οργανικό τμήμα των αστικών αποβλήτων.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι [10]:

- Ετήσιες: σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L . Moench), ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.), ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L.), βρασική η αιθίοπια (*Brassica carinata* L. Braun).
- Πολυετείς:
 - Γεωργικές: Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*), καλάμι (*Arundo donax* L.), μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus*), switchgrass (*Panicum virgatum*).
 - Δασικές: Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *E. globulus* Labill.), ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia*).



Εικόνα 2.7: Ηλεκτροπαραγωγή-Τηλεθέρμανση-Παραγωγή pellets με πρώτη ύλη τη βιομάζα
 Πηγή: <http://bioenergynews.capitalblogs.gr/> [30]

Η βιομάζα σχηματίζεται από τη φωτοσυνθετική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας και αφθονεί στον πλανήτη μας. Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο εκτιμάται σε $1,72 \times 10^{11}$ tn ξηρής ύλης με ενεργειακό περιεχόμενο $1,4 \times 10^{11}$ ΤΙΠ. Η ενέργεια αυτή είναι δεκαπλάσια από την ενέργεια που καταναλώνεται σε ολόκληρο τον κόσμο και είναι ίση με τα γνωστά αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος ανεκμετάλλευτο. Η βιομάζα συνεπώς είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια καθώς η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας που είναι άφθονα στη φύση[13].

Η βιομάζα για να αξιοποιηθεί ως πηγή ενέργειας πρέπει συνήθως να μετατραπεί σε μορφή κατάλληλη για τελική χρήση. Οι μέθοδοι μετατροπής διακρίνονται σε θερμοχημικές (ξηρές) και βιοχημικές (υγρές). Η επιλογή της μεθόδου μετατροπής προσδιορίζεται από τα βασικά στοιχεία, που είναι η σχέση άνθρακα/αζώτου (C/N) και η περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων την ώρα της συλλογής[13].

Οι θερμοχημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση $C/N > 30$ και υγρασία $< 50\%$, δηλαδή για τα προϊόντα και τα υπολείμματα της κυτταρίνης. Στις διεργασίες αυτές περιλαμβάνονται[13]:

- Η πυρόλυση (θέρμανση απουσία οξυγόνου).

- Η απευθείας καύση.
- Η αεριοποίηση (θέρμανση παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου ή αέρα με σκοπό τη μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂O).
- Η υδρογονοδιάσπαση (αντίδραση H₂ με τη βιομάζα προς παραγωγή μεθανίου και αιθανίου).

Οι βιοχημικές διεργασίες ονομάζονται έτσι επειδή είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N < 30 και υγρασία > 50 %, δηλαδή για προϊόντα και υπολείμματα κυρίως λαχανικών, κτηνοτροφικά απόβλητα, κλπ. Στις βιοχημικές διεργασίες περιλαμβάνονται[13]:

- Η αερόβια ζύμωση (βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αερόβιοι μικροοργανισμοί παρουσία αέρα, μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων κυρίως σε νέους μικροοργανισμούς).
- Η αναερόβια ζύμωση (βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αναερόβιοι μικροοργανισμοί σε περιβάλλον ελλειμματικό σε οξυγόνο μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων σε αέρια προϊόντα, κυρίως μεθάνιο, και διοξείδιο του άνθρακα).
- Η αλκοολική ζύμωση (διάσπαση της γλυκόζης παρουσία ζαχαρομυκήτων και σχηματισμός αιθυλικής αλκοόλης).

Η θέρμανση με ξύλα είναι ένα παράδειγμα χρησιμοποίησης της βιομάζας ως ενεργειακής πηγής και είναι γνωστή εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Σήμερα οι κύριες εφαρμογές της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι[12]:

- Θέρμανση θερμοκηπίων: χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες: χρησιμοποιούνται ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου για τη θέρμανση κτιρίων.
- Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες: χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Ελαιοτριβεία, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί και κουκούτσια, αντίστοιχα) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου: Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων.
- Τηλεθέρμανση: είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας χρησιμοποιώντας ως καύσιμο βιομάζα. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.
- Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο: Το βιοαέριο που παράγεται από βιομάζα καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (π.χ θέρμανση κτιρίων).

- Παραγωγή βιοκαυσίμων: Υγρά καύσιμα που παράγονται από διάφορους τύπους βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα παράγονται από φυτικά υλικά, συγκεκριμένα είδη καλλιεργειών και από ανακυκλωμένα ή χρησιμοποιημένα σπορέλαια. Η χρήση των βιοκαυσίμων στα οχήματα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον τομέα των μεταφορών.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της βιομάζας είναι οι εξής[11]:

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αφού οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
- Η μηδανική ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO_2) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι,) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

Από την άλλη πλευρά οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της βιομάζας παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα που συνίστανται στα εξής[11]:

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

2.4.6. Ενέργεια κυμάτων - ωκεανών

Η θάλασσα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γης και είναι μια τεράστια αποθήκη κινητικής ενέργειας αποθηκευμένης στα κύματα, τις παλίρροιες και τα θαλάσσια ρεύματα. Οι ωκεανοί, ως φυσικοί αποταμιευτήρες μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας[12]:

- Κύματα

Η ενέργεια των κυμάτων παράγεται από την κίνηση των κυμάτων στη θαλάσσια επιφάνεια που προκαλείται από τους κατά τόπους ανέμους, ουσιαστικά είναι ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο. Οι πλέον ευνοϊκές τοποθεσίες για να συλλεχθεί η ενέργεια των κυμάτων είναι συγχρόνως οι τοποθεσίες όπου ο άνεμος είναι πολύ ισχυρός (ανάμεσα 40ο και 60ο γεωγραφικού πλάτους) και οι τοποθεσίες όπου η επιφάνεια του ωκεανού είναι αχανής. Οι Δυτικές ακτές των απέραντων ωκεανών Ατλαντικού και Ειρηνικού είναι σίγουρα προνομιούχες. Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυροβολημένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή σύστημα εγκατεστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό ή να είναι τοποθετημένο πάνω από τη θαλάσσια επιφάνεια σε μια πλωτή πλατφόρμα[15].

Υπάρχουν ουσιαστικά τρεις βασικοί τύποι μηχανισμών για τη σύλληψη της ενέργειας των κυμάτων[15]:

- Οι σημαντήρες εν κινήσει: Ένας πλωτός σημαντήρας τραντάζεται από τα κύματα ανεβοκατεβαίνοντας, σκαμπανεβάζοντας κ.λ.π. Ο σημαντήρας είναι συνδεδεμένος μ' ένα έμβολο που πηγαινοέρχεται ανάλογα με τις κινήσεις του σημαντήρα. Στη συνέχεια η κίνηση του εμβόλου μπορεί απλά είτε να απορροφήσει το νερό της θάλασσας και να του προσδώσει περιστροφική κίνηση, είτε συμπιέζοντας αέρα ή λάδι και θέτοντας σε λειτουργία έναν κινητήρα συμπιεσμένου αέρα ή συμπιεσμένου λαδιού.
- Οι παλινδρομικές στήλες: Τα κύματα καταποντίζονται, στο τέλος της διαδρομής σε ένα θάλαμο και συμπιέζουν τον αέρα που έχει εγκλωβιστεί εκεί. Όταν το νερό ανεβαίνει, ο αέρας ωθείται προς τα έξω μέσω του ίδιου στρόβιλου. Οι λεγόμενοι στρόβιλοι Wells κατέχουν την ικανότητα να περιστρέφονται μονίμως κατά την ίδια κατεύθυνση, όποια και αν είναι η φορά του ρεύματος του αέρα μέσω του στρόβιλου.
- Οι πλωτές εξέδρες σπασίματος κυμάτων: Οι μηχανισμοί αυτοί άρχισαν πειραματικά το 1970 και εφαρμόστηκαν συστηματικά μετά το 2000. Σε πολλές χώρες, όπως στη Σκανδιναβία, στη Μεγάλη Βρετανία, στην Πορτογαλία, στην Ισπανία, στην Ιαπωνία, στην Αυστραλία, μερικές εγκαταστάσεις ξεπέρασαν την ισχύ του MW.

- Παλίρροιες

Παλίρροια ονομάζεται η ανύψωση και η πτώση της στάθμης της θάλασσας δύο φορές την ημέρα. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην έλξη που ασκούν στην

υδρόσφαιρα η Σελήνη και ο Ήλιος, (η Σελήνη λόγω μικτής απόστασης από τη Γη και ο Ήλιος λόγω της μεγάλης μάζας του). Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λέγεται πλημμυρίδα ενώ η πτώση της, άμπωτη. Η διαφορά επιπέδων πλημμυρίδας και άμπωτης ονομάζεται πλάτος της παλίρροιας και παίζει σημαντικό ρόλο στη παραγωγή ενέργειας. Παλίρροιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, στηρίζονται στη δυναμική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευθεί λόγω διαφοράς ύψους του νερού, ανάμεσα σε ένα υψηλό και ένα χαμηλό επίπεδο. Όπως συμβαίνει και στα ποτάμια, είναι αναγκαίο να τοποθετηθεί ένα φράγμα για να δημιουργεί αυτή τη διαφορά ύψους. Φράζουμε την εκβολή ή τον κόλπο, δημιουργώντας μια λεκάνη της οποίας το επίπεδο διαφέρει από αυτό της θάλασσας. Το φράγμα είναι εφοδιασμένο με "θυρίδες" (από όπου περνάει το νερό). Όταν έχουμε πλημμυρίδα οι θυρίδες είναι ανοιχτές, οπότε το νερό καταλαμβάνει τη λεκάνη και η στάθμη του νερού στη λεκάνη ανεβαίνει. Όταν η στάθμη της θάλασσας ξανακατεβαίνει, ασφαλίζουμε τις θυρίδες και το επίπεδο της λεκάνης βρίσκεται ψηλά σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας. Μόλις η διαφορά ύψους ανάμεσα στο επίπεδο της λεκάνης και το επίπεδο της θάλασσας είναι επαρκής μπορούμε να ελευθερώσουμε το νερό της λεκάνης κατευθύνοντάς το στους στρόβιλους, οι οποίοι περιστρεφόμενοι, παράγουν ηλεκτρισμό, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια[15].

Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας χρονολογείται από εκατοντάδες χρόνια πριν, αφού με τα νερά που δεσμεύονταν στις εκβολές ποταμών από την παλίρροια, κινούνταν νερόμυλοι. Σήμερα οι μικροί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το θαλασσινό νερό βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης μέχρι και 240 χιλιάδων κατοίκων. Ο πρώτος παλιρροϊκός σταθμός κατασκευάστηκε στον ποταμό La Rance στις ακτές της Βορειοδυτικής Γαλλίας το 1962 και οι υδροστρόβιλοί του μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς το νερό κινείται κατά τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Άλλοι τέτοιοι σταθμοί λειτουργούν στη Ρωσία, στη θάλασσα Barents και στον κόλπο Fuhdy της Νέας Σκωτίας[11].

- Θερμοκρασιακές Διαφορές του Νερού της Θάλασσας

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η τεχνολογία μετατροπής της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιεί σε πρώτη φάση το θερμό νερό για να ζεστάνει σε ειδικό θάλαμο μια ποσότητα υγρού που έχει χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία ή ένα μείγμα αμμωνίας και νερού. Όταν το μείγμα αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί αρκετή πίεση ώστε να οδηγήσει έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια το αέριο αυτό παγώνει καθώς διέρχεται μέσα από το ψυχρό νερό του πυθμένα του ωκεανού[15].

Τα πλεονεκτήματα των εφαρμογών που αξιοποιούν την ενέργεια των ωκεανών συνίστανται στα εξής[11]:

- Σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων.
- Η μεγάλη απόδοση (40-70 KW ανά μέτρο μετώπων κύματος).
- Η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

- Η κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία προστατευμένων υδάτινων περιοχών οι οποίες είναι ελκυστικές για διάφορα είδη ψαριών και υδρόβιων πουλιών.
- Δεν είναι ακριβή η λειτουργία και η συντήρηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας μέσω των θαλάσσιων κυμάτων.

Τα μειονεκτήματα της ενέργειας των ωκεανών συνίστανται στα εξής[11]:

- Το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά είναι πολύ υψηλό.
- Πολλές από τις εγκαταστάσεις είναι θορυβώδεις.
- Οι εγκαταστάσεις πρέπει να κατασκευάζονται με ειδικό τρόπο ώστε να αντέχουν στις δύσκολες καιρικές συνθήκες που θα αντιμετωπίσουν.
- Απαιτείται προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης της μονάδας καθώς θα πρέπει στη πρώτη περίπτωση να έχουμε δυνατά κύματα ενώ στη δεύτερη θα πρέπει να εμφανίζονται τα φαινόμενα της παλίρροιας και της άμπωτης.

2.4.7. Ωσμωτική ενέργεια

Η ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ωσμωτική ενέργεια (ή γαλάζια ενέργεια) και ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό είναι διαχωρισμένα από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό περνάει μέσω αυτής[33].

Η ενέργεια είναι αποτέλεσμα της αλλαγής της εντροπίας από την διαφορά αλατότητας μεταξύ του νερού του ποταμού με το θαλασσινό νερό. Η πρόκληση είναι η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας, καθώς από την ανάμειξη που πραγματοποιείται αυξάνεται ελάχιστα τοπικά η θερμοκρασία του νερού. Σε ένα σύστημα που περιέχει νερό του ποταμού και θαλασσινό νερό η μέγιστη πίεση που μπορεί θεωρητικά να δημιουργηθεί είναι της τάξης των 26bar. Προϋπόθεση για την επίτευξη της πίεσης είναι η διατήρηση σε σταθερή τιμή της έντασης της πίεσης του θαλασσινού νερού. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από την ανάμειξη του γλυκού νερού με το θαλασσινό νερό μπορεί να γίνει αντιληπτή με την κατανόηση του φαινομένου της ώσμωσης, από όπου προκύπτει και το όνομα "ωσμωτική ενέργεια"[33].

Οι μέθοδοι για την μετατροπή αυτής της ενέργειας σε ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας ημι-διαπερατές μεμβράνες είναι[33]:

- Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis, RED)

Η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis, RED), επικεντρώνεται στην θεωρία της ηλεκτροδιάλυσης, όπου ιόντα αλατιού μεταφέρονται από το ένα διάλυμα, μέσω μεμβρανών ανταλλαγής ιόντων, προς το άλλο διάλυμα κάτω από την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Οι μεμβράνες ανταλλαγής ιόντων είναι δύο τύπων: η μεμβράνη ανταλλαγής κατιόντων (Cation Exchange Membrane, CEM) και η μεμβράνη ανταλλαγής ανιόντων (Anion Exchange Membrane, AEM). Το θαλασσινό και το γλυκό νερό εισρέουν σε μια στοίβα εναλλασσόμενων καθόδων και ανόδων μεμβρανών ανταλλαγής ιόντων.

Κατά τη διάρκεια της ροής, τα ιόντα Na^+ διαπερνούν μέσω των μεμβρανών ανταλλαγής κατιόντων προς την κατεύθυνση της καθόδου και τα ιόντα Cl^- διαπερνούν μέσω των μεμβρανών ανταλλαγής ανιόντων προς την κατεύθυνση της ανόδου. Το διάλυμα στη πλευρά της ανόδου είναι αρνητικά φορτισμένο, λόγω της μεταφοράς των αρνητικών ιόντων Cl^- προς την άνοδο. Η ηλεκτρική ουδετερότητα του διαλύματος στη πλευρά της καθόδου διατηρείται μέσω αναγωγής στην επιφάνεια της καθόδου, και στη πλευρά της ανόδου μέσω οξείδωσης στην επιφάνεια της ανόδου. Ως αποτέλεσμα, ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταφερθεί από την άνοδο προς την κάθοδο μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος. Αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα και η διαφορά δυναμικού πάνω από τα ηλεκτρόδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η κινητήρια δύναμη για τη μετακίνηση των ιόντων είναι η διαφορά στην ελεύθερη ενέργεια μεταξύ της συμπυκνωμένης και της αραιωμένης πλευράς του διαλύματος. Η διαφορά δυναμικού επί των ηλεκτροδίων είναι ίση με τη διαφορά δυναμικού του γινομένου της διαφοράς δυναμικού στη μεμβράνη και τον αριθμό των μεμβρανών.

- Παρατεταμένης-πίεσης Ώσμωση (Pressure Retarded Osmosis, PRO)

Η μέθοδος της Παρατεταμένης-πίεσης Ώσμωση (Pressure Retarded Osmosis, PRO), εξάγει ενέργεια όταν δυο διαλύματα με διαφορετικές τιμές αλατότητας (συνήθως το νερό του ποταμού με το θαλασσινό νερό) διαχωρίζονται από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη, η οποία αποτελείται από πορώδες στρώμα με μικρές οπές. Η μεμβράνη επιτρέπει μικρά μόρια, όπως τα μόρια του νερού, να διαπεράσουν μέσω αυτής. Τα μόρια άλατος, άμμου, λάσπης και άλλες προσμείξεις δεν μπορούν να διαπεράσουν στην αντίθετη πλευρά της μεμβράνης. Το νερό επιδιώκει να μειώσει την συγκέντρωση άλατος στην πλευρά της μεμβράνης που περιέχει το περισσότερο αλάτι. Το νερό για αυτό τον λόγο ρέει δια μέσω της μεμβράνης και αυξάνει την πίεση στην πλευρά του θαλασσινού νερού. Η πίεση αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με την κίνηση υδροστροβίλου παράγοντας ηλεκτρισμό.

Το γλυκό νερό εισέρχεται στη μονάδα και φιλτράρεται πριν καταλήξει στη μεμβράνη. Το 80-90% του γλυκού νερού μεταφέρεται δια μέσω της μεμβράνης, εξαιτίας του φαινομένου της ώσμωσης, στην πλευρά της μεμβράνης που περιέχει θαλασσινό νερό σε υψηλότερη πίεση. Το φαινόμενο της ώσμωσης αυξάνει την ογκομετρική ροή του νερού με υψηλή πίεση με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας με την περιστροφή του ρυμπίνας. Το θαλασσινό νερό αντλείται από τη θάλασσα και φιλτράρεται πριν τροφοδοτηθεί στη πλευρά της μεμβράνης όπου καταλήγει και το γλυκό νερό από το φαινόμενο της ώσμωσης. Για την επίτευξη μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας η πίεση λειτουργίας θα πρέπει να είναι από 11 έως 15 bars.

Τα πλεονεκτήματα των εφαρμογών της ωσμωτικής ενέργειας είναι τα παρακάτω[11]:

- Μηδενική εκπομπή CO_2 .
- Συνεχής & σταθερή παροχή ενέργειας.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος και συντήρησης.
- Ευέλικτη μονάδα ως προς τον σχεδιασμό.
- Κατάλληλη για μικρές και μεγάλες μονάδες.

Τα μειονεκτήματα των εφαρμογών της ωσμωτικής ενέργειας είναι τα παρακάτω[11]:

- Μικρή τεχνολογική πρόοδος.
- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης.
- Λίγη ενέργεια ανά κυβικό μέτρο μεμβράνης.
- Δεν είναι ακόμη εμπορικά αξιοποιήσιμη.

2.5. ΑΠΕ και αγροτικές περιοχές στην Ελλάδα

Οι τομείς της γεωργίας, κτηνοτροφίας, δασοπονίας και αλιείας παρουσιάζουν δυνατότητες παραγωγής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, καθώς και δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, όπως επισημαίνεται με έμφαση στο κείμενο του εταιρικού συμφώνου για το πλαίσιο ανάπτυξης, δηλαδή για το νέο ΕΣΠΑ 2014 – 2020. Γεγονός που ενισχύεται από το ότι η λήξη της προγραμματικής περιόδου 2014-2020 συμπίπτει με την καταληκτική προθεσμία εκπλήρωσης των δεσμεύσεων που έχει αναλάβει η χώρα μας στο πλαίσιο των προσπαθειών της Ε.Ε. για αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέχρι το 2020 (20-20-20)[16].

Η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών ρύπων καθίσταται ζωτικής σημασίας για τη χώρα, συμβάλλοντας τόσο στην επίτευξη των στόχων 20-20-20, όσο και στην αναζωογόνηση της ελληνικής οικονομίας με τη δημιουργία επενδυτικών ευκαιριών και την ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των τομέων της γεωργίας και της δασοπονίας. Οι στόχοι 20-20-20 θα επιτευχθούν μέσω ενός μίγματος πολιτικών που αξιοποιούν τους μηχανισμούς της αγοράς και περιλαμβάνουν χρηματοδοτικά εργαλεία και κανονιστικά μέτρα. Τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι η πρόοδος που έχει επιτευχθεί βρίσκεται σε συμφωνία με τους εθνικούς ενδιάμεσους στόχους[16].

Καθώς ο πλανήτης αντιμετωπίζει ποικίλα και προκλητικά ερωτήματα σχετικά με την παραγωγή και παροχή ενέργειας, η Ελλάδα λαμβάνει κεντρική θέση στην οργάνωση του ενεργειακού μέλλοντος, ως στρατηγικό ενεργειακό κέντρο της Νοτιοανατολικής Ευρώπης και ελκυστικό επενδυτικό τόπο. Η στρατηγική γεω-οικονομική θέση της Ελλάδας ανάμεσα σε παραγωγούς ενέργειας της Μέσης Ανατολής, της Βορείου Αφρικής και της περιοχής της Κασπίας Θάλασσας, και πάνω στους καίριους δίαυλους μεταφορών του Αιγαίου Πελάγους και της Ανατολικής Μεσογείου, την καθιστούν ως κύριο ενεργειακό κόμβο μεταξύ Ανατολής και Δύσης[17].

Η ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας, με στόχο να δημιουργήσει βιώσιμες, ανταγωνιστικές και ασφαλείς πηγές ενέργειας, έχει αναπτύξει ένα περιεκτικό ρυθμιστικό πλαίσιο και πλαίσιο αγοράς για τον τομέα της ενέργειας. Σε συνδυασμό με το νομοθετικό πλαίσιο επενδύσεων της Ελλάδας, προβλέπονται εξαιρετικές ευκαιρίες για επενδύσεις σε διάφορους τομείς[17].

Στην Ελλάδα ωστόσο, η αγροτική γη δέχεται μεγάλες πιέσεις τόσο από την οικιστική ανάπτυξη, την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, την ερημοποίηση όσο και από βιομηχανικές και μεταποιητικές δραστηριότητες και επομένως επιβάλλεται η

προστασία της από την άναρχη διασπορά δραστηριοτήτων και εγκαταστάσεων που γίνεται ευκαιριακά και χωρίς συγκροτημένο σχέδιο[18]. Η δυνατότητα εγκατάστασης ΑΠΕ σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, σύμφωνα με το Νόμο 3851/2010, που καλύπτει εδαφικές εκτάσεις που δεν υπερβαίνουν το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων ενός συγκεκριμένου νομού με τα συνεπακόλουθα έργα που απαιτούνται (έργα ΔΕΗ, διάνοιξη δρόμων), ίσως επιφέρει περαιτέρω αλλοίωση του αγροτικού χαρακτήρα των περιοχών.

Επιπρόσθετα, η μείωση τιμών των αγροτικών προϊόντων, η αύξηση του κόστους των αγροτικών εφοδίων θα ωθήσει πολλούς αγρότες στην εγκατάλειψη της αγροτικής δραστηριότητας και στην χρησιμοποίηση των αγρών τους για εγκατάσταση ΑΠΕ για την πώληση του παραγόμενου ρεύματος σε επιδοτούμενες τιμές. Ουσιαστικά δηλαδή έχουμε πριμοδότηση από την πλευρά της Πολιτείας για την εγκατάλειψη του αγροτικού επαγγέλματος. Όλα αυτά σε μία χρονική περίοδο στην οποία το έλλειμμα του αγροτικού εμπορικού ισοζυγίου αυξάνεται κατά 11% ετησίως κατά την δεκαετία 1998-2008 και έχει φθάσει τα 3 δις. €, ενώ το αγροτικό προϊόν έχει συρρικνωθεί στο 2,92% του ΑΕΠ από 5,74% που ήταν το 2000[18].

Η πρόκληση για τον πρωτογενή τομέα είναι η αρμονική ενσωμάτωση των ΑΠΕ στον κύκλο των δραστηριοτήτων του, με πολλαπλά οφέλη. Οι ΑΠΕ μπορούν να συνεισφέρουν στη μείωση του κόστους παραγωγής των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία τους. Μέσω κατάλληλων συνεταιριστικών σχημάτων οι αγρότες, με τη βοήθεια του κράτους θα μπορούσαν να επενδύσουν στην ιδιοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες των μονάδων τους (κτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, άρδευση κλπ)[19].

Σημαντική θα ήταν και η συνδυασμένη προσπάθεια παραγωγής βιοαερίου και διαχείρισης των αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων από ομάδες παραγωγών ή συνεταιρισμούς, που θα αξιοποιήσουν προς όφελος της τοπικής κοινωνίας τις ΑΠΕ, με στόχο να μην αποκλειστούν εκ των πραγμάτων οι αγρότες από τις επενδύσεις και τα εισοδήματα των ΑΠΕ, να αμβλυνθεί η «εξω-γεωργική» πίεση προς την αγροτική γη και να μειωθεί το κόστος παραγωγής του πρωτογενούς τομέα. Η εγκατάσταση ΑΠΕ σε γεωργική, δασική γη και περιοχές Natura, θα πρέπει να αποτελέσουν ζητήματα προς εξέταση και επιστημονική μελέτη. Βασική αρχή θα πρέπει να είναι η βέλτιστη χωροθέτηση, η βέλτιστη τεχνολογία, ο υπολογισμός της «φέρουσας ικανότητας» μιας περιοχής και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων[19].

Στα επόμενα υποκεφάλαια ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση σε ό,τι αφορά το ενεργειακό ισοζύγιο, την ελληνική χωροταξία, την αγροτική παραγωγή, την πορεία συμμετοχής των ΑΠΕ στην συνολική παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο καθώς και τη σχέση του αγροτικού πληθυσμού της χώρας με τις ΑΠΕ.

2.5.1. Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας

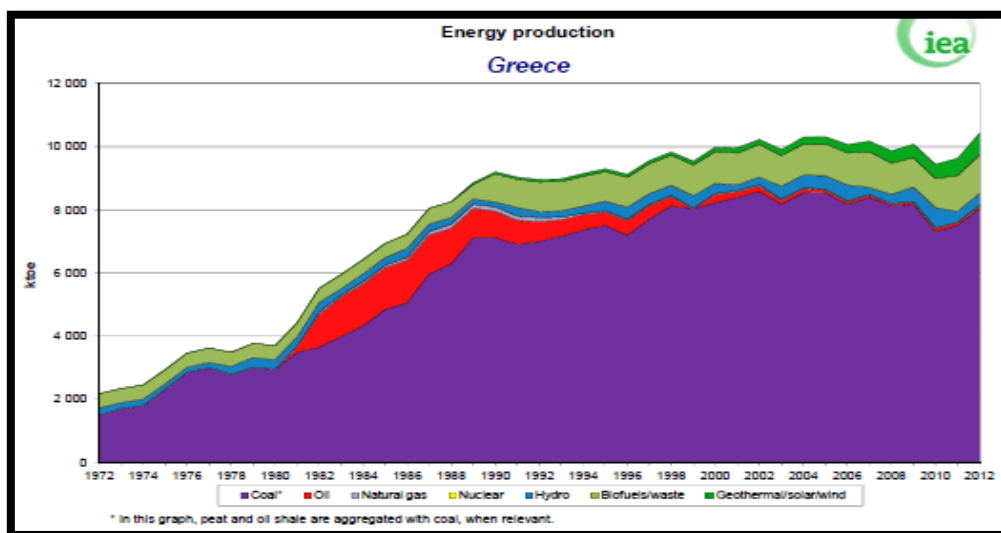
Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται τα τελευταία έτη σε φάση σημαντικών αλλαγών. Στο επίκεντρο βρίσκονται οι τομείς της απελευθέρωσης της αγοράς φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, της αύξησης της

ανταγωνιστικότητας, της επέκτασης και ενίσχυσης των εγχώριων και διακρατικών δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και πετρελαίου, της ανεξαρτητοποίησης και του διαχωρισμού της παραγωγής από την προμήθεια, της ελεύθερης επιλογής προμηθευτή, της αύξησης της παραγόμενης ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, της αντίστοιχης μείωσης της παραγόμενης ενέργειας από συμβατικές τεχνολογίες καύσης, της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, της εξοικονόμησης της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος[6].

Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις των νέων αυτών δεδομένων στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, στην μείωση της εξάρτησης της από το εισαγόμενο πετρέλαιο, με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στην εθνική οικονομία, στην εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, στην αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, στην προστασία του περιβάλλοντος και τέλος στην βελτίωση των παρεχομένων υπηρεσιών στους καταναλωτές[13].

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από τη σχετική απομόνωση της θέσης του από τα άλλα ευρωπαϊκά συστήματα και την καθοριστική εξάρτησή του από το λιγνίτη. Η συνολική πρωτογενής παραγωγή το 2012 ανήλθε σε 10,43 ktce. Η κύρια πηγή καυσίμου παραμένει σήμερα ο λιγνίτης. Η πρωτογενής παραγωγή του ήταν 2,9mtoe το 1980, αντιστοιχώντας στο 79,92% της συνολικής πρωτογενούς παραγωγής, 7mtoe το 1990, αντιστοιχώντας στο 77,4% και το 2012 ανήλθε σε 8,05mtoe, που αντιστοιχεί στο 77,16%. Η συμμετοχή του πετρελαίου στη συνολική πρωτογενή παραγωγή βαίνει μειούμενη, από 18,84% το 1982, στο 9,09% το 1990 και σε λιγότερο από 1% το 2012 στη συνολική πρωτογενή παραγωγή. Το μερίδιο των ΑΠΕ αντιστοιχούσε στο 12% το 1990 και το 2012 ανήλθε στο 21,96%.

Διάγραμμα 2.5: Εξέλιξη πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα το διάστημα 1972-2012.

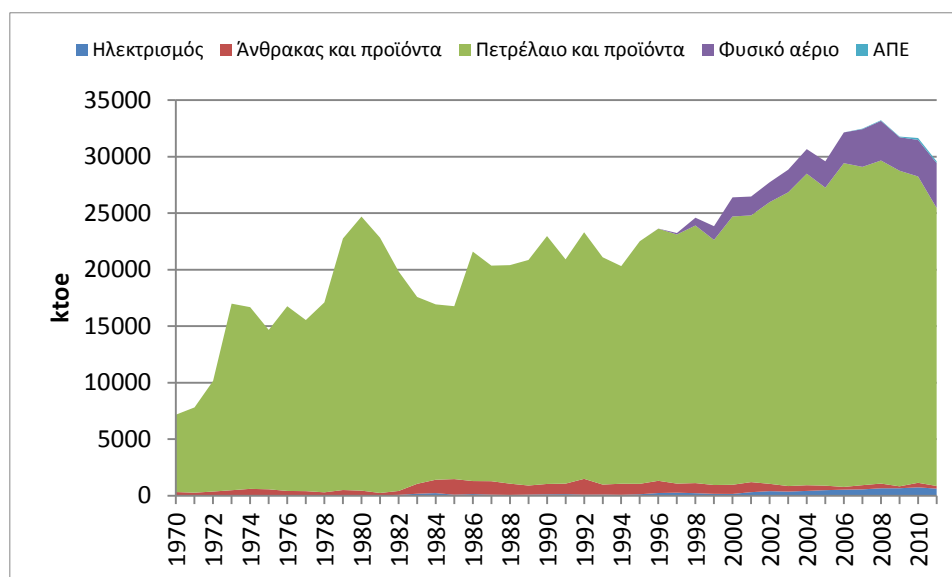


Πηγή: <http://www.iea.org/> [31]

Το κυριότερο εγχώρια παραγόμενο καύσιμο είναι ο λιγνίτης συνεπώς η Ελλάδα αναγκάζεται να εισάγει όλα τα υπόλοιπα καύσιμα. Στα δύο επόμενα διαγράμματα απεικονίζονται οι εισαγωγές και οι εξαγωγές της Ελλάδας από το 1970 έως και το

2011. Στις εισαγωγές κυριαρχεί το πετρέλαιο και τα προϊόντα του, ενώ σημαντική άνοδο σημειώνει η εισαγωγή φυσικού αερίου τα τελευταία 15 χρόνια.

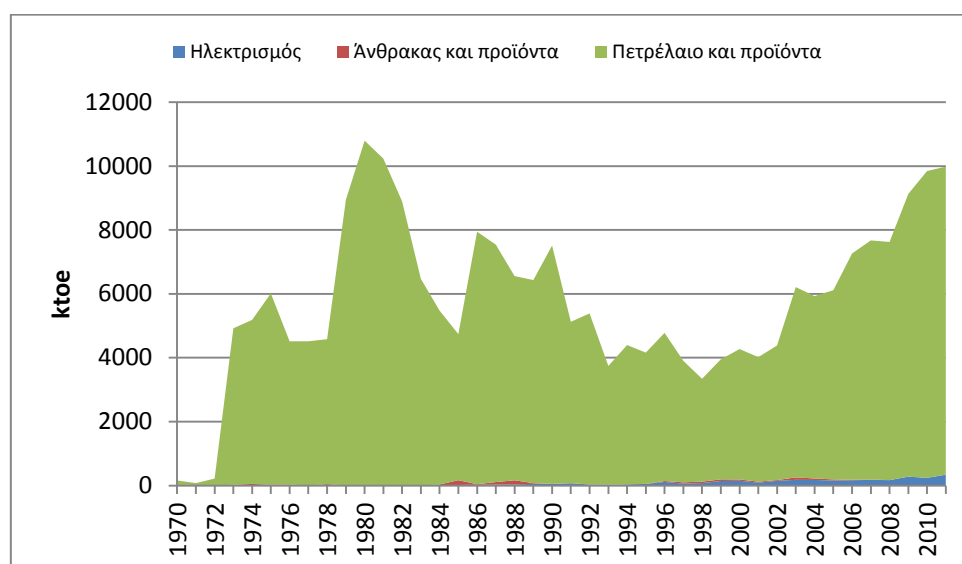
Διάγραμμα 2.6: Εξέλιξη εισαγωγής καυσίμων στην Ελλάδα το διάστημα 1970-2011.



Πηγή: <http://www.ypeka.gr/> [6]

Στις εξαγωγές κυριαρχούν τα πετρελαϊκά προϊόντα, καθώς η Ελλάδα εξάγει ορισμένες από τις ποσότητες που εισάγει για να πραγματοποιήσει κέρδος από τη διαφορά της τιμής με την οποία εισάγει πετρέλαιο και της τιμής μεταπώλησής του. Όσον αφορά την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα και προέρχεται κυρίως από τις γειτονικές βαλκανικές χώρες.

Διάγραμμα 2.7: Εξέλιξη εξαγωγής καυσίμων στην Ελλάδα το διάστημα 1970-2011.

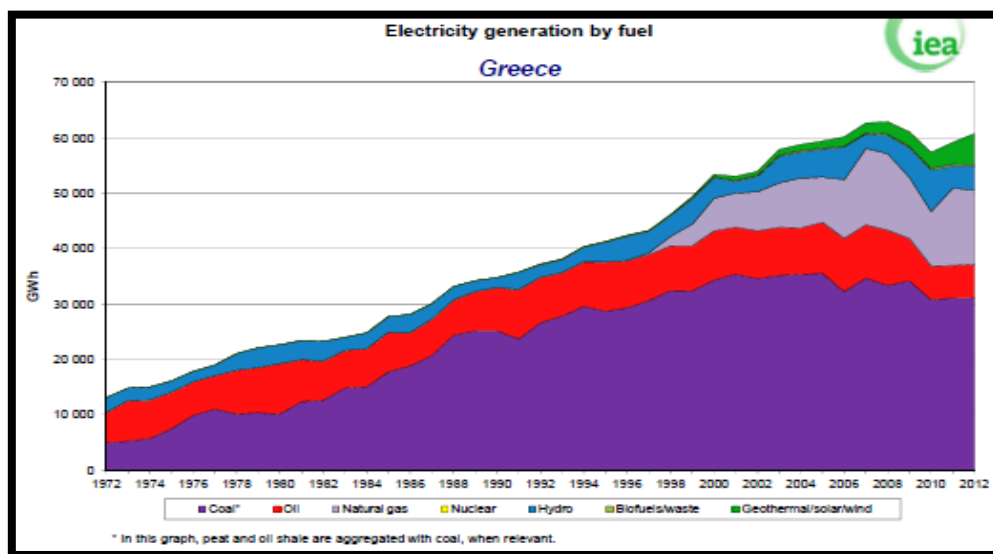


Πηγή: <http://www.ypeka.gr/> [6]

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα αναπτύχθηκε κυρίως από το 1960 και μετά με στόχο την ηλεκτροδότηση της χώρας μέσω της εκμετάλλευσης των εγχώριων πηγών ενέργειας. Η ζήτηση στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας καλύφθηκε αρχικά από αυτόνομες πετρελαϊκές μονάδες και έπειτα από λιγνιτικές

μονάδες και υδροηλεκτρικά έργα. Στα νησιωτικά συστήματα καλύφθηκε από αυτόνομες πετρελαϊκές μονάδες και πρόσφατα από αιολικά πάρκα. Η διασύνδεση δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα λόγω κόστους. Οι διακυμάνσεις στην ηλεκτροπαραγωγή από υδροηλεκτρικά οφείλονται στη μεταβλητότητα της λειτουργίας των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών, που εξαρτάται από το επίπεδο των υδατικών αποθεμάτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από το λιγνίτη ενώ το φυσικό αέριο εμφανίστηκε στην ηλεκτροπαραγωγή το 1997[20].

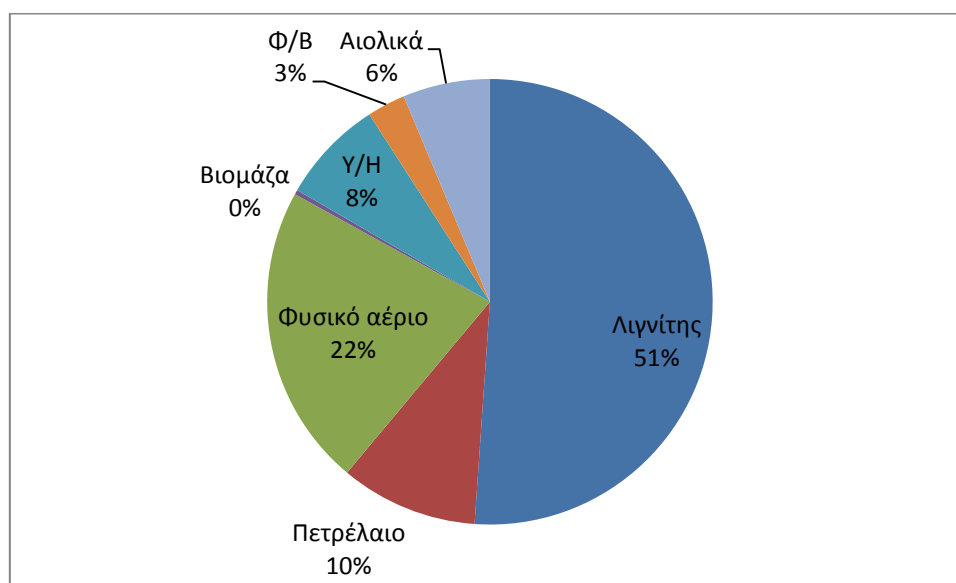
Διάγραμμα 2.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα το διάστημα 1972-2012.



Πηγή: <http://www.iea.org/> [31]

Για το έτος 2012, η συνολική ηλεκτροπαραγωγή ανήλθε στις 60.789GWh, από τις οποίες το 51,05% προήλθε από λιγνίτη, το 9,97% από πετρελαϊκά προϊόντα, το 21,92% από φυσικό αέριο, το 7,53% από υδροηλεκτρικές μονάδες, το 6,32% από αιολικά πάρκα και το 2,78% από φωτοβολταϊκά πάρκα. Η συνολική ηλεκτροπαραγωγή έχει αυξηθεί κατά 74,15% από το 1990, όπου ήταν 35.003GWh. Η μεγαλύτερη αύξηση έγινε στη χρήση του λιγνίτη από τον οποίο η ηλεκτροπαραγωγή ήταν 25.166GWh το 1990 και 31.119GWh το 2012. Η πιο σημαντική μεταβολή ήταν η διείσδυση του φυσικού αερίου που έφτασε τις 13.361GWh το 2012. Το υπόλοιπο της ηλεκτροπαραγωγής προέρχεται από τη χρήση πετρελαιοειδών, τα υδροηλεκτρικά συστήματα και από την πρόσφατη ανάπτυξη των αιολικών και φωτοβολταϊκών πάρκων. Συνολικά, το 2012 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεισέφεραν με ποσοστό 16,96% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το 1990 η συμμετοχή τους βρισκόταν στο 5,71% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής.

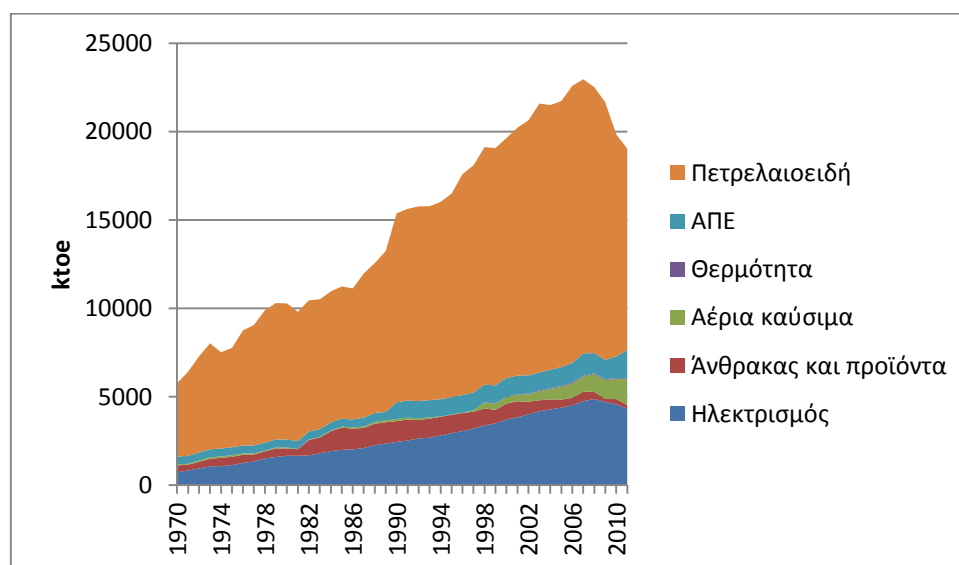
Διάγραμμα 2.9: Μερίδιο καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2012.



Πηγή: <http://www.iea.org/> [31]

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στη χώρα κατά τη διάρκεια της περιόδου 1970-2011 έχει αυξηθεί κατακόρυφα. Ειδικότερα την περίοδο 1989-2007, η τελική κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί από 13,23mtoe σε 22,96mtoe σημειώνοντας αύξηση 73,55%, αντανakλώντας την καλή οικονομική κατάσταση της χώρας την περίοδο αυτή. Αν αναλύσουμε την τελική κατανάλωση κατά καύσιμο, διαπιστώνουμε ότι από το 1972 έως και το 2011, το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει στο πετρέλαιο. Από 4,15mtoe το 1970, η κατανάλωση πετρελαίου έφτασε τα 15,67mtoe το 2006 σημειώνοντας αύξηση 277,6%, για να μειωθεί εκ νέου στα 11,38mtoe το 2011 καταδεικνύοντας την οικονομία δυσχέρεια των τελευταίων ετών στη χώρα.

Διάγραμμα 2.10: Τελική κατανάλωση ενέργειας κατά καύσιμο την περίοδο 1960-2011 στην Ελλάδα.

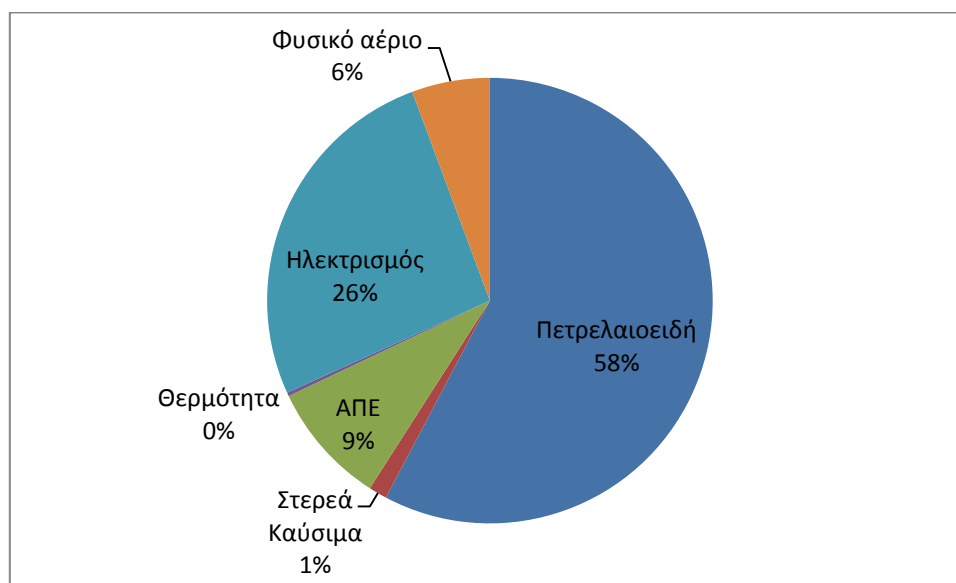


Πηγή: <http://www.ypeka.gr/> [6]

Το 2012 η συμμετοχή του πετρελαίου στην τελική κατανάλωση αντιστοιχεί στο 58%. Η κατανάλωση φυσικού αερίου έφτασε σχεδόν το 1 mtoe και το μερίδιό του

στην τελική κατανάλωση αντιστοιχεί στο 6%, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα. Η κατανάλωση λιγνίτη παραμένει στα ίδια επίπεδα, από 389ktoe το 1970 σε 227ktoe το 2012, συμμετέχοντας με ποσοστό μόνο 1% στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρισμού, αυξήθηκε από τα 726ktoe το 1970 στα 4,47mtoe το 2012. Ειδικότερα, το 2012 η συμμετοχή του ηλεκτρισμού στην τελική κατανάλωση ενέργειας ανήλθε στο 26%. Η κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξήθηκε από τα 0,45mtoe το 1970 στα 1,5mtoe το 2012, αλλά το μερίδιό τους στην τελική κατανάλωση αντιστοιχεί μόλις στο 9% το 2012.

Διάγραμμα 2.11: Συμμετοχή καυσίμων στην τελική κατανάλωση ενέργειας το 2012 στην Ελλάδα.



Πηγή: <http://www.ypeka.gr/> [6]

Η εξέλιξη των μεριδίων αγοράς των τομέων κατανάλωσης στην Ελλάδα είναι χαρακτηριστική για μια οικονομία σε μετα-βιομηχανική εξέλιξη που προσανατολίζεται προς μία οικονομία υπηρεσιών όπου η βιομηχανία μειώνεται αισθητά και ο οικιακός με τον τριτογενή τομέα αναπτύσσουν σταδιακά τα δικά τους αντίστοιχα μερίδια[20].

Το σύνολο του τριτογενούς (εμπόριο και δημόσιες υπηρεσίες), του οικιακού και του αγροτικού τομέα κατανάλωσε το 2012 το 44% της ενέργειας ενώ το αντίστοιχο ποσοστό του 1990 ήταν 33%. Η βιομηχανία παρουσιάζει μειωμένη κατανάλωση καθώς το 1990 ήταν 4mtoe, για να υποστεί μείωση 25% και να φτάσει το 2012 τα 3mtoe. Κατά συνέπεια, το μερίδιο της βιομηχανίας στην τελική κατανάλωση έχει μειωθεί κατά 9%. Ο τριτογενής τομέας μέσα σε 22 χρόνια υπερδιπλασίασε το μερίδιό του από 5% σε 13%. Η αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα αγγίζει το 243%. Το 2012 τα νοικοκυριά κατανάλωσαν 5mtoe ενώ είχαν καταναλώσει 3mtoe το 1990. Η αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά είναι 66,67% μεταξύ 1990 και 2012 και η αύξηση του μεριδίου των νοικοκυριών στην τελική κατανάλωση είναι 8%. Η κατανάλωση ενέργειας του τομέα των μεταφορών παρουσιάζει μείωση από 6,4mtoe στα 5,8mtoe στο διάστημα 1990-2012 προκαλώντας μικρή πτώση στο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 3%. Ουσιαστικά οι μεταφορές είναι ο μόνος τομέας ο οποίος παρέμεινε στάσιμος τόσο ως προς την τελική ενεργειακή κατανάλωση όσο και ως προς το

αντίστοιχο μερίδιο που της αντιστοιχεί. Ο αγροτικός τομέας είναι ο κλάδος με την μεγαλύτερη πτώση από 1mtoe σε 0,3mtoe παρουσιάζοντας κάτι παραπάνω από υποτριπλασιασμό του μεριδίου του στην τελική κατανάλωση ενέργειας από 7% σε 2%.

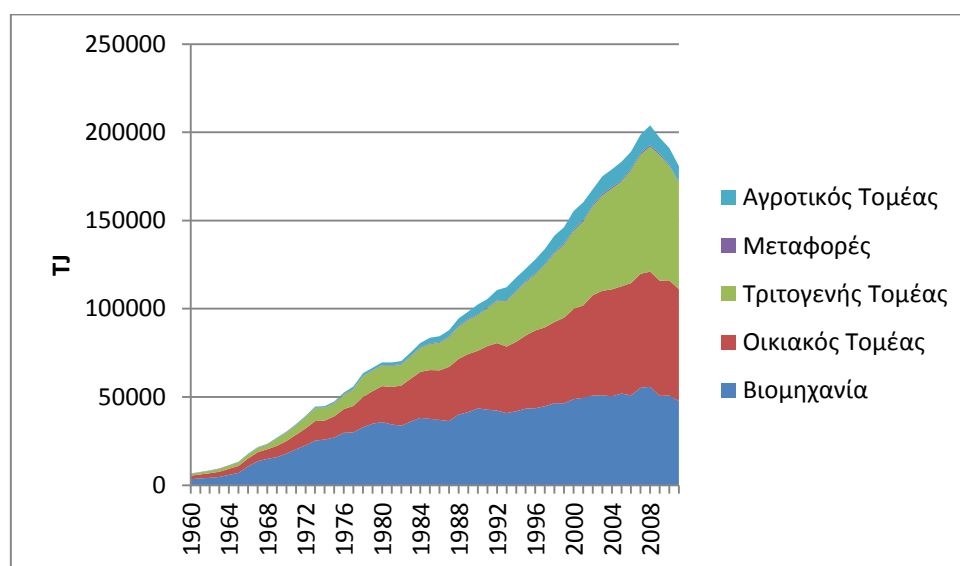
Διάγραμμα 2.12: Τελική ενεργειακή κατανάλωση κατά κλάδο το 1990 και το 2012 στην Ελλάδα.



Πηγή: <http://www.ypeka.gr/> [6]

Από το 1990 και μετά, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Το 2011 ο οικιακός τομέας ήταν ο μεγαλύτερος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας με 63.459TJ ετήσια κατανάλωση. Ο τριτογενής τομέας είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής το 2011, με 60.530TJ και η βιομηχανία ο τρίτος μεγαλύτερος καταναλωτής με 47.637TJ. Η βιομηχανία το 1990 αποτελούσε το μεγαλύτερο καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας με 43.534TJ, ακολουθούμενη από τον οικιακό τομέα (32.651TJ) και τον τριτογενή (20.177TJ). Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το 1990 έως το 2011 έχει αυξηθεί από 102.431TJ στα 180.835TJ σημειώνοντας αύξηση 76,54%

Διάγραμμα 2.13: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά κλάδο το διάστημα 1960-2011 στην Ελλάδα.



Πηγή: <http://www.ypeka.gr/> [6]

Η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το 2004 έως και το 2012 στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζεται στον παρακάτω

πίνακα. Ιδιαίτερη σημασία έχει η συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, που σύμφωνα με τη Eurostat, το 2012 έφτασε το 13,8%. Από το 2004 έως το 2012 η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σημείωσε αύξηση κατά 100%. Δεδομένου μάλιστα ότι το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας θεωρείται ρυπογόνο, μη αποδοτικό, εξαρτημένο από πεπερασμένους πόρους και ελλειμματικό, πρώτη πολιτική προτεραιότητα θα πρέπει να αποτελεί η προώθηση των ΑΠΕ

Πίνακας 2.1: Συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το διάστημα 2004-2012 στην Ελλάδα.

Έτος	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Συμμετοχή ΑΠΕ (%)	6,9	7	7,2	8,2	8	8,5	9,8	10,9	13,8

Πηγή: <http://ec.europa.eu/eurostat> [23]

2.5.2. Ελληνική χωροταξία και αγροτικός τομέας

Η Ελλάδα καταλαμβάνει έκταση 131.981,8km² και έχει μόνιμο πραγματικό πληθυσμό 10.940.777 κατοίκων σύμφωνα με την απογραφή του 2011[21]. Το 82,2% των ελληνικών εκτάσεων θεωρούνται αγροτικές περιοχές, το 12,1% ενδιάμεσες και το υπόλοιπο 5,7% αστικές σύμφωνα με τα στοιχεία του προγράμματος αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020[22]. Οι τεχνητές περιοχές καταλαμβάνουν το 4%, οι καλλιεργήσιμες το 23%, οι δασικές το 37%, οι θαμνώδεις το 19%, οι εκτάσεις με αραιή βλάστηση το 11%, οι εκτάσεις χωρίς βλάστηση το 3%, οι υγρές ζώνες το 2% και τα χερσαία ύδατα το 1%[23].

Το 42,7% του πληθυσμού της χώρας ζει σε αγροτικές περιοχές και το 10,6% σε ενδιάμεσες περιοχές με ηλικιακή δομή περίπου ίδια. Από τα σχεδόν 675 χιλιάδες αγροτικά νοικοκυριά, τα 165 χιλιάδες νοικοκυριά βρίσκονται σε καθαρώς ορεινές περιοχές (περισσότερο από 50% του πληθυσμού και της έκτασης) και 156 χιλιάδες σε νησιωτικές περιοχές περιλαμβανομένης της Κρήτης και της Λευκάδας. Συνεπώς σχεδόν 40% των αγροτικών νοικοκυριών βρίσκεται σε κατάσταση φυσικού περιορισμού της γεωργικής δραστηριότητας[22].

Οι περιοχές της υπαίθρου καταλαμβάνουν το 82% της έκτασης της χώρας. Από τα 3,3 εκ. εκτάρια της γεωργικής γης, τα 703 χιλιάδες καλλιεργούνται στα νησιά και τα 905 χιλιάδες σε καθαρώς ορεινές περιοχές. Έτσι, ενώ το μέσο μέγεθος της αγροτικής εκμετάλλευσης στην Ελλάδα είναι σχεδόν 5 εκτάρια, στις νησιωτικές περιοχές είναι σχεδόν 4,5 εκτάρια και στις καθαρώς ορεινές περιοχές είναι 5,5 εκτάρια. Το τελευταίο οφείλεται στο γεγονός ότι στις ορεινές περιοχές υπάρχει μεγαλύτερη έκταση σε χρήση λειμώνων και βοσκοτόπων παρά σε αρόσιμη και δενδρώδεις καλλιέργειες[22]. Στην ελληνική γεωργία υπάρχουν 850 χιλιάδες εκμεταλλεύσεις[21], και το 50% των εκμεταλλεύσεων είναι κάτω των 2 ha (του μισού δηλαδή από αυτό που θεωρείται μικρή εκμετάλλευση). Από πλευράς ηλικιακής σύνθεσης, η ελληνική γεωργία έχει

πολύ καλύτερη θέση. Το ποσοστό αγροτών πάνω από 55 χρόνων είναι πολύ κοντά στον ευρωπαϊκό μέσο όρο, συγκρίσιμο με ανταγωνιστικές οικονομίες όπως αυτή της Ισπανίας και πολύ καλύτερα από άλλες ανταγωνιστικές οικονομίες όπως της Ιταλίας, Βουλγαρίας και Ρουμανίας[22].

Η ελληνική γεωργία, παρά τη σχετική συρρίκνωσή της, παραμένει ένας σημαντικός κλάδος της οικονομίας όσο αφορά τα θεμελιώδη οικονομικά μεγέθη (ακαθάριστη αξία, απασχόληση, εισόδημα, ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών), την εθνική ασφάλεια (αυτάρκεια τροφίμων), την διασύνδεσή της με άλλους κλάδους της οικονομίας και κυρίως την μεταποίηση τροφίμων και το εμπόριο, και τον αναπτυξιακό της ρόλο στις λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές της χώρας. Η συμμετοχή του πρωτογενούς τομέα και της γεωργίας ειδικότερα στην Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία μειώνεται συνεχώς από το 2000 μέχρι σχεδόν υποδιπλασιασμού της το 2011. Το 2000 η γεωργία συμμετείχε στην ΑΠΑ σε ποσοστό 6% ενώ το 2011 το αντίστοιχο ποσοστό μειώθηκε σε 2,9%. Το ποσοστό συμμετοχής του πρωτογενούς τομέα και ειδικότερα της γεωργίας στη συνολική απασχόληση μειώθηκε από σχεδόν 16% το 2000 σε 10,4% το 2011 ποσοστό που αντιστοιχεί σε περίπου 490 χιλιάδες άτομα σε σύνολο περίπου 4,5 εκ. εργαζομένων[22].

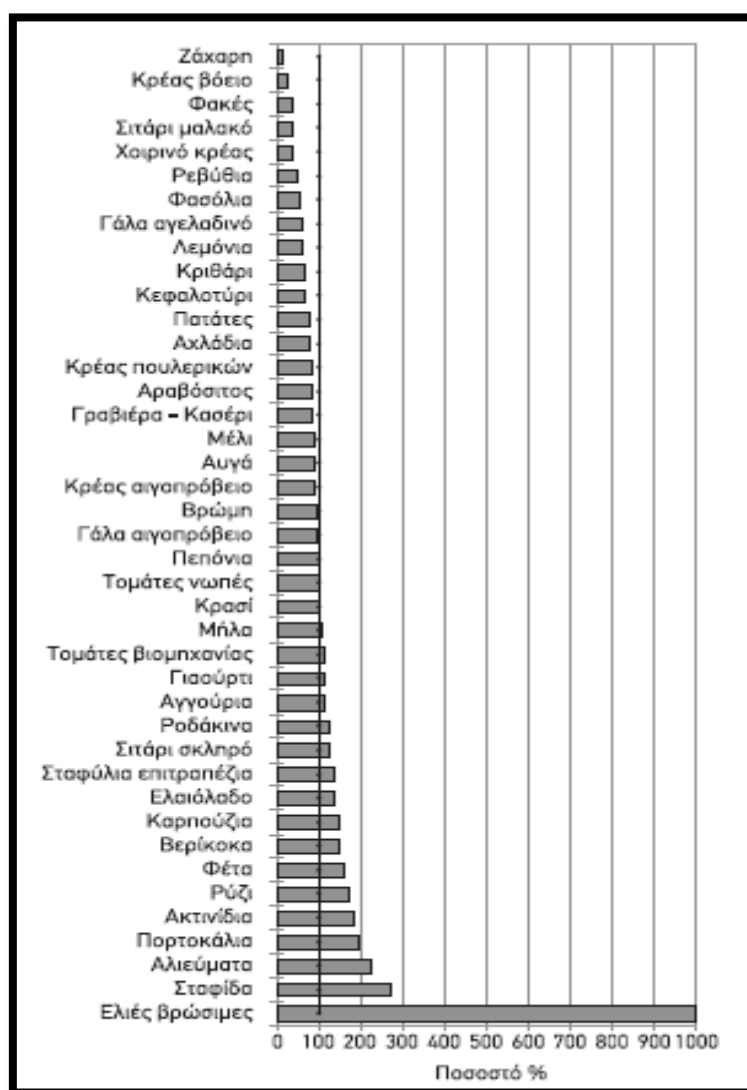
Η αγροτική παραγωγή στην Ελλάδα σε σύγκριση με άλλα κράτη μέλη της ΕΕ, έχει σχεδόν διπλάσιο ποσοστό συμβολής στην εθνική ΑΠΑ από τον μέσο όρο της ΕΕ-27 και μεγαλύτερο όλων των μεσογειακών οικονομιών συμπεριλαμβανομένης της Γαλλίας. Η συμβολή των αγροτικών προϊόντων στις εξαγωγές είναι σημαντική με την αξία εξαγόμενων αγροτικών προϊόντων να αυξάνει (σε τρέχουσες τιμές) συνεχώς φτάνοντας στο 2012 τα 3,6 δις ευρώ. Παράλληλα, και ενώ η συμμετοχή των αγροτικών προϊόντων έφτασε στο 2009 σχεδόν το 17,1% επί του συνόλου των εξαγωγών, υποχώρησε το 2012 στο 13,1%. Τα προϊόντα φρούτων και λαχανικών απαρτίζουν μόνα τους σχεδόν τη μισή αξία των εξαγωγών αγροτικών προϊόντων και το 2012 διαμορφώθηκαν στο 1,8 δις. Συγχρόνως, πολλά γεωργικά προϊόντα συμβάλλουν στις εισαγωγές που προσεγγίζουν τα 5 δις ευρώ και αφήνουν ένα αρνητικό ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών γύρω στα 1,4 δις. Τα αγροτικά προϊόντα συμμετέχουν κατά 10% περίπου στο σύνολο των εισαγωγών της χώρας. Το ποσοστό αυτάρκειας στη φυτική παραγωγή το 2011 ανερχόταν, κατά μέσο όρο, στο 96% περίπου, μειωμένο σε σχέση με το 2010[22].

Σε ένα σύνολο 41 βασικών αγροτικών-διατροφικών προϊόντων που παρακολουθεί συστηματικά η ΠΑΣΕΓΕΣ, το ποσοστό αυτάρκειας¹ του έτους 2011 ανήλθε στο επίπεδο του 91,5% περίπου. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ποσοστό αυτάρκειας της χώρας για τα αναφερόμενα προϊόντα σε χιλιάδες τόνους σε σχέση με την πλήρη κάλυψή της (100%)[24]. Το ποσοστό αυτάρκειας στη φυτική παραγωγή ανέρχεται, κατά μέσο όρο, στο 95,8%, ενώ το ποσοστό αυτάρκειας στη ζωική παραγωγή-αλιεία ανέρχεται, κατά μέσο όρο στο 76,36%. Στην κατηγορία των φρούτων η αυτάρκεια παραμένει υψηλή (123,56%). Η κατηγορία των αμπελοκομικών βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα (122,65%). Στην κατηγορία των οσπρίων η αυτάρκεια είναι μικρή (46,02%), ενώ στην επιμέρους κατηγορία των βρώσιμων ελιών παρατηρήθηκε αυτάρκεια στο 996%. Η αυτάρκεια

¹ Η αυτάρκεια (%) υπολογίζεται από τον τύπο $Αυτάρκεια\% = \frac{Παραγωγή}{Παραγωγή + Εισαγωγές - Εξαγωγές} 100\%$

εξακολουθεί να διαφοροποιείται μεταξύ επιμέρους κατηγοριών προϊόντων, όπως το κρέας, όπου η αυτάρκεια ανέρχεται στο 55% περίπου, με το μικρότερο ποσοστό να καταγράφεται στο βόειο κρέας (28,70%) και το υψηλότερο στο αιγοπρόβειο κρέας (93,72%). Στην κατηγορία των γαλακτοκομικών-τυροκομικών προϊόντων, η φέτα με ποσοστό αυτάρκειας 156,53%, υπερβαίνει το μέσο όρο της κατηγορίας, ο οποίος κυμαίνεται στο 77%. Στο μέλι και στα αυγά καταγράφεται ποσοστό αυτάρκειας 90,97% και 93,13% αντίστοιχα. Στα αλιεύματα το ποσοστό αυτάρκειας βρίσκεται στο 221,30% και τέλος για τη ζάχαρη, το ποσοστό αυτάρκειας ανέρχεται μόλις στο 14,27%.

Διάγραμμα 2.14: Αυτάρκεια διατροφικών αγροτικών προϊόντων (έτους 2011).



Πηγή: (ΠΑΣΕΓΕΣ, 2012) [24]

Η θέση της ελληνικής γεωργίας όσο αφορά το κόστος των βασικών εισροών και κυρίως της ενέργειας είναι δυσμενέστατη. Το υψηλό κόστος παραγωγής και η έλλειψη πίστης είχαν επίπτωση στη μέση παραγωγικότητα εργασίας και στον ακαθάριστο σχηματισμό παγίου κεφαλαίου αντίστοιχα. Η μέση παραγωγικότητα εργασίας από το 2004 και μετά κινείται συνεχώς κάτω από την αντίστοιχη μέση της ΕΕ-27. Ο δείκτης σχηματισμού ακαθάριστου κεφαλαίου στην Ελλάδα είναι περίπου

24% ενώ ο ευρωπαϊκός μέσος είναι 32,5% και ο αντίστοιχος δείκτης της Ιταλίας αγγίζει το 40%. Αξίζει να σημειωθεί ότι δείκτης αυτός μειώθηκε κατά ακριβώς 6% μεταξύ 2007 και 2011. Ο δείκτης αυτός σχετίζεται άμεσα με την επενδυτική συμπεριφορά των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και φυσικά ενσωματώνει προσδοκίες των επενδυτών[22].

Η Ελλάδα διαθέτει σε ετήσια βάση επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Το 86% της χρήσης νερού στην Ελλάδα καταναλώνεται στον τομέα της γεωργίας. Υπολογίζεται ότι το 35-40% των αρδευόμενων εκτάσεων αρδεύονται με βαρύτητα (κατάκλιση, ανοικτοί αύλακες, κ.λπ.), το 50-55% με συστήματα τεχνητής βροχής και 10% με σύγχρονα συστήματα άρδευσης όπως στάγδην και λοιπά συστήματα μικροαρδεύσεων[22].

Οι ευνοϊκές συνθήκες παραγωγής στην Ελλάδα δημιουργούνται κυρίως από τους ήπιους κλιματικούς παράγοντες (βροχοπτώσεις, θερμοκρασίες χειμώνα, κ.λπ.) και την ηλιοφάνεια τα οποία συνθέτουν μια εκτεταμένη βλαστική περίοδο με ήπια φαινόμενα. Συγχρόνως, το ανάγλυφο του εδάφους δημιουργεί μια μεγάλη ποικιλία μικρο-περιβαλλόντων τα οποία ευνοούν την αποδοτική ανάπτυξη φυτών και ζώων αλλά κυρίως την καλή προσαρμογή τους στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την αποφυγή έντονων διακυμάνσεων στην παραγωγή. Το κλίμα, τα εδάφη, η ποικιλότητα και η ιστορική ανάπτυξη των δεξιοτήτων στην Ελληνική γεωργία είναι επίσης ευνοϊκά για την ανάπτυξη της βιολογικής γεωργίας και την καλλιέργεια εξαιρετικά ποιοτικών προϊόντων για στοχευμένες αγορές υψηλού εισοδήματος[22].

Βιβλιογραφία

- [1]. *Κλιματική αλλαγή*. Από Βικιπαίδεια: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Οκτώβριος 2014.
- [2]. *Ψαρράς, Ιωάννης. "Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική"*. Αθήνα: ΕΜΠ. 2010.
- [3]. *Κλιματική αλλαγή: Είμαστε στο παρά πέντε;*. Από <http://www.keelpno.gr/>: <http://keelpno.gr/Portals/0/Αρχεία/ΚΕΠΙΧ/Κλιματική%Αλλαγή.pdf>, ανάκτηση Οκτώβριος 2014.
- [4]. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), CLIMATE CHANGE 2014: Synthesis Report. 2014.
- [5]. *ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ*. Από WWF: <http://www.wwf.gr/>, ανάκτηση Νοέμβριος 2014.
- [6]. Από ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ: <http://www.ypreka.gr/>, ανάκτηση Νοέμβριος-Δεκέμβριος-Ιανουάριος 2014.
- [7]. Άγις Μ. Παπαδόπουλος, *"ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ"*. Θεσσαλονίκη: Α.Π.Θ. 2002.
- [8]. Αναστασία Ζαραμπούκα, *"Το ενεργειακό πρόβλημα και τα αίτια δημιουργίας του"*. Από <http://www.kalabakacity.gr/>, ανάκτηση Νοέμβριος 2014.
- [9]. Μαρίνος-Κουρής Δημήτρης, *"Το ενεργειακό πρόβλημα αναζητεί λύση"*. Από <http://www.aparadektoi.gr/>, ανάκτηση Νοέμβριος 2014.
- [10]. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Από Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας: <http://www.cres.gr/>, ανάκτηση Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2014.
- [11]. *Πηγές Ενέργειας*. Από Περιβάλλον & Διαχείριση Ενέργειας: <http://www.allaboutenergy.gr/>, ανάκτηση Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2014.
- [12]. *ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*. Από ΙΔΡΥΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ: <http://www.cie.org.cy/>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [13]. Κορωνάιος, Χριστοφής Ι., *"ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ"*. ΑΘΗΝΑ: ΕΜΠ. 2012.
- [14]. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Από <http://kpekastr.ark.sch.gr/site/presentations/RenEnergy/RenEnergyLyk.pdf>, ανάκτηση Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2014.
- [15]. *Ενέργεια από τη θάλασσα*. Από Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο: http://users.sch.gr/atgkikas/site/sea_energy.html, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [16]. Στέφανος Παπαπολυμέρου, *"Σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης αγροτικών ΑΠΕ με το νέο ΕΣΠΑ"*. Ανάκτηση από ΠΑΣΕΓΕΣ: <http://www.paseges.gr/>, Ιούνιος 2014.

- [17]. *Ενέργεια - Μία Βιώσιμη Επένδυση*. Από Enterprise Greece:
<http://www.investingreece.gov.gr/>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [18]. Καθαδάκης Γεώργιος, "ΑΠΕ και Γεωργική Γη Υψηλής Παραγωγικότητας". Ανάκτηση από
 ΝΕΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ: <http://neagrokin.wordpress.com/>, Νοέμβριος 2009.
- [19]. Ντάλλας Κώστας, Ντερμάρης Βασίλης, Παπανίκος Διονύσης, "Γεωργική Γη και
 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας". Ανάκτηση από Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας
 & Κλιματικής Αλλαγής: <http://www.opengov.gr/>, Ιανουάριος 2010.
- [20]. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, "ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ". ΕΛΛΗΝΙΚΗ
 ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ. Φεβρουάριος 2009.
- [21]. Από ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ (ΕΛ.ΣΤΑΤ.): <http://www.statistics.gr/>, ανάκτηση
 Ιανουάριος 2014.
- [22]. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ 2014-2020. Greece/EL-National. 2014.
- [23]. Από eurostat: <http://ec.europa.eu/eurostat>, ανάκτηση Ιανουάριος 2015.
- [24]. ΠΑΣΕΓΕΣ, "Αυτάρκεια Αγροτικών Διατροφικών Προϊόντων". 2012.
- [25]. Από U.S. Energy Information Administration (EIA): <http://www.eia.gov/>, ανάκτηση
 Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2014.
- [26]. *Ηλιακή ενέργεια*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Δεκέμβριος
 2014.
- [27]. Από LECO: <http://eco.firecat.gr>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [28]. Από Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών: <http://efepereth.wikidot.com>, ανάκτηση
 Δεκέμβριος 2014.
- [29]. Από 4green.gr: <http://www.4green.gr>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [30]. *PELLETS: το φθηνό «πετρέλαιο»*. Ανάκτηση από <http://bioenergynews.capitalblogs.gr/>,
 Ιούνιος 2008.
- [31]. Από International Energy Agency (IEA): <http://www.iea.org/>, ανάκτηση Ιανουάριος
 2015.
- [32]. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση
 Δεκέμβριος 2014.
- [33]. *Ωσμωτική ενέργεια*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Δεκέμβριος
 2014.
- [34]. *Ηλιοθερμικά συστήματα*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση
 Δεκέμβριος 2014.

- [35]. *Αιολική ενέργεια*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [36]. *Υδραυλική ενέργεια*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.
- [37]. *Γεωθερμία*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Δεκέμβριος 2014.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

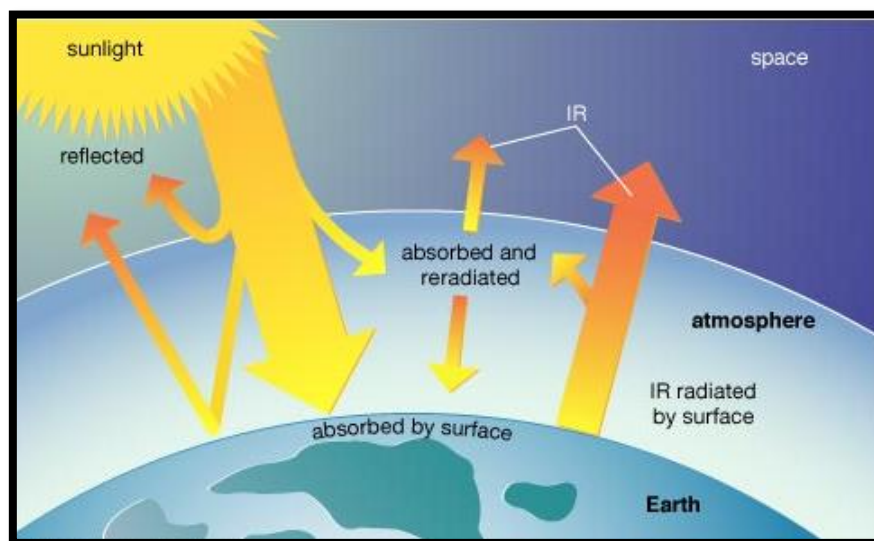
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παίρνει η Γη από τον Ήλιο. Είναι δηλαδή η εκπομπή και διάδοση της ενέργειας που γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η ποσότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια του ήλιου είναι $3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}$, όμως μόνο τα $1,8 \cdot 10^{16} \text{ W}$ φτάνει στα ανώτερα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Η **ηλιακή ακτινοβολία (S)** που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας:

- διαπερνά την ατμόσφαιρα,
- διαχέεται μετά από σκέδαση σε αιωρούμενα σωματίδια και επανακτινοβολείται στο διάστημα ή διαπερνά την ατμόσφαιρα,
- απορροφάται (λόγω της ύπαρξης οξυγόνου, όζοντος, διοξειδίου του άνθρακα) και επανεκπέμπεται ως θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (**γήινη ακτινοβολία**).

Γενικώς, το 35% περίπου της ακτινοβολίας που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας ανακλάται πίσω στο διάστημα και το υπόλοιπο φτάνει στη Γη[10].



Εικόνα 3.1: Η ηλιακή ακτινοβολία S
Πηγή: ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA [27]

Η **ολική ηλιακή ακτινοβολία (I)** που φτάνει σε μια επιφάνεια στη Γη αποτελείται από τρεις επιμέρους συνιστώσες: την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη ακτινοβολία.

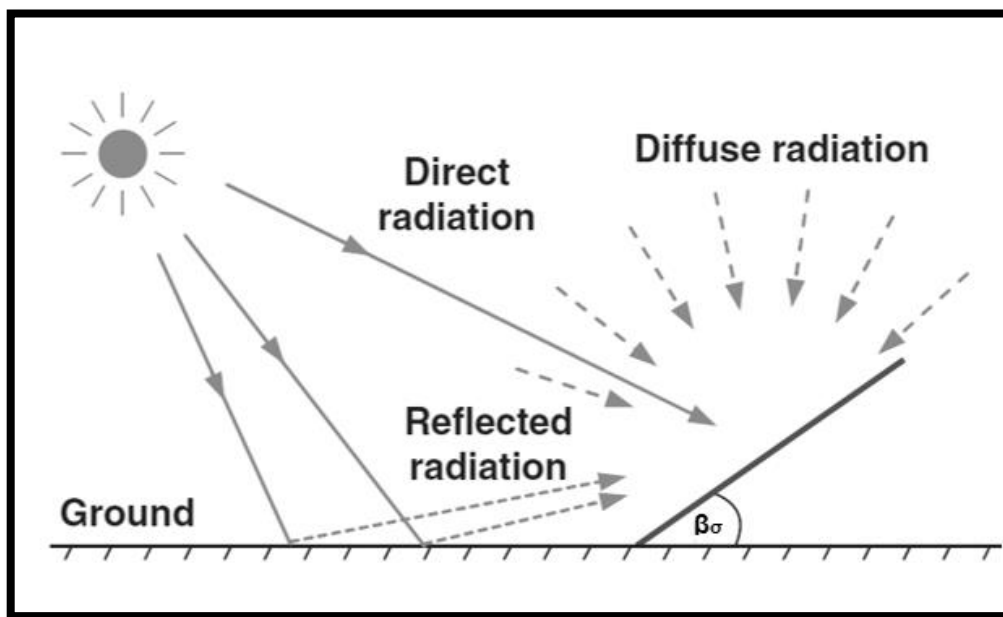
- Η **άμεση ακτινοβολία (I_b)** είναι μια δέσμη παράλληλων ακτίνων προερχόμενη απευθείας από τον ήλιο. Έχει διεύθυνση που καθορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο και η έντασή της μεγιστοποιείται σε καθαρή ατμόσφαιρα.

- Η **διάχυτη ακτινοβολία** (I_d) προκύπτει μετά από σκέδαση σε αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και το ποσοστό της εξαρτάται από το ύψος του ηλίου, το υψόμετρο του τόπου, την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε αιωρούμενα σωματίδια καθώς και το μέγεθος-είδος των νεφών. Η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας μεγιστοποιείται σε θολή ατμόσφαιρα.
- Η **ανακλώμενη ακτινοβολία** (I_R) είναι ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και ανακλάται ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος. Επομένως, εξαρτάται από την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ανακλαστικότητα του εδάφους (λευκαύγεια – albedo). Πιο συγκεκριμένα, οι κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται το μεγαλύτερο ποσοστό, ενώ οι οριζόντιες καθόλου[10].

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο (I_T) υπολογίζεται ως εξής:

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I_p R_r$$

- όπου: R_b , R_d , R_r ο διορθωτικός συντελεστής για την άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία αντίστοιχα,
- ρ : ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους της γύρω περιοχής και
- I : η ολική ηλιακή ακτινοβολία[11]



Εικόνα 3.2: Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε έναν συλλέκτη σταθερής κλίσης β_σ

Πηγή: K. Mertens: textbook-pv.org [28]

3.1.1. Ηλιακή γεωμετρία

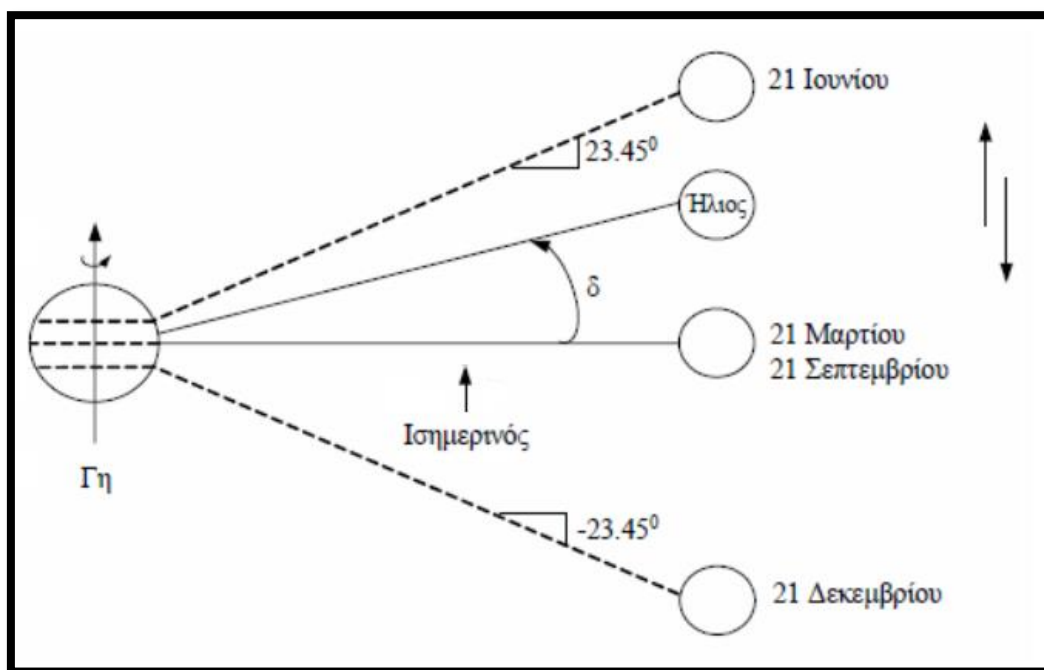
Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία. Επίσης, επηρεάζονται σε αξιόλογο

βαθμό και από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες-εκρήξεις και η ατμοσφαιρική ρύπανση[6].

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές ως αποτέλεσμα της μεταβολής της **απόκλισης** (δ)[6]. Ως δ ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού και τη γραμμή που ενώνει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ηλίου. Για τους περισσότερους υπολογισμούς, η ηλιακή απόκλιση δ μπορεί να θεωρηθεί ότι διατηρείται σταθερή στη διάρκεια της ημέρας, δεδομένου ότι μεταβάλλεται λιγότερο από $0,5^\circ$ ανά ημέρα[5]. Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι $+23,24^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,24^\circ$ στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο)[6].

Υπολογίζεται από την σχέση: $\delta = 23,45 * \sin\left[\frac{360}{365} * (DoY + 284)\right]$, όπου:

- DoY είναι η μέρα του ημερολογιακού έτους, η οποία μεταβάλλεται από 1 έως 365.
- Ο όρος 284 στην παραπάνω εξίσωση αποδίδει τον αριθμό των ημερών που απαιτούνται να παρέλθουν μετά την εαρινή ισημερία ώστε η θέση του Ήλιου να αντιστοιχεί στην έναρξη του ημερολογιακού έτους[5].



Εικόνα 3.3: Η ηλιακή απόκλιση δ και οι ακραίες της τιμές κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο

Πηγή: <http://ape.chania.teicrete.gr/gr/> [29]

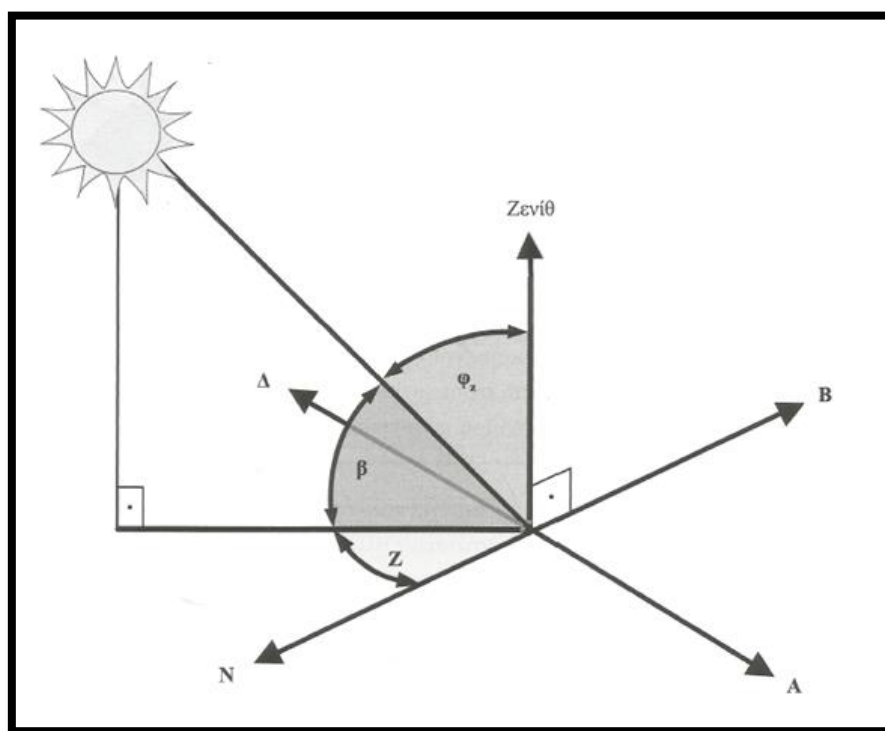
3.1.2. Προσδιορισμός της θέσης του Ήλιου

Στο οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων η θέση του ήλιου ως προς το σημείο που βρίσκεται ο παρατηρητής μπορεί να καθοριστεί από δύο γωνίες: το **ύψος** (β)

υπεράνω του ορίζοντα, και το **αζιμούθιο** (Z) ως προς το Νότο. Οι γωνίες μετρούνται από τη θέση στην οποία βρίσκεται ο παρατηρητής με επίπεδο αναφοράς το οριζόντιο έδαφος[5].

Το ύψος υπεράνω του ορίζοντα είναι η γωνία υπό την οποία φαίνεται ο ήλιος ως προς το οριζόντιο τοπικό επίπεδο του παρατηρητή στη συγκεκριμένη θέση στην επιφάνεια της Γης. Το εύρος τιμών για το ύψος του ηλίου είναι από -90° έως $+90^\circ$. Το ύψος γίνεται θετικό όταν ο ήλιος βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα και αρνητικό όταν ο ήλιος βρίσκεται από κάτω του[5]. Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή **ζενιθιακή γωνία** φ_z) του ήλιου[6].

Το αζιμούθιο είναι η γωνία που δημιουργείται ανάμεσα σε μια ορισμένη κατεύθυνση και την προβολή του ηλίου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο αναφοράς. Η κατεύθυνση αναφοράς επιλέγεται να είναι ο Νότος[5]. Ο όρος προέρχεται από την αραβική έκφραση *as summut* που σημαίνει κατεύθυνση. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς, καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό[6].



Εικόνα 3.4: Οι γωνίες που συνδέουν τη θέση του Ήλιου με μια οριζόντια τοποθεσία της Γης.

Με Α, Δ, Β, Ν συμβολίζονται οι τέσσερις διευθύνσεις του ορίζοντα

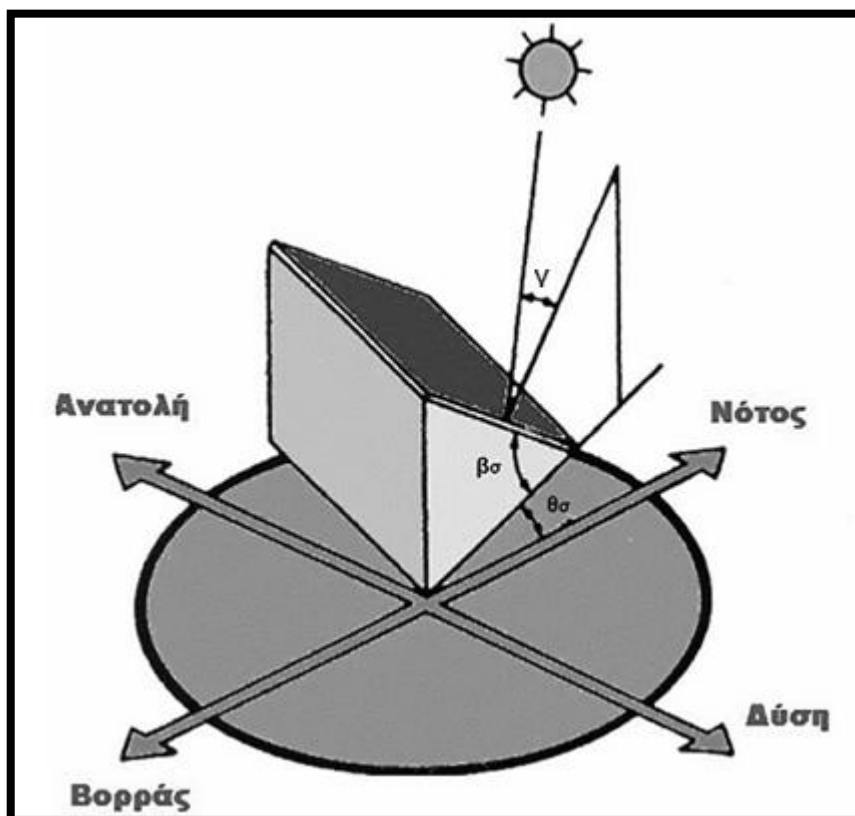
Πηγή: Δέρβος Θ. Κωνσταντίνος, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: από την θεωρία στην πράξη" [5]

3.1.3. Ο προσανατολισμός του συλλέκτη και η βέλτιστη κλίση του

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία[6].

Η **κλίση του συλλέκτη (β_σ)** είναι η διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα. Ουσιαστικά δείχνει πόσο γέρνει ο συλλέκτης και μπορεί να πάρει τιμές από 0° έως 180° . Για γωνίες με $\beta_\sigma > 90^\circ$, το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω[6].

Η **αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (θ_σ)** είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακορύφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Η θ_σ παίρνει τιμές από -180° έως $+180^\circ$. Πιο συγκεκριμένα: η γωνία των -180° (που συμπίπτει με την γωνία των $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς τον βορρά, η γωνία των -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς τον νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση[6].



Εικόνα 3.5: Οι γωνίες που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης
Πηγή: buildnet.gr [30]

Μελετώντας το παραπάνω σχήμα διαπιστώνουμε ότι η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε έναν επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται

όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η **γωνία πρόσπτωσης (γ)** είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος μετακινείται συνεχώς στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας[6].

Για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής συλλογής, ο ηλιακός συλλέκτης σταθερής γωνίας πρέπει να είναι προσανατολισμένος προς τον Ισημερινό (προς το Νότο για το Βόρειο ημισφαίριο) με κλίση περίπου ίση προς το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής[5]. Για τα ελληνικά δεδομένα μια τυπική μέση χαρακτηριστική κλίση είναι αυτή των 30° [1].

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0°	30°	90°
			
Ανατολικός - Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

Εικόνα 3.6: Οι βέλτιστες συνθήκες κλίσης και προσανατολισμού των ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα.

Πηγή: TEE TMK [1]

Εναλλακτικά, για την επίτευξη μεγαλύτερης απορρόφησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυο εποχικές γωνίες κλίσης για την μεγαλύτερη αντιστάθμιση της γωνίας ύψους του ήλιου, ενώ η αζιμούθια γωνία του πλαισίου εξακολουθεί να παραμένει πάντοτε προσανατολισμένη προς το Νότο. Κατά τη χειμερινή περίοδο, η κλίση του συλλέκτη β_w θα πρέπει να ορίζεται περίπου ίση με το **γεωγραφικό πλάτος ϕ** της περιοχής επαυξημένη κατά 10° , ενώ για τη θερινή περίοδο η κλίση θα πρέπει να ορίζεται περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ ελαττωμένη κατά 10° [5].

Πίνακας 3.1: Η επιλογή για τις βέλτιστες γωνίες του συλλέκτη (β_σ , θ_σ), ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη συλλογή ενέργειας από ένα σταθερό συλλέκτη ανάλογα με την περίοδο του έτους.

Περίοδος	Χειμερινή	Εαρινή ισημερία	Θερινή	Φθινοπωρινή ισημερία
Διάρκεια	15/10 – 29/2	1/3 – 11/4	12/4 – 2/9	3/9 – 14/10
Βέλτιστη θέση πλαίσιου (β_σ, θ_σ)	$\beta_\sigma = \varphi^\circ + 10^\circ$ $\theta_\sigma = 0$	$\beta_\sigma = \varphi^\circ$ $\theta_\sigma = 0$	$\beta_\sigma = \varphi^\circ - 10^\circ$ $\theta_\sigma = 0$	$\beta_\sigma = \varphi^\circ$ $\theta_\sigma = 0$

Πηγή: Κ.Θ.Δέρβος, ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΜΙΑΓΩΓΙΜΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ [6]

3.2. Ιστορική αναδρομή στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία

Ο όρος «φωτοβολταϊκό» είναι σύνθετος και προέρχεται από την ελληνική λέξη *φως* και από τη λέξη *βολτ*, που αποτελεί το επώνυμο του Ιταλού πρωτοπόρου στην μελέτη του ηλεκτρισμού Alessandro Volta (1745-1827). Έτσι, «φωτοβολταϊκό» στην κυριολεξία σημαίνει «φωτο-ηλεκτρικό»[12].

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Alexandre Edmond Becquerel, ο οποίος διαπίστωσε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Το 1876, οι Αμερικάνοι Adams και Day έκαναν επίδειξη αυτού του φαινομένου χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου και η απόδοση ήταν μόνο 1%. Το 1905, ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (υπόθεση του φωτονίου) και 44 χρόνια μετά οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας την φυσική των ενώσεων p και n των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο κατασκευάστηκε το 1956 με απόδοση κοντά στο 6%, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο με απόδοση της τάξης του 10%[13].

Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας στην εξερεύνηση του διαστήματος διάνοιξε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων με καθοριστική χρονιά το 1958 όπου στάλθηκαν 108 ηλιακά κύτταρα στο διάστημα για δοκιμή. Το 1970, η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500m², ενώ στα μέσα της ίδιας δεκαετίας ξεκίνησε η επίγεια χρήση τους παίρνοντας δυναμική από την πετρελαϊκή κρίση του 1973-1974 και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών. Η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας ήταν να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με την εύρεση νέων φθηνότερων υλικών[13].

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινής μας ζωής, με το φάσμα των εφαρμογών τους να κυμαίνεται από συστήματα μικρής κλίμακας (σε ρολόγια και υπολογιστές τσέπης), μέχρι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος[13]. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 12% έως **40%** σύμφωνα

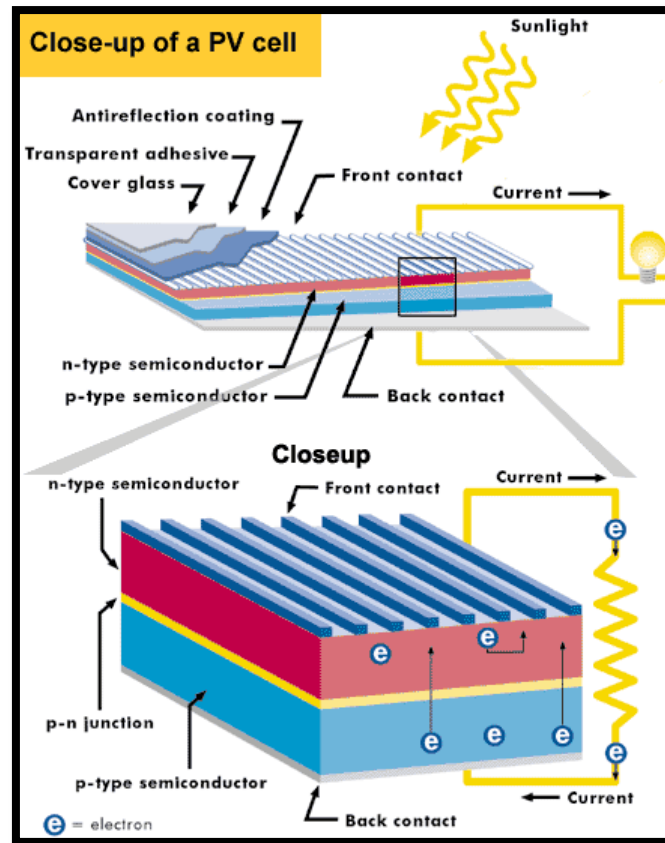
με το **νέο ρεκόρ απόδοσης** που καταγράφηκε σε δοκιμές πεδίου στο Σύδνεϋ και επιβεβαιώθηκε στο αμερικανικό Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας[14].

3.2.1. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το **φωτοβολταϊκό φαινόμενο** περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα φυσικά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις. Η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων μεταφράζεται ως δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δημιουργούμενων πόλων, δηλαδή έχουμε μια υποτυπώδη ηλεκτρική γεννήτρια[7]. Ας το μελετήσουμε αναλυτικά:

Το βασικό συστατικό κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας και η καρδιά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος, που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία[15]. Το **φωτοβολταϊκό στοιχείο** (ή **φωτοβολταϊκή κυψέλη** όπως επίσης λέγεται) αποτελεί την ελάχιστη δομική μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη φωτεινή ακτινοβολία. Ο αντίστοιχος αγγλικός όρος «cell» παραπέμπει στη λατινική λέξη «cella», που σημαίνει θάλαμος[5].

Τα σημαντικότερα στοιχεία ενός ηλιακού κελιού (solar cell) είναι δυο στρώματα ημιαγωγικού υλικού, τα οποία αποτελούνται από κρυστάλλους πυριτίου. Το κρυσταλλικό πυρίτιο, αυτό καθ' αυτό δεν είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, αλλά όταν προστίθενται σε αυτό προσμίξεις, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στο κάτω στρώμα του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως βόριο, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη θετικού φορτίου (p). Στο πάνω μέρος, αντίστοιχα, προστίθεται συνήθως φώσφορος, που δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n). Η επιφάνεια μεταξύ των ημιαγωγών τύπου p και n που δημιουργούνται ονομάζεται p-n επαφή (P-N junction)[1].



Εικόνα 3.7: Βασική δομή ενός ηλιακού κελιού
Πηγή: TEE TMK [1]

Φέρνοντας σε επαφή τους ημιαγωγούς τύπου n και p σχηματίζεται ηλεκτρικό πεδίο. Τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου n κινούνται προς τις κενές θέσεις του πυριτίου τύπου p για να τις καλύψουν. Στην ένωση των δύο υλικών επιτυγχάνεται ισορροπία και δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στις δύο πλευρές. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο p στο n αλλά όχι αντίστροφα. Όταν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, κατάλληλου μήκους κύματος, προσπίπτουν σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο διεγείρουν ηλεκτρόνια και τα ελευθερώνουν δημιουργώντας παράλληλα αντίστοιχες οπές. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μια οπή. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή βρεθούν κοντά στην ένωση p - n ημιαγωγών, το πεδίο θα εξαναγκάσει το ηλεκτρόνιο να πάει στον ημιαγωγό n και θα οδηγήσει την οπή στο πυρίτιο p . Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισορροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιηθεί μία εξωτερική αγωγίμη οδός τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση από όπου το ηλεκτρικό πεδίο τα απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος[8].

Θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε την φωτοβολταϊκή ηλεκτρική γεννήτρια σαν μια ανεπίστροφη βαλβίδα ηλεκτρονίων, δια της οποίας τα ηλεκτρόνια μπορούν να διέρχονται μόνο προς την μια κατεύθυνση. Όταν λοιπόν συμβεί κάποιο φωτόνιο να προσκρούσει πάνω σε ηλεκτρόνιο του υλικού, τότε θα του μεταδώσει μέρος της ενέργειάς του, αναγκάζοντάς το να «εκσφενδονιστεί» από την θέση ηρεμίας του. Εάν

τώρα, η κατεύθυνση που θα λάβει το «εκσφενδονισμένο» ηλεκτρόνιο συμπίπτει με την φορά της βαλβίδας ηλεκτρονίων τότε αυτό θα μετατοπισθεί σε σχέση με την αρχική του θέση και θα παγιδευτεί εκεί αφού η βαλβίδα αποτρέπει την επαναφορά του στην αρχική θέση. Κατόπιν τούτου, διαπιστώνουμε ότι, σε μία «πλευρά» του υλικού (πλευρά παγίδευσης) θα έχουμε περίσσεια ενός ηλεκτρονίου ενώ στην άλλη πλευρά (πλευρά εκσφενδονισμού) θα έχουμε έλλειμμα ενός ηλεκτρονίου, που συνεπάγεται **διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού**[7].

Τα συνήθη εμπορικά ΦΒ στοιχεία αποτελούνται από διόδους επαφής p-n και έχουν εμβαδόν φωτιζόμενης επιφάνειας που ποικίλλει από λίγα cm^2 μέχρι περίπου 180cm^2 [5]. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής και την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται ένα ΦΒ στοιχείο μπορεί να δώσει τάση μέχρι 0,5-1 V και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40 mA ανά τετραγωνικό εκατοστό της επιφάνειας του[15]. Η απόδοση τους, εκφραζόμενη ως το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, εξαρτάται από την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται. Σε ερευνητικό επίπεδο έχουν αναφερθεί αποδόσεις **έως και 46%** σύμφωνα με την πρόσφατη έκθεση του **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**, ωστόσο η πλειονότητα των ηλιακών κελιών και των δημιουργούμενων φωτοβολταϊκών πάνελ που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο έχουν μια μέγιστη απόδοση της τάξης του 17-19%[1].

NREL
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY



95

3.2.2. Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β, καθώς τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη Γη το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας[16]. Οι συνηθέστεροι τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου που χρησιμοποιούνται σήμερα, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες με βάση κυρίως το πάχος του υλικού. Επομένως, το πυρίτιο ανάλογα με την επεξεργασία του δίνει φ/β στοιχεία μεγάλου πάχους, λεπτού υμενίου και υβριδικά.

3.2.2.1. Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου μεγάλου πάχους

- Μονοκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

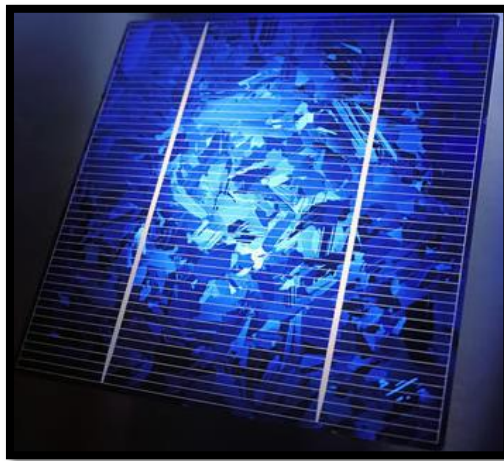
Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου με μια διαδικασία γνωστή ως **Czochralski**. Το πάχος τους είναι 0,3 mm. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δεν χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μια επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο. Αποτελούν όμως μια καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όπου απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική επίστρωση (AR) ή γκρι χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση[1].



Εικόνα 3.9: Μονοκρυσταλλικό κελί πυριτίου
Πηγή: <http://www.civicsolar.com/> [4]

- Πολυκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση)[1].



Εικόνα 3.10: Πολυκρυσταλλικό κελί πυριτίου
Πηγή: <http://alliedscientificpro.com/> [38]

- ΦΒ στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία που προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις “παραδοσιακές τεχνικές” κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%[2].



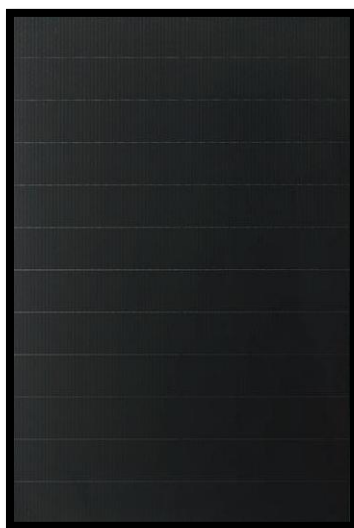
Εικόνα 3.11: Ηλιακά κελιά ταινίας πυριτίου
Πηγή: Dutch Solar R&D Seminar 2006 [39]

3.2.2.2. Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω[1]:

- Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)

Ο χαρακτηρισμός *άμορφο* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου και οι αποδόσεις τους κυμαίνονται από 6-8%[2]. Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ[1]. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Το μειονέκτημα τους είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία[2].



Εικόνα 3.12: Φωτοβολταϊκό πανέλo άμορφου πυριτίου

Πηγή: <http://www.topintertech.com/> [31]

- Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)

Το τελλουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα. Το γεγονός αυτό του δίνει την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές

προσφέρουν αποδόσεις γύρω στο 6-8%. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic) και μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να μειωθεί αρκετά[2]. Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός της χρήσης του σπάνιου μετάλλου τελλουρίου[1]. Επίσης, η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του καδμίου καθώς σύμφωνα με κάποιες έρευνες θεωρείται καρκινογόνο[3].



Εικόνα 3.13: Φωτοβολταϊκό πάρκο με πανέλα καδμίου-τελλουρίου
Πηγή: <http://ee.utep.edu/> [37]

- Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs)

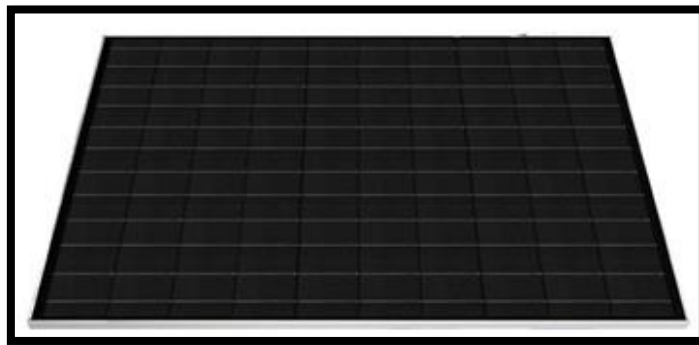
Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators) και επίσης αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας[2]. Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης (έως και 36%), ωστόσο είναι ιδιαίτερα ακριβά[1].



Εικόνα 3.14: Ηλιακοί συλλέκτες Γαλλίου-Αρσενικούχου 10kW τριπλού κόμβου
Πηγή: <http://en.wikipedia.org/> [9]

- Κελιά χαλκού-ινδίου/Γαλλίου - Δισεληνιούχου

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS)[1]. Πιο αναλυτικά: ο δισεληνιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με βάση τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% ανά πλαίσιο. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο[2]. Γενικά τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του **19,9%** που αποτελεί την **υψηλότερη** για κελιά λεπτού υμενίου[1]. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση[2].

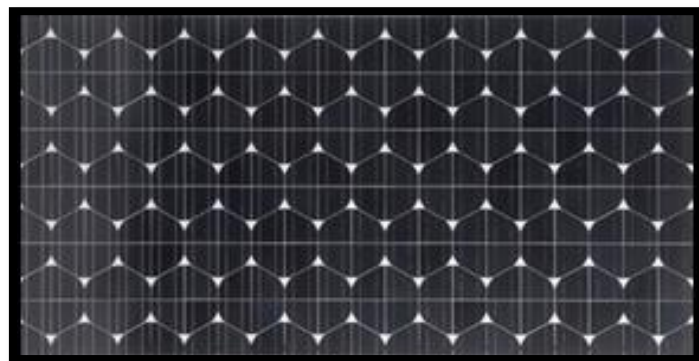


Εικόνα 3.15: Ηλιακός συλλέκτης χαλκού-ινδίου/Γαλλίου - Δισεληνιούχου

Πηγή: <http://www.solarnovus.com/> [40]

3.2.2.3. Υβριδικά ΦΒ στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά φωτοβολταϊκά στοιχεία HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) αποτελούνται από δυο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω), ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει στο 17,2%, γεγονός που σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η υψηλή απόδοση τους σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία[2].

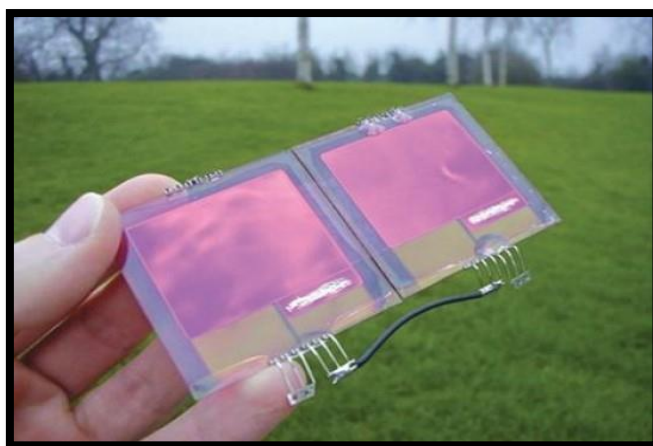


Εικόνα 3.16: Υβριδικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Πηγή: <http://www.uksolarshop.com/> [41]

3.2.2.4. Οργανικά-πολυμερή κελιά

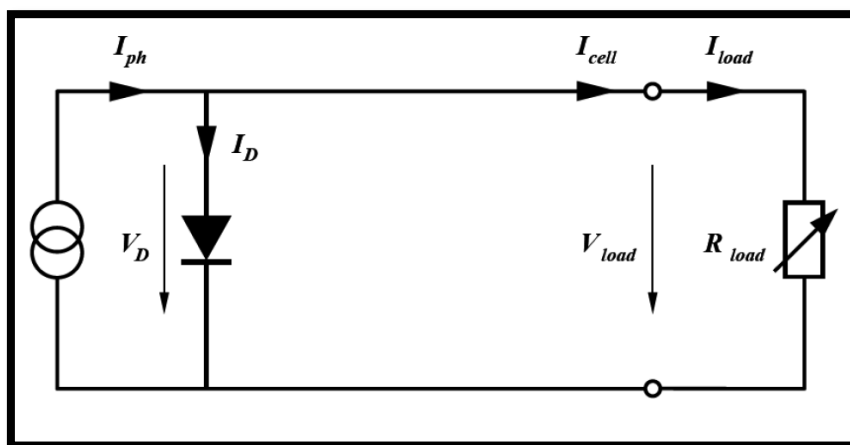
Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία που συναντά κανείς σε μικρό βαθμό ή σε εργαστηριακό επίπεδο. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγώγιμες p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών[1].



Εικόνα 3.17: Οργανικό ηλιακό κελί
Πηγή: <http://web.utk.edu/~opvwshop/> [42]

3.2.3. Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών

Για να προχωρήσουμε σε μια πρώτη προσέγγιση της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια δίοδο και περιγράφεται από το απλούστερο μοντέλο ηλιακού κελιού που ακολουθεί[6]:



Εικόνα 3.18: Απλό μοντέλο ηλιακού κελιού
Πηγή: TEE TMK [1]

Στο μοντέλο αυτό το ρεύμα κελιού I_{CELL} προκύπτει από τη διαφορά του φωτορεύματος I_{PH} , δηλαδή του ρεύματος που παράγεται από την έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανάλογο αυτής, και του ρεύματος της διόδου I_D που δημιουργείται λόγω της ύπαρξης της p-n επαφής. Έτσι, ισχύει η παρακάτω εξίσωση[1]:

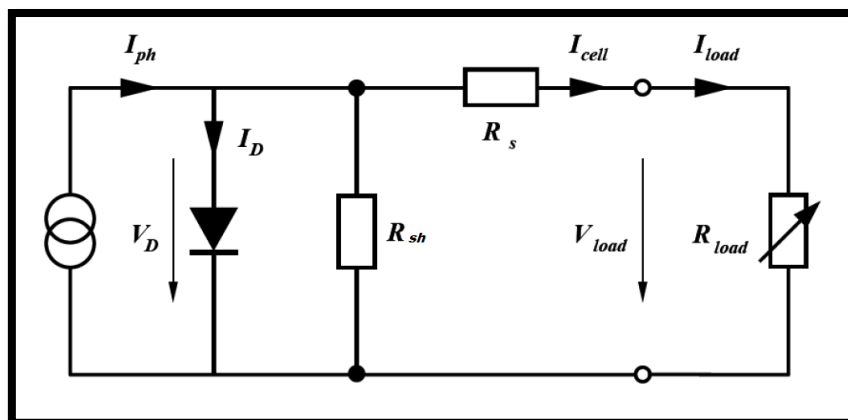
$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0(e^{qV/kT} - 1)$$

όπου:

- I_0 το ρεύμα διαρροής της διόδου,
- k : η σταθερά Boltzmann,
- q : το φορτίο του ηλεκτρονίου,
- V : η τάση στα άκρα της διόδου και
- T : η θερμοκρασία

Από την παραπάνω εξίσωση γίνεται φανερό ότι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ρεύματος σε ένα ηλιακό κελί είναι η ένταση της ακτινοβολίας και η θερμοκρασία[1].

Μια σωστότερη και πιο ρεαλιστική προσέγγιση αποτελεί το παρακάτω ισοδύναμο κύκλωμα[1]:



Εικόνα 3.19: Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις
Πηγή: TEE TMK [1]

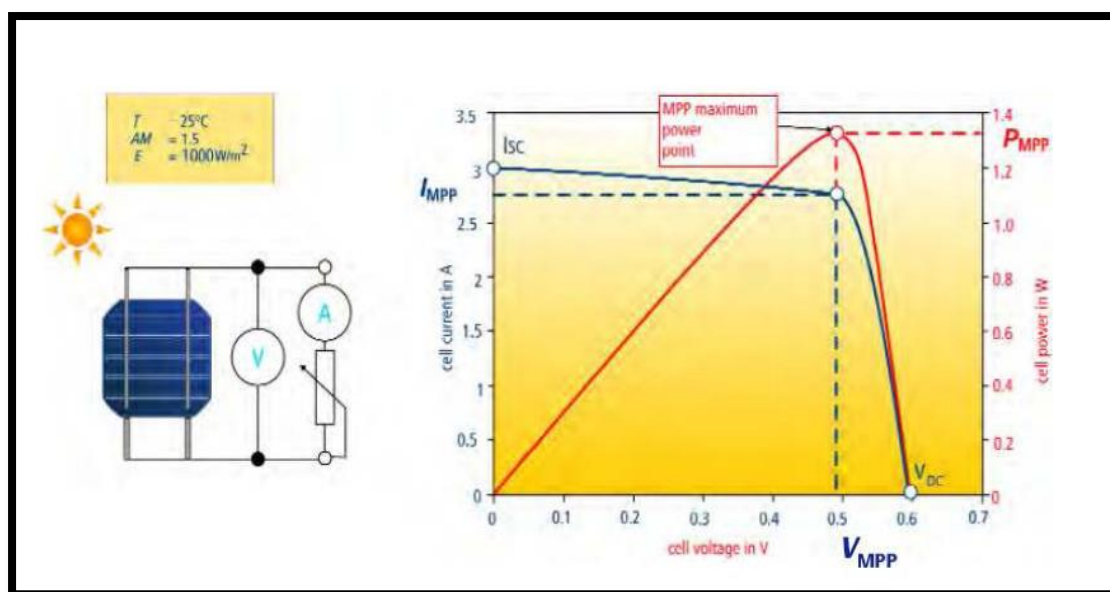
Όπως παρατηρούμε, περιέχει τις αναπόφευκτες αντιστάσεις R_s (από την αγγλική έκφραση series resistance) που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού λόγω επίσης αναπόφευκτων κατασκευαστικών ελαττωμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει επίσης και την παράλληλη αντίσταση R_{SH} (από την αγγλική έκφραση shunt resistance). Συνήθως, στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου η R_s είναι μικρότερη από 5Ω και η R_{SH} είναι μεγαλύτερη από 500Ω . Πάντως, επηρεάζουν αισθητά την τιμή της τάσης V_{LOAD} και του ρεύματος I_{LOAD} που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος R_{LOAD} , με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της

απόδοσης του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή, η εξίσωση που περιγράφει το ηλιακό κελί είναι η εξής[6]:

$$I_{\text{cell}} = I_{\text{ph}} - I_0(e^{q(V_{\text{load}} + I_{\text{cell}}R_s)/kT} - 1) - (V_{\text{load}} + I_{\text{cell}}R_s)/R_{\text{sh}}$$

3.2.4. Χαρακτηριστικές καμπύλες ενός ηλιακού κελιού και STC

Μακροσκοπικά, ένα ηλιακό κελί μοντελοποιείται με την βοήθεια της χαρακτηριστικής του καμπύλης I-V (έντασης – τάσης) ή P-V (ισχύος – τάσης). Τυπικές καμπύλες παρουσιάζονται παρακάτω[1]:



Εικόνα 3.20: Καμπύλες I-V και P-V ενός ηλιακού κελιού

Πηγή: TEE TMK [1]

Για την καλύτερη κατανόηση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου κατασκευάζουμε μια πειραματική διάταξη που διαθέτει ένα βολτόμετρο (V), ένα αμπερόμετρο (A) και μια μεταβλητή αντίσταση[6].

- Όταν η τιμή της αντίστασης είναι μηδέν, δηλαδή στη **βραχυκυκλωμένη κατάσταση**, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} , ενώ η τάση θα μηδενιστεί.
- Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή **στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση**, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται, ενώ η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή V_{oc} .
- Στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ηλεκτρική ισχύς, **P**, που παράγει το στοιχείο είναι **μηδέν**, αφού είναι μηδενική η τάση στην πρώτη περίπτωση και μηδενική η ένταση στην δεύτερη περίπτωση.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, από μηδέν έως άπειρο, η ένταση του ρεύματος και η τάση παίρνουν ενδιάμεσες τιμές όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Παράλληλα,

μεταβάλλεται ομαλά η ισχύς P που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη τιμή P_{MPP} που αντιστοιχεί σε τάση V_{MPP} και ένταση I_{MPP} . Είναι πολύ σημαντικό η **αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή, ώστε σε συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς**[6].

Με στόχο τη δυνατότητα σύγκρισης διαφορετικών κελιών υπό κοινές συνθήκες, ορίστηκαν οι λεγόμενες Πρότυπες Συνθήκες Ελέγχου, περισσότερο γνωστές ως **STC** συνθήκες προερχόμενες από τα αρχικά των λέξεων **Standard Test Conditions**. Οι συνθήκες αυτές αντιστοιχούν σε[1]:

- Ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ίσης προς 1000W/m^2
- Θερμοκρασία κελιού ίση προς 25°C
- Μάζα αέρα (air mass) ίση προς 1.5. Πρόκειται για μια παράμετρο που πρακτικά σχετίζεται με τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου της ατμόσφαιρας. Όταν ο ήλιος βρίσκεται κάθετα στην επιφάνεια της Γης, η ηλιακή ακτινοβολία περνάει μόνο μια φορά διαμέσου του ατμοσφαιρικού αέρα, γεγονός που δηλώνεται ως $AM=1$. Ο παράγων $AM=1.5$, που χρησιμοποιείται ως πρότυπη συνθήκη για τον χαρακτηρισμό των ηλιακών κελιών αντιστοιχεί σε γωνία 41.8° του ήλιου ως προς τον ορίζοντα.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στην θερμοκρασία του κελιού, η οποία είναι συνήθως κατά $25^\circ\text{-}30^\circ\text{C}$ υψηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Συνήθως, οι κατασκευαστές παρέχουν και τα δεδομένα ισχύος στις λεγόμενες **NOCT συνθήκες** (Normal Operating Cell Temperature), οι οποίες αντιστοιχούν σε θερμοκρασία κελιού περί τους $45^\circ\text{-}48^\circ\text{C}$, θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C , ένταση ακτινοβολίας 800W/m^2 , $AM=1.5$ και ταχύτητα ανέμου 1m/s . Τα δεδομένα αυτά, παρέχουν μια περισσότερο ρεαλιστική εικόνα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλιακά κελιά, αναφορικά με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες[1].

3.2.5. Φωτοβολταϊκά πλαίσια

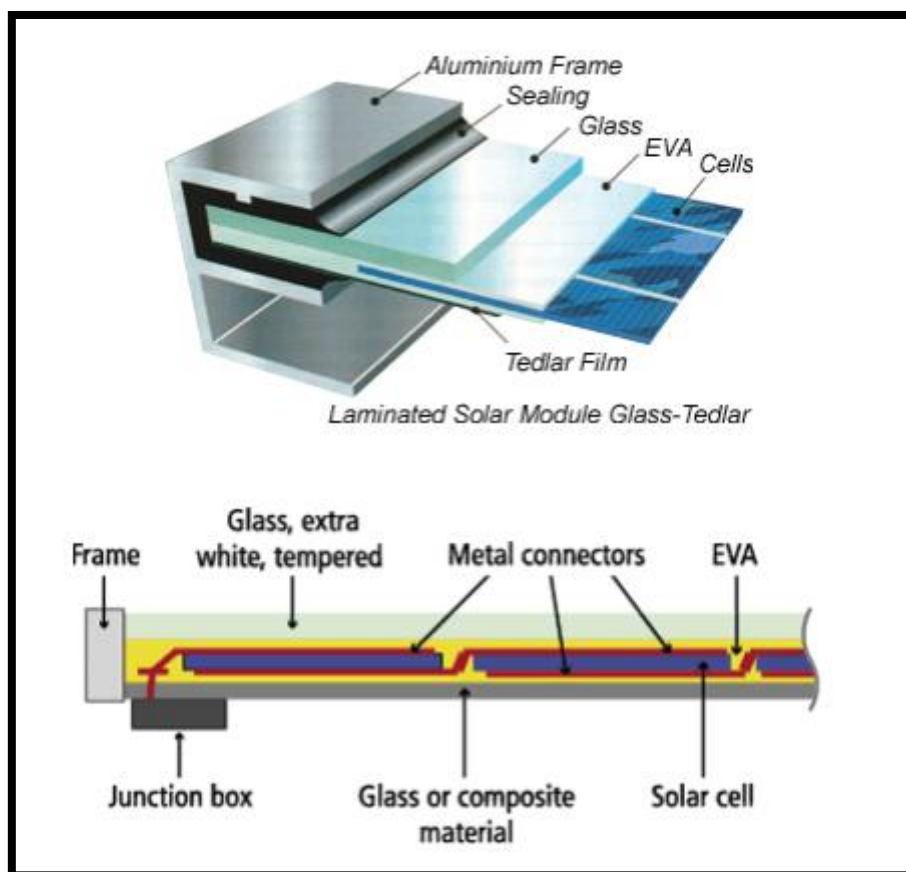
Τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για το σχηματισμό πλαισίων (modules). Το ΦΒ πλαίσιο αποτελεί τη βασική κατασκευαστική μονάδα που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία κάθε ΦΒ εγκατάστασης, ανεξαρτήτως μεγέθους εγκατεστημένης ΦΒ ισχύος. Ο αντίστοιχος αγγλικός όρος «PV module» παραπέμπει στη λατινική λέξη «modulus» που σημαίνει μονάδα-μέτρο. Το ΦΒ πλαίσιο συνιστά **ενιαία στοιχειοσειρά** τοποθετημένη επάνω σε κοινό φέρον υπόστρωμα. Συνεπώς, περιλαμβάνει **πολλά, όμοια απολύτως ΦΒ στοιχεία, συνδεδεμένα σε σειρά**, με σκοπό την αύξηση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Ως προς την ονοματολογία θα πρέπει, επίσης, να αποσαφηνιστεί ότι ενίοτε χρησιμοποιείται εσφαλμένα ο όρος «ηλιακό πανέλο» αντί του ΦΒ πλαισίου, κατ' αντιστοιχία του αγγλικού όρου «solar panel». Όμως, η ορολογία αυτή συνίσταται να αποφεύγεται διεθνώς επειδή δημιουργεί σύγχυση όρων[5].

Τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, δηλαδή η άνω όψη του ενός (υλικό τύπου n) συνδέεται ηλεκτρικά με την πίσω όψη (υλικό τύπου p) του στοιχείου που ακολουθεί. Οι συγκολλήσεις αυτών των ηλεκτρικών συνδέσεων συνιστούν το

πλέον ευπαθές σημείο της όλης κατασκευής ενός ΦΒ πλαισίου και θα πρέπει να προφυλάσσονται σημαντικά[5].

Για το σκοπό αυτό, στα πλαίσια υψηλών απαιτήσεων, όλη η στοιχειοσειρά εγκιβωτίζεται σε διαφανή ρητίνη, προκειμένου να αποκλειστεί η διείσδυση της υγρασίας στο εσωτερικό και να διασφαλιστεί η μηχανική σταθερότητα της δομής. Η διαφανής ρητίνη εγκιβωτισμού των διασυνδεδεμένων ΦΒ στοιχείων εγκλείεται σε ενισχυμένο γυαλί, το οποίο εμπεριέχει υμένιο προστασίας που προσφέρει αυξημένη μηχανική αντοχή σε εγκάρσιες μηχανικές καταπονήσεις ενώ συγχρόνως παγιδεύει την ακτινοβολία μεταξύ των δυο υάλινων πλαισίων[5].

Τα δυο άκρα της στοιχειοσειράς (θετικό και αρνητικό) απολήγουν στους εξωτερικούς ακροδέκτες, που εμπεριέχονται στα κιβώτια των ηλεκτρικών συνδέσεων. Εκεί συνδέονται και οι εξωτερικές καλωδιώσεις που απαιτούνται για την ηλεκτρική συνδεσμολογία μεταξύ των γειτονικών πλαισίων. Περιμετρικά, το πλαίσιο περιβάλλεται από μεταλλικό σκελετό κατασκευασμένο από ανοξείδωτο αλουμίνιο, το οποίο είναι ανθεκτικό στη διάβρωση. Το μεταλλικό πλαίσιο πάντοτε γειώνεται εξωτερικά με μονόκλωνο χάλκινο αγωγό ικανής διατομής[5].



Εικόνα 3.21: Η τομή και τα κυριότερα τμήματα που συνθέτουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο
Πηγή: <http://www.helapco.gr/> [32]

3.2.6. Φωτοβολταϊκές συστοιχίες

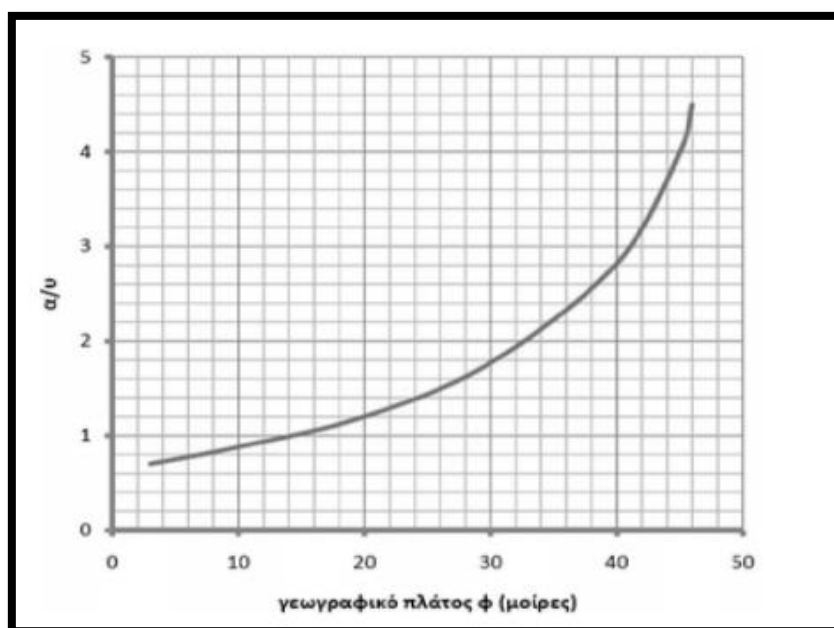
Μια ομάδα φωτοβολταϊκών πλαισίων, συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, που τοποθετούνται σε κοινή συσκευή στήριξης ονομάζεται **φωτοβολταϊκή συστοιχία** (PV array)[6]. Ο αγγλικός όρος «array» παραπέμπει στην αρχαία γαλλική λέξη «areer», που σημαίνει «τοποθετώ σε τάξη»[5]. Πολλές ΦΒ συστοιχίες σχηματίζουν ένα **υποσυγκρότημα συστοιχιών** (array subfield) και το σύνολο των υποσυγκροτημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών (array field) ή το **ΦΒ πάρκο** (PV park) του ΦΒ σταθμού[6].

Η σύνδεση των ΦΒ πλαισίων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Ωστόσο, για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός ΦΒ συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των ΦΒ στοιχείων μέσα στα πλαίσια, ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια, να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Έτσι, αν ένα ΦΒ στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει μια βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα, όπως θα συνέβαινε αν όλα τα ΦΒ στοιχεία ήταν συνδεδεμένα σε σειρά[6].

Κατά την τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων μια συστοιχίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δεν πρέπει η μια σειρά πλαισίων να σκιάζει αισθητά την επόμενη. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δυο γειτονικών σειρών γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο[18]:

1. Υπολογισμός της **ελεύθερης απόστασης α** μεταξύ δυο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων.

Γνωρίζοντας το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου μελέτης μας και χρησιμοποιώντας το εμπειρικό μοντέλο της εταιρίας *Monegon*, υπολογίζουμε το λόγο α/u .



Εικόνα 3.22: Καμπύλη του λόγου α/u σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου
Πηγή: <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jsptui/> [33]

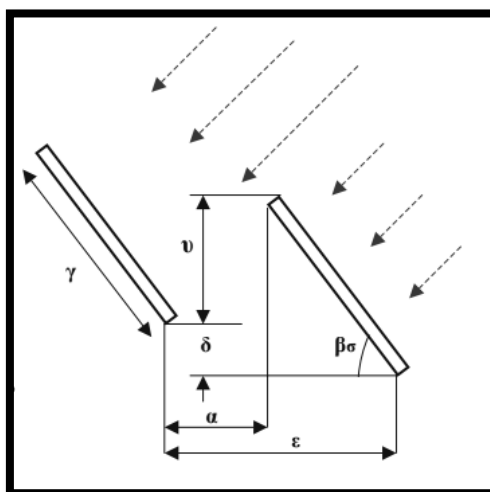
2. Υπολογισμός της επικάλυψης του **ύψους (u)** της κατασκευής στήριξης συλλέκτη.

Γνωρίζοντας τον λόγο α/u , λύνουμε ως προς u και αντικαθιστούμε στον ακόλουθο τύπο:

$$u = \gamma \sin(\beta_{\sigma}) \pm \delta$$

- γ : το μήκος των ΦΒ πλαισίων και β_{σ} : η κλίση του συλλέκτη,
- δ : η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δυο σειρών ΦΒ πλαισίων (το πρόσημο γίνεται “-” όταν η κλίση του εδάφους είναι ευμενής, δηλαδή όταν υπάρχει υπερύψωση της βορινής πλευράς και “+” όταν είναι δυσμενής, όπου υπάρχει υπερύψωση της νότιας πλευράς).

Μετά την αντικατάσταση, θα προκύψει μια νέα σχέση που θα συνδέει την ελεύθερη απόσταση α με την υψομετρική διαφορά δ .



Εικόνα 3.23: Διάταξη ΦΒ πλαισίων σε παράλληλες σειρές
Πηγή: <http://www.eng.auth.gr/gr/archiki.html> [18]

3. Υπολογισμός της **ελάχιστης απόστασης (ε)** μεταξύ **δυο γειτονικών σειρών**:

Αντικαθιστώντας στον ακόλουθο τύπο όπου α την σχέση συναρτήσει του δ που προέκυψε και όπου $\epsilon = \delta / \kappa_{\epsilon}$ (κ_{ϵ} : η κλίση του εδάφους), υπολογίζουμε την υψομετρική διαφορά δ . Γνωρίζοντας, πλέον, όλα τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζουμε την ελάχιστη απόσταση ϵ .

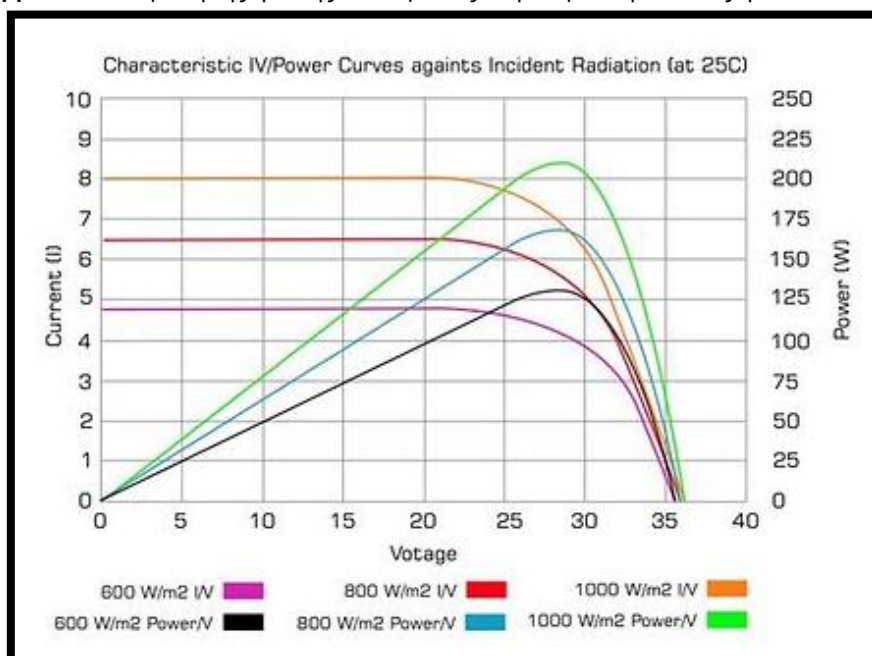
$$\epsilon = \alpha + \gamma \cos(\beta_{\sigma})$$

3.2.7. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία αποτελούν τους δυο κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας από ένα ηλιακό κελί[1]. Πιο αναλυτικά:

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά (σχεδόν ανάλογα) στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες κελιού[1]. Η εντονότερη ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ λόγω του υψηλότερου ρεύματος mpp . Η τάση ανοιχτού κυκλώματος και η τάση mpp παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες[34].

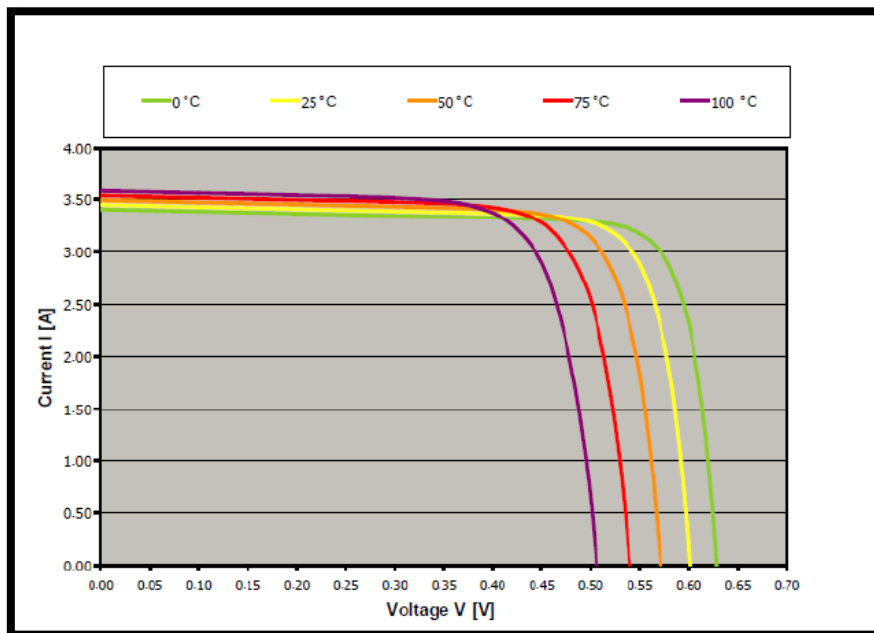
Διάγραμμα 3.1: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού.



Πηγή: <http://www.lmco.gr/#!/faq/cx4a> [34]

- Η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού κελιού. Ειδικότερα, η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται σημαντικά με μείωση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά. Συνολικά, η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας[1].

Διάγραμμα 3.2: Επίδραση της θερμοκρασίας στην I–V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κελιού.



Πηγή: TEE TMK [1]

Άλλοι παράγοντες η οποίοι επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β συστημάτων είναι οι εξής:

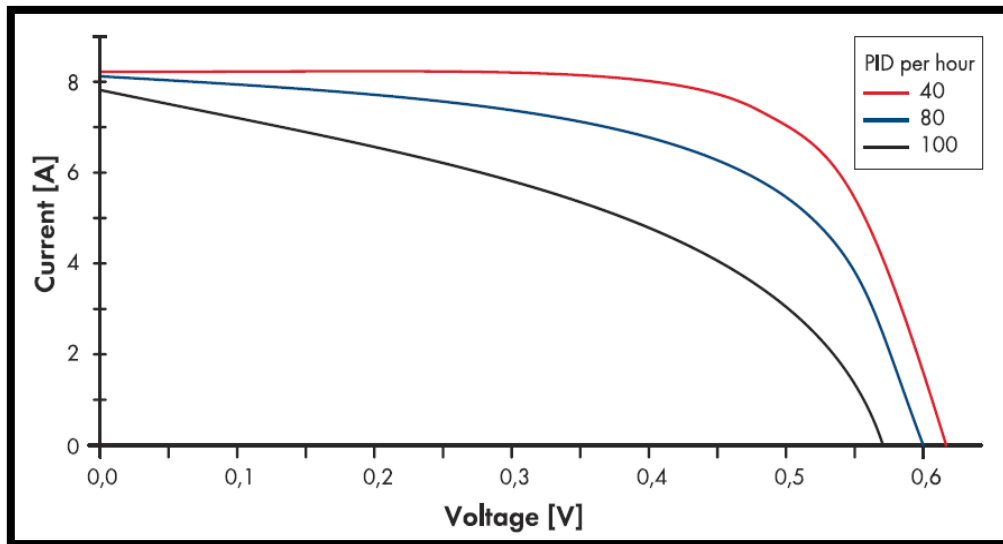
- **Φαινόμενο PID:** Το PID (**P**otential **I**nduced **D**egradation) είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οδηγεί σε σταδιακή μείωση της απόδοσης τους, αγγίζοντας και το **30%** μετά από λίγα χρόνια, ακόμα και σε κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια πυριτίου Si. Ωστόσο, σαν φαινόμενο άργησε συγκριτικά να εξαπλωθεί και να ανιχνευτεί. Πιο αναλυτικά[19]:

Η γείωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και το δυναμικό της, διαμορφώνεται σύμφωνα με το δυναμικό του συνδεδεμένου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και τη διαστασιολόγηση του μετατροπέα. Στην ιδανική περίπτωση, ο θετικός και αρνητικός πόλος της στοιχειοσειράς, πρέπει να είναι συμμετρικοί ως προς το δυναμικό του (γειωμένου) ουδέτερου αγωγού. Για παράδειγμα, εάν η MPP τάση της στοιχειοσειράς είναι 400 V, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο στον αρνητικό πόλο έχει ένα δυναμικό - 200 V ενώ το πλαίσιο στο θετικό πόλο της στοιχειοσειράς έχει ένα δυναμικό +200 V. Παρατηρήθηκε, λοιπόν, ότι ένα θετικό ή αρνητικό δυναμικό ως προς τη γη μπορεί να έχει ανεπιθύμητες παρενέργειες ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου.

Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κυρίως στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, που βρίσκεται πλησιέστερα στον αρνητικό πόλο. Το δυναμικό (τάση προς γη) των φωτοβολταϊκών κυψελών κυμαίνεται συνήθως, ανάλογα με το μήκος μίας στοιχειοσειράς και τον τύπο συσκευής του χρησιμοποιούμενου μετατροπέα, μεταξύ - 200 V και - 350 V. Αντίθετα, το πλαίσιο (frame) των φωτοβολταϊκών μονάδων έχει δυναμικό 0 V, επειδή πρέπει να είναι γειωμένο για λόγους ασφαλείας. Λόγω αυτής της ηλεκτρικής τάσης, μεταξύ των φωτοβολταϊκών κυψελών και του πλαισίου μπορεί να απελευθερωθούν ηλεκτρόνια από τα

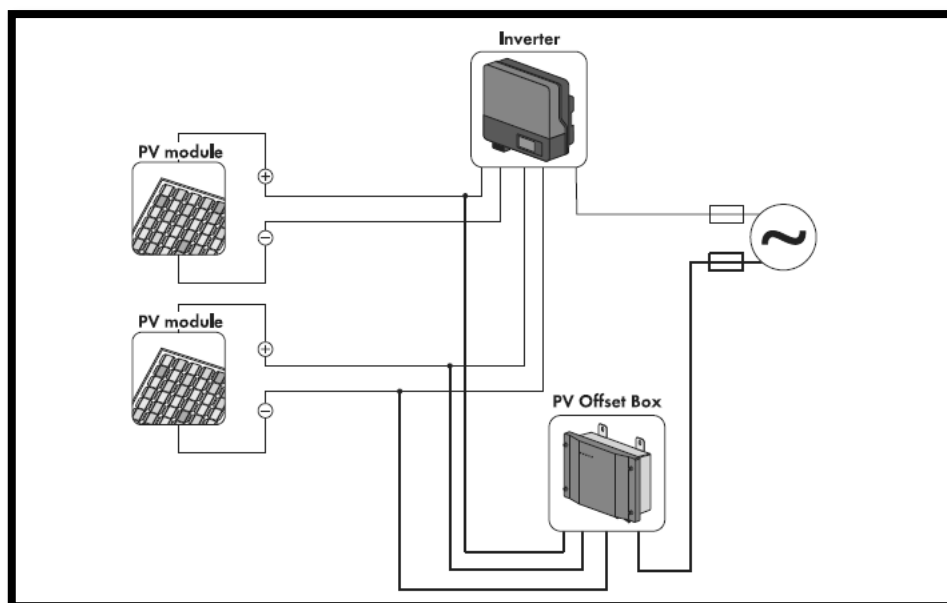
χρησιμοποιούμενα στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο υλικά, τα οποία ρέουν μέσω του γειωμένου πλαισίου. Έτσι παραμένει μία φόρτιση (πόλωση), η οποία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη χαρακτηριστική καμπύλη των φωτοβολταϊκών κυψελών.

Διάγραμμα 3.3: Η χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου πριν από τη διαδικασία μείωσης της απόδοσης και κατά τη διάρκεια αυτής. Χαρακτηριστική είναι μία εξομάλυνση της χαρακτηριστικής καμπύλης, όπου η τάση χωρίς φορτίο και το ρεύμα βραχυκύκλωσης διατηρούνται σχεδόν χωρίς μεταβολή, αλλά η μέγιστη ισχύς (MPP) μειώνεται έως και 30 % ή περισσότερο.



Πηγή: <http://energypress.gr/> [19]

Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με μετατροπείς γαλβανικής απομόνωσης, το PID μπορεί να προληφθεί με αξιοπιστία, με γείωση του αρνητικού πόλου της γεννήτριας, καθώς αυτό μετατοπίζει το δυναμικό ολόκληρης της στοιχειοσειράς στο θετικό. Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με μετατροπείς άνευ μετασχηματιστή, το απαιτούμενο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το **PV Offset Box**. Το PV Offset Box αξιοποιεί το γεγονός ότι το φαινόμενο PID είναι αναστρέψιμο και εξελίσσεται αργά. Πώς λειτουργεί: εάν η τάση της στοιχειοσειράς πέσει κάτω από ένα καθορισμένο όριο, μετά το ηλιοβασίλεμα, το PV Offset Box ανεβάζει το δυναμικό της σε ένα υψηλό θετικό (μεταξύ +400 V και +1000 V με τη γη), αντιστρέφοντας την επίδραση της πόλωσης η οποία συνέβη κατά τη λειτουργία. Ενώ όταν χρησιμοποιείται σε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια η οποία έχει ήδη επηρεαστεί από PID για μια παρατεταμένη χρονική περίοδο, η πλήρης αναζωογόνηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων διαρκεί περίπου το μισό της περιόδου υποβάθμισης.



Εικόνα 3.24: Σύνδεση του PV Offset Box στο κύκλωμα για την αντιμετώπιση του φαινομένου PID
Πηγή: <http://energypress.gr/> [19]

- Ρύπανση σωματιδιακής προέλευσης: Στην άνω όψη των ΦΒ θα επικαθίσουν σωματιδιακοί ρυπαντές, ή σκόνη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η τελική ακτινοβολία που εισχωρεί στα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου, σε ποσοστά που κυμαίνονται από 5% - 15%. Το φαινόμενο είναι γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως "soiling". Αξίζει να επισημανθεί ότι οι παράπλευρες αγροτικές ασχολίες συμβάλλουν τα μέγιστα στη μείωση της απόδοσης (λόγω γύρης την άνοιξη, π.χ. από τον ανθό της ελιάς, αλλά και επικαθίσεις σκόνης από το όργωμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης). Στις περιπτώσεις αυτές, η μείωση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος στην πράξη ενδέχεται να ξεπερνάει ακόμα και το 15%. Για όλους τους παραπάνω λόγους οι επιφάνειες των ΦΒ πλαισίων μιας εγκατάστασης πρέπει να καθαρίζονται περιοδικά[5].
- Γήρανση: Λόγω της φθοράς στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% έως 2% για κάθε έτος[6].
- Ηλεκτρικές απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος: Οφείλονται στους αγωγούς που συνδέουν τα φ/β πλαίσια στις φ/β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του φ/β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κλπ). Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες, απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στην φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά την λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φ/β συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση, και για την κάλυψη

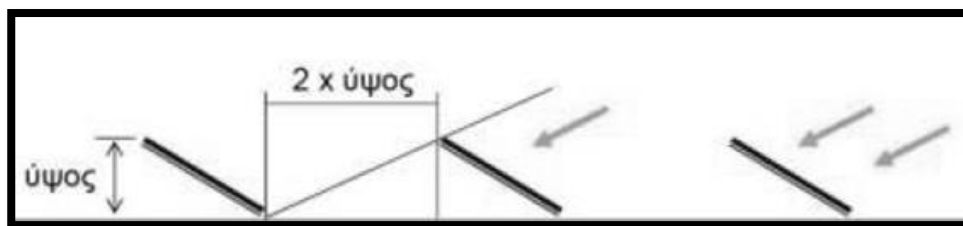
όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης του 20% ως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο[6].

- **Σκίαση:** Δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κλπ) ή από παροδικά και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα φαινόμενα (π.χ. σύννεφα)[1].

Μια λύση που εφαρμόζεται συνήθως, στην περίπτωση πλήρους σκίασης κελιού, είναι η προσθήκη **διόδων παράκαμψης (bypass diodes)** συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι δίοδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου αυτής της διόδου, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας[1].

Η χρήση μιας διόδου παράκαμψης ανά κελί είναι αρκετά δαπανηρή και στην πράξη συνήθως χρησιμοποιείται μια δίοδος ανά 10 κελιά. Οι δίοδοι αυτοί περιλαμβάνονται στο κιβώτιο σύνδεσης στο πίσω μέρος του κάθε πλαισίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δίοδοι παράκαμψης δεν προκαλούν απώλειες σε κανονικές συνθήκες όταν δεν διαρρέονται από ρεύμα ενώ επιτρέπουν τη ροή ρεύματος από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε μειωμένη βέλτεια τάση και ισχύ[1].

Οι επιπτώσεις της σκίασης είναι σημαντικές και για αυτό το λόγο είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν. Αξίζει να αναφέρουμε ότι για την αποφυγή σκιάσεων σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί[1]:



Εικόνα

3.25: Χωροθέτηση σειρών πάνελ
Πηγή: TEE TMK [1]

3.3. Συστατικά μέρη φωτοβολταϊκών συστημάτων

Στις επόμενες παραγράφους, προχωρούμε σε μια αναλυτική παρουσίαση των μερών ενός φ/β συστήματος.

3.3.1. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια αποτελείται από φωτοβολταϊκές συστοιχίες και είναι ένας διαφορετικός τρόπος να ονομάσουμε το σύνολο των φωτοβολταϊκών πανέλων. Αν και έχουμε αναφερθεί ήδη σε κάποιες προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούνται, θα τις συνοψίσουμε προσθέτοντας και άλλες[20].

- **Κυψέλη:** Ο συνδυασμός αποδοτικών κυψελών με όμοιες ηλεκτρικές ιδιότητες οδηγεί στον υψηλό βαθμό απόδοσης της φ/β γεννήτριας και τη μεγάλη διάρκεια ζωής της. Οι κυψέλες που διαθέτουν τρεις μπάρες τροφοδοσίας, μπορούν να διαχειριστούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποτελεσματικότερα, επιτρέποντας στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να διανεμηθεί καλύτερα, ενώ ταυτόχρονα περιορίζουν τις ωμικές απώλειες μεταξύ των συνδέσεων των κυψελών.
- **Ηλιακό γυαλί:** Για το ηλιακό γυαλί, οι επιλογές είναι ατελείωτες. Ο ρόλος του είναι να διοχετεύσει όσο το δυνατόν περισσότερο ηλιακό φως στην επιφάνεια της κυψέλης. Οι συμβατικοί τύποι γυαλιού (heavily-structured), τείνουν να προσελκύουν ρύπους, που με την πάροδο του χρόνου θα οδηγήσουν σε μείωση της παραγωγικής ικανότητας της μονάδας. Για τις Ευρωπαϊκές χώρες, ο μικροδομημένος (micro-structured) θεωρείται ο ιδανικός τύπος γυαλιού. Πρόκειται για ένα γυαλί ειδικής επεξεργασίας καθώς μπορεί να αυτό-καθαρίζεται με τη βροχή.
- **Πλαίσιο φωτοβολταϊκής γεννήτριας:** Τα πιο στιβαρά και σταθερά φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι εκείνα που κατασκευάζονται από ανοδιωμένο αλουμίνιο και δεν πρέπει να φέρουν σε καμία περίπτωση κοιλότητες, για την αποφυγή σχηματισμού πάγου στην επιφάνειά τους κατά τους χειμερινούς μήνες.
- **Κυτίο διασύνδεσης (junction box):** Κατασκευάζεται από πολυεστέρα και τοποθετείται στην πίσω πλευρά του φ/β πλαισίου όπου συγκολλείται με τους ακροδέκτες του φ/β πλαισίου[21]. Πρέπει να είναι ανθεκτικό στην φωτιά και να αποτρέπει την είσοδο της υγρασίας και του αέρα. Λανθασμένη κατασκευή ή κακοτεχνίες μπορούν, υπό ορισμένες συνθήκες, να δημιουργήσουν κίνδυνο πυρκαγιάς για το σύνολο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.
- **Δίοδοι παράκαμψης:** Βοηθούν στη βέλτιστη λειτουργία της φ/β γεννήτριας, ακόμη και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες λειτουργίας ή συνθήκες μερικής σκίασης. Οι καλές φ/β γεννήτριες έχουν αρκετές διόδους παράκαμψης, κάθε μια από τις οποίες συνδέεται με ένα μέγιστο αριθμό κυψελών (16-20).
- **Ανοχές ισχύος:** Οι θετικές ανοχές ισχύος θα οδηγήσουν σε βέλτιστη ενεργειακή παραγωγή, καθώς εξασφαλίζουν αξιόλογη αύξηση ισχύος.
- **Απόδοση σε συνθήκες χαμηλής ηλιοφάνειας:** Επειδή κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν έχουμε πάντα ιδανικές συνθήκες ηλιοφάνειας, οι φ/β γεννήτριες πρέπει να έχουν υψηλή απόδοση και σε αυτές τις συνθήκες, για βέλτιστες δυνατές μέσες ετήσιες αποδόσεις ενέργειας.

- **Μηχανική Αντοχή σε ανεμοπιέσεις και φορτία χιονιού:** Τα μέγιστα επιτρεπόμενα μηχανικά φορτία της τάξης των 6.000 Pascal παρέχουν την απαραίτητη στατική ασφάλεια.
- **Εγγύηση προϊόντος:** Οι περίοδοι εγγυήσεων για τις φ/β γεννήτριες πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 έτη για το προϊόν ενώ οι εγγυήσεις απόδοσης ισχύος τουλάχιστον για 20 έτη.
- **Πιστοποιήσεις για την κατασκευή των Φωτοβολταϊκών:** Η πιστοποίηση κατασκευής των φωτοβολταϊκών γεννητριών σύμφωνα με **ISO 9001** και **ISO 14001** είναι σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του παρεχόμενου προϊόντος.

3.3.2. Αναστροφείς

Με τον όρο αναστροφέα (inverter) νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος, η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των φ/β πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V (ανά φάση) και συχνότητας 50Hz. Οι αναστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μια φ/β εγκατάσταση καθώς όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο[1]. Ο inverter είναι «υπεύθυνος» για την επιτήρηση όλου του συστήματος. Αν για παράδειγμα, εντοπιστεί κάποια βλάβη στο δημόσιο δίκτυο ή στη φ/β γεννήτρια ή στην καλωδίωση, θα «ενημερώσει» και θα «πράξει» αναλόγως. Κατά συνέπεια, έχει ιδιαίτερη σημασία οι αναστροφείς να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση[20].

3.3.2.1. Κατηγορίες αναστροφέων

Ανάλογα με τον τύπο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και τις εργασίες που επιτελούν, οι αναστροφείς κατατάσσονται σε[5]:

- Αναστροφείς αυτόνομων συστημάτων (stand – alone inverters),
- Αναστροφείς διασυνδεδεμένοι με το δίκτυο (grid – tied inverters),
- Αναστροφείς δικτύου που υποστηρίζονται από συσσωρευτές (battery back – up inverters).

Οι αναστροφείς αυτόνομων συστημάτων χρησιμοποιούνται στα μη διασυνδεδεμένα με το τοπικό δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα και μετατρέπουν την παραγόμενη τάση από DC σε AC, ώστε να είναι κατάλληλη για χρήση στις AC καταναλώσεις του φορτίου. Οι παραγόμενες κυματομορφές AC έχουν συχνότητα 50Hz και μπορούν να έχουν τη μορφή: τετραγωνικών παλμών, ημιτονοειδή ή / και τροποποιημένων τετραγωνικών παλμών, και ημιτονική[5].

Οι αναστροφείς των διασυνδεδεμένων εγκαταστάσεων παρέχουν στην έξοδό τους ημιτονική τάση της ίδιας συχνότητας και ίδιου πλάτους με την τάση.

Διευκρινίζεται ότι για τους αναστροφείς της συγκεκριμένης κατηγορίας δεν προβλέπεται για την εγκατάσταση η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές[5].

Οι αναστροφείς δικτύου που υποστηρίζονται από συσσωρευτές αποτελούν μια ειδική κατηγορία αναστροφών. Προορίζονται κυρίως για τη διασύνδεση με το τοπικό δίκτυο και τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο (ΔΕΗ). Η ιδιαιτερότητα τους έγκειται στο γεγονός ότι στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση υπάρχει και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές. Οι αναστροφείς αντλούν την ενέργεια από το φ/β πεδίο, ελέγχουν την τελική κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών και μεταφέρουν την περίσσεια της ενέργειας προς το τοπικό δίκτυο[5].

Οι αναστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με **το είδος της τάσης** που παράγουν σε[1]:

- Μονοφασικούς αναστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10 – 11kW.
- Τριφασικούς αναστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6 – 7kW έως και 1MW.

Τονίζεται ότι η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αναστροφών σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ οι εγκαταστάσεις άνω των 100kW πρέπει να συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ[1].

Ανάλογα με **τη χρήση ή όχι μετασχηματιστή** ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο, οι αναστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες[1]:

- Αναστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer),
- Αναστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless inverters).

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αναστροφέα είναι η απομόνωσης της DC πλευράς, η οποία συνδέεται με τα φ/β πάνελ, από την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι κατασκευασμένοι για συχνότητα 50Hz ή για υψηλότερη συχνότητα της τάξης των 10 – 15kHz. Οι μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος. Αντιθέτως, οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται από πιο εξειδικευμένη κατασκευή[1].

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης του μετασχηματιστή πέραν του αυξημένου κόστους ανά μονάδα ισχύος, είναι αυτό της εισαγωγής επιπλέον απωλειών που κυμαίνονται μεταξύ 2 – 4%. Ωστόσο, είναι πιθανόν και οι αναστροφείς χωρίς μετασχηματιστή να εμφανίζουν αυξημένες απώλειες αν χρησιμοποιούνται μετατροπείς ανύψωσης της DC τάσης των φ/β πάνελ (DC/DC μετατροπείς ανύψωσης). Επιπλέον, η έλλειψη γαλβανικής απομόνωσης στους αναστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, επιβάλλεται η χρήση αναστροφών με μετασχηματιστή. Μια τέτοια περίπτωση είναι

αυτή των πάνελ άμορφου πυριτίου, όπου υποχρεωτικά συνδέονται σε αναστροφείς με μετασχηματιστή απομόνωσης[1].

Πίνακας 3.2: Σύγκριση των αναστροφών με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή.

	Αναστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)	Αναστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless – TL)
Χαρακτηριστικά	• Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες • Ευρεία χρήση • Κύρια χρήση σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος	• Η τάση των φ/β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτος της τάσης δικτύου, είτε να χρησιμοποιηθούν DC/DC μετατροπείς ανύψωσης
Πλεονεκτήματα	• Ασφάλεια • Πολλά χρόνια λειτουργίας • Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών	• Μεγαλύτερη απόδοση (σε συσκευές χωρίς DC/DC μετατροπείς) • Μικρότερος όγκος και βάρος
Μειονεκτήματα	• Απώλειες μετασχηματιστή (μαγνητικές και ωμικές) • Αυξημένος όγκος και βάρος	• Μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφαλείας • Μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασυμμετρίες • Μεταβολές του σημείου λειτουργίας

Πηγή: TEE TMK [1]

Ένας επιπλέον διαχωρισμός των αναστροφών γίνεται με κριτήριο **την τεχνολογία διασύνδεσης των φ/β πάνελ**. Έτσι προκύπτουν οι[1]:

- Κεντρικοί αναστροφείς (central inverters),
- Αναστροφείς κλάδων ή συστοιχιών (string inverters),
- Αναστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters),
- Αναστροφείς με ενσωμάτωση σε φ/β πάνελ (module integrated inverters).

Στη συνέχεια αναλύονται ξεχωριστά τα κυριότερα πλεονεκτήματα κάθε εναλλακτικού τύπου αναστροφέα, από τους παραπάνω, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια φ/β εγκατάσταση.

3.3.2.1.1. Κεντρικός αναστροφέας (central inverter)

Ολόκληρη η ισχύς της εγκατάστασης του φ/β πεδίου αποδίδεται προς έναν κύριο αναστροφέα, όποτε έχουμε τη διάταξη του κεντρικού αναστροφέα. Οι σχεδιασμοί των εγκαταστάσεων που βασίζουν τη λειτουργία τους σε κεντρικούς αναστροφείς προτιμώνται κυρίως για τα πολύ μεγάλα φ/β συστήματα (για εγκαταστάσεις άνω των 100kW[5]. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι αναστροφείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4 / 20kV ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο MT της ΔΕΗ[1].

Αρχικά, στους κεντρικούς αναστροφείς χρησιμοποιήθηκαν θυρίστορ με χαμηλές συχνότητες μεταγωγής και αυξημένες ανάγκες χρήσης φίλτρων. Ωστόσο, με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα θυρίστορ αντικαταστάθηκαν από τρανζίστορ IGBT με μεγαλύτερες συχνότητες μεταγωγής, τα οποία σε συνδυασμό με την ανάπτυξη εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) υλοποιούμενων ψηφιακά, οδήγησαν τους κεντρικούς αναστροφείς στην δημιουργία σχεδόν ημιτονοειδών ρευμάτων εξόδου με χαμηλές απαιτήσεις χρήσεις φίλτρων[1].

Οι κεντρικοί μετατροπείς χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό εισόδων DC (συνήθως 1 – 2 εισόδους). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ, τα οποία πρέπει να συνδεθούν στην είσοδο τους, επιβάλλει την εκτεταμένη χρήση DC καλωδίων σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες αναστροφέων, όπου η καλωδίωση μπορεί να γίνει με AC[1].

3.3.2.1.2. Αναστροφέας κλάδων ή συστοιχιών (string inverter)

Αποτελούν αδιαμφισβήτητα την περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία αναστροφέων σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων (strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2 - 8)[1].

Οι αναστροφείς αυτού του τύπου κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή, καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW). Διαθέτουν αρκετή ευελιξία αναφορικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, αρκεί φυσικά να μην παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Επιπλέον, είναι σκόπιμο να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό πάνελ[1].

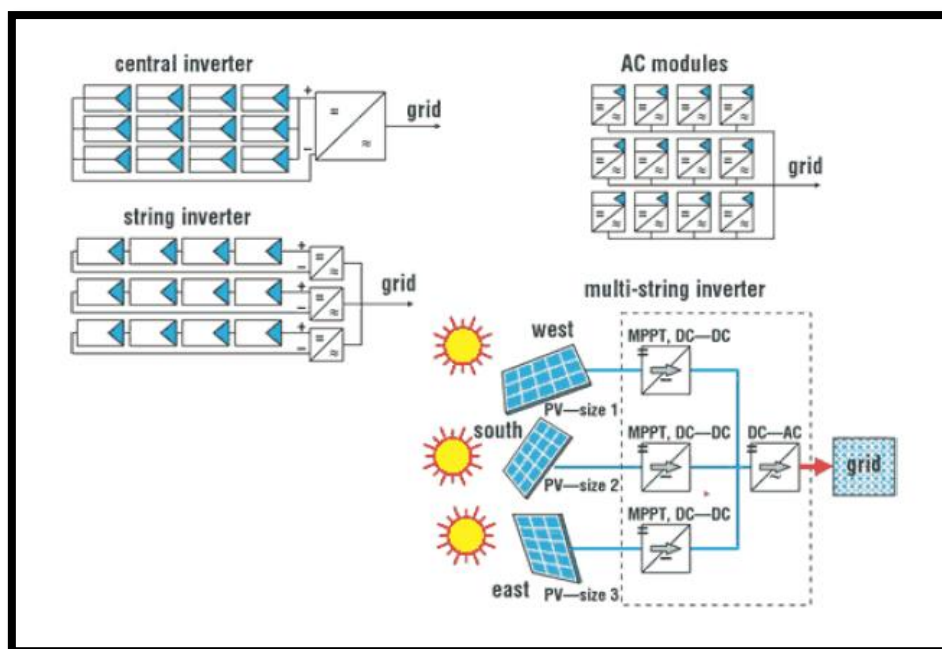
3.3.2.1.3. Αναστροφέας πολλαπλών κλάδων (multi-string inverter)

Χρησιμοποιείται όταν είναι απαραίτητο να συνδεθούν σε αυτόν διαφορετικά πάνελ με κριτήριο την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή, κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς. Χρησιμοποιείται, επίσης, σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ καθώς και όταν μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης. Λόγω του ειδικού χαρακτήρα της χρήσης τους, η διαθεσιμότητα μοντέλων multi-string είναι σαφώς περισσότερο περιορισμένη από ότι σε συμβατικούς string inverters[1].

3.3.2.1.4. Αναστροφέας με ενσωμάτωση σε φ/β πάνελ (module integrated inverter)

Ο κάθε αναστροφέας αυτού του τύπου ελέγχει ένα μόνο φ/β πλαίσιο ανεξάρτητα, οπότε έχουμε τα επονομαζόμενα «AC πλαίσια / AC modules». Οι αναστροφείς αυτοί αναφέρονται πλέον και ως **μικρο-αναστροφείς (micro-inverters)**. Η επιλογή τους ενδείκνυται για αξιόπιστες φ/β εγκαταστάσεις μικρής ισχύος (έως περίπου 300W)[5].

Το κύριο μειονέκτημα της άμεσης σύνδεσης των αναστροφών στα φ/β πλαίσια είναι ότι οι αποδόσεις τους είναι συνήθως μικρότερες από τις αποδόσεις των άλλων αναστροφών. Η όποια διαφορά, όμως, στην απόδοση αντισταθμίζεται από την καλύτερη ρύθμιση στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος των φ/β πλαισίων που παρέχουν οι μικρο-αναστροφείς. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις έντονης τοπικής σκίασης, διαφορετικών κλίσεων μεταξύ των πλαισίων λόγω αρχιτεκτονικών περιορισμών και έντονης τοπικής επικάλυψης σωματιδιακής υφής. Ένα άλλο μειονέκτημα των AC πλαισίων συνδέεται με τον υπερβολικό αριθμό των μικρο-αναστροφών που απαιτούνται για μια εγκατάσταση, γεγονός που ενδεχομένως συνεπάγεται αυξημένη πολυπλοκότητα και μεγαλύτερη συχνότητα βλαβών[5].



Εικόνα 3.26: Οικογένεια αναστροφών
Πηγή: TEE TMK [1]

3.3.2.2. Βασικά χαρακτηριστικά αναστροφών

- Η διάρκεια ζωής: Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας τους, οι αναστροφείς έχουν διάρκεια ζωής που κυμαίνεται από 5 έως 10 έτη. Θεωρώντας ότι η αναμενόμενη περίοδος λειτουργίας μιας φ/β εγκατάστασης ξεπερνά τα 30 έτη, εκτιμάται ότι κατά μέσο όρο οι αντιστροφείς θα χρειαστεί να επισκευαστούν ή να αλλαχθούν από 3 έως 5 φορές στη συνολική διάρκεια λειτουργίας της φ/β εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό, οι αναστροφείς αντιστοιχούν σε κόστος που μπορεί να φτάσει ακόμα και στο 20% της όλης εγκατάστασης (όταν γίνει αναγωγή στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής της φ/β εγκατάστασης, δηλαδή στα 30 έτη)[5].
- Ο βαθμός προστασίας (IP class): Αναστροφείς με υψηλό δείκτη προστασίας (π.χ. IP 65) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο, αλλά συνιστάται να αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους στον ήλιο και να τοποθετούνται στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων ή στη βάση των τράκερ. Αναστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας (π.χ. IP 44) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύμματος προστασίας από καιρικές συνθήκες. Αντίθετα, αναστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ. IP 21 - 23) θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τον επαρκή αερισμό του χώρου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του αναστροφέα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ή αν θεωρηθεί σκόπιμο να προβλεφθεί η τοποθέτηση κλιματιστικού μηχανήματος[1].
- Το περιβάλλον λειτουργίας: Η θερμοκρασία στο χώρο όπου λειτουργεί ένας αναστροφέας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0°C και +40°C, ενώ οι συνθήκες σχετικής υγρασίας RH μπορούν να μεταβληθούν από 10% έως 85%[5].

- Συγχρονισμός συχνότητας: Ο αναστροφέας οφείλει να διασφαλίζει τον πλήρη συγχρονισμό της συχνότητας μεταξύ της παραγόμενης τάσεως AC και της τάσεως του δικτύου, ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα υστέρησης, δηλαδή διαφορά φάσης μεταξύ της παραγόμενης τάσεως και της τάσεως του τοπικού δικτύου (ΔΕΗ)[5].
- Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding): Αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα, που έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία (δηλαδή αυτή του δικτύου της ΔΕΗ)[1]. Για παράδειγμα, όταν συμβεί γενικότερη διακοπή ρεύματος από τον πάροχο (ΔΕΗ), ενώ ταυτόχρονα εξακολουθεί η «πράσινη» κατοικία να τροφοδοτείται από το φ/β πεδίο, τότε η τροφοδοτούμενη κατοικία θα φαίνεται ως μια «νησίδα» ενέργειας μέσα σε μια «θάλασσα» από μη τροφοδοτούμενες κατοικίες. Το φαινόμενο αυτό λέγεται νησιδοποίηση και θα πρέπει ο αναστροφέας να προβλέπει για την αποφυγή του (anti – islanding protection)[5]. Η ανίχνευση του φαινομένου γίνεται συνήθως με την παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί η ύπαρξη του τότε ο αναστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αναστροφέας για λόγους προστασίας δεν θα πρέπει να επανασυνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών[1].

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό καθώς ελλοχεύουν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν να εκτελεί εργασίες στο σημείο σύνδεσης ή ακόμα για τον ίδιο τον εξοπλισμό από μεταβατικά φαινόμενα κατά την αυτόματη επαναφορά του δικτύου. Για το λόγο αυτό, η ΔΕΗ ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο **VDE 0126 – 1 – 1** (automatic disconnection device between a generator and the public low voltage grid) από τις εταιρίες κατασκευής των αναστροφέων[1].

- Έλεγχος της αποδιδόμενης ισχύος από το φ/β πεδίο (MPPT): Ο αναστροφέας επιδιώκει τη μέγιστη δυνατή απόδοση ενέργειας από το φ/β πεδίο και για το σκοπό αυτό ρυθμίζει το σημείο λειτουργίας του πεδίου σε συγκεκριμένη βέλτιστη θέση (I_{MAX}, V_{MAX}), προκειμένου να παρέχεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από το φ/β πεδίο προς την είσοδο του αναστροφέα (Maximum Power Point Tracking)[5].
- Η έγχυση DC ρεύματος: Σχετίζεται με την ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου. Το δυσμενές αποτέλεσμα της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο είναι η μεταβολή του σημείου λειτουργίας των μετασχηματιστών του δικτύου προς τον κορεσμό, το οποίο οδηγεί σε υψηλό ρεύμα πρωτεύοντος. Επιπλέον, επηρεάζεται αρνητικά ο χρόνος ζωής και ο βαθμός απόδοσης των μετασχηματιστών, ενώ καταπονούνται και οι καλωδιώσεις[1].

Το θέμα της έγχυσης DC ρεύματος αποκτά σημασία σε αναστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. Οι αναστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή πετυχαίνουν γαλβανική απομόνωση μεταξύ της DC και της AC πλευράς και έτσι αποφεύγεται η έγχυση DC ρεύματος. Αντίθετα, σε αναστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, όπου το

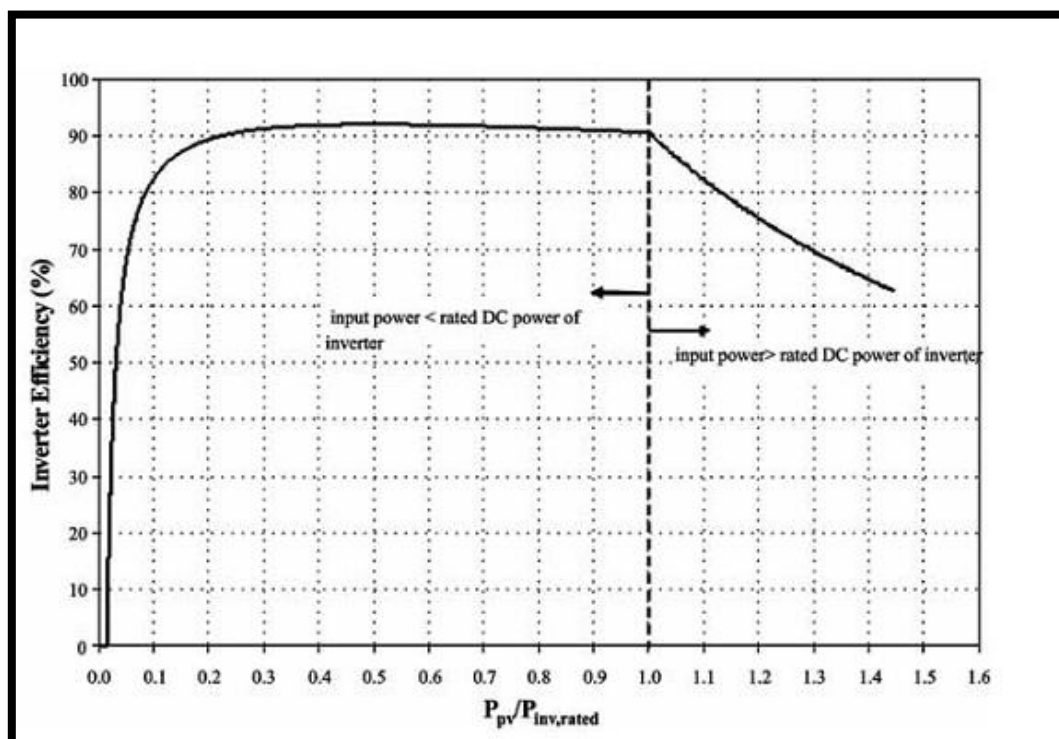
πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές για μέτρηση ρεύματος και ηλεκτρονικό έλεγχο. Για τη σύνδεση ενός φ/β πάρκου η ΔΕΗ θέτει ως απαραίτητο όρο η έγχυση DC να είναι μικρότερη του 0,5% του ονομαστικού ρεύματος και πρέπει να προσκομιστούν τα ανάλογα πιστοποιητικά[1].

- Η απόδοση κατά τη λειτουργία: Η απόδοση (η) του αναστροφέα ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου. Δηλαδή[1]:

$$\eta(\%) = P_{AC} / P_{DC}$$

Η απόδοση αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αναστροφέα και αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του. Κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει ενδελεχώς το σημείο αυτό διότι απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος στα διασυνδεδεμένα συστήματα[1].

Ο συντελεστής απόδοσης (η) εξαρτάται πρωτίστως από την ισχύ λειτουργίας του αναστροφέα (P_{NOM}). Όσο μικρότερη γίνεται η ισχύς λειτουργίας σε σχέση με την ονομαστική του ισχύ, τόσο περισσότερο τείνει να μειωθεί η απόδοσή του. Για ένα φωτοβολταϊκό αναστροφέα καλής κατασκευής, που παρέχει στην έξοδο του ημιτονική τάση, η τυπική τιμή απόδοσης ανέρχεται συνήθως άνω του 92% για εύρος ισχύος μεταξύ 20% και 100% της P_{NOM} . Όταν, όμως, η ισχύς λειτουργίας του αναστροφέα μειωθεί κάτω του 20% της ονομαστικής του ισχύος, η απόδοσή του μειώνεται δραστικά όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα[5]:



Εικόνα 3.27: Η απόδοση ενός αναστροφέα εξαρτάται από την ισχύ λειτουργίας του

Πηγή: <http://spie.org/> [22]

Η απόδοση του αναστροφέα εξαρτάται και από τον τύπο των τροφοδοτούμενων φορτίων (ωμικά, χωρητικά, επαγωγικά), εξαιτίας της διαφοράς φάσης που δημιουργείται μεταξύ $i(t)$ και $v(t)$ στην έξοδό του. Για τα χωρητικά και επαγωγικά φορτία, ο συντελεστής ισχύος $|\cos\phi|$ γίνεται μικρότερος της μονάδας, με αποτέλεσμα να μειώνεται και ο συντελεστής απόδοσης (μέχρι και 30%)[5].

Προκειμένου να είναι εφικτή η άμεση σύγκριση μεταξύ των αναστροφέων που παράγουν στην έξοδό τους τάση με ημιτονική κυματομορφή, ορισμένοι Ευρωπαίοι κατασκευαστές υιοθετούν την απόδοση **Euro η** , η οποία συνεκτιμά την ικανότητα του αναστροφέα να λειτουργεί αποδοτικά για μικρότερες τιμές της ονομαστικής του ισχύος. Η ισχύς υπό την οποία λειτουργεί ο αναστροφέας μιας φ/β εγκατάστασης μπορεί να μεταβληθεί είτε από τροποποιήσεις των συνδεδεμένων φορτίων στην κατανάλωση, είτε από διαφοροποιήσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η απόδοση **Euro η** συνεκτιμά την απόδοση μετατροπής από DC σε AC για διάφορα ποσοστά της ισχύος λειτουργίας του αναστροφέα και ορίζεται ως[5]:

$$\text{Euro } \eta = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%}$$

3.3.3. Βάσεις στήριξης των φ/β πλαισίων

Η στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται σε βάσεις[1]:

- Σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, γνωστές ως *σταθερές βάσεις*,
- Παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως *συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου* ή *ηλιοπαρακολουθητές* ή *ηλιοστάτες (trackers)*.

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

3.3.3.1. Σταθερές βάσεις

Αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πλαισίων κατά το μεσημέρι. Έτσι, οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πλαισίων σε σταθερή κλίση 30 μοιρών, η οποία θεωρείται ως μια ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα[1].

Κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ) μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού[1]. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα στήριξης πληρούν τις προδιαγραφές **DIN 1055**, **DIN 4113**, **DIN 18800** και έχουν μεγάλη αντοχή στην καταπόνηση[23].

Τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμενη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται είτε σε δοκάρι από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμενη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5 – 1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων εδράζεται η βάση. Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης συγκριτικά με την απλή εδαφόμενη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμενη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων[1].



Εικόνα 3.28: Εδαφόμενη βάσεων (αριστερά) και σκυροδέτηση σε δοκάρι (δεξιά)
Πηγή: TEE TMK [1]

3.3.3.2. Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας[1].

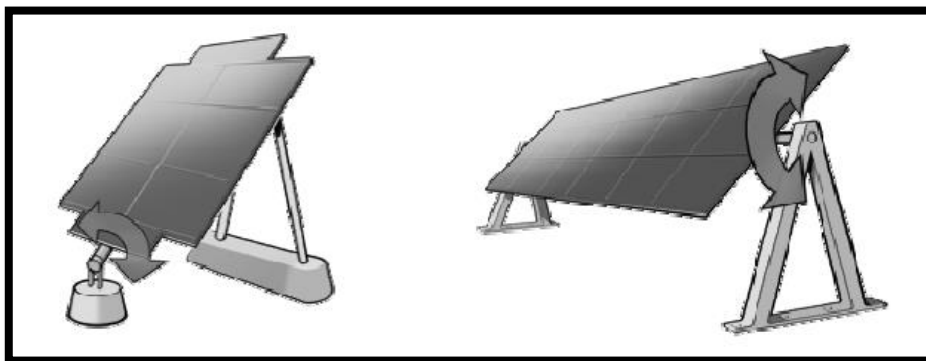
Η τεχνική αυτή υλοποιείται με δυο τρόπους: ο πρώτος τρόπος χρησιμοποιεί ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου και ο δεύτερος γίνεται μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, με βάση τα οποία υπολογίζεται η θέση και η πορεία του ήλιου για κάθε ημέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής[1].

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενα και ως ηλιοπαρακολουθητές ή ηλιοστάτες (trackers), χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τις σταθερές βάσεις[1]. Ωστόσο, παρέχουν στο σύστημα μεγάλες αποδόσεις που φτάνουν έως και **40%**, αυξάνοντας παράλληλα το κόστος και τα λειτουργικά έξοδα της επένδυσης[23].

Για να αποφεύγονται οι σκιάσεις μεταξύ των ηλιοστατών απαιτείται συνήθως από 1,5 έως και 3 φορές μεγαλύτερη έκταση απ' ό,τι για τις σταθερές βάσεις γεγονός που τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους σε ανεμοπιέσεις. Κατά συνέπεια, κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εκτιμά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης προτού προχωρήσει στην επιλογή ενός τέτοιου τύπου συστήματος[1].

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες[1]:

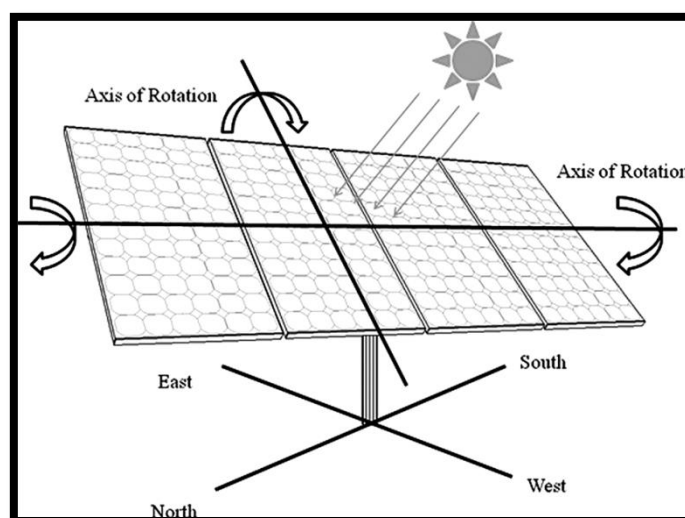
- Μονού άξονα (single axis): Η κίνηση των φ/β πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας γίνεται σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής – Δύσης και συγκριτικά με τα συστήματα σταθερών βάσεων επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής από 20% έως 25%.



Εικόνα 3.29: Ηλιοστάτες μονού άξονα

Πηγή: <http://helapco.gr/> [23]

- Διπλού άξονα (dual axis): Πρόκειται για συστήματα, στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των φ/β πλαισίων ως προς την οριζόντιο. Η πρόσθετη αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά 25 – 40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων και αποδίδει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη στον επενδυτή.



Εικόνα 3.30: Ηλιοστάτης διπλού άξονα

Πηγή: <http://asmedigitalcollection.asme.org/index.aspx> [24]

3.3.4. Καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση dc και ac καλωδίων. Τα dc καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πλαισίων μεταξύ τους και για την σύνδεση των κλάδων (strings) με τις εισόδους του

αναστροφέα. Τα ac καλώδια, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του αναστροφέα σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ[1].

Όλα τα καλώδια, που είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία, θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία αποκλείοντας έτσι τα κοινά καλώδια με μόνωση από PVC. Η επιλογή του κατάλληλου είδους καλωδίου είναι σημαντική για την ασφάλεια κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης και για την ικανοποίηση της απαίτησης για μόνωση ισοδύναμης με κλάση II[25]. Ο συνδυασμός των παραπάνω απαιτήσεων είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί από κοινά τυποποιημένα καλώδια και για αυτό το σκοπό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables)[1].

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των solar cables είναι η ανθεκτικότητά τους στις καιρικές συνθήκες με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών της τάξης από -55°C έως $+125^{\circ}\text{C}$ [1]. Επίσης, οφείλουν να είναι ανθεκτικά σε όζον, αμμωνία, λάδι, μικρόβια και μικροοργανισμούς, να μην προωθούν τη φλόγα (πρότυπα EN 50268-2, IEC 61034), να χαρακτηρίζονται από χαμηλές εκπομπές σε τοξικά και διαβρωτικά αέρια αλογόνων (πρότυπα EN 50267-2-1, IEC 670754-1) και η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους να υπερβαίνει τα 30 έτη για εξωτερική χρήση[5].

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται και για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πλαισίων, δηλαδή από το (+) ενός πλαισίου στο (-) του επόμενου, όσο και μεταξύ των κλάδων των πλαισίων και των εισόδων του αναστροφέα. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων (συνήθως κόκκινο και μαύρο) για το θετικό και αρνητικό[1].

Για τη σύνδεση των πλαισίων χρησιμοποιούνται μονοπολικά καλώδια με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των πλαισίων ή σφάλματα της γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλωνα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο[1]. Η διατομή τους ποικίλλει ανάλογα με το είδος του πλαισίου και καθορίζεται από το μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα σε ένα κλάδο[25].

Για τη σύνδεση των κλάδων με τις εισόδους του αναστροφέα, οι διατομές των dc καλωδίων που χρησιμοποιούνται κυμαίνονται συνήθως από 4 - 16 mm². Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Όμως, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές dc καλωδίων της τάξης των 25 – 70 mm², σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αναστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους dc καλωδίων των κλάδων. Στις περιπτώσεις αυτές, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων[1].

Στα καλώδια του κυκλώματος ac, οι αγωγοί αποτελούνται είτε από καθαρό χαλκό είτε από αλουμίνιο. Το κύριο υλικό της μόνωσης είναι συνήθως XLPE ή PVC και η μέγιστη συνεχής θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι στους 60°C.

Τοποθετούνται στην εγκατάσταση μέσα σε σωληνώσεις και χρησιμοποιείται χρωματικός κώδικας για τη σήμανση τους και την αντιδιαστολή τους από τα dc καλώδια[5].

Τέλος, τονίζεται ότι η **ελαχιστοποίηση των οδεύσεων είναι επιθυμητή, τόσο στην πλευρά Σ.Ρ, όσο και στην πλευρά Ε.Ρ, προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των ηλεκτρικών απωλειών**[25].

3.3.5. Μέσα προστασίας

Ως μέσα προστασίας ορίζονται οι συσκευές, που είναι σε θέση να διακόψουν έγκαιρα και με ασφάλεια μια μη ομαλή κατάσταση λειτουργίας όπως είναι η υπερφόρτιση, το βραχυκύκλωμα, η έλλειψη τάσης και η υπέρταση. Τα μέσα γενικής προστασίας που χρησιμοποιούνται είναι οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος[1].

Οι ασφάλειες είναι μέσα προστασίας κυρίως έναντι των βραχυκυκλωμάτων ενώ οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν τη δυνατότητα να προστατεύσουν σε υπερφόρτιση, δηλαδή όταν το ρεύμα είναι έστω και λίγο πάνω από το ονομαστικό ρεύμα, αλλά και σε βραχυκυκλώματα όπως οι ασφάλειες. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών τιμών λειτουργίας τους, το οποίο είναι σημαντικό για το συντονισμό και τη ρύθμιση της λεγόμενης επιλογικής προστασίας[1]. Με τον όρο *επιλογική προστασία* ή *επιλεκτική συνεργασία* εννοούμε ότι: το όργανο προστασίας που είναι πλησιέστερο στο σφάλμα πρέπει να διακόψει πρώτο. Σε περίπτωση αστοχίας θα πρέπει να διακόψει το αμέσως επόμενο όργανο προστασίας[26].

Ο υπολογισμός των μέσων προστασίας γίνεται για να προσδιοριστεί η ονομαστική τιμή τους αλλά και η συμπεριφορά τους σε μεταβατικές καταστάσεις. Έτσι, στις ασφάλειες προσδιορίζεται η ονομαστική τιμή τους αλλά και η καμπύλη, που προσδιορίζει το χρόνο διακοπής ως συνάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Αντίστοιχα, στους αυτόματους διακόπτες ισχύος προσδιορίζεται η ονομαστική τιμή τους καθώς και οι χρόνοι απόκρισής τους σε υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα[1].

3.3.6. Γείωσεις

Η γείωση είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα μιας εγκατάστασης και διακρίνεται σε γείωση λειτουργίας και γείωση προστασίας. Γείωση λειτουργίας είναι η γείωση του ουδέτερου κόμβου των μετασχηματιστών και γείωση προστασίας είναι η γείωση των μεταλλικών περιβλημάτων των πινάκων, των καλωδίων κλπ[1].

Βασικός ρόλος της γείωσης είναι η προστασία των ανθρώπων από τις τάσεις επαφής και η αποφυγή ζημιών που μπορεί να υποστεί ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός λόγω κρουστικών υπερτάσεων, που δημιουργούνται από κεραυνούς, αστραπές, βραχυκυκλώματα κλπ. Ως τάση επαφής ορίζεται η τάση μεταξύ δύο μεταλλικών

σημείων ή ενός μεταλλικού σημείου και του εδάφους, που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος[1].

Καλύτερη γείωση σε μια εγκατάσταση θεωρείται η γείωση κατά μήκος των θεμελίων (θεμελιακή γείωση). Η διατομή του αγωγού γείωσης καθορίζεται από την αντοχή του αγωγού αυτού στο προσδοκώμενο ρεύμα κατά τη διάρκεια μονοφασικού βραχυκυκλώματος και για όσο χρόνο διαρκεί αυτό το βραχυκύκλωμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η θεμελιακή γείωση λόγω της έκτασής της εξασφαλίζει συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω [1].

3.4. Κατηγορίες φ/β συστημάτων ανάλογα με τη σύνδεσή τους

Τα φ/β συστήματα *ανάλογα με τη σύνδεση τους* διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα απομονωμένα και τα συνδεδεμένα στο δίκτυο. Με τον όρο «δίκτυο» εννοούμε το διακρατικό, εθνικό ή τοπικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές[17].

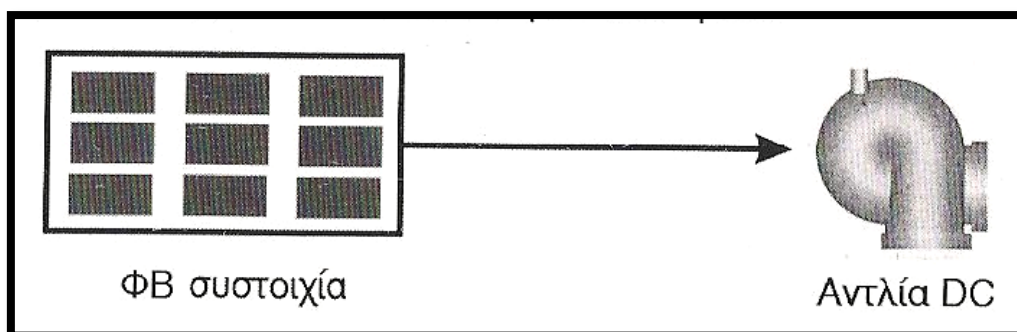
Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα παρουσιάσουμε ενδελεχώς τις δύο αυτές κατηγορίες.

3.4.1. Απομονωμένα φ/β συστήματα (off grid pv systems)

Ως απομονωμένα ορίζονται τα συστήματα, που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο και διακρίνονται σε αυτόνομα και υβριδικά[17].

Στα **αυτόνομα φ/β συστήματα (autonomous pv systems)**, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από την φ/β συστοιχία και μπορεί να είναι συνεχούς (dc) ή εναλλασσόμενης (ac) τάσεως. Διακρίνονται σε δύο επί μέρους κατηγορίες[17]:

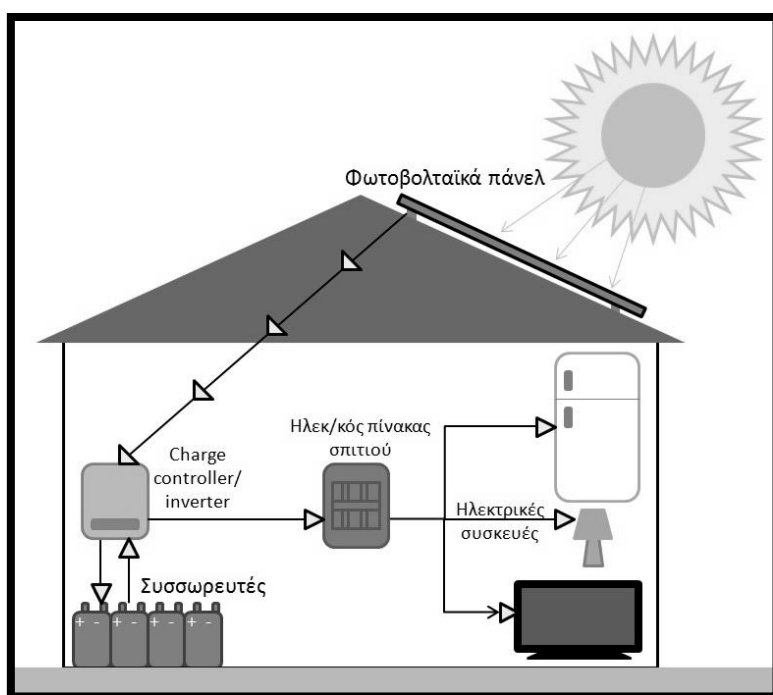
- Αυτόνομα φ/β συστήματα χωρίς αποθήκευση: Όσο φωτίζεται η φ/β συστοιχία, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση χωρίς να αποθηκεύεται. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε άντληση νερού για άρδευση καλλιεργειών, που όμως δεν απαιτούν αυστηρά τακτική λειτουργία του συστήματος όπως για παράδειγμα τα ελαιόδεντρα ή τα εσπεριδοειδή. Αντίθετα, είναι τελείως ακατάλληλα για κηπευτικά, που απαιτούν καθημερινή άρδευση.



Εικόνα 3.31: Αυτόνομο φ/β σύστημα χωρίς αποθήκευση ενέργειας (direct-coupled pv system)
Πηγή: ΠΕΡΔΙΟΣ, Δ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ" [17]

- Αυτόνομα φ/β συστήματα με αποθήκευση: Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την απευθείας τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών και η περίσσεια αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν έχουμε περιόδους συννεφιάς.

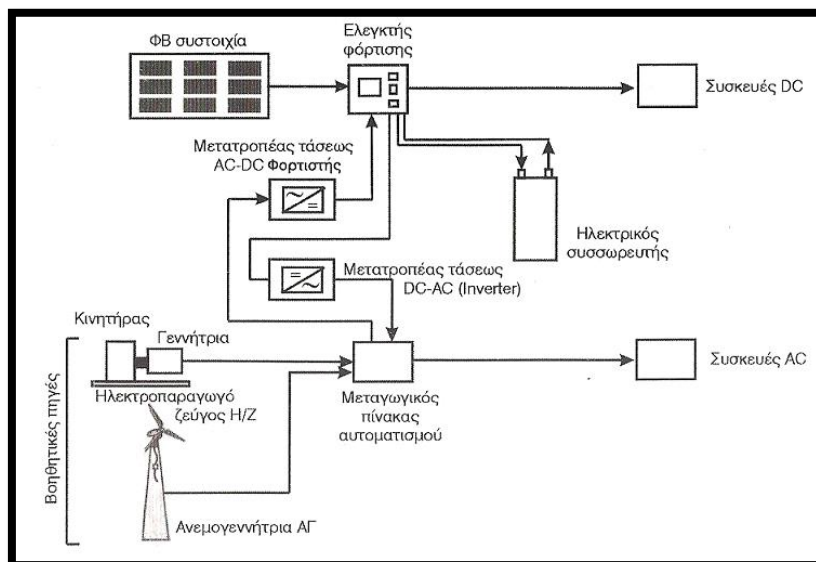
Ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει υποχρεωτικά ελεγκτή φόρτισης του συσσωρευτή και σχεδιάζεται με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας. Εφόσον υπάρχουν συσκευές, που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση θα πρέπει οπωσδήποτε να προστεθεί και ένας μετατροπέας τάσεως DC – AC. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για το φωτισμό δρόμων, αλυσιλλίων, αρχαιολογικών χώρων καθώς επίσης σε τηλεπικοινωνιακούς αναμεταδότες και εξοχικές κατοικίες.



Εικόνα 3.32: Αυτόνομο φ/β σύστημα με αποθήκευση ενέργειας για ηλεκτροδότηση κατοικίας
Πηγή: http://zeis.gr/site/?page_id=167 [35]

Στα **υβριδικά φ/β συστήματα (hybrid pv systems)**, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το συνδυασμό της φ/β συστοιχίας με άλλες βοηθητικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες μπορεί να είναι ανανεώσιμης μορφής (όπως οι

ανεμογεννήτριες ΑΓ) ή/και συμβατικές (όπως το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος Η/Ζ). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος προβλέπεται σε συσσωρευτή, ενώ ένας μεταγωγικός πίνακας αυτοματισμού καθορίζει την πηγή (φ/β συστοιχία ή βοηθητική) από την οποία θα φορτιστεί ο συσσωρευτής και θα τροφοδοτηθούν οι συσκευές της εγκατάστασης[17].



Εικόνα 3.33: Υβριδικό φ/β σύστημα με βοηθητικές πηγές και αποθήκευση ενέργειας
Πηγή: ΠΕΡΔΙΟΣ, Δ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ" [17]

3.4.2. Φ/β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (grid connected pv systems)

Τα συστήματα αυτά συνδέονται απευθείας με το ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο αποτελεί γι' αυτά μια μεγάλη δεξαμενή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση αυτή δεν απαιτείται ηλεκτρικός συσσωρευτής και ελεγκτής φόρτισης, αλλά μόνο ένας μετατροπέας τάσεως DC – AC. Τα συνδεδεμένα φ/β συστήματα διακρίνονται σε κεντρικού σταθμού και σε καταναμημένα[17].

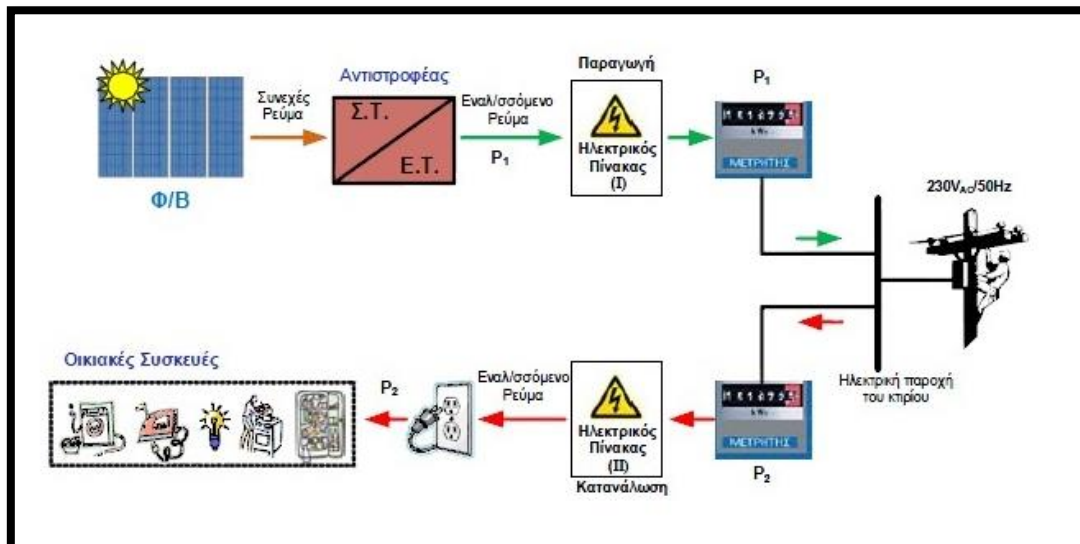
Τα **συνδεδεμένα κεντρικού σταθμού φ/β συστήματα (grid connected centralised pv systems)** συνιστούν κεντρικούς φ/β σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο[17].

Τα **συνδεδεμένα καταναμημένα φ/β συστήματα (grid connected distributed pv systems)** διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο. Επίσης, στα συστήματα αυτά προβλέπεται διπλός μετρητής για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο αναλυτικά[17]:

- Με βοηθητική πηγή το δίκτυο (Grid back-up pv systems): Το δίκτυο καλύπτει μια έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή κάποια αστοχία του φ/β συστήματος, οπότε ο σχεδιασμός γίνεται έτσι ώστε το σύστημα να καλύπτει κατά μέσο όρο τις *μηνιαίες* ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης.

- Με αμφίδρομη λειτουργία (Grid interactive pv systems): Το σύστημα σχεδιάζεται ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο της ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Η περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο, ενώ όταν το φ/β σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες της κατανάλωσης η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το δίκτυο.

Ένα κατανεμημένο σύστημα έχει περίπου το μισό κόστος σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο αυτόνομο σύστημα με αποθήκευση ή υβριδικό, γιατί δεν περιλαμβάνει ηλεκτρικό συσσωρευτή, ελεγκτή φόρτισης και βοηθητική ηλεκτρική πηγή. Είναι ευνόητο ότι λόγω της διαφοράς τιμής μεταξύ της παραγόμενης φ/β ηλεκτρικής ενέργειας (εξερχόμενη από την εγκατάσταση) και της εισερχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ, η πλέον συμφέρουσα οικονομική επιλογή είναι η πώληση όλης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ και η αγορά όλης της καταναλισκόμενης ενέργειας από αυτήν. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνει τη φ/β συστοιχία, τον μετατροπέα τάσεως DC – AC (inverter) και δυο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας (εξερχόμενης – εισερχόμενης).



Εικόνα 3.34: Κατανεμημένο φ/β σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο. Όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στη ΔΕΗ και όλη η καταναλισκόμενη αγοράζεται από αυτήν.

Πηγή: <http://greenmindset.cti.gr/> [36]

3.5. Κατηγορίες φ/β συστημάτων ανάλογα με την ισχύ

Μια ακόμα διάκριση των φ/β συστημάτων γίνεται ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ. Έτσι, προκύπτουν οι ακόλουθες κατηγορίες[17]:

- **Μικρά συστήματα (1 mW_p – 100 W_p):** Χρησιμοποιούνται σε καταναλωτικά προϊόντα (φορητοί υπολογιστές, ρολόγια, παιχνίδια, ραδιόφωνα, φακοί, τροχόσπιτα, ψύξη, σκάφη αναψυχής κλπ).
- **Αυτόνομα συστήματα (0,1 – 200 kW_p):** Χρησιμοποιούνται για ηλεκτροδότηση κατοικιών, ιερών μονών, αφαλάτωση – άντληση – καθαρισμό νερού, σε

συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας και ναυτιλίας, σε συστήματα τηλεπικοινωνιών, σε συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, αρχαιολογικών χώρων, αεροδρομίων, αλυσλλίων κλπ.

- **Συνδεδεμένα κατανεμημένα συστήματα (1,5 – 20 kW_p):** Αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς και χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση κατοικιών και κτιρίων.
- **Συνδεδεμένα κεντρικού σταθμού συστήματα (> 50 kW_p):** Είναι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- [1]. *ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων*. Ανάκτηση Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος 2015, από <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/library>:
http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf,
Απρίλιος 2011.
- [2]. *ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ*. Ανάκτηση από <http://micro-kosmos.uoa.gr/>:
http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies_foititon/ettap/2010-11/photovoltaic/megalou_pahous.htm, Ιούνιος 2015.
- [3]. *Σιωπηλοί Δολοφόνοι, Γιατί η Ευρώπη πρέπει να αντικαταστήσει τον άνθρακα με καθαρή ενέργεια*. Άμστερνταμ: GREENPEACE. 2013.
- [4]. *Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels*. Ανάκτηση από
<http://www.civicsolar.com/>: <http://www.civicsolar.com/resource/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>, Μάιος 2015.
- [5]. *Δέρβος Θ. Κωνσταντίνος, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: από την θεωρία στην πράξη"*. Αθήνα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π. 2013.
- [6]. *Κ.Θ.Δέρβος, ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΜΙΑΓΩΓΙΜΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ*. Αθήνα: ΕΜΠ. 2010.
- [7]. *Φωτοβολταϊκό φαινόμενο*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <https://el.wikipedia.org/wiki/>, ανάκτηση Μάιος 2015.
- [8]. *Ηλιακή ενέργεια*. Από prasino4energeia:
<https://sites.google.com/site/prasino4energeia/ananeosimes-peges-energeias/eliake>,
ανάκτηση Μάιος 2015.
- [9]. *Solar cell*. Από WIKIPEDIA:
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#/media/File:Dawn_solar_panel.jpg, ανάκτηση Ιούνιος 2015.
- [10]. *ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ*. Ανάκτηση Απρίλιος 2015, από <http://web.tee.gr/>:
<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE3-Bioklimatika-final.pdf>,
Ιούνιος 2011.
- [11]. *ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ*. Από <http://helios.teiath.gr/>:
http://helios.teiath.gr/documents/Exercises/chapter_3.pdf, ανάκτηση Απρίλιος 2015.
- [12]. *Φωτοβολταϊκά συστήματα*. Από <http://www.elecnetsolar.gr/>:
<http://www.elecnetsolar.gr/xrisima/texnika/texnia-fotovoltaika-susthmata/>, ανάκτηση Μάιος 2015.
- [13]. *Μια μικρή αναδρομή στην ιστορία των φωτοβολταϊκών στοιχείων*. Από
<http://helios.teiath.gr/>: <http://helios.teiath.gr/patheogk/anadromh.htm>, ανάκτηση Μάιος 2015.

- [14]. *Νέα τεχνική αυξάνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών*. Από <http://www.in.gr/>: <http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1231369402>, ανάκτηση Μάιος 2015.
- [15]. *Φωτοβολταϊκό φαινόμενο*. Από <http://pvsolar.gr/>: http://pvsolar.gr/tech_info.html, ανάκτηση Μάιος 2015.
- [16]. *Φωτοβολταϊκά*. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC>, ανάκτηση Μάιος 2015.
- [17]. ΠΕΡΔΙΟΣ, Δ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ". ΑΘΗΝΑ: ΣΕΛΚΑ-4Μ, Τεκδοτική. 2011.
- [18]. Π. Γκουλιάρης, Δ. Γκουλιάρης, Φ. Γκουλιάρης, ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ. Από <http://www.eng.auth.gr/gr/archiki.html>: http://www.eng.auth.gr/IHT/A%20Tomos/A04%20-%20fotovoltaika/07-Gkouliras_MELETH-KATASK%20FOTOBOLT.pdf, ανάκτηση Ιούνιος 2015.
- [19]. *Φωτοβολταϊκά: Τι είναι το φαινόμενο PID και πώς αντιμετωπίζεται*. Από <http://energypress.gr/>: <http://energypress.gr/news/fotovoltaiika-ti-einai-fainomeno-pid-kai-pos-antimetopizetai>, ανάκτηση Ιούλιος 2015.
- [20]. Από 4green.gr: <http://www.4green.gr>, ανάκτηση Ιούλιος 2015.
- [21]. "Πως παράγονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια". Από <http://www.autotriti.gr/>: http://www.autotriti.gr/data/news/preview_news/107248.asp, ανάκτηση Ιούλιος 2015.
- [22]. Jayanta Mondol, Solar & Alternative Energy, Sizing of grid-connected photovoltaic systems. Ανάκτηση Ιούλιος 2015, from <http://spie.org/>: <http://spie.org/x13527.xml>, Μάιος 2007.
- [23]. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ. Ανάκτηση από <http://helapco.gr/>: http://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf, Αύγουστος 2013.
- [24]. Nur Mohammad and Tarequl Karim, Design and Implementation of Hybrid Automatic Solar-Tracking System. Από <http://asmedigitalcollection.asme.org/index.aspx>: <http://solarenergyengineering.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1662252>, ανάκτηση Αύγουστος 2015.
- [25]. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ. Ανάκτηση από <http://www.cres.gr/kape/index.htm>: http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf, Αύγουστος 2009.
- [26]. Επιλογική προστασία. Από <http://www.ti-soft.com/>: <http://www.ti-soft.com/el/support/help/electrical/knowledgebase/middlevoltage/relays/selectivity>, ανάκτηση Αύγουστος 2015.

- [27]. *greenhouse effect*. Από ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA KIDS:
<http://kids.britannica.com/elementary/art-70894/Some-incoming-sunlight-is-reflected-by-the-Earths-atmosphere-and>, ανάκτηση Απρίλιος 2015.
- [28]. *Figures from the Textbook Photovoltaics*. Από K. Mertens: textbook-pv.org:
<http://www.textbook-pv.org/figures.html>, ανάκτηση Απρίλιος 2015.
- [29]. Γιάννης Κατσιγιαννης, *Ηλιακή Γεωμετρία, Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών*. Από <http://ape.chania.teicrete.gr/gr/>:
http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files/HPIESI_Pres_03_Solar_Geom.pdf, ανάκτηση Απρίλιος 2015.
- [30]. Θανάσης Μπατσακίδης, *Ενέργεια & Περιβάλλον*. Από buildnet.gr:
<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=159&la=1&catid=139&artid=1654>, ανάκτηση Μάιος 2015.
- [31]. *SHARP Solar Module*. Από topintertech.com:
<http://www.topintertech.com/TopInterTechSolutions/Solar-Module/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%87%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%A5%E0%B9%8C-Thin-film-silicon--121-%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%95%E0%B9>, ανάκτηση Ιούνιος 2015.
- [32]. *ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ*. Ανάκτηση από <http://www.helapco.gr/>:
http://www.helapco.gr/ims/file/oikiaka/pv_guide_jan11.pdf, Ιανουάριος 2011.
- [33]. Κολόκας Κ. Θωμάς, *Εγκαταστάσεις Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων για Απομονωμένα Κτίρια Ειδικών Εφαρμογών*. Ανάκτηση από <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/>: <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/5665/1/DT2011-0243.pdf>, Σεπτέμβριος 2011.
- [34]. *Επίδραση θερμοκρασίας και έντασης ακτινοβολίας - Βέλτιστο σημείο λειτουργίας MPP*. Από LMCO.gr: <http://www.lmco.gr/#!faq/cx4a>, ανάκτηση Ιούλιος 2015.
- [35]. *Αυτόνομα Συστήματα*. Από <http://zeis.gr/>: http://zeis.gr/site/?page_id=167, ανάκτηση Αύγουστος 2015.
- [36]. *Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων*. Από <http://greenmindset.cti.gr/>:
<http://greenmindset.cti.gr/categories>, ανάκτηση Αυγούστος 2015.
- [37]. *CdTe-Based Solar Cell Project*. Από <http://ece.utep.edu/>:
<http://www.ece.utep.edu/research/webedl/cdte/>, ανάκτηση Ιούνιος 2015.
- [38]. *Solar Cells*. Από <http://alliedscientificpro.com/>:
<http://alliedscientificpro.com/shop/solar-cells/>, ανάκτηση Ιούνιος 2015.
- [39]. Giso Hant, *University of Konstanz, Overview of Silicon Ribbon Technologies for cost Reduction in Photovoltaics*. Από <http://www.jointsolarpanel.nl/>:

http://www.jointsolarpanel.nl/fileadmin/jointsolarpanel/user/documents/seminar2006/2006_09_27_talk_g_hahn_pdf.pdf, ανάκτηση Ιούνιος 2015.

[40]. *AQT Solar Ships CIGS Modules*. Από <http://www.solarnovus.com/> : http://www.solarnovus.com/aqt-solar-ships-cigs-modules_N1936.html, ανάκτηση Ιούνιος 2015.

[41]. *PANASONIC HIT-H250 E01*. Από <http://www.uksolarshop.com/>: <http://www.uksolarshop.com/photovoltaic-modules/sanyo-hit-h250-e01.html>, ανάκτηση Ιούνιος 2015.

[42]. *Timon Singh, Cambridge University Produces Cheap Plastic Organic Solar Cell*. Ανάκτηση από <http://inhabitat.com/>: <http://inhabitat.com/cambridge-university-produces-cheap-plastic-organic-solar-cell/cavendishcell/>, Σεπτέμβριος 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Συγκαλλιέργεια φωτοβολταϊκών πλαισίων και φυτών

Για χιλιετίες, η απάντηση στο ερώτημα σχετικά με το βέλτιστο τρόπο αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας ήταν εύκολη, καθώς χρησιμοποιούσαμε την ηλιακή ενέργεια για να αυξηθούν οι καλλιέργειες βρώσιμων προϊόντων. Στη συνέχεια, στη δεκαετία του 1970 η απάντηση έγινε πιο περίπλοκη, καθώς εκτάσεις με φ/β πλαίσια (PVPs) άρχισαν να εμφανίζονται σε όλο τον πλανήτη, μερικές φορές σε πρώην καλλιεργούμενο έδαφος. Αυτό ήταν μέρος της προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και όσο η τεχνολογία βελτιώνεται τα τελευταία χρόνια, τόσο αυξάνεται η κλίμακα των έργων της ηλιακής ενέργειας σε γη που θα μπορούσαν να παράγονται τρόφιμα. Στη δεκαετία του 1990, οι αγρότες άρχισαν να διατηρούν καλλιέργειες για την παραγωγή καυσίμων, με τη βοήθεια κρατικών επιδοτήσεων[2].

Σήμερα η παραγωγή βιοκαυσίμων, έχει γίνει μεγάλη επιχείρηση, συχνά εις βάρος των άπορων και χαμηλού βιοτικού επιπέδου συνανθρώπων μας. Το αποτέλεσμα είναι πως η απαίτηση εκτάσεων γης από τη βιομηχανία βιοκαυσίμων, (για να μην αναφέρουμε τις αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα), έχει γίνει τεράστια και συνεχίζει να αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς[2].

Σύμφωνα με τους επιστήμονες, οι εκτάσεις γης που απαιτούνται για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιοκαύσιμα υπερβαίνουν τα διαθέσιμα καλλιεργήσιμα εδάφη στον πλανήτη. Με άλλα λόγια, ο αυξημένος ανταγωνισμός μεταξύ τροφίμων και καυσίμων στον αγροτικό τομέα, ειδικότερα μέχρι και το 2050 όπου ο πληθυσμός της γης θα αγγίξει τα 9 δισεκατομμύρια, θα οδηγήσει σε πρωτοφανή έλλειψη τροφίμων και διαρκώς αυξανόμενες συγκρούσεις[2].

Η ενέργεια από βιομάζα φέρεται ως πιθανό υποκατάστατο για τα ορυκτά καύσιμα για το μέλλον. Τα βιοκαύσιμα επί του παρόντος κατέχουν αυξανόμενα σημαντικό ρόλο σε πολλές χώρες όπως η Βραζιλία ή τις ΗΠΑ. Ωστόσο, η έκταση της γης που θα ήταν αναγκαία για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιοκαύσιμα σε μεγάλο βαθμό υπερβαίνει το πλήθος των καλλιεργήσιμων εκτάσεων του πλανήτη. Για να μετακινηθούν τα 40 εκατομμύρια αυτοκίνητα της Γαλλίας μόνο, απαιτούνται περίπου 40 εκατομμύρια εκτάρια σιτηρών ή φυτών παραγωγής ελαίων, που είναι κάτι περισσότερο από την πραγματική καλλιεργήσιμη έκταση γης[1].

Οι αγορές καυσίμων των ανεπτυγμένων χωρών ανταγωνίζονται τις αγορές τροφίμων των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών με αποτέλεσμα να προκαλείται έλλειψη τροφίμων. Αυτό παρατηρήθηκε μάλιστα στο Μεξικό το 2008, όταν οι τιμές του καλαμποκιού αυξήθηκαν λόγω ζήτησης από την αγορά των ΗΠΑ για αιθανόλη. Σαν αποτέλεσμα μεγάλη ανησυχία σχετικά με τον αντίκτυπο των ενεργειακών καλλιεργειών για τη διαθεσιμότητα των τροφίμων έχει εξαπλωθεί σε όλο τον κόσμο. Οι δεύτερης γενιάς ενεργειακές καλλιέργειες δεν επηρεάζουν πολύ το θέμα: αν και η

απόδοση της μετατροπής ενέργειας από βιομάζα μπορεί να αυξηθεί κατά 50% από τους νέους τρόπους πυρόλυσης, οι ανάγκες για ενέργεια είναι τόσο μεγάλες, με αποτέλεσμα οι πιέσεις στον αγροτικό τομέα να παραμένουν σε υψηλά επίπεδα[1].

Τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας) είναι ουσιαστικά βιοκαύσιμα που προέρχονται από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, όπως ακριβώς τα σύγχρονα βιοκαύσιμα που παράγονται από τη βιομάζα. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός πως τα ορυκτά καύσιμα προκύπτουν από την αποθήκευση της φωτοσυνθετικής παραγωγής, διάρκειας εκατομμυρίων ετών. Η χαμηλή απόδοση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης δεν θα είναι ποτέ σε θέση να αντιμετωπίσει τις τρέχουσες ενεργειακές ανάγκες. Η εγγενής αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης είναι αρκετά χαμηλή (περίπου 3%) και θα παραμείνει η ίδια ακόμα και στις δεύτερης γενιάς ενεργειακές καλλιέργειες[1].

Τα υγρά βιοκαύσιμα, στοχεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών μεταφοράς. Ωστόσο, η καύση μορίων υψηλής ποιότητας με ταυτόχρονη υψηλή διατροφική αξία είναι αμφισβητήσιμη. Σύμφωνα με σημερινή βέλτιστη τεχνολογία, ένα εκτάριο σιτηρών στην Ευρώπη επιτρέπει σε ένα αυτοκίνητο να διανύσει απόσταση περίπου 18.000 χιλιόμετρα. Ένα εκτάριο καλλιέργειας φυτών παραγωγής ελαίων είναι αποδοτικότερο (περίπου 22.000 χιλιόμετρα). Η ηλιακή ενέργεια όμως, αξιοποιούμενη από τη χρήση ηλιακών συλλεκτών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για τη μετακίνηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων διατηρεί μια εκπληκτική απόδοση: περίπου 3.250.000 χιλιόμετρα με ένα μόνο εκτάριο ηλιακών συλλεκτών σε άξονες παρακολούθησης, δηλαδή 180 και 147 φορές περισσότερο από το πρώτο και το δεύτερο σενάριο αντίστοιχα[1].

Μακροπρόθεσμα, πρέπει να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή λύση για την παραγωγή ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι δύο κύριες επιλογές είναι[1]:

- Τα υγρά βιοκαύσιμα προερχόμενα από καλλιέργειες φυτών ή δέντρων.
- Η ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.

Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν σήμερα μέση απόδοση 15% (μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία είναι τα πιο διαδεδομένα). Οι τελευταίες κυκλοφορίες στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συλλεκτών επιτρέπουν μέση απόδοση στο 19% (back-contact μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια). Συμπερασματικά, η φωτοβολταϊκή τεχνολογία παρουσιάζεται περισσότερο αποτελεσματική για την παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τις ενεργειακές καλλιέργειες[1].

Καθώς όμως η ανάγκη, τόσο σε καύσιμα όσο και σε τρόφιμα, γίνεται αυξανόμενα αισθητή στη σύγχρονη εποχή, οποιαδήποτε ιδέα βελτιστοποίησης της χρήσης της γης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και τους δύο τύπους προϊόντων ταυτόχρονα. Συνεπώς υπάρχουν δύο προς σύγκριση επιλογές για την παραγωγή καυσίμων και τροφίμων σε μια δεδομένη έκταση[1]:

- Ο διαχωρισμός της έκτασης της γης σε δύο μέρη, με το ένα να προορίζεται για την παραγωγή τροφίμων και το άλλο για την παραγωγή καυσίμων. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως η κυρίαρχη τρέχουσα μέθοδος ταυτόχρονης παραγωγής τροφίμων και καυσίμων.

- Ο συνδυασμός παραγωγής καυσίμων και των τροφίμων στην ίδια μονάδα γης ταυτόχρονα χωρίς να υφίσταται διαχωρισμός όσον αφορά την εκμετάλλευση της γης.

Οι εξελίξεις αυτές οδήγησαν τον Γάλλο μηχανικό περιβάλλοντος Δρ. Christian Dupraz να σκεφτεί μια σειρά ερωτήσεων: «θα μπορούσε πράγματι να πραγματοποιηθεί παραγωγή τροφίμων και καυσίμων με επιτυχία ταυτόχρονα σε ένα οικόπεδο; Για παράδειγμα, γιατί να μην κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά πλαίσια πάνω από μία καλλιεργήσιμη έκταση, έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια και τα τρόφιμα να μπορούν να παραχθούν συγχρόνως;». Εκτός από την επίλυση του προβλήματος που αφορά τη σύγκρουση για το βέλτιστο τρόπο χρήσης της γης, οι ηλιακοί συλλέκτες θα παρέχουν μια πρόσθετη πηγή εισοδήματος στους αγρότες, ενώ την ίδια στιγμή θα αποτελούν καταφύγιο για τις καλλιέργειες, παρέχοντας προστασία από την άνοδο των θερμοκρασίας, τις καταστροφικές καταιγίδες, το χαλάζι και τη βροχή[2].



Εικόνα 4.1: Ένα πρότυπο ένα αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα που συνδυάζει ηλιακούς συλλέκτες και καλλιέργειες. Το ύψος τοποθέτησης των πλαισίων στα 4 μέτρα επιτρέπει την εύκολη επεξεργασία του συστήματος με μηχανήματα. Τοποθεσία: Μονπελιέ, Γαλλία

Πηγή: C. Dupraz et al. [4]

Η ιδέα του δεν ήταν καινούρια, καθώς το 1982 προτάθηκε για πρώτη φορά σε μία εργασία με τίτλο «On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation» από δύο Γερμανούς επιστήμονες (A. GOETZBERGER & A. ZASTROW), όμως κανείς έως τότε δεν είχε εφαρμόσει μια τέτοια ιδέα έτσι ώστε να μελετηθούν τα πιθανά οφέλη και οι απαιτούμενοι περιορισμοί, με αποτέλεσμα ο Δρ. Dupraz και οι συνάδελφοί του στο INRA, (Γαλλικό Εθνικό Ίδρυμα Γεωργικής Έρευνας), να προχωρήσουν στην υλοποίησή της. Αξίζει να σημειωθεί πως μία παρόμοια προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε για τα γεωργοδασοκομικά συστήματα (agroforestry systems) που συνδυάζουν δένδρωδη φυτά και φυτά καλλιέργειας. Η ανάμιξη των δύο αυτών ειδών προτάθηκε με στόχο να αυξήσει τη συνολική παραγωγικότητα της γης[2], και η μετέπειτα αναφερόμενη μελέτη θα εξετάσει εάν μία παρόμοιας τάξης αύξηση της παραγωγικότητας της γης μπορεί να επέλθει μέσω των αγροτοφωτοβολταϊκών συστημάτων (α/φ/β).

Κατά το σχεδιασμό ενός αγροτοφωτοβολταϊκού συστήματος, θα πρέπει να αναζητηθεί ένας συμβιβασμός μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας και φυτικής παραγωγής, δηλαδή μεταξύ των ηλιακών συλλεκτών και των καλλιεργειών. Ο συμβιβασμός αυτός μπορεί να βρεθεί κυρίως με την εναλλαγή των κύριων χαρακτηριστικών στοιχείων ηλιακών συλλεκτών. Για παράδειγμα, οι διατάξεις σταθερής κλίσης συλλέγουν λιγότερη ακτινοβολία από αυτές που στηρίζονται σε μονοαξονικούς ιχνηλάτες, και πολύ λιγότερο από αυτές που συνδέονται σε ιχνηλάτες διπλού άξονα. Εάν επίσης μειωθεί το πλήθος των συλλεκτών μπορεί να αυξηθεί η ακτινοβολία που φθάνει στο επίπεδο των καλλιεργειών[1].

Για τη βελτιστοποίηση του συστήματος ως προς τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας έπρεπε αρχικά να προσδιοριστεί η γωνία των ηλιακών συλλεκτών, (οι οποίοι έχουν νότιο προσανατολισμό), και η μεταξύ τους απόσταση (που μπορεί να εκφραστεί ως το επί τοις εκατό ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από την κατακόρυφη προβολή των πλαισίων). Στην περιοχή πραγματοποίησης της εγκατάστασης το γεωγραφικό πλάτος είναι $43,6^\circ$ βόρειο (Μονπελιέ, Γαλλία), συνεπώς το βέλτιστο σύστημα πρέπει να αποτελείται από συλλέκτες κλίσης 33° οι οποίοι έχουν ποσοστό κατακόρυφης προβολής στο έδαφος 63%, όπως έχει προσδιοριστεί με το PVsyst λογισμικό. Αυτό μπορεί να οριστεί ως το σύστημα αναφοράς παραγωγής ενέργειας. Η ίδια εγκατάσταση με συλλέκτες στηριζόμενους σε έναν άξονα οι οποίοι εναλλάσσουν γωνία που κυμαίνεται από 10° έως 80° προς το νότο, θα αξιοποιούσε κατά 7% περισσότερη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα λιγότερη διαθέσιμη ακτινοβολία για τις καλλιέργειες. Ο μόνος τρόπος μείωσης του κινδύνου για τις καλλιέργειες θα ήταν η μείωση του πλήθους των ηλιακών συλλεκτών[1].

Για την εύκολη διαχείριση της καλλιέργειας των φυτών, οι ηλιακοί συλλέκτες πρέπει να εγκατασταθούν σε ύψος που να είναι συμβατό με τα σύγχρονα μηχανήματα, με αποτέλεσμα μία εγκατάσταση στα 4 μέτρα από το έδαφος να παρουσιάζεται απολύτως ικανοποιητική. Οι υποστηρικτικοί πυλώνες θα πρέπει επίσης να βρίσκονται σε τέτοια διαστήματα έτσι ώστε να επιτρέπουν μεγάλα μηχανήματα (όπως θεριστικές μηχανές) να περάσουν ανάμεσά τους[1].

Μία συνολική απόδοση θα πρέπει να προσδιοριστεί, όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος (εκφραζόμενη σε kWh ha^{-1}) και την παραγωγή των καλλιεργειών (εκφραζόμενη σε T ha^{-1}) για ποικίλες πυκνότητες και γωνίες των ηλιακών συλλεκτών, καθώς είναι απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση του συστήματος. Επίσης μπορεί να σχεδιαστεί μία οικονομική μελέτη λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική αξία των δύο ειδών παραγωγής. Είναι δεδομένο πως οι ηλιακοί συλλέκτες και οι καλλιέργειες θα ανταγωνίζονται για την ηλιακή ακτινοβολία, και ενδεχομένως για τους άλλους πόρους, όπως το νερό, καθώς τα ηλιακά πλαίσια μπορεί να μειώσουν την διαθέσιμη ποσότητα νερού για τις καλλιέργειες. Ωστόσο, μπορεί να παρατηρηθούν ορισμένες θετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ηλιακών συλλεκτών και καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα η προστασία των καλλιεργειών από υψηλές θερμοκρασίες ή από αυξημένη διαθεσιμότητα νερού εάν η βροχόπτωση είναι συγκεντρωμένη σε μια περιορισμένη περιοχή. Από την άλλη πλευρά, το ύψος στήριξης των ηλιακών συλλεκτών δεν έχει καμία επίπτωση στη συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που θα είναι διαθέσιμη στο επίπεδο του εδάφους, όμως έχει πολύ μεγάλο αντίκτυπο στην ετερογένεια της ακτινοβολίας στο επίπεδο του εδάφους καθώς, όσο πιο κοντά στο έδαφος βρίσκονται οι συλλέκτες, τόσο μεγαλύτερη είναι η

ετερογένεια. Τα όρια των συστοιχιών στη συνολική εγκατάσταση θα παίξουν επίσης καταλυτικό ρόλο, εάν οι συλλέκτες βρίσκονται σε μεγάλο ύψος από το έδαφος, διότι θα δημιουργούν σκιές στη γύρω περιοχή[1].

Ο κύριος οικοφυσιολογικός περιορισμός για την παραγωγικότητα των φυτών κάτω από τα φ/β πλαίσια προκύπτει από τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μόνο λιγοστές πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με την αντοχή των περισσότερων ειδών καλλιέργειας στη σκιά. Στην οικολογία, η αντοχή στη σκιά σημαίνει για το φυτό πως έχει την ικανότητα να αντέχει σε πολύ χαμηλά επίπεδα φωτός. Σύμφωνα με τα γεωπονικά δεδομένα, υψηλά επίπεδα σκιάς (λιγότερο από το 75% της φυσικής στάθμης της ακτινοβολίας) προκαλεί συνήθως αλλοίωση στα περισσότερα χαρακτηριστικά των φυτών. Επιπλέον, πολλές είναι οι αλληλεπιδράσεις που μπορούν να συμβούν λόγω του συνδυασμού της μειωμένης ακτινοβολίας και άλλων ανασταλτικών για τη φυτική παραγωγή παραγόντων. Η θερμική καταπόνηση ή η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας μερικές φορές περιορίζουν την παραγωγικότητα των φυτών και είναι πολύ πιθανό να αυξηθούν στο μέλλον ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής. Αξίζει να επισημανθεί πως η ύπαρξη σκιάς στις καλλιέργειες μπορεί να επηρεάσει και ορισμένα άλλα χρήσιμα για την φυτική παραγωγή χαρακτηριστικά, όπως το νερό και το άζωτο. Είναι γεγονός πως η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού αναστέλλει πολλές παραγωγές καλλιεργειών στον κόσμο. Η σκιά επίσης θα μειώσει τις ανάγκες διαπνοής του φυτού, και ενδεχομένως να οδηγήσει σε μείωση χρήσης του νερού, ενώ η μειωμένη βιομάζα λόγω σκιάς μπορεί να μειώσει την ανάγκη για άζωτο[1].

Το αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα δημιουργήθηκε την άνοιξη του 2010. Το πρωτότυπο έχει έκταση 820 τετραγωνικά μέτρα και βρίσκεται στο Μονπελιέ, στη Γαλλία (43° 65' βόρεια και 3° 87' ανατολικά). Οι συστοιχίες των φ/β πλαισίων έχουν μήκος 44,8m και τοποθετήθηκαν σε ύψος 4 μέτρων πάνω από το έδαφος. Οι υποστηρικτικοί πυλώνες βρίσκονται σε απόσταση 6,4 μέτρων μεταξύ τους, τόσο στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου όσο και στην κατεύθυνση Δύσης-Ανατολής. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι μονοκρυσταλλικοί (JT185Wc, Jettion Solar Holdings Limited, Jiangsu, Κίνα), αδιαφανείς, με μήκος 1,58 μέτρα και πλάτος 0,808 μέτρα. Το πειραματικό οικόπεδο έχει σχήμα ορθογώνιο, και το πρωτότυπο ευθυγραμμίζεται με τα σύνορα του αγροτεμαχίου, το οποίο όμως δεν ευθυγραμμίζεται ακριβώς ως προς την κατεύθυνση Δύσης-Ανατολής με αποτέλεσμα η διεύθυνση του μήκους των πλαισίων (σχεδόν κάθετη στη διεύθυνση Βορρά-Νότου) και η διεύθυνση Δύσης-Ανατολής να σχηματίζουν γωνία 14°. Τα πλαίσια έχουν κλίση 25° από το έδαφος, με διάστημα 1,64 μέτρα μεταξύ τους (μεταξύ τους διάστημα θεωρείται η απόσταση μεταξύ των πλησιέστερων προς το έδαφος πλευρών δύο συνεχόμενων συστοιχιών) και με αποτέλεσμα η κατακόρυφη προβολή των πλαισίων να καλύπτει το 59% του εδάφους. Αυτό το σχέδιο είναι πολύ κοντά στο βέλτιστο σχεδιασμό και οδηγεί σε μια μικρή μείωση της τάξης του 1,5% της μέγιστης δυνατής απόδοσης του συστήματος όπως υπολογίζεται με το λογισμικό του PVSyst[1].

Το πρωτότυπο διαχωρίστηκε σε δύο μέρη τα οποία διαφέρουν ως προς την πυκνότητα των ηλιακών συλλεκτών: το πρώτο μέρος χαρακτηρίζεται από πλήρη πυκνότητα (FD), όπως περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο, και το δεύτερο μέρος έχει τη μισή πυκνότητα (HD). Με «πλήρη πυκνότητα» εννοούμε την βέλτιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών για μέγιστη ηλεκτροπαραγωγή. Η παραγωγικότητα

της μονάδας υπό κανονικές συνθήκες θα είναι 36Wm^{-2} στο μέρος μισής πυκνότητας (HD), και 72Wm^{-2} στο μέρος πλήρους πυκνότητας (FD)[1].

Η ύπαρξη μοντέλων, που σχετίζονται τόσο με την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φ/β πλαίσια, όσο και με την παραγωγικότητα πολλών καλλιεργειών, οδήγησε στο συνδυασμό τους με στόχο την προσομοίωση της λειτουργίας ενός συστήματος αγροτοφωτοβολταϊκών. Σχεδιάστηκε λοιπόν ένα μοντέλο αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο προβλέπει το ποσό της ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμο σε οποιαδήποτε θέση και ύψος κάτω από τις συστοιχίες, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε συνδυασμό με το παραπάνω μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο καλλιέργειας που προσομοιώνει την ανάπτυξη των καλλιεργειών με βάση τους σχετικούς περιβαλλοντικούς και τεχνικούς παράγοντες. Η σύνδεση αυτών των δύο μοντέλων πραγματοποιήθηκε με σκοπό να υποδείξει, αφενός εάν η συνολική παραγωγικότητα του συστήματος είναι ελκυστική, και αφετέρου τις κύριες παραμέτρους σχεδιασμού του συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να τροποποιηθούν σε μια διαδικασία βελτιστοποίησής του[1].

Η μέση ακτινοβολία (σχετική ακτινοβολία) κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Ιουνίου που κατέφτασε κάτω από τις συστοιχίες FD και HD ήταν 43% και 71% της συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας αντίστοιχα, σύμφωνα με την προσομοίωση. Αυτές οι τιμές ήταν ελαφρώς χαμηλότερες από τις τιμές που αφορούν ολόκληρο το έτος. Η διαθεσιμότητα της ακτινοβολίας ποικίλλει ανάλογα με την ημέρα του έτους και την θέση κάτω από τη συστοιχία. Στο χειμερινό ηλιοστάσιο, το μοτίβο της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει ομοιογένεια και το επίπεδο της σχετικής ακτινοβολίας είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Κατά τις ισημερίες η καθημερινή σχετική ακτινοβολία ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη θέση κάτω από τις συστοιχίες[1].

Πίνακας 4.1: Μεταβλητότητα της σχετικής ακτινοβολίας υπολογιζόμενη κάθε 10 εκατοστά κατά μήκος του άξονα του Βορρά-Νότου κάτω από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών, τις ισημερίες, τα ηλιοστάσια, και για όλο το έτος (σε 43° γεωγραφικό πλάτος βόρειο).

	Full density				Half density			
	Min	Average	Max	Range of variation	Min	Average	Max	Range of variation
Spring equinox	15.5	37.4	64.6	48.8	23.2	68.7	93.4	70.2
Summer solstice	38.8	54.1	68.3	29.5	49.2	75.4	90.0	40.8
Autumn equinox	20.4	38.9	67.3	46.9	29.3	69.6	92.5	63.2
Winter solstice	49.3	51.1	53.9	4.6	72.0	74.4	76.7	4.7
Annual	15.2	44.9	76.3		23.2	72.0	93.7	

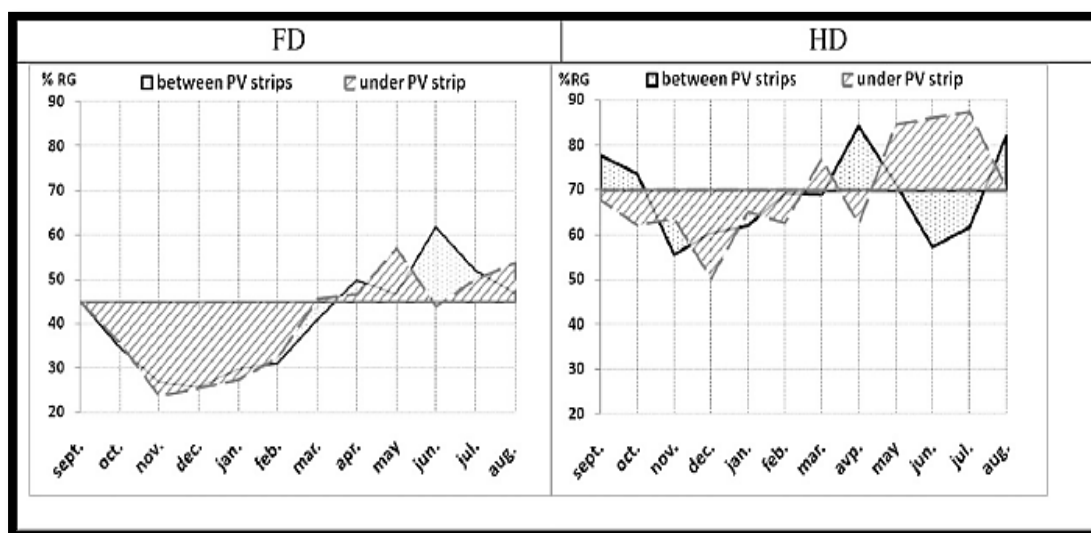
Πηγή: C. Dupraz et al. (2011) [1]

Το μοτίβο σε σχέση με το χρόνο που αφορά τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα σημεία κάτω από τις φ/β συστοιχίες εξαρτάται από την απόσταση του εκάστοτε σημείου από το πλησιέστερο φ/β πλαίσιο. Στο σύστημα πλήρους πυκνότητας, οι γραφικές παραστάσεις κατά μήκος του έτους παρουσιάζουν ομοιότητα καθώς λιγότερο από το 45% του φωτός είναι διαθέσιμο μέχρι την εαρινή ισημερία (Μάρτιος), ενώ το διαθέσιμο φως κυμαίνεται μεταξύ 45% και 65% από το Μάρτιο μέχρι τον Ιούνιο, τόσο σε σημείο ακριβώς κάτω από τα φ/β πλαίσια, όσο και σε σημείο που βρίσκεται ενδιάμεσα από αυτά[1].

Στο σύστημα μισής πυκνότητας, αντίθετα, οι γραφικές παραστάσεις της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας σε σημεία κάτω από τις φ/β συστοιχίες παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, πράγμα που σημαίνει πως η όποια πρόβλεψη στο συγκεκριμένο σύστημα οδηγεί σε δυσκολίες. Τον Απρίλιο, τα φυτά που βρίσκονται ενδιάμεσα από τα φ/β πλαίσια δέχονται το 83% του προσπίπτοντος φωτός, ενώ τα φυτά που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τα φ/β πλαίσια λαμβάνουν μόνο το 63% του φωτός. Τον Ιούνιο, οι γραφικές παραστάσεις διαφοροποιούνται με αποτέλεσμα η διαθεσιμότητα ηλιακής ακτινοβολίας στα σημεία ενδιάμεσα από τα φ/β πλαίσια να είναι κατώτερη του 60% και άνω του 85% στα σημεία κάτω από τα φ/β πλαίσια[1].

Οι παραπάνω επισημάνσεις δηλώνουν ότι η ανάπτυξη των φυτών, η ποσότητα της βιομάζας και η τελική απόδοση της φυτικής παραγωγής θα επηρεαστούν διαφορετικά στις καλλιέργειες, ανάλογα με τη θέση τους κάτω από τις συστοιχίες των φωτοβολταϊκών[1].

Διάγραμμα 4.1: Σχετική ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά το φύλλωμα κατά τη διάρκεια του έτους σε δύο θέσεις κάτω από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες πλήρους πυκνότητας (αριστερό διάγραμμα) και μισής πυκνότητας (δεξί διάγραμμα).



Πηγή: C. Dupraz et al. (2011) [1]

Το μοντέλο καλλιέργειας με τίτλο «STICS», που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση, προβλέπει ότι η παραγωγή σκληρού σίτου (προϊόν το οποίο προσομοιώθηκε) μειώνεται υπό τη σκιά των φ/β συστοιχιών. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αντιπαραβάλλονται μεταξύ των δύο πυκνοτήτων του πάνελ. Στο FD σύστημα, η ποσότητα ξηράς ύλης (Dry Matter) και απόδοση (Yield) μειώθηκαν κατά 29% και 19% αντίστοιχα. Στο HD σύστημα η παραγωγή σκληρού σίτου ήταν σχεδόν ανεπηρέαστη καθώς οι μειώσεις ήταν μόνο 11% για την ξηρά ύλη και 8% για την απόδοση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά 57% στο FD και 29% στο HD αποφέρει μείωση μόνο κατά 19% και 8% αντίστοιχα της απόδοσης της φυτικής παραγωγής. Κατά συνέπεια, το μοντέλο καλλιέργειας προβλέπει αυξημένη αποτελεσματικότητα του φωτός στο σκληρό σίτο κάτω από τη σκιά των φ/β συστοιχιών[1].

Οι LERs (Land Equivalent Ratios) είναι δείκτες που αφορούν την παραγωγικότητα της χρησιμοποιούμενης γης με τη βοήθεια των οποίων εκτιμάται η αξία των συστημάτων μικτής καλλιέργειας. Οι LERs επιτρέπουν τη σύγκριση της παραγωγικότητας των μειγμάτων των καλλιεργειών στην ίδια περιοχή γης έναντι των αντίστοιχων μονοκαλλιεργειών, και χρησιμοποιούνται είτε για μικτή καλλιέργεια δύο ετήσιες καλλιεργειών είτε για μείγματα δέντρων και φυτών καλλιέργειας. Η έννοια των δεικτών αυτών (LERs) μπορεί να επεκταθεί σε κάθε σύστημα που αναμειγνύει δύο (ή περισσότερους) τύπους παραγωγής στην ίδια μονάδα γης, συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός αγροτοφωτοβολταϊκού συστήματος. Ο δείκτης LER ενός α/φ/β συστήματος ορίζεται ως εξής[1]:

$$LER = \frac{Y_{cropingAV}}{Y_{monocrop}} + \frac{Y_{electricityAV}}{Y_{electricityPV}} \quad (4.1)$$

Στον τύπο (4.1) η μεταβλητή $Y_{monocrop}$ αναφέρεται στην απόδοση της μονοκαλλιέργειας φυτών, η μεταβλητή $Y_{electricityPV}$ αναφέρεται στην απόδοση ενός τυπικού φ/β συστήματος και οι μεταβλητές $Y_{cropingAV}$ και $Y_{electricityAV}$ αναφέρονται στην απόδοση της καλλιέργειας φυτών και του φ/β συστήματος αντίστοιχα στα πλαίσια της μικτής καλλιέργειας ενός α/φ/β συστήματος. Στο εξεταζόμενο α/φ/β σύστημα, τόσο στο FD όσο και στο HD σύστημα, το 90% της έκτασης κάτω από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών είναι καλλιεργημένο, συνυπολογίζοντας το ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από τους υποστηρικτικούς πυλώνες[1].

Στο τμήμα FD, η σχετική απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με την τιμή 1, καθώς το FD σύστημα έχει ρυθμιστεί σύμφωνα με τα πρότυπα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (θεωρείται ότι δεν υπάρχει καμία διαφορά της παραγωγικότητας των ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι βρίσκονται στο ύψος των 4 μέτρων σε σχέση με αυτούς που βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους). Ωστόσο, τα πλαίσια που βρίσκονται στα 4 μέτρα ύψος μπορούν να επωφεληθούν από καλύτερες συνθήκες εξαερισμού από τον άνεμο ή από μειωμένη συσσώρευση σκόνης. Τα στοιχεία αυτά οδηγούν σε πιθανή αύξηση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών, με αποτέλεσμα η σχετική απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να είναι υψηλότερη από 1. Στο τμήμα HD, εκτιμάται ότι η σχετική απόδοση είναι 0,52. Η πυκνότητα των πλαισίων στο σύστημα αυτό είναι η μισή καθώς διαθέτει τη μισή εγκατεστημένη ισχύ σε σύγκριση με το πρότυπο, πράγμα το οποίο πρέπει να οδηγήσει σε μια σχετική απόδοση ίση με 0,5. Ωστόσο, η μείωση της κάλυψης (σκιάς) από τα κοντινά πλαίσια συνεπάγεται μία αύξηση 2% της απόδοσης της παραγωγικότητας, που δίνει το δικαίωμα της εκτίμησης ότι η σχετική απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με $0,5 + 0,02 = 0,52$ [1].

Εάν για τον δείκτη LER ισχύει πως $LER > 1$, τότε το α/φ/β σύστημα είναι πιο αποτελεσματικό σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια φυτών και τις φ/β συστοιχίες για την ίδια περιοχή γης. Συνήθως, τα μικτά συστήματα καλλιέργειας έχουν δείκτες LERs μεταξύ 1,0 και 1,3, και πιο συγκεκριμένα τα γεωργοδασοκομικά συστήματα έχουν δείκτες LERs μεταξύ 1,1 και 1,5. Εάν για τον δείκτη LER μίας έκτασης γης ισχύει ότι $LER = 1,4$ συνεπάγεται πως η παραγωγή 100 εκταρίων της έκτασης αυτής, με μικτό σύστημα εκμετάλλευσης της γης, θα είναι ίση με την παραγωγή μίας έκτασης γης 140 εκταρίων με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Οι πολύ μεγάλες αυξήσεις της

παραγωγικότητας είναι πολύ ελκυστικές και εξηγούν την τρέχουσα τάση στη διερεύνηση μικτών συστημάτων. Οι αυξήσεις αυτές μπορούν να εξηγηθούν επίσης από την καλύτερη χρήση των πόρων του μικτού συστήματος, λόγω κυρίως της ύπαρξης συμπληρωματικότητας και εξοικονόμησης των αναγκών σε αυτούς[1].

Οι τιμές των δεικτών LERs των α/φ/β συστημάτων είναι εντυπωσιακές όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Τόσο υψηλές τιμές των δεικτών LERs δεν έχουν αναφερθεί ούτε προβλεφθεί για οποιαδήποτε μικτά συστήματα είτε συγκαλλιέργειας είτε γεωργοδασοκομικά. Ένας δείκτης LER με τιμή ίση με 1,7 σημαίνει ότι μια μία έκταση 100 εκταρίων θα παράγει τόση ηλεκτρική ενέργεια και τρόφιμα όσο μία έκταση 170 εκταρίων με ξεχωριστές τις προαναφερθείσες παραγωγές[1].

Πίνακας 4.2: Οι δείκτες LERs των δύο διαφορετικών αγροτοφωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως προβλέπεται από τη μοντελοποίηση.

	Solar panel	Crop	Crop	LER based on yield	LER based on dry matter
	Relative yield	Relative yield	Relative dry matter		
Monosystem	1	1	1	–	–
FD agrivoltaic system	1	0.73	0.64	1.73	1.64
HD agrivoltaic system	0.52	0.83	0.80	1.35	1.32

Πηγή: C. Dupraz et al. (2011) [1]

4.2. Παραγωγικότητα φυτών υπό τη σκιά φωτοβολταϊκών συστοιχιών

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, όπως αναφέρθηκε, εγκαταστάθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η οποιασδήποτε μορφής επεξεργασία της καλλιέργειας. Ως εκ τούτου, οι καλλιέργειες βρισκόμενες στο επίπεδο του εδάφους είναι μερικώς ή κατά διαστήματα σκιασμένες λόγω της κάλυψης των ηλιακών συλλεκτών. Καταρχήν, κάθε είδους καλλιέργεια μπορεί να θεωρηθεί ικανή να καλλιεργηθεί σε α/φ/β συστήματα. Προτεραιότητα όμως δόθηκε στα κηπευτικά φυτά διότι καλλιεργούνται σε σειρές οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη συμβατότητα με τους γεωμετρικούς περιορισμούς που προκύπτουν από τη δομή α/φ/β συστημάτων. Το μικρό μέγεθος των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κηπευτικών αποτελεί επιπλέον κίνητρο αυτής της επιλογής. Μεταξύ τις μεγάλων παραγωγών λαχανικών στη Νότια Ευρώπη, το μαρούλι είναι μια κατάλληλη λύση για αυτά τα πρωτοπόρα συστήματα. Μπορεί να φυτευτεί οποιαδήποτε εποχή του έτους, σε ανοικτές εκτάσεις, σε θερμοκήπια ή ακόμα και σε σκιερά μέρη, με αποτέλεσμα να μπορεί να θεωρηθεί, πως παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών[3].

Το σημείο κλειδί για τη βελτιστοποίηση των α/φ/β συστημάτων είναι η ορθή διαχείριση των διαθέσιμων αλλά περιορισμένων πόρων, όπως είναι το ηλιακό φως στην περίπτωση αυτή, έτσι ώστε η καλλιέργεια να παρέχει το καλύτερο δυνατό κέρδος. Η βελτιστοποίηση μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Πρώτον, ρυθμίζοντας την πυκνότητα των ηλιακών συλλεκτών, η οποία διαφοροποιεί το βαθμό

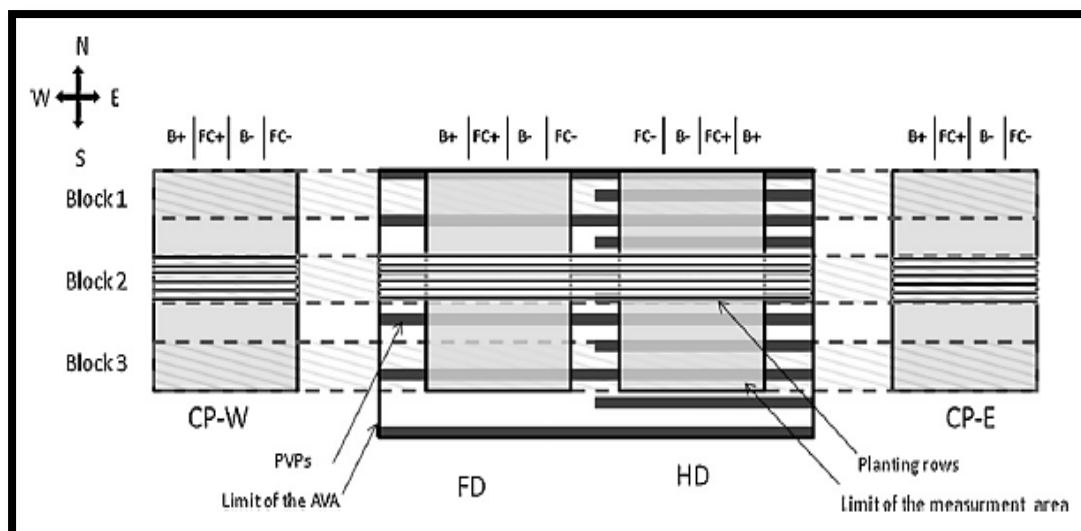
σκίασης που εφαρμόζεται στην καλλιέργεια. Δεύτερον, μια καλύτερη γνώση της αντίδρασης της καλλιέργειας στο φως που θα οδηγήσει στον προσδιορισμό των κατάλληλων μοτίβων ακτινοβολίας με τα οποία η καλλιέργεια μπορεί να αναπτυχθεί καλύτερα[3].

Η σκιά έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την απόδοση των καλλιεργειών με την επιβράδυνση της ανάπτυξής τους και με τη μείωση της παραγωγής της συνολικής βιομάζας. Η σκιά, είναι γνωστό πως, επηρεάζει τη φυλλώδη επιφάνεια καθώς και τα χαρακτηριστικά των φύλλων όπως είναι η μάζα των φύλλων. Παρόμοιες αλλαγές παρατηρήθηκαν σε βοσκότοπους όταν περιοδική σκίαση προέκυπτε από ένα δέντρο ή ένα θάμνο[3].

Για να αξιολογηθεί η παραγωγικότητα των φυτών υπό τη σκιά των φ/β συστοιχιών πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε τέσσερις ποικιλίες των μαρουλιών κατά τη διάρκεια δύο περιόδων. Δύο εκτάσεις ελέγχου, από 200 τετραγωνικά μέτρα έκαστη, καλλιεργήθηκαν 10 μέτρα ανατολικά (CP-E) και δυτικά (CP-W) του α/φ/β συστήματος. Η απόσταση αυτή θεωρήθηκε κατάλληλη τόσο για να μην επηρεάζονται από τη δημιουργούμενη σκιά των φ/β συστοιχιών όσο και για να υπάρχει παρόμοιων χαρακτηριστικών έδαφος. Για κάθε μεταβλητή που μετρήθηκε στις δύο εκτάσεις ελέγχου, ο μέσος όρος των δεδομένων τους χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά[3].

Το πείραμα διεξήχθη υπό κανονικές (πραγματικές) συνθήκες όσον αφορά το νερό και το άζωτο για να περιοριστούν οι πιθανές επιδράσεις του εδάφους στην καλλιέργεια. Μετά το τέλος της διαδικασίας της συγκομιδής πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση διακύμανσης της απόδοσης του μαρουλιού στα δύο ηλιόλουστα οικόπεδα που βρίσκονται στην ανατολική (CP-E) και τη δυτική (CP-W) πλευρά του το α/φ/β συστήματος. Κάθε οικόπεδο ήταν χωρισμένο σε τρία ορθογώνια τμήματα με τη μεγάλη πλευρά τους να είναι παράλληλη με την κατεύθυνση Δύσης-Ανατολής. Η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές ούτε κατά ορθογώνιο τμήμα ούτε κατά οικόπεδο[3].

Δύο ποικιλίες μαρουλιού (B0 και FC+) φυτεύτηκαν στις 22 Ιουλίου του 2010. Η ποικιλία FC+ φυτεύτηκε και πάλι στις 23 Μαρτίου του 2011 μαζί με τρεις άλλες ποικιλίες: B+, B- και FC-. Οι ποικιλίες B0, B+ και B- ανήκουν στο υποείδος "Batavia", και αντιστοιχούν στις ποικιλίες "Tourbillon" (B0), "Model" (B+) και "Emocion" (B-). Οι ποικιλίες FC+ και FC- ανήκουν στο υποείδος "Feuille de Chêne" και αντιστοιχούν στις ποικιλίες "Kiribati" (FC+) και "Bassoon" (FC-). Τα σπορόφυτα αυτά φυτεύτηκαν κάτω από τις φ/β συστοιχίες σε ορθογώνια τμήματα (blocks) αποτελούμενα από σειρές (rows) με διεύθυνση αυτή της διεύθυνσης Δύσης-Ανατολής. Κάθε ορθογώνιο τμήμα αποτελούνταν από επτά σειρές το 2010 και έξι σειρές το 2011. Η απόσταση μεταξύ δύο γραμμών φύτευσης ήταν 33 εκατοστά και η απόσταση μεταξύ δύο μαρουλιών σε μία σειρά ήταν 27 εκατοστά. Η άρδευση των καλλιεργειών προερχόταν το 2010 από ψεκαστήρες ή από στάγδην γραμμές το 2011 και τα λιπάσματα αζώτου εφαρμόστηκαν αμέσως πριν από τη φύτευση, και κατά τη διάρκεια του κύκλου των καλλιεργειών. Οι ποσότητες νερού και αζώτου ελέγχονταν εβδομαδιαία από την μετρητές πίεσης και μετρητές χλωροφύλλης για να εξασφαλιστεί ότι οι ποσότητες αυτές δεν θα ξεπεράσουν τα όρια σε οποιοδήποτε επεξεργασίες[3].



Εικόνα 4.2: Πειραματικός σχεδιασμός. Τα στοιχεία B+ | FC+ | B- | FC- | δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο διανεμήθηκαν οι ποικιλίες το 2011 από την Ανατολή προς τη Δύση. Το 2010, η ποικιλία B0 είχε φυτευτεί στη θέση των B+ και FC+, ενώ η ποικιλία FC+ είχε φυτευτεί στη θέση των B- και FC-. FD: πλήρους πυκνότητας οικόπεδο. HD: μισής πυκνότητας οικόπεδο. CP-E: ανατολικό οικόπεδο ελέγχου και CP-W: δυτικό οικόπεδο ελέγχου.

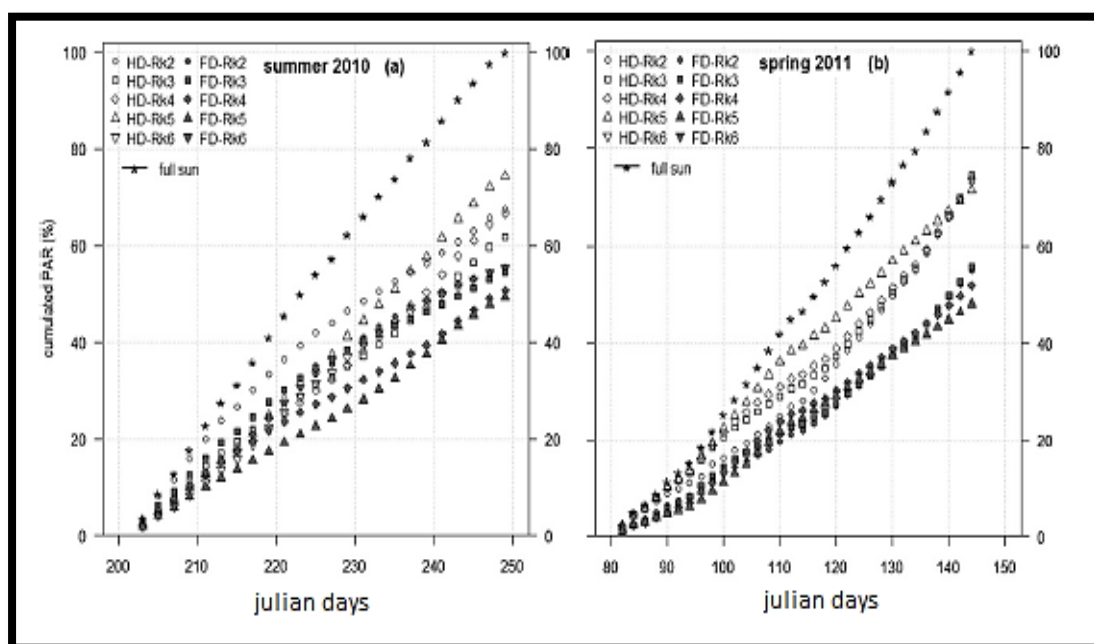
Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [3]

Η διαθέσιμη ακτινοβολία στις καλλιέργειες που βρίσκονταν στη σκιά των φ/β συστοιχιών μετρήθηκε ωριαία σε κάθε σύστημα με πυρανόμετρα ή αισθητήρες μέτρησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (PAR). Οι αισθητήρες PAR και τα πυρανόμετρα θεωρήθηκαν ισοδύναμα αφότου διενεργήθηκε έλεγχος σε ένα συμπληρωματικό πείραμα κατά τη διάρκεια του οποίου διάφορα πυρανόμετρα και PAR αισθητήρες τοποθετήθηκαν μαζί στα ίδια σημεία κάτω από τον ήλιο αλλά και σε σκιασμένα σημεία. Συγκρίνοντας τις ωριαίες εγγραφές των αισθητήρων PAR και των πυρανόμετρων, ελέγχθηκε ότι ο λόγος PAR/Global (ο όρος Global αναφέρεται στην ολική ηλιακή ακτινοβολία) ήταν αρκετά κοντά στην τιμή 0,48 τόσο στη σκιά όσο και στον ήλιο, οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Επίσης η μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία δύο μέτρα πάνω από το έδαφος, καθώς και η θερμοκρασία των καλλιεργειών μετρούνταν και ελέγχονταν έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η ομοιομορφία μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων[3].

Η δειγματοληψία των μαρουλιών πραγματοποιήθηκε σε τρεις ημερομηνίες το 2010 (21, 34, και 47 ημέρες μετά από τη φύτευση), και το 2011 (23, 44, 63 μετά τη φύτευση) με στόχο να διενεργηθούν μετρήσεις της βιομάζας. Η τελευταία συγκομιδή αντιστοιχεί στο στάδιο της ωριμότητας των καλλιεργειών για την πώλησή τους. Τρία έως πέντε (ανάλογα με την ημερομηνία της δειγματοληψίας) μαρούλια κάθε ποικιλίας επιλέχτηκαν τυχαία στα τμήματα CP-E και CP-W σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας. Στα τμήματα FD και HD, τρία έως πέντε μαρούλια συλλέχθηκαν από κάθε σειρά φύτευσης, προκειμένου να υπάρχει ένα ομοιογενές δείγμα για τη μέτρηση της ετερογένειας της ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από τις φ/β συστοιχίες. Η συνολική ξηρή βιομάζα και ο αριθμός φύλλων μετρήθηκαν για κάθε μαρούλι. Το μήκος και το πλάτος των φύλλων μετρήθηκαν για τουλάχιστον ένα μαρούλι ανά σειρά και ανά τμήμα[3].

Ο λόγος της άμεσης αξιοποιήσιμης PAR στις καλλιέργειες προς τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία (η διαθέσιμη αξιοποιήσιμη ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των καλλιεργειών κάτω από τις φ/β συστοιχίες που συμβολίζεται με RTE) κατά την περίοδο καλλιέργειας ήταν κατά μέσο όρο 53% στο σύστημα FD για το 2010 και το 2011. Κυμάνθηκε από 48% έως 56% ανάλογα με τη σειρά της φύτευσης, για τα δύο χρόνια. Στο σύστημα HD, κυμάνθηκε από 68% το καλοκαίρι του 2010 έως 73% την άνοιξη του 2011. Η μεταβλητότητα του διαθέσιμου φωτός μεταξύ των σειρών φύτευσης ήταν υψηλότερη σε αυτό το τμήμα καθώς κυμάνθηκε μεταξύ 63% με 72% το 2010, και 71% με 74% το 2011[3].

Διάγραμμα 4.2: Η άμεση PAR στον πλήρη ήλιο (μετρήσεις) για κάθε σειρά φύτευσης (Rk2-Rk6 για το 2010 και Rk2-Rk5 για το 2011) στα συστήματα FD και HD (προσομοιώσεις), στις δύο περιόδους καλλιέργειας (καλοκαίρι 2010 και άνοιξη 2011). Η άμεση PAR εκφράζεται σαν επί τοις εκατό ποσοστό της PAR στον πλήρη ήλιο στο τέλος της περιόδου καλλιέργειας.



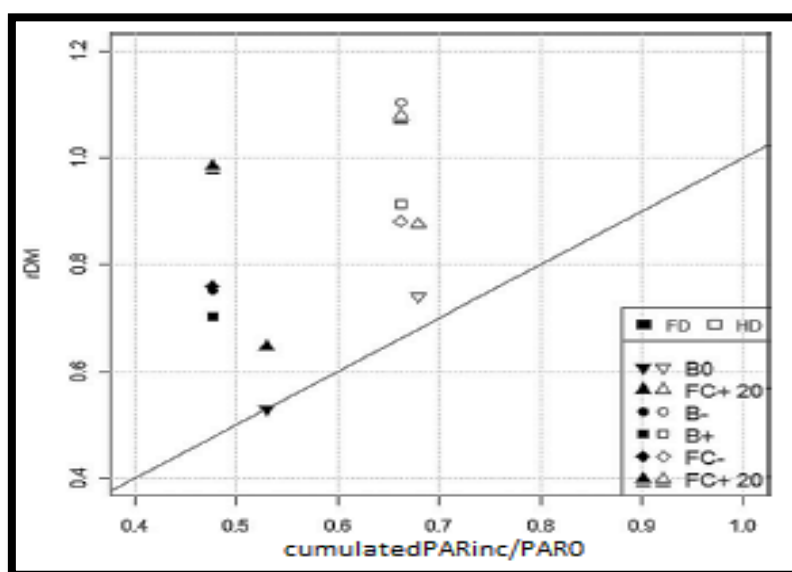
Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [3]

Η μέση απόδοση στα τμήματα CP-E και CP-W έφτασε περίπου τα 25 γραμμάρια ξηρής βιομάζας ανά φυτό και στις δύο περιόδους καλλιέργειας. Το νωπό βάρος προϊόντος στον πλήρη ήλιο ήταν 561 γραμμάρια ανά φυτό το καλοκαίρι του 2010 και 312 γραμμάρια το 2011, για όλες τις ποικιλίες. Το ελάχιστο νωπό βάρος του μαρουλιού ώστε να διοχετευτεί στο εμπόριο στη Γαλλία είναι 280 γραμμάρια ανά φυτό το χειμώνα και 400 γραμμάρια για το καλοκαίρι. Συνεπώς πρόκειται για μια περαιτέρω επιβεβαίωση ότι τα φυτά καλλιεργούνται κοντά τις δυνατότητές τους στον πλήρη ήλιο, και ότι το ηλιακό φως ήταν ο κύριος περιοριστικός παράγοντας στα συστήματα FD και HD[3].

Το 2010, η απόδοση των μαρουλιών μειώθηκε σημαντικά στο 58% σε σχέση με τις εκτάσεις ελέγχου (όλες οι ποικιλίες μαζί), όταν τα φυτά υποβλήθηκαν στη σκίαση του συστήματος FD. Στο σύστημα HD, οι αποδόσεις ήταν στο 81% σε σχέση με τις εκτάσεις ελέγχου για το ίδιο έτος. Το 2011, οι μειώσεις ήταν μικρότερες καθώς η απόδοση στο σύστημα FD έφτασε το 79% και 99% στο σύστημα HD σε σχέση με τα

οικόπεδα ελέγχου. Αυτό δείχνει ότι, τουλάχιστον στις συνθήκες φύτευσης της άνοιξης το 2011, η απόδοση επηρεάζεται πολύ λίγο όταν η σκιά ήταν μέτριου επιπέδου (δηλαδή στο σχεδιασμό HD). Το 2011, για τις ποικιλίες FC+ και B-, η απόδοση στο σύστημα HD ήταν μεγαλύτερες και σε σχέση με τις συνθήκες πλήρους ηλιακού φωτός. Επιπλέον η μείωση της βιομάζας ήταν μικρότερη από τη μείωση διαθέσιμου ηλιακού φωτός, για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας με εξαίρεση την ποικιλία B0 το 2010. Αυτό δείχνει την ικανότητα του μαρουλιού να παράγει βιομάζα περισσότερο αποτελεσματικά παρά τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας[3].

Διάγραμμα 4.3: Η σχετική ξηρή βιομάζα των μαρουλιών σε σχέση με το λόγο RTE τις ημέρες συγκομιδής (ημέρα 47 το 2010, και ημέρα 63 το 2011).



Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [3]

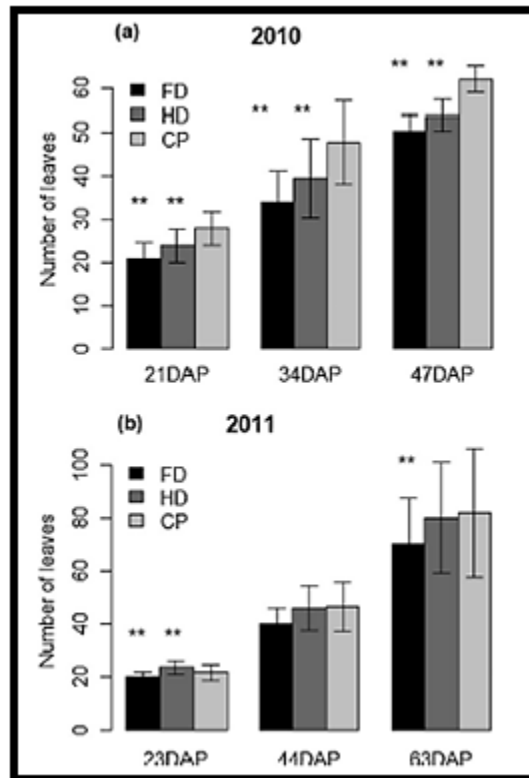
Το 2010, ο αριθμός των φύλλων (μακρύτερα από 1 εκατοστό) μειώθηκε σημαντικά στη σκιά για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας. Το 2011, ο αριθμός των φύλλων μειώθηκε σημαντικά στο σύστημα FD για κάθε ποικιλία και κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας. Στο σύστημα HD, ο αριθμός των φύλλων ήταν αμετάβλητος για τις περισσότερες ποικιλίες, αλλά μειώθηκε σημαντικά για την ποικιλία FC-[3].

Το 2011, η συνολική φυλλική επιφάνεια αυξήθηκε σημαντικά στο σύστημα FD, σε σύγκριση με τα οικόπεδα ελέγχου, για κάθε ποικιλία, από την ημέρα 43 έως την ημέρα 63 από τη φύτευση σε αντίθεση με τον αριθμό των φύλλων. Στο σύστημα HD, η φυλλική επιφάνεια έτεινε να αυξηθεί επίσης, αλλά η αλλαγή ήταν σημαντική μόνο για τις ποικιλίες FC+ και B-, την ημέρα 63 από τη φύτευση. Το 2010, την ημέρα 47 από τη φύτευση, η συνολική φυλλική επιφάνεια ήταν μικρότερη στη σκιά, αλλά η διαφορά δεν ήταν σημαντική[3].

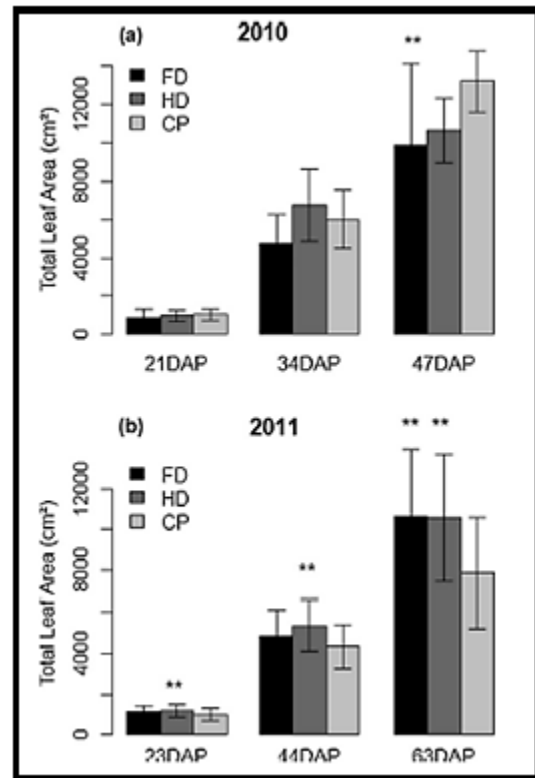
Για κάθε ποικιλία, το 2011, το μέγιστο εμβαδό του προϊόντος μετρήθηκε από μια ομάδα πέντε συνεχόμενων φύλλων (που ονομάζεται εδώ κορώνα) σε ένα φυτό και ήταν σημαντικά υψηλότερο στη σκιά σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο. Το γεγονός της εμφάνισης μεγαλύτερης φυλλικής επιφάνειας στη σκιά που παρατηρήθηκε την άνοιξη ήταν συνέπεια της αύξησης του μεγέθους του "ώριμων φύλλων" των μαρουλιών.

Ωριμα φύλλα ονομάζουμε το σύνολο των φύλλων, των οποίων το εμβαδό υπερβαίνει το 75% του μεγέθους του μεγαλύτερου φύλλου του φυτού[3].

Διάγραμμα 4.4: Ο αριθμός των φύλλων μακρύτερα από 1 εκατοστό ανά μαρούλι, για όλες τις ποικιλίες μαζί τις ημέρες 21, 34 και 47 από τη φύτευση το 2010, και 23, 44 και 63 το 2011. Οι κατακόρυφες γραμμές που δείχνουν το σφάλμα απεικονίζουν τις τυπικές αποκλίσεις.



Διάγραμμα 4.5: Η συνολική φυλλική επιφάνεια για όλες τις ποικιλίες μαζί τις ημέρες 21, 34 και 47 από τη φύτευση το 2010, και 23, 44 και 63 το 2011. Η συνολική φυλλική επιφάνεια υπολογίζεται από το άθροισμα του εμβαδού κάθε φύλλου που είναι μεγαλύτερο από 1 εκ.



Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [3]

Αξίζει να σημειωθεί λοιπόν, ότι τα μαρούλια μπορούν να διατηρήσουν σχετικά υψηλές αποδόσεις κάτω από τις φ/β συστοιχίες στο σύστημα HD και, για ορισμένες ποικιλίες, στο σύστημα FD κατά την άνοιξη. Αποδείχθηκε ότι η αντοχή στη σκιά των φ/β συστοιχιών στηρίχθηκε κυρίως στην ικανότητα των μαρουλιών να βελτιώνουν την ικανότητά τους να απορροφούν το ηλιακό φως. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας αποτέλεσε μια φυσική διαδικασία, ευθέως ανάλογη με το ποσοστό κάλυψης του εδάφους. Αυτό επιτεύχθηκε με μορφολογικές αλλαγές που συνέβαλαν αφενός στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας των φυτών και αφετέρου στη βελτίωση του τρόπου αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας από το σύνολο των φύλλων[3].

Πίνακας 4.3: Η ξηρή βιομάζα (γραμμάρια/φυτό), για κάθε ποικιλία που δοκιμάστηκε στα δύο πειράματα (2010, 2011). Η τυπική απόκλιση (σε παρένθεση) εκφράζεται σαν ποσοστό της μέσης απόδοσης που υπολογίστηκε στο αντίστοιχο δείγμα (δηλαδή τρία έως πέντε μαρούλια).

	2010 (Summer)		2011 (Spring)			
	B0	FC+	B-	B+	FC-	FC+
FD	13.9 ^a (17%)	16.0 ^a (12%)	17.8 ^a (33%)	18.4 ^a (21%)	18.9 (23%)	21.6 (25%)
HD	19.4 ^a (26%)	21.7 ^a (21%)	26.1 ^a (17%)	23.9 (32%)	21.9 (13%)	23.7 (24%)
CP	26.2 (21%)	24.9 (16%)	23.7 (33%)	26.2 (23%)	24.9 (18%)	22.0 (27%)

^a Η απόδοση είναι σημαντικά διαφορετική από τις καλλιέργειες ελέγχου λαμβάνοντας υπόψη μία απόκλιση $\alpha=5\%$

Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [3]

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κάτω από το α/φ/β σύστημα μισής πυκνότητας, η απόδοση των μαρουλιών επηρεάζεται σε πολύ μικρό βαθμό, ενώ κάτω από το α/φ/β σύστημα πλήρους πυκνότητας, η αντίστοιχη απόδοση μειώνεται σημαντικά, σε ποσοστό ακόμα και 48% σε σχέση τις καλλιέργειες στον πλήρη ήλιο για το μεγαλύτερο μέρος των ποικιλιών. Εάν η παραγωγή μαρουλιού αναμένεται να μην μειωθεί σημαντικά, το α/φ/β σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει τουλάχιστον το 70% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας (HD σχεδιασμός)[3].

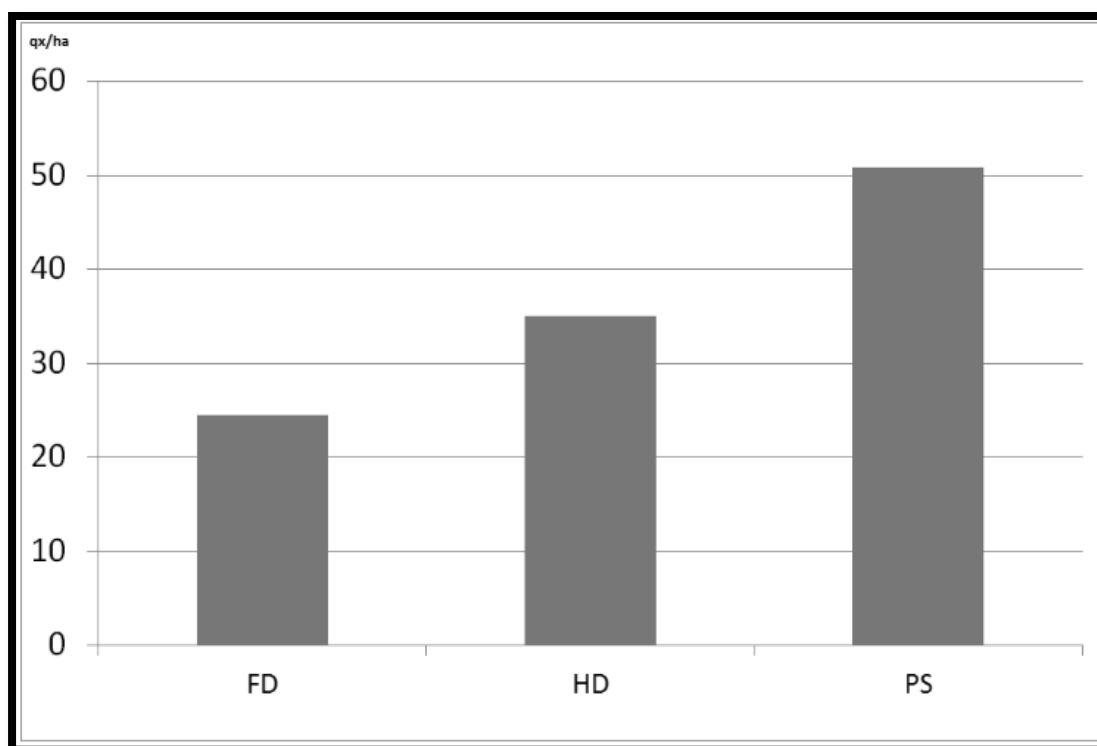
Μια έξυπνη πρόταση για να διατηρηθεί ένα υψηλό επίπεδο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν να τοποθετηθούν οι ηλιακοί συλλέκτες σε κινητές βάσεις που θα επιτρέπουν την αλλαγή στη γωνία κλίσης τους. Κατά τις περιόδους καλλιέργειας όπου τα φυτά χρειάζονται λιγότερη ακτινοβολία, τα πλαίσια θα μπορούν να τεθούν στη βέλτιστη θέση για μέγιστη ηλεκτροπαραγωγή. Μία δεύτερη πρόταση είναι η μείωση της πυκνότητας των φ/β πλαισίων αλλά παρουσιάζει μικρότερη ευελιξία. Ο σχεδιασμός αυτός θα οδηγήσει σε μείωση της ηλεκτρικής παραγωγικότητας αλλά και της συνολικής παραγωγικότητας της γης για όλο το έτος, εάν συμπεριληφθεί η περίοδος που δεν υπάρχουν καλλιέργειες. Συγκρίνοντας τις δύο επιλογές (κινητές βάσεις φ/β πλαισίων και μειωμένη πυκνότητα φ/β πλαισίων) απαιτείται να ληφθεί υπόψη το μέγεθος της επένδυσης, το οποίο είναι υψηλότερο για το σύστημα πλήρους πυκνότητας (συμπεριλαμβανομένου του κόστους των κινητών βάσεων) σε σχέση με το σύστημα HD[3].

Το πείραμα αυτό καταδεικνύει ότι μερικές καλλιέργειες όπως το μαρούλι έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται στις συνθήκες των α/φ/β συστημάτων και να αντισταθμίζουν τη μικρή ή μεγαλύτερη μείωση της διαθεσιμότητας του ηλιακού φωτός με υψηλότερη φωτοσυνθετική ικανότητα. Η ικανότητα αυτή συνδέεται άμεσα με τις μορφολογικές αλλαγές στον τρόπο ανάπτυξης των φύλλων των καλλιεργειών[3].

Τη χρονική περίοδο, από τον Νοέμβριο του 2013 έως και τον Ιούνιο του 2014, μέχρι και την οποία τα πειράματα εφαρμογής του αγροτοφωτοβολταϊκού συστήματος πραγματοποιούνταν είχε σπαρθεί και καλλιεργηθεί η ποικιλία “Claudio” σκληρού σίτου στο πρότυπο πειραματικό α/φ/β σύστημα με στόχο να παρατηρηθεί η συνολική τελική του απόδοσή του αλλά και η ποιότητα των σιτηρών η οποία επηρεάζει άμεσα τους αγρότες.

Ο σκληρός σίτος είχε σπαρθεί το Νοέμβριο σε πυκνότητα 150 kg/ha περίπου στα τμήματα πλήρους ήλιου (CP-W και CP-E), μερικής σκίασης (HD) και πλήρους σκίασης (FD) από τους ηλιακούς συλλέκτες για να συλλεχθεί τον Ιούνιο του 2014. Η παραγωγή του σκληρού σίτου που προέκυψε με δειγματοληπτικές μετρήσεις της μάζας του ήταν σχεδόν 5.100 kg/ha στον πλήρη ήλιο, περίπου 3.500 kg/ha στο τμήμα HD και περίπου 2.500 kg/ha στο τμήμα FD. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν πως η απόδοση παραγωγής του σκληρού σίτου στα σκιασμένα τμήματα σε σύγκριση με την παραγωγή του στον πλήρη ήλιο ανήλθε στο 69% ($LER=0,52+0,69=1,21$) για το τμήμα HD και στο 49% ($LER=1,00+0,49=1,49$) για το τμήμα FD.

Διάγραμμα 4.6: Η μέση παραγωγή του σκληρού σίτου σε (qx/ha) δηλαδή (100kg/ha), στα τμήματα πλήρους ήλιου (PS), μερικής σκίασης (HD) και πλήρους σκίασης (FD) για το έτος 2014.

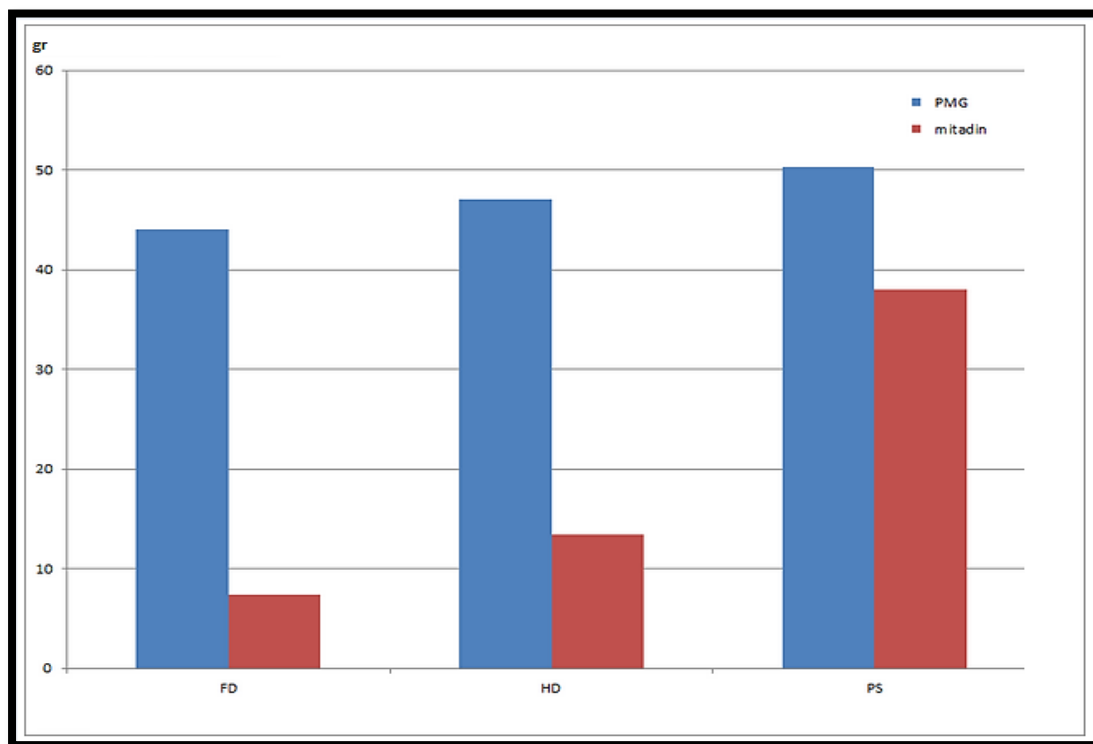


Πηγή: C. Dupraz research

Σύμφωνα με τον καθηγητή Christian Dupraz του Πανεπιστημίου INRA στο Μονπελιέ της Γαλλίας, καθίσταται πολύ σημαντική η ποιοτική αξιολόγηση των καρπών του σκληρού σίτου καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στην άμεση διοχέτευση των σιτηρών στην αγορά καθώς και στην τιμή πώλησής τους. Από τη συγκεκριμένη συγκομιδή σκληρού σίτου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα τμήματα πλήρους ήλιου, μερικής πυκνότητας και πλήρους πυκνότητας φωτοβολταϊκών πλαισίων όσον αφορά δύο φυσικά κριτήρια ποιότητας σιτηρών. Το πρώτο κριτήριο είναι το βάρος χιλίων σπόρων το οποίο εκφράζεται σε γραμμάρια και αποτελεί έναν παράγοντα που επηρεάζει την απόδοση του αλεύρου και του σιμιγδαλιού. Επηρεάζεται επίσης από το μέγεθος και την πυκνότητα των σπόρων. Στο τμήμα HD το βάρος χιλίων σπόρων ήταν στο 94% του αντίστοιχου βάρους χιλίων σπόρων στον πλήρη ήλιο και στο τμήμα FD ήταν στο 88% σημειώνοντας αισθητή αλλά μικρή μείωση. Το δεύτερο κριτήριο είναι το ποσοστό των μη υαλωδών σπόρων (mitadin). Οι μη υαλώδεις

σπόροι του σκληρού σίτου μειώνουν την απόδοση του σιμιγδαλιού και επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητά του. Στον πλήρη ήλιο το ποσοστό των μη υαλωδών σπόρων ήταν στο 75% των συνολικών σπόρων, στο τμήμα HD ήταν στο 29% και στο τμήμα FD στο 17%. Η ποιότητα των σπόρων σημείωσε πολύ σημαντική βελτίωση υπό τη σκιά των φωτοβολταϊκών πλαισίων γεγονός το οποίο μπορεί να αποτελέσει ισχυρό πλεονέκτημα για τους αγρότες.

Διάγραμμα 4.7: Το βάρος χιλίων σπόρων (PMG) σε gr και το βάρος των μη υαλωδών σπόρων σε gr (mitadin), στα τμήματα πλήρους ήλιου (PS), μερικής σκιάσης (HD) και πλήρους σκιάσης (FD) για το έτος 2014.



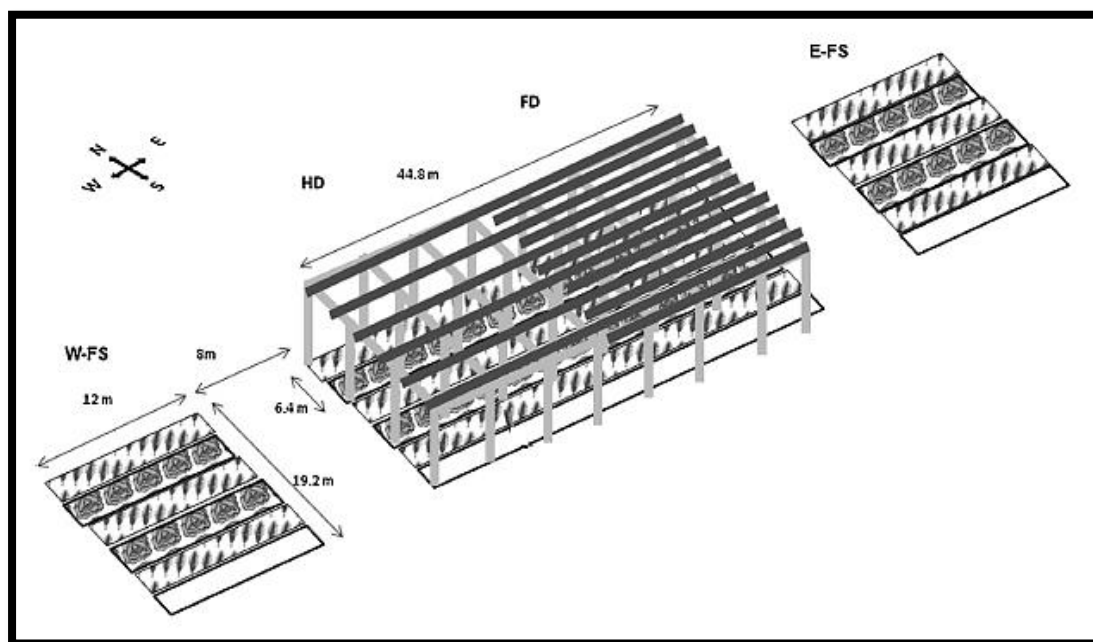
Πηγή: C. Dupraz research

4.3. Μικροκλίμα κάτω από τα αγροτοφωτοβολταϊκά συστήματα και ρυθμός ανάπτυξης καλλιεργειών

Στην περίπτωση των αγροτοφωτοβολταϊκών συστημάτων, το μοτίβο της σκιάς κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες ποικίλλει από τη μία εποχή στην άλλη, αλλά και μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών πλατών καθώς τα όρια μεταξύ σκιάς και φωτός αλλάζουν λόγω της κίνησης του ήλιου. Για τους λόγους αυτούς, η επίδραση της δημιουργούμενης από τα φ/β πλαίσια σκιάς μπορεί να έχει διαφορετικό αντίκτυπο στην παραγωγικότητα των χειμερινών καλλιεργειών, σε σύγκριση με τις καλλιέργειες του καλοκαιριού, ή για τις σύντομου κύκλου καλλιέργειες σε σύγκριση με τις μεγάλου κύκλου καλλιέργειες. Ως εκ τούτου διερευνώνται παρακάτω οι επιπτώσεις των ηλιακών συλλεκτών στο μικροκλίμα που υφίσταται στο επίπεδο των καλλιεργειών (θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα και ταχύτητα ανέμου) καθώς και στην καλλιέργεια και στην εδαφική θερμοκρασία. Το συγκεκριμένο πείραμα διεξήχθη σε τρία είδη καλλιεργειών και περιόδων καλλιέργειας δηλαδή στον σκληρό σίτο (χειμώνας έως

καλοκαίρι), στα μαρούλια (την άνοιξη και το καλοκαίρι), και στα αγγούρια (καλοκαίρι)[5].

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν στο πρότυπο πειραματικό α/φ/β σύστημα, στο Μονπελιέ της Γαλλίας (43,15° Β, 3,87° Α) από τον Ιούλιο του 2010 έως το Σεπτέμβριο του 2011. Τα διαφορετικά τμήματα σκίασης εφαρμόστηκαν σε τέσσερα οικόπεδα. Το κάθε οικόπεδο έχει 12 μέτρα μήκος προς την κατεύθυνση Ανατολής-Δύσης και χωρίζονται μεταξύ τους από μια ουδέτερη ζώνη 8 μέτρων (μεταξύ οικοπέδων ελέγχου και σκιασμένες εκτάσεων). Στην κατεύθυνση του Βορρά-Νότου, κάθε οικόπεδο ελέγχου έχει μήκος 19 μέτρα. Τα τμήματα FD και HD, οι μετρήσεις που αφορούν τις καλλιέργειες και τα μετεωρολογικά στοιχεία ελήφθησαν μόνο στα πρώτα 15 μέτρα (κατεύθυνση Βορρά-Νότου) από το Βορρά με στόχο να αποφευχθεί οποιαδήποτε επίδραση των νότιων ορίων των τμημάτων. Τα νότια σύνορα λόγω του υψηλότερου προσπίπτοντος ηλιακού φωτός που δέχονται θα δημιουργούσαν μεγαλύτερες αποκλίσεις στις μετρήσεις[5].



Εικόνα 4.3: Ο γενικός χάρτης της πειραματικής έκτασης κατά τη διάρκεια της περιόδου φύτευσης σιταριού και μαρουλιού. Το FD αντιπροσωπεύει το οικόπεδο πλήρους πυκνότητας ενώ το HD αντιπροσωπεύει το οικόπεδο μισής πυκνότητας. Τα W-FS και E-FS αντιστοιχούν στα οικόπεδα ελέγχου δυτικά και ανατολικά.

Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Τρία διαφορετικά είδη εξετάστηκαν για το πρότυπο α/φ/β σύστημα για διαφορετικές περιόδους καλλιέργειας που εκτείνονται από τον Ιούλιο του 2010 έως το Σεπτέμβριο του 2011. Τα φυτά που καλλιεργήθηκαν για να συμπεριληφθούν στις μετρήσεις του μικροκλίματος ήταν[5]:

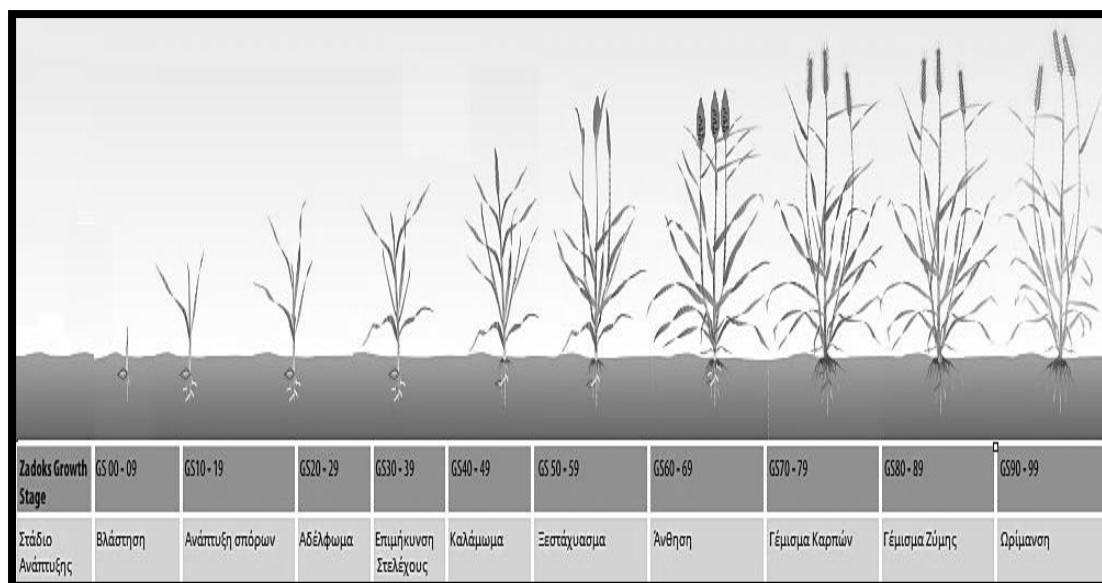
- Μαρούλι (*Lactuca sativa* spp), (με δύο κύκλους καλλιέργειας, πέντε υποείδη).
- Σκληρό σιτάρι (*Triticum durum* L.).
- Αγγούρι (*Cucumis sativus* L.).

Συνεπώς, καλύφθηκε ένα ευρύ φάσμα των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών όσον αφορά τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ηλιακή ακτινοβολία[5].

Τα μαρούλια καλλιεργήθηκαν κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής και μίας ανοιξιάτικης περιόδου. Σε πρώτη φάση, τα μαρούλια καλλιεργούνταν από τις 21 Ιουλίου του 2010 (ημέρα του έτους, HTE 202) μέχρι και τις 6 Σεπτεμβρίου του 2010 (HTE 249). Την περίοδο αυτή δύο ποικιλίες crisphead φυτεύτηκαν την ίδια στιγμή: η μία ποικιλία ονομάζεται "Kiribati" (σημειώνεται με FC+), και η δεύτερη ονομάζεται "Tourbillon" (σημειώνεται με B0). Σε δεύτερη φάση, τα μαρούλια φυτεύτηκαν στις 22 Μαρτίου του 2011 (HTE 81) και συλλέχθηκαν στις 24 Μαΐου του 2011 (HTE 144). Στη δεύτερη αυτή περίοδο, δύο ποικιλίες των μαρουλιών crisphead (η FC+, και μια δεύτερη που ονομάζεται "Bassoon" και σημειώνεται με FC-) και δύο νέες ποικιλίες μαρουλιών butterhead (η ποικιλία "Model" που σημειώνεται με B+ και η ποικιλία "Emocion" που συμβολίζεται με B-) εξετάστηκαν ταυτόχρονα. Τα αγγούρια (η ποικιλία "Marketmore") φυτεύτηκαν στις 25 Ιουνίου του 2011 (HTE 178) και συλλέγονταν από τις 8 Αυγούστου του 2011 (HTE 220) μέχρι και τις 31 Αυγούστου του 2011 (HTE 239), δύο φορές την εβδομάδα. Ο σκληρός σίτος (η ποικιλία "Claudio") είχε σπαρθεί σε πυκνότητα 150 kg/ha στις 26 Νοεμβρίου (HTE 331) του 2010 και να συλλέχθηκε στις 17 Ιουνίου του 2011 (HTE 168)[5].

Τα μαρούλια και τα αγγούρια φυτεύτηκαν σε γραμμές, οι οποίες ήταν παράλληλες με τις συστοιχίες των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Η απόσταση μεταξύ δύο γραμμών φύτευσης ήταν 0,33 μέτρα για τα μαρούλια και 3 μέτρα για τα αγγούρια. Για να επιτραπεί η ταυτόχρονη καλλιέργεια του σιταριού και των κηπευτικών το 2011, ολόκληρο το πειραματικό πεδίο διαιρέθηκε σε λωρίδες πλάτους 3,2 μέτρων (η πλευρά αυτού του πλάτους ήταν παράλληλη στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου). Οι λωρίδες αυτές έκτασης καλλιεργήθηκαν εναλλάξ είτε με την καλλιέργεια των σιτηρών είτε με αυτή των λαχανικών (αγγούρια-μαρούλια). Την άνοιξη του 2011, οι τρεις λωρίδες σίτου αντικαταστάθηκαν με δύο λωρίδες των 6 σειρών έκαστη από μαρούλια. Κάθε λωρίδα μαρουλιών αντικαταστάθηκε από μία σειρά αγγουριών τον Ιούνιο του 2011[5].

Ο ρυθμός ανάπτυξης των κηπευτικών καλλιεργειών αξιολογήθηκε μετρώντας τον αριθμό των φύλλων που είχαν πάνω από 1 εκατοστό μήκος, που παράγονταν κάθε τρεις εβδομάδες για τα μαρούλια και δύο φορές την εβδομάδα για τα αγγούρια. Για τον σκληρό σίτο, τα φαινολογικά στάδια όπως η βλάστηση, η άνθηση, και η ωρίμανση, καθορίστηκαν σύμφωνα με την κλίμακα Zadoks σε κάθε οικόπεδο[5].



Εικόνα 4.4: Στάδια ανάπτυξης δημητριακών.
Πηγή: Grains Research & Development Corporation [6]

Η θερμοκρασία του αέρα με απόκλιση (± 0.2 °C) και η σχετική υγρασία του αέρα με απόκλιση ($\pm 2\%$) στα 2 μέτρα πάνω από το έδαφος, μετρήθηκαν με ένα χωρητικό θερμοϋγρόμετρο, το οποίο συνδέθηκε με καταγραφικές συσκευές. Η ταχύτητα του ανέμου (u , $m\ s^{-1}$) μετρήθηκε στα 2 μέτρα πάνω από το έδαφος με μία συσκευή παρακολούθησης του ανέμου στο οικόπεδο ελέγχου E-FS και στο σύστημα FD από την HTE 36 μέχρι και την HTE 239 το 2011[5].

Η θερμοκρασία εδάφους με απόκλιση (± 0.4 °C) μετρήθηκε κάτω από την καλλιέργεια του σκληρού σίτου το 2011 (από την HTE 36 έως την HTE 165) στα 0,05 μέτρα και στα 0,25 μέτρα, κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με θερμίστορ σε 2 θέσεις κατά μήκος της κατεύθυνσης Βορρά-Νότου μεταξύ δύο συστοιχιών των ηλιακών συλλεκτών. Η θερμοκρασία του εδάφους στα 0,25 μέτρα βάθος μετρήθηκε επίσης στο αρδευόμενο χώμα κατά τον κύκλο καλλιέργειας του καλοκαιρινού μαρουλιού (HTE 220) μέχρι μετά από τη συγκομιδή τους (HTE 279)[5].

Οι θερμοκρασίες των καλλιεργειών (T_L) μετρήθηκαν στα ανοιξιάτικα μαρούλια από την HTE 117 έως και την HTE 149 το 2011 με θερμοστοιχεία, που ήταν τοποθετημένα μεταξύ των φύλλων των μαρουλιών, κοντά στον κεντρικό άξονα του φυτού. Οι θερμοκρασίες των φύλλων μετρήθηκαν στα αγγούρια (HTE 178-244) και στο σκληρό σίτο (HTE 36-168) με μικροθερμίστορ τα οποία ήταν τοποθετημένα στην κάτω πλευρά των φύλλων. Οι μετρήσεις από τα θερμοστοιχεία και τα μικροθερμίστορ συγκεντρώθηκαν σε καταγραφικές συσκευές, με τα ίδια χρονικά βήματα και με απόκλιση ± 0.4 °C στη χειρότερη περίπτωση[5].

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (R_s , $W\ m^{-2}$) μετρήθηκε κατά τους κύκλους του σιταριού και του αγγουριού με πυρανόμετρα τα οποία ήταν τοποθετημένα σε οριζόντιο επίπεδο στο ύψος των καλλιεργειών. Για τα μαρούλια, η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (R_p , $W\ m^{-2}$) μετρήθηκε με αισθητήρες PAR (την άνοιξη και το καλοκαίρι). Οι μετρήσεις των R_s και R_p αντιμετωπίστηκαν εξίσου μετά την απαιτούμενη μετατροπή, διότι ο λόγος R_p/R_s είναι σταθερός και ίσος με 0,48 σε

συνθήκες εξωτερικών χώρων και υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι μετρήσεις λαμβάνονται πάνω στο φύλλωμα των φυτών[5].

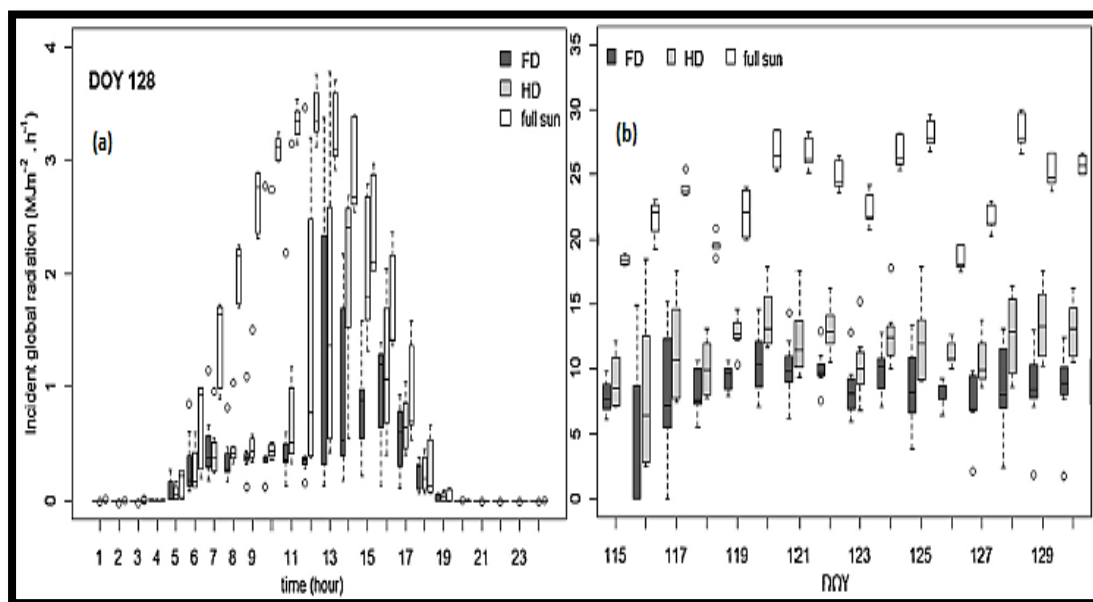
Η χωρική κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αξιολογήθηκε μέσω μοντελοποίησης και μετρήσεων για όλα τα τμήματα σκίασης προκειμένου να εξεταστεί η αναλογία της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας. Συμπληρωματικές μετρήσεις, διεξήχθησαν την άνοιξη του 2012, από την HTE 124 έως την HTE 134 ώστε να ποσοτικοποιηθεί η εισερχόμενη ακτινοβολία από διαφορετικές κατευθύνσεις, χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα PAR “turtle”. Η συσκευή αυτή αποτελείται από έξι κεφαλές με ίσες μεταξύ τους γωνίες. Κάθε κεφαλή του αισθητήρα είναι ένα πενταγωνικός PAR αισθητήρας. Η κεφαλή 1 είναι οριζόντια, ενώ οι κεφαλές 2 έως 6 έχουν κλίση 63,4° και προσανατολίζονται σε 5 διαφορετικές κατευθύνσεις[5].

Την άνοιξη του 2012 (HTE 174-202) η εξερχόμενη ($R_i\uparrow$) και η εισερχόμενη ($R_i\downarrow$) μεγάλου μήκους ακτινοβολία, καθώς και η εξερχόμενη ($R_s\uparrow$) και η εισερχόμενη ($R_s\downarrow$) μικρού μήκους ακτινοβολία μετρήθηκαν για όλα τα τμήματα σκίασης. Οι τέσσερις τύποι ακτινοβολιών μετρήθηκαν διαδοχικά στα τμήματα FD, HD, και FS με δύο ραδιόμετρα και δύο πυρανόμετρα[5].

Το μέσο ημερήσιο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μεταδόθηκε στις καλλιέργειες κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες (στα τμήματα FD και HD) σε σύγκριση με το τμήμα FS, έφτασε περίπου το 32% στο FD και το 48% στο HD κατά τη διάρκεια του κύκλου της καλλιέργειας του μαρουλιού (HTE 117-143), το 52% στο FD και το 68% στο HD κατά τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας του σκληρού σίτου (HTE 35-168) και το 37% στο FD και το 62% στο HD κατά τη διάρκεια του κύκλου της καλλιέργειας του αγγουριού (HTE 181-240). Επιπλέον το μέσο ποσοστό της ακτινοβολίας που μεταδιδόταν εντός μίας ημέρας κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες παρουσίαζε σημαντικές διαφορές από τη μια μέρα στην άλλη έχοντας συντελεστή μεταβλητότητας (συντελεστής μεταβολής που συμβολίζεται με CV) ίσο με 37% στο FD και 46% στο HD κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου μετρήσεων (HTE 35-240). Το μέσο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσίασε μεγάλες διαφορές και κατά τη διάρκεια της ημέρας (CV=57% στο FD και CV=60% στο HD, μεταξύ 09:00 και 18:00, κατά μέσο όρο για όλες τις μέρες)[5].

Για μια συγκεκριμένη μέρα του έτους, το ποσοστό της μεταδιδόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο ποικίλλει ανάλογα με τη θέση των φυτών στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου. Ο συντελεστής της χωρικής διακύμανσης της μεταδιδόμενης ακτινοβολίας ήταν ίσος με 29% στο FD και 38% στο HD, κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου μετρήσεων (HTE 35-244)[5].

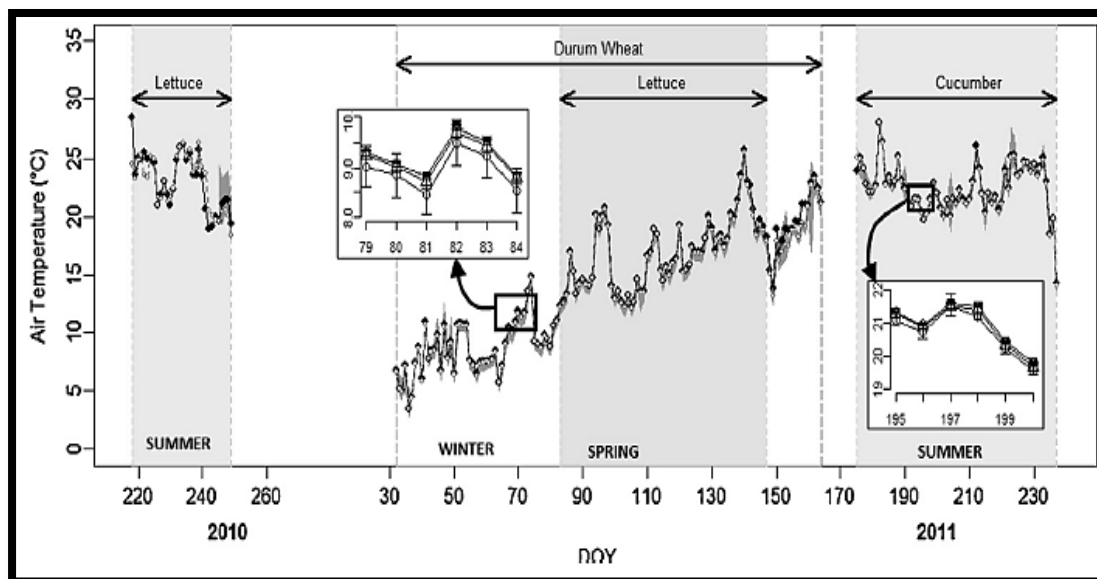
Διάγραμμα 4.8: Η ωριαία (a) για την HTE 128, και η ημερήσια (b) από HTE 115 έως HTE 230, προσπίπτουσα ακτινοβολία στο τμήμα FS (κουτιά με άσπρο φόντο), στο HD (κουτιά με γκρι φόντο) και στο FD (κουτιά με σκούρο γκρι φόντο). Τα πλαίσια διαθέτουν την χωρική μεταβλητότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (η ακτινοβολία καταγράφηκε την ίδια στιγμή από αισθητήρες που εγκαταστάθηκαν σε διάφορα σημεία στον άξονα Βορρά-Νότου).



Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών εξερευνήθηκε πάνω στους τέσσερις κύκλους καλλιεργειών: η θερμοκρασία του αέρα (T_A) κυμαινόταν από 3 μέχρι 28 °C και η ημερήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία έλαβε τιμές από 1 έως 31 MJ d⁻¹ m⁻² στο τμήμα FS. Ωστόσο, στα σκιασμένα τμήματα (FD και HD) η θερμοκρασία αέρα παρέμεινε σχεδόν ίση με αυτή στο τμήμα FS κατά τη διάρκεια όλων των κύκλων καλλιέργειας, από τον Ιούλιο του 2010 έως και τον Αύγουστο του 2011, σύμφωνα με τις μετρήσεις και τη στατιστική ανάλυση (ANOVA-Analysis of Variance). Μόνο δώδεκα ημέρες βρέθηκαν να παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση όταν δηλαδή υπήρχε μια σημαντική επίδραση της σκίασης στην θερμοκρασία του αέρα). Επίσης κατά τη διάρκεια των ημερών με χαμηλή ένταση ανέμων ($u < 1,2 \text{ m s}^{-1}$ and $u_{\max} < 6 \text{ m s}^{-1}$) ή με υψηλή συνολική ηλιακή ακτινοβολία ($R_s > 24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), η θερμοκρασία του αέρα κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έτεινε να είναι υψηλότερη από το τμήμα FS[5].

Διάγραμμα 4.9: Η μέση ημερήσια θερμοκρασία (T_A) που μετρήθηκε στα 2 μέτρα πάνω από το έδαφος κατά τη διάρκεια όλων των κύκλων καλλιέργειας από τον Ιούλιο του 2010 έως τον Αύγουστο του 2011. Παρέχονται μεγεθύνσεις σε δύο 6-ήμερες περιόδους (6 ημέρες το χειμώνα και 6 ημέρες το καλοκαίρι). Το τμήμα FS αντιπροσωπεύεται με τα σκιασμένα διαστήματα στο κύριο γράφημα και με ανοικτούς κύκλους (ο) στις μεγεθυμένες περιοχές, ενώ τα τμήματα FD και HD αντιπροσωπεύονται αντίστοιχα με ανοικτά τρίγωνα (Δ) και με σκούρα τετράγωνα ($\blacksquare$). Στις μεγεθυμένες περιοχές, οι κατακόρυφες γραμμές αποτελούν τα χαρακτηριστικά τυπικά σφάλματα για όλες τις επεξεργασίες.



Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Οι διαφορές στην ημερήσια T_A μεταξύ των τμημάτων HD, FD και FS είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διακυμάνσεων στη διάρκεια των κύκλων καλλιέργειας σε θερμικό χρόνο (Κάθε φάση της ανάπτυξης του φυτού απαιτεί μια ελάχιστη συσσώρευση θερμοκρασίας για να μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο. Στην πραγματικότητα, το φυτό ανιχνεύει την ημερήσια θερμοκρασία και προσθέτει το μέσο όρο για εκείνη την ημέρα σε ένα τρέχον σύνολο μέχρι το σύνολο αυτό να φτάσει σε μία τιμή για να συμπληρωθεί το στάδιο. Αυτή η λειτουργία θερμικός χρόνος ή και οι μονάδες μέτρησης είναι οι βαθμοημέρες $^{\circ}\text{C d}$). Ο θερμικός χρόνος ποτέ δεν ξεπέρασε τις 23°C d για τα μαρούλια, τις 8°C d για το αγγούρι και τις 53°C d για το σιτάρι. Σύμφωνα με αναφορές, αυτές οι διαφορές ήταν πολύ μικρές για να επιτραπεί η παραγωγή ακόμη και ενός παραπάνω φύλλου στην περίπτωση του αγγουριού και του σιταριού. Για τα μαρούλια, το 2011, μόνο, δύο έως τρεις επιπλέον φύλλα (στα συνολικά 80 φύλλα κατά μέσο όρο) θα μπορούσαν να έχουν φυτρώσει στο τμήμα FD διότι η μέση θερμοκρασία του αέρα έτεινε να αυξηθεί κατά το δεύτερο μέρος του κύκλου καλλιέργειας. Ωστόσο, το γεγονός πως ο θερμικός χρόνος που απαιτείται για τα φύλλα του μαρουλιού ώστε να φτάσουν σε μήκος το 1 εκατοστό είναι πάνω από 200°C d έχοντας σαν βάση τους 20°C στο τμήμα FS, αυτή η αύξηση του αριθμού των φύλλων μπορεί να έχει μικρό αντίκτυπο στο συνολικό μέγεθος του μαρουλιού ή στο βάρος της ξηρής βιομάζας[5].

Ομοίως, δε βρέθηκε κάποια σημαντική επίδραση των τμημάτων HD και FD στη σχετική υγρασία του αέρα ή στο υδατικό έλλειμμα της ατμόσφαιρας (συμβολίζεται με

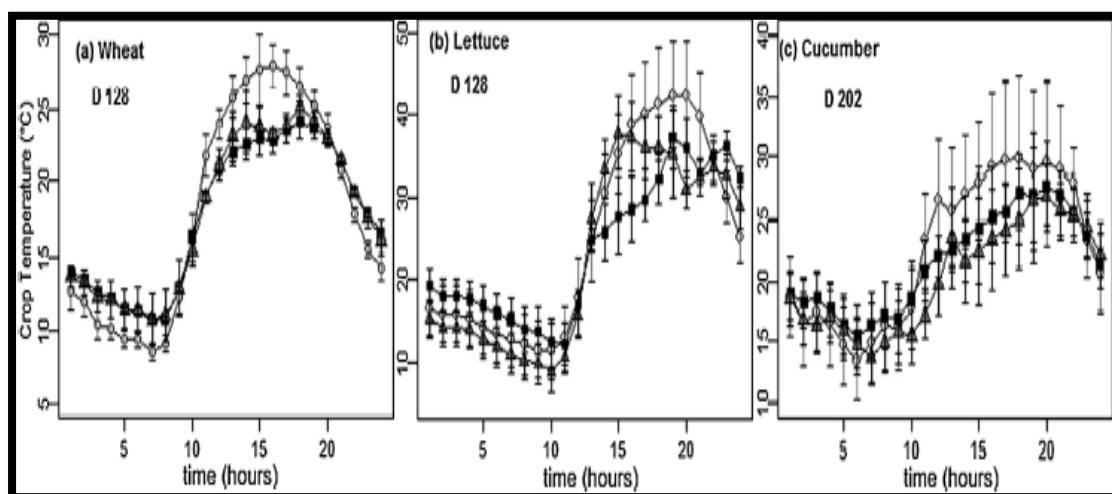
VPD² και μετριέται σε Pa), ούτε σε ημερήσιο, αλλά και σε ούτε σε ωριαίο χρονικό βήμα. Η μέγιστη αύξηση του VPD στα τμήματα HD και FD σε σύγκριση με το τμήμα FS ήταν 0,11 kPa, ενώ η μέση τιμή του VPD κατά την περίοδο των μετρήσεων ήταν 0,91 kPa, στο FS. Εκτός αυτού, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου οριζόντια μετρήθηκε με ωριαίο χρονικό βήμα στο τμήμα FS και σε κάθε ένα από τα σκιασμένα οικόπεδα (FD και HD) και βρέθηκε να είναι παρόμοια με μία απόκλιση της τάξης $\pm 0.3 \text{ m s}^{-1}$ [5].

Κατά τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας του σιταριού, η θερμοκρασία του εδάφους στα 0,05 μέτρα βάθος μειώθηκε κατά 1,9 °C στο τμήμα FD και κατά 1,8 °C στο τμήμα HD σε σύγκριση με το FS κατά μέσο όρο. Η θερμοκρασία του εδάφους στα 25 εκατοστά βάθος μειώθηκε επίσης σημαντικά στη σκιά, τόσο για το σιτάρι (-2.1 °C στο FD και -2.3 °C στο HD) όσο και για τα μαρούλια (-0.5 °C στο HD και -0.6 °C στο FD)[5].

Κατά την εξέταση της θερμοκρασίας των καλλιεργειών (T_L) με ένα ωριαίο χρονικό βήμα, το σχεδιάγραμμα δείχνει πως επηρεάζονται όλες οι καλλιέργειες από τη σκίαση. Στην περίπτωση του σίτου, η καλλιέργεια επηρεάστηκε σημαντικά από την καθημερινή σκίαση, από το όργωμα μέχρι και την άνθηση. Η θερμοκρασία του σίτου T_L αυξήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια της νύχτας (+2 °C, τόσο στο FD όσο και στο HD τμήμα, κατά μέσο όρο, μεταξύ 18:00 και 09:00). Αντίθετα, οι πρωινές θερμοκρασίες έχουν μειωθεί σημαντικά κατά 3 °C στο FD, καθώς και στο HD (από 18:00 έως 09:00). Όσον αφορά τα λαχανικά, η θερμοκρασία T_L ήταν επίσης σημαντικά χαμηλότερη στη σκιά σε σχέση με το τμήμα FS κατά τη διάρκεια της ημέρας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας. Στην περίπτωση των ανοιξιότικων μαρουλιών, σημαντική μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες παρουσιάστηκε νωρίτερα μέσα στην ημέρα στο τμήμα FD (πριν από το μεσημέρι), ενώ στο τμήμα HD σημαντική μείωση της T_L άρχισε αργότερα το απόγευμα. Αντίθετα, η θερμοκρασία T_L αυξήθηκε σημαντικά στο τμήμα HD σε σύγκριση με το FS, μεταξύ 11:00 και 12:00. Ωστόσο, το γεγονός αυτό διήρκεσε μόνο για μία με δύο ώρες και θεωρήθηκε σημαντικό μόνο για 13 ημέρες κατά τη διάρκεια του κύκλου της καλλιέργειας. Όσον αφορά την καλλιέργεια των αγγουριών, δεν εντοπίστηκε κάποια σημαντική μείωση της T_L κατά τη διάρκεια της νύχτας στα σκιασμένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τμήματα. Σαν παράδειγμα, τα διαγράμματα της εξέλιξης των T_L με ωριαίο χρονικό βήμα παρουσιάζονται παρακάτω και αφορούν μια ηλιόλουστη μέρα, (HTE 128 για τον σκληρό σίτο και το ανοιξιότικο μαρούλι, HTE 202 για το αγγούρι), τις τρεις συγκομιδές[5]

² Η διαφορά μεταξύ της τάσης κορεσμένου υδρατμού και της πραγματικής πίεσης υδρατμού καλείται έλλειμμα πίεσης ατμού ή έλλειμμα κορεσμού (VPD) και είναι ένας ακριβής δείκτης της πραγματικής χωρητικότητας εξάτμισης του αέρα[47]. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά αυτή τόσο μικρότερη είναι η σχετική υγρασία και τόσο εντείνεται η εξάτμιση του νερού για την κάλυψη της διαφοράς μέχρι τον κορεσμό[8].

Διάγραμμα 4.10: Η ωριαία θερμοκρασία T_L που μετρείται (a) στο σιτάρι, (b) στο μαρούλι και (c) στο αγγούρι, κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης ημέρας (HTE 128 για το σιτάρι και το μαρούλι, HTE 202 για το αγγούρι). Τα σύμβολα (■,Δ,ο) αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τα τμήματα FD, HD και FS. Οι κατακόρυφες γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση.

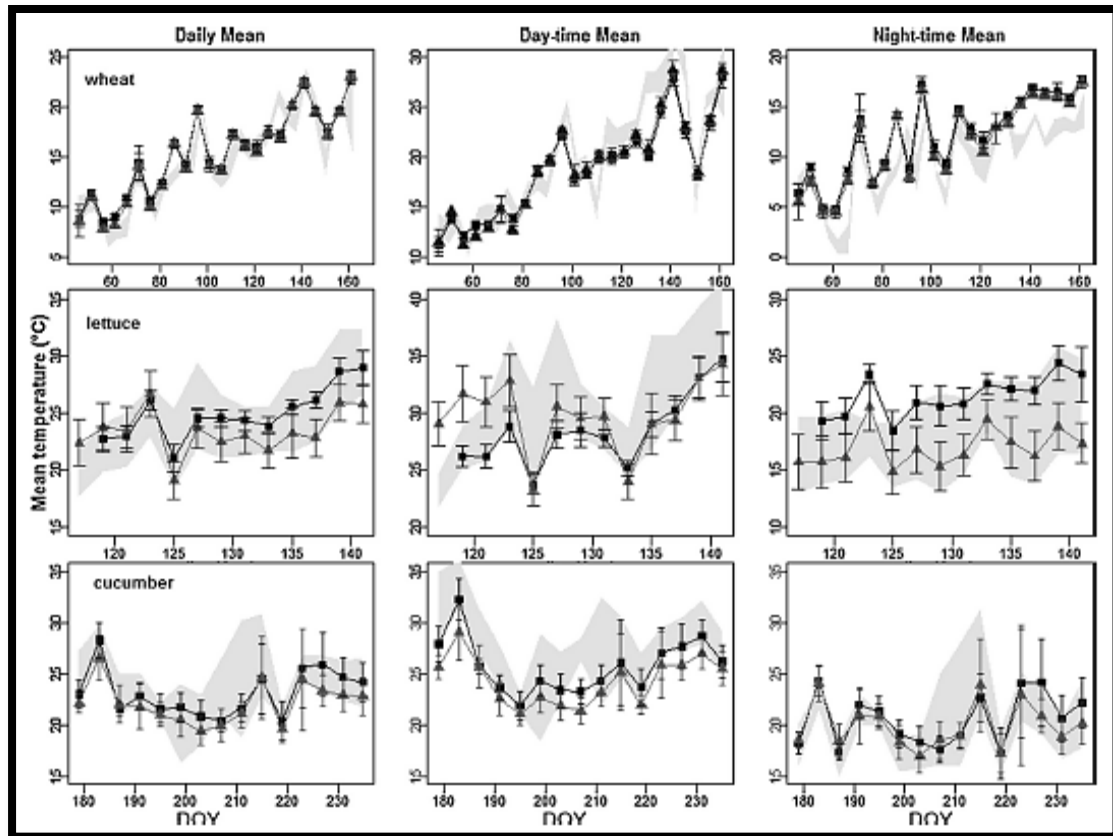


Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ των τριών διαφορετικών τμημάτων σκίασης όσον αφορά τη μέση νυχτερινή θερμοκρασία των καλλιεργειών (σε παγκόσμια ώρα 19:00-05:00) και τη μέση πρωινή θερμοκρασία των καλλιεργειών (σε παγκόσμια ώρα 06:00-18:00). Η μέση πρωινή θερμοκρασία ήταν σημαντικά χαμηλότερη στη σκιά (στα τμήματα FD και HD) για κάθε καλλιέργεια, τουλάχιστον κατά το 25% του κύκλου της καλλιέργειας. Η μέση νυχτερινή θερμοκρασία αυξήθηκε σημαντικά για το σιτάρι στη σκιά (στα τμήματα FD και HD) και για τα μαρούλια στο τμήμα FD σε σχέση με το τμήμα FS για το 80% της διάρκειας του κύκλου καλλιέργειας. Όσον αφορά τα αγγούρια, δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά στη μέση νυχτερινή θερμοκρασία στη σκιά σε σύγκριση με το τμήμα FS[5].

Η αύξηση της θερμοκρασίας στη σκιά κατά τη διάρκεια της νύχτας και η μείωσή της κατά τη διάρκεια της ημέρας έτειναν να συμψηφίζονται μεταξύ τους σε έναν κύκλο 24 ωρών. Κατά συνέπεια, διαφορές στη μέση ημερήσια θερμοκρασία T_L εμφανίστηκαν σπάνια, για όλες τις καλλιέργειες που δοκιμάστηκαν. Σημαντικές διαφορές στη μέση ημερήσια θερμοκρασία (T_L , μέσος όρος 24 ωρών) μεταξύ του τμήματος FS και των FD και HD τμημάτων εντοπίστηκαν για το σιτάρι, για 40 ημέρες στο οικόπεδο FD και για 30 ημέρες στο οικόπεδο HD, σε μία περίοδο μετρήσεων διάρκειας 122 ημερών. Τις ημέρες αυτές δε σημειώθηκαν ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες, αλλά οι χρονικές αυτές περιόδους παρουσίαζαν υψηλή μεταβλητότητα στις καταγραφές από το θερμίστορ στο τμήμα FS. Για τα μαρούλια, σημαντικές διαφορές από το τμήμα FS παρουσιάστηκαν μόνο στο τμήμα HD (τις 8 ημέρες από τις 26), και για τα αγγούρια, σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν μόνο για 2 ημέρες στο τμήμα FD και για 5 ημέρες στο τμήμα HD, σε ένα κύκλο καλλιέργειας 62 ημερών[5].

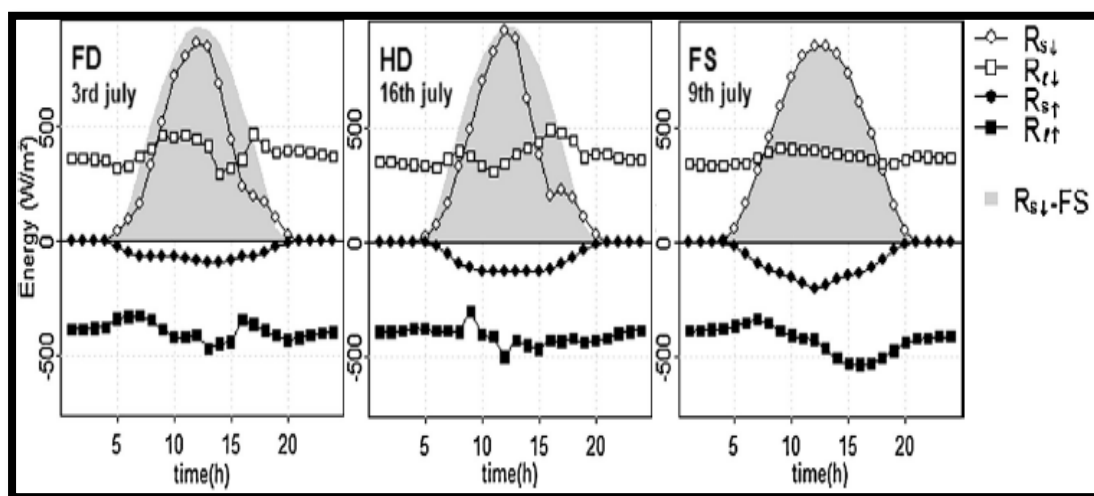
Διάγραμμα 4.11: Η μέση ημερήσια θερμοκρασία καλλιέργειας (24 ώρες), ($T_{L,D}$), η μέση πρωινή θερμοκρασία ($T_{L,D}$), και η μέση νυχτερινή θερμοκρασία ($T_{L,N}$) μετρίεται για κάθε καλλιέργεια που παρακολουθείται το 2011. Τα σκιασμένα διαστήματα αντιπροσωπεύουν τις μέσες τιμές $\pm$ τα τυπικά σφάλματα για τις $T_{L,D}$, $T_{L,D}$ και $T_{L,N}$ στο τμήμα FS. Οι γραμμές με τα γκρι τρίγωνα (Δ) αναπαριστούν το μέσο όρο των $T_{L,D}$, $T_{L,D}$ και $T_{L,N}$ στο HD, ενώ η γραμμή με κλειστό τετράγωνα ($\blacksquare$) αναπαριστούν το μέσο όρο των $T_{L,D}$, $T_{L,D}$ και $T_{L,N}$ στο FD. Οι κατακόρυφες γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση.



Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Για τη σύγκριση της ισορροπίας της ακτινοβολίας που προήλθε από δεδομένα που συλλέγονταν σε διαφορετικές ημέρες, για τα τρία τμήματα σκίασης, όλες οι μετρήσεις της ακτινοβολίας κανονικοποιήθηκαν με βάση τη μέγιστη $R_{s\downarrow}$ της ημέρας στον πλήρη ήλιο (FS). Κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών, το κύριο αποτέλεσμα της σκίασης από τους ηλιακούς συλλέκτες ήταν η μείωση της εισερχόμενης μικρού μήκους ακτινοβολίας ($R_{s\downarrow}$), ενώ η εισερχόμενη μεγάλη μήκους ακτινοβολία ($R_{l\downarrow}$) παρέμεινε στα ίδια επίπεδα και στα τρία τμήματα σκίασης (αντίστοιχα το 43%, 41% και 44% στα τμήματα FS, HD και FD). Συνεπώς, οι ηλιακοί συλλέκτες δεν συνέβαλαν στη μεταβολή της εισερχόμενης μεγάλης μήκους ακτινοβολίας αλλά ούτε και στην αντιστάθμιση των απωλειών της $R_{s\downarrow}$ στο ισοζύγιο της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές τροποποιήσεις όσον αφορά την εισερχόμενη ακτινοβολία, ενώ οι απώλειες της ακτινοβολίας ήταν χαμηλότερες κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες (41% τόσο στο FD όσο και στο HD) σε σύγκριση με το FS (46%)[5].

Διάγραμμα 4.12: Η εξέλιξη της εισερχόμενης ($R_{i\downarrow}$) και εξερχόμενης ($R_{i\uparrow}$) μεγάλου μήκους ακτινοβολίας και της εισερχόμενης ($R_{s\downarrow}$) και εξερχόμενης ($R_{s\uparrow}$) μικρού μήκους ακτινοβολίας στα τρία τμήματα σκίασης για τρεις κοντινές ηλιόλουστες ημέρες. Η σκιασμένη περιοχή αναπαριστά την εισερχόμενη μικρού μήκους ακτινοβολία (παγκόσμια ακτινοβολία) στον πλήρη ήλιο (FS) για την ημέρα της μέτρησης.

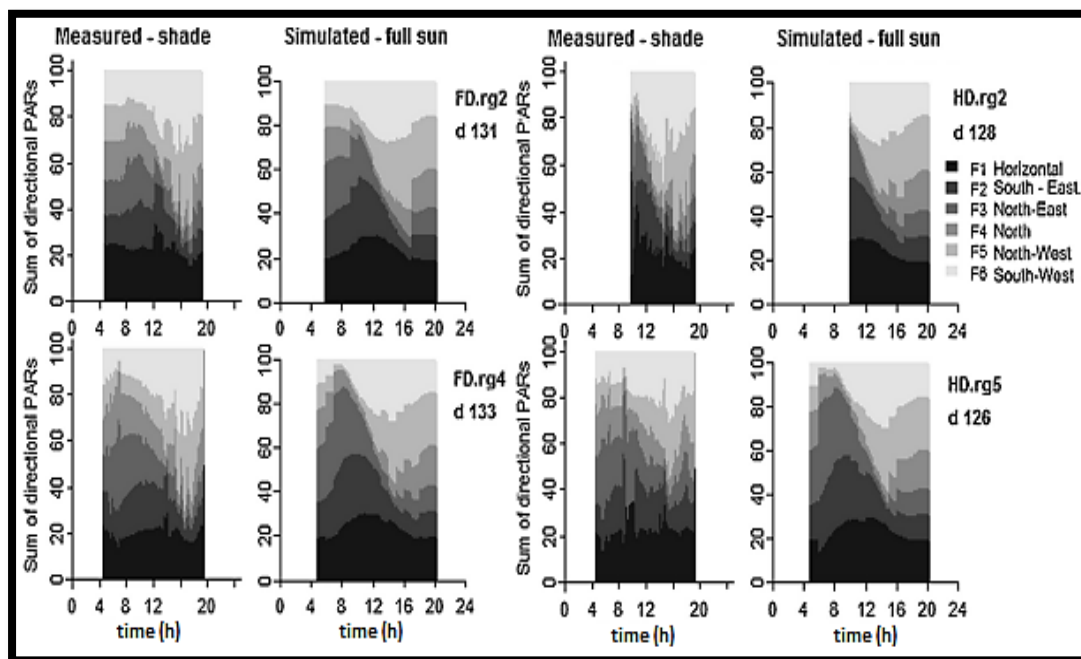


Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Για κάθε κεφαλή του αισθητήρα μέτρησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λάμβανε κάθε δέκα λεπτά στις σκιασμένες εκτάσεις δεν υπερέβη ποτέ την ποσότητα που λάμβανε την ίδια χρονική στιγμή η αντίστοιχη θέση κεφαλή στο τμήμα πλήρους ήλιου (FS). Κατά συνέπεια, η υπόθεση σύμφωνα με την οποία τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα μπορούσαν να είναι υπεύθυνα για τη διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας, που θα είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της συνολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις καλλιέργειες κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες με μικρή γωνία πρόσπτωσης μπορεί να απορριφθεί[5].

Ωστόσο, το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από όλες τις πιθανές κατευθύνσεις παρουσίασε μεταβολές κάτω από τη σκιά των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Φαίνεται ότι η κατανομή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ήταν πιο ομοιογενής υπό τη δημιουργούμενη σκιά των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σύγκριση με την έκταση FS, ειδικά τις πρωινές ώρες. Στην έκταση FS, σύμφωνα με τη μελέτη εκτιμήθηκε ότι το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από τη Βορειοανατολική (F3) και Βόρεια (F4) κατεύθυνση μειώθηκε δραματικά από τις 8:00 π.μ. έως τις 14:00 παρουσιάζοντας μεγάλους συντελεστές μεταβολής ($CV = 53\%$ για την F3 και $CV = 48\%$ για την F4). Στα σκιασμένα τμήματα (FD και HD), το ποσοστό της ακτινοβολίας που μετρήθηκε στις κεκλιμένες επιφάνειες των κεφαλών των αισθητήρων PAR (F3 και F4) παρουσίαζε μεγαλύτερη ομοιογένεια σε σχέση με το τμήμα FS ($CV = 36\%$ για την F3 και $CV = 29\%$ για την F4) από τις 8:00 έως τις 14:00. Αυτή η διαφορετική χωρική ισορροπία της κατεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας τονίζει την αύξηση του ποσοστού της διάχυτης ακτινοβολίας στο σύνολο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο των καλλιεργειών κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες[5].

Διάγραμμα 4.13: Η κατανομή των ποσοστών της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας που μετρήθηκε από κάθε τις διάφορες κεφαλές του αισθητήρα “turtle” όταν τοποθετήθηκε σε δύο θέσεις στο οικόπεδο HD (HD.rg2 και HD.rg5) και στο οικόπεδο FD (FD.rg2 και FD.rg4), που αντιστοιχούν σε διαφορετικές θέσεις και σειρές φύτευσης κατά τη διάρκεια καλλιέργειας του μαρουλιού την άνοιξη του 2011, καθώς και στην FS, την ίδια ημέρα. Η κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο FS προσομοιώθηκε με τη χρήση του μοντέλου της ακτινοβολίας με παραμετροποιημένο με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και τον προσανατολισμό του αισθητήρα, όπως καταγράφηκε την ημέρα μέτρησης στη σκιασμένη έκταση.



Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [5]

Όσον αφορά το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, τόσο το 2010 όσο και το 2011, σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση ANCOVA, (Analysis Of Covariance), ο ρυθμός εμφάνισης του φυλλώματος των μαρουλιών ήταν μειωμένος στα τμήματα FD και HD σε σχέση με το FS τις τρεις πρώτες εβδομάδες από τη φύτευση. Παρά ταύτα, ο ρυθμός εμφάνισης του φυλλώματος ήταν σταθερός ή αυξανόμενος και παρόμοιος για όλες τις ποικιλίες σε όλα τα τμήματα σκίασης (εκτός από την ποικιλία B- για την οποία ο ρυθμός εμφάνισης φυλλώματος ήταν σημαντικά διαφορετικός μεταξύ των τμημάτων σκίασης για τις πρώτες έξι εβδομάδες μετά από τη φύτευση). Η ανάπτυξη των αγγουριών περιελάμβανε τρία βασικά στάδια (η P1 από την HTE 180 έως την 192 που ονομάζεται αρχική ανάπτυξη ή βλάστηση, η P2 από την HTE 192 έως την HTE 214 που αντιστοιχεί στη μέγιστη βλαστική ανάπτυξη και η P3 από την HTE 214 έως την HTE 229 που αντιστοιχεί στην ωρίμανση). Οι ημερομηνίες μετάβασης από το ένα στάδιο στο άλλο δεν επηρεάστηκαν από τη σκίαση[5].

Η στατιστική ανάλυση ANCOVA έδειξε ότι ο ρυθμός εμφάνισης των φύλλων του κύριου μίσχου δεν επηρεάστηκε από τη σκιά κατά το στάδιο P2, ενώ μειώθηκε σημαντικά στα τμήματα FD και HD σε σύγκριση με το τμήμα FS κατά τη διάρκεια των σταδίων P1 και P3. Από την άλλη πλευρά, κατά την εξέταση του συνόλου του φυλλώματος των φυτών, το ANCOVA έδειξε ότι ο ρυθμός εμφάνισης των φύλλων μειώθηκε σημαντικά μόνο κατά το στάδιο P2. Λαμβάνοντας υπόψη όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, ο συνολικός αριθμός των φύλλων των φυτών επηρεάστηκε

περισσότερο από τη σκίαση σε σύγκριση με τον αριθμό των φύλλων στον κύριο μίσχο, αν και ο τελευταίος παρουσίασε μεγαλύτερη μεταβλητότητα ανάμεσα στα διαφορετικά τμήματα σκίασης[5].

Όσον αφορά το σιτάρι το ξεστάχυσμα παρουσιάστηκε την HTE 109 στο τμήμα FS, την HTE 111 στο τμήμα HD και την HTE 115 στο οικόπεδο FD. Την HTE 157, το σιτάρι βρισκόταν στο στάδιο 89 στο τμήμα FS, ενώ βρισκόταν στα στάδια 85-87 στα οικόπεδα FD και HD σύμφωνα με τη φαινολογική κλίμακα του Zadock. Η ωρίμανση του σιταριού επιτεύχθηκε την HTE 168 στο τμήμα HD και FD ενώ επιτεύχθηκε δύο με τρεις ημέρες νωρίτερα στον πλήρη ήλιο (FS)[5].

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο ύψος αναφοράς (2 μέτρα) έδειξαν ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα σκιασμένα οικόπεδα και στο οικόπεδο πλήρους ήλιου, ούτε σε ημερήσιο χρονικό βήμα, αλλά ούτε και σε ωριαίο χρονικό βήμα στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου πραγματοποίησης του πειράματος. Ομοίως, δε βρέθηκε κάποια σημαντική μεταβολή μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων σκίασης όσον αφορά το VPD και την ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των 2 μέτρων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πρότυπο αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα με τους ηλιακούς συλλέκτες τοποθετημένους πολύ πάνω από το έδαφος (σε ύψος 4 μέτρα) είναι ένα ιδιαίτερα αεριζόμενο σύστημα στο οποίο οι μάζες του αέρα βρίσκονται σε ισορροπία με το εξωτερικό περιβάλλον[5].

Τις ημέρες με ελάχιστο άνεμο ήταν αναμενόμενες σημαντικές διαφορές στις θερμοκρασίες αέρα ή στην υγρασία, αλλά αποδείχθηκε ότι δεν είναι αλήθεια. Οι μετακινήσεις των αέριων μαζών φαίνονται να είναι αρκετά ισχυρές ώστε να ομοιογενοποιούνται όλα τα χαρακτηριστικά τους εντός του συστήματος. Ωστόσο, το πρότυπο α/φ/β σύστημα ήταν μικρό σε σύγκριση με ένα α/φ/β σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για φυτική παραγωγή. Το μέσο πρότυπο μέγεθος για ένα τέτοιο σύστημα, σύμφωνα και με μια πιο τεχνική άποψη, θα πρέπει να εκτείνεται μεταξύ 0,5 και 2 εκταρίων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, κάποιες αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου και στη θερμοκρασία του αέρα είναι πιθανό να παρατηρηθούν. Είναι δύσκολο να καταστεί γνωστός ο βαθμός αυτών των μεταβολών διότι το αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους που σχετίζονται με την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία του αέρα όπως είναι η σκίαση και οι μεταβολές στη θερμοκρασία των φυτών και του εδάφους[5].

Περισσότερα πειράματα πρέπει να διεξαχθούν για να διερευνηθεί η επίδραση των ηλιακών συλλεκτών στα χαρακτηριστικά των αέριων μαζών και στη μεταφορά θερμότητας στην περίπτωση ενός μεγαλύτερου μεγέθους α/φ/β συστήματος. Ωστόσο, ένα αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα δεν αποτελεί κλειστό σύστημα και κατά συνέπεια δεν μπορεί να ταυτιστεί με το φωτοβολταϊκό θερμοκήπιο. Ως εκ τούτου η θερμοκρασία του αέρα δεν μπορεί να ελεγχθεί σε ένα α/φ/β σύστημα όπως σε ένα θερμοκήπιο και η καλλιέργεια η οποία προσαρμόζεται στους υπαίθριους όρους θα πρέπει να είναι εξίσου κατάλληλη και για το α/φ/β σύστημα. Ένα από τα κύρια αρνητικά αποτελέσματα της σκίασης στις καλλιέργειες είναι συνήθως η αύξηση των μυκητολογικών ασθενειών. Η ανάπτυξη των μυκήτων ενισχύεται άμεσα σε περιορισμένους χώρους με αυξημένη υγρασία και μειωμένη κυκλοφορία αέρα. Συνεπώς αναμένεται ότι τα παράσιτα και οι ασθένειες δεν θα μπορούν να βρουν

πρόσφορο, για την ανάπτυξή τους, έδαφος σε ένα α/φ/β σύστημα, σε σύγκριση με παρόμοια συστήματα καλλιέργειας στον πλήρη ήλιο, χάρη στην ικανοποιητική διατήρηση της κυκλοφορίας του αέρα κάτω από τη δομή τους[5].

Σε αντίθεση με τη θερμοκρασία του αέρα και την υγρασία, η θερμοκρασία των καλλιεργειών κατά τη διάρκεια της ημέρας επηρεάστηκε από τη σκίαση. Η θερμοκρασία όλων των καλλιεργειών που δοκιμάστηκαν και στις τρεις διαφορετικές περιόδους κατά το μεσημέρι μειώθηκε σημαντικά κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες. Η μείωση της θερμοκρασίας των καλλιεργειών προκλήθηκε κυρίως λόγω της μείωσης της εισερχόμενης μικρού μήκους ακτινοβολίας, καθώς οι μεταβολές στη μεγάλου μήκους ακτινοβολία μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων σκίασης θεωρήθηκαν πολύ μικρές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες στη μικρού μήκους ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η θερμοκρασία των καλλιεργειών αυξανόταν κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες, το οποίο θα μπορούσε να εξηγηθεί εν μέρει από τις μειωμένες απώλειες ακτινοβολίας κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Ωστόσο, το συνολικό ποσό της ενέργειας από οποιαδήποτε κατεύθυνση πάντα ήταν μικρότερο κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες σε σύγκριση με το τμήμα πλήρους ήλιου. Κατά συνέπεια, οι επιδράσεις της διάχυσης της ακτινοβολίας είναι ελάχιστες στο α/φ/β σύστημα, και δεν εξηγούν το γεγονός πως η θερμοκρασία των φυτών αυξανόταν πιο γρήγορα από τις 7:00 έως τις 12:00 στις σκιασμένες από τους ηλιακούς συλλέκτες περιοχές σε σύγκριση με το τμήμα FS. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η μεγαλύτερη ομοιογένεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες συνδέεται με την αύξηση του λόγου της διάχυτης προς την άμεση ακτινοβολία του προσπίπτοντος φωτός. Αυτό το χαρακτηριστικό της ακτινοβολίας που διέπει τα α/φ/β συστήματα θα μπορούσε να είναι ευνοϊκό για την ανάπτυξη των φυτών[5].

Παρά το γεγονός ότι η θερμοκρασία των καλλιεργειών υπό τη σκιά των ηλιακών συλλεκτών ήταν μειωμένη σε ωριαίο χρονικό βήμα, σύμφωνα με το διάγραμμα 4.10, η μέση ημερήσια θερμοκρασία των καλλιεργειών υπό σκιά παρέμεινε κοντά σε αυτή στο τμήμα FS σύμφωνα με το διάγραμμα 4.11. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τον ελαφρώς μειωμένο ρυθμό εκπομπής φύλλων για τα μερικώς σκιασμένα φυτά. Τα μαρούλια και τα αγγούρια (λαμβάνοντας υπόψη τον κύριο μίσχο μόνο) αναπτύσσονταν με τον ίδιο ρυθμό κατά την περίοδο της μέγιστης βλαστικής ανάπτυξης σε όλα τα τμήματα σκίασης, ενώ ο ρυθμός ανάπτυξής τους ήταν μειωμένος κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες στην αρχή του κύκλου καλλιέργειας των φυτών. Ορισμένες εξηγήσεις για τη μείωση της ανάπτυξης κατά την έναρξη κάθε κύκλου των καλλιεργειών που θα πρέπει να διερευνηθούν μέσω έρευνας υπό ελεγχόμενες συνθήκες είναι οι παρακάτω[5]:

- Είναι πιθανό να προκλήθηκε από τη μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους κάτω από τη σκιά των ηλιακών πλαστικών.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας των καλλιεργειών κατά τη διάρκεια της νύχτας θα μπορούσε να έχει ως συνέπεια την αύξηση του ρυθμού της νυχτερινής αναπνοής στα σκιασμένα φυτά, μειώνοντας έτσι το ποσοστό του άνθρακα που είναι διαθέσιμος για την ανάπτυξη των φυτών. Η αύξηση της θερμοκρασίας των καλλιεργειών κατά τη διάρκεια της νύχτας ήταν σημαντική όμως μόνο για το σιτάρι και καθώς η νυχτερινή θερμοκρασία του παρέμεινε κάτω από τους 20 °C

κατά το πρώτο μέρος του κύκλου καλλιέργειάς του, δεν μπορεί να προκύψει δραματική αύξηση της αναπνοής.

- Η μείωση του διαθέσιμου φωτός θα μπορούσε να είναι άμεσα υπεύθυνη για την πιο αργή ανάπτυξη των φυτών στη σκιά στο αρχικό στάδιο ανάπτυξής τους. Καθώς η φυλλική επιφάνεια των νεαρών φυτών είναι μικρή, η σύλληψη απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περιορισμένη.
- Μία άλλη πιθανότητα, που αφορά την επίδραση της μείωσης του φωτός στη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης, είναι ότι τα αποθέματα των φυτών είναι ανεπαρκή σε περιόδους έλλειψης φωτός. Τα νεαρά φυτά έχουν μικρότερη αποθηκευμένη ποσότητα υδατανθράκων. Συνεπώς, όταν τα σπορόφυτα είναι σκιασμένα κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι μικρές αποθήκες άνθρακα που διαθέτουν μπορεί να εκκενωθούν πιο γρήγορα μέσω της αναπνοής.

Η μελέτη αυτή δείχνει ότι ένα μικρό αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ανοικτό σύστημα, και όχι ως κλειστό θερμοκήπιο, διότι το κύριο χαρακτηριστικό του είναι η μείωση του διαθέσιμου φωτός χωρίς όμως να προκαλείται σημαντική μεταβολή στις άλλες παραμέτρους του μικροκλίματος. Λόγω της επαρκούς κυκλοφορίας του αέρα κάτω από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, η θερμοκρασία του αέρα και ο VPD δεν επηρεάστηκαν σημαντικά. Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας όλων των φυτών, η θερμοκρασία των καλλιεργειών μεταβλήθηκε οριακά στη σκιά σε σύγκριση με το τμήμα FS, και κατά συνέπεια οι επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών ήταν μικρές. Η συνέπεια αυτή που δεν ήταν αναμενόμενη, καθώς υπήρχε πιθανότητα το ενεργειακό ισοζύγιο να επηρεαστεί από τη σκιά, θα διευκολύνει την καθιέρωση των α/φ/β συστημάτων στα αγροκτήματα[5].

4.4. Η επίδραση των ηλιακών συλλεκτών στη ροή του νερού σε ένα α/φ/β σύστημα

Σε προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκε ότι μπορεί να επιτευχθεί υψηλή απόδοση παραγωγής καλλιεργειών υπό τη μερική σκιά των ηλιακών συλλεκτών μέσα σε ένα αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα. Εκτός αυτής της ανάλυσης, η διεξοδική αξιολόγηση των μικροκλιματικών μεταβλητών στο αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εξατμισοδιαπνοή των φυτών που αναπτύσσονται σε αυτό το σύστημα αυτό θα μπορούσε να επηρεαστεί από τη σκιά. Πράγματι, αν και η ημερήσια θερμοκρασία αέρα και το υδατικό έλλειμμα της ατμόσφαιρας (VPD) σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς του τμήματος πλήρους ήλιου δεν τροποποιήθηκαν σημαντικά κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες, το ισοζύγιο ακτινοβολίας παρουσίασε μεταβολές. Μάλιστα ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι η στοματική αγωγιμότητα³ και η εξατμισοδιαπνοή⁴ των αρδευόμενων από στάγδην καλλιεργειών είναι θετικά

³ Η στοματική αγωγιμότητα, που συνήθως μετρείται σε $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, είναι το μέγεθος περιγραφής του ρυθμού διέλευσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που εισέρχεται, ή των υδρατμών που εξέρχονται από τα στόματα ενός φύλλου[11].

⁴ Οι συνολικές απώλειες εξάτμισης του εδαφικού ύδατος, με απ' ευθείας εξάτμιση από την επιφάνεια μιας εδαφικής μάζας από τις απώλειες διαπνοής, θεωρούνται με ενιαίο τρόπο και χαρακτηρίζονται με τον όρο εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration)[9].

ανάλογες με το διαθέσιμο φως. Στα πλαίσια της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου και του ελλείμματος υδάτινων πόρων, η μείωση στη χρήση νερού για την άρδευση των καλλιεργειών μέσω της σκίασής τους στα α/φ/β συστήματα θα μπορούσε να αποτελέσει ένα πολύ αξιοσημείωτο πλεονέκτημα στο κοντινό μέλλον[7].

Στην ακόλουθη μελέτη αρχικά, υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή δύο από στάγδην αρδευομένων καλλιεργειών (μαρούλια και αγγούρια), με μετρήσεις που αφορούν τη ροή και την αποθήκευση του νερού του εδάφους και με τη βοήθεια μίας εξίσωσης περιγραφής του ισοζυγίου του νερού, που εφαρμόστηκαν στα δύο πρότυπα α/φ/β συστήματα διαφορετικής σκίασης. Σε δεύτερη φάση, προτείνεται ένα θεωρητικό πλαίσιο της εδαφικής εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών, προκειμένου να μπορεί να αναλυθεί η τελική χρήση του νερού υπό τη σκιά των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Από βιβλιογραφικές παραπομπές, τέσσερις μεταβλητές μπορούν να αποτελέσουν βασικούς παράγοντες της εδαφικής εξάτμισης και της φυτικής διαπνοής[7]:

- Οι κλιματικές συνθήκες.
- Το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από τα φυτά.
- Η στοματική αγωγιμότητα των φυτών.
- Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.

Τα πειράματα της μελέτης πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού του 2011 (από τις 22 Μαρτίου 2011 έως τις 31 Αυγούστου 2011), στο πρότυπο πειραματικό προαναφερθέν αγροτοφωτοβολταϊκό σύστημα στο Μονπελιέ της Γαλλίας. Οι καλλιέργειες, στις οποίες πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη μελέτη είναι το μαρούλι που φυτεύτηκε στις 22 Μαρτίου του 2011 και συλλέχθηκε στις 24 Μαΐου του 2011 και το αγγούρι, που φυτεύτηκε στη θέση των μαρουλιών μετά τη συγκομιδή τους στις 24 Ιουνίου του 2011, και συλλεγόταν από τις 8 Αυγούστου μέχρι τις 31 Αυγούστου του 2011. Η ακριβής διάταξη φύτευσης, ο τρόπος άρδευσης και διοχέτευσης λιπασμάτων έχει προαναφερθεί στα υποκεφάλαια 4.1. και 4.2. αναλυτικά[7].

Η εδαφική περιεκτικότητα σε νερό και το υδατικό δυναμικό του εδάφους ελέγχθηκαν και μετρήθηκαν με συσκευές μέτρησης της ποσότητας νερού στο έδαφος (neutron probes) και με τασιόμετρα αντίστοιχα, από τις 28 Απριλίου του 2011 έως και τις 24 Μαΐου του 2011 για τα μαρούλια και κατά τη διάρκεια όλου κύκλου καλλιέργειας για τα αγγούρια (28 Ιουνίου του 2011 έως τις 31 Αυγούστου του 2011)[7].

Η ημερήσια βροχόπτωση στο τμήμα πλήρους ήλιου προέρχεται από τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού. Στα τμήματα FD και HD, διανεμήθηκε ετερογενώς η είσοδος νερού από τη βροχή στο σύστημα, (περισσότερο νερό μπορεί να διεισδύσει στο χώμα ακριβώς κάτω από τη νότια πλευρά των φ/β πλαισίων λόγω της κλίσης τους). Αντίθετα, είναι αναμενόμενο πως η είσοδος του νερού θα είναι χαμηλότερη στις μεσαίες θέσεις κάτω ακριβώς από κάθε συστοιχία φ/β πλαισίων. Ωστόσο, το συνολικό ποσό του νερού που έλαβε ολόκληρη η έκταση των τμημάτων FD και HD πρέπει να είναι η ίδια με αυτό στον πλήρη ήλιο καθώς δεν υπάρχουν σωλήνες αποστράγγισης ή δοχεία συλλογής της βροχής που θα οδηγούσαν σε εξαγωγή

βρόχινου νερού από το α/φ/β σύστημα. Ως εκ τούτου, οι εισροές του νερού της βροχής στα τμήματα FD και HD θεωρούνται παρόμοιες και ίσες με αυτή που μετρείται στο τμήμα πλήρους ήλιου με βάση τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού[7].

Όσον αφορά τις μετρήσεις που σχετίζονται με τη φυτική παραγωγή ακολούθησε η καταγραφή της συνολικής ξηράς μάζας (DM) για τα αγγούρια την ΗΤΕ 241 και η αξιολόγηση της παραγωγικότητας για τα μαρούλια μέσω δειγματοληψίας τις ΗΤΕ 125 και 144. Το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από την καλλιέργεια (f) αξιολογήθηκε τόσο για τα μαρούλια όσο και για τα αγγούρια. Η στοματική αγωγιμότητα (Gs) μετρήθηκε για τα μαρούλια μέσω ενός αεριζόμενου θαλάμου ανταλλαγής αερίων κατά τη διάρκεια δύο ηλιόλουστων ημερών (στις 20 Απριλίου του 2011 και στις 17 Μαΐου του 2011)[7].

Η ανάλυση των επιπτώσεων των φωτοβολταϊκών πλαισίων στη ροή του νερού στο σύστημα φυτού-εδάφους πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια: Πρώτον, υπολογίστηκε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ΑΕΤ - actual evapotranspiration) με την εξίσωση του ισοζυγίου του νερού και τις μετρήσεις ποσοτήτων νερού στο έδαφος για κάθε τμήμα σκίασης. Δεύτερον προτάθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο που διαχωρίζει την ΑΕΤ στη διαπνοή των φυτών και την εδαφική εξάτμιση και καθορίζει τους τέσσερις προαναφερθέντες βιοφυσικούς παράγοντες οδηγούς που διέπουν την ΑΕΤ. Οι ανεξάρτητες μετρήσεις των παραγόντων αυτών συνέβαλαν στην ανάλυση της τροποποίησης των απωλειών νερού από τα φυτά και το έδαφος λόγω της σκίασης από τους ηλιακούς συλλέκτες και τη μετέπειτα εξήγηση της παρατηρούμενης τροποποίησης της ΑΕΤ. Ο στόχος της μελέτης αυτής ήταν εξ' αρχής να βρεθεί τρόπος έτσι ώστε να ερευνηθούν πιθανές λύσεις σχετικές με τη βελτίωση του συντελεστή αξιοποίησης νερού⁵ αλλά της φυτικής παραγωγικότητας[7].

Το υδατικό ισοζύγιο για ένα σύστημα φυτού-εδάφους ανάμεσα σε δύο ημερομηνίες t_1 και t_2 περιγράφεται από την εξίσωση (4.2) σύμφωνα με την πρώτου είδους ανάλυση που πραγματοποιήθηκε[7]:

$$AET_{t_1 \rightarrow t_2} = -\Delta S_{t_1 \rightarrow t_2} + \sum_{t=t_1}^{t_2} P_t + \sum_{t=t_1}^{t_2} I_t + F_{t_1 \rightarrow t_2} \quad (4.2)$$

Στον τύπο (4.2) το $\Delta S_{t_1 \rightarrow t_2}$ είναι η μεταβολή του αποθέματος του νερού στη ζώνη των ριζών των φυτών στο έδαφος μεταξύ των ημερών t_1 και t_2 , το P_t είναι η βροχή την ημέρα t , το I_t είναι η παροχή άρδευσης για την ημέρα t , το $F_{t_1 \rightarrow t_2}$ αντιπροσωπεύει τις κάθετες ροές νερού κάτω από τη ζώνη των ριζών και το $AET_{t_1 \rightarrow t_2}$ είναι η εξατμισοδιαπνοή του συστήματος φυτού-εδάφους μεταξύ των ημερών t_1 και t_2 [7].

Τα μαρούλια και τα αγγούρια είναι καλλιέργειες που χαρακτηρίζονται από αραιή κάλυψη του εδάφους. Συνεπώς γίνεται σκόπιμο να αναλυθεί η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ΑΕΤ) ως το άθροισμα δύο συνιστωσών που είναι η διαπνοή από

⁵ Ο συντελεστής αξιοποίησης νερού αντιπροσωπεύει την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού[45], και εκφράζεται με το κλάσμα της παραγωγής της ξηρής βιομάζας (DM) ως προς την εξατμισοδιαπνοή (ET)[10].

τα φυτά (T) και η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους (E) όπως φαίνεται στον τύπο (4.3)[7].

$$AET = T + E \quad (4.3)$$

Κάθε συνιστώσα της AET του τύπου (4.3) μπορεί να θεωρηθεί ως μία ροή του νερού η οποία ελέγχεται από τρεις παράγοντες που παρουσιάζονται παρακάτω δημιουργώντας τον τύπο (4.4)[7]:

- Οι κλιματικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_0^6) είτε στην επιφάνεια του φυτού είτε στην επιφάνεια του εδάφους.
- Η επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται η φυτική διαπνοή T και η εδαφική εξάτμιση E.
- Η υδατική αγωγιμότητα.

$$AET = (ET_0 \cdot f \cdot K_v) + (ET_0 \cdot (1 - f) \cdot K_s) \quad (4.4)$$

Στην εξίσωση (4.4) το f είναι το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από την καλλιέργεια, το K_v είναι ο συντελεστής διαπνοής του φυτού, που σχετίζεται με την στοματική αγωγιμότητα και το K_s είναι ο συντελεστής εξάτμισης του εδάφους, ο οποίος αντιπροσωπεύει την υδραυλική αγωγιμότητα της επιφάνειας του εδάφους. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι στόχος της χρήσης της σχέσης (4.4) δεν είναι να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της AET αλλά για ένα εννοιολογικό μοντέλο με το οποίο θα αναλυθεί το μέγεθος της τροποποίησης αφενός των δύο συστατικών της AET (Τύπος (4.3)), λόγω της συνύπαρξης των φυτών με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, και αφετέρου των βασικών τριών παραγόντων από τα τρία (Τύπος (4.4))[7].

Ο σχετικός συντελεστής αξιοποίησης νερού στη σκιά σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο μπορεί να υπολογιστεί από το πηλίκο μεταξύ της σχετικής ξηράς μάζας (DM) και της σχετικής AET. Ο σχετικός συντελεστής αξιοποίησης νερού μεταξύ σκιάς και πλήρους ήλιου υπολογίστηκε για τα μαρούλια (από την HTE 124 μέχρι την HTE 134) και για αγγούρια (από την HTE 175 μέχρι την HTE 241) χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της DM και τον τύπο (4.2) για τον υπολογισμό της AET κατά την ίδια περίοδο[7].

Για τα μαρούλια, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η οποία υπολογίστηκε από τη σχέση (4.2), στο τμήμα FD ήταν στο 76% της αντίστοιχης AET που υπολογίστηκε στο τμήμα πλήρους ήλιου κατά τη διάρκεια της περιόδου μεταξύ των HTE 110 και 144. Στο τμήμα HD επίσης, ήταν 78% της αντίστοιχης AET στον πλήρη ήλιο κατά την ίδια περίοδο. Κατά την εξέταση της εβδομαδιαίας δυναμικής της AET από την HTE 110 έως την HTE 144, σημειώθηκε σημαντική μείωση της AET τόσο στο FD όσο και στο HD σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο. Για τα αγγούρια, η AET επίσης μειώθηκε σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο καθώς στο FD, η AET ήταν 86% του πλήρους ήλιου και στο HD, ήταν 91% του πλήρους ήλιου, αλλά οι διαφορές αυτές δεν ήταν σημαντικές.

⁶ Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια αναφοράς, επαρκώς εφοδιασμένης με νερό, ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και συμβολίζεται με ET_0 . Η επιφάνεια αναφοράς είναι μια υποθετική καλλιέργεια γρασιδιού, ή μιας άλλης οριζόμενης καλλιέργειας με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά[10].

Λαμβάνοντας υπόψη την εβδομαδιαία ΑΕΤ υπολογισμένη από τη σχέση (4.2), σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μετά την ΗΤΕ 188 μόνο. Από την ΗΤΕ 208 έως την τελική συγκομιδή, η ΑΕΤ μειώθηκε στο 71% του πλήρους ήλιου στο τμήμα FD (σημαντική διαφορά) και στο 86% του πλήρους ήλιου στο τμήμα HD (μη σημαντική διαφορά)[7].

Η ΕΤΟ κατά μέσο όρο στις δύο περιόδους καλλιέργειας ήταν μειωμένη στο 70% της ΕΤΟ του πλήρους ήλιου στο τμήμα FD και στο 78% του πλήρους ήλιου στο HD. Η ΕΤΟ επηρεάστηκε περισσότερο από τη σκίαση την άνοιξη σε σύγκριση με το καλοκαίρι. Κατά τη διάρκεια καλλιέργειας του μαρουλιού (Απρίλιος-Μάιος) η ΕΤΟ μετρήθηκε στο 62% και στο 70% του πλήρους ήλιου, στα τμήματα FD και HD αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια καλλιέργειας του αγγουριού (Ιούλιος-Αύγουστος) η ΕΤΟ ανήλθε στο 73% του πλήρους ήλιου στο FD και στο 81% του πλήρους ήλιου στο HD[7].

Στο δεύτερο μέρος του κύκλου καλλιέργειας του μαρουλιού, όταν χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (4.2) (μετά από την ΗΤΕ 124), το ποσοστό της κάλυψης του εδάφους από τα φυτά ήταν σημαντικά υψηλότερο στα σκιασμένα τμήματα σε σχέση με τον πλήρη ήλιο. Για κάθε εβδομάδα μεταξύ των ΗΤΕ 124 και 144, το f στη σκιά ήταν 150% του αντίστοιχου στον πλήρη ήλιο. Όσον αφορά τα αγγούρια από τη φύτευση έως και την ΗΤΕ 209, το f σημείωσε παρόμοια εξέλιξη στα τρία τμήματα σκίασης και ήταν μικρότερο από 33%. Αντίθετα, τις ΗΤΕ 209 έως 243, το f ήταν σημαντικά υψηλότερο στον πλήρη ήλιο σε σχέση με τα σκιασμένα τμήματα. Κατά μέσο όρο για τη συγκεκριμένη περίοδο, το f ήταν στο 75% του αντίστοιχου στον πλήρη ήλιο στο FD και στο 57% στο HD[7].

Μεταξύ των δύο κύκλων άρδευσης και των βροχοπτώσεων, ο συντελεστής K_s έτεινε να παραμείνει πλησιέστερα προς το ιδανικό ($K_s=1$) στα σκιασμένα τμήματα σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο. Ωστόσο, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τμημάτων σκίασης στην εξέλιξη της K_s , ούτε κατά τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας του μαρουλιού, ούτε κατά τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας του αγγουριού. Από την άλλη πλευρά οι αντίστοιχες τιμές της διαπνοής των φυτών και κατά συνέπεια του συντελεστή K_v ήταν 0.715 στο FD, 0.958 στο HD και 0.960 στον πλήρη ήλιο. Η μείωση του K_v στη σκιά σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο ήταν σημαντική μόνο για το τμήμα FD[7].

Για τα μαρούλια, μεταξύ της ΗΤΕ 124 και της τελικής συγκομιδής (ΗΤΕ 144), η ποσότητα ξηράς μάζας στο τμήμα FD έφθασε το 67% αυτής στον πλήρη ήλιο, και στο 84% στο τμήμα HD, με ισχυρή διακύμανση μεταξύ ποικιλιών. Οι ποικιλίες "Kiribati" και "Emocion" ήταν οι πιο παραγωγικές στη σκιά και ο συντελεστής αξιοποίησης νερού (WUE) αυξήθηκε στη σκιά FD και HD σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο (+35 και +12% στο FD και +21% και +42% στο HD αντίστοιχα). Αντίθετα, για τις ποικιλίες "Model" και "Bassoon", η απόδοση ξηράς μάζας παρουσίασε μειώσεις με συνέπεια ο WUE να μειωθεί επίσης. Κατά μέσο όρο, για το σύνολο των ποικιλιών μαρουλιού, ο συντελεστής WUE μεταξύ ΗΤΕ 124 και 144 μειώθηκε κατά 5% στο τμήμα FD και αυξήθηκε κατά 12% στο τμήμα HD. Τα αγγούρια προέκυψε πως ήταν πιο ευαίσθητα στη σκιά και η ποσότητα ξηράς μάζας μειώθηκε στο 42% της αντίστοιχης τον πλήρη ήλιο στο τμήμα FD και στο 79% στο τμήμα HD με αποτέλεσμα

για το συγκεκριμένο είδος ο συντελεστής WUE να μειωθεί κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και στα δύο τμήματα με ηλιακούς συλλέκτες (FD και HD)[7].

Πίνακας 4.4: Η σχετική ξηρά μάζα (DM), η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AET) και συντελεστής αξιοποίησης νερού (WUE) ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) των αντίστοιχων τιμών στο τμήμα πλήρους ήλιου για τα μαρούλια (μεταξύ HTE 124 και 144) και για τα αγγούρια (μεταξύ HTE 175 και 241) στα συστήματα FD και HD.

	FD			HD		
	DM (%)	AET (%)	WUE(%)	DM (%)	AET (%)	WUE (%)
Lettuces						
Emocion	80	71	112	107	75	142
Model	47	71	66	81	75	108
Bassoon	56	71	89	61	75	82
Kiribati	96	71	135	90	75	121
All varieties	67	71	95	84	75	112
Cucumbers	42	79	53	79	82	96

Πηγή: H. Marrou et al. (2013) [7]

Κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι απώλειες νερού μειώνονται μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Η AET στη σκιά ποικίλλει μεταξύ του 71% σε σχέση με τον πλήρη ήλιο (FD, μαρούλια) και του 86% (HD, αγγούρια) ανάλογα με το επίπεδο της σκιάς αλλά και το είδος της καλλιέργειας. Η εξάτμιση (E) και η διαπνοή (T) επηρεάζονται διαφορετικά κάτω από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες ανάλογα με το επίπεδο σκιάς αλλά και το είδος της καλλιέργειας επίσης. Η μείωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET) προέκυψε κυρίως από τη μείωση του ηλιακού φωτός που οδήγησε στη μείωση της ET0[7].

Στο πείραμα αυτό αποδείχθηκε ότι η σκίαση των αρδευόμενων καλλιεργειών κηπευτικών ειδών με φωτοβολταϊκά πλαίσια, επιτρέπει την εξοικονόμηση νερού κατά 14-29% λόγω της μείωσης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Χρησιμοποιώντας ένα θεωρητικό πλαίσιο, σύμφωνα με το οποίο η AET παρακολουθείται από τέσσερις βασικούς οδηγούς, προσδιορίστηκαν οι βιοφυσικές διαδικασίες που ευθύνονται για την εξοικονόμηση του νερού υπό τη σκιά των ηλιακών συλλεκτών. Η μείωση της AET επιτεύχθηκε χάρη στη μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας κάτω από τα φ/β πλαίσια και για τα μαρούλια λόγω της αύξησης του ποσοστού κάλυψης του εδάφους από τα φυτά και της αύξησης της στοματικής αγωγιμότητας. Επιπλέον, αυτή η μελέτη τονίζει ότι η εδαφική εξάτμιση ήταν πιο ευαίσθητη στη σκίαση από τη διαπνοή των φυτών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού βρέθηκε να αυξάνεται μόνο για ορισμένες ποικιλίες μαρουλιών (δύο ποικιλίες από τις τέσσερις) στο τμήμα FD σκιά, σε σύγκριση με τον πλήρη ήλιο. Συνεπώς ο WUE μπορεί να ενισχυθεί σε αυτά τα συστήματα με την επιλογή καλλιεργειών που έχουν ικανότητα να καλύπτουν το έδαφος γρήγορα. Τέλος ο WUE παρουσιάστηκε αρκετά σταθερός και οι δυνατότητες για βελτίωση είναι μικρές, όταν η άρδευση επιτρέπει την εξατμισοδιαπνοή και η παραγόμενη βιομάζα βρίσκεται κοντά στο βέλτιστο επίπεδό της[7].

4.5. Ηλιακά πάρκα και βιοποικιλότητα

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρέχεται καθοδήγηση (“Biodiversity Guidance for Solar Developments”) προς τους μελετητές και εγκαταστάτες φωτοβολταϊκών συστημάτων για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να υποστηρίξουν τη βιοποικιλότητα στα «ηλιακά αγροκτήματα» (“solar farms”)[12]. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι αρχές της ορθής πρακτικής (“Agricultural Good Practice Guidance for Solar Farms”), όσον αφορά τη διαχείριση των μικρών ζώων στα ηλιακά αγροκτήματα, τα οποία είναι εγκατεστημένα είτε σε γεωργική, είτε σε εγκαταλελειμμένη και άγονη γη. Οι προτάσεις που αναφέρονται παρακάτω έχουν αναπτυχθεί και εγκριθεί από ένα σύνολο αγροτών, οι οποίοι δραστηριοποιούνται σε ηλιακά αγροκτήματα σε συνδυασμό με μια σειρά οργανισμών που ασχολούνται με τη γεωργία και τη διαχείριση της αγροτικής γης[13].

Πρέπει να καταστεί σαφές πως η προσέγγιση για τη διαχείριση της βιοποικιλότητας θα είναι διαφορετική για κάθε αγρόκτημα και συνιστάται η δημιουργία ξεχωριστού σχεδίου για κάθε περίπτωση. Η βέλτιστη πρακτική για την ανάπτυξη των αγροτικών φωτοβολταϊκών πρέπει να έχει ως κύριο στόχο τη βελτιστοποίηση της βιοποικιλότητας ή εναλλακτικά, τη συμβολή στην υποστήριξη της αγροτικής παραγωγής. Οι δραστηριότητες που θα αφορούν τη βελτίωση της βιοποικιλότητας θα πρέπει να επιλεγθούν με ιδιαίτερη προσοχή, προκειμένου να συμβαδίζουν με τις φυσικές ιδιότητες της εκάστοτε περιοχής και με τον υπάρχον οικοσύστημα. Επιπλέον θα πρέπει να είναι συμβατές με τον κύριο σκοπό της περιοχής (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Εάν επίσης, η γεωργική παραγωγή αποτελεί στόχο της αγροτικής περιοχής, είναι απαραίτητο να υπάρχει συμφωνία με τις επιδιωκόμενες βελτιώσεις της βιοποικιλότητας[12].

Σύμφωνα με πρόσφατες περιβαλλοντικές μελέτες αποδεικνύεται πως η κατάλληλη διαχείριση της γης μπορεί να επιφέρει σημαντικές αυξήσεις στους πληθυσμούς των άγριων ζώων στις αγροτικές εκτάσεις. Κατά συνέπεια, με την κατάλληλη χωροταξία, τα ηλιακά πάρκα μπορούν να υποστηρίξουν την άγρια πανίδα συμβάλλοντας στη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Πράγματι, τα ηλιακά πάρκα μπορούν να παρουσιάσουν πληθώρα επιπρόσθετων πλεονεκτημάτων, δεδομένου ότι βρίσκονται σε ασφαλείς τοποθεσίες με μικρή όχληση από τον άνθρωπο και οποιοδήποτε μηχανολογικό εξοπλισμό, αφότου ολοκληρωθεί η εγκατάστασή τους[12].

Επιπλέον, όσον αφορά τα «ηλιακά αγροκτήματα», το ηλιακό πάρκο και οι αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνυπάρχουν σε κοινό χώρο, με συνέπεια να ενθαρρύνεται η πολλαπλή χρήση της γης. Η έκθεση καθιστά σαφές ότι η προσθήκη του φ/β συστήματος δεν απαιτεί μείωση του πλήθους των ζώων, καθώς μετά την εγκατάσταση του φ/β συστήματος οι αγρότες μπορούν να συνεχίσουν να βόσκουν τα εκτρεφόμενα ζώα τους με τον ίδιο ρυθμό. Αξίζει να αναφερθεί επίσης πως όλο και περισσότεροι αγρότες συνδυάζουν τη βόσκηση των ζώων (πρόβατα και πουλερικά) με φ/β συστοιχίες, παράγοντας προϊόντα τροφής αλλά και καθαρή ενέργεια, προσθέτοντας στο ετήσιο εισόδημά τους, τις απολαβές από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας[14]. Αξίζει να αναφερθεί πως σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ηλιακά αγροκτήματα μπορούν να ενισχύσουν ουσιαστικά τη γεωργική αξία της γης, κυρίως σε περιθωριοποιημένες ή ακαλλιέργητες εκτάσεις[13].

Στις περισσότερες αγροτικές εκμεταλλεύσεις με ηλιακά πάρκα, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται πάνω σε πυλώνες στήριξης, οι οποίοι προκαλούν ελάχιστη όχληση στο έδαφος. Οι ηλιακές συστοιχίες, στις περισσότερες εκμεταλλεύσεις, δεν έχουν κινούμενα μέρη και η υποδομή διαταράσσει συνήθως λιγότερο από το 5% του διαθέσιμου εδάφους. Τα σημεία εδαφόμεπτηξης, πάνω στα οποία τοποθετούνται οι βάσεις στήριξης των πλαισίων, καταλαμβάνουν συνήθως λιγότερο από το 1% της συνολικής έκτασης του εδάφους και τυπικά μόνο το 25-40% της επιφάνειας της γης σκιάζεται από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Επιπροσθέτως, τα πλαίσια υψώνονται πάνω από το έδαφος σε θέσεις που καθιστούν την αγροτική γη ικανή να διατηρήσει την ανάπτυξη φυτών και την ύπαρξη άγριας πανίδας αλλά και να υποστηρίξει κτηνοτροφικές δραστηριότητες, όπως είναι η βόσκηση των ζώων. Δεδομένου ότι, μετά την κατασκευή του φωτοβολταϊκού συστήματος υπάρχει μικρή έντασης ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία συνίσταται από τις περιστασιακές επισκέψεις συντήρησης αλλά και της τουλάχιστον εικοσαετούς διάρκειας ζωής του έργου, η κατάλληλη διαχείριση της αγροτικής γης μπορεί να παράγει οφέλη για τη βιοποικιλότητα[12].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εδάφους που εγκαθίστανται σε αγροτικές περιοχές ή "ηλιακά αγροκτήματα" (solar farms), αποτελούν μια σχετικά πρόσφατη δραστηριότητα, που έχει εμφανιστεί στη Μεγάλη Βρετανία μόλις από το 2011, αν και έχει αναπτυχθεί στη Γερμανία και άλλες ευρωπαϊκές χώρες περίπου από το 2005. Η πλειοψηφία των ανθρώπων που απασχολούνται στα ηλιακά αγροκτήματα συμβάλλει ενεργά στην πολλαπλή χρήση της γης. Μάλιστα μέσω της διατήρησης της αγροτικής δραστηριότητας και της λήψης φιλοπεριβαλλοντικών μέτρων που στηρίζουν τη βιοποικιλότητα, παράγονται τόσο οικονομικά και όσο και οικολογικά οφέλη[13].

Κατά το σχεδιασμό εγκατάστασης των αγροτικών φωτοβολταϊκών συνιστάται σε ευρεία κλίμακα η έκταση γης κάτω από τις συστοιχίες των φ/β πλαισίων να διατίθεται για τη βοσκή μικρών ζώων. Τα μεγαλύτερου μεγέθους εκτρεφόμενα ζώα όπως τα άλογα και τα βοοειδή θεωρούνται ακατάλληλα, δεδομένου ότι έχουν το βάρος και τη δύναμη να καταστρέψουν τα τυποποιημένα συστήματα στήριξης, ενώ οι αίγες και οι χοίροι μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στις καλωδιώσεις[13]. Τα πρόβατα και τα πουλερικά είναι η συνήθης επιλογή για τα ηλιακά αγροκτήματα διότι είναι αρκετά μικρά σε μέγεθος για να μπορούν να περάσουν κάτω από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Μάλιστα, έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πληθωρά ηλιακών αγροκτημάτων για αρκετά χρόνια[12].

Η πιο κοινή αγροτική δραστηριότητα στα ηλιακά αγροκτήματα είναι η χρήση της γης ως βοσκότοπος για την πάχυνση των απογαλακτισμένων ζώων, ως μέρος ενός ευρύτερου σχεδίου κτηνοτροφικής απασχόλησης, η οποία στοχεύει στη διάθεση των ζώων στην αγορά. Μάλιστα ορισμένες πιο σκληραγωγημένες φυλές προβάτων είναι σε θέση να αναπαράγονται με επιτυχία διατηρώντας σαν καταφύγιο τη σκιά από τα φ/β πλαίσια, αλλά υπάρχει μικρή εμπειρία σε αυτόν τον τομέα[13].



Εικόνα 4.5: Ηλιακά αγροκτήματα στις πόλεις Νιουκουέι (αριστερά) και Γκλάστονμπερι (δεξιά) της Νότιας Αγγλίας, τα οποία εγκαταστάθηκαν το 2011.

Πηγή: “Agricultural Good Practice Guidance for Solar Farms” [13].

Οι βοσκότοποι αποτελούν λειμώνες που έχουν δημιουργηθεί πρωταρχικά για τη βόσκηση των ζώων και μπορούν να διατηρούνται κάτω από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες και γύρω από αυτές. Μεγαλύτερα οφέλη για την άγρια πανίδα μπορούν να αποκτηθούν μέσω της σποράς διαφορετικών ειδών χλόης, ενώ εάν το έδαφος δεν είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά μπορούν να προστεθούν αυτόχθονα είδη φυτών. Η συντήρηση βοσκοτόπων αποτελεί μία συνήθη και όχι ιδιαίτερα δαπανηρή επιλογή των κτηνοτρόφων, αλλά απαιτείται σπορά ανά τακτά διαστήματα (κάθε 3 με 4 έτη)[12].

Οι λειμώνες μπορούν να εγκατασταθούν σε μία τοποθεσία με ηλιακούς συλλέκτες, περιμετρικά της εγκατάστασης, κάτω από μέρος ή όλης της εγκατάστασης ή ακόμα και με συνδυασμό των παραπάνω. Είναι πολύ σημαντικό μετά την κατασκευή της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης οι λειμώνες να αναπτυχθούν πολύ γρήγορα. Σε αντίθετη περίπτωση το ακαλλιέργητο έδαφος θα είναι επιρρεπές στην ανάπτυξη μη επιθυμητών φυτών και επιβλαβών ζιζανίων[12]. Μια σειρά από προκαταρκτικές μελέτες, σχετικά με την ποσότητα και ποιότητα της φυτικής ύλης των βοσκότοπων που είναι διαθέσιμη στα ηλιακά αγροκτήματα, υποδεικνύουν ότι η συνολική παραγωγή είναι κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό διαφορετική συγκρινόμενη με αυτή των συμβατικών λειμώνων[13].

Η μικρής έντασης βόσκηση μπορεί να παρέχει χαμηλού κόστους ορθή διαχείριση των χορτολιβαδικών εκτάσεων, αυξάνοντας την αξία τους. Η βόσκηση δίνει επίσης τη δυνατότητα στη γη να παραμείνει γεωργικά παραγωγική, αν και θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υψηλότερης έντασης βόσκηση είναι απίθανο να είναι επωφελής για την άγρια πανίδα[12].

Κατά τη λήψη απόφασης της βέλτιστης πρακτικής για τη διαδικασία κατασκευής και εγκατάστασης του φ/β συστήματος θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η μελλοντική αγροτική δραστηριότητα (για παράδειγμα μια αλλαγή από αροτραίες καλλιέργειες στη βόσκηση ζώων) μπορεί να ενταχθεί στην τοπική αγροτική οικονομία. Η επιλογή της εποχής του χρόνου θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη για τις αγροτικές δραστηριότητες. Επιπροσθέτως, οι αγρότες θα πρέπει να διαχειριστούν κατάλληλα τη γη έτσι ώστε να αποφύγουν τη συμπίκνωση του εδάφους και τη διαταραχή της

φυσικής αποστράγγισής του. Η ορθή διαχείριση της γης σε αυτό το στάδιο θα αποφέρει μακροπρόθεσμα οφέλη όσον αφορά την παραγωγικότητα και τις συνθήκες βόσκησης[13].

Όσον αφορά την φ/β εγκατάσταση, το βάθος κάτω από το έδαφος, στο οποίο τοποθετούνται τα καλώδια, η θωράκιση των ανερχόμενων από το έδαφος καλωδίων και η ασφάλεια των καλωδίων που βρίσκονται στην πίσω όψη των φ/β πλαισίων αποτελούν ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε περιοχές όπου αγροτικά μηχανήματα μηχανήματα και εκτρεφόμενα ζώα θα είναι παρόντα. Τα καλώδια για παράδειγμα που είναι θαμμένα στο έδαφος θα πρέπει να τηρούν τους εθνικούς κανονισμούς αλλά και να βρίσκονται αρκετά βαθιά για να αποφευχθεί ο κίνδυνος να αλλοιωθούν από την αγροτική δραστηριότητα. Η διάταξη των φ/β συστοιχιών αλλά και των βάσεων θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε μελλοντικά να μπορούν να καθίσταται δυνατή η χρησιμοποίηση του αγροτικού μηχανολογικού εξοπλισμού σποράς, θερισμού και συγκομιδής[13].

Βιβλιογραφία

- [1]. C. Dupraz et al., "Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes". (S. A.-Z. Abbas Ahmed Fardoun, Επιμ.) *Renewable Energy An International Journal*, 36(10), 2725-2732, 2011.
- [2]. Courtney White, "Grass, Soil, Hope": A Journey through Carbon Country. (B. Watson, Επιμ.) United States of America: Chelsea Green Publishing, White River Junction, September 2014.
- [3]. H. Marrou, J. Wery, L. Dufour, C. Dupraz, "Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of". (J. Porter, Επιμ.) *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66, January 2013.
- [4]. Dupraz C. et al., "To mix or not to mix: evidences for the unexpected high productivity of new complex agrivoltaic and agroforestry systems". Από ACIAR Australian Centre for International Agricultural Research:
http://aciarc.gov.au/files/node/13992/to_mix_or_not_to_mix_evidences_for_the_unexpected_19701.pdf, ανάκτηση Ιανουάριος 2015.
- [5]. H. Marrou, L. Guilioni, L. Dufour, C. Dupraz, J. Wery, "Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected". (X. Lee, Επιμ.) *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117-132, August 2013.
- [6]. Nick Poole, "Cereal Growth Stages". Lincoln, New Zealand. Ανάκτηση από
<http://www.grdc.com.au/uploads/documents/GRDC%20Cereal%20Growth%20Stages%20Guide1.pdf>, Σεπτέμβριος 2005.
- [7]. H. Marrou, L. Dufour, J. Wery, "How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system?". (J. Porter, Επιμ.) *European Journal of Agronomy*, 50, 38-51, October 2013.
- [8]. Προύτσος, Δ. Νικόλαος, "Μικρομετεωρολογία και Διαθεσιμότητα Νερού Φυλλοβόλου Δάσους". Αθήνα: ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 2010.
- [9]. Γεωργούσης Χαράλαμπος, "Συμβολή στην εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής". ΑΘΗΝΑ: ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 1995.
- [10]. ΛΙΑΠΗ ΜΑΡΙΑ, "Αξιοποίηση του νερού και της ηλιακής ακτινοβολίας σε καλλιέργεια γλυκού σόργου και εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κατά FAO, (μέθοδος Penman Monteith)". ΠΑΤΡΑ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, 2006.
- [11]. Stomatal conductance. Από WIKIPEDIA: <http://en.wikipedia.org/>, ανάκτηση Φεβρουάριος 2015.
- [12]. G. Parker, "Biodiversity Guidance for Solar Developments". Ανάκτηση από
<http://www.bre.co.uk/>: <http://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/Brochures/NSC-Biodiversity-Guidance.pdf>, 2014.

- [13]. Dr Jonathan Scurlock, "*Agricultural Good Practice Guidance for Solar Farms*". Ανάκτηση από <http://www.bre.co.uk/>:
http://www.bre.co.uk/filelibrary/nsc/Documents%20Library/NSC%20Publications/NSC_Guid_Agricultural-good-practice-for-SFs_0914.pdf, 2014.
- [14]. "*Solar farms increasingly popular with UK farmers*". Retrieved from <http://www.pv-magazine.com/>: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/solar-farms-increasingly-popular-with-uk-farmers_100016390/#axzz3lnK0cISj, Σεπτέμβριος 2014.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΒ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗ
ΜΟΝΑΔΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας οικονομοτεχνικής μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου, με το δίκτυο της ΔΕΗ, ΦΒ σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μία κτηνοτροφική μονάδα και η λήψη απόφασης σχετικά με την οικονομική της βιωσιμότητα. Το ΦΒ σύστημα θα ικανοποιεί άμεσα μέρος των ενεργειακών αναγκών των κτιριακών και των μηχανολογικών εγκαταστάσεων της υπάρχουσας κτηνοτροφικής μονάδας προβάτων γαλακτοπαραγωγικής κατεύθυνσης με τοποθεσία την Περιφερειακή Ενότητα Αιτωλοακαρνανίας.

Η δυναμικότητα της μονάδας σε πλήρη λειτουργία είναι 150 πρόβατα μη μονίμως σταβλισμένα. Οι βασικές επαγγελματικές δραστηριότητες της αγροτικής οικογένειας είναι οι εξής[1]:

- Ποιμενική μη μετακινούμενη εκτροφή αιγοπροβάτων, μη μονίμως σταβλισμένων.
- Τα ζώα την ημέρα βρίσκονται στα βοσκοτόπια και σταβλίζονται μόνον τις νύχτες και τους χειμερινούς μήνες.
- Άμελξη ζώων.
- Προσωρινή αποθήκευση γάλακτος.
- Πώλησή γάλακτος.
- Αναπαραγωγή αιγοπροβάτων.
- Πώληση αμνοεριφίων.

Οι δευτερεύουσες επαγγελματικές δραστηριότητες της αγροτικής μονάδας, που σχετίζονται με τη διαχείριση της διαθέσιμης έκτασης γης είναι οι εξής:

- Όργωμα γης.
- Σπορά γης.
- Εμπλουτισμός με λιπάσματα.
- Συγκομιδή, συμπίκνωση και αποθήκευση καλλιεργειών.

Ο παραγωγός της κτηνοτροφικής μονάδας έθεσε ως στόχο την αύξηση και τη βελτίωση της παραγωγής γάλακτος με αποτέλεσμα τη δημιουργία κατάλληλων, για την εκτροφή των ζώων, χώρων και την πιστοποίηση πως η εκτροφή που παρέχει στα αιγοπρόβατα είναι βιολογική. Η αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων που δημιούργησε η προσθήκη σύγχρονου μηχανολογικού εξοπλισμού για την εκτροφή των ζώων ήταν αισθητή με αποτέλεσμα την απαίτηση μεγάλων χρηματικών ποσών για την αποπληρωμή του ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως.

Η μελέτη που καλούμαστε να πραγματοποιήσουμε συνίσταται στην εγκατάσταση ενός ΦΒ πάρκου άνωθεν ενός μέρους της καλλιεργούμενης έκτασης μέσω αυτοπαραγωγής από ΑΠΕ (**Net-Metering**) με άμεσο στόχο την κάλυψη μέρους της ιδιοκατανάλωσης της κτηνοτροφικής μονάδας. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της

εφαρμογής έγκειται στο γεγονός πως αποφεύγεται η αγορά συσσωρευτών για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, συσκευές οι οποίες αποτελούν την κύρια εκροή στην εγκατάσταση ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος.

5.2. Νομοθετικό πλαίσιο

Ο συμψηφισμός παραγόμενης καταναλισκόμενης ενέργειας (γνωστός με τον όρο net-metering) αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ΑΠΕ και εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες, κυρίως για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Το net-metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος των ιδιοκαταναλώσεών του, ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας. Ο όρος “net” προκύπτει από το γεγονός ότι η χρέωση/πίστωση του καταναλωτή αφορά στη διαφορά μεταξύ καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μία ορισμένη χρονική περίοδο. Η περίοδος αυτή είναι συνήθως ο εκάστοτε κύκλος καταμέτρησης και τιμολόγησης της καταναλισκόμενης ενέργειας. Αν υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή συνήθως δεν χάνεται για τον καταναλωτή αλλά πιστώνεται λογιστικά για μια ορισμένη χρονική περίοδο (συνήθως ένα χρόνο) οπότε και γίνεται η τελική εκκαθάριση[2].

Με το Ν.4203/2013 (ΦΕΚ 235Α/01-11-2013) θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η **δυνατότητα των καταναλωτών να κάνουν χρήση του net-metering**. Οι ρυθμίσεις αυτές τροποποιήθηκαν με το Ν.4254/2014 (ΦΕΚ 85Α/7-4-2014) και προβλέπουν τα εξής[2]:

Άρθρο 6

Προσθήκη διατάξεων στο ν. 3468/2006

2. Μετά το άρθρο 14 του ν. 3468/2006 προστίθεται άρθρο 14Α ως εξής:

Άρθρο 14Α

Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών και σταθμών μικρών ανεμογεννητριών από αυτοπαραγωγούς

1. **Επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών και σταθμών μικρών ανεμογεννητριών από αυτοπαραγωγούς σε εγκαταστάσεις τους που συνδέονται στο Δίκτυο.** Για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από τη ΡΑΕ ως περιοχές με κορεσμένα δίκτυα, σύμφωνα με τη διαδικασία των δύο τελευταίων εδαφίων της περίπτωσης α΄ της παρ. 5 του άρθρου 3 για την εφαρμογή του προηγούμενου εδαφίου, ο Διαχειριστής του Δικτύου μπορεί να θέτει περιορισμούς στην απορροφώμενη ισχύ για λόγους ασφάλειας της λειτουργίας του Δικτύου ή του Διασυνδεδεμένου Συστήματος. **Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, μετά από εισήγηση του Διαχειριστή και γνώμη της Ρ.Α.Ε, καθορίζονται το τρόπος με τον οποίο θα γίνεται ο συμψηφισμός της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενέργειας και ειδικότερα οι χρεώσεις που θα περιλαμβάνονται στον**

συμψηφισμό, το χρονικό διάστημα εντός του οποίου θα υπολογίζεται ο συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας με την καταναλισκόμενη ενέργεια στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού που τροφοδοτεί ο σταθμός, ο τύπος, το περιεχόμενο και η διαδικασία κατάρτισης των συμβάσεων συμψηφισμού ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και κάθε ειδικότερο θέμα ή άλλη αναγκαία λεπτομέρεια για την εφαρμογή των διατάξεων της παρούσας. Το πλεόνασμα ενέργειας που προκύπτει από το συμψηφισμό του προηγούμενου εδαφίου διοχετεύεται στο Δίκτυο χωρίς υποχρέωση για οποιαδήποτε αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό. Με την ανωτέρω απόφαση μπορεί να διαφοροποιείται ο τρόπος συμψηφισμού βάσει του μεγέθους των σταθμών, του επιπέδου τάσης σύνδεσης και των ειδικότερων χαρακτηριστικών των τιμολογίων κατανάλωσης. Με την ανωτέρω απόφαση καθορίζεται και η μοναδιαία τιμή με την οποία θα υπολογίζεται η αποζημίωση για το πλεόνασμα της ενέργειας η οποία θα καταβάλλεται από τους Προμηθευτές, υπέρ του Ειδικού Λογαριασμού του άρθρου 40 του ν. 2773/1999 (ΦΕΚ Α' 286).

4. **Ειδικά για φωτοβολταϊκούς σταθμούς που εγκαθίστανται από δημόσιους φορείς** στις εγκαταστάσεις τους στο πλαίσιο διευρωπαϊκών προγραμμάτων **είναι δυνατή η σύνδεσή τους τόσο στο Δίκτυο όσο και στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα**. Πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο Σύστημα ή το Δίκτυο, από τους σταθμούς του προηγούμενου εδαφίου, και μέχρι ποσοστό 20% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας, σε ετήσια βάση, αποζημιώνεται βάσει των τιμών του πίνακα της περίπτωσης β' της παραγράφου 1 του άρθρου 13.

Στις 31/12/2014, υπογράφηκε μια νέα υπουργική απόφαση ΥΑ Αριθμ. ΑΠΕΗ/ΛΑ/Φ1/οικ. 24461, "Εγκατάσταση μονάδων ΑΠΕ από αυτοπαραγωγούς με συμψηφισμό ενέργειας κατ' εφαρμογή του άρθρου 14Α του Ν. 3468/2006." στην οποία προβλέπονται ορισμένοι κανονισμοί για την εφαρμογή του Net-Metering, οι βασικότεροι των οποίων είναι οι εξής:

Άρθρο 1

Σκοπός – Πεδίο Εφαρμογής

2. **Η ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται μέχρι 20 kWp ή μέχρι το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης, (Ισχύς Φωτοβολταϊκού (kWp) $\leq 0,5 \cdot$ Συμφωνημένη Ισχύς Κατανάλωσης (kVA)), εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη του ως άνω ορίου των 20 kWp.** Ειδικά για νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημόσιου ενδιαφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, η ανώτατη ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως και το 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης.
3. **Σε κάθε περίπτωση, η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που θα εγκατασταθεί στο πλαίσιο του Προγράμματος στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και Δίκτυο δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο της παρ. 1 του άρθρου 14Α του ν. 3468/2006 (500 kWp), όπως εκάστοτε ισχύει.**
4. Ειδικώς στα **Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά**, η ισχύς των συστημάτων που εγκαθίστανται στο πλαίσιο του Προγράμματος μπορεί να ανέρχεται **μέχρι 10 kWp, και ειδικά για την Κρήτη μέχρι 20 kWp**, ή μέχρι το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης (Ισχύς Φωτοβολταϊκού (kWp) $\leq 0,5 \cdot$ Συμφωνημένη Ισχύς

Κατανάλωσης (kVA)), εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη του ως άνω ορίου των 10 kWp ή των 20 kWp. Ειδικά για νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημόσιου ενδιαφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, η ανώτατη ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως και το 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης.

5. Σε κάθε περίπτωση, η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που θα εγκατασταθεί στο πλαίσιο του Προγράμματος στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά δεν μπορεί να υπερβαίνει **το ανώτατο όριο των 50 kWp για την Κρήτη και των 20 kWp για τα λοιπά Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά**. Η ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων της παρούσας που θα εγκατασταθεί σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, θα προσμετράται στο εκάστοτε ισχύον περιθώριο ισχύος για φωτοβολταϊκούς σταθμούς του συστήματος αυτού, σύμφωνα με τις σχετικές αποφάσεις της ΡΑΕ.
7. Οι διατάξεις της παρούσας αφορούν σε **σταθερά φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία εγκαθίστανται στον ίδιο ή όμορο χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης** τις οποίες τροφοδοτούν και οι οποίες συνδέονται στο Δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να εγκαθίστανται **επί κτιρίων ή επί εδάφους ή άλλων κατασκευών, περιλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα**, σύμφωνα με την κείμενη πολεοδομική νομοθεσία.
8. Δικαίωμα ένταξης στο Πρόγραμμα έχουν φυσικά πρόσωπα (επιτηδευματίες ή μη) ή νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου τα οποία είτε έχουν στην κυριότητά τους τον χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα είτε έχουν τη νόμιμη χρήση αυτού (π.χ. μέσω μίσθωσης, δωρεάν παραχώρησης κλπ) και έχουν διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου.
9. Στην περίπτωση φωτοβολταϊκού συστήματος **σε κοινόχρηστο ή κοινόκτητο χώρο κτιρίου, επιτρέπεται η εγκατάσταση ενός ή περισσότερων συστημάτων**. Δικαίωμα ένταξης στο Πρόγραμμα έχουν οι κύριοι οριζόντιων ιδιοκτησιών ή οι έχοντες τη νόμιμη χρήση αυτών μετά από παραχώρηση της χρήσης του κοινόχρηστου ή κοινόκτητου χώρου ή μέρους αυτού από τους λοιπούς συνιδιοκτήτες. Προϋπόθεση αποτελεί η συμφωνία των συνιδιοκτητών που αποδεικνύεται με πρακτικό απόφασης της γενικής συνέλευσης ή με άλλη έγγραφη συμφωνία των συνιδιοκτητών του κτιρίου, σύμφωνα με τα οικεία καταστατικά ή άλλα δεσμευτικά συμφωνητικά, βάσει των διατάξεων του Αστικού Κώδικα. Σε περίπτωση μη ύπαρξης τέτοιων συμφωνητικών, απαιτείται η συναίνεση του συνόλου των συνιδιοκτητών. Επιτρέπεται η παραχώρηση χρήσης χώρου για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος, μετά από έγγραφη συμφωνία του κυρίου του χώρου αυτού, σε κύριο ή τον έχοντα νόμιμη χρήση οριζόντιας ιδιοκτησίας του κτιρίου όπου βρίσκεται ο χώρος.
10. **Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα αντιστοιχίζεται αποκλειστικά με έναν μετρητή κατανάλωσης.**

Άρθρο 2

Διενέργεια ενεργειακού συμψηφισμού-Χρεώσεις

1. Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται στους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που εκδίδει ο Προμηθευτής με τον οποίο έχει συμβληθεί ο αυτοπαραγωγός για την προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος στην εγκατάσταση κατανάλωσής του, βάσει πραγματικών δεδομένων καταμέτρησης

που παρέχονται από τον Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.). **Στον πρώτο εκκαθαριστικό λογαριασμό κατανάλωσης, μετά την ενεργοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, η εγχυθείσα στο Δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια, εφεξής εξερχόμενη ενέργεια, αφαιρείται από την απορροφηθείσα από το Δίκτυο ενέργεια, εφεξής εισερχόμενη ενέργεια, και η διαφορά, εφόσον είναι θετική, αποδίδει την καθαρή ενέργεια που θα πρέπει να καταλογιστεί από τον Προμηθευτή ως χρεωστέα ενέργεια στο ανταγωνιστικό σκέλος του λογαριασμού. Εάν η διαφορά είναι αρνητική, δεν προκύπτει χρεωστέα ενέργεια και η εν λόγω διαφορά πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό, ως πρόσθετη εξερχόμενη ενέργεια.** Σε κάθε περίπτωση ο αυτοπαραγωγός είναι υπόχρεος για την εξόφληση του συνολικού καταλογιζόμενου ποσού κάθε εκδιδόμενου εκκαθαριστικού λογαριασμού, ανεξαρτήτως ενδεχόμενου αναμενόμενου πλεονάσματος παραγόμενης ενέργειας σε επόμενες χρονικές περιόδους, ισχυουσών των διατάξεων του Κώδικα Προμήθειας περί εξόφλησης του λογαριασμού κατανάλωσης και ληξιπρόθεσμων οφειλών σε Προμηθευτές.

2. **Η μεταφορά τυχόν πλεονάζουσας ενέργειας από παρελθούσες περιόδους καταμέτρησης συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.** Με την έκδοση του 12ου, 6ου ή 3ου εκκαθαριστικού λογαριασμού, μετά την ενεργοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, προκειμένου για καταναλωτές μηνιαίου, διμηνιαίου ή τετραμηνιαίου κύκλου καταμέτρησης αντιστοίχως, και κατ' έτος στη συνέχεια, διενεργείται η τελική εκκαθάριση του έτους (ετήσιο ισοζύγιο εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας, δηλαδή η διαφορά της συνολικής ετήσιας εξερχόμενης ενέργειας από την αντίστοιχη εισερχόμενη ενέργεια), οπότε και τυχόν πλεόνασμα ενέργειας (αρνητικό υπόλοιπο έτους) από τον ετήσιο συμψηφισμό δεν πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό και, με την επιφύλαξη της παραγράφου 4 του άρθρου 14 Α του Ν. 3468/2006, δεν υφίσταται υποχρέωση για οποιαδήποτε αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό για την ενέργεια αυτή. ...
3. Κατά τον ετήσιο ενεργειακό συμψηφισμό ενδέχεται να συμψηφιστεί και μέρος χρεωστέας ενέργειας προηγούμενων εκκαθαριστικών λογαριασμών εντός της θεωρουμένης ετησίας περιόδου συμψηφισμού, για την οποία έχει ήδη καταβληθεί το αναλογούν τίμημα από τον αυτοπαραγωγό. Η τυχόν εκ των υστέρων απαλειφόμενη ποσότητα εισερχόμενης ενέργειας που είχε αρχικώς χρεωθεί αντιλογίζεται στον τελευταίο εκκαθαριστικό λογαριασμό της ετησίας περιόδου συμψηφισμού, με τιμή αναφοράς εκείνη με την οποία λογίστηκε η αντίστοιχη χρεωστέα ενέργεια.
4. Σε περίπτωση που στο τιμολόγιο κατανάλωσης του αντισυμβαλλόμενου αυτοπαραγωγού προβλέπεται κλιμακούμενη χρέωση, στο ανταγωνιστικό σκέλος του, ο συμψηφισμός πραγματοποιείται με τρόπο που να προκύπτουν οι χαμηλότερες χρεώσεις για τον αυτοπαραγωγό.
5. **Οι χρεώσεις για τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας υπολογίζονται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό κατανάλωσης επί της συνολικής πραγματικής κατανάλωσης της εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού για την αντίστοιχη περίοδο καταμέτρησης, ήτοι επί του αθροίσματος της απορροφηθείσας από το Δίκτυο και της συνολικής παραχθείσας από το φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργειας από το οποίο αφαιρείται η εγχυθείσα στο Δίκτυο ενέργεια, σύμφωνα με τις σχετικές προβλέψεις των διατάξεων των άρθρων 55 και 143 του Ν. 4001/2011 και τις διατάξεις του άρθρου 36 του Ν. 4067/2012. Οι υπόλοιπες**

ρυθμιζόμενες μονοπωλιακές χρεώσεις (Χρέωση Χρήσης Συστήματος, Χρέωση Χρήσης Δικτύου, και λοιπές ρυθμιζόμενες χρεώσεις) υπολογίζονται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό κατανάλωσης βάσει της πραγματικά απορροφηθείσας από το Δίκτυο ενέργειας, βάσει των μετρητικών δεδομένων κατά την αντίστοιχη περίοδο καταμέτρησης. **Οι χρεώσεις για το Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων, τον Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης, το Ειδικό Τέλος 5% του Ν. 2093/1992 και τον ΦΠΑ υπολογίζονται όπως κάθε φορά ορίζεται από τις κείμενες διατάξεις.**

Άρθρο 3

Σύμβαση Συμψηφισμού

1. Η **Σύμβαση Ενεργειακού Συμψηφισμού** συνάπτεται μεταξύ του αυτοπαραγωγού και του Προμηθευτή με τον οποίο έχει συμβληθεί ο αυτοπαραγωγός για την προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος στην εγκατάσταση κατανάλωσής του, για **είκοσι πέντε (25) έτη**, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Για την σύναψη Σύμβασης Συμψηφισμού πρέπει να έχει προηγηθεί Σύμβαση Σύνδεσης για το φωτοβολταϊκό σύστημα με τον Διαχειριστή του Δικτύου καθώς και πλήρης εξόφληση των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου Προμηθευτή ή ένταξη σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών προς τον οικείο Προμηθευτή. Προϋπόθεση για την ενεργοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η ύπαρξη ενεργού παροχής κατανάλωσης στον χώρο όπου το σύστημα εγκαθίσταται, επ' ονόματι του αυτοπαραγωγού.
2. Στην **περίπτωση που ο αυτοπαραγωγός αλλάξει Προμηθευτή** για την ηλεκτροδότηση των καταναλώσεών του, λήγει αυτοδικαίως η Σύμβαση Συμψηφισμού και συνάπτεται νέα Σύμβαση Συμψηφισμού για το υπολειπόμενο εκ των είκοσι πέντε (25) ετών διάστημα μεταξύ του αυτοπαραγωγού και του νέου Προμηθευτή. Σε **περίπτωση μεταβίβασης της σχετικής ιδιοκτησίας του χώρου όπου βρίσκεται εγκατεστημένο το φωτοβολταϊκό σύστημα**, ο νέος κύριος του χώρου υπεισέρχεται αυτοδίκαια στα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις του μεταβιβάζοντος που απορρέουν από τη Σύμβαση Συμψηφισμού.

Άρθρο 5

Καθορισμός τύπου και περιεχομένου συμβάσεων συμψηφισμού

Άρθρο 6

Μετρήσεις

2. Ο υφιστάμενος μετρητής κατανάλωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης αντικαθίσταται από δύο μετρητές διπλής κατεύθυνσης - καταγραφής, οι οποίοι βρίσκονται στην δικαιοδοσία του Διαχειριστή του Δικτύου. Ο ένας μετρητής (Μετρητής 1) μετράει την παραγόμενη και την καταναλισκόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρική ενέργεια και ο δεύτερος (Μετρητής 2) την εισερχόμενη και εξερχόμενη από το Δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια και οι χρεωστές ποσότητες προκύπτουν ως εξής:
 1. Η διαφορά μεταξύ των δύο μετρούμενων ποσοτήτων του δεύτερου μετρητή (εισερχόμενη μείον εξερχόμενη ενέργεια) αντιστοιχεί στην συμψηφιζόμενη

- ενέργεια επί της οποίας επιβάλλονται, εφόσον αυτή είναι θετική, οι ανταγωνιστικές χρεώσεις.
2. Οι ρυθμιζόμενες μονοπωλιακές χρεώσεις πλην ΥΚΩ και ΕΤΜΕΑΡ (Σύστημα, Δίκτυο) επιβάλλονται επί της μετρούμενης από τον δεύτερο μετρητή εισερχόμενης ενέργειας.
 3. Η καταναλισκόμενη ενέργεια, επί της οποίας επιβάλλονται οι χρεώσεις ΥΚΩ, προκύπτει με προσθαφαίρεση των μετρούμενων ποσοτήτων των δύο μετρητών ως εξής: Καταναλισκόμενη ενέργεια = Εισερχόμενη – Εξερχόμενη + Παραγόμενη ενέργεια
 4. Οι λοιπές χρεώσεις (ΕΤΜΕΑΡ, Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης, Ειδικό Τέλος 5‰, ΦΠΑ) υπολογίζονται επί ενέργειας όπως αυτή κάθε φορά ορίζεται από τις κείμενες διατάξεις.

Σε ότι αφορά στις ρυθμιζόμενες χρεώσεις των αυτοπαραγωγών με ενεργειακό συμψηφισμό, η **νομοθεσία** (με τροπολογία που ψηφίστηκε τον Δεκέμβριο του 2014) **προβλέπει ότι οι αυτοπαραγωγοί θα επιβαρύνονται μόνο με χρέωση ΥΚΩ για το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνουν** (είτε αυτή προέρχεται από το Δίκτυο είτε την παράγουν οι ίδιοι) **και απαλλάσσονται από τη χρέωση ΕΤΜΕΑΡ για το τμήμα της ενέργειας που παράγουν οι ίδιοι**. Με βάση τα παραπάνω και τα τρέχοντα τιμολόγια της ΔΕΗ για διάφορες κατηγορίες καταναλωτών, ο συμψηφισμός θα γίνεται, για μεν τον **οικιακό καταναλωτή** περίπου στα **0,185 €/kWh** (περιλαμβανομένου του ΦΠΑ), για δε τον **εμπορικό καταναλωτή** στα **0,120-0,165 €/kWh**[2]. Αφαιρώντας τα ΥΚΩ, ο συμψηφισμός θα γίνεται, για μεν τον οικιακό καταναλωτή περίπου στα 0,185 €/kWh (περιλαμβανομένου του ΦΠΑ), για δε τον εμπορικό καταναλωτή (που υπάγεται στο εν λόγω τιμολόγιο) στα 0,165 €/kWh[2].

Στους παρακάτω πίνακες, φαίνονται οι διάφορες χρεώσεις για οικιακό καταναλωτή και μικρό εμπορικό καταναλωτή όπως ισχύουν τον Ιούλιο του 2014[2].

Οικιακό τιμολόγιο		Εμπορικό τιμολόγιο Γ21	
Ετήσια κατανάλωση (kWh)	4.500	Ετήσια κατανάλωση (kWh)	10.000
Χρέωση ενέργειας (Ανταγωνιστικές χρεώσεις, €/kWh)	0,1059	Χρέωση ενέργειας (Ανταγωνιστικές χρεώσεις, €/kWh)	0,1021
Χρέωση ενέργειας (Δίκτυο Μεταφοράς, €/kWh)	0,0059	Χρέωση ενέργειας (Δίκτυο Μεταφοράς, €/kWh)	0,0058
Χρέωση ενέργειας (Δίκτυο Διανομής, €/kWh)	0,0224	Χρέωση ενέργειας (Δίκτυο Διανομής, €/kWh)	0,0228
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€/kWh)	0,0070	Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€/kWh)	0,0182
ΕΦΚ (€/kWh)	0,0022	ΕΦΚ (€/kWh)	0,0050
Ειδικό Τέλος 5‰	0,0004	Ειδικό Τέλος 5‰	0,0004
ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,0263	ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,0309
Λοιπές επιβαρύνσεις (€/kWh)	0,0005	Λοιπές επιβαρύνσεις (€/kWh)	0,0005
ΣΥΝΟΛΟ (€/kWh)	0,1706	ΣΥΝΟΛΟ (€/kWh)	0,1857
ΦΠΑ	0,0221		
ΣΥΝΟΛΟ (€/kWh)	0,1927		

Εικόνα 5.1: Χρεώσεις για οικιακό και μικρό εμπορικό καταναλωτή
Πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ [2].

Με το Ν.3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010) θεσμοθετήθηκε η «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής»[5].

Άρθρο 9

Θέματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων Α.Π.Ε.

7. Η περίπτωση α' της παρ. 6 του άρθρου 56 του ν. 2637/1998 (ΦΕΚ 200 Α'), όπως αντικαταστάθηκε με την παρ. 37 του άρθρου 24 του ν. 2945/2001 (ΦΕΚ 223 Α'), αντικαθίσταται ως εξής:

«6. α) Σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται από τη Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης του οικείου νομού ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, απαγορεύεται η άσκηση οποιασδήποτε άλλης δραστηριότητας, εκτός από τη γεωργική εκμετάλλευση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε.. Κάθε επέμβαση στις εκτάσεις αυτές, είτε για τη μεταβολή του προορισμού τους και τη διάθεσή τους για άλλες χρήσεις είτε για την εκτέλεση έργων ή τη δημιουργία εγκαταστάσεων ή παροχή άλλων εξυπηρετήσεων μέσα σε αυτές, έστω και χωρίς μεταβολή της κατά προορισμό χρήσης τους, αποτελεί εξαιρετικό μέτρο και ενεργείται πάντοτε με βάση τους όρους και τις προϋποθέσεις που ορίζονται με κοινή απόφαση των Υπουργών Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, που εκδίδεται μέσα σε δύο (2) μήνες από την έναρξη ισχύος του παρόντος και μόνο για λόγους που εξυπηρετούν το γεωργικό χαρακτήρα της αγροτικής εκμετάλλευσης ή την εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε.. Η απαγόρευση αυτή δεν ισχύει εφόσον πρόκειται για την εκτέλεση στρατιωτικών έργων, που αφορούν την εθνική άμυνα της χώρας, καθώς και για την εκτέλεση μεγάλων αναπτυξιακών έργων του Δημοσίου και των Ο.Τ.Α. πρώτου και δεύτερου βαθμού.

Ειδικά, απαγορεύεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. σε αγροτεμάχια της Αττικής που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, καθώς και σε περιοχές της Επικράτειας που έχουν ήδη καθοριστεί ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας από εγκεκριμένα Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια (Γ.Π.Σ.) ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοικτής Πόλης (Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π.) του ν. 2508/1997 (ΦΕΚ 124 Α'), καθώς και Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου (Ζ.Ο.Ε.) του άρθρου 29 του ν. 1337/1983 (ΦΕΚ 33 Α'), εκτός αν διαφορετικά προβλέπεται στα εγκεκριμένα αυτά σχέδια.

Με την επιφύλαξη του προηγούμενου εδαφίου, επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας. Στην περίπτωση αυτή η άδεια χορηγείται μόνον αν οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί για τους οποίους έχουν ήδη εκδοθεί άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή, σε περίπτωση απαλλαγής, δεσμευτικές προσφορές σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή, καλύπτουν εδαφικές εκτάσεις που δεν υπερβαίνουν το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του συγκεκριμένου νομού.

Για την εφαρμογή της διάταξης του προηγούμενου εδαφίου χρησιμοποιούνται τα στοιχεία της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2008 της Γενικής Γραμματείας της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας. Για τον υπολογισμό της κάλυψης λαμβάνεται υπόψη η οριζόντια προβολή επί του εδάφους των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής είναι δυνατόν να

ορίζονται όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, περιλαμβανομένων της μέγιστης κάλυψης εδάφους ανά σταθμό, των ελάχιστων αποστάσεων από τα όρια του γηπέδου του σταθμού, περιορισμών στον τρόπο θεμελίωσης και υποχρεώσεων για την αποκατάσταση του γηπέδου μετά την αποξήλωση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε..»

5.3. Καθορισμός δεδομένων και κύριων χαρακτηριστικών του ΦΒ συστήματος

Τα κύρια δεδομένα για την έναρξη μίας μελέτης εγκατάστασης ΦΒ συστήματος συνίστανται στην ακριβή τοποθεσία, στο έδαφος όπου θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση και στον τύπο των ηλεκτρικών καταναλώσεων.

Πίνακας 5.1: Αρχικά δεδομένα της μελέτης

Περιοχή μελέτης	Δήμος Ακτίου-Βόνιτσας Γεωγραφικό πλάτος=38°48'46'' Γεωγραφικό μήκος=20°45'16''
Έδαφος εγκατάστασης	Αγροτικό έδαφος με θετική κλίση 12°59' ως προς το Νότο
Τύπος ηλεκτρικών καταναλώσεων	Καταναλώσεις AC 240V



Εικόνα 5.2: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης της τοποθεσίας του οικοπέδου (5χλμ).
Πηγή: Λογισμικό «Google Earth Pro».



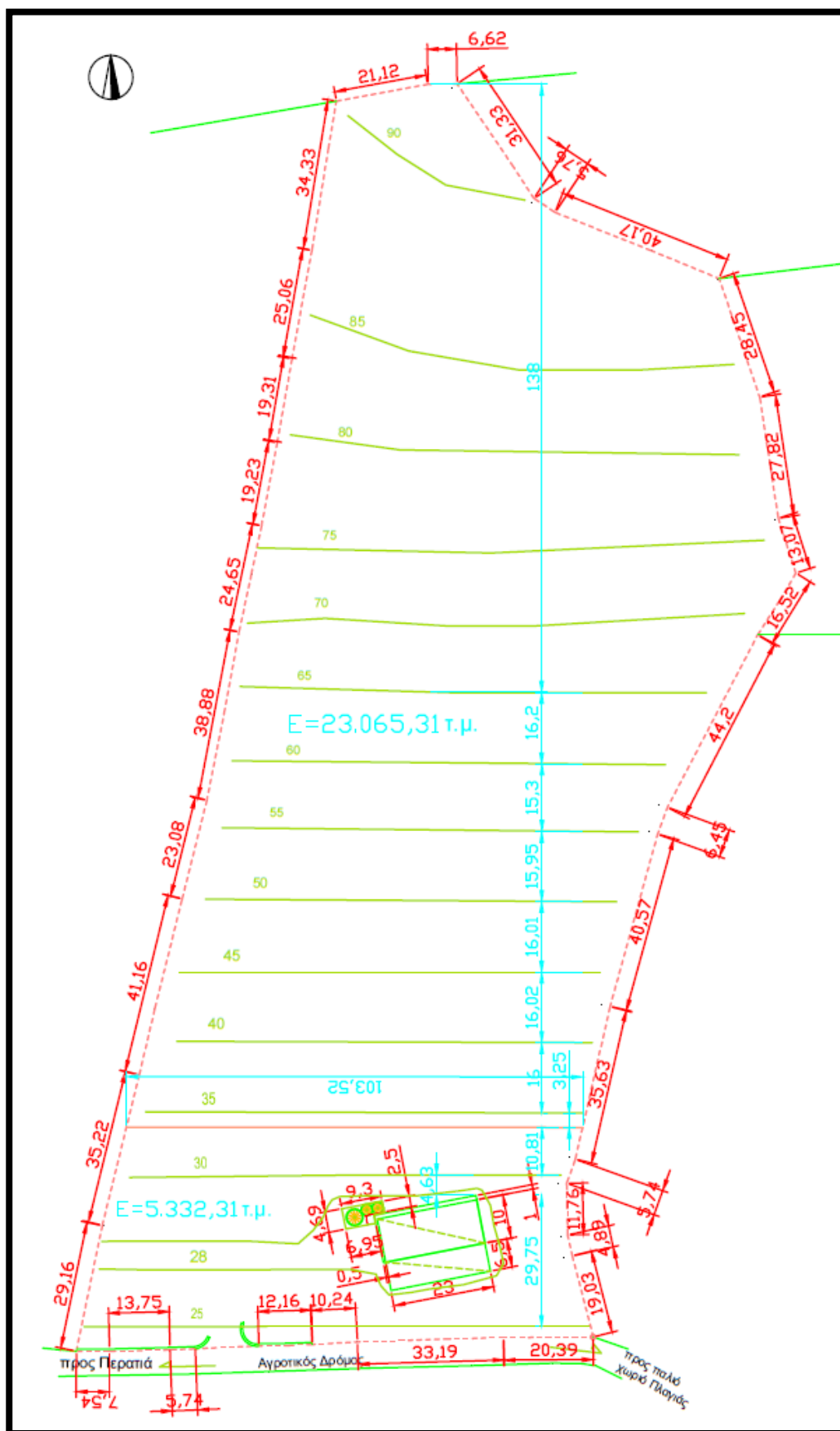
Εικόνα 5.3: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης του οικοπέδου (700μ).
Πηγή: Λογισμικό «Google Earth Pro».

Το γήπεδο, συνολικής έκτασης 28.397,62τ.μ., βρίσκεται στην Πλαγιά του Δήμου Ακτίου-Βόνιτσας του Νομού Αιτωλοακαρνανίας και επισημαίνεται με το κίτρινο περίγραμμα στις εικόνες 5.2 και 5.3.. Ο οικισμός της Πλαγιάς έχει περίπου 2000 μόνιμους κατοίκους και απέχει 1.700μ από την μονάδα, ενώ ο επόμενος κοντινότερος οικισμός είναι η Περατιά σε απόσταση 1.100μ. Στην περιοχή δεν υπάρχει εθνική οδός ή σιδηροδρομικές γραμμές σε ακτίνα ενός χιλιομέτρου, ενώ η επαρχιακή οδός απέχει 1.020μ. Επίσης δεν υπάρχουν νοσοκομεία, μοναστήρια, ακτές ή τουριστικοί χώροι σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιομέτρου και δεν διέρχονται ρέματα ή φυσικές πηγές. Τέλος, δεν υπάρχουν ξενοδοχεία, βιομηχανίες-βιοτεχνίες υγειονομικού ενδιαφέροντος και ποτάμια συνεχούς ροής[1].

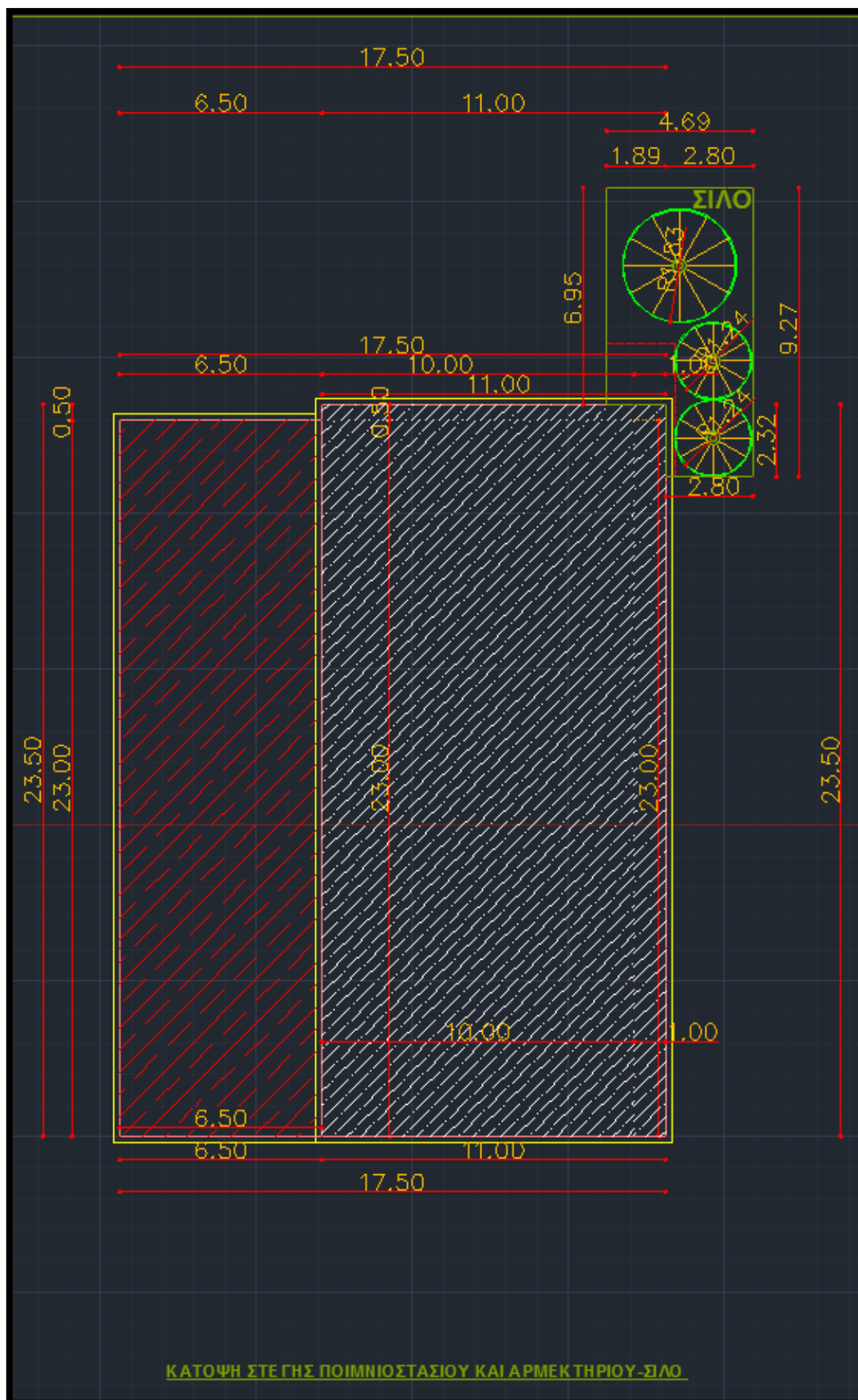
Το υψόμετρο του οικοπέδου κυμαίνεται μεταξύ 25 μέτρων (Νότια πλευρά) και 90 μέτρων (Βόρεια πλευρά) σύμφωνα με το λογισμικό Google Earth, παρουσιάζοντας θετική ως προς το Νότο μέση κλίση 12°59', η οποία θεωρείται ευμενής για την εγκατάσταση ΦΒ πάρκου, λόγω της συνεχούς υπερύψωσης της βορινής πλευράς και χωρίζεται σε δύο τεμάχια το Νότιο (5.332,31τ.μ.) για την κάλυψη των κτηνοτροφικών αναγκών και το Βόρειο (23.065,31τ.μ.) για την καλλιέργεια ζωοτροφών.

Οι κτιριακές εγκαταστάσεις της κτηνοτροφικής μονάδας συνολικής κάλυψης 447,09τ.μ. βρίσκονται στη Νότια πλευρά του γηπέδου και συνίστανται στις εξής:

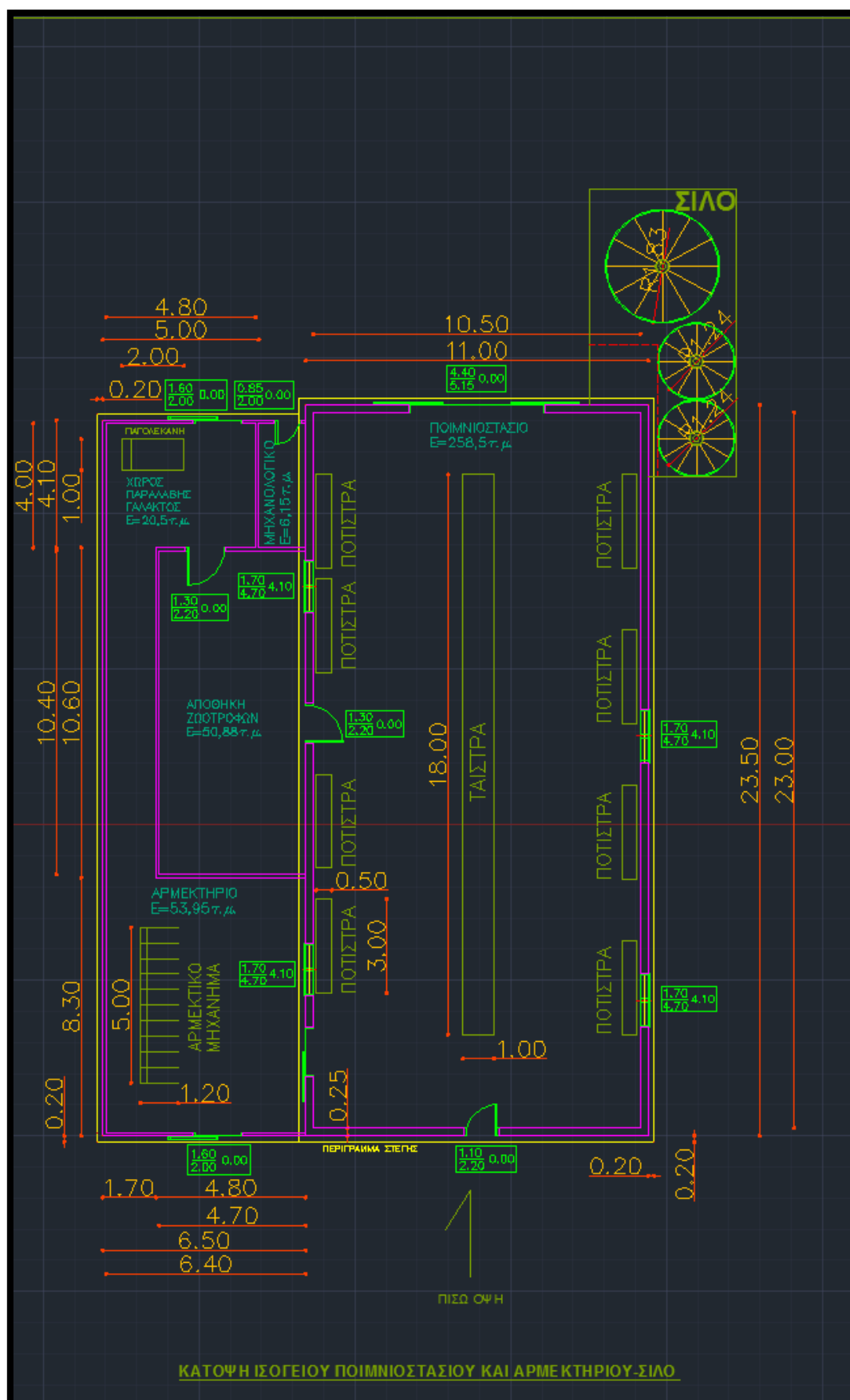
- Ποιμνιοστάσιο: 258,5τ.μ.
- Αρμεκτήριο: 53,95τ.μ.
- Χώρος παραλαβής γάλακτος: 20,5τ.μ.
- Χώρος για το μηχανολογικό εξοπλισμό του αρμεκτηρίου: 6,15τ.μ.
- Τρία σιλό για την αποθήκευση ζωοτροφών: 39,09τ.μ.
- Αποθήκη ιδιοπαράγωγων ζωοτροφών: 50,88τ.μ.
- Διάδρομος: 18,02τ.μ.



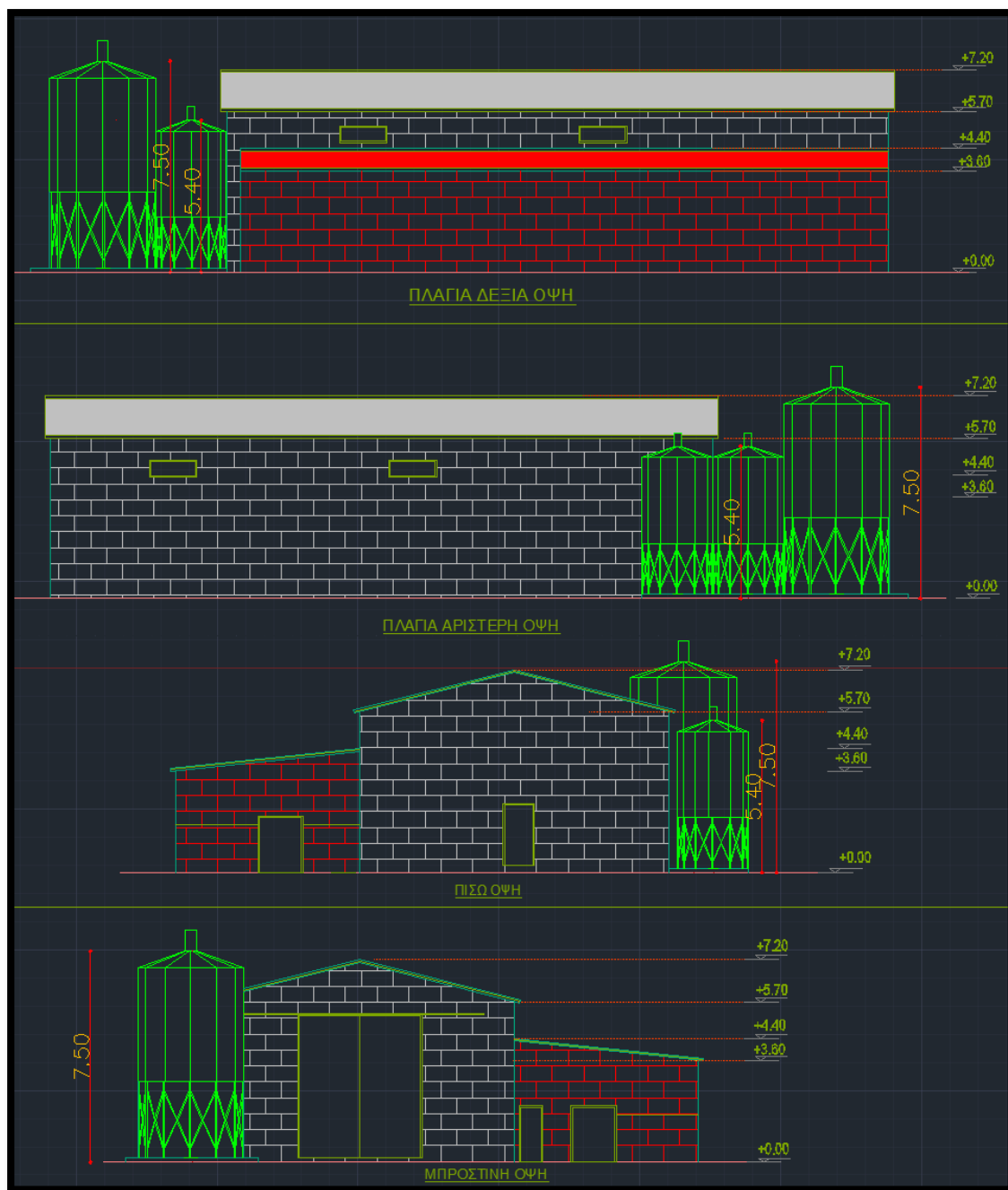
Εικόνα 5.4: Τοπογραφικό διάγραμμα οικοπέδου.
Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».



Εικόνα 5.5: Κάτοψη της στέγης του ποιμνιοστασίου, του αρμεκτηρίου και των σιλό.
Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».



Εικόνα 5.6: Κάτοψη του ισογείου του ποιμνιοστασίου, του αρμεκτηρίου και των σιλό.
Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».



Εικόνα 5.7: Πλάγια δεξιά, πλάγια αριστερή, πίσω και μπροστινή όψη του ποιμνιοστασίου, του αρμεκτηρίου και των σιλό.

Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».

Οι εγκαταστάσεις αυτές συνιστούν μία σύγχρονη κτηνοτροφική μονάδα συμπεριλαμβάνοντας επαρκή χώρο σταβλισμού για τα πρόβατα, αρμεκτήριο που υποστηρίζεται με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την αυτόματη άμεση των ζώων, χώρο παραλαβής και προσωρινής αποθήκευση του γάλακτος και απομονωμένο χώρο για το μηχανολογικό εξοπλισμό του αρμεκτηρίου. Στο χώρο του αρμεκτηρίου είναι τοποθετημένο το αμελκτικό συγκρότημα της εκμετάλλευσης μίας σειράς 12 θέσεων, με παγίδα γρήγορης εξόδου και δυνατότητα αυτόματης διατροφής. Ο χώρος αποθήκευσης του γάλακτος αποτελεί ειδικά διαμορφωμένο χώρο του αρμεκτηρίου, στον οποίο τοποθετούνται η παγολεκάνη, η αντλία κενού και ο θερμοσίφωνα. Ο χώρος σταβλισμού των προβάτων διαθέτει ταΐστρες που δέχονται συμπυκνωμένες

και χονδροειδείς ζωτροφές και ποτίστρες αυτόματης συμπλήρωσης νερού. Ο προαύλιος χώρος που διαθέτουν τα ζώα και χρησιμοποιείται για άσκηση είναι τουλάχιστον διπλάσιος από την έκταση της μονάδας. Οι ανάγκες της μονάδας σε νερό, τόσο για το πότισμα των ζώων όσο και για την διατήρηση της καθαριότητας της μονάδας γίνεται μέσω γεώτρησης.

Το δεύτερο σύνολο δραστηριοτήτων της μονάδας στοχεύει στην αξιοποίηση της διαθέσιμης γης μέσω της ιδιοπαραγωγής ζωοτροφών με το σύστημα της αμειψισποράς φάρμας. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό καλλιεργούνται φυτά κτηνοτροφίας που δεν είναι εύκολη η μεταφορά τους. Χρησιμοποιείται σε χωράφια που βρίσκονται όσο πιο κοντά γίνεται στις κτηνοτροφικές μονάδες. Με την εφαρμογή ενός καλού συστήματος αμειψισποράς αποφεύγονται τα μειονεκτήματα της μονοκαλλιέργειας, μετριάζονται οι κίνδυνοι από την αποτυχία μιας μόνο καλλιέργειας, παράγεται ποικιλία προϊόντων και με την επέκταση της καλλιέργειας των κτηνοτροφικών φυτών εξασφαλίζεται η επιτυχία μιας βελτιωμένης κτηνοτροφίας[3].

5.4. Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών της μονάδας

Η εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών της κτηνοτροφικής μονάδας είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί καθώς θα πρέπει να βρεθεί το κρίσιμο σημείο στο οποίο η παραγωγή και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν όμοιες τιμές. Παρά το γεγονός, πως πρόκειται για την εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος, σύμφωνα με το πρόγραμμα «Net-metering» οποιαδήποτε περίσσια ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από το ΦΒ σύστημα θα αξιοποιείται από το δίκτυο της ΔΕΗ χωρίς αμοιβή για τον αυτοπαραγωγό. Καθίσταται λοιπόν αναγκαίος ο καθορισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων έτσι ώστε να προκύψει το πιο συμφέρον αποτέλεσμα για τον αυτοπαραγωγό. Η διαδικασία υπολογισμού των ενεργειακών καταναλώσεων πραγματοποιείται στις μελέτες υπολογισμού αυτόνομου ΦΒ συστήματος ενώ για τον υπολογισμό διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος πρωτεύον κριτήριο εγκατάστασης μπορεί εκτός από την ισχύ αιχμής του συστήματος να αποτελεί η διαθέσιμη έκταση εγκατάστασης, το αρχικό κεφάλαιο ή ακόμα και η συνολική ετήσια εισροή από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις ανά εποχή (Χειμώνας-Άνοιξη-Καλοκαίρι-Φθινόπωρο).

Πίνακας 5.2: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο του Χειμώνα για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.

Χειμώνας			
ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	Χρόνος χρήσης (ώρες/ημέρα)	Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh/ημέρα)
Εξωτερικός φωτισμός	2,5	5	12,5
Εσωτερικός φωτισμός	0,8	5	4
Παγολεκάνη	2,22	9	19,98
Κουρευτική μηχανή	0,35	0	0
Μηχανή απογαλακτισμού	2,7	0	0
Σύστημα πλυσίματος	6,5	1	6,5

Πιεστικά συστήματα	3,6	1	3,6
Αντλία κενού	4,1	4	16,4
Αντλία γάλακτος	0,75	4	3
Παλμοδότες	0,08	4	0,32
Ψυγείο	0,09	9	0,81
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	0,09	4	0,36
Θερμοσίφωνα	4	0,3	1,2
Σύνολο			68,67

Πίνακας 5.3: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο της Άνοιξης για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.

Άνοιξη			
ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	Χρόνος χρήσης (ώρες/ημέρα)	Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh/ημέρα)
Εξωτερικός φωτισμός	2,5	4	10
Εσωτερικός φωτισμός	0,8	4	3,2
Παγολεκάνη	2,22	10	22,2
Κουρευτική μηχανή	0,35	0	0
Μηχανή απογαλακτισμού	2,7	0	0
Σύστημα πλυσίματος	6,5	1	6,5
Πιεστικά συστήματα	3,6	1	3,6
Αντλία κενού	4,1	4	16,4
Αντλία γάλακτος	0,75	4	3
Παλμοδότες	0,08	4	0,32
Ψυγείο	0,09	10	0,9
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	0,09	4	0,36
Θερμοσίφωνα	4	0,2	0,8
Σύνολο			67,28

Πίνακας 5.4: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο του Καλοκαιριού για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.

Καλοκαίρι			
ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	Χρόνος χρήσης (ώρες/ημέρα)	Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh/ημέρα)
Εξωτερικός φωτισμός	2,5	3	7,5
Εσωτερικός φωτισμός	0,8	3	2,4
Παγολεκάνη	2,22	5,5	12,21
Κουρευτική μηχανή	0,35	0,4	0,14
Μηχανή απογαλακτισμού	2,7	0	0
Σύστημα πλυσίματος	6,5	0,56	3,64
Πιεστικά συστήματα	3,6	1	3,6
Αντλία κενού	4,1	2	8,2
Αντλία γάλακτος	0,75	2	1,5
Παλμοδότες	0,08	2	0,16

Ψυγείο	0,09	11	0,99
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	0,09	4	0,36
Θερμοσίφωνα	4	0,1	0,4
Σύνολο			41,1

Πίνακας 5.5: Φύλλο δεδομένων κατανάλωσης την περίοδο του Φθινοπώρου για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει το ΦΒ σύστημα.

Φθινόπωρο			
ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	Χρόνος χρήσης (ώρες/ημέρα)	Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh/ημέρα)
Εξωτερικός φωτισμός	2,5	4	10
Εσωτερικός φωτισμός	0,8	4	3,2
Παγολεκάνη	2,22	2,5	5,55
Κουρευτική μηχανή	0,35	0	0
Μηχανή απογαλακτισμού	2,7	3	8,1
Σύστημα πλυσίματος	6,5	0,3	1,95
Πιεστικά συστήματα	3,6	1	3,6
Αντλία κενού	4,1	1	4,1
Αντλία γάλακτος	0,75	1	0,75
Παλμοδότες	0,08	1	0,08
Ψυγείο	0,09	10	0,9
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	0,09	4	0,36
Θερμοσίφωνα	4	0,15	0,6
Σύνολο			39,19

Πίνακας 5.6: Φύλλο δεδομένων ωραρίου λειτουργίας των συσκευών ανά εποχή.

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Εξωτερικός φωτισμός	17:00-22:00	18:00-22:00	19:00-22:00	18:00-22:00
Εσωτερικός φωτισμός	17:00-22:00	18:00-22:00	19:00-22:00	18:00-22:00
Παγολεκάνη	07:00-11:00 20:00-01:00	07:00-12:00 20:00-01:00	06:30-10:00 20:00-22:00	07:00-08:30 20:00-21:00
Κουρευτική μηχανή	-	-	11:00-11:24	-
Μηχανή απογαλακτισμού	-	-	-	08:00-09:00 13:00-14:00 18:00-19:00

Σύστημα πλυσίματος	20:00-21:00	20:00-21:00	20:00-20:34	20:00-20:18
Πιεστικά συστήματα	10:00-11:00	10:00-11:00	10:00-11:00	10:00-11:00
Αντλία κενού	06:00-08:00 18:00-20:00	06:00-08:00 18:00-20:00	06:00-07:00 18:00-19:00	06:00-06:30 18:00-18:30
Αντλία γάλακτος	06:00-08:00 18:00-20:00	06:00-08:00 18:00-20:00	06:00-07:00 18:00-19:00	06:00-06:30 18:00-18:30
Παλμοδότες	06:00-08:00 18:00-20:00	06:00-08:00 18:00-20:00	06:00-07:00 18:00-19:00	06:00-06:30 18:00-18:30
Ψυγείο	07:00-11:00 20:00-01:00	07:00-12:00 20:00-01:00	07:00-13:00 20:00-01:00	07:00-12:00 20:00-01:00
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	10:00-14:00	10:00-14:00	10:00-14:00	10:00-14:00
Θερμοσίφωνας	9:00-9:18	9:00-9:12	9:00-9:06	9:00-9:09

5.5. Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής

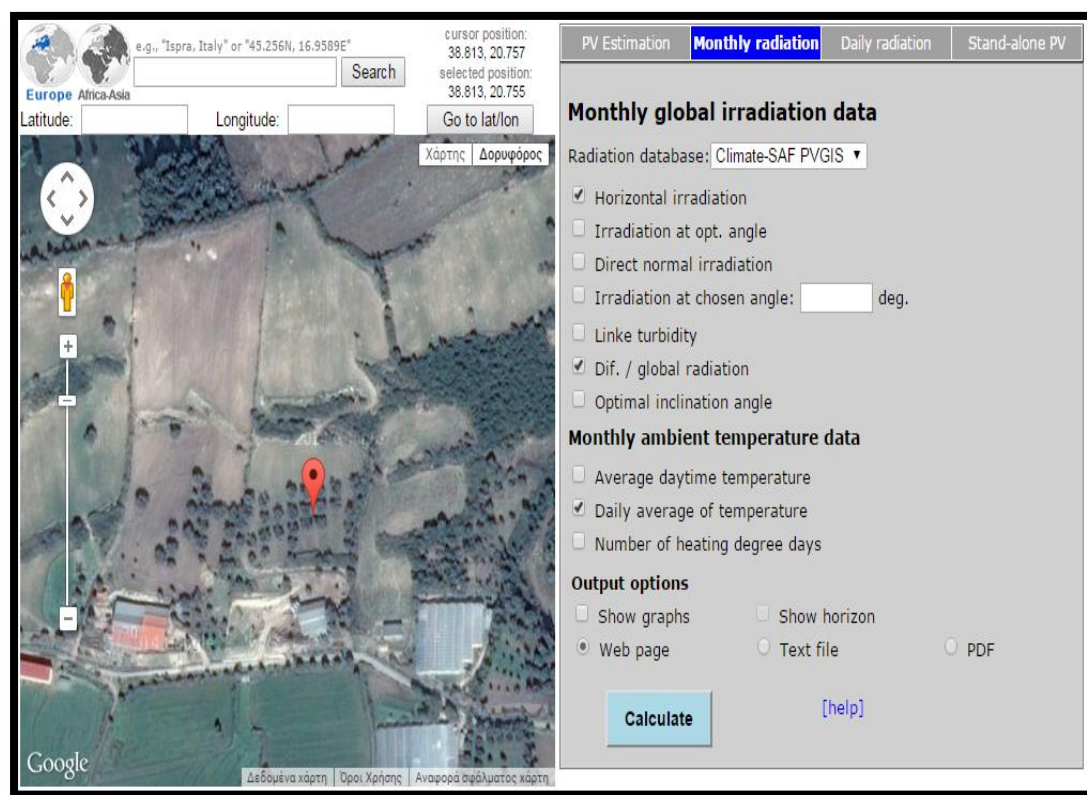
Τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής που θα πραγματοποιηθεί η μελέτη εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος, όπως είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και η μέση ημερήσια θερμοκρασία, είναι απολύτως απαραίτητα διότι καθορίζουν τη συνολική απόδοση του συστήματος καθώς και βασικές παραμέτρους χωροθέτησης των συνιστωσών του.

5.5.1. Εξαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων από τη βάση δεδομένων PVGIS

Η ιστοσελίδα με σύνδεσμο <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> παρέχει ελεύθερα μία βάση δεδομένων του συστήματος πληροφοριών PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Το PVGIS παρέχει διαδραστικούς χάρτες, στους οποίους έχει πραγματοποιηθεί καταγραφή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ευρώπη, στην Αφρική και στη νοτιοδυτική Ασία και αποτελεί ένα ερευνητικό μέσο υποστήριξης για τη γεωγραφική αξιολόγηση της ηλιακής ενέργειας στο πλαίσιο μίας ολοκληρωμένης διαχείρισης της παραγωγής ενέργειας. Το PVGIS συνδυάζει την εμπειρία από την εργαστηριακή έρευνα και παρακολούθηση με τη γεωγραφική γνώση με στόχο την ανάλυση τεχνικών,

περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον Ήλιο. Η επιλογή έναντι άλλων αντίστοιχων βάσεων δεδομένων έγινε αφενός διότι είναι δημιουργημένη και συντηρείται από το ερευνητικό κέντρο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, αφετέρου διότι είναι συμβατό με το λογισμικό PVSYST, η χρηστικότητα του οποίου θα αναφερθεί στη συνέχεια.

Στην προαναφερθείσα ιστοσελίδα έγινε η επιλογή εμφάνισης του χάρτη της Ευρώπης και ορίστηκε χειροκίνητα το σημείο εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος μέσω του χάρτη. Στη συνέχεια επιλέχθηκε η ένδειξη “Monthly radiation” η οποία αφορά τις μέσες τιμές μεγεθών ανά μήνα στη διάρκεια ενός έτους. Τα τετράγωνα πλαίσια που έχουν συμπληρωθεί με το σύμβολο $\checkmark$ είναι τα απαραίτητα για την συνέχιση της προσομοίωσης μέσω του λογισμικού PVSYST. Να αναφερθεί ότι ως βάση δεδομένων για την εξαγωγή των ζητούμενων στοιχείων επιλέχθηκε η πιο σύγχρονη από τις διαθέσιμες (Climate-SAF PVGIS).



Εικόνα 5.8: Απεικόνιση της καρτέλας επιλογής των απαραίτητων μετεωρολογικών στοιχείων από το PVGIS.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα απαιτούμενα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος που θα εισαχθούν στο λογισμικό PVSYST όπως εξάγονται από το PVGIS με την επιλογή του πλαισίου “Calculate” και την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας η οποία παρουσιάζεται στη επόμενη εικόνα.

Τα μεγέθη που επιλέχθηκαν είναι τα εξής:

- H_h : Ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ανά ημέρα ($Wh/m^2/day$).
- D/G : Λόγος της διάχυτης προς την ολική ακτινοβολία (καθαρός αριθμός).
- T_{24h} : Ημερήσια μέση θερμοκρασία ($^{\circ}C$).

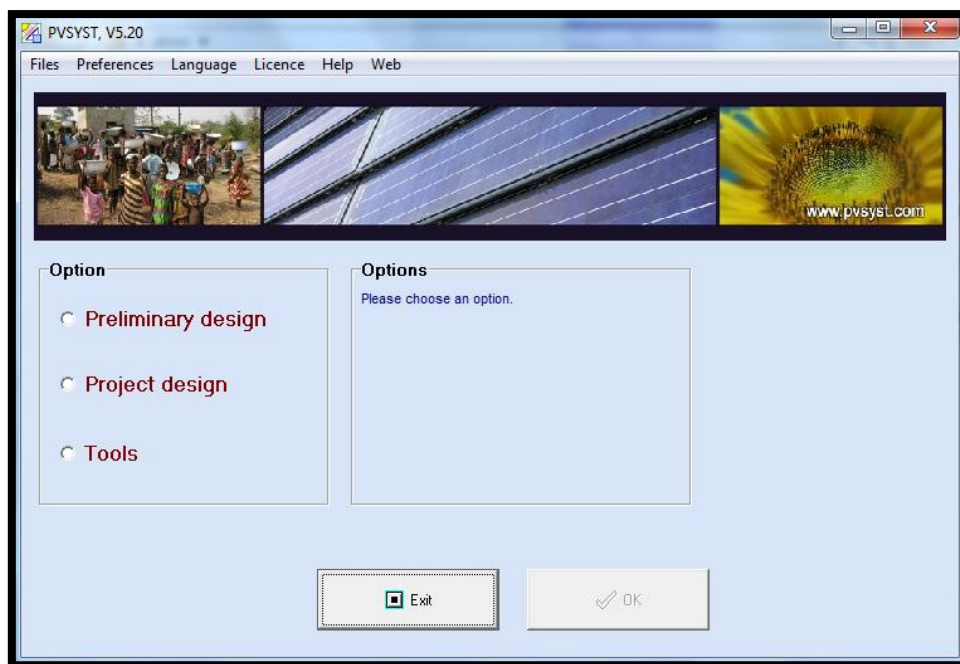
Monthly Solar Irradiation			
PVGIS Estimates of long-term monthly averages			
Location: 38°48'47" North, 20°45'17" East, Elevation: 26 m a.s.l.,			
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF			
Optimal inclination angle is: 32 degrees			
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %			
Month	H_h	D/G	I_{24h}
Jan	2150	0.45	9.5
Feb	2860	0.44	9.8
Mar	4700	0.41	12.4
Apr	5800	0.34	15.6
May	7160	0.29	20.0
Jun	8080	0.23	24.2
Jul	7600	0.20	27.1
Aug	6920	0.21	27.5
Sep	5420	0.28	23.0
Oct	3870	0.36	19.3
Nov	2480	0.40	15.2
Dec	1800	0.47	11.1
Year	4920	0.30	17.9

Εικόνα 5.9: Πίνακας παρουσίασης των μέσων ημερήσιων ανά μήνα τιμών των επιλεγμένων μεγεθών όπως εξάγονται από το PVGIS.

5.5.2. Εισαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων στο λογισμικό PVSYST

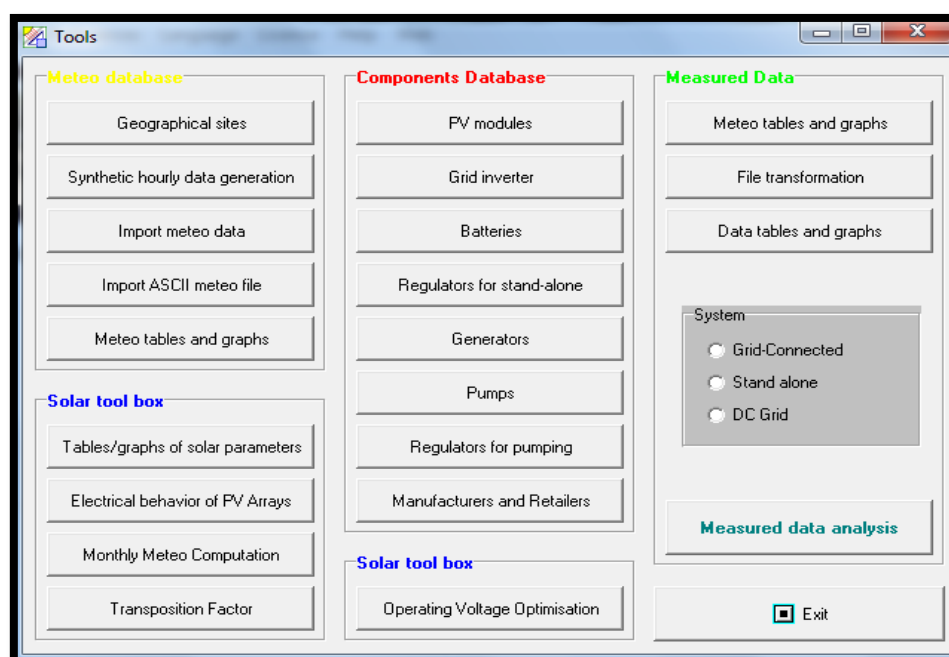
Το λογισμικό PVSYST έχει σχεδιαστεί από το Πανεπιστήμιο της Γενεύης για να χρησιμοποιείται από αρχιτέκτονες, μηχανικούς και ερευνητές αποτελώντας συγχρόνως ένα πολύ χρήσιμο εκπαιδευτικό εργαλείο. Περιλαμβάνει λεπτομερή βοήθεια στο χρήστη που εξηγεί τις διαδικασίες και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται. Το PVSYST είναι συμβατό με βάσεις δεδομένων μετεωρολογικών στοιχείων από πολλές διαφορετικές πηγές. Παρουσιάζει ένα πλήρες διάγραμμα ροής της ενέργειας, αποτελώντας ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση της συμπεριφοράς όλων των συνιστωσών του ΦΒ συστήματος που συμμετέχουν στην προσομοίωση. Για την παρούσα μελέτη εγκατάστασης χρησιμοποιείται η έκδοση PVSYST, V5.20.

Με την ενεργοποίηση του προγράμματος από το εικονίδιο εκκίνησης εμφανίζεται η αρχική καρτέλα επιλογών.



Εικόνα 5.10: Αρχική καρτέλα επιλογών του λογισμικού PVSYST.

Για την εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων που εξήχθησαν από το PVGIS στο λογισμικό PVSYST επιλέγουμε το πλαίσιο “Tools” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας.



Εικόνα 5.11: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Tools”.

Στην καρτέλα αυτή επιλέγουμε το πλαίσιο “Import meteo data” και εμφανίζεται εκ νέου μία καρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων. Για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων πραγματοποιείται αντιγραφή των στοιχείων της εικόνας 5.9 στην παρακάτω καρτέλα και επιλέγουμε το πλαίσιο “Import”. Στη συνέχεια σύμφωνα με τις οδηγίες που εμφανίζονται στο πάνω δεξιά

πλαίσιο διαλόγου της καρτέλας εισάγουμε τις ζητούμενες ονομασίες (Site, Country, Region).

Importing Meteo data from different sources

External Sourcedata

- ☐ Meteorom software (H or M)
- ☐ Satellight real data (Hourly)
- ☐ US TMY2/3 - NREL (Hourly)
- ☐ Canada EPW - CwEC (Hourly)
- ☒ PV GIS Europe+Africa (Monthly)
- ☐ NASA-SSE Worldwide (Monthly)
- ☐ WRDC Worldwide (Monthly)
- ☐ RetScreen Worldwide (Monthly)
- ☐ Helioclim Europe+Afr. (M or H)

Location

Site: PVGIS_Perioxi_1
Country: Greece
Region: Europe

Geographical Coordinates

Latitude: 38.80 (Decimal) / 38 48 (Deg. Min.)
Longitude: 20.75 (Decimal) / 20 45 (Deg. Min.)
Altitude: 26 m above sea level
Time zone: 1 corresponding to an average difference Legal Time - Solar Time = 0h-22m

Buttons: Import, Show site, Save Site, Create Meteo, Close

Message: PVGIS data imported with success. You can save them as a "site" (*.sit) and also create an hourly synthetic meteo file (*.met).

Information for importing

Εικόνα 5.12: Καρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων.

Επιλέγεται έπειτα το πλαίσιο “Save Site” με το οποίο αποθηκεύεται το σύνολο των μέσων ημερήσιων τιμών που εισήχθησαν και αποκτάται η δυνατότητα επιλογής του πλαισίου “Create Meteo” με το οποίο εμφανίζεται μία καρτέλα παρουσίασης των στοιχείων αυτών. Στην καρτέλα αυτή επιλέγεται το πλαίσιο “Execute Generation” με αποτέλεσμα τη δημιουργία φακέλου .MET που περιλαμβάνει τις μέσες ωριαίες τιμές των ίδιων στοιχείων προς χρήση τους στην προσομοίωση.

Generation of Synthetic Hourly Meteo Values

Description: PVGIS_Perioxi_1 from PVGIS, Synthetic Hourly data

Country / Region: PVGIS_Perioxi_1 **Site:** Greece

☒ Country prefix **File to be created:** GR_PVGIS_Perioxi_1_SYN.MET

	Global [kWh/m².mth]	Diffuse [kWh/m².mth]	Temper. [°C]
January	66.7	30.0	9.5
February	80.1	35.2	9.8
March	145.7	59.7	12.4
April	174.0	59.2	15.6
May	222.0	64.4	20.0
June	242.4	55.8	24.2
July	235.6	47.1	27.1
August	214.5	45.0	27.5
September	162.6	45.5	23.0
October	120.0	43.2	19.3
November	74.4	29.8	15.2
December	55.8	26.2	11.1
Year	1793.8	541.1	17.9

Irradiation units:

- ☐ kWh/m².day
- ☒ kWh/m².mth
- ☐ MJ/m².day
- ☐ MJ/m².mth
- ☐ W/m²
- ☐ Clearness Index Kt

Time:

- ☐ Solar Time
- ☒ Legal Time

Generation options:

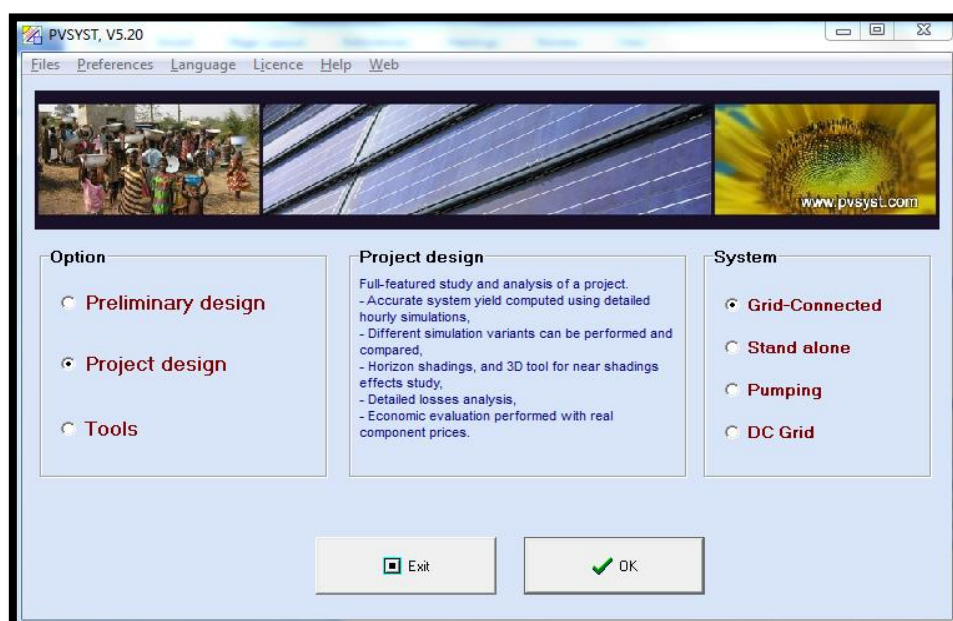
- ☒ Monthly renormalisation
- ☒ Use Monthly Diffuse
- Region typology (for temperatures): Swiss Plateau, land, important mist

Buttons: Execute Generation, Close

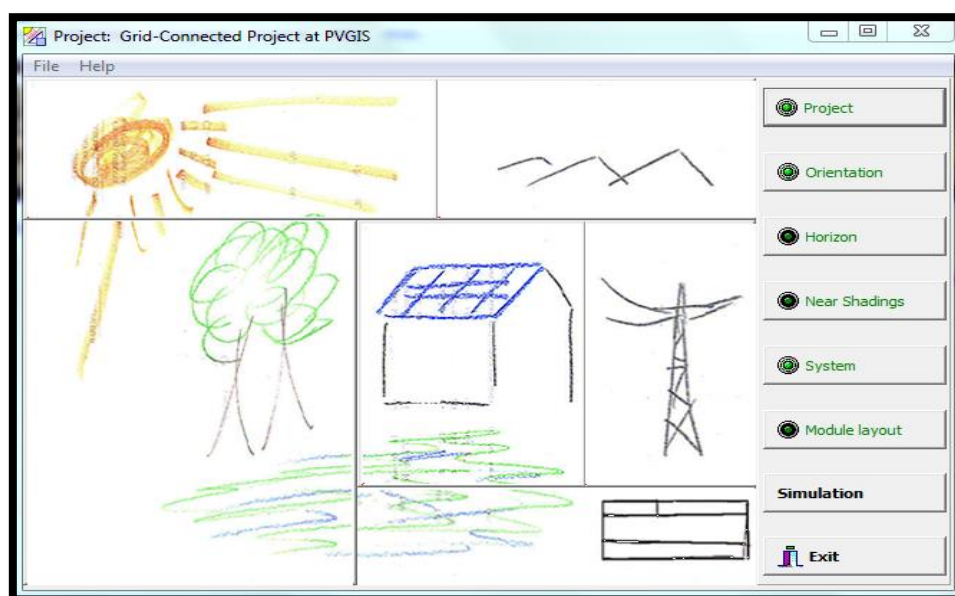
Εικόνα 5.13: Καρτέλα παρουσίασης των μέσων μηνιαίων τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων.

5.6. Εκκίνηση μελέτης εγκατάστασης ΦΒ συστήματος στο PVSYST

Στην αρχική καρτέλα του λογισμικού PVSYST της εικόνας 5.10 επιλέγεται το πλαίσιο “Project Design” με το οποίο δίνεται η δυνατότητα μίας ολοκληρωμένης και ακριβούς μελέτης και ανάλυσης. Δεξιά στην ίδια καρτέλα εμφανίζονται τέσσερα πλαίσια τα οποία αφορούν το είδος του φωτοβολταϊκού συστήματος (Εικόνα 5.14). Η επιλογή που πραγματοποιείται για την παρούσα μελέτη είναι αυτή του πλαισίου “Grid-Connected” που δηλώνει την εκκίνηση μελέτης διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του πλαισίου “OK” που εμφανίζεται στην εικόνα 5.14 με αποτέλεσμα να εμφανιστεί η εισαγωγική καρτέλα της αναλυτικής μελέτης (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.14: Αρχική καρτέλα επιλογών του είδους του ΦΒ συστήματος.



Εικόνα 5.15: Εισαγωγική καρτέλα της αναλυτικής μελέτης του ΦΒ συστήματος.

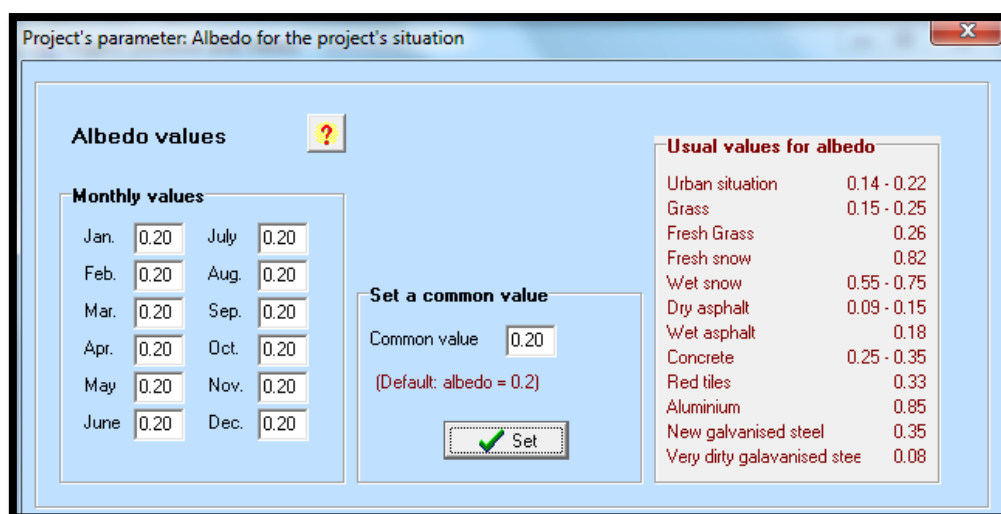
Στην εισαγωγική καρτέλα της αναλυτικής μελέτης επιλέγεται το πλαίσιο “Project” με αποτέλεσμα να αναδυθεί μία νέα καρτέλα στην οποία θα εισαχθούν το όνομα της παρούσας μελέτης, το όνομα του χρήστη, η ημερομηνία εκκίνησης της μελέτης, η περιοχή και η χώρα. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του πλαισίου “Site and meteo” όπως υποδεικνύει το λογισμικό με κόκκινους χαρακτήρες. Στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνονται τα πλαίσια “Site” και “Meteo File” με την ονομασία του “Site” της καρτέλας της εικόνας 5.12 και την ονομασία του φακέλου που δημιουργήθηκε (“File to be created”) στην καρτέλα της εικόνας 5.13 αντίστοιχα.

Εικόνα 5.16: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Project”.

Εικόνα 5.17: Καρτέλα εισαγωγής των μετεωρολογικών δεδομένων στη μελέτη εγκατάστασης.

5.7. Καθορισμός συντελεστή ανάκλασης του εδάφους

Ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους μεταβάλλεται ανάλογα με τις φυσικές ή τεχνητές επιφάνειες που υπάρχουν κοντά στις περιοχές τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων[6]. Η καρτέλα που εμφανίζεται μετά την επιλογή του πλαισίου “Next” της καρτέλας στην εικόνα 5.17 δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού του συντελεστή ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας του εδάφους (albedo). Ο συντελεστής albedo ορίζεται σε μία κοινή τιμή για τις περισσότερες εφαρμογές σε αγροτικό έδαφος για όλους τους μήνες του έτους και η τιμή που επιλέγεται είναι ίση με **0,20**. Αυτό αποτελεί το τελευταίο βήμα πριν την αποθήκευση της μελέτης εγκατάστασης.



Project's parameter: Albedo for the project's situation

Albedo values

Monthly values

Jan.	0.20	July	0.20
Feb.	0.20	Aug.	0.20
Mar.	0.20	Sep.	0.20
Apr.	0.20	Oct.	0.20
May	0.20	Nov.	0.20
June	0.20	Dec.	0.20

Set a common value

Common value: 0.20
(Default: albedo = 0.2)

☒ Set

Usual values for albedo

Urban situation	0.14 - 0.22
Grass	0.15 - 0.25
Fresh Grass	0.26
Fresh snow	0.82
Wet snow	0.55 - 0.75
Dry asphalt	0.09 - 0.15
Wet asphalt	0.18
Concrete	0.25 - 0.35
Red tiles	0.33
Aluminium	0.85
New galvanised steel	0.35
Very dirty galvanised steel	0.08

Εικόνα 5.18: Καρτέλα εισαγωγής του συντελεστή albedo.

5.8. Προσανατολισμός ΦΒ πλαισίων

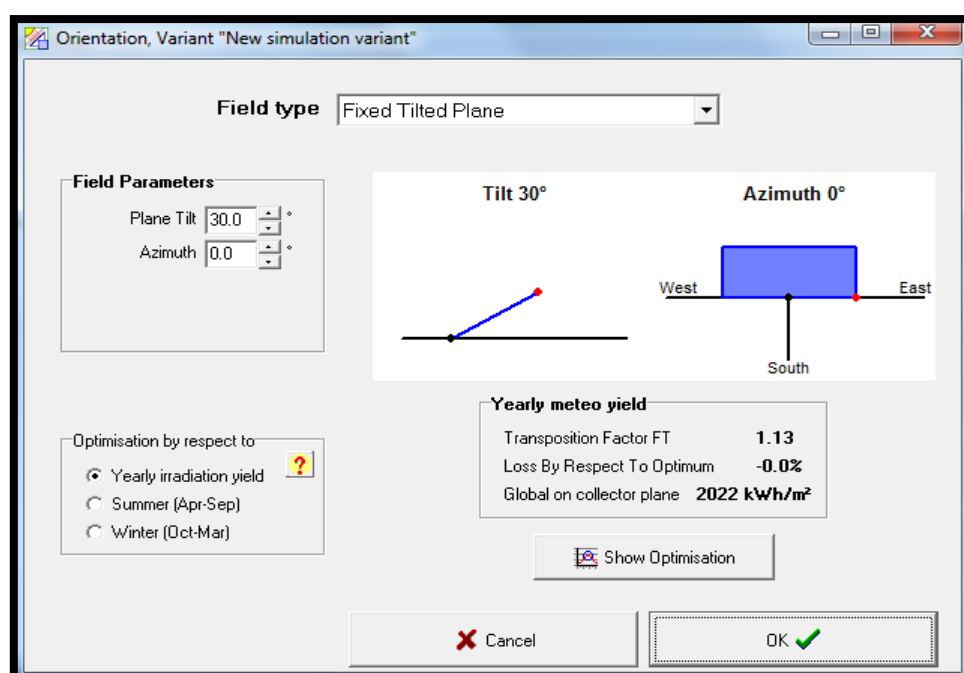
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική αναφορά του κεφαλαίου 3.1.3. ο βέλτιστος προσανατολισμός των ΦΒ πλαισίων για τα ελληνικά δεδομένα σχηματίζεται με το συνδυασμό κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο ίσης με 30° και αζιμούθιας γωνίας ίσης με 0° (Νότιος προσανατολισμός).

Στην καρτέλα προσδιορισμού του προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων, η οποία εμφανίζεται με την επιλογή του πλαισίου “Orientation” από την καρτέλα της εικόνας 5.15, ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι:

- **Field type:** Ο τρόπος στήριξης των ΦΒ πλαισίων με την επιλογή “Fixed Tilted Plane” που σημαίνει πως τα πλαίσια τοποθετούνται σε βάσεις στήριξης σταθερής κλίσης.
- **Plane Tilt:** Η κλίση των ΦΒ πλαισίων ορίζεται ίση με 30° .
- **Azimuth:** Η αζιμούθια γωνία ορίζεται ίση με 0° .
- **Optimisation by respect to:** Η βελτιστοποίηση του προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων με βάση την περίοδο λειτουργίας του ΦΒ συστήματος και τις

γεωγραφικές συντεταγμένες που έχουν εισαχθεί στη μελέτη. Στην παρούσα μελέτη, ως περίοδος λειτουργίας, ορίζεται όλο έτος.

Παρατηρείται ότι ο ορισμός των παραπάνω παραμέτρων βελτιστοποιεί τις τιμές των μεγεθών του πλαισίου με τίτλο “Yearly meteo yield”. Ο δείκτης “Transposition Factor FT” ορίζει το λόγο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο ΦΒ πλαίσιο προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, ο οποίος έλαβε τη μέγιστη δυνατή τιμή. Ο δείκτης “Loss By Respect To Optimum” ορίζει τις απώλειες τις προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τον προσανατολισμό που επιλέχθηκε με βάση τη μέγιστη δυνατή προσπίπτουσα ακτινοβολία στο βέλτιστο προσανατολισμό, ο οποίος έλαβε την τιμή μηδέν. Το μέγεθος “Global on collector plane” ορίζει τη μέση προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά τ.μ. στη διάρκεια ενός έτους στο ΦΒ πλαίσιο, το οποίο έλαβε την μέγιστη δυνατή τιμή.



Εικόνα 5.19: Καρτέλα προσδιορισμού του βέλτιστου προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων.

5.9. Προσδιορισμός ΦΒ συστήματος

Για τον προσδιορισμό των κύριων συνιστωσών του ΦΒ συστήματος (ΦΒ πλαίσια και αναστροφείς ρεύματος) από την εισαγωγική καρτέλα της εικόνας 5.15 επιλέγεται το πλαίσιο “System”. Για την ορθή διαστασιολόγηση του ΦΒ συστήματος, σύμφωνα και με τη νομοθεσία που διέπει την εγκατάσταση ενός συστήματος “Net-Metering”, θα πρέπει αρχικά να εισαχθούν οι καταναλώσεις της κτηνοτροφικής μονάδας ανά ώρα και εποχή, κάτι το οποίο επιτρέπει το λογισμικό PVSYST και δευτερευόντως να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες δοκιμές πριν την τελική επιλογή των ΦΒ πλαισίων και των αναστροφέων ρεύματος.

Τα κύρια κριτήρια επιλογής των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος σύμφωνα με το λογισμικό PVSYST είναι τα εξής[4]:

- Όλες οι σειριακές συστοιχίες των ΦΒ πλαισίων που συνδέονται σε ένα αναστροφέα ρεύματος πρέπει να είναι ομοιογενείς δηλαδή να διαθέτουν πανομοιότυπα πλαίσια, ίδιο αριθμό πλαισίων συνδεδεμένα σε σειρά και ίδια κλίση.
- Η ελάχιστη τάση της ΦΒ γεννήτριας στις χειρότερες συνθήκες θερμοκρασίας 60°C θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τάση λειτουργίας του αναστροφέα.
- Η μέγιστη τάση της ΦΒ γεννήτριας στις χειρότερες συνθήκες θερμοκρασίας 20°C θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη τάση λειτουργίας του αναστροφέα.
- Η μέγιστη τάση ανοικτοκύκλωσης (V_{oc} στους -10°C για την Ευρώπη) της ΦΒ γεννήτριας δεν πρέπει να υπερβαίνει την απόλυτη μέγιστη τάση στην είσοδο του αναστροφέα.
- Η μέγιστη τάση ανοικτοκύκλωσης (V_{oc} στους -10°C για την Ευρώπη) δεν πρέπει να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη τάση του συστήματος όπως καθορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πλαισίου.
- Οι περισσότεροι κατασκευαστές προτείνουν ή απαιτούν το λόγο P_{nom} (ισχύς ΦΒ γεννήτριας προς την ισχύ του αναστροφέα) συνήθως ίσο με 1,0-1,1.
- Η ονομαστική ισχύς του αναστροφέα (P_{nom}) ορίζεται ως η ισχύς εξόδου. Η αντίστοιχη ισχύς εισόδου είναι $P_{nomDC} = P_{nomAC} / \text{Effic}$, η οποία είναι περίπου κατά 4-6% μεγαλύτερη.
- Η ονομαστική ισχύς της ΦΒ γεννήτριας P_{nom} ορίζεται για συνθήκες STC. Όμως σε πραγματικές συνθήκες η τιμή αυτή είναι πολύ σπάνια ή δεν επιτυγχάνεται ποτέ. Υπό συνθήκες λειτουργίας η θερμοκρασία των πλαισίων καθώς και άλλου είδους απώλειες μειώνουν την πραγματική ισχύ εξόδου κατά τουλάχιστον 15-20% από την ονομαστική.
- Εάν ο αναστροφέας έχει σχεδιαστεί σωστά, όταν η ονομαστική ισχύς της ΦΒ γεννήτριας υπερβεί το όριο της P_{nomDC} , θα παραμείνει στην ασφαλή ονομαστική της ισχύ μέσω μετατόπισης του σημείου λειτουργίας της ΦΒ γεννήτριας. Ως εκ τούτου δεν θα λάβει χώρα ούτε υπερφόρτωση ούτε υπερθέρμανση και περαιτέρω γήρανση. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας η μόνη απώλεια ενέργειας είναι η διαφορά μεταξύ της ιδανικής ονομαστικής ισχύος και της το όριο της P_{nomDC} . Όταν η ισχύς του αναστροφέα είναι λίγο χαμηλότερη από τη μέγιστη ισχύ της ΦΒ γεννήτριας σε πραγματικές συνθήκες συντελεί στο να υπάρχουν πολύ μικρές απώλειες ενέργειας. Συνεπώς κατά την προσομοίωση, οι υπάρχουσες απώλειες υπερφόρτωσης (overload loss) αποτελούν πολύ σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του αναστροφέα.
- Για την ορθή λειτουργία του ΦΒ συστήματος ένας αναστροφέας ονομαστικής ισχύος 20-25% χαμηλότερης από την ονομαστική ισχύ της ΦΒ γεννήτριας επαρκεί.

Τα κύρια κριτήρια επιλογής των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία είναι τα εξής:

- Βασικό κριτήριο διαστασιολόγησης του ΦΒ συστήματος αποτελεί το σύστημα χρεώσεων της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συμψηφισμός ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται ανά έτος για τις ανταγωνιστικές χρεώσεις από τη μέτρηση και σύγκριση της εισερχόμενης, από το δίκτυο, ηλεκτρικής ενέργειας, που καταναλώνει ο αυτοπαραγωγός τις ώρες μη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

από το ΦΒ σύστημα (νυχτερινές ώρες, ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια) με την εξερχόμενη στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποτελεί μέρος της παραγόμενης ενέργειας από το ΦΒ σύστημα. Συνεπώς απαιτείται ο σχεδιασμός ΦΒ συστήματος, του οποίου η εξερχόμενη στο δίκτυο ενέργεια στη διάρκεια ενός έτους να είναι τουλάχιστον ίση με την εισερχόμενη από το δίκτυο ενέργεια, έτσι ώστε ο αυτοπαραγωγός να μη χρειάζεται να καταβάλλει τις ανταγωνιστικές χρεώσεις στον τελικό συμψηφισμό ενέργειας.

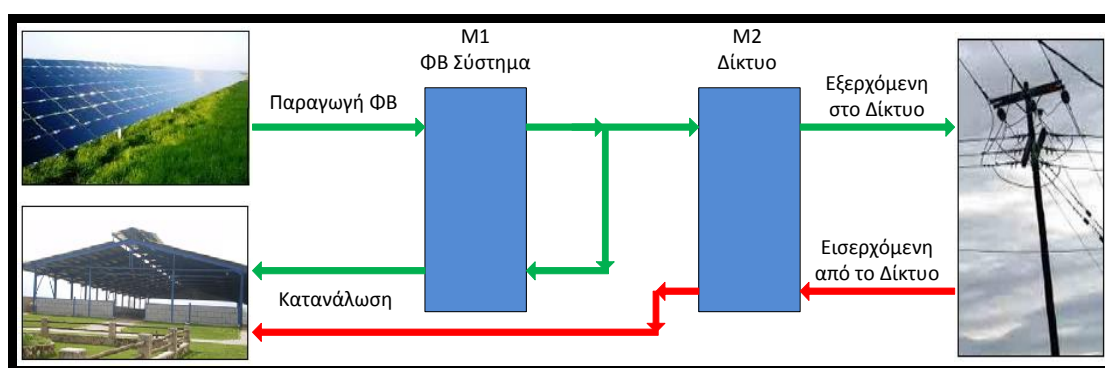
- Η συνολική ετήσια εξερχόμενη στο δίκτυο ενέργεια θα πρέπει να είναι κατά 20-25% μεγαλύτερη από την εισερχόμενη από το δίκτυο ενέργεια κατά την προσομοίωση του παρόντος ενεργειακού ισοζυγίου της μονάδας. Αυτό προκύπτει από το γεγονός πως η πλειονότητα των κατασκευαστών των ΦΒ πλαισίων εγγυώνται απόδοση στο 80%, λόγω γήρανσης (εάν θεωρηθεί πως με την εγκατάσταση η απόδοση είναι στο 100%) στα 25 έτη μετά την αγορά καθώς επίσης και από την πιθανή αύξηση των ενεργειακών αναγκών της μονάδας κατά τη διάρκεια της σύμβασης.
- Οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις και ο ΕΤΜΕΑΡ εξαρτώνται αποκλειστικά από την εισερχόμενη από το δίκτυο ενέργεια, το οποίο σημαίνει πως το μέγεθος της χρέωσής τους βασίζεται στην ενεργειακή συμπεριφορά του αυτοπαραγωγού. Εάν ο αυτοπαραγωγός πραγματοποιεί κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος μόνο κατά τη διάρκεια παραγωγής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα (απευθείας κατανάλωση από το ΦΒ σύστημα - ταυτοχρονισμός) έχει τη δυνατότητα να μηδενίσει τις χρεώσεις αυτές ενώ στην εντελώς αντίθετη περίπτωση (ετεροχρονισμός) θα πληρώσει το μέγιστο δυνατό χρηματικό ποσό. Συμπερασματικά όμως οι χρεώσεις αυτές δεν μπορούν να αποτελέσουν οδηγό για τη διαστασιολόγηση του ΦΒ συστήματος διότι εξαρτώνται εξολοκλήρου από τις ώρες κατανάλωσης ενέργειας και δε συμμετέχουν στο συμψηφισμό ενέργειας.
- Η καταλληλότερη περίοδος έναρξης της σύμβασης για ενεργειακό συμψηφισμό είναι οι μήνες με έντονη ηλιοφάνεια και μικρή κατανάλωση. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός πως τους μήνες αυτούς η διαφορά **εισερχόμενη ενέργεια - εξερχόμενη ενέργεια** θα είναι αρνητική με αποτέλεσμα αφενός ο αυτοπαραγωγός να μη χρεώνεται τις ανταγωνιστικές χρεώσεις για την περίοδο αυτή, αφετέρου η περίσσεια ενέργειας να μεταφέρεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό και να ισοσταθμίζει την τυχούσα αρνητική διαφορά. Σε περίπτωση που η έναρξη της σύμβασης πραγματοποιηθεί κατά τους χειμερινούς μήνες είναι βέβαιο πως η προαναφερθείσα διαφορά θα είναι θετική (μεγάλη κατανάλωση – μικρή ηλιοφάνεια) με αποτέλεσμα ο αυτόπαραγωγός να πρέπει να καταβάλλει μέρος των ανταγωνιστικών χρεώσεων τουλάχιστον μία φορά, παρά το γεγονός πως στο τέλος του έτους η συνολική διαφορά εισερχόμενης με εξερχόμενη μπορεί να είναι αρνητική.
- Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι το μόνο μέγεθος που παρουσιάζει σταθερότητα ως προς την τιμή με απειροελάχιστες μεταβολές.
 - Εάν η Π.ΦΒ. (παραγωγή ενέργειας από το ΦΒ σύστημα) είναι ίση με τη Σ.Κ. (συνολική κατανάλωση της μονάδας) τότε όποια και να είναι η ΙΔ. (ιδιοκατανάλωση) η ΕΙΣ. (εισερχόμενη από το δίκτυο ενέργεια) και η ΕΞ. (εξερχόμενη από το δίκτυο ενέργεια) θα είναι ίσες.
 - Εάν η Π.ΦΒ. είναι μικρότερη από τη Σ.Κ. τότε η ΙΔ. δεν μπορεί να παραμείνει ίση ή να αυξηθεί σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση καθώς το ΦΒ

σύστημα δεν θα μπορεί να καλύψει τις ίδιες ανάγκες του καταναλωτή με συνέπεια η ΕΞ να είναι μικρότερη από την ΕΙΣ.

- Εάν η Π.ΦΒ. είναι μεγαλύτερη από την Σ.Κ. τότε ανεξάρτητα από την ΙΔ. η ΕΞ. θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την ΕΙΣ..

Το συμπέρασμα είναι πως απαιτείται ένα ΦΒ σύστημα του οποίου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος να είναι μεγαλύτερη από την ετήσια κατανάλωση ενέργειας έτσι ώστε ο αυτοπαραγωγός να έχει τη δυνατότητα απαλλαγής από τις ανταγωνιστικές χρεώσεις. Σύμφωνα μάλιστα και με τη βοήθεια του λογισμικού PVSYST μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε πληθώρα προσομοιώσεων για κοινή ενεργειακή συμπεριφορά του καταναλωτή εξάγεται η παρακάτω σχέση (όλα τα μεγέθη σε kWh) η οποία είναι ανεξάρτητη από την ιδιοκατανάλωση:

$$ΕΙΣ - ΕΞ = Σ.Κ. - Π.ΦΒ \quad (5.1)$$



Εικόνα 5.20: Διάγραμμα ροής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα και το δίκτυο συμπεριλαμβανομένων των δύο απαιτούμενων μετρητών.

Τα κύρια κριτήρια επιλογής των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος σύμφωνα με την οικονομικότητα αλλά και τη διαθέσιμη έκταση είναι τα εξής:

- Η εγκατάσταση του ΦΒ συστήματος θα πραγματοποιηθεί στην καλλιεργούμενη διαθέσιμη έκταση γης που βρίσκεται Βόρεια της κτηνοτροφικής μονάδας. Στην περίπτωση που η έκταση γης χαρακτηρίζεται ως υψηλής παραγωγικότητας δεν θα πρέπει το ΦΒ σύστημα σε συνδυασμό με τα ήδη υπάρχοντα να ξεπερνούν σε έκταση το 1% της καλλιεργούμενης γης του νομού, η οποία ισούται με 1.209.384 στρέμματα σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για το έτος 2008.
- Το ΦΒ σύστημα θα πρέπει να εγκατασταθεί όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο σύνδεσής του με το δίκτυο χαμηλής τάσης έτσι ώστε να μειωθούν οι δαπάνες των καλωδιώσεων και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο κατανάλωσης για να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας.
- Η επιλογή της τεχνολογίας ΦΒ πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζεται κυρίως από την τιμή και την εγγύηση υψηλής απόδοσης που προσφέρεται από την εκάστοτε εταιρεία. Η κατεύθυνση προς τη χρήση τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι η πιο πιθανή λόγω της ενεργειακής τους πυκνότητας, της απόδοσής τους, της τιμής τους και της ευρείας διάδοσής τους στην παγκόσμια αγορά.

Τα ΦΒ πλαίσια που επιλέχθηκαν ονομάζονται **AlfaSolar Pyramid 54 210W_p** και ο αναστροφέας ρεύματος **REFUSOL 15K**. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες, οι οποίες προέρχονται από τη βάση δεδομένων του λογισμικού PVSYST. Στο παράρτημα παρατίθενται φυλλάδια με τα δημοσιευμένα από τις εταιρίες μηχανικά και ηλεκτρικά δεδομένα που αφορούν τόσο τα ΦΒ πλαίσια όσο και τον αναστροφέα ρεύματος.

Model	alfasolar Pyramid 210		Manufacturer	AlfaSolar	
File name	Alfasolar_Pyramid_210.PAN		Data source	Photon MAg. 2009	
Nom. Power (at STC)	210.	Wp	Tol.	1.0	%
			Technology	Si-poly	

Manufacturer specifications or other Measurements					
Reference conditions:	GRef	1000	W/m²	TRef	25 °C
Short-circuit current	Isc	8.89	A	Open circuit Voc	33.50 V
Max Power Point:	Imp	8.21	A	Vmp	25.60 V
Temperature coefficient	mulsc	4.1	mA/°C		
	or mulsc	0.05	%/°C	Nb cells 54 in series	

Internal model result tool					
Operating conditions	GOper	1000	W/m²	TOper	25 °C
Max Power Point:	Pmpp	210.4	W	Temper. coeff.	-0.40 %/°C
	Current Imp	8.13	A	Voltage Vmp	25.9 V
	Short-circuit current Isc	8.89	A	Open circuit Voc	33.5 V
Efficiency	/ Cells area	N/A	%	/ Module area	14.57 %

Model summary	
Main parameter	
R shunt	190 ohm
Rsh(G=0)	800 ohm
R serie model	0.33 ohm
R serie max.	0.55 ohm
R serie apparent	0.54 ohm
Model parameters	
Gamma	1.35
IoRef	148 nA
muVoc	-99 mV/°C
muPMax fixed	-0.40 /°C

Εικόνα 5.21: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πλαισίου.

Model	RefuSol 15K		Manufacturer	REFU Elektronik GmbH	
File name	RefuSol_15K.OND		Data source	Manufacturer 2009	

Input side (DC PV field)	
Minimum MPP Voltage	460 V
Min. Voltage for PNom	460 V
Nominal MPP Voltage	590 V
Maximum MPP Voltage	800 V
Absolute max. PV Voltage	900 V
Power Threshold	75.0 W
Contractual specifications, without real physical meaning ? Required	
Nominal PV Power	15.0 kW
Maximum PV Power	17.5 kW
Maximum PV Current	36.0 A

Output side (AC grid)	
Type	Frequency
☐ Monophased	☒ 50 Hz
☒ Triphased	☒ 60 Hz
☐ Biphased	
Grid Voltage	400 V
Nominal AC Power	15.0 kW
Maximum AC Power	16.5 kW
Nominal AC current	21.7 A
Maximum AC current	23.8 A
Efficiency	
Maximum efficiency	98.0 %
EURO efficiency	97.7 %
☐ Efficiency defined for 3 voltages	

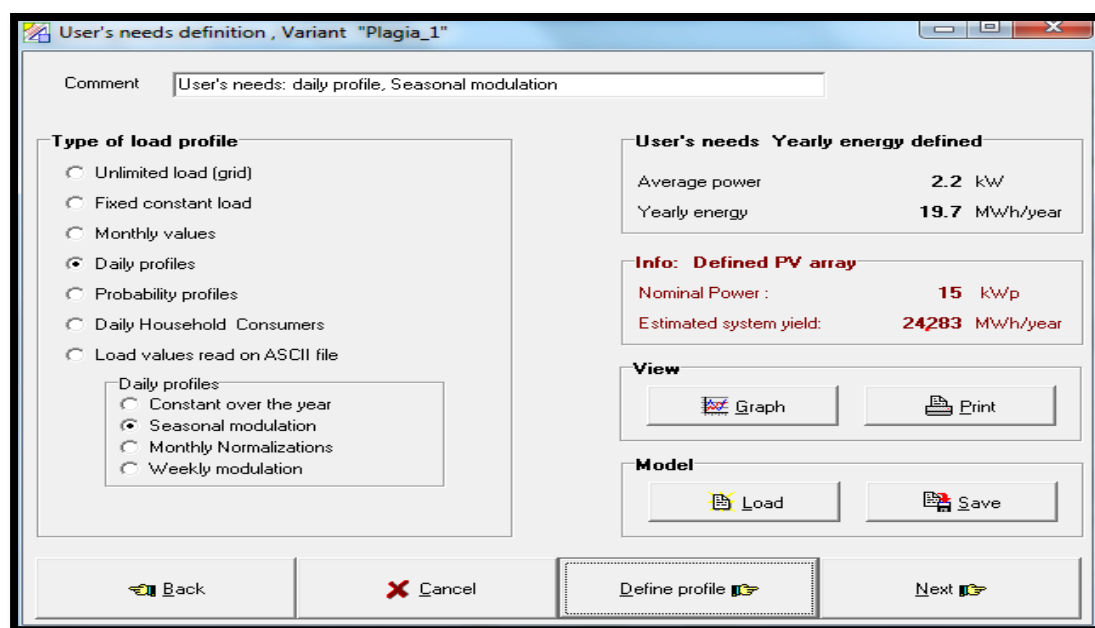
Εικόνα 5.22: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα ρεύματος.

Μετά την επιλογή των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος το λογισμικό πραγματοποιεί τη διαστασιολόγηση χωρίς να παρουσιάζει κάποιο μήνυμα λάθους στο γαλάζιο πλαίσιο διαλόγου που φαίνεται στην εικόνα 5.23. τόσο σε συνθήκες STC όσο και σε οριακές συνθήκες. Αυτό συνεπάγεται πως πληρούνται όλα τα απαιτούμενα, με βάση το λογισμικό, προαναφερθέντα κριτήρια. Το λογισμικό PVSYST προτείνει τη σύνδεση τριών παράλληλων μεταξύ τους συστοιχιών εκ των οποίων έκαστη αποτελείται από εικοσιτέσσερα εν σειρά συνδεδεμένα ΦΒ πλαίσια και η δημιουργούμενη ΦΒ γεννήτρια συνδέεται με έναν τριφασικό αναστροφέα ρεύματος.

Εικόνα 5.23: Απεικόνιση της καρτέλας "System" υπό συνθήκες STC (Standard Test Conditions).

Εικόνα 5.24: Απεικόνιση μέρους της καρτέλας "System" υπό οριακές συνθήκες.

Στη συνέχεια επιλέγεται το πλαίσιο “User’s needs” για να προσδιοριστούν οι ενεργειακές καταναλώσεις της κτηνοτροφικής μονάδας. Στην καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγεται η εισαγωγή των ημερήσιων και κατά εποχή καταναλώσεων της κτηνοτροφικής μονάδας.



The screenshot shows a software window titled "User's needs definition, Variant "Plagia_1"". It contains several sections:

- Comment:** A text box containing "User's needs: daily profile, Seasonal modulation".
- Type of load profile:** A list of radio buttons:
 - Unlimited load (grid)
 - Fixed constant load
 - Monthly values
 - Daily profiles** (selected)
 - Probability profiles
 - Daily Household Consumers
 - Load values read on ASCII file
 Below this is a sub-section for "Daily profiles" with radio buttons:
 - Constant over the year
 - Seasonal modulation** (selected)
 - Monthly Normalizations
 - Weekly modulation
- User's needs Yearly energy defined:** A table showing:

Average power	2.2 kW
Yearly energy	19.7 MWh/year
- Info: Defined PV array:** A table showing:

Nominal Power :	15 kWp
Estimated system yield:	24283 MWh/year
- View:** Two buttons: "Graph" and "Print".
- Model:** Two buttons: "Load" and "Save".
- Navigation:** At the bottom are four buttons: "Back", "Cancel", "Define profile" (highlighted), and "Next".

Εικόνα 5.25: Καρτέλα επιλογής είδους καταναλώσεων.

Από την καρτέλα της εικόνας 5.25 επιλέγεται το πλαίσιο “Define profile” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας στην οποία δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα συμπλήρωσης των ενεργειακών καταναλώσεων, ανά ώρα εντός μίας ημέρας “Daily profiles” και ανά εποχή “Seasonal modulation”, η οποία ενδείκνυται για τη μελέτη ΦΒ συστήματος που απευθύνεται σε αυτοπαραγωγούς. Η συμπλήρωση των ενεργειακών καταναλώσεων πραγματοποιείται απευθείας από την αντιγραφή των στοιχείων των πινάκων 5.2 έως και 5.6. Όπως φαίνεται από την εικόνα 5.25 υπολογίζεται απευθείας από το λογισμικό η συνολική ετήσια κατανάλωση η οποία ισούται με 19,7MWh/year. Στη συνέχεια επιλέγεται το πλαίσιο “Next” το οποίο επαναφέρει το χρήστη στην καρτέλα της εικόνας 5.23 στην οποία επιλέγεται το πλαίσιο “OK” με το οποίο αποθηκεύεται η διαστασιολόγηση.

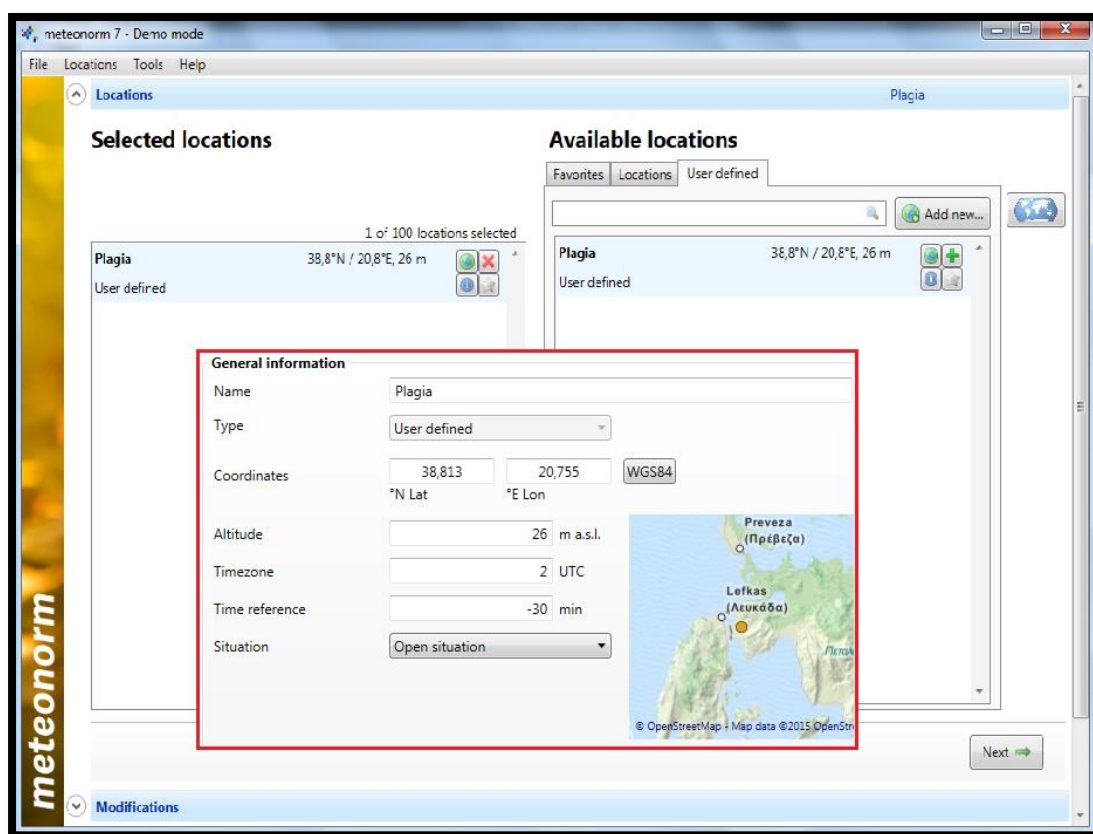
5.10. Διάγραμμα ορίζοντα

Στην καρτέλα της εικόνας 5.15 επιλέγεται το πλαίσιο “Horizon” μέσω του οποίου προσδιορίζεται ο ορίζοντας ή αλλιώς οι μακρινές σκιάσεις οι οποίες συμβάλλουν στην αύξηση των απωλειών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα.

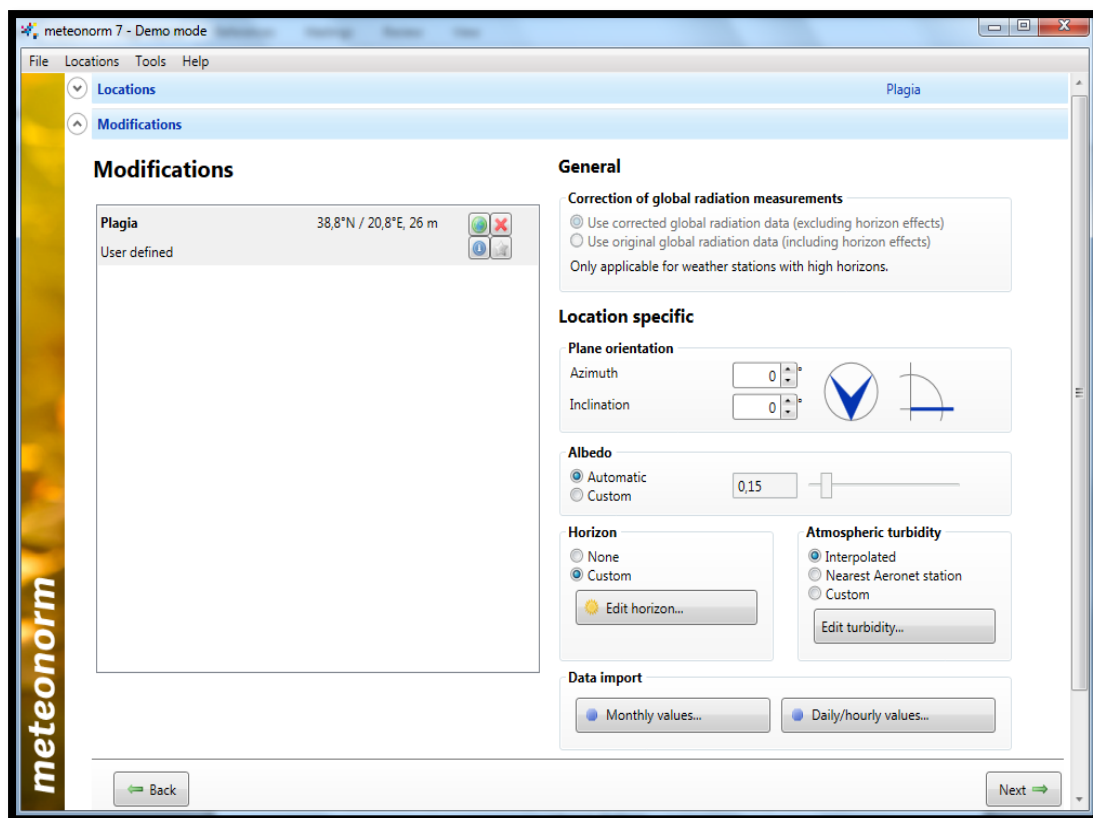
Η σχεδίαση του ορίζοντα μίας τοποθεσίας αφορά μόνο τη σκίαση που προκαλείται από μεγάλες αποστάσεις από το ΦΒ σύστημα, έτσι ώστε οι φωτοσκιάσεις αυτές να θεωρούνται καθολικές για τις, προς μελέτη, ΦΒ συστοιχίες. Η απόσταση του αντικειμένου που προκαλεί σκίαση πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές μεγαλύτερη από το μέγεθος του ΦΒ συστήματος. Ο ορίζοντας είναι μία

καμπύλη η οποία προσδιορίζεται από το σύνολο των σημείων του ηλιακού ύψους και της αζιμούθιας γωνίας ως προς το Νότο. Οι μακρινές σκιάσεις έχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας δηλαδή σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, ο ήλιος είναι ή δεν είναι παρών στο πεδίο μελέτης. Όταν ο ήλιος είναι πίσω από τον ορίζοντα η άμεση ακτινοβολία γίνεται μηδενική σε αντίθεση με τη διάχυτη ακτινοβολία η οποία δεν επηρεάζεται[4].

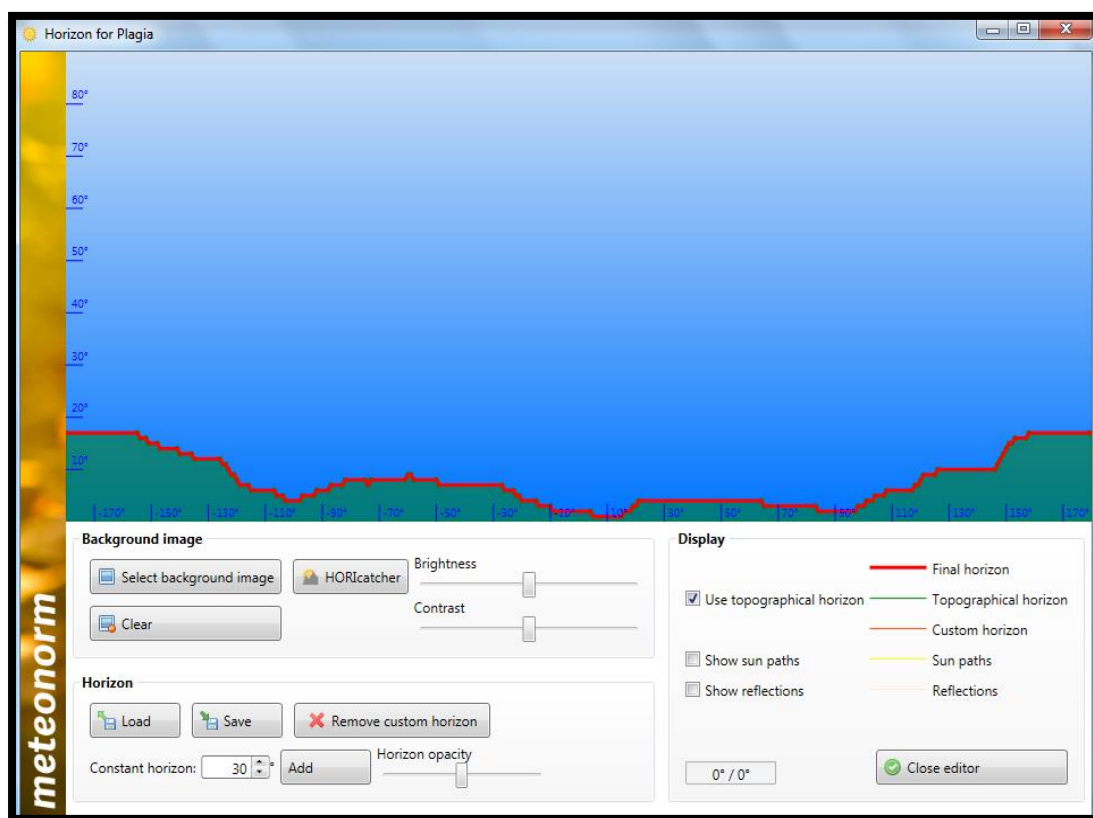
Με τη βοήθεια του λογισμικού meteonorm 7, το οποίο διατίθεται δωρεάν από το σύνδεσμο <http://meteonorm.com/>, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τον ορίζοντα οποιασδήποτε τοποθεσίας συμπληρώνοντας το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της ζητούμενης περιοχής. Στην αρχική καρτέλα επιλογών του λογισμικού ο χρήστης επιλέγει το πλαίσιο “Locations” και στη συνέχεια το πλαίσιο “Add new” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας στην οποία συμπληρώνονται οι συντεταγμένες της τοποθεσίας. Μόλις αποθηκευτούν τα δεδομένα μέσω του πλαισίου “Save”, ο χρήστης εισάγει μέσω του πλαισίου  στη λίστα των, προς μελέτη, τοποθεσιών (“Selected locations”) και προχωρεί στην επιλογή του πλαισίου “Modifications”. Στην καρτέλα αυτή επιλέγεται το πλαίσιο “Edit Horizon” μέσω του οποίου το λογισμικό παράγει ένα διάγραμμα ροής προσδιορισμού του τοπογραφικού ορίζοντα.



Εικόνα 5.26: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Locations” και της επιλογής “Add new”, η οποία βρίσκεται σε κόκκινο πλαίσιο του λογισμικού meteonorm 7.

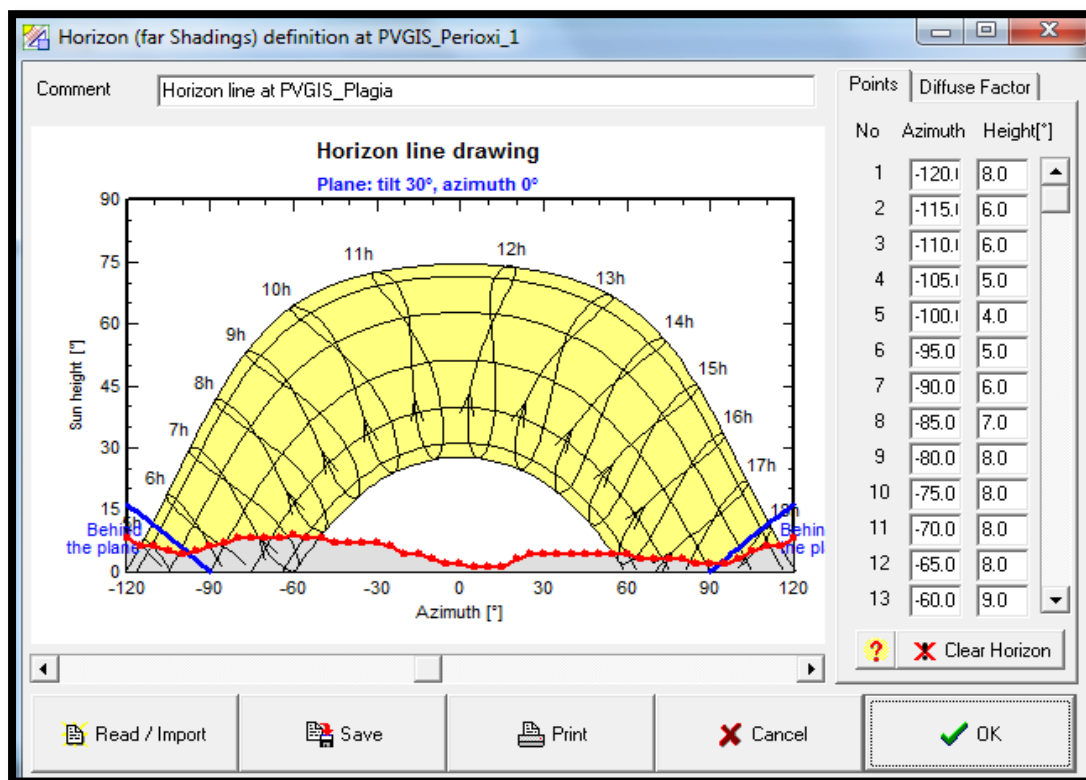


Εικόνα 5.27: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Locations” του λογισμικού meteonorm 7.



Εικόνα 5.28: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Edit Horizon” του λογισμικού meteonorm 7.

Στο διάγραμμα της εικόνας 5.28 ο χρήστης έχει δυνατότητα να καταγράψει τα ακριβή ζεύγη γωνιών (αζιμούθιο, γωνία ύψους του Ήλιου) και να τα εισάγει χειροκίνητα στην καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Horizon” του λογισμικού PVSYST της εικόνας 5.29. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η καταγραφή των ζευγών γωνιών ανά πέντε μοίρες του οριζόντιου άξονα (από -120° έως 120°) όπως φαίνεται στην εικόνα 5.29 και μέσω του πίνακα στα δεξιά της καρτέλας πραγματοποιήθηκε η συμπλήρωση των γωνιών που καταγράφηκαν από το meteonorm 7.



Εικόνα 5.29: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Horizon” του λογισμικού PVSYST.

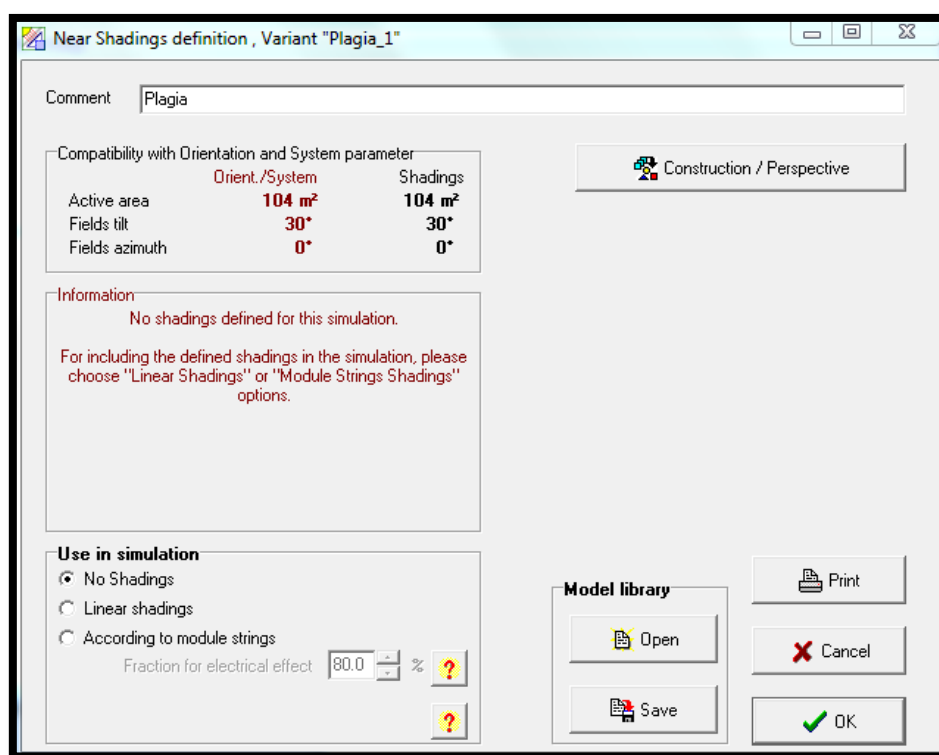
5.11. Μελέτη σκίασης

Η μελέτη σκίασης είναι μία πολύ βασική διαδικασία για την εγκατάσταση ενός ΦΒ συστήματος καθώς μέσω αυτής καθορίζονται όλες οι πιθανές παράμετροι που προκαλούν σκιάσεις στα ΦΒ πλαίσια και έχει στόχο την ελαχιστοποίησή τους.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς (συστοιχίας) συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή της. Αναλυτικότερα, το συνολικό ρεύμα μιας στοιχειοσειράς Φ/Β πλαισίων καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της Φ/Β συστοιχίας. Βέβαια στην περίπτωση που ο σκιασμός περιορίσει την τάση του (των) σκιασμένου(ων) πλαισίου(ων) αρκετά χαμηλά ώστε να εισέλθει σε αγωγή η δίοδος παράκαμψης, το πλαίσιο αυτό εξαιρείται της ηλεκτροπαραγωγής[7].

Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας δύνανται να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανσή του. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα ή παρακείμενα κτήρια. Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας[7].

Στην καρτέλα της εικόνας 5.15 επιλέγεται το πλαίσιο “Near Shadings” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας, από την οποία επιλέγεται το πλαίσιο “Construction/Perspective” έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός μίας τρισδιάστατης εκδοχής του ΦΒ συστήματος καθώς και των αντικειμένων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από αυτό και είναι πιθανό να προκαλούν σκιάσεις.

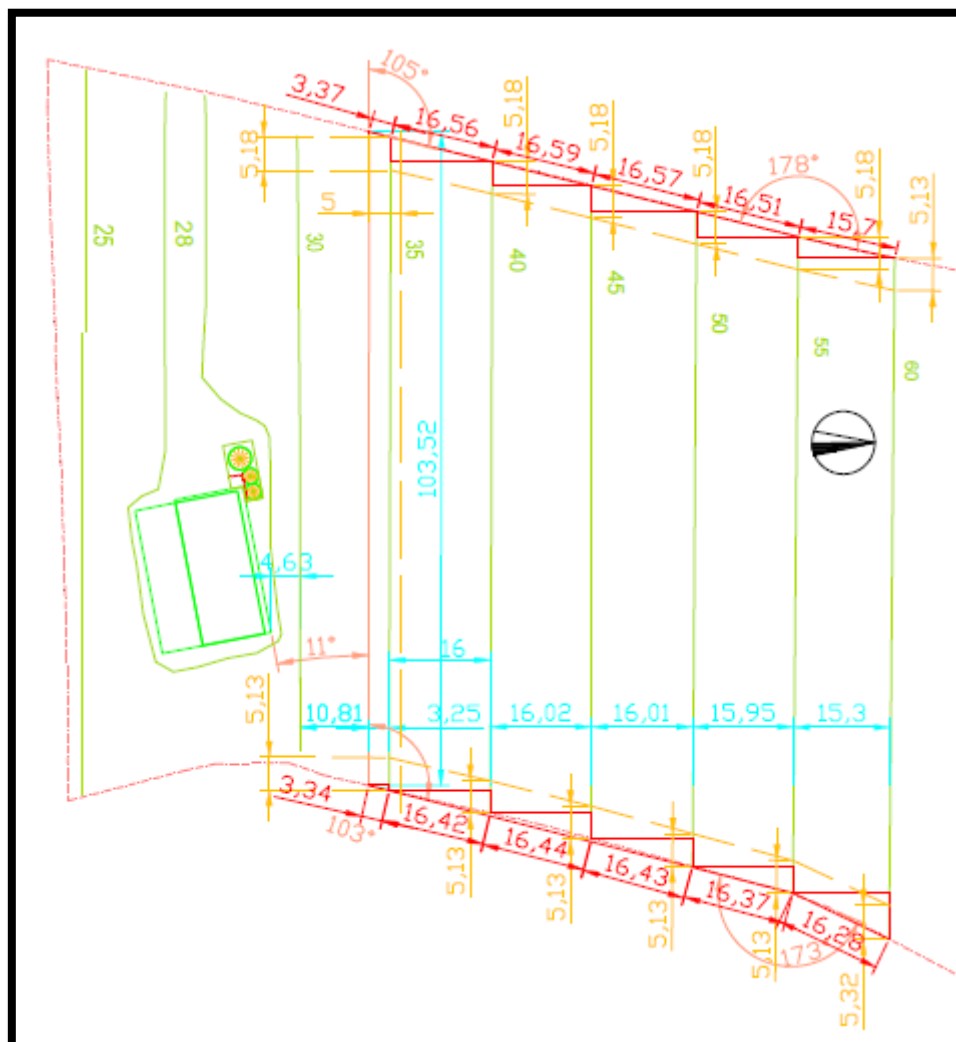


Εικόνα 5.30: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Near Shadings”

Ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος του ΦΒ συστήματος πραγματοποιήθηκε με βάση το τοπογραφικό διάγραμμα του οικοπέδου. Θεωρήθηκε πως η κτηνοτροφική μονάδα, η οποία αποτελεί τον κύριο πιθανό παράγοντα σκίασης, βρίσκεται σε υψόμετρο αναφοράς (28 μέτρα) και με βάση αυτή την αναφορά ύψους σχεδιάστηκαν τα υπόλοιπα αντικείμενα. Οι υπόλοιποι παρακείμενοι όγκοι που σχεδιάστηκαν ήταν τα τρία σιλό στο υψόμετρο αναφοράς και ο φράκτης της καλλιεργήσιμης έκτασης ύψους 2,5 μέτρων από το έδαφος, ο οποίος σχεδιάστηκε έως και την ισούψή καμπύλη των 60 μέτρων. Οι φράκτες του οικοπέδου με νοτιοδυτική κατεύθυνση σχεδιάστηκαν προσεγγιστικά όσον αφορά το υψόμετρό τους λόγω έλλειψης της δυνατότητας εισαγωγής κλίσης της μεγάλου μήκους πλευράς τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Για το λόγο αυτό ανά δύο ισούψείς καμπύλες, ο φράκτης που τις

τέμνει σχεδιάστηκε σε σταθερό υψόμετρο που προκύπτει από τη μέση τιμή των δύο υψομέτρων που ορίζουν οι καμπύλες αυτές.

Σύμφωνα με την Υ.Α. 9154 ΦΕΚ 583 Β, η οποία ορίζει τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια, στην παράγραφο 4 του άρθρου 1 αναφέρεται πως η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τυχόν οικίσκος που χρησιμοποιείται για τη στέγαση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού των συστημάτων αυτών πρέπει να απέχει από τα όρια των γηπέδων απόσταση ίση με 5 μ., όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα 2,5μ.. Στη συνέχεια αναφέρεται ότι ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης βασίζεται στην προβολή επί του οριζοντίου επιπέδου του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού για όλες τις πιθανές θέσεις που αυτός λαμβάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Στο παρακάτω τοπογραφικό διάγραμμα έχουν σχεδιαστεί τα απαιτούμενα όρια εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος με διακεκομμένη γραμμή χρώματος πορτοκαλί.

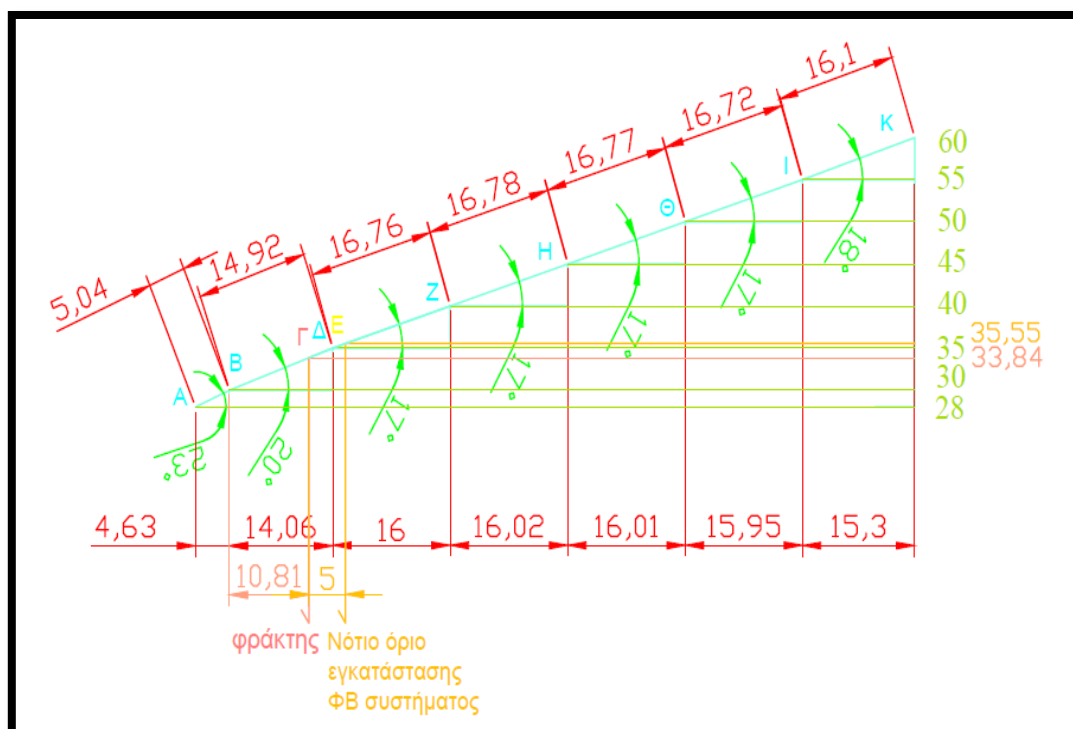


Εικόνα 5.31: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) μέρους του οικοπέδου.

Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».

Όσον αφορά το ΦΒ σύστημα, η νότια πλευρά του σχεδιάστηκε στο νοτιότερο επιτρεπτό, από τη νομοθεσία, σημείο και σε ύψος 4 μέτρα από το έδαφος. Για τη

βέλτιστη χωροθέτηση των ΦΒ συστοιχιών σχεδιάστηκε η τομή του εδάφους εγκατάστασης (Εικόνα 5.32) και σε πρώτη φάση χρησιμοποιήθηκε το σύνολο βημάτων που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.2.6., τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.10.



Εικόνα 5.32: Τοπογραφική τομή του εδάφους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος με τη θέση του παρατηρητή να βρίσκεται ανατολικά του οικοπέδου.

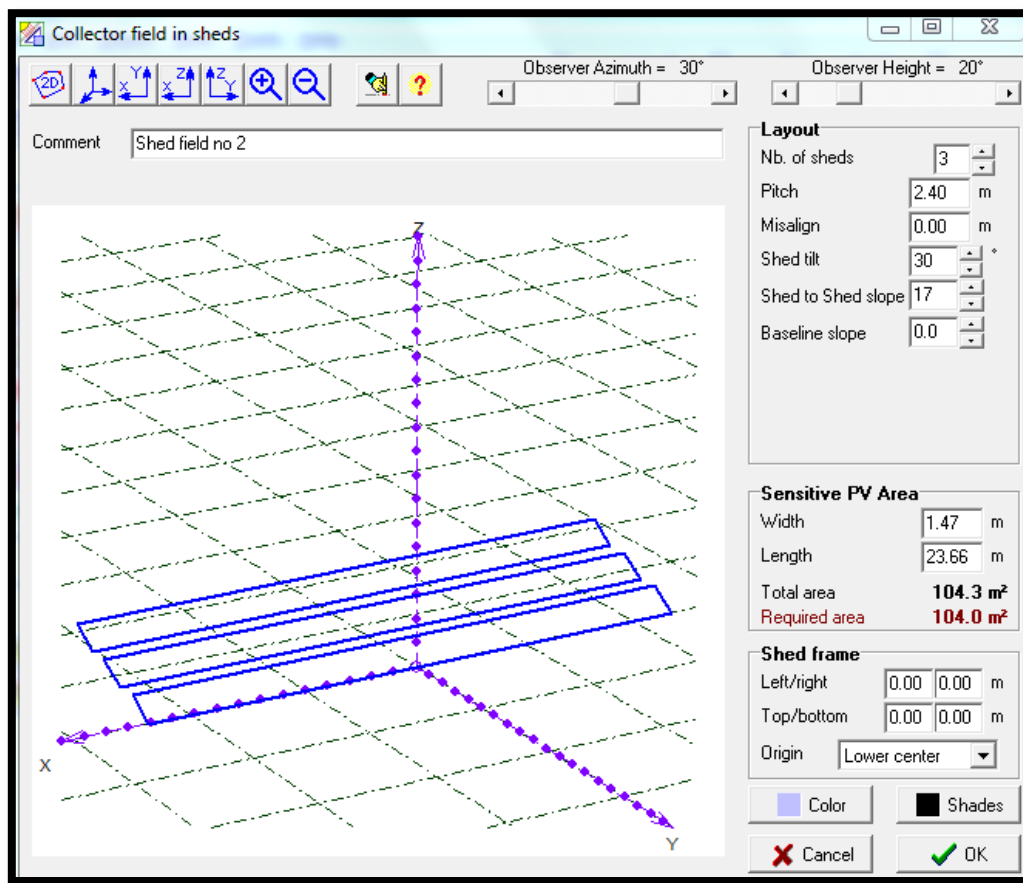
Πίνακας 5.7: Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών.

	Κάθετη διάταξη ΦΒ πλαισίων	Οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων
γ (μέτρα)	1,465	0,986
β_{σ} (°)	30	30
α/μ (καθαρός αριθμός)	2,7	2,7
κ_{ϵ} (καθαρός αριθμός)	0,306	0,306
ϵ (μέτρα)	1,78	1,2

Σε δεύτερη φάση με τη συμβολή της παραπάνω τοπογραφικής τομής και μέσω της καρτέλας τρισδιάστατου σχεδιασμού του λογισμικού PVSYST επιλέγονται κατά σειρά τα πλαίσια “Object” → “New” → “PV plane in sheds”. Με την επιλογή του τελευταίου πλαισίου αναδύεται η καρτέλα της εικόνας 5.33 στην οποία ο χρήστης έχει τις εξής κύριες δυνατότητες ρύθμισης:

- Nb. of sheds: Πλήθος ΦΒ συστοιχιών.
- Pitch: Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συστοιχιών.
- Shed tilt: Η κλίση (β_{σ}) της συστοιχίας.
- Shed to shed slope: Η κλίση (κ_{ϵ}) του εδάφους στον άξονα Βορρά-Νότου.
- Width: Πλάτος συστοιχίας.

- Length: Μήκος συστοιχίας.



Εικόνα 5.33: Καρτέλα υπολογισμού κύριων χαρακτηριστικών κάθετης διάταξης των ΦΒ πλαισίων.

Μέσω του λογισμικού PVSYST και της επιλογής “Shadows animation over one day”, τόσο για την κάθετη όσο και για την οριζόντια διάταξη των ΦΒ πλαισίων, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση σκίασης κατά τη διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου (21 Δεκεμβρίου) όπου το ηλιακό ύψος (β) παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές του και κατά συνέπεια τα ΦΒ πλαίσια δέχονται τις μέγιστες δυνατές σκιάσεις. Μετά από την πραγματοποίηση δοκιμών προσομοίωσης σκίασης για διαφορετικές τιμές του “Pitch” (Εικόνα 5.33) για τα δύο είδη διάταξης, οι ελάχιστες αποστάσεις για τις οποίες η σκίαση από κοντινά αντικείμενα είναι μηδενική παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι διαφορές μεταξύ των δύο τρόπων υπολογισμού οφείλονται στο γεγονός πως ο πρώτος τρόπος βασίζεται σε εμπειρικούς και γεωμετρικούς κανόνες ενώ ο δεύτερος στα ακριβή μετεωρολογικά στοιχεία της τοποθεσίας εγκατάστασης της ΦΒ μονάδας.

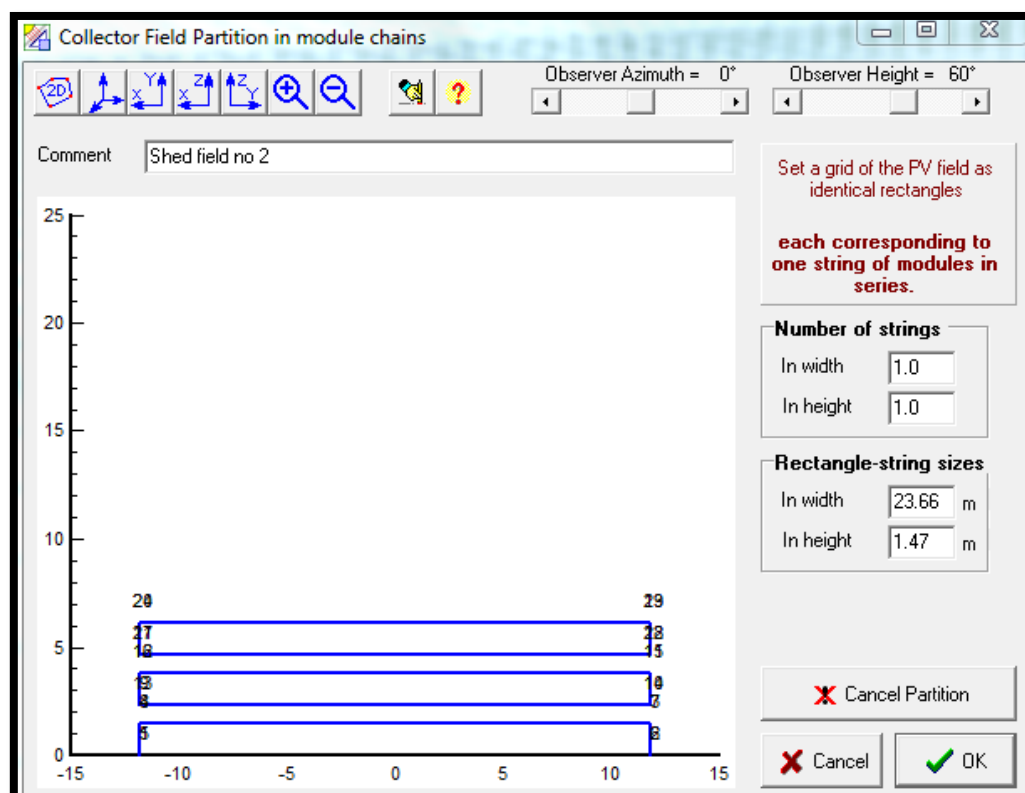
Πίνακας 5.8: Τελικός καθορισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών μέσω του λογισμικού PVSYST. Η σχέση που συνδέει το “Pitch” με το “ ϵ ” είναι: $\epsilon = \text{Pitch} \times \cos(\tan^{-1}(\kappa_z))$.

	Κάθετη διάταξη ΦΒ πλαισίων	Οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων
ϵ (μέτρα) = $\text{Pitch} \times \cos 17^\circ$	$2,4 \times \cos 17^\circ = 2,29$	$1,7 \times \cos 17^\circ = 1,62$

Το λογισμικό PVSYST όπως φαίνεται από την καρτέλα της εικόνας 5.30 προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε τρία είδη σκιάσεων. Το πρώτο πλαίσιο “No Shadings” επιλέγεται όταν ο χρήστης δε θέλει να συμπεριλάβει

τις κοντινές σκιάσεις στην προσομοίωση. Το δεύτερο πλαίσιο “Linear shadings” επιλέγεται όταν ο χρήστης θέλει να συμπεριλάβει στην προσομοίωση γραμμικά τις απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της μείωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα ΦΒ πλαίσια. Με την επιλογή του πλαισίου αυτού υπολογίζεται το κατώτατο όριο των απωλειών λόγω σκίασης. Το τρίτο πλαίσιο “According to module strings” επιλέγεται όταν ο χρήστης θέλει να συμπεριλάβει στην προσομοίωση το προαναφερθέν φαινόμενο της υψηλής μείωσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος μίας μερικώς σκιασμένης συστοιχίας. Με την επιλογή αυτού του πλαισίου υπολογίζεται το ανώτατο όριο των απωλειών λόγω σκίασης. Για την τελική αναφορά μάλιστα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το βαθμό συμμετοχής του ηλεκτρικού αυτού φαινομένου “Fraction of electrical effect” στην απόδοση του ΦΒ συστήματος. Μία τιμή ίση του βαθμού αυτού με 100% σημαίνει πως δε λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη των διόδων παράκαμψης και κατά συνέπεια αφαιρείται κατά την προσομοίωση η ηλεκτρική παραγωγή ολόκληρης της μερικώς σκιασμένης συστοιχίας ενώ μία λογική τιμή είναι μεταξύ 60-80% που σημαίνει μία μερική ανάκαμψη του ΦΒ συστήματος λόγω της ύπαρξης των διόδων παράκαμψης[4].

Στην παρούσα προσομοίωση επιλέχθηκε οι σκιάσεις να συνυπολογίζονται με βάση το ηλεκτρικό φαινόμενο μείωσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος λόγω μερικής σκίασης με βαθμό συμμετοχής στο 80%. Για την ολοκλήρωση χρήσης αυτού του είδους σκιάσεων επιλέγεται το πλαίσιο “Partition in module chains” μέσω του οποίου ο χρήστης ορίζει τη διάταξη των συστοιχιών. Στην εικόνα 5.33 ο χρήστης έχει ορίσει την ύπαρξη τριών συστοιχιών (ένα μπλε ορθογώνιο παραλληλόγραμμο αποτελεί μία συστοιχία ΦΒ πλαισίων).



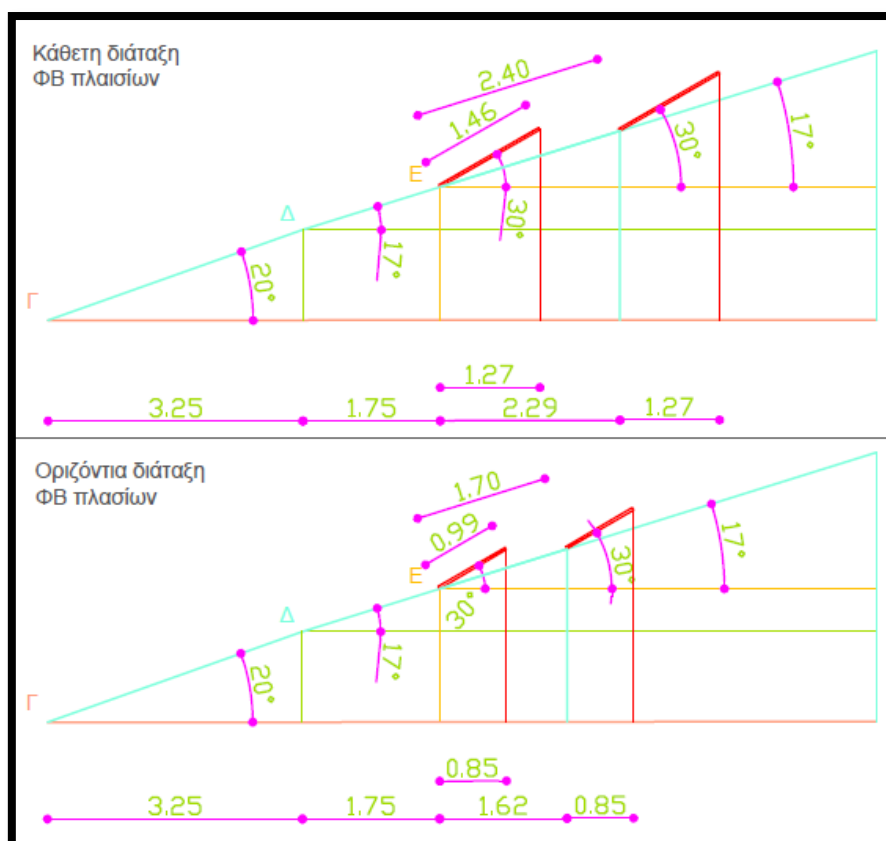
Εικόνα 5.34: Καρτέλα ορισμού κάθετης διάταξης τριών συστοιχιών.

5.12. Χωροθέτηση ΦΒ συστήματος

Η χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων του ΦΒ συστήματος αποτελεί σημαντική διαδικασία για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης. Η τελική επιλογή χωροθέτησης πραγματοποιείται με βάση την ικανοποίηση των παρακάτω κριτηρίων:

- Το εμβαδό της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος θα είναι όσο το δυνατό μικρότερο με στόχο την ελαχιστοποίηση χρήσης των βάσεων στήριξης για τα ΦΒ πλαίσια και τη μικρότερη δυνατή κάλυψη της καλλιεργήσιμης γης.
- Το μήκος κάθε συστοιχίας και το πλάτος της οριζόντιας προβολής του συνόλου των συστοιχιών του ΦΒ συστήματος, μετρούμενα σε μέτρα, θα προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο πολλαπλάσια του 6. Αυτό βασίζεται στο γεγονός πως το ΦΒ σύστημα θα βρίσκεται σε ύψος 4 μέτρων από το έδαφος και οι πυλώνες, πάνω στους οποίους θα δημιουργηθεί το δίκτυο στήριξης των ΦΒ πλαισίων, θα πρέπει να απέχουν ανά δύο κατά μήκος και κατά πλάτος περίπου 6 μέτρα, έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων.

Στις παρακάτω τοπογραφικές τομές παρουσιάζονται τα χρήσιμα, για τον υπολογισμό του εμβαδού κάλυψης του εδάφους από τα ΦΒ πλαίσια, στοιχεία για οριζόντια και κάθετη διάταξη.



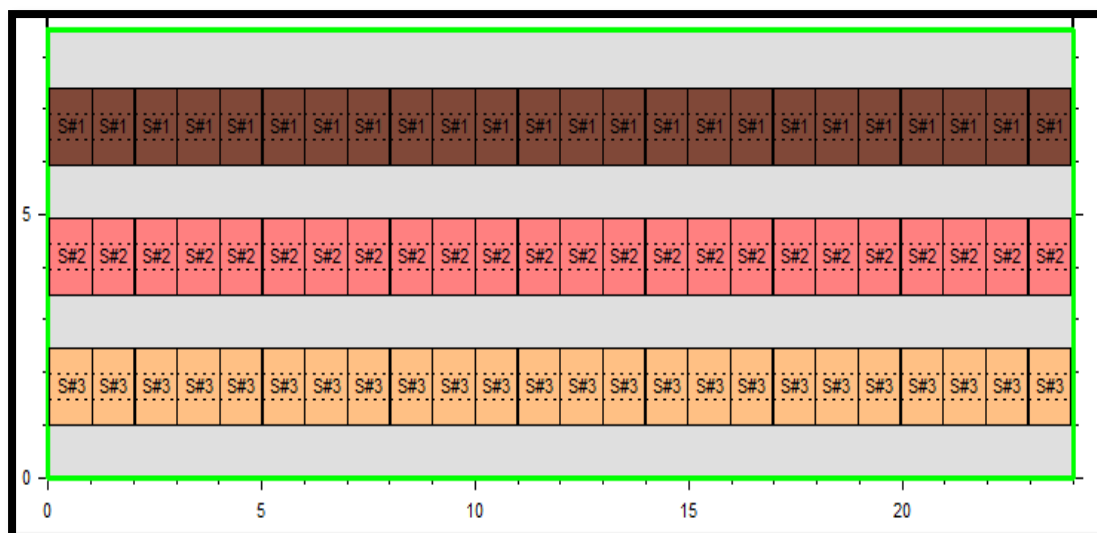
Εικόνα 5.35: Τοπογραφική τομή του εδάφους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος και υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών, της κλίσης του εδάφους, της κλίσης των ΦΒ πλαισίων και της απόστασης της οριζόντιας προβολής των πλαισίων για κάθετη και οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων.

Με δεδομένες τις παραπάνω τοπογραφικές τομές υπολογίζονται οι διαστάσεις και το εμβαδό της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των απαιτούμενων κενών χώρων μεταξύ των συστοιχιών, ώστε να πραγματοποιηθεί η τελική επιλογή χωροθέτησης.

Πίνακας 5.9: Υπολογισμός μήκους συστοιχίας, πλάτους συστοιχιών και εμβαδού της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος. Με έντονου χρώματος γραμματοσειρά σημειώνονται τα αποδεκτά με βάση όλα τα προαναφερθέντα κριτήρια χαρακτηριστικά και με έντονου χρώματος και υπογράμμιση η βέλτιστη λύση.

	Κάθετη διάταξη ΦΒ πλαισίων			Οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων		
Πλήθος συστοιχιών x Πλήθος ΦΒ πλαισίων συστοιχίας	Μήκος συστοιχίας (μέτρα)	Πλάτος συστοιχιών (μέτρα)	Εμβαδό ΦΒ συστήματος (τ.μ.)	Μήκος συστοιχίας (μέτρα)	Πλάτος συστοιχιών (μέτρα)	Εμβαδό ΦΒ συστήματος (τ.μ.)
1x72	70,992	1,27	90,15984	105,48	0,85	89,658
72x1	0,986	163,86	161,56596	1,465	115,87	169,74955
2x36	35,496	3,56	126,36576	52,74	2,47	130,2678
36x2	1,972	81,42	160,56024	2,93	57,55	168,6215
3x24	<u>23,664</u>	<u>5,85</u>	<u>138,4344</u>	35,16	4,09	143,8044
24x3	2,958	53,94	159,55452	4,395	38,11	167,49345
4x18	17,748	8,14	144,46872	26,37	5,71	150,5727
18x4	3,944	40,2	158,5488	5,86	28,39	166,3654
6x12	11,832	12,72	150,50304	17,58	8,95	157,341
12x6	5,916	26,46	156,53736	8,79	18,67	164,1093
8x9	8,874	17,3	153,5202	13,185	12,19	160,72515
9x8	7,888	19,59	154,52592	11,72	13,81	161,8532

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα κριτήρια και τα αποτελέσματα των υπολογισμών του πίνακα 5.9 καθίσταται σαφές πως ο βέλτιστος τρόπος χωροθέτησης των ΦΒ πλαισίων είναι 3 γειτονικές σειρές, κάθε μία εκ των οποίων θα αποτελείται από 24 ΦΒ πλαίσια σε κάθετη διάταξη (η χωροταξική διάταξη συμπίπτει με την κυκλωματική διάταξη). Η μηχανική και ηλεκτρική χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων εξάγεται από το λογισμικό PVSYST μέσω της επιλογής του πλαισίου "Module layout" από την εισαγωγική καρτέλα της εικόνας 5.15 και παρουσιάζεται στην εικόνα 5.35.



Εικόνα 5.36: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Module layout” και αναπαράστασης της χωροθέτησης των ΦΒ πλαισίων σε κάθετη διάταξη. Οι οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν την παρουσία των διόδων παράκαμψης (3 διόδοι ανά ΦΒ πλαίσιο). Το σύνολο των ΦΒ πλαισίων του ίδιου χρώματος αναπαριστούν μία συστοιχία. Το ΦΒ σύστημα προβάλλεται από γωνία κλίσης 60°.

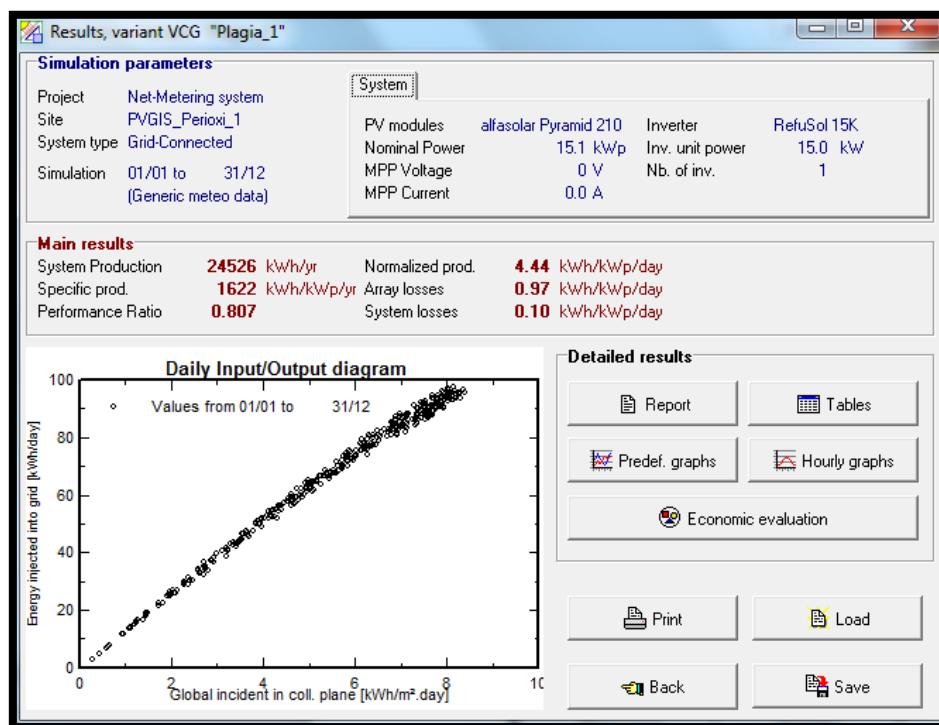
5.13. Προσομοίωση ΦΒ συστήματος

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα προσομοίωσης του επιλεγμένου ΦΒ συστήματος. Η προσομοίωση πραγματοποιείται μέσω της επιλογής του πλαισίου “Simulation” της εικόνας 5.15.. Η καρτέλα που αναδύεται παρουσιάζεται στην εικόνα 5.37. και εμφανίζει τα κύρια στοιχεία του ΦΒ συστήματος καθώς και το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης της προσομοίωσης.

Simulation parameters			
Variant	Plagia_1		
Project	Net-Metering system	PV module	alfasolar Pyramid 210wter
Site	PVGIS_Perioxi_1	Unit power	210 Wp
Horizon	Average Height = 4.8°	Nb. modules	72
System	Grid-Connected	Array Power	15.1 kWp
		Nb. inverters	1
		Pnom AC	15.0 kWac

Εικόνα 5.37: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Simulation” του λογισμικού PVSYS.

Στη συνέχεια από την καρτέλα της εικόνας 5.37 επιλέγεται το πλαίσιο “Simulation” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας, η οποία παρουσιάζει ορισμένα κύρια αποτελέσματα της προσομοίωσης. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι **24.526kWh/έτος** και ο συνολικός συντελεστής απόδοσης⁷ του ΦΒ συστήματος είναι **0,807**.



Εικόνα 5.38: Καρτέλα παρουσίασης κύριων αποτελεσμάτων της προσομοίωσης τα οποία σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.

Στην καρτέλα της εικόνας 5.38 επιλέγεται το πλαίσιο “Report” μέσω του οποίου παρουσιάζεται μία εξασέλιδη αναφορά με αναλυτικά αποτελέσματα για το ΦΒ σύστημα. Σε κάθε σελίδα της προσομοίωσης μελετώνται τα εξής:

1. (Σελίδα 1): Πραγματοποιείται αναφορά για τις παραμέτρους που διέπουν την προσομοίωση του ΦΒ συστήματος δηλαδή τα γεωγραφικά στοιχεία, τον προσανατολισμό των ΦΒ πλαισίων, τον ορίζοντα, τις σκιάσεις, τα χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα καθώς τις ενεργειακές καταναλώσεις.
2. (Σελίδα 2): Γίνεται αναφορά σχετική με τον ηλιακό χάρτη (διάγραμμα ορίζοντα) και τις γραμμές σκιασμού που προκαλούνται από αυτόν.
3. (Σελίδα 3): Απεικονίζονται η τρισδιάστατη προοπτική του ΦΒ συστήματος με τις κοντινές σκιάσεις από τα παρακείμενα κτίρια καθώς και ο ηλιακός χάρτης με τις γραμμές σκιασμού που προκαλούνται από αυτά.
4. (Σελίδα 4): Παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές ενεργειακές καταναλώσεις της κτηνοτροφικής μονάδας ανά εποχή και ώρα.

⁷ $PR(Performance\ Ratio) = Y_f(System\ Yield) / Y_r(Reference\ system\ Yield)$, όπου PR είναι ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του ΦΒ συστήματος, Y_f είναι η εξερχόμενη από τον αναστροφέα ηλεκτρική ενέργεια και Y_r είναι η ιδανικά (χωρίς απώλειες) παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα ΦΒ πλαίσια[4].

5. (Σελίδα 5): Παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως είναι η εξερχόμενη από το αναστροφέα ηλεκτρική ενέργεια, ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του ΦΒ συστήματος, η εξερχόμενη από το αναστροφέα ηλεκτρική ενέργειας ανά kW εγκατεστημένης ισχύος στη διάρκεια ενός έτους, το διάγραμμα παραγωγής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα και το διάγραμμα του μηνιαίου συντελεστή απόδοσης του ΦΒ συστήματος.
6. (Σελίδα 6): Παρουσιάζεται το διάγραμμα απωλειών του ΦΒ συστήματος.

PVSYST V5.20				13/05/15	Page 1/6
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project :		Net-Metering system			
Geographical Site		PVGIS_Perioxi_1		Country	Greece
Situation		Latitude	38.8°N	Longitude	20.8°E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+1	Altitude	26 m
		Albedo	0.20		
Meteo data :		PVGIS_Perioxi_1 from PVGIS, Synthetic Hourly data			
Simulation variant :		Plagia_1			
		Simulation date	13/05/15 12h02		
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	30°	Azimuth	0°
Horizon		Average Height	4.8°		
Near Shadings		According to strings	Electrical effect	80 %	
		Shadings of thin objects	Electrical effect	40 %	
PV Array Characteristics					
PV module		Si-poly	Model	alfasolar Pyramid 210	
		Manufacturer	AlfaSolar		
Number of PV modules		In series	24 modules	In parallel	3 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	72	Unit Nom. Power	210 Wp
Array global power		Nominal (STC)	15 kWp	At operating cond.	14 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	581 V	I mpp	24 A
Total area		Module area	104 m²		
Inverter		Model	RefuSol 15K		
		Manufacturer	REFU Elektronik GmbH		
Characteristics		Operating Voltage	480-800 V	Unit Nom. Power	15.0 kW AC
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = NOCT		56 °C			
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	382 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	0.5 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1 bo Parameter 0.05		
User's needs :		daily profile	Seasonal modulation		
		average	54 kWh/Day		

Εικόνα 5.39: Σελίδα 1 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

Grid-Connected System: Horizon definition

Project : Net-Metering system

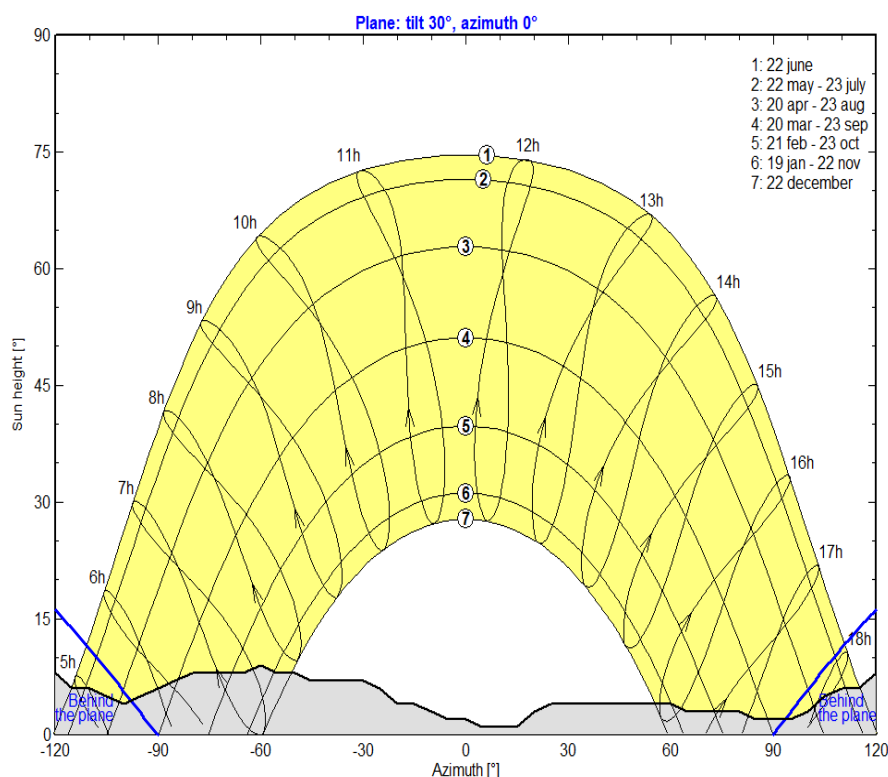
Simulation variant : Plagia_1

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
Horizon		Average Height	4.8°	
Near Shadings		According to strings		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	alfasolar Pyramid 210	Pnom	210 Wp
PV Array	Nb. of modules	72	Pnom total	15 kWp
Inverter	Model	RefuSol 15K	Pnom	15 kW ac
User's needs	daily profile	Seasonal modulation	global	19.67 MWh/year

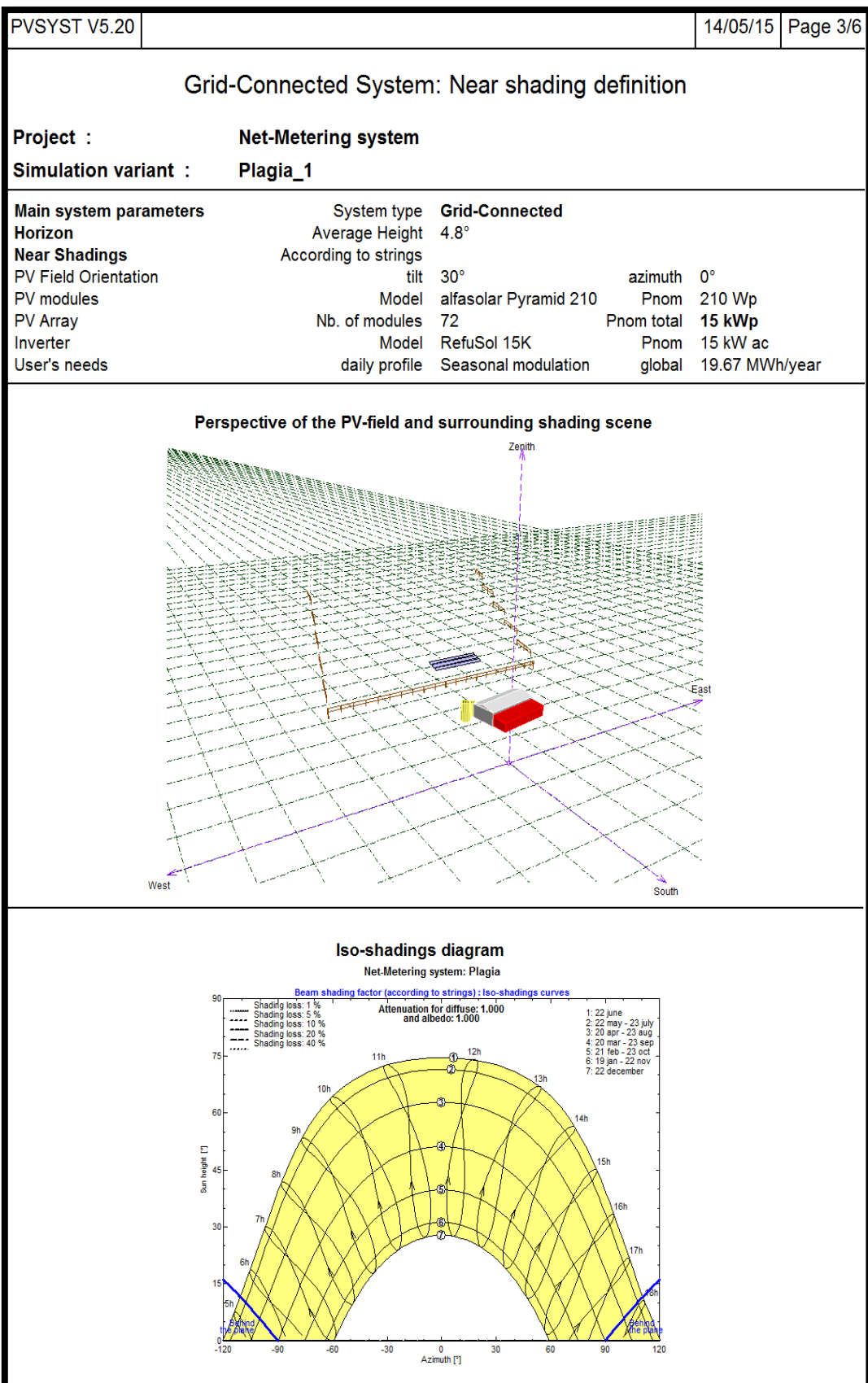
Horizon	Average Height	4.8°	Diffuse Factor	0.97
	Albedo Factor	100 %	Albedo Fraction	0.80

Height [°]	8.0	6.0	6.0	5.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	9.0
Azimuth [°]	-120	-115	-110	-105	-100	-95	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60
Height [°]	8.0	8.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	4.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.0
Azimuth [°]	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5
Height [°]	1.0	1.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0
Azimuth [°]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Height [°]	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	5.0	6.0	6.0	8.0			
Azimuth [°]	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			

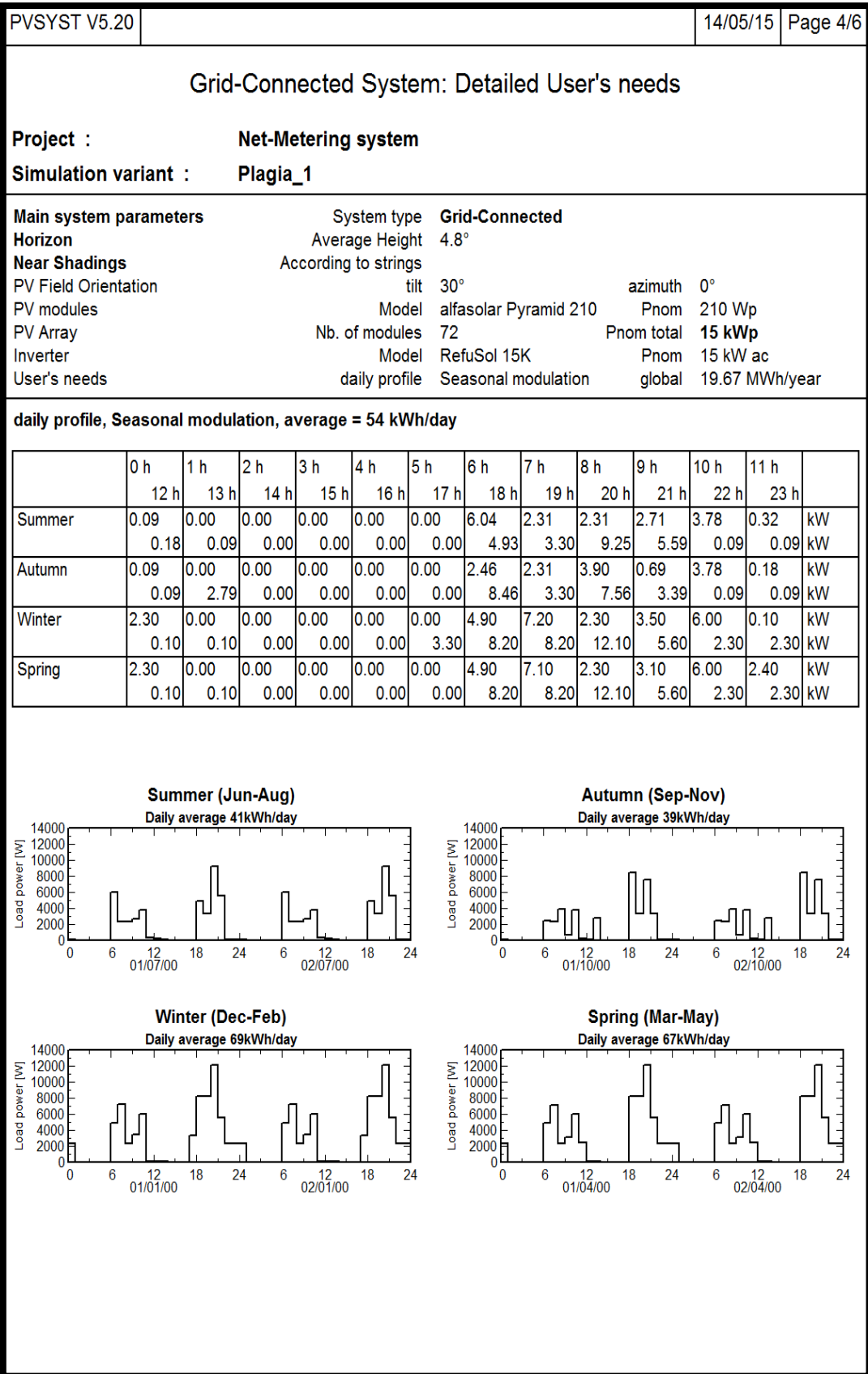
Horizon line at PVGIS_Plagia



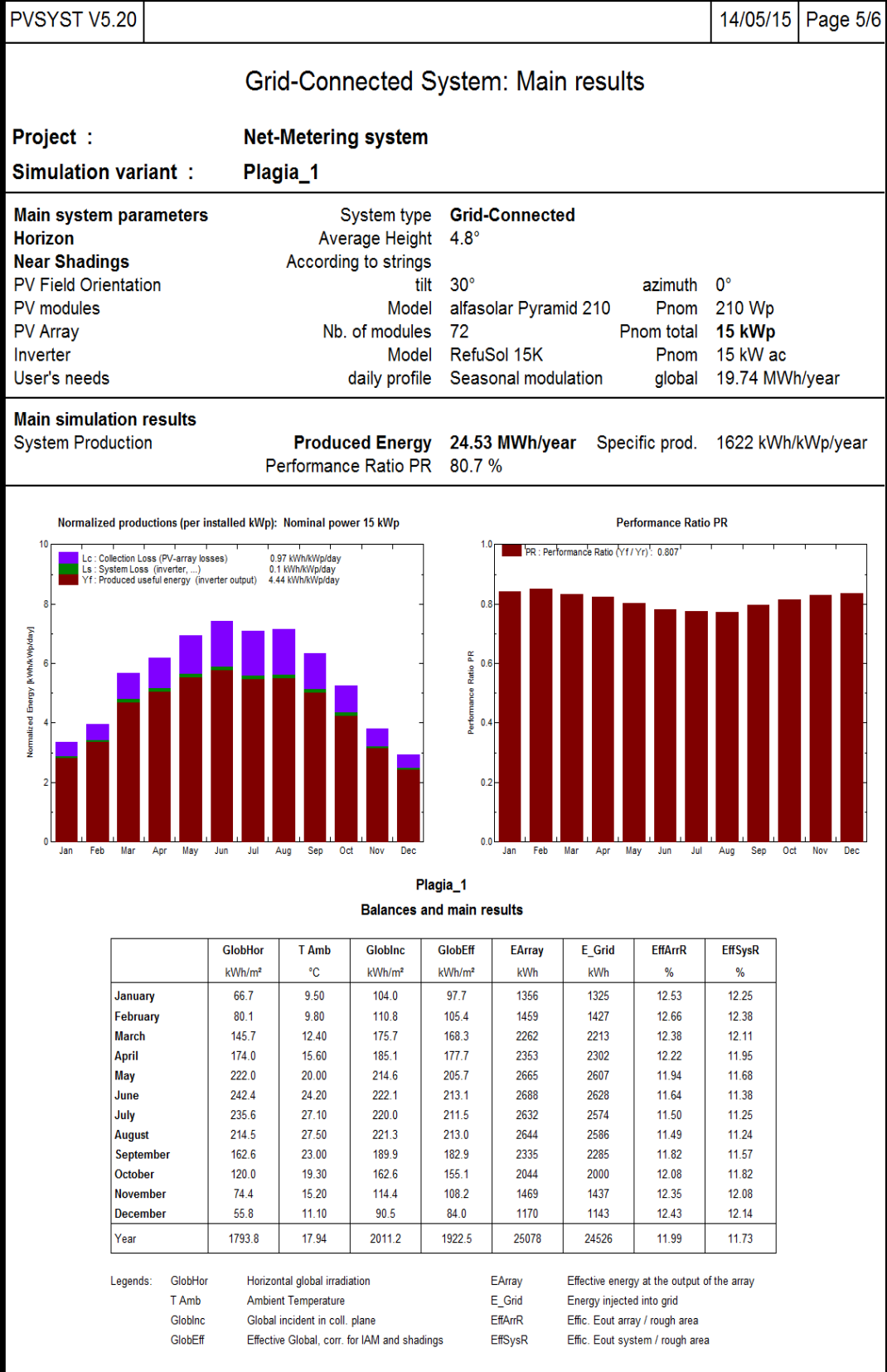
Εικόνα 5.40: Σελίδα 2 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.



Εικόνα 5.41: Σελίδα 3 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.



Εικόνα 5.42: Σελίδα 4 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.



Εικόνα 5.43: Σελίδα 5 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

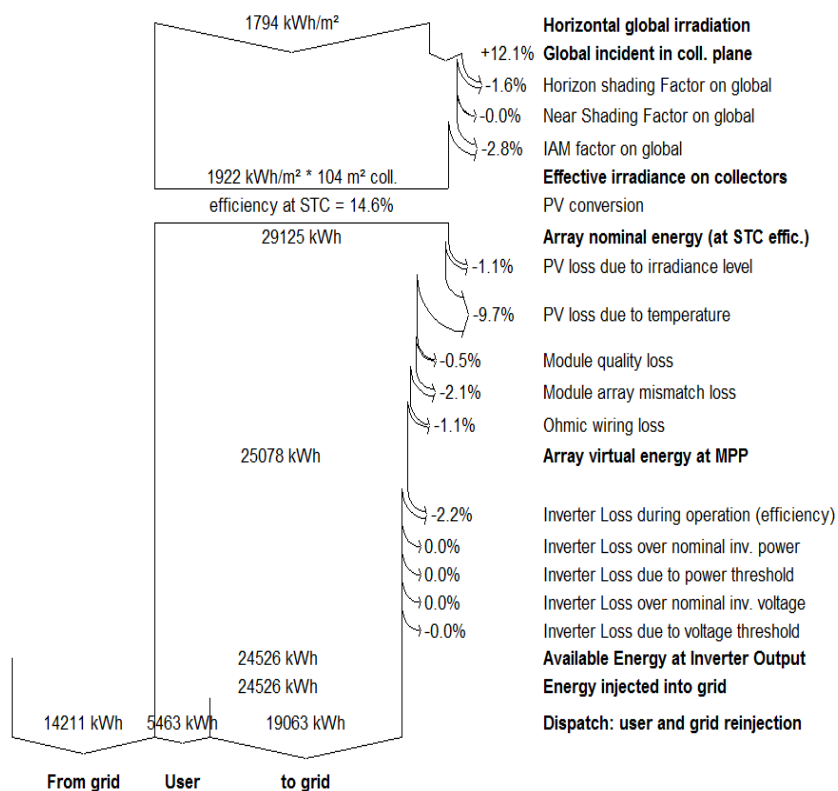
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Net-Metering system

Simulation variant : Plagia_1

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
Horizon	Average Height	4.8°		
Near Shadings	According to strings			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	alfasolar Pyramid 210	Pnom	210 Wp
PV Array	Nb. of modules	72	Pnom total	15 kWp
Inverter	Model	RefuSol 15K	Pnom	15 kW ac
User's needs	daily profile	Seasonal modulation	global	19.67 MWh/year

Loss diagram over the whole year



Εικόνα 5.44: Σελίδα 6 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

5.14. Σύστημα στήριξης του ΦΒ συστήματος

Η τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων θα πραγματοποιηθεί σε χώρο γηπέδου με την απαίτηση ανοικτού ορίζοντα για την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης. Τα ΦΒ πλαίσια θα τοποθετηθούν σε σταθερές βάσεις στήριξης, κάτι το οποίο απαιτείται από την παράγραφο 7 του άρθρου 1 της ΥΑ Αριθμ. ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ. 24461. Τα στηρίγματα θα είναι σταθερά και θα εξασφαλίζουν σταθερή γωνία κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο για τα ΦΒ πλαίσια κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Για την επιλογή των κατάλληλων βάσεων στήριξης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “RETScreen Plus” μέσω του οποίου προσδιορίζεται η μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα. Η ταχύτητα του ανέμου αποτελεί βασικό μετεωρολογικό στοιχείο και συμπεριλαμβάνεται στις τεχνικές προδιαγραφές των βάσεων στήριξης των ΦΒ πλαισίων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πως η ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου είναι 3,6m/s (12,96km/h) και η μέγιστη μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου είναι 3,9m/s (14,04km/h). Τα στοιχεία αυτά αφορούν μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην Πρέβεζα, η οποία είναι η πλησιέστερη στην εγκατάστασή μας περιοχή με απόσταση 15 χιλιόμετρα.

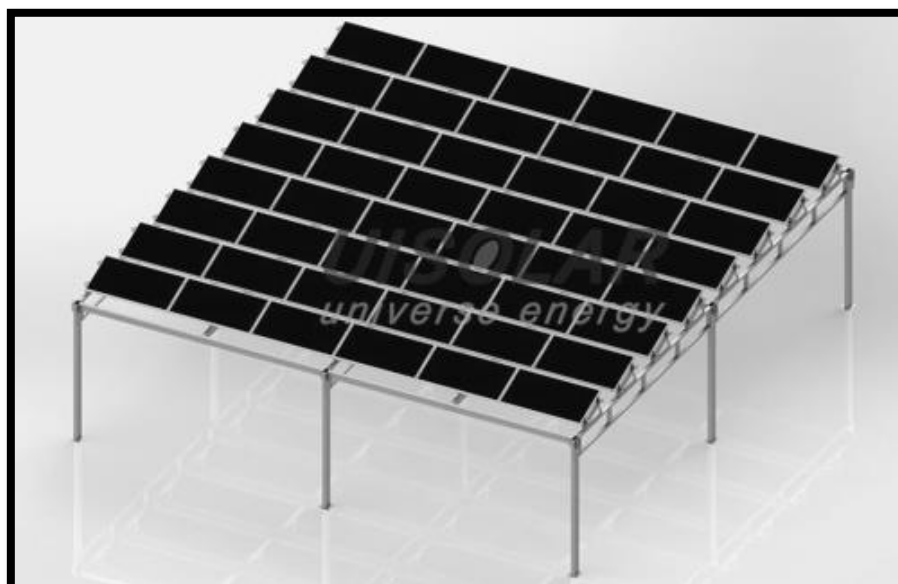
Θέση κλιματολογικών δεδομένων	
Preveza/Aktion (AFB)	
Μήνας	Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο ▼
Ιανουάριος	3,8
Φεβρουάριος	3,9
Μάρτιος	3,8
Απρίλιος	3,6
Μαίος	3,4
Ιούνιος	3,6
Ιούλιος	3,6
Αύγουστος	3,5
Σεπτέμβριος	3,3
Οκτώβριος	3,3
Νοέμβριος	3,7
Δεκέμβριος	3,9
Ετήσιο	3,6
Πηγή	Εδαφος

Εικόνα 5.45: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Πρέβεζας από το λογισμικό RETScreen Plus.

Στην παρούσα εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθούν οι σταθερές βάσεις στήριξης “FARMLAND-ST6 ” της εταιρίας “UISOLAR”, των οποίων η χρήση είναι εφαρμόσιμη σε αγροτικές εκτάσεις. Το σύστημα υποστήριξης των ΦΒ πλαισίων είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένο εν θερμώ ατσάλι και ανοδιωμένο αλουμίνιο που προσφέρουν υψηλή αντιδιαβρωτική προστασία κατάλληλη για αγροτικές εκτάσεις[8]. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και η τρισδιάστατη αναπαράσταση του συστήματος στήριξης παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.

Technical Information
Install site: Open ground
Tilt Angle: 10~60deg
Max Wind Speed: <60m/s
Snow Load: <1.4KN/m ²
Standard: JIS C8955:2011 and AS/NZS 1170
Material: Aluminum alloy Al6005-T5& Stainless steel 304 & Hot galvanized steel
Anticorrosive: Anodized & Hot galvanized
Color: Natural or Optional
Warranty: Ten years warranty and up twenty five years service life

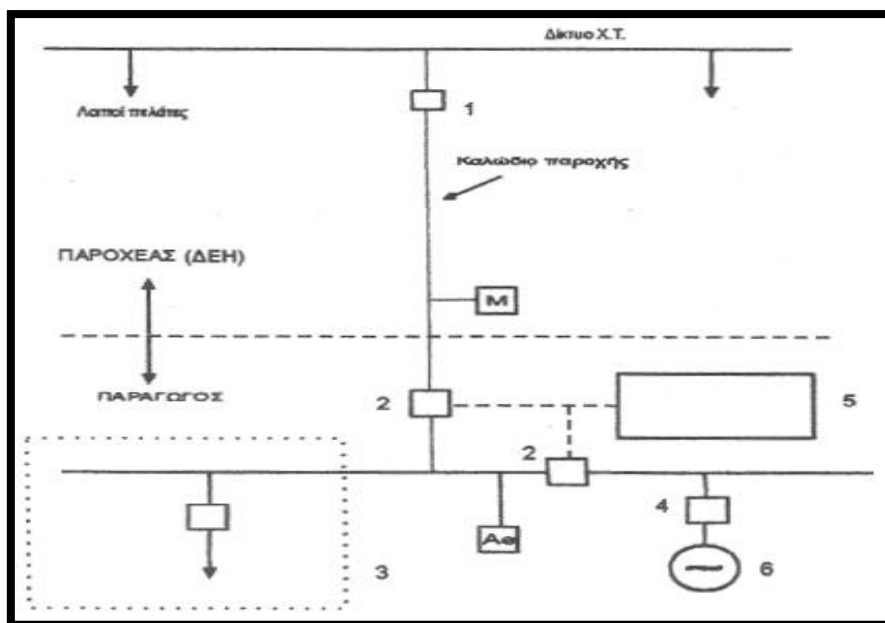
Εικόνα 5.46: Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος στήριξης των ΦΒ πλαισίων.



Εικόνα 5.47: Τρισδιάσταση αναπαράσταση του συστήματος στήριξης των ΦΒ πλαισίων.

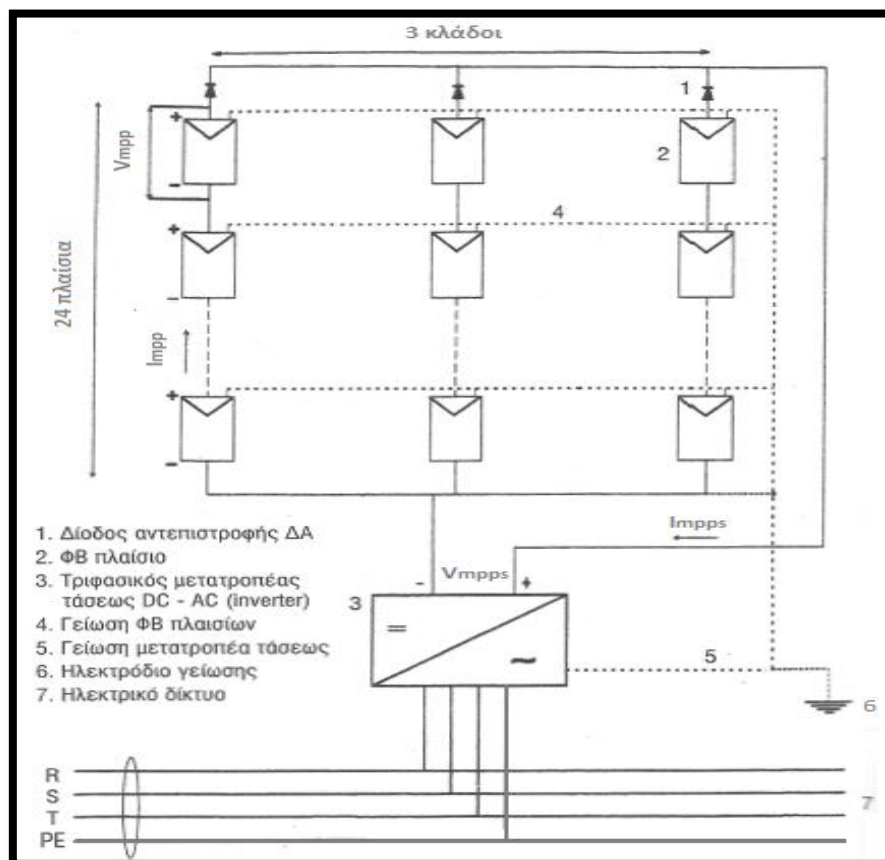
5.15. Σχεδιασμός ΦΒ συστήματος

Το διάγραμμα σύνδεσης ενός ΦΒ συστήματος με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί βασικό βήμα για τον τελικό υπολογισμό. Το παρόν ΦΒ σύστημα περιλαμβάνει τις ΦΒ συστοιχίες, το αναστροφέα τάσεως DC-AC και δύο μετρητές. Ο τρόπος σύνδεσης του ΦΒ συστήματος με το δίκτυο παροχής εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ αιχμής της ΦΒ γεννήτριας και δεδομένου πως το εξεταζόμενο ΦΒ σύστημα έχει ονομαστική ισχύ **15,1kW_p**, η σύνδεση θα πραγματοποιηθεί με το δίκτυο Χαμηλής Τάσης.



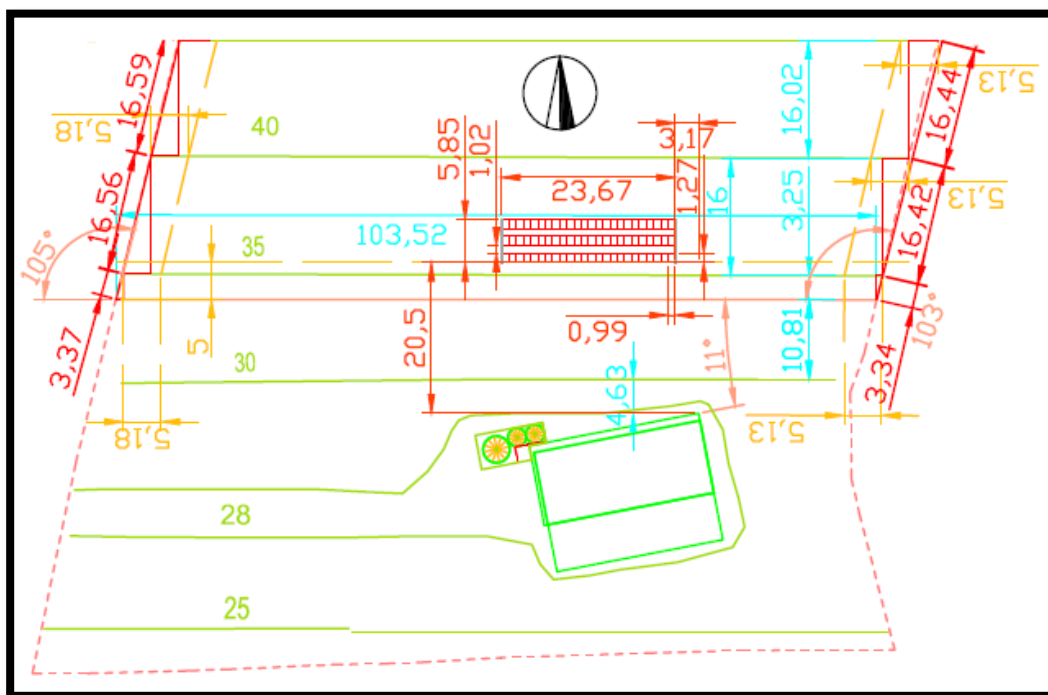
Εικόνα 5.48: Διάγραμμα σύνδεσης του ΦΒ συστήματος με δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας Χαμηλής Τάσης. (1: Μικρό ασφαλειοκιβώτιο, 2: Αυτόματος διακόπτης της σύνδεσης, 3: Φορτίο με ιδιοκατανάλωση, 4: Διακόπτης παραλληλισμού, 5: Προστατευτικές διατάξεις, 6: ΦΒ συστοιχίες και αναστροφέας, Μ: Μετρητής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, Αε: Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας παραγωγού).

Πηγή: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (2011) [9].

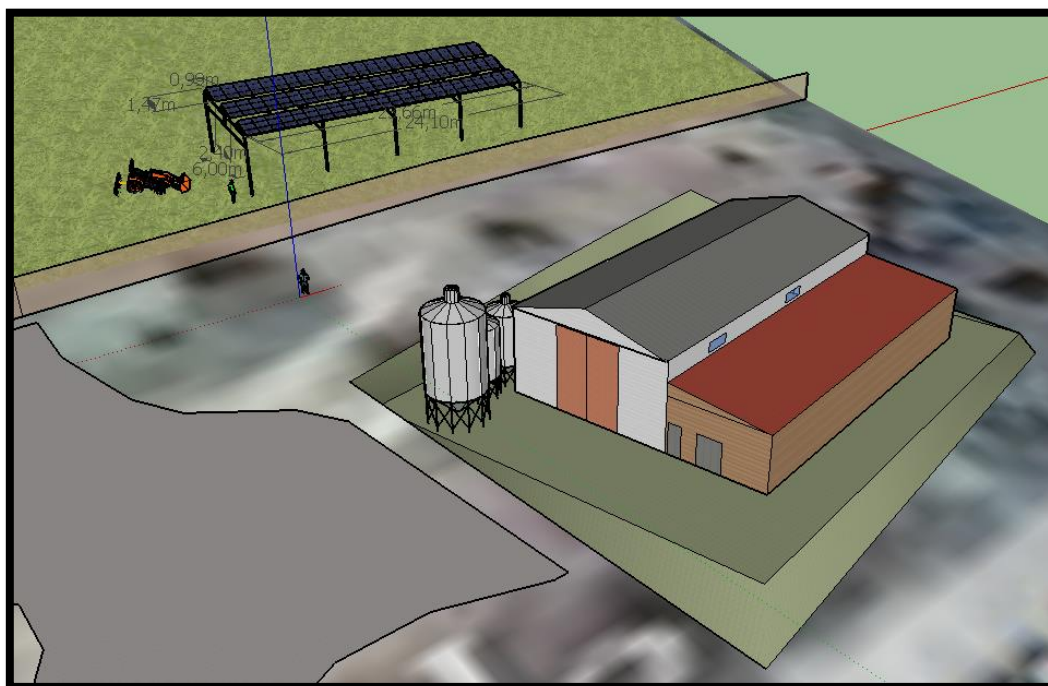


Εικόνα 5.49: Το ΦΒ σύστημα εγκατεστημένης ισχύος 15,1kW_p, συνδεδεμένο στο δίκτυο με τον τριφασικό αναστροφέα τάσεως DC-AC.

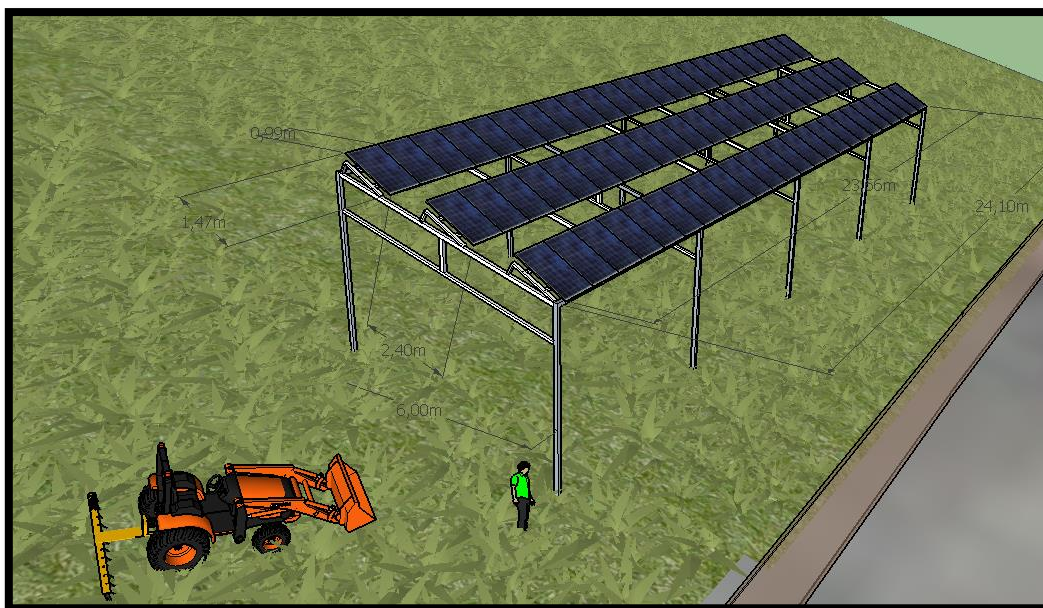
Πηγή: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (2011) [9].



Εικόνα 5.50: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) μέρους του οικοπέδου συμπεριλαμβανομένου του ΦΒ συστήματος.
Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».



Εικόνα 5.51: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κτηνοτροφικής μονάδας και του ΦΒ συστήματος.
Πηγή: Λογισμικό σχεδίασης "Sketchup".



Εικόνα 5.52: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος.
Πηγή: Λογισμικό σχεδίασης “Sketcup”.

5.16. Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης

Η επένδυση εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου αποτελεί για την επιχείρηση τρόπο μείωσης του κόστους λειτουργίας της και μέθοδο αποφυγής δυσμενών επιπτώσεων στο κόστος παραγωγής από αυξήσεις στην τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος. Για την αποτελεσματική αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου θα προσδιοριστούν πέντε δείκτες αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων (NPV, IRR, DPP, PVR και ORR). Η επιχείρηση θα χρηματοδοτήσει την επένδυση μέσω ιδίων κεφαλαίων σε ποσοστό 100% με επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων 2%. Επιπροσθέτως θα ασφαλίσει το ΦΒ σύστημα προς 0,5% του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Τα λειτουργικά έξοδα λόγω συντήρησης ανέρχονται επίσης στο 0,5% του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Οι ετήσιες εκροές ασφάλισης και συντήρησης αυξάνονται ετησίως σύμφωνα με τον πληθωρισμό του οποίου η τιμή ορίζεται στο 3,2%. Στις ετήσιες εισροές υπολογίζονται τα κέρδη που οφείλονται στη διαφορά χρέωσης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος πριν από τη συμμετοχή στο πρόγραμμα “Net-metering” από τη χρέωση κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια αυτής. Οι χρεώσεις κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος θεωρείται ότι αυξάνονται ετησίως κατά 8%. Το ΦΒ σύστημα παρουσιάζει ετήσια πτώση απόδοσης ίση με 0,9%, επηρεάζοντας την παραγόμενη από το ΦΒ σύστημα ηλεκτρική ενέργεια, την εξερχόμενη και την εισερχόμενη από το δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια καθώς και την ιδιοκατανάλωση, θεωρώντας ανεπηρέαστη τη συνολική κατανάλωση (όπως ορίστηκαν στην υποενότητα 5.9.). Η ετήσια μείωση τιμών των αναστροφέν τάσης ορίζεται στο 5% (απαιτείται για τον προσδιορισμό του κόστους λόγω αντικατάστασής του το 16^ο έτος) και η υπολειμματική αξία του ΦΒ συστήματος στο τέλος της 25ετούς σύμβασης θεωρείται μηδενική. Οι τεχνικές αξιολόγησης της επένδυσης θα υπολογιστούν ως προς τα ίδια κεφάλαια και οι σχέσεις υπολογισμού που

παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη περίπτωση χρηματοδότησης.

Πίνακας 5.10: Τεχνικές αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων[10],[11].

Τεχνική αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου	Σχέση υπολογισμού	Κριτήριο λήψης απόφασης
NPV (Net Present Value): Καθαρή Παρούσα Αξία	$NPV = -K_{0,Eq} + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k_{Eq})^{t-1}} + \frac{YA_N}{(1+k_{Eq})^N} \quad (5.2)$	NPV>0 αποδοχή NPV=0 αδιαφορία NPV<0 απόρριψη
IRR (Internal Rate of Return): Εσωτερικός Βαθμός απόδοσης	$-K_{0,Eq} + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+IRR)^{t-1}} = 0 \quad (5.3)$	IRR>k _{Eq} αποδοχή IRR=k _{Eq} αδιαφορία IRR<k _{Eq} απόρριψη
DPP (Discounted Payback Period): Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής	$-K_{0,Eq} + \sum_{t=1}^{DPP} \frac{KTP_t}{(1+k_{Eq})^{t-1}} = 0 \quad (5.4)$	-
PVR (Present Value Ratio): Λόγος Παρούσας Αξίας	$PVR = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k_{Eq})^{t-1}}}{K_{0,Eq}} \quad (5.5)$	PVR>1 αποδοχή PVR=1 αδιαφορία PVR<1 απόρριψη
ORR (Overall Rate of Return): Συνολικός Βαθμός Απόδοσης	$ORR = PVR - 1 \quad (5.6)$	ORR>0 αποδοχή ORR=0 αδιαφορία ORR<0 απόρριψη

$K_{0,Eq}$ = Τα ίδια κεφάλαια της επένδυσης.

t = Το έτος διεξαγωγής της μελέτης.

KTP_t = Η Καθαρή Ταμειακή Ροή κάθε έτους.

k_{Eq} = το επιτόκιο αναγωγής, που εκφράζει την επιθυμητή απόδοση των ιδίων κεφαλαίων.

N = Η διάρκεια της επένδυσης σε έτη.

YA_N = Η υπολειμματική αξία της επένδυσης στο N-οστό έτος.

Πίνακας 5.11: Αρχικό κόστος της επένδυσης εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος.

Αρχικό κόστος	Τιμή ανά W_p (€/W _p)	Εγκατεστημένη Ισχύς (W _p)	Τελική τιμή (€)
ΦΒ πλαίσια	0,861	15100	13001,1
Αναστροφέας τάσεως DC-AC		15000	3019,5
Σύστημα στήριξης	0,246	15100	3714,6
Πίνακες και καλωδιώσεις			861
Μηχανολογικός-Οικοδομικός-Ηλεκτρολογικός Σχεδιασμός			500
Μεταφορά-Εγκατάσταση			1500
Άδειες			390

Σύνολο			22986,2
---------------	--	--	----------------

Πίνακας 5.12: Δεδομένα επένδυσης του ΦΒ συστήματος.

Αρχικό κόστος ΦΒ συστήματος (€)	22986,2
Ίδια κεφάλαια επένδυσης (€)	22986,2
Πληθωρισμός (%)	3,2
Επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων k_{Eq} (%)	2
Ασφαλιστικές εισφορές (% του αρχικού κόστους)	0,5
Λειτουργικά έξοδα επένδυσης (% του αρχικού κόστους)	0,5
Ετήσια πτώση απόδοσης ΦΒ σταθμού (%)	0,9
Ετήσια αύξηση τιμολογίων ΔΕΗ (%)	8
Ετήσια μείωση τιμών αναστροφέν τάσης (%)	5

Πίνακας 5.13: Ετήσια και τετραμηνιαία παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το ΦΒ, εξερχόμενη και εισερχόμενη από το δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια, ιδιοκατανάλωση και κατανάλωση σε διάρκεια 25 ετών με ετήσια πτώση παραγωγής του ΦΒ ίση με 0,9% η οποία επηρεάζει την παραγόμενη από το ΦΒ σύστημα ενέργεια και την εξερχόμενη προς το δίκτυο ενέργεια οι οποίες προκύπτουν από τις σχέσεις $\Pi.\Phi\text{B}_t = \Pi.\Phi\text{B}_{t-1} \cdot 0,09$ και $\text{ΕΞ}_t = \text{ΕΞ}_{t-1} \cdot 0,09$ αντίστοιχα για $t \geq 2$. Η ιδιοκατανάλωση προκύπτει από τη σχέση $\text{ΙΔ}_t = \Pi.\Phi\text{B}_t - \text{ΕΞ}_t$, η εισερχόμενη ενέργεια προκύπτει από τη σχέση $\text{ΕΙΣ}_t = \Sigma.\text{Κ}_t + \text{ΕΞ}_t - \Pi.\Phi\text{B}_t$ και η συνολική κατανάλωση παραμένει σταθερή. Οι τιμές του πρώτου έτους προκύπτουν από το λογισμικό PVSYST.

Έτος	Απόδοση ΦΒ συστήματος (%)	Είδος ηλεκτρικής ενέργειας	1° τετράμηνο (1/1-1/5)	2° τετράμηνο (1/5-1/9)	3° τετράμηνο (1/9-1/1)	Διάρκεια έτους
1	100	Π.ΦΒ. (kWh)	7267	10395	6864	24526
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1853	1998	1612	5463
		ΕΞ. (kWh)	5414	8397	5252	19063
		ΕΙΣ. (kWh)	6276	3857	4078	14211
2	99,1	Π.ΦΒ. (kWh)	7201,597	10301,445	6802,224	24305,266
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1836,323	1998,7	1612,9	5447,923
		ΕΞ. (kWh)	5365,274	8321,427	5204,732	18891,433
		ΕΙΣ. (kWh)	6292,677	3874,982	4092,508	14260,167
3	98,2081	Π.ΦΒ. (kWh)	7136,782627	10208,732	6741,003984	24086,51861
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1819,796093	1998,7	1612,9	5431,396093
		ΕΞ. (kWh)	5316,986534	8246,534157	5157,889412	18721,4101
		ΕΙΣ. (kWh)	6309,203907	3892,802162	4106,885428	14308,8915
4	97,3242271	Π.ΦΒ. (kWh)	7072,551583	10116,85341	6680,334948	23869,73994
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1803,417928	1998,7	1612,9	5415,017928
		ΕΞ. (kWh)	5269,133655	8172,31535	5111,468407	18552,91741
		ΕΙΣ. (kWh)	6325,582072	3910,461943	4121,133459	14357,17747
5	96,44830906	Π.ΦΒ. (kWh)	7008,898619	10025,80173	6620,211934	23654,91228

		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1787,187167	1998,7	1612,9	5398,787167
		ΕΞ. (kWh)	5221,711452	8098,764511	5065,465192	18385,94116
		ΕΙΣ. (kWh)	6341,812833	3927,962785	4135,253258	14405,02888
6	95,58027427	Π.ΦΒ. (kWh)	6945,818532	9935,569511	6560,630026	23442,01807
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1771,102482	1998,7	1612,9	5382,702482
		ΕΞ. (kWh)	5174,716049	8025,875631	5019,876005	18220,46768
7	94,72005181	ΕΙΣ. (kWh)	6357,897518	3945,30612	4149,245979	14452,44962
		Π.ΦΒ. (kWh)	6883,306165	9846,149385	6501,584356	23231,03991
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1755,16256	1998,7	1612,9	5366,76256
8	93,86757134	ΕΞ. (kWh)	5128,143605	7953,64275	4974,697121	18056,48348
		ΕΙΣ. (kWh)	6373,83744	3962,493365	4163,112765	14499,44357
		Π.ΦΒ. (kWh)	6821,356409	9757,534041	6443,070097	23021,96055
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
9	93,0227632	ΙΔ. (kWh)	1739,366097	1998,7	1612,9	5350,966097
		ΕΞ. (kWh)	5081,990312	7882,059965	4929,924847	17893,97512
		ΕΙΣ. (kWh)	6389,633903	3979,525925	4176,85475	14546,01458
		Π.ΦΒ. (kWh)	6759,964202	9669,716234	6385,082466	22814,7629
10	92,18555833	Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1723,711802	1998,7	1612,9	5335,311802
		ΕΞ. (kWh)	5036,2524	7811,121426	4885,555523	17732,92935
		ΕΙΣ. (kWh)	6405,288198	3996,405191	4190,473057	14592,16645
11	91,3558883	Π.ΦΒ. (kWh)	6699,124524	9582,688788	6327,616724	22609,43004
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1708,198396	1998,7	1612,9	5319,798396
		ΕΞ. (kWh)	4990,926128	7740,821333	4841,585523	17573,33298
12	90,53368531	ΕΙΣ. (kWh)	6420,801604	4013,132545	4203,9688	14637,90295
		Π.ΦΒ. (kWh)	6638,832403	9496,444589	6270,668173	22405,94517
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1692,82461	1998,7	1612,9	5304,42461
13	89,71888214	ΕΞ. (kWh)	4946,007793	7671,153941	4798,011254	17415,17299
		ΕΙΣ. (kWh)	6436,17539	4029,709352	4217,343081	14683,22782
		Π.ΦΒ. (kWh)	6579,082911	9410,976588	6214,23216	22204,29166
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
14	88,9114122	ΙΔ. (kWh)	1677,589189	1998,7	1612,9	5289,189189
		ΕΞ. (kWh)	4901,493723	7602,113555	4754,829152	17258,43643
		ΕΙΣ. (kWh)	6451,410811	4046,136968	4230,596993	14728,14477
		Π.ΦΒ. (kWh)	6519,871165	9326,277799	6158,30407	22004,45303
15	88,11120949	Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1662,490886	1998,7	1612,9	5274,090886
		ΕΞ. (kWh)	4857,380279	7533,694533	4712,03569	17103,1105
		ΕΙΣ. (kWh)	6466,509114	4062,416735	4243,73162	14772,65747
16	87,31820861	Π.ΦΒ. (kWh)	6461,192325	9242,341298	6102,879334	21806,41296
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1647,528468	1998,7	1612,9	5259,128468
		ΕΞ. (kWh)	4813,663857	7465,891283	4669,627369	16949,18251
17	86,11120949	ΕΙΣ. (kWh)	6481,471532	4078,549984	4256,748035	14816,76955
		Π.ΦΒ. (kWh)	6403,041594	9159,160227	6047,95342	21610,15524
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1632,700712	1998,7	1612,9	5244,300712
18	85,11120949	ΕΞ. (kWh)	4770,340882	7398,698261	4627,600723	16796,63987
		ΕΙΣ. (kWh)	6496,299288	4094,538034	4269,647303	14860,48463
		Π.ΦΒ. (kWh)	6345,414219	9076,727785	5993,521839	21415,66384
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
19	84,11120949	ΙΔ. (kWh)	1618,006405	1998,7	1612,9	5229,606405
		ΕΞ. (kWh)	4727,407814	7332,109977	4585,952316	16645,47011

17	86,53234473	ΕΙΣ. (kWh)	6510,993595	4110,382192	4282,430477	14903,80626
		Π.ΦΒ. (kWh)	6288,305491	8995,037235	5939,580142	21222,92287
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1603,444348	1998,7	1612,9	5215,044348
		ΕΞ. (kWh)	4684,861144	7266,120987	4544,678745	16495,66088
18	85,75355363	ΕΙΣ. (kWh)	6525,555652	4126,083752	4295,098603	14946,73801
		Π.ΦΒ. (kWh)	6231,710742	8914,0819	5886,123921	21031,91656
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1589,013349	1998,7	1612,9	5200,613349
		ΕΞ. (kWh)	4642,697393	7200,725898	4503,776636	16347,19993
19	84,98177164	ΕΙΣ. (kWh)	6539,986651	4141,643999	4307,652716	14989,28337
		Π.ΦΒ. (kWh)	6175,625345	8833,855162	5833,148806	20842,62931
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1574,712229	1998,7	1612,9	5186,312229
		ΕΞ. (kWh)	4600,913117	7135,919365	4463,242647	16200,07513
20	84,2169357	ΕΙΣ. (kWh)	6554,287771	4157,064203	4320,093841	15031,44582
		Π.ΦΒ. (kWh)	6120,044717	8754,350466	5780,650466	20655,04565
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1560,539819	1998,7	1612,9	5172,139819
		ΕΞ. (kWh)	4559,504899	7071,696091	4423,073463	16054,27445
21	83,45898328	ΕΙΣ. (kWh)	6568,460181	4172,345625	4332,422997	15073,2288
		Π.ΦΒ. (kWh)	6064,964315	8675,561312	5728,624612	20469,15024
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1546,49496	1998,7	1612,9	5158,09496
		ΕΞ. (kWh)	4518,469355	7008,050826	4383,265802	15909,78598
22	82,70785243	ΕΙΣ. (kWh)	6582,50504	4187,489514	4344,64119	15114,63574
		Π.ΦΒ. (kWh)	6010,379636	8597,48126	5677,066991	20284,92789
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1532,576506	1998,7	1612,9	5144,176506
		ΕΞ. (kWh)	4477,80313	6944,978368	4343,81641	15766,59791
23	81,96348176	ΕΙΣ. (kWh)	6596,423494	4202,497108	4356,749419	15155,67002
		Π.ΦΒ. (kWh)	5956,286219	8520,103929	5625,973388	20102,36354
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1518,783317	1998,7	1612,9	5130,383317
		ΕΞ. (kWh)	4437,502902	6882,473563	4304,722062	15624,69853
24	81,22581042	ΕΙΣ. (kWh)	6610,216683	4217,369634	4368,748674	15196,33499
		Π.ΦΒ. (kWh)	5902,679643	8443,422993	5575,339627	19921,44226
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1505,114267	1998,7	1612,9	5116,714267
		ΕΞ. (kWh)	4397,565376	6820,531301	4265,979563	15484,07624
25	80,49477813	ΕΙΣ. (kWh)	6623,885733	4232,108308	4380,639936	15236,63398
		Π.ΦΒ. (kWh)	5849,555527	8367,432186	5525,161571	19742,14928
		Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
		ΙΔ. (kWh)	1491,568239	1998,7	1612,9	5103,168239
		ΕΞ. (kWh)	4357,987288	6759,146519	4227,585747	15344,71955
		ΕΙΣ. (kWh)	6637,431761	4246,714333	4392,424177	15276,57027

Πίνακας 5.14: Δεδομένα τιμολογίου επιχείρησης.

ΣΙ (Συμφωνημένη Ισχύς)	Είδος Παροχής	ΦΠΑ	Τιμολόγιο	Περίοδος Τιμολογίου
25KVA	3Φ	0%	Εμπορικό Γ21	120 ημέρες

Πίνακας 5.15: Ετήσια και τετραμηνιαία διαφορά εξερχόμενης από εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε διάρκεια 25 ετών.

Έτος	1 ^ο τετράμηνο (1/1-1/5) Εισερχόμενη- Εξερχόμενη (kWh)	2 ^ο τετράμηνο (1/5-1/9) Εισερχόμενη- Εξερχόμενη (kWh)	3 ^ο τετράμηνο (1/9-1/1) Εισερχόμενη- Εξερχόμενη (kWh)	Διάρκεια έτους Εισερχόμενη- Εξερχόμενη (kWh)
1	862	-4540	-1174	-4852
2	927,403	-4446,445	-1112,224	-4631,266
3	992,217373	-4353,732	-1051,003984	-4412,518606
4	1056,44842	-4261,85341	-990,3349481	-4195,739939
5	1120,10138	-4170,80173	-930,2119336	-3980,912279
6	1183,18147	-4080,56951	-870,6300262	-3768,018069
7	1245,69384	-3991,14939	-811,584356	-3557,039906
8	1307,64359	-3902,53404	-753,0700968	-3347,960547
9	1369,0358	-3814,71623	-695,0824659	-3140,762902
10	1429,87548	-3727,68879	-637,6167237	-2935,430036
11	1490,1676	-3641,44459	-580,6681732	-2731,945165
12	1549,91709	-3555,97659	-524,2321596	-2530,291659
13	1609,12883	-3471,2778	-468,3040702	-2330,453034
14	1667,80768	-3387,3413	-412,8793336	-2132,412957
15	1725,95841	-3304,16023	-357,9534196	-1936,15524
16	1783,58578	-3221,72778	-303,5218388	-1741,663843
17	1840,69451	-3140,03723	-249,5801422	-1548,922868
18	1897,28926	-3059,0819	-196,123921	-1357,916563
19	1953,37465	-2978,85516	-143,1488057	-1168,629313
20	2008,95528	-2899,35047	-90,65046642	-981,0456497
21	2064,03569	-2820,56131	-38,62461222	-795,1502388
22	2118,62036	-2742,48126	12,93300929	-610,9278867
23	2172,71378	-2665,10393	64,02661221	-428,3635357
24	2226,32036	-2588,42299	114,6603727	-247,4422639
25	2279,44447	-2512,43219	164,8384293	-68,1492835

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 5.15 καθίστανται σαφή τα εξής δεδομένα:

1. Εάν ο πρώτος εκκαθαριστικός λογαριασμός κατανάλωσης, μετά την ενεργοποίηση του ΦΒ συστήματος, αντιστοιχεί στο πρώτο τετράμηνο προκύπτει χρεωστέα ενέργεια στο ανταγωνιστικό σκέλος του λογαριασμού διότι η διαφορά (εισερχόμενη μείον εξερχόμενη ενέργεια) είναι θετική.
2. Εάν ο πρώτος εκκαθαριστικός λογαριασμός κατανάλωσης, μετά την ενεργοποίηση του ΦΒ συστήματος, αντιστοιχεί στο δεύτερο τετράμηνο δεν προκύπτει χρεωστέα ενέργεια στο ανταγωνιστικό σκέλος του λογαριασμού και η εν λόγω διαφορά (αρνητική) πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό, ως πρόσθετη εξερχόμενη ενέργεια. Η πίστωση αυτή οδηγεί στο επόμενο τετράμηνο σε αρνητική διαφορά για όλα τα έτη της σύμβασης, η οποία είναι μεγαλύτερη σε απόλυτες τιμές από τη θετική διαφορά του πρώτου τετραμήνου με αποτέλεσμα ο καταναλωτής στη διάρκεια σύμβασης και των 25 ετών να μη χρειαστεί να καταβάλλει σε καμία περίπτωση τις ανταγωνιστικές χρεώσεις.
3. Εάν ο πρώτος εκκαθαριστικός λογαριασμός κατανάλωσης, μετά την ενεργοποίηση του ΦΒ συστήματος, αντιστοιχεί στο τρίτο τετράμηνο τα τρία πρώτα έτη της σύμβασης η διαφορά είναι αρνητική και η πίστωση στον επόμενο

εκκαθαριστικό συμβάλλει σε μη χρεωστέα ενέργεια στο ανταγωνιστικό σκέλος του λογαριασμού. Από το τέταρτο έως και το εικοστό πρώτο έτος η διαφορά είναι αφενός αρνητική, αφετέρου όμως δεν ξεπερνά σε απόλυτη τιμή τη διαφορά του επόμενου τετραμήνου με αποτέλεσμα ο καταναλωτής να πρέπει να καταβάλλει ανταγωνιστικές χρεώσεις. Από το εικοστό δεύτερο έως και το εικοστό πέμπτο έτος της σύμβασης η διαφορά είναι θετική με αποτέλεσμα και πάλι να πρέπει να καταβληθούν οι ανταγωνιστικές χρεώσεις.

Συμπερασματικά η **περίπτωση (2.)** αποτελεί τη βέλτιστη και πιο συμφέρουσα οικονομικά για τον καταναλωτή λύση λόγω απουσίας των ανταγωνιστικών χρεώσεων και με βάση αυτή θα διενεργηθεί παρακάτω ο υπολογισμός των χρεώσεων ενέργειας.

Πίνακας 5.16: Παρουσίαση αναλυτικών χρεώσεων κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Ανταγωνιστικές Χρεώσεις		Συμβολισμός
Χρέωση Ενέργειας (€/kWh)	0,10153	A
Πάγια Χρέωση (€/μήνα)	0,53	B
Δίκτυο Μεταφοράς		
Χρέωση Ισχύος (€/kVA*ΣΙ/έτος)	0,52	Γ
Χρέωση Ενέργειας (€/kWh)	0,00454	Δ
Λοιπές Χρεώσεις (€/kWh)	0,00046	E
Δίκτυο Διανομής		
Χρέωση Ισχύος (€/kVA*ΣΙ/έτος)	1,5	Z
Χρέωση Ενέργειας (€/kWh)	0,019	H
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€/kWh)	0,01824	Θ
ΕΦΚ (€/kWh)	0,005	I
Ειδικό Τέλος 5‰	0,0005	K
ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,03089	Λ

Πίνακας 5.17: Παρουσίαση τρόπου υπολογισμού χρέωσης κατανάλωσης πριν και μετά (πρώτο έτος) τη σύμβαση ενεργειακού συμφηφισμού στην περίπτωση εκκίνησης της σύμβασης το δεύτερο τετράμηνο.

Περίοδος τιμολόγησης	1 ^ο τετράμηνο (1/1-1/5)	2 ^ο τετράμηνο (1/1-1/5)	3 ^ο τετράμηνο (1/1-1/5)	Σύνολο για το έτος
Σ.Κ. (kWh)	8129	5855	5690	19674
Σχέση υπολογισμού χρέωσης πριν το Net-metering	$\text{Χρέωση} = \Sigma . K . * (A + \Delta + E + H + \Theta + I + \Lambda) + \text{πλήθος μηνών} * B + \Sigma I * \left(\frac{\text{Πλήθος ημερών περιόδου}}{365} \right) * (\Gamma + Z) \text{ (5.7)}$			Άθροισμα χρεώσεων τετραμήνων
Χρέωση (Χ.Π.) πριν το Net-metering (€)	1483,24338	1073,974608	1044,109852	3601,32784

ΕΙΣ. (kWh)	6276	3857	4078	14211
Σχέση υπολογισμού χρέωσης μετά το Net-metering	$\text{Χρέωση} = \Sigma . K . * \theta + \text{ΕΙΣ.} * (\Delta + E + H + I + K + \Lambda) + \Sigma I$ $* \left(\frac{\text{Πλήθος ημερών περιόδου}}{365} * (\Gamma + Z) \right) (5.8)$			Άθροισμα χρεώσεων τετραμήνων
Χρέωση (Χ.Μ.) μετά το Net-metering (€)	543,8833397	356,7372382	366,9354721	1267,55605
Ταμειακές εισροές Net-Metering (ΤΕΙΣ=Χ.Π.-Χ.Μ.)	939,36004	717,23737	677,17438	2333,77179

Η μεθοδολογία εύρεσης των εισροών λόγω της σύμβασης Net-metering που παρουσιάστηκε στον πίνακα 5.17 ακολουθείται για τον υπολογισμό των εισροών κάθε έτους σε σύνολο 25 ετών. Για κάθε είδος χρέωσης (Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η,Θ,Ι,Κ,Λ) κατανάλωσης η τιμή χρέωσης μεταβάλλεται κάθε επόμενο έτος λόγω της ετήσιας αύξησης των τιμολογίων σε ποσοστό 8% σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Χρέωση}_t = \text{Χρέωση}_{\text{πρώτου έτους}} * (1 + 0,08)^{t-1} \text{ για } t \geq 1 \quad (5.9)$$

Πίνακας 5.18: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων και τετραμηνιαίων ταμειακών εισροών Net-metering.

	Ταμειακές εισροές Net-metering (€) (Ονομαστικές)			
Έτος	1 ^ο τετράμηνο (1/1-1/5)	2 ^ο τετράμηνο (1/5-1/9)	3 ^ο τετράμηνο (1/9-1/1)	Σύνολο
1	939,36004	717,23737	677,17438	2333,77179
2	1008,098163	767,7040342	725,7714192	2501,573616
3	1082,189737	822,0510388	778,1295588	2682,370334
4	1162,05973	880,5852454	834,5468099	2877,191785
5	1248,167034	943,6379836	895,3449595	3087,149977
6	1341,007176	1011,567007	960,8714704	3313,445653
7	1441,115245	1084,758603	1031,501534	3557,375382
8	1549,069058	1163,629877	1107,640288	3820,339223
9	1665,492573	1248,631215	1189,725209	4103,848998
10	1791,059585	1340,248942	1278,228698	4409,537225
11	1926,497702	1439,008195	1373,660874	4739,166771
12	2072,592655	1545,47603	1476,57259	5094,641275
13	2230,192943	1660,26477	1587,558687	5478,0164
14	2400,214855	1784,035622	1707,261514	5891,51199
15	2583,647886	1917,502591	1836,374728	6337,525204
16	2781,560596	2061,436698	1975,647392	6818,644685
17	2995,106931	2216,670539	2125,88841	7337,66588
18	3225,533053	2384,103211	2287,971312	7897,607576
19	3474,184713	2564,705626	2462,839419	8501,729758
20	3742,515219	2759,526255	2651,511426	9153,5529

21	4032,094032	2969,697334	2855,087431	9856,878798
22	4344,616064	3196,441556	3074,755446	10615,81307
23	4681,911706	3441,079309	3311,798421	11434,78944
24	5045,957664	3705,036488	3567,601847	12318,596
25	5438,888663	3989,852934	3843,661949	13272,40355

Για τον υπολογισμό των ετήσιων εκροών λόγω λειτουργικών και ασφαλιστικών εξόδων χρησιμοποιείται ο τύπος 5.10[10]:

$$Εκροή_t = Εκροή_{πρώτου έτους} * (1 + 0,032)^{t-1} \text{ για } t \geq 1 \text{ (5.10)}$$

Το κόστος αντικατάστασης προκύπτει λόγω γήρανσης του αναστροφέα τάσεως DC-AC και λήξης της εγγύησης στο τέλος του δέκατου πέμπτου έτους από την αγορά και έναρξη λειτουργίας του. Το κόστος αυτό υπολογίζεται από τον τύπο 5.11:

$$Κόστος \text{ αντικατάστασης}_t = Κόστος_{πρώτου έτους} * (1 - 0,05)^{t-1} \text{ για } t = 16 \text{ (5.11)}$$

Πίνακας 5.19: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εκροών.

	Ταμειακές εκροές (€) (Ονομαστικές)				
Έτος	Λειτουργικά	Ασφάλεια	Αρχικό κόστος	Κόστος αντικατάστασης	Σύνολο
0			22986,2		22986,2
1	114,931	114,931			229,862
2	118,608792	118,608792			237,217584
3	122,4042733	122,4042733			244,8085467
4	126,3212101	126,3212101			252,6424202
5	130,3634888	130,3634888			260,7269776
6	134,5351205	134,5351205			269,0702409
7	138,8402443	138,8402443			277,6804886
8	143,2831321	143,2831321			286,5662643
9	147,8681924	147,8681924			295,7363847
10	152,5999745	152,5999745			305,199949
11	157,4831737	157,4831737			314,9663474
12	162,5226353	162,5226353			325,0452705
13	167,7233596	167,7233596			335,4467192
14	173,0905071	173,0905071			346,1810142
15	178,6294033	178,6294033			357,2588066
16	184,3455442	184,3455442		1398,907869	1767,598958
17	190,2446016	190,2446016			380,4892033
18	196,3324289	196,3324289			392,6648578
19	202,6150666	202,6150666			405,2301332
20	209,0987487	209,0987487			418,1974975
21	215,7899087	215,7899087			431,5798174
22	222,6951858	222,6951858			445,3903716
23	229,8214317	229,8214317			459,6428635
24	237,1757175	237,1757175			474,3514351

25	244,7653405	244,7653405			489,530681
----	-------------	-------------	--	--	------------

Για τον υπολογισμό των ονομαστικών ΚΤΡ πραγματοποιούμε για κάθε έτος την πράξη:

$$\begin{aligned} \text{Ονομαστικές } KTP_t &= \text{Συνολικές Ονομαστικές Ταμειακές εισροές } Net - \text{metering}_t \\ &- \text{Συνολικές Ονομαστικές Ταμειακές εκροές}_t \text{ για } t \geq 1 \quad (5.12) \end{aligned}$$

Για τον υπολογισμό των παρούσων καθαρών ταμειακών ροών πραγματοποιούμε την πράξη[10]:

$$\text{Παρούσα ταμειακή ροή}_t = \frac{\text{Ονομαστική ταμειακή ροή}}{(1 + 0,02)^{t-1}} \text{ για } t \geq 1 \quad (5.13)$$

Πίνακας 5.20: Υπολογισμός ονομαστικών και παρούσων χρηματορροών (€) επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια.

Έτος	Ονομαστικές ΚΤΡ	Παρούσες ταμειακές εισροές	Παρούσες ταμειακές εκροές	Παρούσες ΚΤΡ	Αθροιστικές παρούσες ΚΤΡ
0	-22986,2		22986,2	-22986,2	-22986,2
1	2103,90979	2333,77179	229,862	2103,90979	-20882,29021
2	2264,356032	2452,523153	232,5662588	2219,956895	-18662,33332
3	2437,561787	2578,210625	235,3023325	2342,908292	-16319,42502
4	2624,549365	2711,24208	238,0705952	2473,171485	-13846,25354
5	2826,423	2852,049386	240,8714257	2611,17796	-11235,07558
6	3044,375412	3001,089815	243,7052072	2757,384607	-8477,690971
7	3279,694893	3158,847535	246,5723273	2912,275208	-5565,415763
8	3533,772959	3325,835197	249,4731782	3076,362018	-2489,053745
9	3808,112613	3502,595604	252,4081568	3250,187448	761,1337029
10	4104,337276	3689,703493	255,3776645	3434,325828	4195,459531
11	4424,200424	3887,767404	258,3821076	3629,385296	7824,844827
12	4769,596004	4097,431675	261,4218971	3836,009778	11660,8546
13	5142,56968	4319,378547	264,4974488	4054,881098	15715,7357
14	5545,330976	4554,330391	267,6091835	4286,721207	20002,45691
15	5980,266397	4803,05207	270,7575269	4532,294543	24534,75145
16	5051,045727	5066,353439	1313,352062	3753,001377	28287,75283
17	6957,176677	5345,091993	277,1657673	5067,926226	33355,67906
18	7504,942718	5640,175664	280,426541	5359,749123	38715,42818
19	8096,499624	5952,565793	283,7256768	5668,840116	44384,26829

20	8735,355402	6283,280272	287,0636259	5996,216646	50380,48494
21	9425,29898	6633,396865	290,4408451	6342,95602	56723,44096
22	10170,42269	7004,056736	293,8577962	6710,19894	63433,6399
23	10975,14657	7396,468176	297,3149467	7099,153229	70532,79313
24	11844,24456	7811,91055	300,8127696	7511,097781	78043,89091
25	12782,87287	8251,738482	304,3517434	7947,386738	85991,27765

Πίνακας 5.21: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος.

Τεχνική αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου	Λήψη απόφασης
$NPV = 85991,27765 \text{ €} > 0$	Αποδοχή σχεδίου
$IRR = 17,05\% > 2\%$	Αποδοχή σχεδίου
$DPP = 8,77 \text{ έτη}$	Ικανοποιητική τιμή ($\approx 1/3$ της διάρκειας σύμβασης)
$PVR = 4,7409958 > 1$	Αποδοχή σχεδίου
$ORR = 3,7409958 > 0$	Αποδοχή σχεδίου

Βιβλιογραφία

- [1]. Σωτηροπούλου Θεοδώρα, "ΕΚΘΕΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΟΥ". ΑΓΡΙΝΙΟ, 2013.
- [2]. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ. Ανάκτηση από <http://helapco.gr/>:
http://helapco.gr/wp-content/uploads/HELAPCO_Net_Metering_31Dec2014.pdf,
Δεκέμβριος 2014.
- [3]. Αμειψισπορά., από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <http://el.wikipedia.org/>, ανάκτηση Μάρτιος 2015.
- [4]. PVsyst 5.21 Contextual Help. Ανάκτηση Μάρτιος-Απρίλιος 2015, από
<http://files.pvsyst.com/pvsyst5.pdf>, (1994-2012).
- [5]. Από ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ:
<http://www.ypйка.gr/>, ανάκτηση Μάρτιος 2015.
- [6]. Δέρβος Θ. Κωνσταντίνος, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: από την θρωρία στην πράξη".
Αθήνα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π. 2013.
- [7]. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. Ανάκτηση από <http://www.cres.gr/>:
http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf, ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2009.
- [8]. ST6, SOLAR FARMLAND., από UISOLAR universe energy:
http://www.uisolar.com/products_detail/&productId=55.html, ανάκτηση Μάιος
2015.
- [9]. ΠΕΡΔΙΟΣ, Δ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ". ΑΘΗΝΑ: ΣΕΛΚΑ-4Μ,
ΤεκΔΟΤΙΚΗ, 2011.
- [10]. Στ. Παπαθανασίου, "Σημειώσεις Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων
Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ". Αθήνα: Ε.Μ.Π. 2012.
- [11]. Δ. Καλιαμπάκος, Δ. Δαμίγος, "Σημειώσεις Μαθήματος, Οικονομικά του Περιβάλλοντος
και των Υδατικών Πόρων, Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση
επενδύσεων". ΑΘΗΝΑ: Ε.Μ.Π. 2008.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. Βιομάζα

Ως **βιομάζα** ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική προέλευση. Περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό, το οποίο προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, άχυρα, πριονίδια, κουκούτσια, ελαιοπυρήνες), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά των **ενεργειακών καλλιεργειών** που χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων[8].

Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρισμός) και για την **παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων** (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κ.α.)[8].

Η **φυτική βιομάζα** παράγεται με τη φωτοσύνθεση, μια διαδικασία που συμβαίνει αποκλειστικά στα φυτά και που εκμεταλλεύεται την απεριόριστα διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία. Κατά τη φωτοσύνθεση, τα φυτά συνδυάζουν το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας με νερό από το έδαφος για να σχηματίσουν υδατάνθρακες, που αποτελούν τους δομικούς λίθους της βιομάζας. Η ηλιακή ενέργεια που οδηγεί τη φωτοσύνθεση, αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς των υδατανθράκων και άλλων μορίων, που περιέχονται στη βιομάζα επιτρέποντας της να αξιοποιηθεί ως **βιοενέργεια**, δηλαδή ως θερμική, ηλεκτρική ενέργεια και ενέργεια κίνησης[1].

Όταν η βιομάζα σχηματίζεται μέσω φωτοσύνθεσης βρίσκεται σε **στερεή μορφή**. Έτσι, ο πιο προφανής τρόπος για την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου της βιομάζας είναι η άμεση καύση της. Αυτή είναι και η συντομότερη δυνατή διαδρομή με το μεγαλύτερο ενδεχόμενο αποφυγής απωλειών και την μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης[10]. Στα μειονεκτήματα της **στερεάς βιομάζας**, ως καύσιμο θερμικών σταθμών για την παραγωγή ενέργειας, περιλαμβάνονται η χαμηλή πυκνότητα της, που συνεπάγεται δυσκολίες στη μεταφορά και την αποθήκευσή της, η χαμηλή θερμογόνος δύναμη της και η ακαταλληλότητά της για μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστρόβιλους. Για αυτούς τους λόγους, επιδιώκεται συχνά η μετατροπή της σε άλλη μορφή ή φάση. Η απλούστερη μέθοδος μετατροπής της βιομάζας σε βολικότερη και αποδοτικότερη καύσιμη ύλη είναι η παραγωγή συμπυκνωμάτων ή συσσωματωμάτων (**πελετών** ή **μπρικετών**) για τη μείωση του όγκου της και την αφαίρεση μέρους της υγρασίας της[9].

Η **ρευστοποίηση της βιομάζας** για την παραγωγή υγρών και αέριων βιοκαυσίμων υλοποιείται μέσω τριών δρόμων – κατηγοριών, που χαρακτηρίζονται τόσο από τις διαφορετικές διαδικασίες επεξεργασίας που ακολουθούνται, όσο και από το είδος του καυσίμου που παράγεται από αυτές. Οι τρεις αυτές κατηγορίες είναι οι εξής[9]:

- Αγροχημική επεξεργασία: Αποτελεί την παλαιότερη κατηγορία μέσω της οποίας παράγονται κυρίως φυτικά έλαια, από σπόρους και καρπούς ελαιούχων φυτών και δένδρων, και έπειτα αυτά με την κατάλληλη χημική επεξεργασία μπορούν να μετατραπούν σε βιοντίζελ.
- Θερμοχημική επεξεργασία: Περιλαμβάνει κυρίως τις μεθόδους της *πυρόλυσης* και της *αεριοποίησης*. Η θερμική αποσύνθεση της βιομάζας σε υψηλές θερμοκρασίες, παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξειδωτικού μέσου, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός μίγματος υγρών, αερίων και στερεών καυσίμων προϊόντων. Μεταβάλλοντας τις συνθήκες της πυρόλυσης μπορούμε να μεταβάλλουμε τις αναλογίες τους, ώστε να πάρουμε κυρίως υγρά καύσιμα (βιοέλαια) ή αέρια καύσιμα (syngas), εις βάρος της παραγωγής στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων.
- Βιοχημική επεξεργασία: Συμβάλλει στην παραγωγή είτε βιοαερίου, είτε αιθυλικής αλκοόλης (βιοαιθανόλης). Από αυτή τη κατηγορία, μεγαλύτερο ρόλο σήμερα διαδραματίζει η *ανασρόβια χώνευση*, δηλαδή η αποσύνθεση οργανικής ύλης από ένα μίγμα συμβιωτικών μικροοργανισμών όπως τα βακτήρια, απουσία μοριακού οξυγόνου, για την παραγωγή αερίου καυσίμου πλούσιου σε μεθάνιο (βιοαερίου).

	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΚΑΥΣΙΜΑ
ΒΙΟΜΑΖΑ	Αγροχημική	Συμπίεση, Έκθλιψη Μετεστεροποίηση	Φυτικά Έλαια Βιοντίζελ
	Θερμοχημική	Ανθρακοποίηση Πυρόλυση Αεριοποίηση Υγροποίηση	Κάρβουνο Βιοϋδρογόνο Βιοέλαια Βιομεθανόλη Syngas
	Βιοχημική	Αλκοολική Ζύμωση Αναερόβια Χώνευση	Βιοαιθανόλη Βιοαέριο, Βιοϋδρογόνο

Εικόνα 6.1: Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων
Πηγή: <http://www.desmie.gr/> [9]

6.2. Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα (biofuels) ονομάζονται τα καύσιμα που παράγονται από βιομάζα. Ο ορισμός που περιέχεται στην παράγραφο (β) του Άρθρου 2 του νόμου για τα βιοκαύσιμα, «*Βιοντίζελ είναι πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης*», σημαίνει «πετρέλαιο που παράγεται από μάζα πρώην έμβιων όντων και όχι από μάζα που παράγεται από προϊόντα βιολογικής γεωργίας ή κτηνοτροφίας»[5].

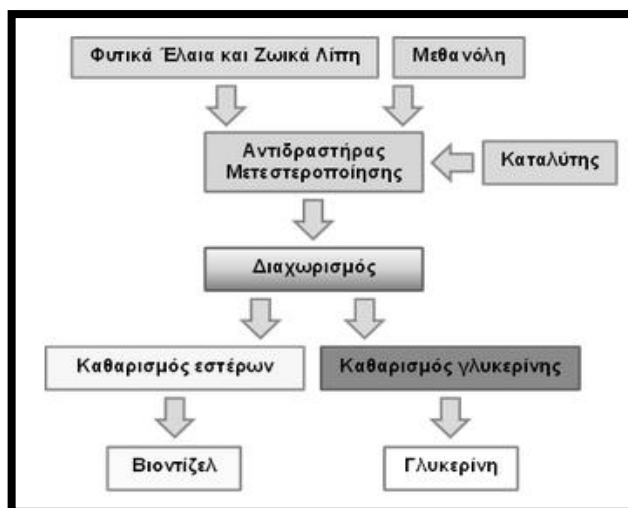
Τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται **ανανεώσιμα καύσιμα**. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των χαμηλότερων εκπομπών CO₂ στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, γεγονός που εξαρτάται άμεσα από την προέλευση τους, τη χρήση τους καθώς και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους, τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης, ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα, στην οποία επανέρχεται μετά την καύση και έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό[11].

6.2.1. Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς

Τα **σημαντικότερα** βιοκαύσιμα που παράγονται, κυρίως, από τη **βιομάζα των ενεργειακών καλλιεργειών** είναι το βιοντίζελ, που χρησιμοποιείται σε κινητήρες πετρελαίου, και η βιοαιθανόλη που χρησιμοποιείται σε βενζινοκινητήρες[5]. Η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ περιέχουν 30% και 8% λιγότερη ενέργεια ανά λίτρο από τη βενζίνη και το ντίζελ αντίστοιχα. Και τα δυο καύσιμα, σήμερα, αξιοποιούνται σε μίγματα 5%, ενώ αναμένεται σύντομα η αύξηση της δυνατότητας χρήσης μιγμάτων σε **10%**, πρακτική που θα διευκολύνει την επίτευξη των στόχων του 2010 και 2020[1].

- **Βιοντίζελ**: Παράγεται από μια ποικιλία φυτικών λαδιών όπως το κραμβέλαιο, το ηλιέλαιο, το σογιέλαιο, το φοινικέλαιο, το λάδι ρετινολαδιάς και το λάδι της *Jatropha*[1]. Είναι υψηλής ποιότητας εναλλακτικό καύσιμο, φιλικό προς το περιβάλλον, μη τοξικό και βιοαποικοδομήσιμο. Η καύση του εκπέμπει 60% λιγότερο CO₂, 48% λιγότερο CO, 47% λιγότερα σωματίδια και καθόλου θειάφι[5]. Επίσης, εκπέμπει έως και 85% λιγότερες καρκινογόνες ουσίες και είναι το μοναδικό εναλλακτικό καύσιμο που έχει εγκριθεί από το *Environmental Protection Agency* (EPA), έχει περάσει κάθε δοκιμασία επιπτώσεων στην υγεία του *Clean Air Act* και πληροί τις απαιτήσεις του *California Air Resources Board* (CARB)[12].

Η χημική διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ είναι απλή: το λάδι εξάγεται από τους ελαιούχους σπόρους με έκθλιψη και εκχύλιση με διαλύτη, και αφού φιλτραριστεί αναμιγνύεται με μεθανόλη στους 50°C. Η αντίδραση εστεροποίησης, παρουσία αλκαλικού καταλύτη, παράγει μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων, που είναι η βάση του βιοντίζελ. Υποπροϊόντα είναι η γλυκερίνη, που χρησιμοποιείται στη σαπωνοποιία και η πίτα, που είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και χρησιμεύει ως ζωοτροφή. Υπολογίζεται ότι ένας τόνος φυτικού λαδιού και 0.1 τόνοι μεθανόλης παράγουν περίπου ένα τόνο βιοντίζελ και 0.1 τόνους γλυκερίνης[1].

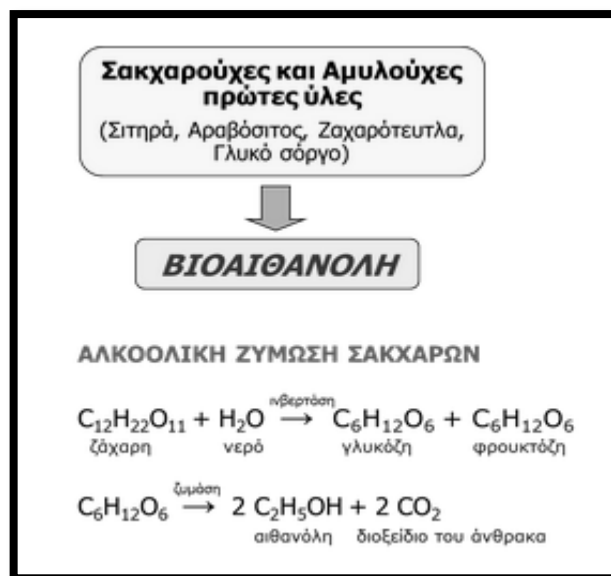


Εικόνα 6.2: Διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ πρώτης γενιάς
 Πηγή: <http://www.agroenergy.gr/> [13]

- **Βιοαιθανόλη:** Είναι η αιθανόλη ή αιθυλική αλκοόλη (C_2H_5OH), δηλαδή το οινόπνευμα, και ονομάζεται έτσι επειδή προέρχεται από βιομάζα. Η βιοαιθανόλη είναι ένα άχρωμο διαυγές υγρό, υψηλής ενεργειακής περιεκτικότητας και καθαρότερο περιβαλλοντικά από τη βενζίνη. Επιπλέον, είναι βιοαποικοδομήσιμη, χαμηλής τοξικότητας και προκαλεί πολύ μικρή περιβαλλοντική ρύπανση[13]. Αποτελεί το πρώτο υγρό καύσιμο κίνησης που χρησιμοποιήθηκε ως υποκατάστατο της βενζίνης και είναι αποτέλεσμα της *αλκοολικής ζύμωσης των ζαχάρων*. Η υψηλή περιεκτικότητά της σε αριθμό οκτανίων την καθιστά κατάλληλη ως προσθετικό στη βενζίνη αλλά και ως μέσο εμπλουτισμού της σε οξυγόνο, με αποτέλεσμα την πιο ολοκληρωμένη καύση της και άρα τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων. Παράγεται από ζαχαρούχα φυτά όπως τα ζαχαρότευτλα και το γλυκό σόργο ή από αμυλούχα φυτά όπως ο αραβόσιτος, το σιτάρι και το κριθάρι, ενώ μπορεί να παραχθεί και από τη μελάσα, που αποτελεί παραπροϊόν των ζαχαρουργείων[1].

Η παραγωγή βιοαιθανόλης από *αμυλούχες πρώτες ύλες* επιτυγχάνεται μετά από ενζυματική υδρόλυση του αμύλου σε ζάχαρα, που στη συνέχεια ζυμώνονται από τα κατάλληλα στελέχη του ζαχαρομύκητα (*Saccharomyces cerevisiae*) στους 32 έως 35°C και σε pH 5.2. Η βιοαιθανόλη παράγεται σε συγκέντρωση 12 – 15% και το διάλυμα αποστάζεται για την απόκτηση μεγαλύτερων συγκεντρώσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από ένα τόνο αραβοσίτου παράγονται 390 λίτρα βιοαιθανόλης, σε συγκέντρωση 99.6% και 0.33 τόνοι υψηλής θρεπτικής αξίας ζωοτροφή (dried distillers grains with soluble - DDGS) ως παραπροϊόν[14].

Η παραγωγή βιοαιθανόλης από *ζαχαρούχα φυτά* είναι η απλούστερη διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης γιατί από την πρώτη ύλη εξάγονται διαλυτά ζάχαρα, που οδηγούνται απευθείας σε ζύμωση. Σε βιομηχανικό επίπεδο, από ένα τόνο ζυμώσιμων ζαχάρων παράγονται 535 λίτρα βιοαιθανόλης, ενώ ένας τόνος μελάσας ζαχαρουργείου παράγει τη μισή περίπου ποσότητα βιοκαυσίμου[14].



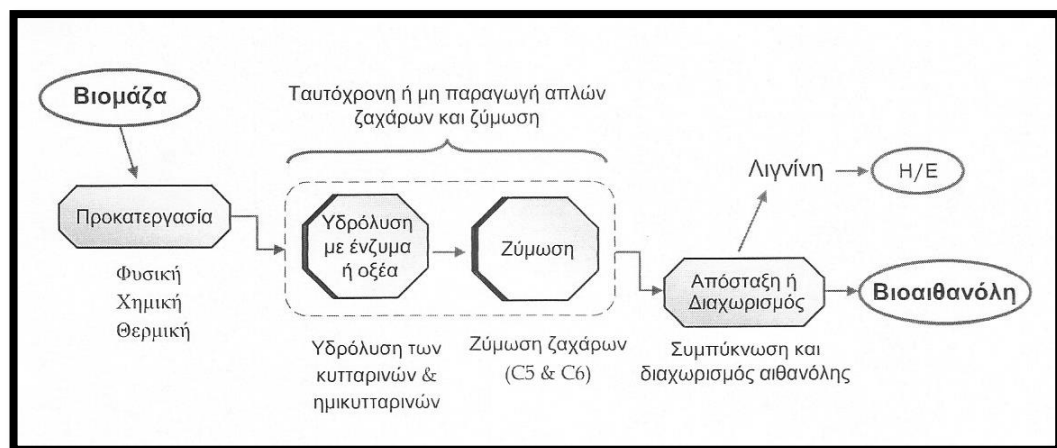
Εικόνα 6.3: Διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης πρώτης γενιάς
 Πηγή: <http://www.agroenergy.gr/> [13]

6.2.2. Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς

Το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη, που παράγονται από τις πρώτες ύλες και με τις παραπάνω διαδικασίες, ανήκουν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς. Οι διαδικασίες παραγωγής τους μετατρέπουν τμήμα μόνο (άμυλο, ζάχαρα, λάδια) της διαθέσιμης βιομάζας σε βιοκαύσιμο. Οι **λιγνοκυτταρίνες** που αποτελούν τα **δομικά συστατικά των φυτικών κυττάρων**, βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες και έχουν υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο, παραμένουν όμως αναξιοποίητες. Αυτό συμβαίνει διότι η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη είναι στενά συνδεδεμένες με τη λιγνίνη, που δεν αποσυντίθεται από μικροοργανισμούς (πλην ορισμένων μόνο μυκήτων). Επομένως απαιτούνται ειδικές διεργασίες για να επιτραπεί η μετατροπή τους σε βιοκαύσιμα[1].

Η παραγωγή των βιοκαυσίμων *δεύτερης γενιάς* βασίζεται στην ολική ή μερική αξιοποίηση λιγνοκυτταρινούχων πρώτων υλών. Υπάρχουν *δύο κύριες πλατφόρμες* για τη μετατροπή των πολυμερών αυτών σε υγρά βιοκαύσιμα: η πρώτη, βασίζεται στη βιοχημική μετατροπή τους σε ζυμώσιμα ζάχαρα, τα οποία στη συνέχεια με μικροβιακή ζύμωση παράγουν τη βιοαιθανόλη. Η δεύτερη πλατφόρμα μετατροπής των λιγνοκυτταρινών είναι χημική και χρησιμοποιεί θερμότητα και χημικούς καταλύτες για τη μετατροπή τόσο των υδατανθράκων όσο και των πολυμερών της λιγνίνης σε υγρά βιοκαύσιμα και κυρίως σε συνθετικό βιοντίζελ[1].

- Βιοαιθανόλη 2^{ης} γενιάς: Η βιοαιθανόλη από λιγνοκυτταρίνη παράγεται κυρίως βιομηχανικά, με τη χρήση καινοφανών ενζύμων και ζυμών. Μπορεί, επίσης, να παραχθεί από βιομάζα και με θερμοχημική μετατροπή[14].



Εικόνα 6.4: Διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς
Πηγή: Γ.Ν. Σκαράκης, Ν. Κορρές, Ο.Ι. Παυλή, "Ενεργειακές Καλλιέργειες - Βιοκαύσιμα" [1]

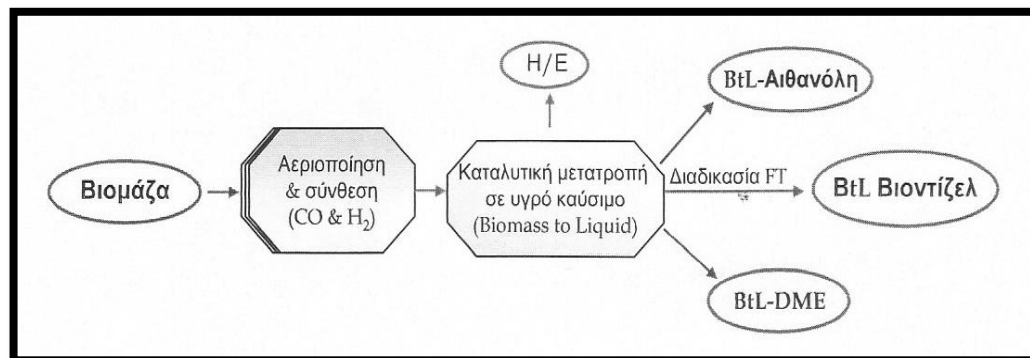
Στη βιοχημική μετατροπή, τα νέα ένζυμα, σε συνδυασμό και με την κατάλληλη προκατεργασία, υδρολύουν τόσο τις κυτταρίνες όσο και τις ημικυτταρίνες σε απλούστερα C₆ και C₅ ζάχαρα αντίστοιχα. Τα νέα εξειδικευμένα στελέχη ζυμών μπορούν να ζυμώσουν και τα C₅ ζάχαρα και έτσι να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες βιοαιθανόλης. Η όλη διαδικασία δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα σε μεγάλο βιομηχανικό επίπεδο, όμως λειτουργούν αρκετές πιλοτικές – επιδεικτικές μονάδες (σε Σουηδία, Δανία, Ισπανία, ΗΠΑ, Καναδά και Ιαπωνία)[14].

Η έρευνα, επίσης, επικεντρώνεται στην παραγωγή βιοαιθανόλης από βιομάζα με ταυτόχρονη ζύμωση των ζαχάρων και της κυτταρίνης. Σύντομα θα λειτουργήσει στις ΗΠΑ μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης, η οποία θα στηρίζεται στην αποδόμηση της λιγνοκυτταρίνης με συνδυασμό ήπιας προκατεργασίας σε οξέα και αναερόβιας δράσης μίγματος βακτηρίων, και στην ταυτόχρονη ζύμωση πεντοζών και εξοζών από δυο διαφορετικές ζύμες. Υπολογίζεται ότι από ένα τόνο ξηράς βιομάζας θα παράγονται 250 – 280 λίτρα βιοαιθανόλης[14].

Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της βιοαιθανόλης 2^{ης} γενιάς είναι: οι άφθονες πρώτες ύλες, η έλλειψη ανταγωνισμού των πρώτων υλών με τα τρόφιμα και η μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (1^η γενιά < 35% και 2^η γενιά > 90%). Από την άλλη πλευρά, τα έως τώρα μειονεκτήματα είναι το κόστος της προκατεργασίας και της υδρόλυσης της πρώτης ύλης. Η βιοαιθανόλη είναι πλήρως συμβατή και αναμίξιμη με τη βενζίνη σε οποιαδήποτε αναλογία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους ήδη υπάρχοντες βενζινοκινητήρες[13].

- **Συνθετικό βιοντίζελ (FT):** Το βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς ή συνθετικό βιοντίζελ ή Fischer Tropsch βιοντίζελ ή BtL βιοντίζελ παράγεται με θερμοχημική επεξεργασία της βιομάζας (Biomass to Liquid). Η διαδικασία αυτή, σε αντίθεση με τη χημική, αξιοποιεί και τη λιγνίνη. Συνδυάζει την αεριοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή του "syngas" (που περιέχει κυρίως CO και H₂) και την περαιτέρω μετατροπή του σε υγρά βιοκαύσιμα. Τα CO₂ και H₂ μπορούν να μετατραπούν σε διάφορα καύσιμα, όπως η αιθανόλη και ο διμεθυλαιθέρας (DME), και μέσω της μεθόδου Fischer Tropsch σε μίγμα υδρογονανθράκων που ονομάζεται BtL βιοντίζελ. Το βιοντίζελ αυτό έχει φυσικές και χημικές ιδιότητες σχεδόν ίδιες με το

συμβατικό ντίζελ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους υπάρχοντες κινητήρες χωρίς καμία μετατροπή. Συγκριτικά με το ορυκτό ντίζελ, το συνθετικό πλεονεκτεί στο γεγονός ότι μειώνει σημαντικά τις εκπομπές NO_x και άλλων μικροσωματιδίων ενώ ταυτόχρονα δεν περιέχει καρκινογόνες αρωματικές ενώσεις. Για τους λόγους αυτούς, το ενδιαφέρον στρέφεται προς το FT βιοντίζελ[14].



Εικόνα 6.5: Διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ δεύτερης γενιάς
Πηγή: Γ.Ν. Σκαράκης, Ν. Κορρές, Ο.Ι. Παυλή, "Ενεργειακές Καλλιέργειες - Βιοκαύσιμα" [1]

6.2.3. Σύγκριση βιοκαυσίμων πρώτης και δεύτερης γενιάς

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς συγκριτικά με της δεύτερης *μειονεκτούν* διότι: η αξιοποίηση των φυτικών πρώτων υλών ανταγωνίζεται τη διατροφική χρήση, τα φυτά έχουν βελτιωθεί για διατροφική χρήση και όχι για ενεργειακή, μέρος μόνο των φυτών αυτών μετατρέπεται σε βιοκαύσιμο και έχουν υψηλό κόστος παραγωγής καθώς η οικονομική αξιοποίηση των παραπροϊόντων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων[14].

Η πρώτη γενιά των βιοκαυσίμων, που ήδη κατακρίνεται για την έλλειψη αλλά και την υπέρογκη αύξηση των τιμών των δημητριακών, αποτελεί σαφέστατα ένα αναποτελεσματικό, πλην όμως μοναδικό ενδιάμεσο στάδιο, προς την επιχειρούμενη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από τις ανανεώσιμες πηγές έως ότου καταστούν οικονομικά βιώσιμες οι τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς. Η βιωσιμότητα αυτή αναμένεται να επιτευχθεί στη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας[14].

Για το σκοπό αυτό, συνεχίζονται οι *προσπάθειες βελτίωσης* των παραδοσιακών αμυλούχων, ζαχαρούχων και ελαιούχων φυτών με στόχο τη δημιουργία ποικιλιών, συμβατικά ή βιοτεχνολογικά, εμπλουτισμένων με συγκεκριμένα γνωρίσματα που θα μεγιστοποιούν την παραγωγή των βιοκαυσίμων. Τα γνωρίσματα αυτά αφορούν[14]:

- την αύξηση φωτοσυνθετικού δυναμικού,
- τη βελτίωση μεταβολισμού του αζώτου,
- την ανθεκτικότητα σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες,
- τη μεταβολή ποιότητας αμύλου και ζαχάρων για καλύτερη αξιοποίηση και
- την ενσωμάτωση ενζυματικών μηχανισμών (αμυλάσες) για τη μετατροπή του αμύλου σε ζυμώσιμα ζάχαρα πάνω στον καρπό μετά τη συγκομιδή.

Σε αντίθεση με την πρώτη γενιά, τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς παράγονται κυρίως από τη λιγνοκυτταρίνη των φυτών βιομάζας. Τα χαρακτηριστικά των φυτών αυτών είναι ότι: η ενεργειακή χρήση δεν ανταγωνίζεται τη διατροφική, μπορούν να βελτιωθούν εξειδικευμένα για ενεργειακή χρήση και το μεγαλύτερο μέρος τους μετατρέπεται σε βιοκαύσιμο. Επιπλέον, έχουν **μικρότερο κόστος πρώτων υλών** αλλά η παραγωγή τους απαιτεί μεγαλύτερη αρχική επένδυση για τη μονάδα παραγωγής. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι παρέχουν σημαντικά **ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη**[1].

Στα πλαίσια καλύτερης αξιοποίησης των φυτών βιομάζας, πρώτη επιλογή αποτελούν τα εγχώρια φυτικά είδη, τα οποία είναι προσαρμοσμένα σε διάφορες περιοχές και αγρονομικές συνθήκες, ενώ παράλληλα δοκιμάζεται η προσαρμογή και η αποδοτικότητα ορισμένων νέων εισαγόμενων ειδών. Στόχος των σχετικών προγραμμάτων δημιουργίας ποικιλιών αποτελεί *η αύξηση της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας και η βελτίωση της σύνθεσης των βασικών πολυσακχαριτών*. Σημαντικότατο ρόλο στην παραγωγή τέτοιων ποικιλιών θα διαδραματίσει η βιοτεχνολογία και ειδικότερα η γενετική μηχανική, εφόσον βέβαια αποδειχθεί ότι η αξιοποίηση της τελευταίας δεν θα αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία και το περιβάλλον[1].

6.2.4. Η εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου για τα βιοκαύσιμα και οι στόχοι της ΕΕ

Η Ευρωπαϊκή αγορά βιοκαυσίμων καθορίζεται από την πολιτική και τη σχετική νομοθεσία της ΕΕ. Οι πολιτικές της ΕΕ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο όσον αφορά την ανάπτυξη και χρήση των ΑΠΕ, και ειδικότερα των βιοκαυσίμων, στα κράτη μέλη που ενσωματώνουν τις σχετικές οδηγίες στην εθνική τους νομοθεσία. Η έκδοση της Οδηγίας για τα Βιοκαύσιμα του 2003 δημιούργησε το νομοθετικό πλαίσιο, που προκάλεσε γρήγορη αύξηση της παραγωγής και χρήσης υγρών βιοκαυσίμων. Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στα κυριότερα έγγραφα της ΕΕ που αφορούν στα βιοκαύσιμα[20]:

Πρώτο, σχετικό με τα βιοκαύσιμα, έγγραφο υπήρξε η Λευκή Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (COM/97/599) με τίτλο "*Ενέργεια για το μέλλον-Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*", στο οποίο καθορίστηκε: η στρατηγική για τον διπλασιασμό της συμμετοχής των ΑΠΕ στο σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας (12% για το 2010), καθώς και το σχέδιο δράσης και το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής για την επίτευξη του στόχου αυτού. Τα κράτη μέλη, εντός των πλαισίων αυτών, πρέπει να καθορίσουν συγκεκριμένους στόχους που να συμφωνούν με τις ιδιαιτερότητές της εσωτερικής τους αγοράς. Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους για την εφαρμογή της πολιτικής αυτής καθορίστηκε στα 165 δισεκατομμύρια ευρώ για την περίοδο 1997-2010, λαμβάνοντας υπόψη τις δαπάνες των καυσίμων, την προοπτική δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας, τη μείωση των εισαγωγών συμβατικών καυσίμων αλλά και της εκπομπής των αερίων ρύπων[20].

Το 2000, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε την Πράσινη Βίβλο (COM/769/2000) με τίτλο "*Προς μια Ευρωπαϊκή στρατηγική για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού*". Εντός του συγκεκριμένου εγγράφου, αναλύεται η δυνατότητα συμβολής

των βιοκαυσίμων στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (θερμότητα, ηλεκτρισμός, κίνηση) και αναφέρονται οι σημαντικού μεγέθους ανεκμετάλλευτες δυνατότητες από τη χρήση των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, χαρακτηρίζοντας ως ανεπιθύμητες τις εντατικοποιημένες μορφές γεωργικών εκμεταλλεύσεων για την παραγωγή βιομάζας. Επισημαίνεται επίσης, ο ανασταλτικός ρόλος της υπάρχουσας νομοθεσίας στην κάλυψη και σταθερότητα των ενεργειακών αναγκών, όπως η μη αποφορολόγηση των βιοκαυσίμων[20].

Με την *οδηγία 2001/77/EC* για την προώθηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, τέθηκε ο στόχος της συμμετοχής τους στο 22% το 2010[20].

Η αναφορά στα βιοκαύσιμα μεταφορών, τόσο στη Λευκή όσο και στην Πράσινη Βίβλο, αν και δεν συνέβαλλε στη δημιουργία συγκεκριμένου και υποχρεωτικού σχεδιασμού στρατηγικής και πολιτικής από τα κράτη μέλη, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο προτάσεων Οδηγιών από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, για την προώθησή τους[20].

Η *Οδηγία* για τα βιοκαύσιμα (2003/30/EC) που εκδόθηκε το 2003, καθορίζει ενδεικτικές τιμές για το μερίδιο αγοράς των βιοκαυσίμων ως εξής: 2% για το τέλος του 2005 και 5,75% για το τέλος του 2010 (τιμές σε ενεργειακό περιεχόμενο). Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να θέσουν αντίστοιχους εθνικούς στόχους, λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω ενδεικτικές τιμές και εναρμονίζοντας τις εθνικές νομοθεσίες τους με την Οδηγία, μέχρι το τέλος του 2004. Επίσης, πρέπει να ενημερώσουν τους πολίτες για τη διαθεσιμότητα των βιοκαυσίμων ως καυσίμων κίνησης και να αναφέρουν την πρόοδο τους ως προς την εφαρμογή των ορίων που θέτουν κατά τα έτη 2005 και 2010, χωρίς όμως να είναι υποχρεωμένα να θεσπίσουν ενδιάμεσους στόχους. Η οδηγία αυτή συνέβαλε στην δημιουργία ευνοϊκού θεσμικού πλαισίου στα περισσότερα κράτη μέλη και προήγαγε την ταχεία είσοδο των βιοκαυσίμων στην αγορά, καθώς όλα έχουν θέσει εθνικούς στόχους, με την πλειονότητα τους να υιοθετεί τον στόχο του 5.75% για το 2010 ή και νωρίτερα[20].

Αναγκαία συνοδευτικά έγγραφα της παραπάνω οδηγίας, αφορούσαν τη φορολόγηση της ενέργειας και την τυποποίηση των καυσίμων και των βιοκαυσίμων για τις μεταφορές. Η *Οδηγία 2003/96/EC* για τη φορολόγηση της ενέργειας, που υιοθετήθηκε τον Οκτώβριο του 2003, ενθαρρύνει τα κράτη μέλη να προβούν σε μειώσεις της φορολογίας ή/και πλήρη αποφορολόγηση των βιοκαυσίμων, υπό τον όρο προηγούμενης έγκρισης από την Επιτροπή. Το κάθε κράτος μέλος θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του, για την εφαρμογή της εξαίρεσης ή μείωσης του φόρου, τη διακύμανση των τιμών στις πρώτες ύλες έτσι ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική ενίσχυση για την παραγωγή των προϊόντων αυτών[20].

Με την *Οδηγία 2003/17/EC* για την ποιότητα των καυσίμων, τροποποιήθηκαν οι περιβαλλοντικές προδιαγραφές των καυσίμων της αγοράς ώστε να υπάρξουν προδιαγραφές για τη βενζίνη και το ντίζελ. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN European Committee for Standardization) έθεσε τα όρια πρόσμιξης για το βιοντίζελ, για τεχνικούς λόγους, στο 5% κατ' όγκο ή 4.6% σε ενεργειακό περιεχόμενο, ενώ θα πρέπει να τηρούνται οι προδιαγραφές του προτύπου EN 14214[20].

Οι ενεργειακές καλλιέργειες ενθαρρύνονται στην ΕΕ από την ΚΑΠ μέσω απευθείας ενισχύσεων ή κινήτρων. Όπως είναι γνωστό, οι κάθε είδους ενισχύσεις έχουν από το 2003 αποσυνδεθεί σταδιακά από την παραγωγή. Το καθεστώς ενιαίας ενίσχυσης που καθιέρωσε η τελευταία αναθεώρηση της ΚΑΠ βοηθά την **προσφορά εκτάσεων για ενεργειακές καλλιέργειες**. Ταυτόχρονα επιτράπηκε η καλλιέργεια φυτών μη-διατροφικής χρήσης σε ζώνες αγρανάπαυσης[20].

Το Δεκέμβριο του 2005, η Επιτροπή δημοσιοποίησε το "*Σχέδιο Δράσης για την Βιομάζα*" (COM/2005/628) περιγράφοντας τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αυξηθεί η παραγόμενη ενέργεια από τις δασικές και γεωργικές εκτάσεις καθώς και από απόβλητα υλικά. Το σχέδιο αυτό περιλαμβάνει επίσης μέτρα βελτίωσης της προσφοράς και της ζήτησης της βιομάζας. Συμπληρωματικά του σχεδίου δράσης για τη βιομάζα, το Φεβρουάριο του 2006, η Επιτροπή δημοσιοποίησε τη "*Στρατηγική της ΕΕ για τα βιοκαύσιμα*" (COM/2006/34). Σε αυτήν παρουσιάζεται μια σειρά από νομοθεσίες για την αγορά καθώς και την έρευνα με στόχο την προώθηση της παραγωγής βιοκαυσίμων[20].

Το 2006, η Επιτροπή ξεκίνησε δημόσια διαβούλευση με θέμα την οδηγία για τα βιοκαύσιμα, μια διαβούλευση που είχε μεγάλο ενδιαφέρον και προκάλεσε πολλές απαντήσεις-προτάσεις. Οι προτάσεις αυτές κωδικοποιήθηκαν σε μια αναφορά με τον τίτλο "*Ανασκόπηση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τα Βιοκαύσιμα-Δημόσια Διαβούλευση-Περίληψη των Απαντήσεων*" τον Οκτώβριο του 2006. Το βασικό συμπέρασμα ήταν πως η οδηγία θα πρέπει να βελτιωθεί και να προωθηθεί περαιτέρω[20].

Με βάση τις απαντήσεις της παραπάνω δημόσιας διαβούλευσης, η Επιτροπή δημοσίευσε την "*Αναφορά Προόδου των Βιοκαυσίμων*" (COM/2006/845) τον Ιανουάριο του 2007, εκτιμώντας ότι η ενσωμάτωση των βιοκαυσίμων στην ΕΕ θα φθάσει στο 4.2% (αντί του 5.75%) το 2010, αναδεικνύοντας την ανάγκη περαιτέρω ενίσχυσης της παραγωγής τους. Στις αρχές του ίδιας χρονιάς, δημοσιεύτηκαν ο "*Χάρτης Πορείας της Ανανεώσιμης Ενέργειας*" και η "*Ενεργειακή Πολιτική της Ευρώπης*" προτρέποντας σε φιλόδοξους στόχους για το 2020 όπως: **η συμμετοχή των ΑΠΕ** στη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά **20%** και **η συμμετοχή των βιοκαυσίμων** στις μεταφορές κατά **10%**. Οι βασικές παραδοχές για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι ότι το 20% θα είναι εισαγόμενα, και ένα 30% περίπου θα αφορά σε βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς[20].

Τον Ιανουάριο του 2008 υποβλήθηκε από την Επιτροπή η "*Πρόταση Οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές*". Με βάση την πρόταση αυτή υιοθετούνται οι προαναφερθέντες φιλόδοξοι στόχοι, με το ποσοστό των ΑΠΕ να κατανέμεται στα κράτη μέλη, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετική αφετηρία και τις δυνατότητες του κάθε ενός από αυτά. Αντίθετα, το 10% των βιοκαυσίμων είναι **υποχρεωτικό** για κάθε κράτος μέλος. Το σημαντικό νέο στοιχείο της πρότασης αυτής είναι τα ακόλουθα **κριτήρια αιεφορίας**, τα οποία πρέπει να χαρακτηρίζουν τα βιοκαύσιμα ώστε να συμβάλλουν στην επίτευξη του υποχρεωτικού στόχου και να δικαιούνται διάφορων μορφών ενισχύσεων[20]:

- Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 35%, σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά καύσιμα, ενώ υπάρχει ισχυρή πιθανότητα η μείωση αυτή να διαμορφωθεί στο 50% μετά το 2015,
- Η πρώτη ύλη παραγωγής βιοκαυσίμων δεν θα πρέπει να προέρχεται από εκτάσεις με υψηλή αξία βιοποικιλότητας αλλά ούτε και από εκτάσεις υψηλών αποθεμάτων άνθρακα, όπως οι υγρότοποι και τα δάση.

Το κριτήριο των ελάχιστων ποσοστών μείωσης των ΑΕΘ έχει σαφή στόχο την προώθηση της παραγωγής των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, που παράγονται από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες και είναι σαφώς αποτελεσματικά τόσο από πλευράς ενεργειακού ισοζυγίου όσο και περιβαλλοντικού οφέλους[20].

Στις 6 Απριλίου **2009**, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε το "*Πακέτο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής*", μέρος του οποίου αποτελεί η "*Οδηγία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*" (RED 2009/28/EC) που τέθηκε σε ισχύ στις 25 Ιουνίου 2009 και έπρεπε να μεταφερθεί στην εθνική νομοθεσία όλων των κρατών μελών από τις 5 Δεκεμβρίου **2010**[16].

Η οδηγία αυτή καθιερώνει μια γενική πολιτική στην ΕΕ για την παραγωγή και την προώθηση ενέργειας από τις ΑΠΕ και επιβεβαιώνει εκ νέου τους στόχους της ΕΕ για το 2020 που αφορούν τη συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στη συνολική κατανάλωση ενέργειας καθώς και την υποχρεωτική συμμετοχή των βιοκαυσίμων κατά 10% στις μεταφορές σε κάθε μέλος της. Επιπλέον, καθορίζει τους εθνικούς στόχους κάθε χώρας ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπόψη το σημείο εκκίνησης και το συνολικό δυναμικό των ΑΠΕ της καθεμιάς. Οι στόχοι αυτοί κυμαίνονται από το χαμηλό 10% στη Μάλτα έως το υψηλό 49% στη Σουηδία. Η πρόοδος της κάθε χώρας θα ελέγχεται κάθε δυο χρόνια, μέσω της αναλυτικής έκθεσης για τις ΑΠΕ που θα δημοσιεύουν[22].

Η παραπάνω οδηγία επαναλαμβάνει ότι η μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, που επιτυγχάνεται με τη χρήση βιοκαυσίμων, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 35%, ενώ ταυτόχρονα ορίζει ότι από την 1^η Ιανουαρίου 2017 η μείωση αυτή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον **50%** και αντίστοιχα από την 1^η Ιανουαρίου 2018 τουλάχιστον **60%**[4]. Τέλος, προωθείται η συνεργασία μεταξύ των χωρών της ΕΕ, αλλά και με χώρες εκτός της ΕΕ, ώστε να υλοποιήσουν από κοινού τους στόχους για τις ΑΠΕ. Η συνεργασία αυτή μπορεί να είναι υπό τη μορφή κοινών έργων και κοινών σχεδίων στήριξης με βάση τις ΑΠΕ[22].

Το "*Πακέτο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής*" περιλαμβάνει τους στόχους "20/20/20" για το 2020, που αφορούν[16]:

- τη μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% συγκριτικά με το 1990,
- τη βελτίωση κατά 20% στην ενεργειακή επάρκεια συγκριτικά με τις προβλέψεις για το 2020,
- τη συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ. Μέρος αυτού του 20% αποτελεί το ελάχιστο 10%, που αφορά τη συμμετοχή των ΑΠΕ στο τομέα των μεταφορών, που πρέπει να επιτευχθεί από όλα τα μέλη.

Στις 27 Μαρτίου **2013**, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την "*Πρώτη Έκθεση Προόδου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*" και την ίδια χρονιά γνωστοποιήθηκε ο τελευταίος επίσημος αριθμός, που αφορά την χρήση των ΑΠΕ στο τομέα των μεταφορών της ΕΕ και ανέρχεται στο **5,4%**. Τον Ιούνιο του **2014**, η Connie Hedegaard, πρώην μέλος της Επιτροπής για την Κλιματική Δράση, ανέφερε ότι η ΕΕ είναι σε καλό δρόμο για να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό 24% μέχρι το 2020, δηλαδή 4% πάνω από το στόχο[16].

Στις 28 Απριλίου **2015**, η Ολομέλεια του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ενέκρινε την νέα οδηγία με τίτλο "*Έμμεση αλλαγή της χρήσης γης*" (iLUC), που περιορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα κράτη μέλη θα μπορούν να επιτύχουν το στόχο του 10% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα καύσιμα μεταφορών μέχρι το 2020, βάζοντας ένα τέλος στις συζητήσεις πολλών μηνών. Θα υπάρχει ένα ανώτατο όριο στην συνεισφορά των βιοκαυσίμων, που παράγονται από τις ενεργειακές καλλιέργειες, και μια ακόμα μεγαλύτερη έμφαση στην παραγωγή προηγμένων βιοκαυσίμων από εναλλακτικές πηγές. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό των βιοκαυσίμων που προέρχονται από τις ενεργειακές καλλιέργειες μειώνεται **από 10% στο ανώτατο 7%** και το υπόλοιπο **3%** θα προέρχεται από μια ποικιλία πολλαπλών επιλογών, όπως τα βιοκαύσιμα από χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια και ζωικά λίπη και τα προηγμένα βιοκαύσιμα από απόβλητα και φύκια[21]. Το Συμβούλιο θα πρέπει να επιβεβαιώσει την ψηφοφορία του Κοινοβουλίου έως το τέλος του 2015. Εάν εγκριθεί, τα κράτη μέλη θα πρέπει να θεσπίσουν τη νέα νομοθεσία μέχρι το 2017[16]. Επιπλέον, θα πρέπει να καθορίσουν το επίπεδο των δικών τους εθνικών ενδεικτικών στόχων για τα προηγμένα βιοκαύσιμα εντός 18 μηνών (τέλος 2016 – αρχές 2017)[21].

Στις 15 Ιουνίου **2015**, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε την "*Δεύτερη Έκθεση Προόδου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*". Η εν λόγω έκθεση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι προοπτικές, για την επίτευξη του στόχου των ΑΠΕ στο 20% μέχρι το 2020, είναι καλές. Η πλειοψηφία των κρατών μελών είναι σε καλό δρόμο για την επίτευξη των στόχων τους, που αφορούν τις ΑΠΕ. Τέλος, στην έκθεση αναφέρεται ότι η επίτευξη του στόχου, για τη συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 10% στις μεταφορές, είναι δύσκολη αλλά ωστόσο εφικτή με την ανάπτυξη προηγμένων βιοκαυσίμων[16].

6.2.5. Η πορεία των βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι σήμερα ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοντίζελ στον κόσμο. Το 2013 παρήγαγε περίπου το **40% της παγκόσμιας παραγωγής**[14]. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το βιοντίζελ αντιπροσωπεύει το 80% της συνολικής παραγωγής βιοκαυσίμων και το μεγαλύτερο μέρος του προέρχεται από την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης και του ηλιάνθου[1].

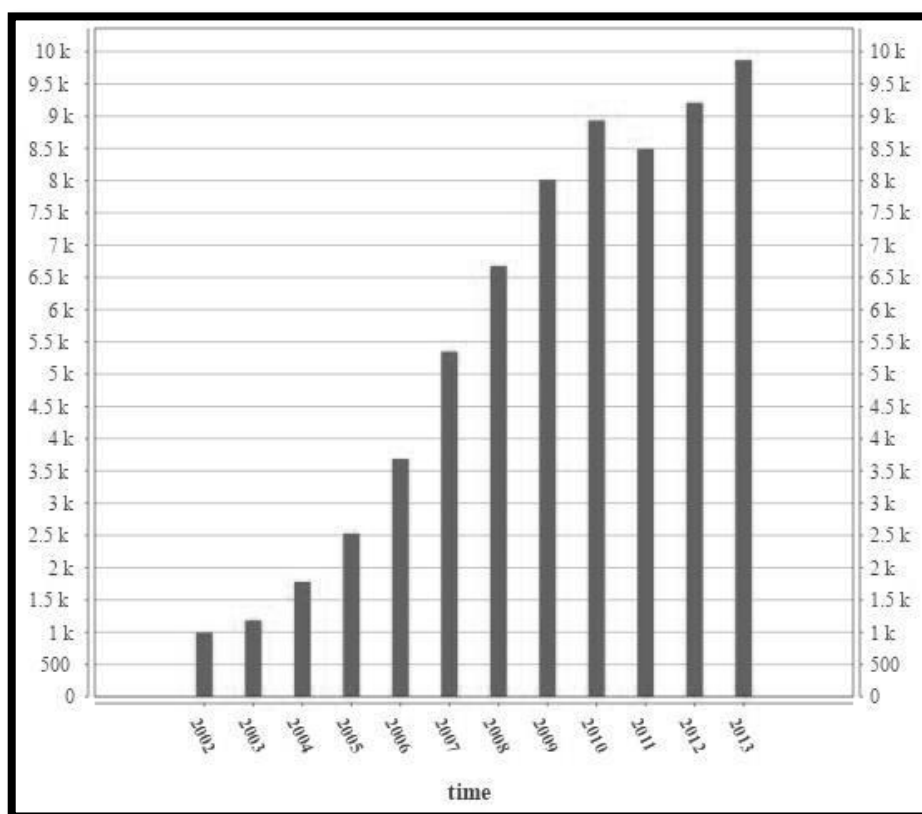
Η παραγωγή του βιοντίζελ την περίοδο 1994-2013 αυξήθηκε στο 100πλάσιο με βάση τα δημοσιευμένα αποτελέσματα της *Eurostat*. Το έτος **2013**, το συνολικό παραγωγικό δυναμικό του στην ΕΕ έφτασε τα **9868,5 ktoe** αυξημένο κατά 659 ktoe από την περασμένη χρονιά. Το 2013, η Γερμανία παρήγαγε 2667,7 ktoe, ποσότητα που ανάγεται στο **27%** του συνολικής παραγωγής, ως αποτέλεσμα του ιδιαίτερα ευνοϊκού φορολογικού καθεστώτος για τα βιοκαύσιμα στη χώρα αυτή[15]. Το **2014**, η

παραγωγή του βιοντίζελ στην ΕΕ επωφελήθηκε από τις σημαντικά χαμηλότερες εισαγωγές και από την υψηλότερη εγχώρια κατανάλωση, με αποτέλεσμα την **αύξηση της παραγωγής του κατά 11%** στην Γερμανία και στην Ισπανία[16].

Το 2014 η Γερμανία, η Γαλλία, η Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν οι μεγαλύτεροι καταναλωτές βιοντίζελ στην ΕΕ, αντιπροσωπεύοντας το **58% της ΕU28**. Για το 2015 και το 2016, η κατανάλωση αναμένεται να κυμανθεί στα ίδια επίπεδα με τους ίδιους κύριους καταναλωτές, με εξαίρεση την Ισπανία που αναμένεται να ανακάμψει ελαφρώς και το Ηνωμένο Βασίλειο που για το 2016 θα αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση[16].

Το **κραμβέλαιο** είναι ακόμη η πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ που κυριαρχεί στην ΕΕ, αντιπροσωπεύοντας το **55% της συνολικής παραγωγής το 2014**. Ωστόσο, το μερίδιο της έχει μειωθεί σημαντικά σε σύγκριση με το 66% το 2012, κυρίως λόγω της αύξησης της χρήσης του φοινικέλαιου που έχει γίνει η δεύτερη πιο σημαντική πρώτη ύλη. Στις τελευταίες θέσεις, βρίσκεται το ηλιέλαιο που κατέχει μόνο το 3% των συνολικών πρώτων υλών για την παραγωγή βιοντίζελ και χρησιμοποιείται κυρίως στη Γαλλία και στην Ελλάδα[16].

Διάγραμμα 6.1: Η πρωτογενής παραγωγή του βιοντίζελ στην ΕΕ τη χρονική περίοδο 2002-2013.



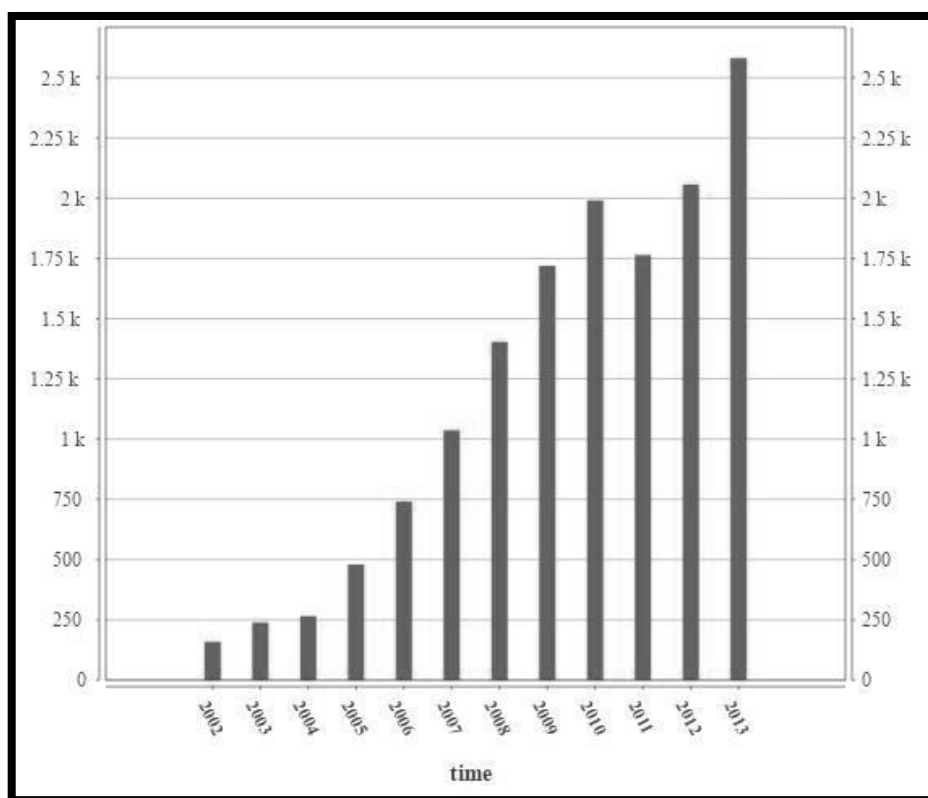
Πηγή: <http://ec.europa.eu/eurostat> [15]

Στα βιοκαύσιμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η βιοαιθανόλη συγκριτικά με το βιοντίζελ διαδραματίζει δευτερεύοντα ρόλο. Το έτος **2012**, κατέλαβε το **4,66% της παγκόσμιας παραγωγής** με βάση τα αποτελέσματα της στατιστικής υπηρεσίας *Energy Information Administration* των Ηνωμένων Πολιτειών. Το 2013, η παραγωγή βιοαιθανόλης επωφελήθηκε από την αφθονία των πρώτων υλών, ενώ στις αρχές του

ίδιου έτους μειώθηκαν σημαντικά οι ανταγωνιστικές εισαγωγές από τις ΗΠΑ. Ωστόσο, παρά την αύξηση της παραγωγής, η κατανάλωση μειώθηκε με αποτέλεσμα το 2014 η ΕΕ να πλησιάζει τα όρια της αυτάρκειας. Το **2014**, η παραγωγή της βιοαιθανόλης στην ΕΕ εκτιμάται στα **5,25 δισεκατομμύρια λίτρα**, ποσότητα που ισοδυναμεί με 33 εκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου. Κατά την διάρκεια του 2015 και του 2016, η παραγωγή της βιοαιθανόλης αναμένεται να παραμείνει στάσιμη στα περισσότερα κράτη μέλη της ΕΕ[16].

Στην ΕΕ, η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από *σιτάρι*, *καλαμπόκι* και *ζαχαρότευτλα*. Το σιτάρι χρησιμοποιείται κυρίως στη βορειοδυτική Ευρώπη, το καλαμπόκι στην Κεντρική Ευρώπη και την Ισπανία, ενώ στην Τσεχία για την παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιούν τα ζαχαρότευτλα. Η απαιτούμενη πρώτη ύλη το 2015, στην ΕΕ, για την παραγωγή βιοαιθανόλης (5.250 εκατομμύρια λίτρα) εκτιμάται σε περίπου 10,1 MMT (Million Metric Tons) των σιτηρών και 11,2 MMT των ζαχαρότευτλων. Αυτό είναι περίπου το **3%** της συνολικής παραγωγής σιτηρών της ΕΕ και αντίστοιχα το **8,8%** της συνολικής παραγωγής ζαχαρότευτλων[16].

Διάγραμμα 6.2: Η πρωτογενής παραγωγή της βιοαιθανόλης στην ΕΕ τη χρονική περίοδο 2002-2013.



Πηγή: <http://ec.europa.eu/eurostat> [15]

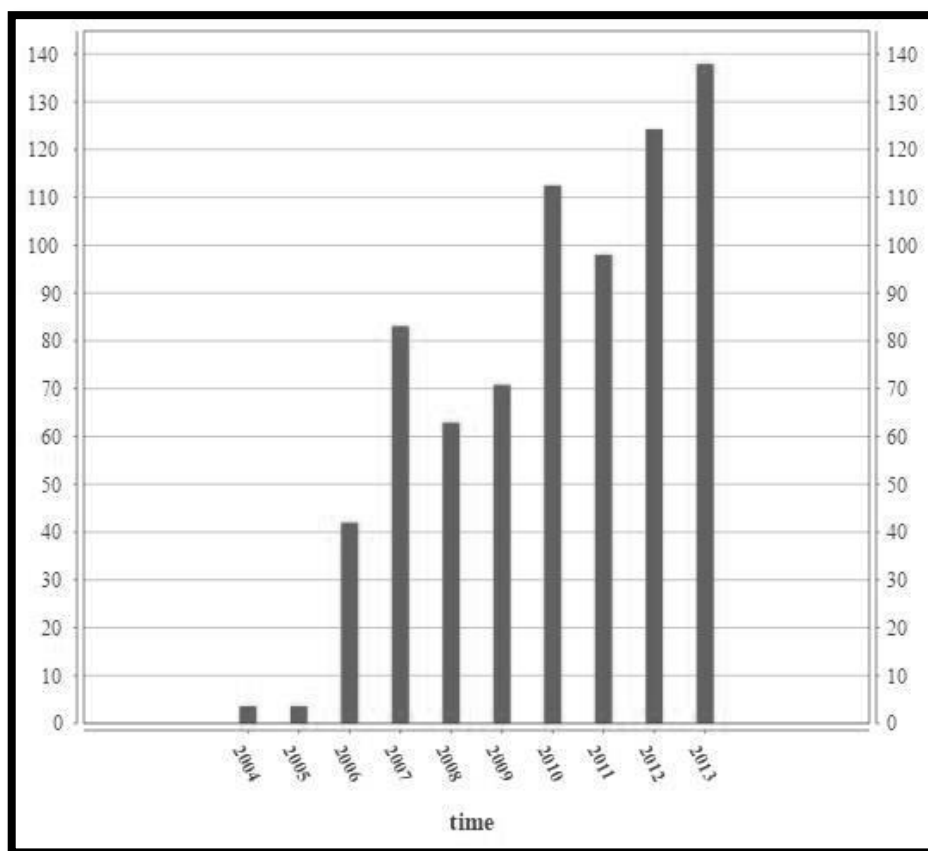
6.2.6. Η πορεία των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα

Η εθνική πολιτική για τα βιοκαύσιμα στην Ελληνική αγορά και την προώθηση τους, ικανοποιεί τη δέσμευση της Ελλάδας για να επιτύχει τους στόχους που διατυπώνονται στη στρατηγική της ΕΕ, με στόχο τη μείωση εκπομπών των αερίων

του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα του CO₂ στο τομέα των μεταφορών. Στην Ελλάδα ως υγρά βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται το βιοντίζελ, ως υποκατάστατο του πετρελαίου κίνησης, και η βιοαιθανόλη, σε πολύ μικρό έως ανύπαρκτο βαθμό[17].

Η Ελλάδα έχει χωριστεί σε 13 καλλιεργητικές περιοχές. Στις 7 από αυτές, μπορούν να αναπτυχθούν ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή βιοντίζελ από εγχώρια αειφόρο πρώτη ύλη[18]. Την πενταετία **2009-2013**, η παραγωγή του βιοντίζελ σχεδόν **διπλασιάστηκε**, σύμφωνα με τα πρόσφατα αποτελέσματα της *Eurostat*. Συγκεκριμένα το **2013**, η Ελλάδα παρήγαγε **137,9 ktoe**, ποσότητα που αντιστοιχεί στο **1,4% της συνολικής παραγωγής βιοντίζελ** στην ΕΕ[15].

Διάγραμμα 6.3: Η πρωτογενής παραγωγή του βιοντίζελ στην Ελλάδα τη χρονική περίοδο 2004-2013.



Πηγή: <http://ec.europa.eu/eurostat> [15]

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, το βιοντίζελ είναι προαναμεμειγμένο σε ένα μικρό ποσοστό σε όλες, ανεξαιρέτα, τις ποσότητες του διατιθέμενου στη χώρα πετρελαίου κίνησης. Οι απαιτούμενες ετήσια ποσότητες προέρχονται κατά προτεραιότητα από ελληνικές ενεργειακές καλλιέργειες και πρώτες ύλες, οι οποίες απορροφώνται στο σύνολό τους και μετατρέπονται σε βιοντίζελ στις μεταποιητικές μονάδες που λειτουργούν στη χώρα. Οι υπόλοιπες ποσότητες παράγονται είτε από εισαγόμενες πρώτες ύλες σε εγχώριες μονάδες είτε εισάγονται ως έτοιμο τελικό προϊόν από άλλα Κράτη Μέλη[18].

Το ποσοστό ανάμειξης βαίνει αυξανόμενο. Η ανάμειξη ξεκίνησε από το τέλος του 2005 με ποσοστό 2,5% κατ' όγκο σε βιοντίζελ, ανέβηκε σύντομα στο 4,5% και στις αρχές του **2010** αυξήθηκε περαιτέρω καταλαμβάνοντας το **6,5%**. Μετά από επτά

χρόνια, **στις αρχές του 2013**, η Ελλάδα αποκτά το **καύσιμο B7**, το οποίο είναι ένα πετρέλαιο κίνησης, αποτελούμενο από αυτούσιο βιοντίζελ σε ποσοστό που φτάνει το **7%**. Το B7, διατίθεται από κάθε αντλία σε οποιοδήποτε πρατήριο υγρών καυσίμων εντός της ελληνικής επικράτειας και η ανάμειξη γίνεται είτε από τα διυλιστήρια είτε από τις εταιρίες από εισάγουν πετρέλαιο κίνησης, πριν τη διάθεση του στη χονδρική εγχώρια αγορά[18].

Σύμφωνα με την απόφαση κατανομής των ποσοτήτων βιοντίζελ για το έτος **2015**, η συνολική ποσότητα που θα αναμειχθεί με το πετρέλαιο κίνησης ανέρχεται σε **140.000 χιλιόλιτρα**. Το 94% περίπου της ποσότητας αυτής, θα προέλθει από τα ελληνικά εργοστάσια, που επεξεργάζονται έλαια και το υπόλοιπο από εισαγωγές. Από πλευράς δυναμικότητας, η εταιρία *Agroinvest* βρίσκεται πρώτη μεταξύ των παραγωγών βιοντίζελ και το 2015 θα καλύψει το 23,31% της συνολικής κατανομής με 32.635 χιλιόλιτρα, ενώ ακολουθούν και άλλες αξιόλογες εταιρίες. Για την εγχώρια παραγωγή βιοντίζελ, θα αξιοποιηθούν συνολικά 175.742 τόνοι ηλίανθου, 96.458 τόνοι βαμβακόσπορου, 17.852 τόνοι χρησιμοποιημένων φυτικών και ζωικών λαδιών, 8.214 τόνοι ελαιοκράμβης και 7.611 τόνοι σόγιας[19].

6.3. Ενεργειακή Γεωργία

Η ενεργειακή γεωργία είναι ένας τομέας που εξελίσσεται ταχύτατα τα τελευταία χρόνια, λόγω της ιδιαιτέρως ρυπογόνου επίδρασης των ορυκτών καυσίμων στο περιβάλλον, της εξάντλησης των αποθεμάτων πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου του πλανήτη και του εξελισσόμενου αδιεξόδου της γεωργικής υπερπαραγωγής στις ανεπτυγμένες χώρες[3].

Συγκρινόμενη με τη συμβατική γεωργία, η ενεργειακή απαιτεί πολύ χαμηλότερες εισροές σε λιπάσματα και αγροχημικά για τον έλεγχο ζιζανίων και εντόμων, ενώ συγχρόνως εμποδίζεται η διάβρωση των εδαφών (κυρίως από πολυετείς καλλιέργειες) και διαφυλάττονται οι υδατικοί πόροι και η ποιότητα αυτών, γεγονός που την καθιστά ως μια βέλτιστη λύση διαφοροποίησης της γεωργικής χρήσης για μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων. Επιπλέον, συντελεί στην **εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας**[3].

Εκτός των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων, ως κοινωνικο – οικονομικά οφέλη από την ανάπτυξη της ενεργειακής γεωργίας αναφέρονται: η προσφορά **εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων**, η ενδυνάμωση του αγροτικού χώρου, η αύξηση του αγροτικού εισοδήματος, η μείωση των περιφερειακών ανισοτήτων, η αναζωογόνηση των λιγότερο ανεπτυγμένων γεωργικών οικονομιών, η εξασφάλιση αειφόρου ανάπτυξης, η μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και η ασφάλεια στον εφοδιασμό ενέργειας[3].

Πιο συγκεκριμένα, το κίνητρο καλλιέργειας των εναλλακτικών καλλιεργειών είναι **ισχυρό**. Αυτό οφείλεται κυρίως[2]:

- στο μεγαλύτερο κέρδος που έχει ο παραγωγός,
- στο μηδενικό κόστος επένδυσης μετά το πρώτο έτος της εγκατάστασης,

- στη βελτίωση της γονιμότητας του χωραφιού,
- στη βελτίωση της βιοποικιλότητας και της ποιότητας ζωής και
- στη μηδενική απασχόληση που επιτρέπει παράλληλη απασχόληση.

6.4. Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν ως κύριο προϊόν **βιομάζα**. Η βιομάζα, που με την επιστημονική της έννοια σημαίνει «ζώσα» ύλη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και υγρών βιοκαυσίμων[6]. Οι ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται σε:

- Παραδοσιακές καλλιέργειες: Παράγουν διατροφικά προϊόντα και περιλαμβάνουν α) αμυλούχα φυτά όπως τα σιτηρά, β) ζαχαρούχα φυτά όπως το ζαχαρότευτλο και γ) ελαιούχα φυτά όπως ο ηλίανθος. Τα κύρια προϊόντα των καλλιεργειών αυτών (άμυλο, ζάχαρα, λάδι) μετατρέπονται για ενεργειακή αξιοποίηση σε βιοαιθανόλη και βιοντίζελ[1].
- «Νέες» καλλιέργειες: Περιλαμβάνουν είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης. Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τις γεωργικές και τις δασικές (όπως η ψευδακακία και ο ευκάλυπτος). Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται περαιτέρω σε ετήσιες (όπως το ινώδες σόργο και το κενάφ) και σε πολυετείς (όπως το switchgrass και ο μίσχανθος)[7]. Τα περισσότερα είδη, αυτών των καλλιεργειών, παρέχουν τη δυνατότητα για παραγωγή βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς[1].

6.4.1. Κριτήρια επιλογής και χωροθέτησης ενεργειακών καλλιεργειών

Η αποτελεσματική αξιοποίηση της πληθώρας πληροφοριών σχετικά με τις ενεργειακές καλλιέργειες, μπορεί να βοηθήσει για την εγκατάσταση της κατάλληλης καλλιέργειας στην κατάλληλη περιοχή με τρόπο που να την καθιστά βιώσιμη. Η χρησιμοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών, εκτός της συμβολής τους για μερική απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, θα συμβάλλει σημαντικά στη μείωση εκπομπής ρύπων. Επιπλέον, το περιβάλλον θα ωφεληθεί από τη δυνατότητα εγκατάστασης καλλιεργειών με χαμηλότερες απαιτήσεις εισροών[1].

Εκτός από το βασικότατο κριτήριο του εισοδήματος, το είδος της σκοπούμενης ενεργειακής χρήσης, το τελικό προϊόν προς αξιοποίηση, ο κύκλος παραγωγής καθώς και η ύπαρξη σχετικής τεχνογνωσίας αποτελούν βασικούς παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των κατάλληλων καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες μικρού περιόδου χρόνου για παράδειγμα είναι κατάλληλες σήμερα για

την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν αξιοποιείται μόνο ο καρπός για παραγωγή βιοντίζελ, τότε η ενεργειακή καλλιέργεια συνιστάται να είναι υψηλών αποδόσεων σε καρπό. Όταν στόχος είναι η καύση ή η παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυταρρίνη, τότε λαμβάνεται υπόψη η συνολική παραγωγή της βιομάζας. Επιπλέον, η περίπτωση χρήσης ετήσιων καλλιεργειών για παραγωγή βιομάζας είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς ο κίνδυνος αποτυχίας ικανοποιητικής απόδοσης για ετήσιες καλλιέργειες είναι σαφώς μικρότερος σε σχέση με αυτόν μιας πολυετούς καλλιέργειας. Αντίθετα, οι πολυετείς καλλιέργειες μειώνουν τον κίνδυνο της διάβρωσης του εδάφους, της έκπλυσης των νιτρικών και της ελάττωσης της οργανικής ουσίας του εδάφους. Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη η υπάρχουσα τεχνογνωσία παραγωγής της καλλιέργειας (δηλαδή ευνοούνται καλλιέργειες γνωστές στους παραγωγούς όπως είναι το ζαχαρότευτλο, το καλαμπόκι και το σιτάρι), καθώς και η ευχέρεια προσαρμογής των καλλιεργειών στις εκάστοτε οικονομικές συνθήκες (μονοετείς vs πολυετείς καλλιέργειες)[1].

Ας δούμε αναλυτικά τα βασικά κριτήρια για την επιλογή της σωστής ενεργειακής καλλιέργειας[1]:

- Προσαρμοστικότητα στις κλιματικές συνθήκες: Αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η αγριαγκινάρα για παράδειγμα είναι καλά προσαρμοσμένη σε ξηροθερμικές συνθήκες χωρών, όπου οι βροχοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα με αποτέλεσμα η υπάρχουσα εδαφική υγρασία να χρησιμοποιείται από το φυτό κατά τη διάρκεια της άνοιξης χωρίς να χρειάζεται άρδευση τους καλοκαιρινούς μήνες όταν ωριμάζει νωρίς και συγκομίζεται. Επιπλέον, οι παγετοί μπορεί να είναι απαγορευτικός παράγοντας για τον ευκάλυπτο ή το μίσχανθο για παράδειγμα, καθώς κανείς τους δεν επιβιώνει εύκολα σε ψυχρούς χειμώνες και η απόδοσή τους μειώνεται σημαντικά από όψιμους παγετούς.
- Προσαρμοστικότητα στις εδαφικές συνθήκες: Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα της καλλιέργειας να αναπτύσσεται σε ευρείας κλίμακας εδαφικούς τύπους και να προσδιορίζονται οι καταλληλότεροι τύποι για την αύξηση της απόδοσης. Επίσης, η δυνατότητα υψηλών αποδόσεων μόνο σε ένα εδαφικό τύπο (όπως είναι τα γόνιμα εδάφη για το σιτάρι), η γνώση του pH του εδάφους, η ανθεκτικότητα της καλλιέργειας σε αλατότητα και ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους κυρίως σε επικλινείς επιφάνειες αποτελούν βασικά κριτήρια για την επιλογή της καλλιέργειας. Για παράδειγμα, τα ελαφρώς επικλινή εδάφη που φιλοξενούν πολυετείς καλλιέργειες προστατεύονται από την διάβρωση.
- Προσαρμοστικότητα στη διαθεσιμότητα νερού: Η διαθεσιμότητα νερού αποτελεί τον **σημαντικότερο** περιοριστικό παράγοντα για την καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Επομένως, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό καθώς και η δυνατότητα να αναπτυχθεί με την υπάρχουσα ετήσια ποσότητα νερού. Για παράδειγμα, οι πολυετείς καλλιέργειες με μεγάλη περίοδο ανάπτυξης κάνουν τη μεγαλύτερη αξιοποίηση νερού. Το σόργο υπερτερεί του αραβόσιτου ως προς τη δυνατότητα οικονομικά βιώσιμης ανάπτυξης της καλλιέργειας με περιορισμένο διαθέσιμο νερό στην περιοχή.

Θα πρέπει, επίσης, να εξετάζεται η ανθεκτικότητα της καλλιέργειας σε μικρές σχετικά περιόδους ξηρασίας (όπως στην περίπτωση του ηλίανθου) καθώς και η επίδραση της ξηρασίας στην τελική απόδοση της καλλιέργειας. Για παράδειγμα, στο μίσχανθο η ξηρασία επιδρά αρνητικά καθώς οι τελικές του αποδόσεις μειώνονται σημαντικά. Τέλος, να αναφέρουμε ότι διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή η ανθεκτικότητα της καλλιέργειας σε πλημμύρες και η πιθανότητα χρησιμοποίησης ανακυκλωμένου νερού από απόβλητα.

- Μέγεθος καλλιεργούμενων εκτάσεων: Για τη χωροταξική κατανομή «νέων» ενεργειακών καλλιεργειών, εκτός από το κλίμα και τη διαθεσιμότητα νερού (βροχοπτώσεις, δυνατότητα άρδευσης), βασικότατο κριτήριο αποτελεί το μέγεθος των ήδη καλλιεργούμενων εκτάσεων. Με δεδομένο ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας καθώς και για τη μελλοντική παραγωγή βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς χρησιμοποιούνται γεωργικά υπολείμματα, απαιτείται η μελέτη της διαθεσιμότητάς τους κατά περιοχή.
- Τεχνογνωσία: Η εμπειρία και η διαθέσιμη τεχνογνωσία για την προς εγκατάσταση καλλιέργεια είναι ιδιαίτερα σημαντική όπως και το επίπεδο της τωρινής παραγωγής για μια καλλιέργεια. Για παράδειγμα η προηγούμενη καλλιέργεια της λεύκης για παραγωγή χαρτοπολτού αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα καθώς η παραγωγή, η συγκομιδή και η μεταφορά μπορούν να εφαρμοστούν και για τη χρήση της καλλιέργειας ως ενεργειακή. Ένα ακόμα παράδειγμα που αξίζει να αναφέρουμε είναι η καλλιέργεια ζαχαρότευτλων σε χώρες όπως η Ελλάδα. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζάχαρης και ταυτόχρονα, με την κατάλληλη επεξεργασία, ευνοεί την παραγωγή βιοαιθανόλης.
- Εγκατάσταση καλλιέργειας: Η ευκολία και το κόστος εγκατάστασης της καλλιέργειας αποτελούν κύριους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή. Για καλλιέργειες που εγκαθίστανται από σπόρο, όπως στην περίπτωση του σόργου, το κόστος είναι χαμηλότερο και η εγκατάσταση της καλλιέργειας ευκολότερη. Για τα πολυετή φυτά, το κόστος της εγκατάστασης (συνήθως με μοσχεύματα ή ριζώματα) πρέπει να αποσβεσθεί σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας. Επιπλέον, η πυκνότητα των πολυετών πρέπει να επιλέγεται με γνώμονα τη βέλτιστη απόδοση, όπου τα φυτά φτάνουν στην πλήρη παραγωγή.
- Φιλοπεριβαλλοντικές καλλιεργητικές τεχνικές και αμειψισπορά: Η δυνατότητα φιλοπεριβαλλοντικών καλλιεργητικών τεχνικών, στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αναγκαιότητα καταπολέμησης των ζιζανίων στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας (όπως στην περίπτωση του μίσχανθου, στις καλλιέργειες μικρού περιότρου χρόνου και στην αγριαγκινάρα), η δυνατότητα μηχανικής καταπολέμησης των ζιζανίων, η πιθανότητα ανταγωνισμού των ζιζανίων με την καλλιέργεια μετά την εγκατάστασή της (για παράδειγμα η αγριαγκινάρα και το switchgrass δεν κινδυνεύουν από τον ανταγωνισμό των ζιζανίων μετά την εγκατάστασή τους), η ύπαρξη υψηλού κινδύνου για την καλλιέργεια από εχθρούς και ασθένειες (κάποιες ενεργειακές καλλιέργειες είναι περισσότερο ανθεκτικές σε εχθρούς και ασθένειες όπως η λεύκη), η πιθανότητα έκπλυσης των νιτρικών που εξαρτάται

κυρίως από το έδαφος, τις κλιματικές συνθήκες και το είδος (όπως ο μίσχανθος και ο ηλίανθος, που εξαιτίας του βαθέως ριζικού τους συστήματος συμβάλλουν στη μείωση της έκπλυσης των νιτρικών), και η δυνατότητα της καλλιέργειας να συμπεριληφθεί σε συστήματα αμειψισποράς (όπως ο ηλίανθος, η ελαιοκράμβη, το σόργο και το σιτάρι).

- Εισροές: Παράγοντες που επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι το ύψος των εισροών της καλλιέργειας (για παράδειγμα ο αραβόσιτος είναι καλλιέργεια με υψηλές εισροές), η απαίτηση της καλλιέργειας σε λίπανση (το σόργο είναι φυτό με σχετικά μικρές απαιτήσεις σε λίπανση) και η σχέση λίπανσης και τελικής απόδοσης (οι αποδόσεις της αγριαγκινάρας είναι ικανοποιητικές συγκριτικά με τις μικρές ποσότητες λίπανσης που χρησιμοποιούνται).
- Χρόνος συγκομιδής: Πρέπει να ληφθεί υπόψη ο κατάλληλος χρόνος συγκομιδής ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες. Αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελεί ο μίσχανθος, που συγκομίζεται αργά το φθινόπωρο στις πολύ νότιες περιοχές της Ευρώπης συγκριτικά με τις βορειότερες, που συγκομίζεται τέλη χειμώνα - αρχές άνοιξης με απώλειες στη συγκομιζόμενη βιομάζα αλλά σε μικρότερα επίπεδα υγρασίας και σε καλύτερη ποιότητα. Η διάρκεια επίσης της περιόδου συγκομιδής είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η μικρή περίοδος συγκομιδής, όπως συμβαίνει στην ελαιοκράμβη, αποτελεί γενικά ένα σοβαρό περιοριστικό παράγοντα.
- Αναμενόμενη απόδοση: Η αναμενόμενη απόδοση από πιλοτικές ή εμπορικές καλλιέργειες με ή χωρίς άρδευση, ο εδαφικός τύπος, η σχέση απόδοσης και εισροών (το ισοζύγιο για τον ηλίανθο παρουσιάζεται θετικό, ενώ για το σόργο η εφαρμογή άρδευσης αποτελεί βασικό παράγοντα για υψηλές αποδόσεις), ο χρόνος βιωσιμότητας της καλλιέργειας (για παράδειγμα σε μικρού περίτροπου χρόνου καλλιέργειας ο χρόνος βιωσιμότητας είναι έως και τα 30 έτη) και η πιθανότητα αύξησης της απόδοσης σε βάθος χρόνου (στο ζαχαρότευτλο οι αποδόσεις ως ενεργειακή καλλιέργεια δεν αναμένονται διαφορετικές από αυτές για την παραγωγή ζάχαρης) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες σχεδιασμού και επιλογής της καλλιέργειας.
- Εισόδημα καλλιεργητή - Κόστος παραγωγής βιοκαυσίμων: Για τις παραδοσιακές καλλιέργειες που αξιοποιούνται για ενεργειακούς σκοπούς, το κόστος παραγωγής θα είναι γνωστό και ο παραγωγός θα έχει απλώς να επιλέξει την καλύτερη προσφορά για διάθεση του προϊόντος του μεταξύ των βιοκαυσίμων ή της διατροφικής χρήσης. Καμιά όμως νέα ενεργειακή καλλιέργεια δεν πρόκειται να εγκατασταθεί εάν α) δεν υπάρξει κίνητρο εισοδήματος για τον αγρότη, που θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίδιο με το εισόδημα από την καλλιέργεια που πρόκειται να αντικαταστήσει και β) δεν εξασφαλισθεί η διάθεση του προϊόντος του. Η πρακτική της συμβολαιακής γεωργίας είναι απαραίτητη για το όλο εγχείρημα. Ταυτόχρονα, η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών για παραγωγή βιοκαυσίμων πρέπει να είναι ανταγωνιστική. Ωστόσο, σε πολλές χώρες η φορολόγηση των βιοκαυσίμων και οι χαμηλές ενισχύσεις είναι παράγοντες που δεν προωθούν τις ενεργειακές καλλιέργειες. Η επίτευξη υψηλών αποδόσεων με σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής αποτελούν, για τις ενεργειακές καλλιέργειες,

ένα από τους σημαντικότερους στόχους. Παράλληλα, το κόστος συγκομιδής, μεταφοράς και αποθήκευσης της βιομάζας θα πρέπει να παραμένει το ελάχιστο δυνατό.

- Εκμηχάνιση της καλλιέργειας: Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαθεσιμότητα αγροτικών μηχανημάτων για την εκτέλεση των διαφόρων καλλιεργητικών πρακτικών (όπως στην συγκομιδή του σόργου, που χρησιμοποιούνται ήδη υπάρχουσες χορτοκοπτικές ή θεριζοαλωνιστικές μηχανές). Η ανάγκη για ειδικά μηχανήματα (όπως στο μίσχανθο και στο καλάμι για την φύτευση ριζωμάτων) ενδεχομένως να λειτουργήσει ως ανασταλτικός παράγοντας.
- Αποθήκευση και ιδιότητες του βιοκαυσίμου: Η επάρκεια και η καταλληλότητα των αποθηκευτικών χώρων εξασφαλίζουν και διασφαλίζουν την παράδοση του τελικού προϊόντος ιδιαίτερα εάν μεσολαβεί ικανός χρόνος μεταξύ της συγκομιδής και επεξεργασίας του προϊόντος. Αντίθετα, η αποθήκευση δεν επηρεάζει στην περίπτωση που ο χρόνος από την συγκομιδή της βιομάζας έως την επεξεργασία της είναι βραχύς όπως στο γλυκό σόργο και στο ζαχαρότευτλο. Το κόστος αποθήκευσης αποτελεί έναν επίσης περιοριστικό παράγοντα. Οι απαιτήσεις της βιομηχανίας σχετικά με την ποιότητα του καυσίμου από μια συγκεκριμένη καλλιέργεια (με υγρασία, χαμηλή περιεκτικότητα σε χλώριο και άζωτο ή χαμηλό δείκτη ιωδίου) αποτελούν επίσης σημαντικούς παράγοντες σχετικά με την διάθεση του προϊόντος.
- Ενεργειακό ισοδύναμο: Το θετικό ενεργειακό ισοδύναμο καθώς και η πιθανότητα βελτίωσής του (όπως με τη χρησιμοποίηση όλου του φυτού για την παραγωγή βιοκαυσίμου από την ελαιοκράμβη ή τη χρήση των στελεχών του γλυκού σόργου για καύση), θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την επιτυχημένη υιοθέτηση μιας ενεργειακής καλλιέργειας.
- Μείωση αερίων του Θερμοκηπίου: Η παράμετρος αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, εφόσον ο βασικός στόχος χρήσης των βιοκαυσίμων ήταν η προστασία από τις δυσμενείς επιπτώσεις που προκαλούν οι αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα ορυκτά καύσιμα. Όμως τώρα, με βάση την **νέα Οδηγία** για τα βιοκαύσιμα, το ποσοστό μείωσης των ΑΕΘ θα αποτελέσει τον πλέον καθοριστικό παράγοντα για τη αποδοχή ή όχι ενός βιοκαυσίμου. Η επίτευξη της θεσμοθετούμενης υποχρεωτικής ελάχιστης μείωσης κατά 35% (και από το 2015 κατά 50%) εξαρτάται από το είδος της ενεργειακής καλλιέργειας και τις καλλιεργητικές συνθήκες και, φυσικά, από τη βιομηχανική διεργασία μετατροπής της πρώτης ύλης σε βιοκαύσιμο.

6.4.2. Ενεργειακή καλλιέργεια Switchgrass



Γενικά στοιχεία

Το **switchgrass (*Panicum virgatum* L.)** είναι ένα πολυετές, αγρωστώδες C4 φυτό που ανήκει στην οικογένεια Poaceae. Είναι ενδημικό φυτό της Βόρειας Αμερικής και έχει επεκταθεί σε όλη την Αμερικανική ήπειρο, από το Μεξικό έως τον Καναδά. Η καλλιέργεια του, όμως, έχει διαδοθεί και στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου. Χρησιμοποιείται παραδοσιακά κατά της διάβρωσης του εδάφους καθώς και για την παραγωγή χορτονομής και ινών. Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον για την καλλιέργεια αυτού του φυτού έχει εστιαστεί στη χρήση του για την παραγωγή στερεών καυσίμων αλλά και τη δυνατότητα παραγωγής βιοαιθανόλης 2^{ης} γενιάς. Δεδομένου ότι η καλλιέργεια χαρακτηρίζεται από **χαμηλό κόστος εγκατάστασης** και **υψηλή παραγωγικότητα**, ακόμα και σε συνθήκες χαμηλών εισροών, το switchgrass αποτελεί ελκυστική λύση για την παραγωγή λιγνιτοκυτταρινούχας βιομάζας[1].

Προσαρμοστικότητα

Παρά την ευρεία προσαρμοστικότητα του σε πληθώρα εδαφικών τύπων, που περιλαμβάνει ελαφρά, φτωχά στραγγιζόμενα, πετρώδη, αμμώδη ή εδάφη που πλημμυρίζουν εύκολα, το **switchgrass** προτιμά τα βαθιά εδάφη που χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική υδατοϊκανότητα και στραγγίση. Μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα εύρος εδαφικών τιμών με pH από 5 έως 7,5. Σε όξινα **άγονα εδάφη**, εξαιτίας του πλούσιου ριζικού συστήματος που διαθέτει, **παράγει περισσότερη βιομάζα** συγκριτικά με άλλες αγρωστώδεις ή δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες. Σε αποδεκτά εδάφη, το switchgrass παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα σε ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών[1].

Περιγραφή - Βιολογικός κύκλος

Το switchgrass είναι ποώδες φυτό θερμών κλιμάτων που αναπαράγεται με σπόρο. Με την κατάλληλη διαχείριση η παραγωγική διάρκεια μπορεί να **υπερβεί τα 15 χρόνια**. Είναι φυτό βαθύρριζο (έως 2 μέτρα βάθος) και παράγει ριζώματα. Το ύψος του φυτού εξαρτάται από την ποικιλία και τις κλιματικές συνθήκες και κυμαίνεται από 0,5 έως 2,5 μέτρα. Ως C4 φυτό χρησιμοποιεί αποτελεσματικά το άζωτο και την εδαφική υγρασία, γεγονός που το καθιστά ένα από τα πλέον παραγωγικά σε βιομάζα αγρωστώδη. Συγκριτικά με άλλα αγρωστώδη, το switchgrass διακρίνεται (από τα αρχικά στάδια ανάπτυξης του) από τις καλυπτόμενες με λευκά τριχίδια περιοχές στην ζώνη τομής του φύλλου με το στέλεχος, το οποίο είναι στρογγυλό με κοκκινόχρωμο χρωματισμό. Η ταξιανθία του είναι φόβη και οι σπόροι του είναι μικρού μεγέθους με σκληρό περίβλημα. Ανάλογα με την ποικιλία, ο αριθμός τους ανά γραμμάριο κυμαίνεται μεταξύ 500 - 1000[1].

Με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και τις περιβαλλοντικές προτιμήσεις του, το switchgrass κατατάσσεται σε δύο οικοτύπους. Ο πρώτος τύπος συναντάται σε υγρές πεδινές περιοχές (**lowland**) και χαρακτηρίζεται από υψηλό, λεπτό και τραχύ στέλεχος, αργότερη ωρίμανση και ανθεκτικότητα στη σκωρίαση, ενώ ο δεύτερος αναπτύσσεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (**upland**) και ξηρό κλίμα και χαρακτηρίζεται από μικρότερα, λεπτά, στελέχη και μικρότερη παραγωγή βιομάζας[1].

Η εμφάνιση των σπορόφυτων λαμβάνει χώρα την άνοιξη, οπότε η θερμοκρασία εδάφους είναι 10°C και άνω. Η ανάπτυξη του φυτού κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι ταχεία και κατά την περίοδο της ανθοφορίας, που συμβαίνει στο τέλος του καλοκαιριού, η παραγωγή βιομάζας φθάνει το 75% της συνολικής. Με το πέρας της ανθοφορίας τα στελέχη ξυλοποιούνται και αρχίζει η περίοδος ωρίμανσης - ξήρανσης οπότε το φυτό εισέρχεται σε λήθαργο. Σε θερμά κλίματα, όπως της νότιας Ευρώπης, ο βιολογικός κύκλος του φυτού μπορεί να ολοκληρωθεί με το τέλος της καλοκαιρινής περιόδου. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, τα θρεπτικά στοιχεία από τα φύλλα και τα στελέχη επανατοποθετούνται στις ρίζες και στα ριζώματα όπου και αποθηκεύονται για χρήση την επόμενη περίοδο. Η διαδικασία επανατοποθέτησης, αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης των θρεπτικών στοιχείων βελτιώνει την ποιότητα της παραγόμενης βιομάζας που προορίζεται για παραγωγή ενέργειας μέσω καύσης[1].



Εικόνα 6.6: Νεαρό στάδιο, ανθοφορία και ώριμη καλλιέργεια.

Πηγή: Γ.Ν. Σκαράκης, Ν. Κορρές, Ο.Ι. Παυλή, "Ενεργειακές Καλλιέργειες - Βιοκαύσιμα" [1]

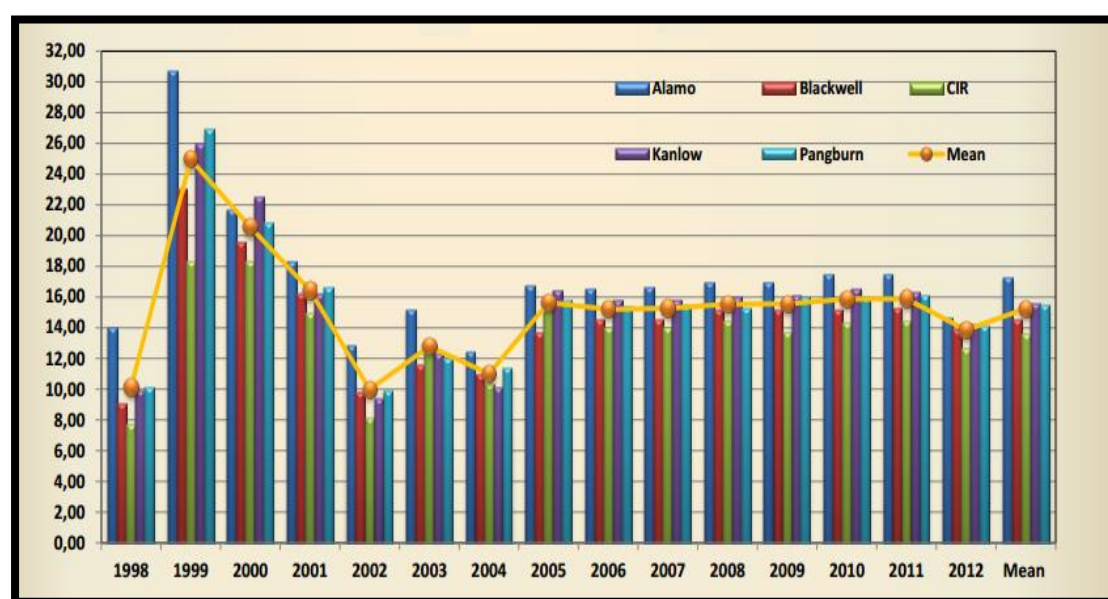
Ποικιλίες

Το ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοκαυσίμων από το switchgrass έχει ενταθεί τα τελευταία χρόνια. Οι έρευνες για την αποτίμηση μεγάλου εύρους ποικιλιών του switchgrass έχουν εντατικοποιηθεί τόσο για τους τύπους που μπορούν να αναπτυχθούν σε υψόμετρο όσο και για αυτούς των πεδινών περιοχών. Η παραγωγή ετερωτικών υβριδίων για μεγιστοποίηση της βιομάζας έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χρησιμοποίηση του φυτού ως πηγή βιοκαυσίμων[1].

Αρκετές από τις ποικιλίες switchgrass που διατίθενται στην Βόρεια Αμερική μπορούν να εισαχθούν στην Ευρώπη, αφού προσαρμοσθούν στις συνθήκες της περιοχής όπου προορίζεται η εγκατάσταση της καλλιέργειας. Ποικιλίες που κατάγονται από νότιες περιοχές της αμερικάνικης ηπείρου παρουσιάζουν **ικανοποιητική προσαρμογή στις νότιες περιοχές της Ευρώπης**, αν και μπορεί να καλλιεργηθούν και σε βορειότερες περιοχές με αυξημένο όμως κίνδυνο απωλειών λόγω χειμερινού ψύχους[1].

Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα από πιλοτικά προγράμματα στην Ελλάδα, οι όψιμες ποικιλίες *Alamo* και *Kanlow* (lowland) καθώς και η μέσο-όψιμη *Cave-in-rock* (upland) προσαρμόζονται στις συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές της νότιας Ευρώπης, όπως και στη χώρα μας, και παράγουν ικανοποιητικά. Ήδη διάφορα βελτιωτικά προγράμματα παράγουν νέες ποικιλίες που σύντομα θα δοκιμαστούν[1].

Διάγραμμα 6.4: Σύγκριση πέντε ποικιλιών switchgrass (*Alamo*, *Blackwell*, *CIR*, *Kanlow* και *Pangburn*).



Πηγή: Efthymia Alexopoulou, "Management and yields of switchgrass (*Panicum virgatum* L.)" [24]

Προετοιμασία αγρού

Η εξόντωση των πολυετών ζιζανίων πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας καθώς και η καλλιέργεια του εδάφους πριν την σπορά, ιδιαίτερα σε συμπαγή εδάφη, θεωρούνται απαραίτητες καλλιεργητικές τεχνικές για την δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης. Το κυλίνδρισμα του αγρού πριν και μετά τη σπορά είναι επιθυμητό, για

να εξασφαλισθεί η καλή επαφή του σπόρου με το έδαφος. Τέλος, πραγματοποιείται προετοιμασία της εδαφοκλίνης με ψιλοχωμάτισμα όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο[1].

Σπορά

Η ημερομηνία σποράς καθορίζεται από τη θερμοκρασία του εδάφους η οποία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 10°C. Η πρώιμη σπορά που συνεπάγεται βραδύ ρυθμό ανάπτυξης των σποροφύτων, ενέχει τον κίνδυνο υψηλού ανταγωνισμού από ζιζάνια. Ως οδηγός για την ημερομηνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πρακτική που ακολουθείται για την σπορά του αραβοσίτου[1].

Η σπορά πραγματοποιείται σε γραμμές, που απέχουν μεταξύ τους 60 - 80 εκατοστά και σε βάθος 1 έως 2 εκατοστά. Συνιστάται η χρήση 1 - 2 kg σπόρου ανά στρέμμα, ανάλογα με τη βλαστικότητα και τη ζωτικότητα του σπόρου καθώς και την περιοχή καλλιέργειας. Πολλές φορές είναι αναγκαία η διακοπή του λήθαργου του σπόρου[1].

Η σπορά πραγματοποιείται με παραδοσιακές σπαρτικές μηχανές ή με σποροδιανομέα στην επιφάνεια του αγρού. Στην περίπτωση χρήσης σπαρτικής σιτηρών, προσαρμόζεται κατάλληλος κύλινδρος για μικρού μεγέθους σπόρους έτσι ώστε η ποσότητα του σπόρου να κατανέμεται ομοιόμορφα στη γραμμή σποράς[1].

Ζιζανιοκτονία

Η εξόντωση των ανοιξιότικων και καλοκαιρινών ζιζανίων, κυρίως των πολυετών και εθελοντών, είναι ιδιαίτερης σημασίας κατά την προετοιμασία της σποροκλίνης καθώς εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την επιτυχή εγκατάσταση της καλλιέργειας. Οι περιοχές όπου τα ζιζάνια αποτελούν σημαντική απειλή θα πρέπει να αποφεύγονται. Ιδιαίτερα κρίσιμος είναι ο πρώτος χρόνος της καλλιέργειας ώστε να επιβιώσει ικανοποιητικός αριθμός σποροφύτων. Η καταπολέμηση των ζιζανίων δεν θεωρείται απαραίτητη τα επόμενα χρόνια, καθώς η καλλιέργεια δύναται να τα ανταγωνιστεί αποτελεσματικά[1].

Η καταπολέμηση των αγρωστωδών ζιζανίων γίνεται με οργανοφωσφορικά σκευάσματα (γλυκίνες) πριν τη σπορά ή ατραζίνες προ ή μεταφυτρωτικά. Για τα πλατύφυλλα ζιζάνια έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σκευάσματα της οικογένειας των βενζονιτριλίων, βενζοθειαδιαζινονών και φαινοξυπροπιονικών ημιδαζολινών. Παράλληλα με τη χρήση χημικών, ο έλεγχος των ζιζανίων μπορεί να γίνει και μηχανικά με το θερισμό τους πάνω από το ύψος της καλλιέργειας[1].

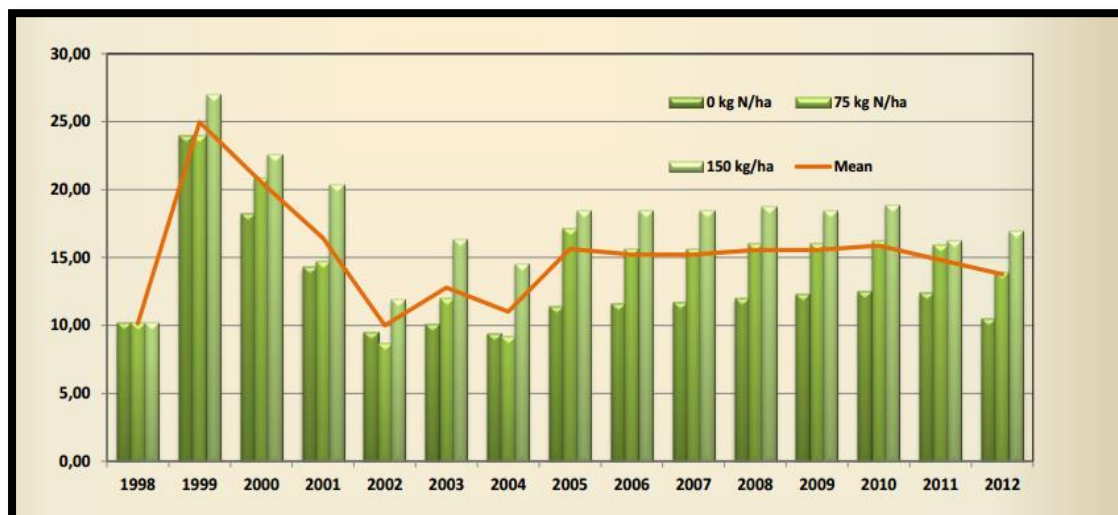
Λίπανση

Οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε άζωτο είναι σχετικά **μικρές** καθώς το φυτό χρησιμοποιεί αποτελεσματικά το διαθέσιμο εδαφικό άζωτο. Σε άγονα ή αρδευόμενα εδάφη συνιστάται η εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης σε ποσότητα 5 - 10 kg/στρέμμα. Η εφαρμογή υψηλής ποσότητας αζώτου, εκτός της ανάπτυξης των ζιζανίων, ευνοεί και το πλάγιασμα με συνέπεια τη μείωση της τελικής απόδοσης και την αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία[1].

Η εφαρμογή φωσφορικής και καλιούχας λίπανσης συνιστάται από τον πρώτο χρόνο της καλλιέργειας σε περιπτώσεις μη διαθεσιμότητας των στοιχείων αυτών στο

έδαφος. Κατά τα επόμενα έτη, η εφαρμογή λίπανσης στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης σε βιομάζα. Δεδομένου ότι τα στελέχη συγκομίζονται όταν έχουν ήδη ξεραθεί, οι απώλειες σε θρεπτικά στοιχεία, εξαιτίας της συγκομιζόμενης βιομάζας, είναι χαμηλές και συνεπώς η εφαρμογή λίπανσης για την αναπλήρωσή τους συνιστάται κάθε δύο με τρία χρόνια[1].

Διάγραμμα 6.5: Επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην απόδοση της καλλιέργειας switchgrass.

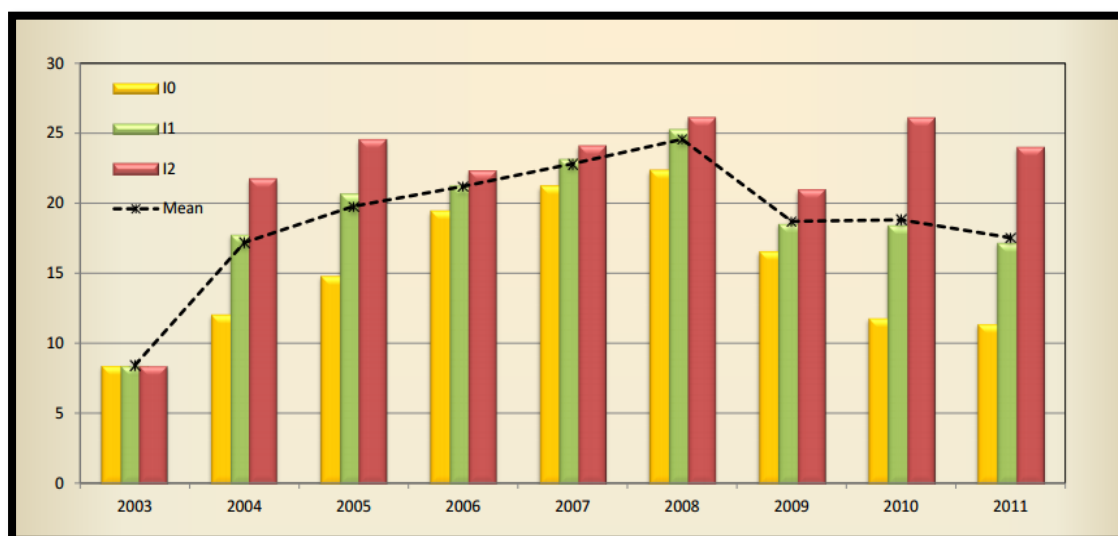


Πηγή: Efthymia Alexopoulou, "Management and yields of switchgrass (Panicum virgatum L.)" [24]

Άρδευση

Το switchgrass είναι φυτό που εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία και συνεπώς παρουσιάζει **μειωμένες απαιτήσεις άρδευσης**. Όμως μια ικανοποιητική παραγωγή απαιτεί συνολικά περί τα 400mm νερού, ιδιαίτερα κατά την κρίσιμη περίοδο της ανθοφορίας (Μάιος - Ιούλιος)[1].

Διάγραμμα 6.6: Επίδραση της άρδευσης στην απόδοση ξηρής βιομάζας της ποικιλίας Alamo.



Πηγή: Efthymia Alexopoulou, "Management and yields of switchgrass (Panicum virgatum L.)" [24]

Φυτοπροστασία

Η πειραματική καλλιέργεια του switchgrass στην Ευρώπη δεν αντιμετώπισε σημαντικά προβλήματα προσβολών από εχθρούς και ασθένειες. Εντομολογικοί εχθροί που μπορεί να αποτελέσουν απειλή για την καλλιέργεια αποτελούν οι ακρίδες (*Melanoplus* spp.) και το τζιτζίκι (*Cicadellidae*), ενώ οι πιο σημαντικές μυκητολογικές ασθένειες είναι οι τήξεις φυταρίων (*Rhizoctonia* spp, *Pythium* spp, *Phytophthora* spp. και *Ruccinia* spp). Οι παραπάνω προσβολές αποτελούν απειλή κατά τα αρχικά στάδια της καλλιέργειας και κυρίως αμέσως μετά την εμφάνιση των σπορόφυτων[1].

Συγκομιδή

Η συγκομιδή συνιστάται αργά το χειμώνα όπου, παρά την μειωμένη βιομάζα, ο χειρισμός της είναι ευχερέστερος και η ποιότητά της καλύτερη λόγω της μικρότερης περιεκτικότητας σε επιβλαβή ανόργανα στοιχεία. Η όψιμη συγκομιδή απομακρύνει μικρότερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος ενώ αντίθετα η πρώιμη φθινοπωρινή συγκομιδή, πριν δηλαδή την ωρίμανση, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες απώλειες λόγω της μειωμένης πιθανότητας επιβίωσης κατά την χειμερινή περίοδο και της ικανότητας για αναγέννηση την άνοιξη[1].

Αποθήκευση

Η αποθήκευση δεμάτων switchgrass υπόκειται στους χειρισμούς που ισχύουν για κάθε καλλιέργεια. Ιδιαίτερη σημασία κατά την αποθήκευση της βιομάζας αποτελεί το ποσοστό υγρασίας. Για μεγάλα δεμάτια το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό υγρασίας είναι 25%, ενώ στην περίπτωση συμπαγούς δεματοποίησης το αντίστοιχο ποσοστό πρέπει να είναι μικρότερο από 18%. Η αποθήκευση των δεμάτων γίνεται συνήθως σε απλές εξωτερικές εγκαταστάσεις και συχνά απαιτείται η κάλυψη τους με αδιάβροχο πλαστικό υλικό για την προστασία της βιομάζας. Οι υπόλοιπες κατηγορίες είναι προτιμότερο, αλλά όχι απόλυτα αναγκαίο, να αποθηκεύονται σε υπόστεγα ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται και σιλό[1].



Εικόνα 6.7: Πρώιμη φθινοπωρινή, όψιμη χειμερινή συγκομιδή και αποθήκευση της δεματοποιημένης βιομάζας.

Πηγή: Γ.Ν. Σκαράκης, Ν. Κορρές, Ο.Ι. Παυλή, "Ενεργειακές Καλλιέργειες - Βιοκαύσιμα" [1]

Αποδόσεις και Ενεργειακές δυνατότητες

Η απόδοση κατά το πρώτο έτος της καλλιέργειας του switchgrass είναι χαμηλή και συχνά η συγκομιδή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα. Το δεύτερο έτος οι αποδόσεις μπορούν να φτάσουν τους 0,8 έως 1 τόνους ξηρής ουσίας ανά στρέμμα. Η σταθεροποίηση της απόδοσης απαιτεί την πάροδο 3 έως 5 ετών. Ανάλογα με τον εδαφικό τύπο, η απόδοση της καλλιέργειας μεγιστοποιείται σε 2 με 3 χρόνια από την εγκατάσταση της στα ελαφρά εδάφη και αντίστοιχα σε 4 με 5 χρόνια στα βαριά εδάφη. Η τελική απόδοσή σε ξηρή βιομάζα ποικίλει, ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους, από 1 έως 2 τόνους ανά στρέμμα[1].

Όσον αφορά την παραγωγή βιομάζας και συγκριτικά με το μίσχανθο, οι εισροές για την εγκατάσταση της καλλιέργειας switchgrass είναι σημαντικά μικρότερες και με **μικρότερη πιθανότητα αποτυχημένης εγκατάστασης**. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ενδείξεις ότι το switchgrass είναι **περισσότερο ανθεκτικό σε συνθήκες ξηρασίας και πιο παραγωγικό σε λιγότερο γόνιμα εδάφη**[1].

Η απόδοση της βιομάζας του switchgrass, ως στερεού καυσίμου, σε ενέργεια κυμαίνεται από **18 - 36 GJ /στρέμμα /έτος**, με ενεργειακό ισοζύγιο μεγαλύτερο του 10 και **μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου 80%**. Όσον αφορά την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, με την υπάρχουσα τεχνολογία ζύμωσης της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας, υπολογίζεται ότι δύναται να παραχθούν περί τα **350 έως 800 λίτρα βιοαιθανόλης ανά στρέμμα** με μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 65-70% συγκριτικά με τη βενζίνη[1].

6.4.3. Καινοτόμος παραγωγή ενέργειας από ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα

Η μείωση της παραγωγικότητας των μονοκαλλιεργειών, το αυξανόμενο κόστος παραγωγής και οι σύγχρονες τάσεις προς τα εισαγόμενα αγροτικά προϊόντα έχουν επιφέρει δραματική μείωση της καλλιεργούμενης έκτασης στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες, που φτάνει πλέον σήμερα στο ρεκόρ των 6 εκατομμυρίων στρεμμάτων εγκαταλελειμμένων γεωργικών γαιών. Ένα από τα πολλά παραδείγματα αποτελεί η εγκατάλειψη της καλλιέργειας των σιτηρών, εξαιτίας του σχεδόν μηδενικού κέρδους παραγωγού, με κόστος παραγωγής άνω των 50 € / στρέμμα, που σχεδόν ισοδυναμεί με τη μέση πρόσοδο του σιταριού στη χώρα (300 kg επί 0,20 € / kg)[2].

Σύμφωνα με τα *ερευνητικά δεδομένα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*, η καλλιέργεια αυτών των εγκαταλελειμμένων στρεμμάτων με ενεργειακές καλλιέργειες χαμηλών εισροών (όπως το switchgrass και η αγριαγκινάρα) δύναται να παράγει πάνω από 6 εκατομμύρια τόνους βιομάζας για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων, που θα αντικαταστήσουν 3 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου συνολικής αξίας 1,2 δις €. Η παραπάνω καλλιέργεια θα αφορά 340.000 απασχολούμενους στον πρωτογενή τομέα και με βάση τις τρέχουσες τιμές παραγωγού (70 € / τόνο βιομάζας) θα επιφέρει προστιθέμενη αξία γύρω στα 400 εκατομμύρια € και αύξηση του ΑΕΠ στο 1 δις € περίπου[2].

Η υπολογιζόμενη συνολικά προστιθέμενη αξία καθ' όλη την αλυσίδα παραγωγής μέχρι και τη λιανική διάθεση του τελικού προϊόντος (πέλλετ, μπρικότες) υπολογίζεται στα 2 δις €, ενώ 1000 - 1500 νέες επιχειρήσεις μεταποίησης θα δημιουργήσουν 30000 νέες θέσεις εργασίας στους τομείς της μεταποίησης, της μεταφοράς, του χονδρικού και λιανικού εμπορίου κλπ. Η υπολογιζόμενη συμμετοχή στο ΑΕΠ προβλέπεται να φτάσει τα 3,2 δις € ετησίως. Επίσης, οι πολλαπλασιαστές της νέας αυτής αναπτυξιακής δράσης κυμαίνονται ανάλογα και με τη χρήση του παραγόμενου καυσίμου, όπως για τη βιομηχανία ή για οικιακή θέρμανση ή και στον πρωτογενή τομέα (θερμοκήπια). Για παράδειγμα, στην περίπτωση χρήσης της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων βιοκαυσίμων για οικιακή θέρμανση με 300 € / τόνο, σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς, θα εξοικονομούνταν γύρω στα 1,5 δις € που θα διατεθούν προς κατανάλωση. Λαμβάνοντας υπόψη έναν πολλαπλασιαστή ίσο με 2, η επιπλέον αύξηση του ΑΕΠ υπολογίζεται στα 3 δις €[2].

Με βάση όλα τα παραπάνω, η συνολική προστιθέμενη αξία από την εισαγωγή και καλλιέργεια νέων ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα με στόχο την συνολική παραγωγή στερεού βιοκαυσίμου 6 εκατομμυρίων τόνων, συνεισφέρει στην αύξηση του ΑΕΠ κατά **8,4 δις € / έτος** κατ' ελάχιστον. Αυτό προϋποθέτει την ταυτόχρονη μείωση των εισαγωγών πετρελαίου, ενώ δεν υπολογίζεται η μεγάλη αύξηση παραγωγικότητας των εξαγωγίμων προϊόντων όπως των θερμοκηπιακών γεωργικών προϊόντων εξαιτίας του μειωμένου (ενεργειακού) κόστους παραγωγής[2].

Η αύξηση του ΑΕΠ θα είναι ακόμα μεγαλύτερη λόγω της ανάπτυξης των κλάδων κατασκευής, επισκευής και εμπορίου πελλετοποιητών, θρυμματιστών και λοιπού εξοπλισμού των μονάδων παραγωγής βιοκαυσίμων, όπως και του διπλασιασμού των μεταφορών (θαλάσσιες, σιδηροδρομικές, οδικές) στους χρήστες εξαιτίας της υποδιπλάσιας θερμογόνου δύναμης του βιοκαυσίμου συγκριτικά με ίσους όγκους πετρελαίου[2].

Εν κατακλείδι, συνιστάται η **επανακαλλιέργεια** αυτών των στρεμμάτων με πολυετή φυτά μηδενικού έως ελαχίστου κόστους παραγωγής για βιομάζα, που έπειτα θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας με τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα ο μηδενισμός της εδαφικής διάβρωσης και ερημοποίησης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις, η σημαντική βελτίωση της εδαφικής γονιμότητας, η βελτίωση της ποιότητας ζωής της υπαίθρου και η αύξηση της βιοποικιλότητας[2].

6.4.4. Συντοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων και ενεργειακών καλλιεργειών

"Θα μπορούσε μια έκταση να χρησιμοποιείται για την παραγωγή καθαρής ενέργειας και καθαρών καυσίμων ταυτόχρονα;"

Στην νέα μελέτη τους, οι ερευνητές από το πανεπιστήμιο του Stanford των ΗΠΑ περιγράφουν ένα μοντέλο, που δείχνει ότι η καλλιέργεια επιλεγμένων φυτών κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελεί έναν έξυπνο τρόπο αξιοποίησης της γης με **παράλληλη παραγωγή** δυο τύπων ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπλέον, η μέθοδος

αυτής της συντοποθέτησης, όπως την αποκαλούν, είναι ιδανική για περιοχές με πολύ ήλιο και **ελάχιστο νερό**[23].

Τα συντοποθετημένα συστήματα ηλιακής ενέργειας-βιοκαυσίμων θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια καινοτόμο στρατηγική για την παραγωγή δύο μορφών ενέργειας από **μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις**. Θα παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από τις ηλιακές εγκαταστάσεις και υγρό βιοκαύσιμο από την ενεργειακή καλλιέργεια, σύμφωνα με την δημοσιευμένη έκθεση στην επιθεώρηση *Environmental Science & Technology*[23].

Οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι μια τέτοια πράσινη «συμβίωση» θα είχε και ένα επιπλέον όφελος: το νερό για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων από τη σκόνη, θα μπορούσε στη συνέχεια να καταλήγει στις καλλιέργειες που βρίσκονται κάτω από αυτά, αντί να πηγαίνει χαμένο. Οι προσομοιώσεις που χρησιμοποίησαν ενισχύουν σταθερά αυτή τη θεωρία. Αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι η ιδέα αυτή θα ήταν μια κατάσταση όπου όλοι θα κέρδιζαν καθώς το νερό είναι ήδη περιορισμένο σε πολλές περιοχές. Μια τέτοια προσέγγιση θα μας επέτρεπε την **παραγωγή ενέργειας και τη γεωργία με το ίδιο νερό**. Οι ερευνητές προτείνουν την αγάυη, ως ιδανικό φυτό για να δοκιμαστεί στην πράξη το μοντέλο αυτό που προτείνουν μιας και αυτό το φυτό ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης[23].



Εικόνα 6.8: Απεικόνιση της "συντοποθέτησης"

Πηγή: <http://www.techtimes.com/> [25]

Βιβλιογραφία

- [1]. Γ.Ν. Σκαράκης, Ν. Κορρές, Ο.Ι. Παυλή, "Ενεργειακές Καλλιέργειες - Βιοκαύσιμα". Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. 2008.
- [2]. Νίκος Δαναλάτος, "Καινοτομική παραγωγή ενέργειας από ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα". Ανάκτηση από <http://www.ka-business.gr/>: <http://www.ka-business.gr/pages/agricultural/8912/kainotomikh-paragwgh-energeias-apo-energeiakes-kalliergeies-sthn>, Απρίλιος 2015.
- [3]. Ενεργειακά φυτά. Ανάκτηση από <http://bioenergynews.blogspot.gr/>: http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/03/blog-post_15.html, Μάρτιος 2008.
- [4]. "ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009". Ανάκτηση από <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL-EN-IT/TXT/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>, Ιούνιος 2009.
- [5]. Δρ Φώτιος Βακάκης, "Ενεργειακές Καλλιέργειες και γεωργικά εισοδήματα". Ανάκτηση από <http://www.vakakis.gr.xelixis.net/>: http://www.vakakis.gr.xelixis.net/Background/VA/4_enimerosi/Arthra/pdfs/ENERGIAKA%20FYTA.pdf, Οκτώβριος 2007.
- [6]. Ενεργειακές καλλιέργειες. Από Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας: <http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24819&locale=el>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [7]. Ενεργειακές Καλλιέργειες. Από <http://www.biofuels.gr/>: <http://www.biofuels.gr/energy-crops/>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [8]. Φάκελος Βιομάζα-Βιοκαύσιμα. Από <http://www.energia.gr/>: http://www.energia.gr/entries.asp?en_id=1546, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [9]. Μετατροπή της Βιομάζας. Από <http://www.desmie.gr/>: <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/biomaza-biokaysima/metatropi-tis-biomazas/>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [10]. Από <http://bisyplan.bioenarea.eu/>: <http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/paragraphs/04-00-02.html>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [11]. Βιοκαύσιμα. Από ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [12]. OilConvert: Τι είναι το βιοντιζελ. Από <http://www.oilconvert.com/>: <http://www.oilconvert.com/GR/page.php?4>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015,
- [13]. Τεχνογνωσία. Από <http://www.agroenergy.gr/>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.

- [14]. Θεόδωρος Χατζηαυγουστής, "Ολοκληρωμένη διαχείριση ελαιοκράμβης στη Δυτ. Μακεδονία ως ενεργειακού φυτού για παραγωγή βιοκαυσίμου και βιομάζας". Θεσσαλονίκη: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ. 2015.
- [15]. Από eurostat: <http://ec.europa.eu/eurostat>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [16]. *EU Biofuels Annual 2015*. Ανάκτηση από <http://gain.fas.usda.gov/>: http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_7-15-2015.pdf, Ιούλιος 2015.
- [17]. "Ο κλάδος των ανανεώσιμων καυσίμων στην Ελλάδα: προβλήματα και προοπτικές". Ανάκτηση από <http://iobe.gr/>: <http://www.sbibe.gr/documents/meletes/meletiioobe.pdf>, Δεκέμβριος 2010.
- [18]. *ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ*. Από ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ: <http://www.ypreka.gr/>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [19]. Μιχάλης Καϊταντζίδης, "Ενεργειακή... αυτάρκεια στο βιοντήζελ". Ανάκτηση από <http://energypress.gr/>: <http://energypress.gr/news/mihalis-kaitantzidis-energeiaki-aytarkeia-sto-viontizel>, Μάιος 2015.
- [20]. *ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ-ΟΔΗΓΟΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΔΡΑΣΗ 5/320Γ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ-ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ*. Από <http://www.slideshare.net/>: <http://www.slideshare.net/agrogos/ss-47326180>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [21]. *Biofuels Policy and Legislation*. Από <http://www.biofuelstp.eu/>: <http://www.biofuelstp.eu/biofuels-legislation.html>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [22]. *Renewable energy directive*. Από <https://ec.europa.eu/>: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [23]. *Πρόταση επιστημόνων για καλλιέργειες σε φωτοβολταϊκά πάρκα*. Ανάκτηση από <http://www.naftemporiki.gr/>: <http://www.naftemporiki.gr/story/793038/protasi-epistimonon-gia-kalliergeies-se-fotoboltaika-parka>, Απρίλιος 2014.
- [24]. *Efthymia Alexopoulou, "Management and yields of switchgrass (Panicum virgatum L.)"*. Από <http://www.fibrafp7.net/>: <http://www.fibrafp7.net/Portals/0/2nd/28/3-Alexopoulou.pdf>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [25]. *Desert-friendly crops grown on solar energy farms could yield 'win-win' energy solution*. Ανάκτηση από <http://www.techtimes.com/>: <http://www.techtimes.com/articles/5458/20140412/desert-friendly-crops-grown-on-solar-energy-farms-could-yield-win-win-energy-solution.htm>, Απρίλιος 2014

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΒ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ SWITCHGRASS ΣΕ
ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1. Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας οικονομοτεχνικής μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου, μεγάλης ισχύος, με το δίκτυο της ΔΕΗ, ΦΒ σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μία, αναξιοποίητη και άγονη για εδωδιμα είδη φυτών, έκταση γης με ταυτόχρονη καλλιέργεια switchgrass στην Περιφερειακή Ενότητα Αργολίδας και η λήψη απόφασης σχετικά με την οικονομική τους βιωσιμότητα. Το ΦΒ σύστημα θα τροφοδοτεί το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και θα συνυπάρχει με τις δραστηριότητες επεξεργασίας της αγροτικής γης.

Οι αγροτικές δραστηριότητες της μονάδας, που σχετίζονται με την αξιοποίηση της διαθέσιμης έκτασης γης είναι οι εξής:

- Προετοιμασία αγρού.
- Σπορά.
- Ζιζανιοκτονία.
- Άρδευση.
- Εμπλουτισμός με λιπάσματα.
- Συγκομιδή καλλιέργειας.
- Αποθήκευση καλλιέργειας.

Ο μελλοντικός παραγωγός της συγκαλλιέργειας του ΦΒ συστήματος και του switchgrass έχει ενταχθεί στο αγροτικό δυναμικό καθώς είναι εγγεγραμμένος στον ΟΓΑ και στο Μητρώο Αγροτών. Ο σκοπός της αναπτυχθείσας δραστηριότητας βασίζεται σε λόγους βιοποριστικούς και αναπτυξιακούς. Αρχικά η πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και η διάθεση της παραγόμενης φυτικής καλλιέργειας θα ωφελήσει σε οικονομικό επίπεδο τον παραγωγό μέσω του μεικτού εισοδήματος που θα λαμβάνει. Επιπροσθέτως μέσω της απόδειξης για την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης της συγκαλλιέργειας θα δοθεί το έναυσμα για τη δημιουργία μονάδων οι οποίες θα αξιοποιούν τη διαθέσιμη γη με παραπάνω από μία μεθόδους, αυξάνοντας έτσι το δείκτη παραγωγικότητας της χρησιμοποιούμενης γης (LER) σε τιμές μεγαλύτερες από τη μονάδα και συμβάλλοντας στην ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και φυτικών προϊόντων.

Η μελέτη που καλούμαστε να πραγματοποιήσουμε συνίσταται στην εγκατάσταση ενός ΦΒ πάρκου του οποίου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται στη ΔΕΗ. Το ΦΒ σύστημα θα βρίσκεται σε ύψος 4 μέτρων από το έδαφος, με τη βοήθεια κατάλληλων υποστηρικτικών πυλώνων, έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα εκτέλεσης όλων των αγροτικών δραστηριοτήτων στο επίπεδο του εδάφους. Ένα βασικό στοιχείο που θα προσομοιωθεί είναι η χωροθέτηση των ηλιακών συλλεκτών στη «**μισή πυκνότητα**» (HD) με στόχο τη μεγαλύτερη απόδοση στην παραγωγή της φυτικής καλλιέργειας αλλά και την αποφυγή ενός υπέρογκου και μη ρεαλιστικού αρχικού κόστους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος. Τέλος στην οικονομική ανάλυση

θα μελετηθούν οι χρηματορροές που προκύπτουν από το σύνολο της συγκαλλιέργειας.

7.2. Νομοθετικό πλαίσιο

Στις 22-12-2010 πραγματοποιήθηκε ενοποίηση των διατάξεων του Ν.3468/2006 ("Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις.") όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν.3734/2009 ("Πρωώθηση της συμπαράγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις."), Ν.3851/2010 ("Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής."), Ν.3889/2010 ("Χρηματοδότηση Περιβαλλοντικών Παρεμβάσεων, Πράσινο Ταμείο, Κύρωση Δασικών Χαρτών και άλλες διατάξεις.") και λοιπών διατάξεων νόμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β΄

ΑΔΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Άρθρο 3

Άδεια Παραγωγής

1. *Η άδεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ χορηγείται με απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) με βάση τα παρακάτω κριτήρια:*
 - α) *Της εθνικής ασφάλειας.*
 - β) *Της προστασίας της δημόσιας υγείας και ασφάλειας.*
 - γ) *Της εν γένει ασφάλειας των εγκαταστάσεων και του σχετικού εξοπλισμού του Συστήματος και του Δικτύου.*
 - δ) *Της ενεργειακής αποδοτικότητας του έργου για το οποίο υποβάλλεται η σχετική αίτηση, όπως η αποδοτικότητα αυτή προκύπτει, για τα έργα ΑΠΕ από μετρήσεις του δυναμικού ΑΠΕ και για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ από τα ενεργειακά ισοζύγιά τους. Ειδικά για το αιολικό δυναμικό, οι υποβαλλόμενες μετρήσεις πρέπει να έχουν εκτελεστεί από πιστοποιημένους φορείς, σύμφωνα με το πρότυπο DIN-EN ISO/IEC17025/2000, όπως ισχύει κάθε φορά.*
 - ε) *Της ωριμότητας της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, όπως προκύπτει από μελέτες που έχουν εκπονηθεί, γνωμοδοτήσεις αρμόδιων υπηρεσιών, καθώς και από άλλα συναφή στοιχεία.*
 - στ) *Της εξασφάλισης ή της δυνατότητας εξασφάλισης του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.*
 - ζ) *Της δυνατότητας του αιτούντος ή των μετόχων ή εταίρων του να υλοποιήσει το έργο με βάση την επιστημονική και τεχνική επάρκειά του και της δυνατότητας εξασφάλισης της απαιτούμενης χρηματοδότησης από ίδια κεφάλαια ή τραπεζική χρηματοδότηση έργου ή κεφάλαια επιχειρηματικών συμμετοχών ή συνδυασμό αυτών.*

η) Της διασφάλισης παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των Πελατών.

θ) Της δυνατότητας υλοποίησης του έργου σε συμμόρφωση με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ΑΠΕ και ειδικότερα με τις διατάξεις του για τις περιοχές αποκλεισμού χωροθέτησης εγκαταστάσεων ΑΠΕ, εφόσον οι περιοχές αυτές έχουν οριοθετηθεί κατά τρόπο ειδικό και συγκεκριμένο, καθώς και τις διατάξεις του για τον έλεγχο της φέρουσας ικανότητας στις περιοχές που επιτρέπονται ΑΠΕ, ώστε να διασφαλίζεται η κατ' αρχήν προστασία του περιβάλλοντος.

ι) Της συμβατότητας του έργου με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την επίτευξη των στόχων που προβλέπονται στην παρ. 3 του άρθρου 1.

2. Η ΡΑΕ, πριν εκδώσει την απόφασή της, μπορεί να συνεργάζεται με τον Διαχειριστή του Συστήματος ή του Δικτύου ή των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών για τον καταρχήν καθορισμό του τρόπου και του σημείου σύνδεσης του σταθμού με το Σύστημα ή το Δίκτυο. Ο καθορισμός αυτός γίνεται μέσα σε είκοσι (20) ημέρες από την ημερομηνία υποβολής του ερωτήματος της ΡΑΕ προς τον Διαχειριστή και δεν συνεπάγεται δέσμευση του Διαχειριστή ή της ΡΑΕ για την ύπαρξη διαθέσιμου ηλεκτρικού χώρου κατά τη χορήγηση της Προσφοράς Σύνδεσης.

Η ΡΑΕ εξετάζει αν πληρούνται τα κριτήρια που αναφέρονται στην παρ. 1 και αποφασίζει για τη χορήγηση ή μη άδειας παραγωγής μέσα σε δύο (2) μήνες από την υποβολή της αίτησης, εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης, άλλως από τη συμπλήρωσή του. Ο φάκελος θεωρείται πλήρης, αν μέσα σε τριάντα (30) ημέρες από την υποβολή του δεν ζητηθούν εγγράφως από τον αιτούντα συμπληρωματικά στοιχεία.

Η απόφαση αναρτάται στην ιστοσελίδα της ΡΑΕ και κοινοποιείται στον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με επιμέλειά της και δημοσιεύεται αμελλητί σε μία ημερήσια εφημερίδα πανελλαδικής κυκλοφορίας με μέριμνα του δικαιούχου. Ο Υπουργός ελέγχει αυτεπαγγέλτως τη νομιμότητά της μέσα σε είκοσι (20) ημέρες από την περιέλευσή της σε αυτόν.

Μέσα σε προθεσμία δεκαπέντε (15) ημερών από την ανάρτηση στην ιστοσελίδα της ΡΑΕ της απόφασης της ΡΑΕ όποιος έχει έννομο συμφέρον μπορεί να ασκήσει προσφυγή κατ' αυτής για έλεγχο της νομιμότητάς της.

Ο Υπουργός αποφαινεται επί της προσφυγής μέσα σε είκοσι (20) ημέρες από την κατάθεσή της στο Υπουργείο. Αν παρέλθει άπρακτη η προθεσμία αυτή τεκμαίρεται η απόρριψη της προσφυγής.

Μέχρι να ολοκληρωθεί ο έλεγχος νομιμότητας αναστέλλεται η διαδικασία αδειοδότησης.

Μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου νομιμότητας, η απόφαση της ΡΑΕ καταχωρίζεται στο μητρώο που τηρεί η Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα ΑΠΕ του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

3. Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

α) τον κάτοχό της, παραγωγό ή αυτοπαραγωγό, φυσικό ή νομικό πρόσωπο,

- β) τον τόπο εγκατάστασης του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
 - γ) την Εγκατεστημένη Ισχύ και τη Μέγιστη Ισχύ Παραγωγής,
 - δ) τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ή τη μορφή ΑΠΕ, αν χορηγείται για σταθμό ΑΠΕ,
 - ε) τη διάρκεια ισχύος της,
 - στ) το ή τα πρόσωπα, φυσικά ή νομικά, που εξασφαλίζουν τη χρηματοδότηση του έργου, τα οποία μπορεί να είναι διαφορετικά από τον κάτοχο της άδειας ή τους μετόχους του και έχουν αξιολογηθεί από τη ΡΑΕ κατά το κριτήριο (ζ) της παρ. 1 του παρόντος άρθρου.
4. Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι είκοσι πέντε (25) έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Εάν μέσα σε τριάντα (30) μήνες από τη χορήγησή της δεν εκδοθεί άδεια εγκατάστασης, η άδεια παραγωγής παύει αυτοδικαίως να ισχύει, εκδιδομένης σχετικής διαπιστωτικής πράξης από τη ΡΑΕ. Στο χρονικό διάστημα των τριάντα (30) μηνών δεν υπολογίζονται:
- α) ο χρόνος αναστολής με δικαστική απόφαση της άδειας παραγωγής ή άλλης άδειας ή έγκρισης που απαιτείται για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης.
 - β) ο χρόνος καθυστέρησης που οφείλεται σε πράξεις ή παραλείψεις των αρμόδιων υπηρεσιών ή σε άλλους αντικειμενικούς λόγους που δεν αφορούν τον κάτοχο της άδειας παραγωγής.
- Στις ανωτέρω περιπτώσεις, ο δικαιούχος της άδειας μπορεί να υποβάλει, πριν από την παρέλευση των τριάντα (30) μηνών, αίτηση στη ΡΑΕ για τη χορήγηση παράτασης. Η άδεια παραγωγής εξακολουθεί να ισχύει έως την έκδοση της απόφασης της ΡΑΕ επί της αιτήσεως αυτής.

Άρθρο 4

Εξαιρέσεις από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής

1. Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη διαπιστωτική απόφαση φυσικά ή νομικά πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις εξής κατηγορίες εγκαταστάσεων ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ:
 - α) γεωθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του μισού (0,5) MW,
 - β) σταθμούς βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MW,
 - γ) φωτοβολταϊκούς ή ηλιοθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWp,
 - δ) αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kW,
 - ε) σταθμούς ΣΗΘΥΑ με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWe,
 - στ) σταθμούς από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ με εγκατεστημένη ισχύ έως πέντε (5) MWe, που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς φορείς του δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα, για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν αποκλειστικά για εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, καθώς και σταθμούς που εγκαθίστανται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), για

όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν για τη διενέργεια πιστοποιήσεων ή μετρήσεων,

ζ) αυτόνομους σταθμούς από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ οι οποίοι δεν συνδέονται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των πέντε (5) MW_e, χωρίς δυνατότητα τροποποίησης της αυτόνομης λειτουργίας τους. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών της περίπτωσης αυτής, υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών, και

η) λοιπούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των πενήντα (50) kW, εφόσον οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν Α.Π.Ε. από τις οριζόμενες στην παρ. 2 του άρθρου 2, με μορφή διαφορετική από αυτή που προβλέπεται στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Το όριο ισχύος στις περιπτώσεις (γ) και (δ) ισχύει για το σύνολο των σταθμών που ανήκουν στο ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο και εγκαθίστανται στο ίδιο ή όμορο ακίνητο και η τιμολόγηση γίνεται με βάση την αθροιστική ισχύ του συνόλου των σταθμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ΄

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ΚΑΙ ΣΗΘΥΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Άρθρο 7

Εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, καθώς και κάθε έργο που συνδέεται με την κατασκευή και τη λειτουργία τους, συμπεριλαμβανομένων των έργων οδοποιίας πρόσβασης και των έργων σύνδεσής τους με το Σύστημα ή το Δίκτυο, επιτρέπεται να εγκαθίστανται και να λειτουργούν:

α) Σε γήπεδο ή σε χώρο, επί των οποίων ο αιτών έχει το δικαίωμα νόμιμης χρήσης.

β) Σε δάση ή δασικές εκτάσεις, εφόσον έχει επιτραπεί, επ' αυτών, η εκτέλεση έργων σύμφωνα με τα άρθρα 45 και 58 του ν. 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α'), όπως ισχύει, ή το άρθρο 13 του ν. 1734/1987 (ΦΕΚ 189 Α'), όπως ισχύει.

γ) Σε αιγιαλό, παραλία, θάλασσα ή σε πυθμένα της, εφόσον έχει παραχωρηθεί το δικαίωμα χρήσης τους σύμφωνα με το άρθρο 14 του ν. 2971/2001 (ΦΕΚ 285 Α'), όπως ισχύει.

Άρθρο 8

Άδειες

3. Μετά την έκδοση της άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ ο ενδιαφερόμενος, προκειμένου να του χορηγηθεί άδεια εγκατάστασης, ζητά ταυτόχρονα την έκδοση:

α) Προσφοράς Σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή,

- β) Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), κατά το άρθρο 4 του ν.1650/1986, όπως ισχύει, και
- γ) Άδειας Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση, κατά την παρ. 2 του άρθρου 58 του ν. 998/1979 (Α' 289), εφόσον απαιτείται, ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.
4. Ο αρμόδιος Διαχειριστής με απόφασή του χορηγεί μέσα σε τέσσερις (4) μήνες την Προσφορά Σύνδεσης που ζητήθηκε, η οποία οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική:
- α) με την έκδοση της απόφασης ΕΠΟ για τον σταθμό ΑΠΕ ή,
- β) αν δεν απαιτείται απόφαση ΕΠΟ, με τη βεβαίωση από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας ότι ο σταθμός ΑΠΕ απαλλάσσεται από την υποχρέωση αυτή.
- Η Προσφορά Σύνδεσης ισχύει για τέσσερα (4) έτη από την οριστικοποίησή της και δεσμεύει τον Διαχειριστή και τον δικαιούχο.
5. Αφού καταστεί δεσμευτική η Προσφορά Σύνδεσης, ο δικαιούχος ενεργεί:
- α) για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος άρθρου,
- β) για τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης και της Σύμβασης Πώλησης, σύμφωνα με τα άρθρα 9,10 και 12 και τους Κώδικες Διαχείρισης του Συστήματος και του Δικτύου. Οι Συμβάσεις αυτές υπογράφονται και ισχύουν από τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, εφόσον απαιτείται,
- γ) για τη χορήγηση αδειών, πρωτοκόλλων ή άλλων εγκρίσεων που τυχόν απαιτούνται σύμφωνα με τις διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας για την εγκατάσταση του σταθμού, οι οποίες εκδίδονται χωρίς να απαιτείται η προηγούμενη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης,
- δ) για την τροποποίηση της απόφασης ΕΠΟ ως προς τα έργα σύνδεσης, εφόσον απαιτείται.
11. Για τη λειτουργία των σταθμών που προβλέπονται στις παρ. 1 και 2 απαιτείται άδεια λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο από κλιμάκιο των αρμοδίων Υπηρεσιών της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης στη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού καθώς και έλεγχο της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του, που μπορεί να διενεργείται και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Η άδεια λειτουργίας χορηγείται μέσα σε αποκλειστική προθεσμία είκοσι (20) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής που προβλέπεται στην παρ. 15....
13. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ που εξαιρούνται από την υποχρέωση άδειας παραγωγής σύμφωνα με το άρθρο 4, απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας. Αντίθετα, υποχρεούνται στην τήρηση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης σύμφωνα με το άρθρο 4 του ν.1650/1986. Φωτοβολταϊκοί σταθμοί και ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε κτίρια ή και άλλες δομικές κατασκευές ή εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, εξαιρούνται, από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης ΕΠΟ.

Ομοίως εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης ΕΠΟ οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. που εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς τους δεν υπερβαίνει τα εξής όρια ανά τεχνολογία:

0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία

0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με χρήση βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων

0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά ή ηλιοθερμικά

20 kW για αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής....

Κατ' εξαίρεση, υπόκεινται σε διαδικασία ΕΠΟ σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση προς τα ανωτέρω όρια εφόσον:

α) εγκαθίστανται σε γήπεδα που βρίσκονται σε οριοθετημένες περιοχές του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτιες ζώνες που απέχουν λιγότερο από εκατό (100) μέτρα από την οριογραμμή του αιγιαλού εκτός βραχονησίδων, ή

β) γειτνιάζουν, σε απόσταση μικρότερη των εκατόν πενήντα (150) μέτρων, με σταθμό ΑΠΕ της ίδιας τεχνολογίας που είναι εγκατεστημένος σε άλλο γήπεδο και έχει εκδοθεί γι' αυτόν άδεια παραγωγής ή απόφαση ΕΠΟ ή προσφορά σύνδεσης, η δε συνολική ισχύς των σταθμών υπερβαίνει τα παραπάνω καθοριζόμενα όρια.

Άρθρο 12

Σύμβαση Πώλησης

1. Για την ένταξη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, περιλαμβανομένου και του Δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, σύμφωνα με τα άρθρα 9 και 10, ο Διαχειριστής του Συστήματος, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου ή ο Διαχειριστής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής συνδέονται με το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, υποχρεούνται να συνάπτουν σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με τον κάτοχο της άδειας παραγωγής της.
2. **Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ ισχύει για είκοσι (20) έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής.** Ειδικά η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύει για είκοσι πέντε (25) έτη και μπορεί να παρατείνεται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προηγούμενο εδάφιο.
3. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, μετά από εισήγηση του αρμόδιου Διαχειριστή και γνώμη της ΡΑΕ, καθορίζονται ο τύπος, το περιεχόμενο και η διαδικασία κατάρτισης των συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος άρθρου, καθώς και κάθε ειδικότερο θέμα και αναγκαία λεπτομέρεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ΄

ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Άρθρο 13

Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ και από Υβριδικούς Σταθμούς

1. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ ή μέσω Υβριδικού Σταθμού και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 9, 10 και 12, τιμολογείται, σε μηνιαία βάση, κατά τα ακόλουθα:
α) Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Άρθρο 14

Φωτοβολταϊκοί σταθμοί

1. Για την προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς, καταρτίζεται από τη ΡΑΕ και εγκρίνεται από τον Υπουργό Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών. Το Πρόγραμμα αυτό, του οποίου η πρώτη φάση υλοποίησής του αρχίζει από την έναρξη ισχύος του ν. 3468/2006 και λήγει την 31.12.2020, αφορά την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών που εγκαθίστανται στην ελληνική επικράτεια, συνολικής ισχύος τουλάχιστον 500 MWpeak, για σταθμούς που συνδέονται με το Σύστημα, απευθείας ή μέσω Δικτύου και συνολικής ισχύος τουλάχιστον 200 MWpeak, για σταθμούς που συνδέονται στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Άρθρο 15

Λοιπά θέματα φωτοβολταϊκών σταθμών

3. α) Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκό σταθμό συνάπτεται για είκοσι (20) έτη, συνομολογείται με την τιμή αναφοράς που αναγράφεται στον ανωτέρω πίνακα και αντιστοιχεί στο μήνα και έτος που υπογράφεται η Σύμβαση Αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με τον αρμόδιο Διαχειριστή, υπό την προϋπόθεση έναρξης δοκιμαστικής λειτουργίας ή για τις περιπτώσεις που δεν προβλέπεται περίοδος δοκιμαστικής λειτουργίας ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού, εντός δεκαοκτώ (18) μηνών για τους σταθμούς ισχύος έως 10 MW και εντός τριάντα έξι (36) μηνών για τους σταθμούς ισχύος από 10 MW και άνω. Σε αντίθετη περίπτωση, ως τιμή αναφοράς θα λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στο μήνα και έτος που πραγματοποιείται η έναρξη δοκιμαστικής λειτουργίας ή για τις περιπτώσεις που δεν προβλέπεται περίοδος δοκιμαστικής λειτουργίας η ενεργοποίηση της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού, με βάση την ισχύ που διαθέτει ο σταθμός κατά την εν λόγω χρονική στιγμή.
6. Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας. Ειδικά για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων και μικρών ανεμογεννητριών σε κτίρια και

στεγαστρα, αντί της έκδοσης έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας, μπορεί, με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, να προβλέπεται μόνο η γνωστοποίηση των εργασιών αυτών στον οριζόμενο κατά περίπτωση αρμόδιο φορέα.

Στις 02-05-2013 πραγματοποιήθηκε τροποποίηση της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.2262/31.01.2012 (Β' 97/31.01.2012) απόφασης του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με θέμα «Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς», όπως ισχύει με την Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 (ΦΕΚ Β'1103).

Άρθρο 1

Το άρθρο 1 της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.2262/31.01.2012 απόφασης του Υπουργού Π.Ε.Κ.Α., όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει αντικαθίσταται ως εξής:

«Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς πλην αυτών της περίπτωσης (γ) του πίνακα της παρ. 1 του άρθρου 13 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, γίνεται με βάση τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα σε €/MWh:

	Διασυνδεδεμένο		Μη Διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ
	>100kW	≤100kW	(ανεξαρτήτως ισχύος)
2013 Φεβρουάριος	95,00	120,00	100,00
2013 Αύγουστος	95,00	120,00	100,00
2014 Φεβρουάριος	90,00	115,00	95,00
2014 Αύγουστος	90,00	115,00	95,00
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,1xμΟΤΣ _{ν-1}	1,2xμΟΤΣ _{ν-1}	1,1xμΟΤΣ _{ν-1}

μΟΤΣ_{ν-1}: Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1.»

Άρθρο 2

Έναρξη ισχύος

Η ισχύς της παρούσας απόφασης αρχίζει από την 1^η Ιουνίου 2013.

Στις 07-04-2014 ελήφθησαν μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις μέσω του Ν. 4254/2014 (ΦΕΚ Α' 85/07.04.2014).

**ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΙΓ: ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΡΜΟΔΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ**

ΥΠΟΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΙΓ.5: ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΘΡΟΥ 13 ΤΟΥ Ν. 3468

11. γ) Η παραγόμενη ενέργεια σταθμών οι οποίοι τίθενται σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιείται η σύνδεσή τους μετά την 1.1.2014 καθ' υπέρβαση των επιπέδων συνολικής ισχύος της παρούσας παραγράφου αποζημιώνεται με τιμή που προκύπτει στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού και της Εκκαθάρισης των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης, κατ' εφαρμογή του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας του άρθρου 120 του ν. 4001/2011. Κατά παρέκκλιση των διατάξεων της περίπτωσης α' της παραγράφου 2 του άρθρου 143 του ν. 4001/2011, η τιμή με την οποία θα αποζημιώνεται η κατά το προηγούμενο εδάφιο παραγόμενη ενέργεια αποτελεί και την τιμή αποζημίωσης που καλείται να καταβάλλει ο Προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας για την εν λόγω ποσότητα ενέργειας «Α.Π.Ε.».

ΥΠΟΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΙΓ.6: ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΘΡΟΥ 27Α ΤΟΥ Ν. 3734/2009

Στο τέλος του άρθρου 27Α του ν. 3734/2009 (Α' 8) προστίθεται παράγραφος 10 ως εξής:

«10. α) Το επίπεδο συνολικής ισχύος σταθμών που τίθενται σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιείται η σύνδεσή τους μετά την 1.1.2014 και η παραγόμενη ενέργεια των οποίων θα αποζημιώνεται με τις τιμές του πίνακα της παραγράφου 3, όπως κάθε φορά ισχύει, ανέρχεται σε 200 MW ανά έτος μέχρι και το έτος 2020. Εάν το σύνολο της ισχύος σταθμών που τίθενται σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιείται η σύνδεσή τους στο τέλος εκάστου έτους υπολείπεται των 200 MW, η διαφορά προσαυξάνει το επίπεδο συνολικής ισχύος των 200 MW του επόμενου έτους.

δ) Η παραγόμενη ενέργεια σταθμών οι οποίοι τίθενται σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιείται η σύνδεσή τους μετά την 1.1.2014 καθ' υπέρβαση των επιπέδων συνολικής ισχύος της παρούσας αποζημιώνεται με τιμή που προκύπτει στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού και της Εκκαθάρισης των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης, κατ' εφαρμογή του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας του άρθρου 120 του ν. 4001/2011. Η ισχύς των σταθμών της παρούσας περίπτωσης προσμετράται στο επίπεδο συνολικής ισχύος του επόμενου έτους και, κατά το μέρος που δεν υφίσταται υπέρβαση του επιπέδου συνολικής ισχύος για το έτος αυτό, η παραγόμενη ενέργεια των εν λόγω σταθμών αποζημιώνεται εφεξής με τις τιμές του πίνακα της παραγράφου 3, όπως κάθε φορά ισχύει.

ΥΠΟΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΙΓ.8: ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ, ΤΡΟΠΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

9. Ο ΛΑΓΗΕ για τις συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα, ο ΔΕΔΔΗΕ για τις συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο των νησιών, καθώς και οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση των εγκαταστάσεων του «Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων» (Β'1079/2009) καταρτίζουν πίνακα με τις τιμές αποζημίωσης της παραγόμενης ενέργειας όλων των σταθμών ΑΠΕ,...

Όσον αφορά τη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών σταθμών σε γη υψηλής παραγωγικότητας έχει παρατεθεί στο κεφάλαιο 5.2 η παράγραφος 7, του άρθρου 9

του Ν.3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010) σύμφωνα με τον οποίο θεσμοθετήθηκε η «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής».

Σύμφωνα με την ΥΑ 40158/2010 που αφορά την «Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα και κτίρια σε εκτός σχεδίου περιοχές.» παρατίθενται τα εξής:

Άρθρο 1

Όροι εγκατάστασης

2. **Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν σε κάλυψη το 60% της επιφάνειας του γηπέδου. Ως κάλυψη, νοείται η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού, ενώ δεν συνυπολογίζονται στην κάλυψη τα κενά μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών.**
3. Σε περίπτωση ανέγερσης και άλλων χρήσεων δομικών κατασκευών εντός του γηπέδου (όπως κατοικία, γεωργικές αποθήκες κ.λπ.), αυτές συνυπολογίζονται στο παραπάνω καθοριζόμενο ποσοστό κάλυψης, ενώ ως προς τους λοιπούς όρους και περιορισμούς δόμησης για τις χρήσεις αυτές θα ισχύουν οι γενικοί της εκτός σχεδίου δόμησης ή οι τυχόν ειδικοί όροι και περιορισμοί που ισχύουν από άλλες ρυθμίσεις (Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου, Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης κ.λπ.).

Σύμφωνα με την ΥΑ 9154 ΦΕΚ 583 Β που αφορά τις «Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια..» παρατίθενται τα εξής:

Άρθρο 1

Τροποποίηση του άρθρου 1 της υπ' αριθ. 40158/25.8.2010 (ΦΕΚ Β' 1556) υπουργικής απόφασης

1. Η παράγραφος 1 του Άρθρου 1 τροποποιείται ως εξής: «1. Σε γήπεδα που βρίσκονται σε εκτός σχεδίου περιοχές, ανεξαρτήτως οικοδομησιμότητας και αρπότητας, επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών ανεξαρτήτως ισχύος...
Ειδικότερα για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε γήπεδα μη άρτια και μη οικοδομήσιμα, οι δομικές κατασκευές για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν μπορεί να υπερβαίνουν τις απολύτως αναγκαίες. Ως απολύτως αναγκαίες κατασκευές νοούνται: α) στυλίσκος ΔΕΗ, β) οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού ανά 500 kW εγκατεστημένης ισχύος προκατασκευασμένος και με απολύτως αναγκαίες διαστάσεις μέχρι 15 τ.μ. και συνολικού ύψους μέχρι και 2,5 μ. με τη δυνατότητα προσαύξησης του ύψους αυτού μέχρι 20% στην περίπτωση εγκατάστασης εργοστασιακών πεδίων διανομής των αντιστροφών - μετασχηματιστών, γ) περίφραξη με συρματόπλεγμα στα όρια της ιδιοκτησίας μέχρι 2,5 μ. με συμπαγές τοιχείο ύψους έως 30 εκ. για την προστασία της εγκατάστασης».

2. Η παράγραφος 4 του Άρθρου 1 τροποποιείται ως εξής: **«4. Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τυχόν οικίσκος που χρησιμοποιείται για τη στέγαση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού των συστημάτων αυτών πρέπει να απέχει από τα όρια των γηπέδων: α) απόσταση ίση με 2,5 μ., όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων είναι μέχρι και 2,5μ. β) απόσταση ίση με 5 μ., όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα 2,5μ. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης βασίζεται στην προβολή επί του οριζοντίου επιπέδου του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού για όλες τις πιθανές θέσεις που αυτός λαμβάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του».**
3. Η παράγραφος 5 του Άρθρου 1 τροποποιείται ως εξής: **«5. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η απόδειξη της κυριότητας ή της νόμιμης κατοχής του γηπέδου για την εγκατάστασή τους».**

Άρθρο 2

Τροποποίηση του άρθρου 2 της υπ' αριθ. 40158/25.8.2010 (ΦΕΚ Β' 1556) υπουργικής απόφασης

1. ...Στην περίπτωση που οι εγκαταστάσεις του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού υπερβαίνουν τα 2,5 μ. από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων, οι βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να είναι πιστοποιημένες ως προς την αντοχή τους σε ακραίες ανεμοπιέσεις από ανεξάρτητο διαπιστευμένο φορέα, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα ή το πρότυπο DIN ή άλλο αντίστοιχο Εθνικό Πρότυπο ή, εναλλακτικά, να υπάρχει για αυτές δήλωση στατικής επάρκειας από διπλωματούχο μηχανικό, και τα στοιχεία συνυποβάλλονται με τα δικαιολογητικά για την έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Επιπλέον, συνυποβάλλεται υπεύθυνη δήλωση του ενδιαφερόμενου ότι ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο συγκεκριμένος πιστοποιημένος εξοπλισμός».

Όσον αφορά τον προσδιορισμό του αγροτικού εισοδήματος, έχει θεσμοθετηθεί στις 06-09-2010 ο ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3874 ο οποίος προσδιορίζει το «Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων».

Άρθρο 2

Ορισμοί – Δικαίωμα εγγραφής

6. **Αγροτική δραστηριότητα είναι κάθε επαγγελματική δραστηριότητα σε έναν τουλάχιστον από τους κλάδους της αγροτικής οικονομίας, δηλαδή της φυτικής, της ζωικής ή της θαλάσσιας αλιείας, της σπογγαλιείας, της οστρακαλιείας, της αλιείας εσωτερικών υδάτων και της υδατοκαλλιέργειας, που αποσκοπεί στην παραγωγή αγροτικών προϊόντων, στη διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως 100 KW, στη λειτουργία αγροτουριστικών μονάδων έως 10 δωματίων και στη δασική παραγωγή.**

Στις 24-12-2014 θεσμοθετήθηκε ο ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4316 με τίτλο «Ίδρυση παρατηρητηρίου άνοιας, βελτίωση περιγεννητικής φροντίδας, ρυθμίσεις θεμάτων αρμοδιότητας Υπουργείου Υγείας και άλλες διατάξεις.», στον οποίο παρουσιάζεται ο τρόπος φορολόγησης των αγροτικών Α.Π.Ε..

Άρθρο 116

Στο τέλος της περίπτωσης στ' της παρ. 2 του ν. 3874/2010 (Α' 151) προστίθεται νέο εδάφιο που έχει ως εξής: «**Ειδικά για το εισόδημα που προκύπτει από τη διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως 100 KW, ο ως άνω ορισμός της αγροτικής δραστηριότητας ισχύει και για λόγους φορολόγησης του ως άνω εισοδήματος.**»

Σύμφωνα με το Ν. 4172/2013 (ΦΕΚ Α' 167/23-07-2013) με τίτλο «Φορολογία εισοδήματος, επείγοντα μέτρα εφαρμογής του ν. 4046/2012, του ν. 4093/2012 και του ν. 4127/2013 και άλλες διατάξεις.» παρατίθενται ορισμένα σημεία τα οποία παρουσιάζουν τη φορολόγηση των κατ' επάγγελμα αγροτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ΄

ΚΕΡΔΗ ΑΠΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Άρθρο 21

Κέρδη από επιχειρηματική δραστηριότητα

1. Ως κέρδος από επιχειρηματική δραστηριότητα θεωρείται το σύνολο των εσόδων από τις επιχειρηματικές συναλλαγές μετά την αφαίρεση των επιχειρηματικών δαπανών, των αποσβέσεων και των προβλέψεων για επισφαλείς απαιτήσεις... Ειδικά, για τον προσδιορισμό του εισοδήματος από αγροτική επιχειρηματική δραστηριότητα στα έσοδα από επιχειρηματικές συναλλαγές περιλαμβάνονται τα έσοδα από την παραγωγή γεωργικών, κτηνοτροφικών, δασοκομικών, υλοτομικών και αλιευτικών προϊόντων.

Άρθρο 29

Φορολογικός συντελεστής

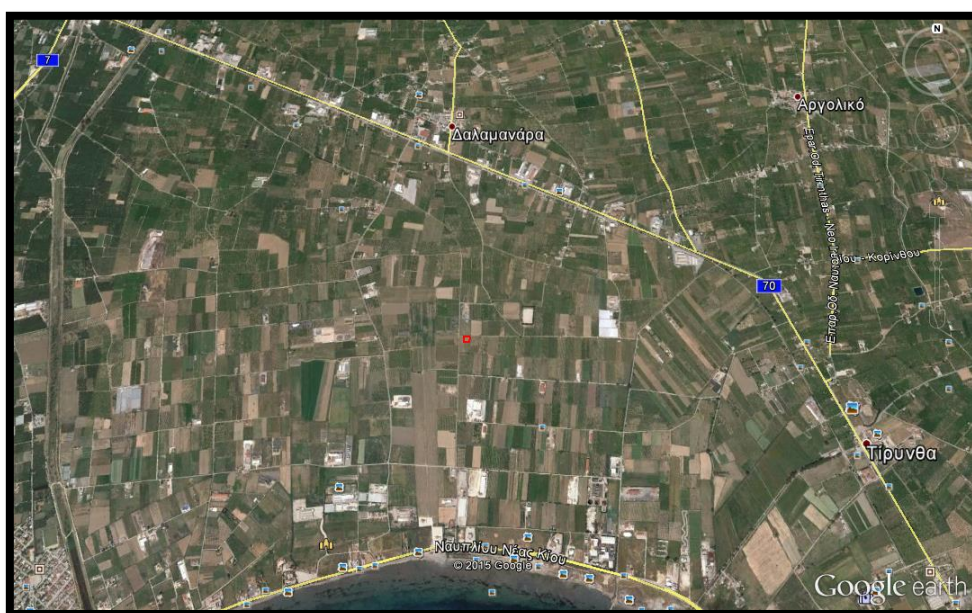
3. Τα κέρδη από ατομική αγροτική επιχείρηση φορολογούνται με συντελεστή δεκατρία τοις εκατό (13%).

7.3. Καθορισμός δεδομένων και κύριων χαρακτηριστικών του ΦΒ συστήματος

Τα κύρια δεδομένα για την έναρξη της μελέτης εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος συνίστανται στην ακριβή τοποθεσία και στο έδαφος όπου θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση.

Πίνακας 7.1: Αρχικά δεδομένα της μελέτης.

Περιοχή μελέτης	Δήμος Άργους-Μυκηνών Γεωγραφικό πλάτος= $37^{\circ}36'11''$ Γεωγραφικό μήκος= $22^{\circ}46'20''$
Έδαφος εγκατάστασης	Αγροτικό έδαφος σε οριζόντιο επίπεδο

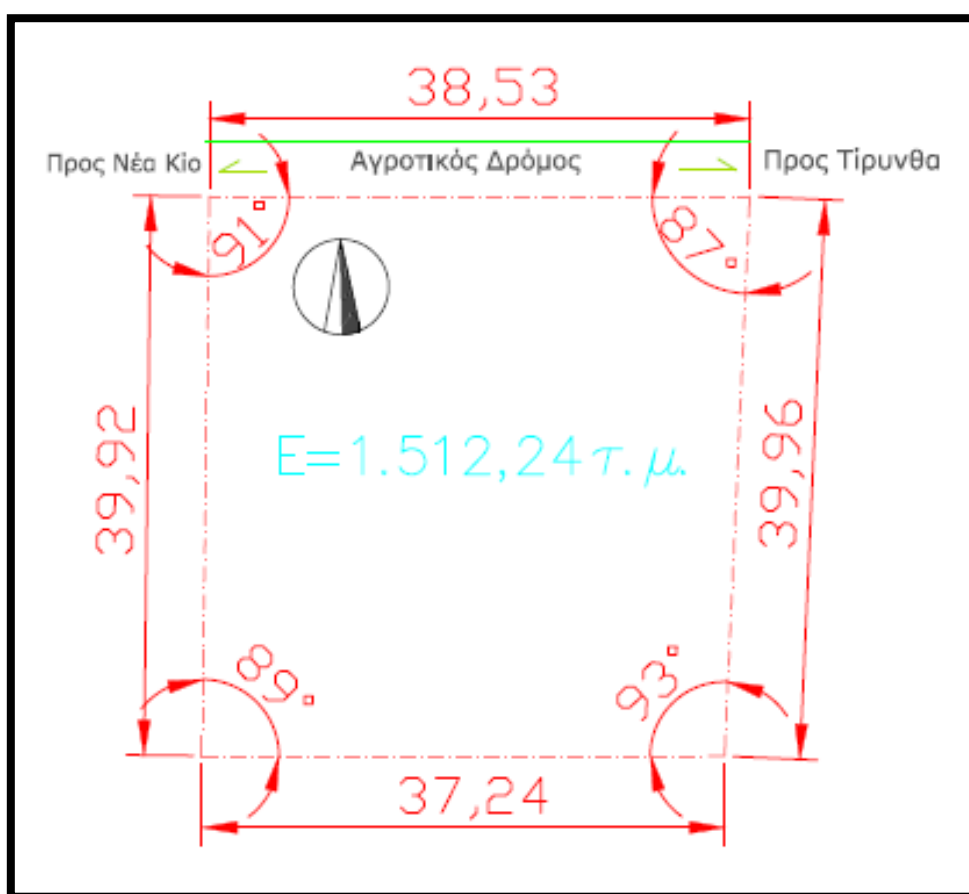


Εικόνα 7.1: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης της τοποθεσίας του οικοπέδου (5χλμ).
Πηγή: Λογισμικό «Google Earth Pro».



Εικόνα 7.2: Δορυφορική απεικόνιση της κάτοψης του οικοπέδου (350μ).
Πηγή: Λογισμικό «Google Earth Pro».

Το γήπεδο, συνολικής έκτασης 1.512,24τ.μ., βρίσκεται στο Δήμο Άργους-Μυκηνών του Νομού Αργολίδας και επισημαίνεται με το κόκκινο περίγραμμα στις εικόνες 7.1 και 7.2.. Το γήπεδο βρίσκεται νότια του οικισμού Δαλαμανάρα σε απόσταση 1.600μ., βορειοανατολικά του οικισμού της Νέας Κίου σε απόσταση 3.000μ., δυτικά του οικισμού της Τίρυνθας σε απόσταση 2.500μ. και νοτιοανατολικά του Άργους, που αποτελεί την έδρα του Δήμου, σε απόσταση 5.200μ.. Στην περιοχή δεν υπάρχει εθνική οδός ή σιδηροδρομικές γραμμές σε ακτίνα ενός χιλιομέτρου. Επίσης δεν υπάρχουν νοσοκομεία, μοναστήρια, ακτές ή τουριστικοί χώροι σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιομέτρου και δεν διέρχονται ρέματα ή φυσικές πηγές. Επιπροσθέτως, δεν υπάρχουν ξενοδοχεία, βιομηχανίες-βιοτεχνίες υγειονομικού ενδιαφέροντος και ποτάμια συνεχούς ροής. Το υψόμετρο του οικοπέδου αντιστοιχεί στα 2 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, το οποίο κρίνεται ουδέτερο για την εγκατάσταση ΦΒ πάρκου.



Εικόνα 7.3: Τοπογραφικό διάγραμμα οικοπέδου.
Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».

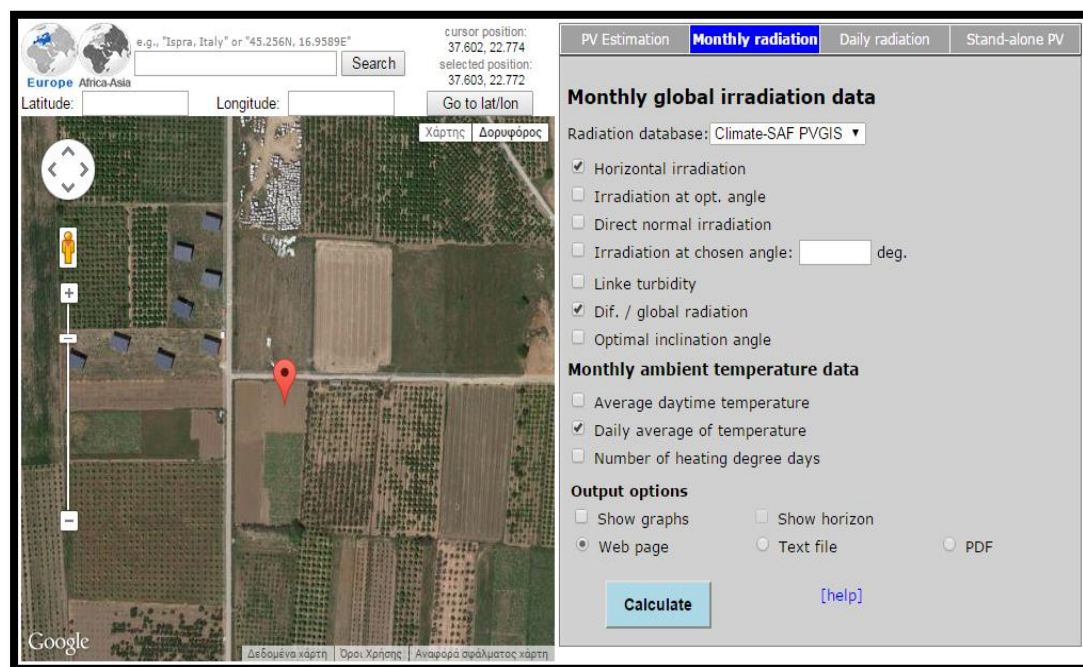
7.4. Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής

Η μελέτη εγκατάστασης του διασυνδεδεμένου ΦΒ σταθμού απαιτεί την εύρεση των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής. Η διαδικασία επεξεργασίας των στοιχείων αυτών παραμένει ίδια με αυτή του κεφαλαίου 5.5., σύμφωνα με το οποίο πραγματοποιήθηκε σε πρώτη φάση η εξαγωγή των μετεωρολογικών στοιχείων από

τη βάση δεδομένων PVGIS και σε δεύτερη φάση η εισαγωγή τους στο λογισμικό PVSYST.

- Εξαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων από τη βάση δεδομένων PVGIS

Στην ιστοσελίδα με σύνδεσμο <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, η οποία παρέχει τη βάση δεδομένων του συστήματος πληροφοριών PVGIS, ορίστηκε χειροκίνητα το σημείο εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος μέσω του χάρτη. Στη συνέχεια επιλέχθηκε η ένδειξη “Monthly radiation” η οποία αφορά τις μέσες τιμές μεγεθών ανά μήνα στη διάρκεια ενός έτους. Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος συνίστανται από την ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ανά ημέρα ($H_h: Wh/m^2/day$), το λόγο της διάχυτης προς την ολική ακτινοβολία (D/G :καθαρός αριθμός) και την ημερήσια μέση θερμοκρασία ($T_{24h}: ^\circ C$).



Εικόνα 7.4: Απεικόνιση της καρτέλας επιλογής των απαραίτητων μετεωρολογικών στοιχείων από το PVGIS.

Monthly Solar Irradiation			
PVGIS Estimates of long-term monthly averages			
Location: 37°36'10" North, 22°46'23" East, Elevation: 1 m a.s.l.,			
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF			
Optimal inclination angle is: 32 degrees			
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %			
Month	H_h	D/G	T_{24h}
Jan	2240	0.43	13.6
Feb	3000	0.44	13.9
Mar	4570	0.41	14.9
Apr	5800	0.35	15.6
May	6840	0.32	18.8
Jun	7810	0.25	22.6
Jul	7760	0.21	25.1
Aug	6900	0.22	25.7
Sep	5440	0.29	24.1
Oct	3890	0.37	22.2
Nov	2620	0.40	19.6
Dec	1940	0.45	16.8
Year	4910	0.31	19.4

Εικόνα 7.5: Πίνακας παρουσίασης των μέσων ημερήσιων ανά μήνα τιμών των επιλεγμένων μεγεθών όπως εξάγονται από το PVGIS.

- Εισαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων στο λογισμικό PVSYST

Από την αρχική καρτέλα επιλογών του λογισμικού PVSYST επιλέγουμε το πλαίσιο “Tools”. Από τη νέα καρτέλα που εμφανίζεται, επιλέγουμε το πλαίσιο “Import meteo data” και εμφανίζεται η καρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων. Στην καρτέλα αυτή αντιγράφουμε τα στοιχεία της εικόνας 7.5 και εισάγουμε τις ζητούμενες ονομασίες (Site, Country, Region). Στη συνέχεια, αποθηκεύουμε το σύνολο των μέσων ημερήσιων τιμών και επιλέγοντας το πλαίσιο “Create Meteo” εμφανίζεται μία καρτέλα παρουσίασης των μέσων μηνιαίων τιμών των μετεωρολογικών στοιχείων. Στην καρτέλα αυτή επιλέγεται το πλαίσιο “Execute Generation” με αποτέλεσμα τη δημιουργία φακέλου .MET που περιλαμβάνει τις μέσες ωριαίες τιμές των ίδιων στοιχείων προς χρήση τους στην προσομοίωση.

Importing Meteo data from different sources

External Sourcedata

- ☐ Meteonorm software (H or M)
- ☐ Satellight real data (Hourly)
- ☐ US TMY2/3 - NREL (Hourly)
- ☐ Canada EPW - CWEC (Hourly)
- ☒ PVGIS Europe+Africa (Monthly)
- ☐ NASA-SSE Worldwide (Monthly)
- ☐ WRDC Worldwide (Monthly)
- ☐ RetScreen Worldwide (Monthly)
- ☐ Helioclim Europe+ Afr. (M or H)

Location

Site: PVGIS_Perioxi_2
Country: Greece
Region: Europe

Geographical Coordinates

Latitude: 37.60 (Decimal) / 37 36 (Deg. Min.)
Longitude: 22.77 (Decimal) / 22 46 (Deg. Min.)
Altitude: 2 m above sea level
Time zone: 1 corresponding to an average difference Legal Time - Solar Time = 0h-30m

Information for importing

PVGIS data imported with success. You can save them as a "site" (*.sit) and also create an hourly synthetic meteo file (*.met).

Buttons: Import, Show site, Save Site, Create Meteo, Close

Εικόνα 7.6: Καρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων.

Generation of Synthetic Hourly Meteo Values

Description: PVGIS_Perioxi_2 from PVGIS, Synthetic Hourly data

Country / Region: PVGIS_Perioxi_2 **Site:** Greece

☒ Country prefix **File to be created:** GR_PVGIS_Perioxi_2_SYN.MET

Irradiation units:

- ☐ kWh/m².day
- ☒ kWh/m².mth
- ☐ MJ/m².day
- ☐ MJ/m².mth
- ☐ W/m²
- ☐ Clearness Index Kt

Time:

- ☐ Solar Time
- ☒ Legal Time

Generation options:

- ☒ Monthly renormalisation
- ☒ Use Monthly Diffuse
- Region typology (for temperatures): Swiss Plateau, land, important mist

Table of Monthly Data:

	Global [kWh/m².mth]	Diffuse [kWh/m².mth]	Temper. [°C]
January	69.4	29.9	13.6
February	84.0	37.0	13.9
March	141.7	58.1	14.9
April	174.0	60.9	15.6
May	212.0	67.9	18.8
June	234.3	58.6	22.6
July	240.6	50.5	25.1
August	213.9	47.1	25.7
September	163.2	47.3	24.1
October	120.6	44.6	22.2
November	78.6	31.4	19.6
December	60.1	27.1	16.7
Year	1792.4	560.4	19.4

Buttons: Execute Generation, Close

Εικόνα 7.7: Καρτέλα παρουσίασης των μέσων μηνιαίων τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων.

7.5. Εκκίνηση μελέτης εγκατάστασης ΦΒ συστήματος στο PVSYST

Στην αρχική καρτέλα του λογισμικού PVSYST της εικόνας 5.10 επιλέγουμε το πλαίσιο "Project Design" με αποτέλεσμα την εμφάνιση τεσσάρων επιλογών που αφορούν το είδος του φωτοβολταϊκού συστήματος (Εικόνα 5.14). Η επιλογή που πραγματοποιείται για την παρούσα μελέτη είναι αυτή του πλαισίου "Grid-Connected" που δηλώνει την εκκίνηση μελέτης διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του πλαισίου "OK" που εμφανίζεται στην εικόνα 5.14 με

αποτέλεσμα να εμφανιστεί η εισαγωγική καρτέλα της αναλυτικής μελέτης (Εικόνα 5.15).

Στην εισαγωγική καρτέλα της αναλυτικής μελέτης (Εικόνα 5.15) επιλέγεται το πλαίσιο “Project” με αποτέλεσμα να παρουσιαστεί μία νέα καρτέλα στην οποία θα εισάγουμε το όνομα της παρούσας μελέτης, το όνομα του χρήστη, την ημερομηνία εκκίνησης της μελέτης, την περιοχή και τη χώρα. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του πλαισίου “Site and meteo” όπως υποδεικνύει το λογισμικό με κόκκινους χαρακτήρες. Στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνονται τα πλαίσια “Site” και “Meteo File” με την ονομασία του “Site” της καρτέλας της εικόνας 7.6 και την ονομασία του φακέλου που δημιουργήθηκε (“File to be created”) στην καρτέλα της εικόνας 7.7 αντίστοιχα.

Project and Simulation version definitions

The Project includes mainly the geographic SITE definition, and the associated METEO hourly file

Project's designation

Project's name Grid-Connected system **Date** 25/6/2015

Customer Dimakis-Sotiropoulou **Phone**

Address **Fax**

City Argos **Email**

Country Greece

Please define the geographical site and meteo !

Cancel New project Load project Site and Meteo

System Variant

A system version includes all Parameters required for a simulation, the Results of the simulation, and an eventual Economic Evaluation. Within a project, you may construct as many System versions as desired.

Variant n° New simulation variant New Version

Back (Calculation)

Εικόνα 7.8: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Project”.

Project: Situation and Meteo

Geographical Location and Meteo

Country: Greece Site: PVGIS_Perioxi_ PVGIS from Heliosat Open

Meteo File: gr_pvgis_perioxi_2_: PVGIS_Perioxi_2 from PVGIS, Synthetic Hourly data Open ?

Back Cancel Next

Εικόνα 7.9: Καρτέλα εισαγωγής των μετεωρολογικών δεδομένων στη μελέτη εγκατάστασης.

7.6. Καθορισμός συντελεστή ανάκλασης του εδάφους

Ο συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας του εδάφους προσδιορίζεται μέσω της καρτέλας που εμφανίζεται μετά την επιλογή του πλαισίου “Next” της καρτέλας στην εικόνα 7.9. Ο συντελεστής albedo ορίζεται σε μία κοινή τιμή για τις περισσότερες εφαρμογές σε αγροτικό έδαφος για όλους τους μήνες του έτους. Η τιμή του συντελεστή ανάκλασης που επιλέγεται είναι ίση με **0,20**.

Project's parameter: Albedo for the project's situation

Albedo values ?

Monthly values

Jan.	0.20	July	0.20
Feb.	0.20	Aug.	0.20
Mar.	0.20	Sep.	0.20
Apr.	0.20	Oct.	0.20
May	0.20	Nov.	0.20
June	0.20	Dec.	0.20

Set a common value

Common value: 0.20

(Default: albedo = 0.2)

Set

Usual values for albedo

Urban situation	0.14 - 0.22
Grass	0.15 - 0.25
Fresh Grass	0.26
Fresh snow	0.82
Wet snow	0.55 - 0.75
Dry asphalt	0.09 - 0.15
Wet asphalt	0.18
Concrete	0.25 - 0.35
Red tiles	0.33
Aluminium	0.85
New galvanised steel	0.35
Very dirty galvanised steel	0.08

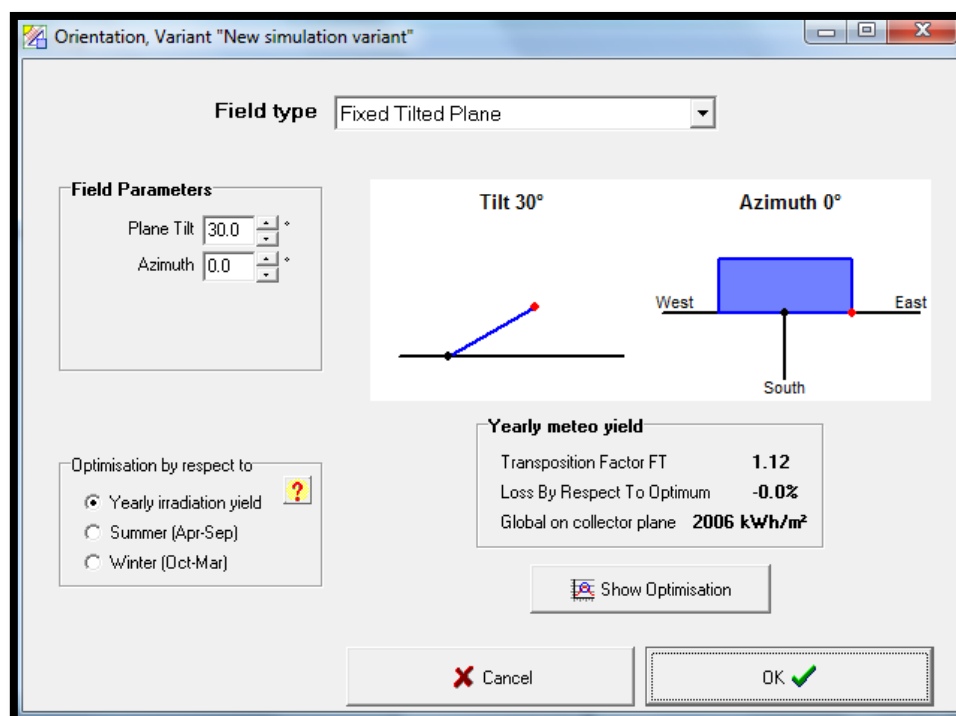
Εικόνα 7.10: Καρτέλα εισαγωγής του συντελεστή albedo.

7.7. Προσανατολισμός ΦΒ πλαισίων

Στην καρτέλα προσδιορισμού του προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων, η οποία εμφανίζεται με την επιλογή του πλαισίου “Orientation” από την καρτέλα της εικόνας 5.15 ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι:

- **Field type:** Ο τρόπος στήριξης των ΦΒ πλαισίων αντιστοιχεί σε βάσεις στήριξης σταθερής κλίσης δηλαδή στην επιλογή του πλαισίου “Fixed Tilted Plane”.
- **Plane Tilt:** Η κλίση των ΦΒ πλαισίων ορίζεται ίση με 30° .
- **Azimuth:** Η αζιμούθια γωνία ορίζεται ίση με 0° .
- **Optimisation by respect to:** Ως περίοδος λειτουργίας του ΦΒ συστήματος ορίζεται όλο έτος.

Ο ορισμός των τιμών των παραπάνω παραμέτρων βελτιστοποιεί τις τιμές των μεγεθών του πλαισίου με τίτλο “Yearly meteo yield”.



Εικόνα 7.11: Καρτέλα προσδιορισμού του βέλτιστου προσανατολισμού των ΦΒ πλαισίων.

7.8. Προσδιορισμός ΦΒ πλαισίων

Ο προσδιορισμός των κύριων συνιστωσών του ΦΒ συστήματος (ΦΒ πλαίσια και αναστροφείς ρεύματος) πραγματοποιείται με την επιλογή του πλαισίου “System” από την καρτέλα της εικόνας 5.15. Για την ορθή διαστασιολόγηση του ΦΒ συστήματος, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν δοκιμές πριν την τελική επιλογή των ΦΒ πλαισίων και των αναστροφέων ρεύματος. Στον παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί επιλογή μόνο των ΦΒ πλαισίων διότι αποτελούν το βασικό στοιχείο για τη βέλτιστη χωροθέτηση του ΦΒ συστήματος. Παρά ταύτα στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής του ΦΒ συστήματος όπως πραγματοποιήθηκε στο κεφάλαιο 5.9..

Τα κύρια κριτήρια επιλογής των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος σύμφωνα με το λογισμικό PVSYST είναι αυτά τα οποία αναπτύχθηκαν στη δεύτερη παράγραφο του κεφαλαίου 5.9..

Τα κύρια κριτήρια επιλογής των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία είναι τα εξής:

- Βασικό κριτήριο επιλογής των συνιστωσών του διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος αποτελεί η μέγιστη νομικά δυνατή αξιοποίηση της διαθέσιμης έκτασης γης, η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ύπαρξη ενός βοηθητικού χρηματοδοτικού εργαλείου που θα συμβάλλει στην ελάφρυνση του αρχικού κόστους της επένδυσης.

Τα κύρια κριτήρια επιλογής των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος σύμφωνα με την οικονομικότητα αλλά και τη διαθέσιμη έκταση είναι τα εξής:

- Η εγκατάσταση του ΦΒ συστήματος θα πραγματοποιηθεί στην καλλιεργούμενη διαθέσιμη έκταση γης, καλύπτοντας σχεδόν όλο το οικόπεδο. Στην περίπτωση που η έκταση γης χαρακτηρίζεται ως υψηλής παραγωγικότητας το παρόν ΦΒ σύστημα σε συνδυασμό με τα ήδη υπάρχοντα δεν θα πρέπει να ξεπερνούν σε έκταση το 1% της καλλιεργούμενης γης του νομού, η οποία ισούται με 702.997 στρέμματα σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για το έτος 2008.
- Η τεχνολογία των ΦΒ πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζεται κυρίως από την τιμή και την εγγύηση υψηλής απόδοσης που προσφέρεται από την εκάστοτε εταιρεία. Η κατεύθυνση προς τη χρήση τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι η πιο πιθανή, όπως και στην πρώτη προσομοίωση, λόγω της ενεργειακής τους πυκνότητας, της απόδοσής τους, της τιμής τους και της ευρείας διάδοσής τους στην παγκόσμια αγορά.
- Το ΦΒ σύστημα θα πρέπει να εγκατασταθεί όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο σύνδεσής του με το δίκτυο χαμηλής τάσης με στόχο τη μείωση των δαπανών των καλωδιώσεων.
- Η οικονομική ευχέρεια του επενδυτή καθώς και η ύπαρξη δυνατότητας να συνάψει τραπεζικό δάνειο αποτελούν βασικούς παράγοντες ως προς την επιλογή του ΦΒ συστήματος.

Τα ΦΒ πλαίσια που επιλέξαμε ονομάζονται **AC-210P/156-54S 210W_p** της εταιρίας **Axitec**. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στην εικόνα 7.12, η οποία προέρχεται από τη βάση δεδομένων του λογισμικού PVSYST. Στο παράρτημα παρατίθενται φυλλάδια με τα δημοσιευμένα από την εταιρία μηχανικά και ηλεκτρικά δεδομένα που αφορούν τα ΦΒ πλαίσια.

Η μελέτη σκίασης που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια θα συμβάλει στην ασφαλή επιλογή του κατάλληλου αναστροφέα ρεύματος DC-AC, διότι θα εξασφαλίσει τη γνώση της βέλτιστης διάταξης (οριζόντια ή κάθετη) των ΦΒ πλαισίων σε συνάρτηση με τη διαθέσιμη προς εγκατάσταση έκταση γης.

Model	AC-210P/156-54S		Manufacturer	Axitec	
File name	Axitec_AC_210P_156_54S.PAN		Data source	Photon DB 2008	
Nom. Power (at STC)	210.	Wp	Tol.	0.1	%
			Technology	Si-poly	

Manufacturer specifications or other Measurements					
Reference conditions:	GRef	1000	W/m²	TRef	25 °C
Short-circuit current	Isc	7.96	A	Open circuit Voc	34.20 V
Max Power Point:	Imp	7.59	A	Vmp	27.70 V
Temperature coefficient	mulsc	3.2	mA/°C		
	or mulsc	0.04	%/°C		
				Nb cells	54 in series

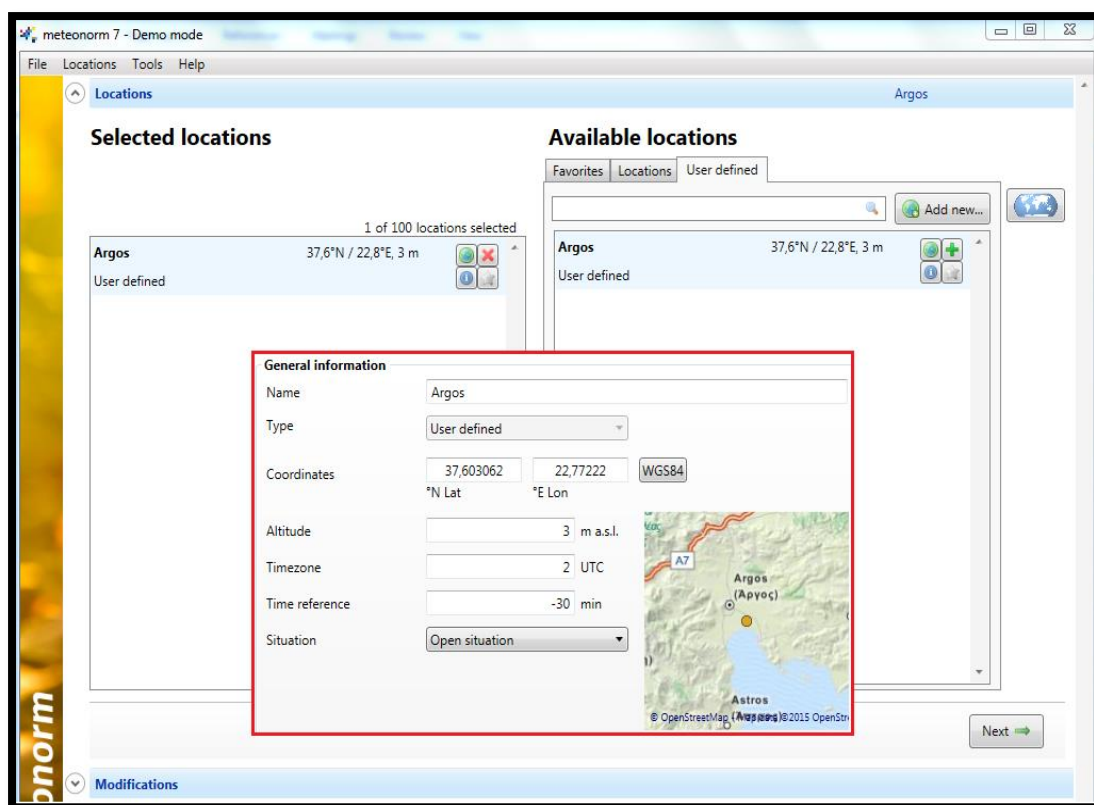
Internal model result tool			
Operating conditions	GOper	1000	W/m²
	TOper	25	°C
Max Power Point:	Pmpp	211.8	W
	Current Imp	7.41	A
	Short-circuit current Isc	7.96	A
Efficiency	/ Cells area	N/A	%
	Temper. coeff.	-0.38	%/°C
	Voltage Vmp	28.6	V
	Open circuit Voc	34.2	V
	/ Module area	14.42	%

Model summary	
Main parameter	
R shunt	350 ohm
Rsh(G=0)	1400 ohm
R serie model	0.06 ohm
R serie max.	0.32 ohm
R serie apparent	0.30 ohm
Model parameters	
Gamma	1.32
IoRef	57 nA
muVoc	-106 mV/°C

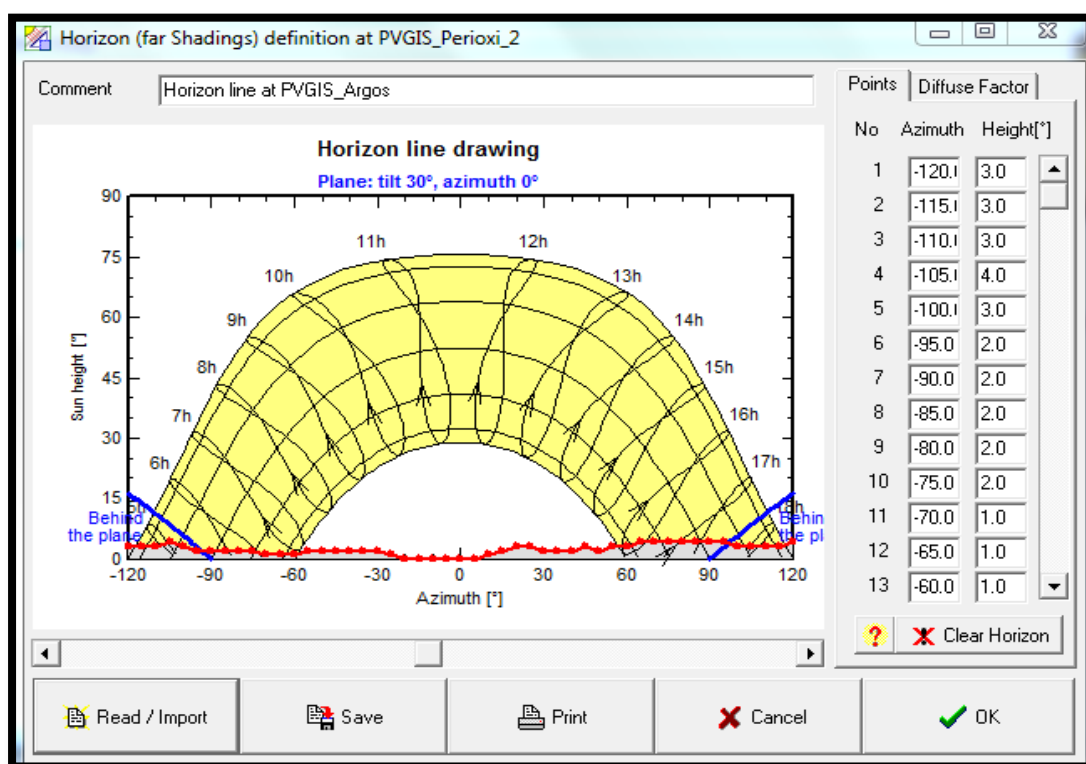
Εικόνα 7.12: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πλαισίου.

7.9. Διάγραμμα ορίζοντα

Ο προσδιορισμός του διαγράμματος του ορίζοντα πραγματοποιείται, μέσω της επιλογής του πλαισίου "Horizon", από την εισαγωγική καρτέλα της εικόνας 5.15. Ο ορίζοντας θα προσδιοριστεί μέσω του λογισμικού meteonorm 7, ακολουθώντας ακριβώς τη διαδικασία που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 5.10.. Το παραγόμενο, από το λογισμικό, διάγραμμα ροής προσδιορισμού του τοπογραφικού ορίζοντα (αζιμούθιο, γωνία ύψους του Ήλιου), εισάγεται χειροκίνητα στην καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου "Horizon" του λογισμικού PVSYST, για τιμές αζιμούθιας γωνίας από -120° έως 120° με βήμα πέντε μοίρες.



Εικόνα 7.13: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Locations” και της επιλογής “Add new”, η οποία βρίσκεται σε κόκκινο πλαίσιο του λογισμικού meteornorm 7.



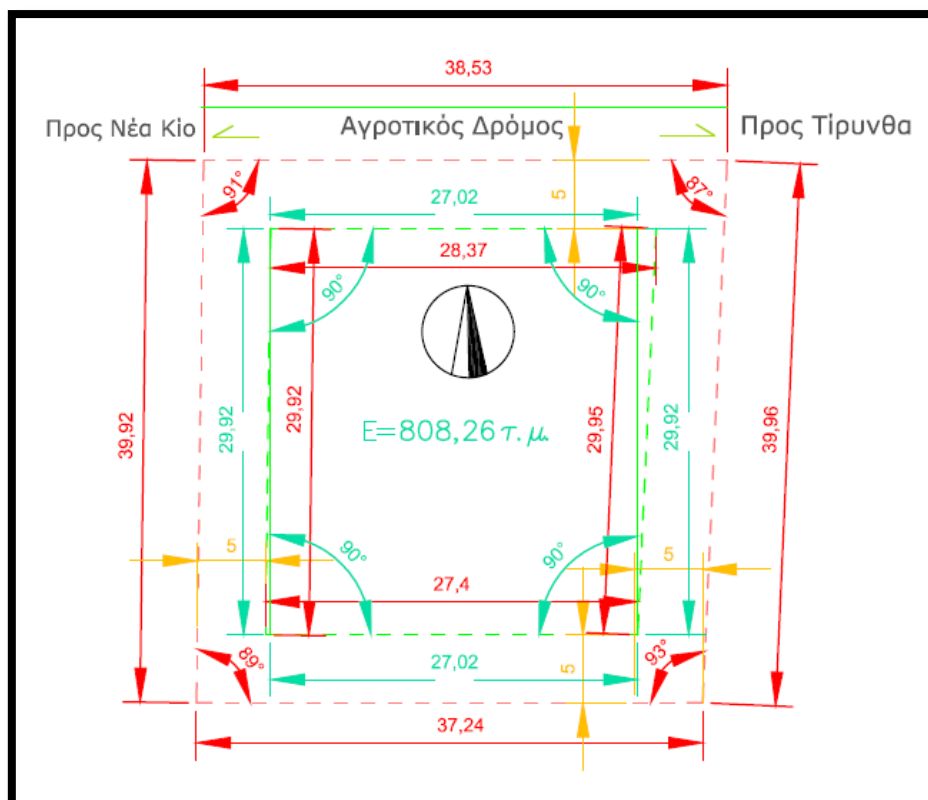
Εικόνα 7.14: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου “Horizon” του λογισμικού PVSYST.

7.10. Μελέτη σκίασης

Η μελέτη σκίασης της εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος θα συμβάλει στον προσδιορισμό των παραμέτρων που προκαλούν σκιάσεις στα ΦΒ πλαίσια καθώς και στην επιλογή της βέλτιστης διάταξης των ΦΒ πλαισίων. Στην καρτέλα της εικόνας 5.15 επιλέγουμε το πλαίσιο “Near Shadings” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας (εικόνα 5.30), στην οποία θα επιλέξουμε το πλαίσιο “Construction/Perspective” έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός μίας τρισδιάστατης εκδοχής του ΦΒ συστήματος καθώς και των αντικειμένων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από αυτό.

Το περιβάλλον του ΦΒ συστήματος σχεδιάστηκε με βάση το τοπογραφικό διάγραμμα του οικοπέδου. Το μελετώμενο οικόπεδο βρίσκεται σε σταθερό υψόμετρο ίσο με 2 μέτρα σε όλη του την έκταση. Τα παρακείμενα καλλιεργήσιμα οικόπεδα ανατολικά, δυτικά και νότια έχουν το ίδιο σταθερό υψόμετρο και αποτελούν καλλιεργήσιμες εκτάσεις ενώ βόρεια του οικοπέδου υπάρχει επαρχιακή οδός. Οι κύριοι όγκοι που πιθανώς προκαλούν σκίαση και σχεδιάστηκαν είναι η περίφραξη και, εξωτερικά της περίφραξης του οικοπέδου, σύνολο από δέντρα λόγω της διαδεδομένης καλλιέργειας ελαιόδεντρων και εσπεριδοειδών δέντρων στη συγκεκριμένη περιοχή.

Σύμφωνα με την Υ.Α. 9154 ΦΕΚ 583 Β, η οποία, όπως έχει προαναφερθεί, ορίζει τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια και συνδέεται άμεσα με την παρούσα προσομοίωση, επιβάλλεται, με βάση την παράγραφο 4 του άρθρου 1, η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τυχόν οικίσκος που χρησιμοποιείται για τη στέγαση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού των συστημάτων αυτών να απέχει από τα όρια του γηπέδου απόσταση ίση με 5 μέτρα, όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα 2,5 μέτρα. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης βασίζεται στην προβολή επί του οριζοντίου επιπέδου του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού για όλες τις πιθανές θέσεις που αυτός λαμβάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Στο παρακάτω τοπογραφικό διάγραμμα είναι σχεδιασμένα τα απαιτούμενα όρια εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος με αξονική γραμμή χρώματος πράσινου. Το αναγραφόμενο εμβαδό (808,26τ.μ.) αντιστοιχεί στο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο που σχηματίζεται από τις πράσινες αξονικές οριζόντιες (διεύθυνση Δύσης-Ανατολής) γραμμές και τις πράσινες συνεχείς κατακόρυφες (διεύθυνση Βορά-Νότου) γραμμές. Η έκταση αυτή για λόγους συμμετρίας και ευκολίας στη σχεδίαση θα αποτελέσει τη διαθέσιμη προς μελέτη για την εγκατάσταση του ΦΒ συστήματος.



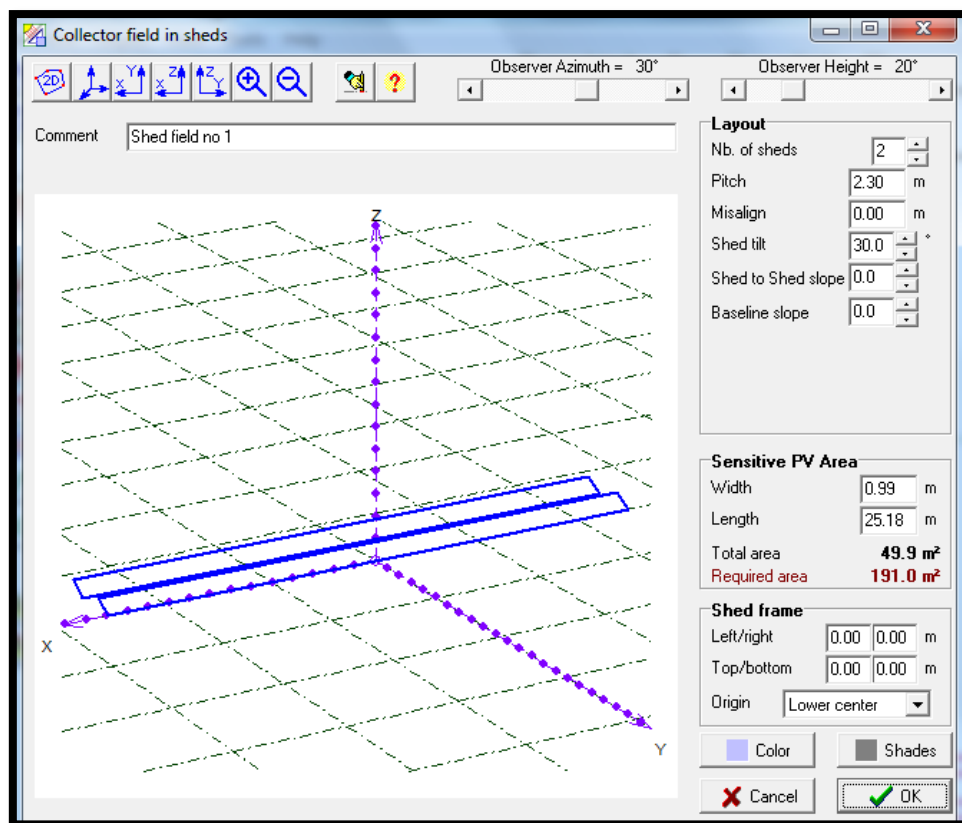
Εικόνα 7.15: Τοπογραφικό διάγραμμα (οριζοντιογραφία) μέρους του οικοπέδου.
Πηγή: Λογισμικό «Autocad 2013».

Όσον αφορά το ΦΒ σύστημα, η βόρεια πλευρά του θα σχεδιαστεί στο βορειότερο επιτρεπτό, από τη νομοθεσία, σημείο και σε ύψος 4 μέτρα από το έδαφος. Σε πρώτη φάση για την εύρεση της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών χρησιμοποιήθηκε το σύνολο βημάτων που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.2.6., τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2.

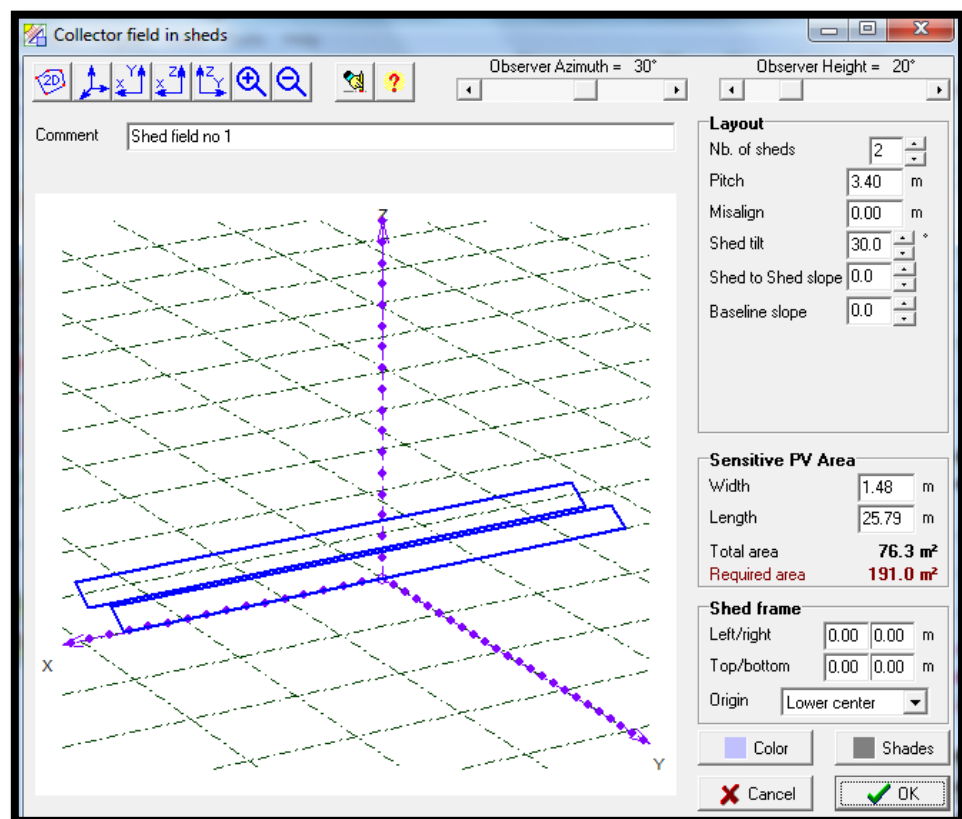
Πίνακας 7.2: Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών.

	Κάθετη διάταξη ΦΒ πλαισίων	Οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων
γ (μέτρα)	1,481	0,992
β _σ (°)	30	30
α/υ (καθαρός αριθμός)	2,5	2,5
κ _ε (καθαρός αριθμός)	0	0
ε (μέτρα)	3,13	2,10

Σε δεύτερη φάση, μέσω της καρτέλας τρισδιάστατου σχεδιασμού του λογισμικού PVSYST επιλέγονται κατά σειρά τα πλαίσια “Object” → “New” → “PV plane in sheds”. Με την επιλογή του τελευταίου πλαισίου αναδύεται η καρτέλα των εικόνων 7.16 και 7.17, στην οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ρύθμισης του πλήθους των ΦΒ συστοιχιών (Nb. of sheds), της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο συστοιχιών (Pitch), της κλίσης της συστοιχίας (Shed tilt), της κλίσης του εδάφους στον άξονα Βορρά-Νότου (Shed to shed slope), του πλάτους συστοιχίας (Width) και του μήκους συστοιχίας (Length).



Εικόνα 7.16: Καρτέλα υπολογισμού κύριων χαρακτηριστικών οριζόντιας διάταξης των ΦΒ πλαισίων με 17 ΦΒ πλαίσια ανά συστοιχία.



Εικόνα 7.17: Καρτέλα υπολογισμού κύριων χαρακτηριστικών κάθετης διάταξης των ΦΒ πλαισίων με 26 ΦΒ πλαίσια ανά συστοιχία.

Με τη βοήθεια του λογισμικού PVSYST και της επιλογής “Shadows animation over one day”, τόσο για την οριζόντια όσο και για την κάθετη διάταξη των ΦΒ πλαισίων, πραγματοποιήσαμε προσομοίωση σκίασης κατά τη διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου (21 Δεκεμβρίου) όπου το ηλιακό ύψος (β) παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές του και με αποτέλεσμα τα ΦΒ πλαίσια να δέχονται τις μέγιστες δυνατές σκιάσεις. Μετά από την πραγματοποίηση δοκιμών προσομοίωσης σκίασης για διαφορετικές τιμές του “Pitch” για τα δύο είδη διάταξης, οι ελάχιστες αποστάσεις για τις οποίες η σκίαση από παρακείμενα αντικείμενα προσεγγίζει το μηδέν ($<1\%$) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.3: Τελικός καθορισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών μέσω του λογισμικού PVSYST. Η σχέση που συνδέει το “Pitch” με το “ ϵ ” είναι: $\epsilon = \text{Pitch} \times \cos(\tan^{-1}(\kappa_{\epsilon}))$.

	Κάθετη διάταξη ΦΒ πλαισίων	Οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων
ϵ (μέτρα) = $\text{Pitch} \times \cos 0^\circ$	$3,4 \times \cos 0^\circ = 3,4$	$2,3 \times \cos 0^\circ = 2,3$

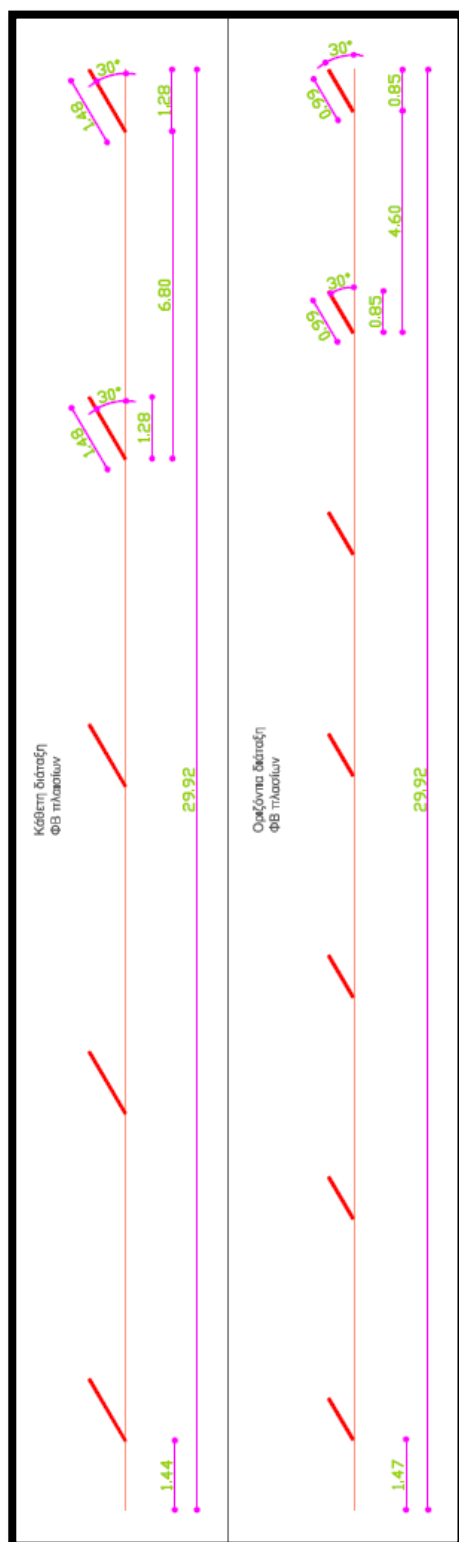
Στην παρούσα προσομοίωση επιλέξαμε οι σκιάσεις να συνυπολογίζονται με βάση το ηλεκτρικό φαινόμενο μείωσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (“According to module strings”) λόγω μερικής σκίασης με βαθμό συμμετοχής (“Fraction of electrical effect”) στο 80%. Για την ολοκλήρωση χρήσης αυτού του είδους σκιάσεων επιλέγεται το πλαίσιο “Partition in module chains” μέσω του οποίου ο χρήστης ορίζει τη διάταξη των συστοιχιών.

7.11. Χωροθέτηση ΦΒ συστήματος και επιλογή αναστροφέα DC-AC

Η χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων του ΦΒ συστήματος και η επιλογή του αναστροφέα ρεύματος DC-AC αποτελούν τα τελικά βήματα για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης. Η επιλογή χωροθέτησης πραγματοποιείται με βάση τα παρακάτω κριτήρια και τα δύο είδη διάταξης παρουσιάζονται στην εικόνα 7.18:

- Η επιλογή της κάθετης ή της οριζόντιας διάταξης των ΦΒ πλαισίων, εφόσον ο τύπος των ΦΒ πλαισίων έχει προσδιοριστεί, θα εξαρτηθεί από το είδος διάταξης που οδηγεί σε μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η επιλογή της διάταξης των ΦΒ πλαισίων θα εξαρτηθεί από τη διαθέσιμη προς μελέτη έκταση γης, της οποίας οι διαστάσεις είναι προκαθορισμένες.
- Το μήκος κάθε συστοιχίας και το πλάτος της οριζόντιας προβολής του συνόλου των συστοιχιών του ΦΒ συστήματος, μετρούμενα σε μέτρα, θα προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο πολλαπλάσια του 6. Αυτό βασίζεται στο γεγονός πως το ΦΒ σύστημα θα βρίσκεται σε ύψος 4 μέτρων από το έδαφος και οι πυλώνες, πάνω στους οποίους θα δημιουργηθεί το δίκτυο στήριξης των ΦΒ πλαισίων, θα πρέπει να απέχουν ανά δύο κατά μήκος και κατά πλάτος περίπου 6 μέτρα, έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η κίνηση των γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων.
- Η χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων θα είναι «μισής πυκνότητας» που σημαίνει ότι θα χρησιμοποιηθεί σχεδόν το υποδιπλάσιο πλήθος ΦΒ πλαισίων, από το

βέλτιστο που υπολογίστηκε στη μελέτη σκίασης, με στόχο τη διατήρηση υψηλού επιπέδου φυτικής παραγωγής και μικρότερο αρχικό κόστος επένδυσης.



Εικόνα 7.18: Τοπογραφική τομή του εδάφους εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος και υπολογισμός της απόστασης (2ε) μεταξύ δύο γειτονικών συστοιχιών και της κλίσης των ΦΒ πλαισίων για κάθετη και οριζόντια διάταξη ΦΒ πλαισίων.

Με δεδομένες τις παραπάνω τοπογραφικές τομές υπολογίζονται οι διαστάσεις και το εμβαδό της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των απαιτούμενων κενών χώρων μεταξύ των συστοιχιών, ώστε να πραγματοποιηθεί η τελική επιλογή χωροθέτησης.

Πίνακας 7.4: Υπολογισμός διαστάσεων και εμβαδού της οριζοντιογραφίας του ΦΒ συστήματος καθώς και της ονομαστικής ισχύος και παραγωγής ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας του ΦΒ συστήματος. Με έντονου χρώματος γραμματοσειρά σημειώνονται τα αποδεκτά με βάση όλα τα προαναφερθέντα κριτήρια χαρακτηριστικά και με έντονου χρώματος και υπογράμμιση η βέλτιστη λύση.

Πλήθος συστοιχιών x Πλήθος ΦΒ πλαισίων συστοιχίας	Πλήθος ΦΒ πλαισίων	Μήκος συστοιχίας (μέτρα)	Πλάτος ΦΒ συστήματος (μέτρα)	Εμβαδό ΦΒ συστήματος (τ.μ.)	Ονομαστική Ισχύς ΦΒ πλαισίων σε STC (kW)	Ονομαστική Ισχύς ΦΒ πλαισίων σε STC ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2)
Κάθετη διάταξη						
5x24	120	23,808	28,48	678,05184	25,2	37,165
5x25	125	24,8	28,48	706,304	26,25	37,165
5x26	130	25,792	28,48	734,55616	27,3	37,165
5x27	135	26,784	28,48	762,80832	28,35	37,165
5x28	140	27,776	28,48	791,06048	29,4	37,165
Οριζόντια διάταξη						
7x15	105	22,215	28,45	632,01675	22,05	34,888
7x16	112	23,696	28,45	674,1512	23,52	34,888
7x17	119	25,177	28,45	716,28565	24,99	34,888
7x18	126	26,658	28,45	758,4201	26,46	34,888
7x19	133	28,139	28,45	800,55455	27,93	34,888

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα κριτήρια και τα αποτελέσματα των υπολογισμών του πίνακα 7.4 καθίστανται σαφή τα εξής:

- Οι διατάξεις 5x28 και 7x19 μπορούν να απορριφθούν διότι το μήκος της συστοιχίας που σχηματίζουν υπερβαίνει το διαθέσιμο που ισούται με 27,02 μέτρα.
- Οι υπόλοιπες οριζόντιες διατάξεις ΦΒ πλαισίων μπορούν να απορριφθούν καθώς παρουσιάζουν μικρότερη παραγωγή ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας (W/m^2) σε σύγκριση με τις κάθετες διατάξεις ΦΒ πλαισίων.
- Οι κάθετες διατάξεις 5x25 και 5x27 μπορούν να απορριφθούν λόγω της αδυναμίας εύρεσης κατάλληλου αναστροφέα DC-AC από το λογισμικό PVSYST.

- Ανάμεσα στις δύο εναπομείνουσες κάθετες διατάξεις 5x24 και 5x26 θα επιλέξουμε την πρώτη διότι το μήκος της συστοιχίας προσεγγίζει περισσότερο με το τρίτο κριτήριο.

Οι αναστροφείς DC-AC που επιλέξαμε με βάση τα κριτήρια του παρόντος κεφαλαίου και του κεφαλαίου 7.8. σε συνδυασμό με τη διεξαγωγή δοκιμών στο λογισμικό PVSYST ονομάζονται **IG Plus 150 12kW** της εταιρίας **Fronius**. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στην εικόνα 7.20, η οποία προέρχεται από τη βάση δεδομένων του λογισμικού PVSYST. Στο παράρτημα παρατίθενται φυλλάδια με τα δημοσιευμένα από την εταιρία μηχανικά και ηλεκτρικά δεδομένα που αφορούν το συγκεκριμένο αναστροφέα.

Input side (DC PV field)		Output side (AC grid)	
Minimum MPP Voltage	230 V	Type	Triphased
Min. Voltage for PNom	N/A V	Frequency	50 Hz, 60 Hz
Nominal MPP Voltage	370 V	Grid Voltage	400 V
Maximum MPP Voltage	500 V	Nominal AC Power	12.0 kW
Absolute max. PV Voltage	600 V	Maximum AC Power	12.0 kW
Power Threshold	60.0 W	Nominal AC current	17.4 A
		Maximum AC current	17.4 A
Contractual specifications, without real physical meaning		Efficiency	
Nominal PV Power	12.6 kW	Maximum efficiency	96.0 %
Maximum PV Power	15.2 kW	EURO efficiency	95.5 %
Maximum PV Current	54.9 A		

Εικόνα 7.19: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα ρεύματος.

Μετά την επιλογή των ΦΒ πλαισίων και του αναστροφέα ρεύματος το λογισμικό πραγματοποιεί τη διαστασιολόγηση χωρίς να παρουσιάζει μήνυμα λάθους, τόσο σε συνθήκες STC όσο και σε οριακές συνθήκες. Αυτό συνεπάγεται πως πληρούνται όλα τα απαιτούμενα, με βάση το λογισμικό, προαναφερθέντα κριτήρια. Το λογισμικό PVSYST προτείνει τη σύνδεση οκτώ παράλληλων μεταξύ τους συστοιχιών εκ των οποίων καθεμία αποτελείται από δεκαπέντε εν σειρά συνδεδεμένα ΦΒ πλαίσια και η δημιουργούμενη ΦΒ γεννήτρια συνδέεται με δύο τριφασικούς μετατροπείς ρεύματος, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 7.20.

Η μηχανική και ηλεκτρική χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων εξάγεται από το λογισμικό PVSYST μέσω της επιλογής του πλαισίου “Module layout” από την εισαγωγική καρτέλα της εικόνας 5.15 και παρουσιάζεται στην εικόνα 7.22.

Grid system definition, Variant "Argos"

Global System configuration
 1 Number of kinds of sub-fields
 ? Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	120	Nominal PV Power	25.2 kWp
Module area	176 m ²	Maximum PV Power	24.6 kWdc
Nb. of inverters	2	Nominal AC Power	24.0 kWac

Homogeneous System

Presizing Help
☐ No Sizing Enter planned power ☒ 25.2 kWp, ... or available area ☐ 176 m² ?

Select the PV module
 Sort modules: ☒ Power ☐ Technology ☐ Manufacturer Available Now
 210 Wp 23V Si-poly AC-210P/156-54S Axitec Photon DB 2008 Open
 Approx. needed modules: 120 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 24.8 V Voc (-10°C) 37.9 V

Select the inverter
 Sort inverters by: ☒ Power ☐ Voltage (max) ☐ Manufacturer Available Now
 12 kW 230 - 500 V 50/60 Hz IG Plus 150 Fronius Open
 Nb. of inverters: 2 Operating Voltage: 230-500 V Global Inverter's power: 24.0 kWac
 Input maximum voltage: 600 V

Design the array

Number of modules and strings
 Mod. in series: 15 should be between 10 and 15
 Nbre strings: 8 ☒ only possibility 8
 Overload loss: 0.0 % Show sizing ?
 Pnom ratio: 1.05
 Nb. modules: 120 Area: 176 m²

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 371 V
 Vmpp (20°C) 437 V
 Voc (-10°C) 568 V
 Plane irradiance: 1000 W/m² ☐ Max. in data ☒ STC
 Imp (STC) 59.3 A Max. operating power: 22.9 kW
 Isc (STC) 64.3 A at 1000 W/m² and 50°C
 Isc (at STC) 63.7 A **Array nom. Power (STC) 25.2 kWp**

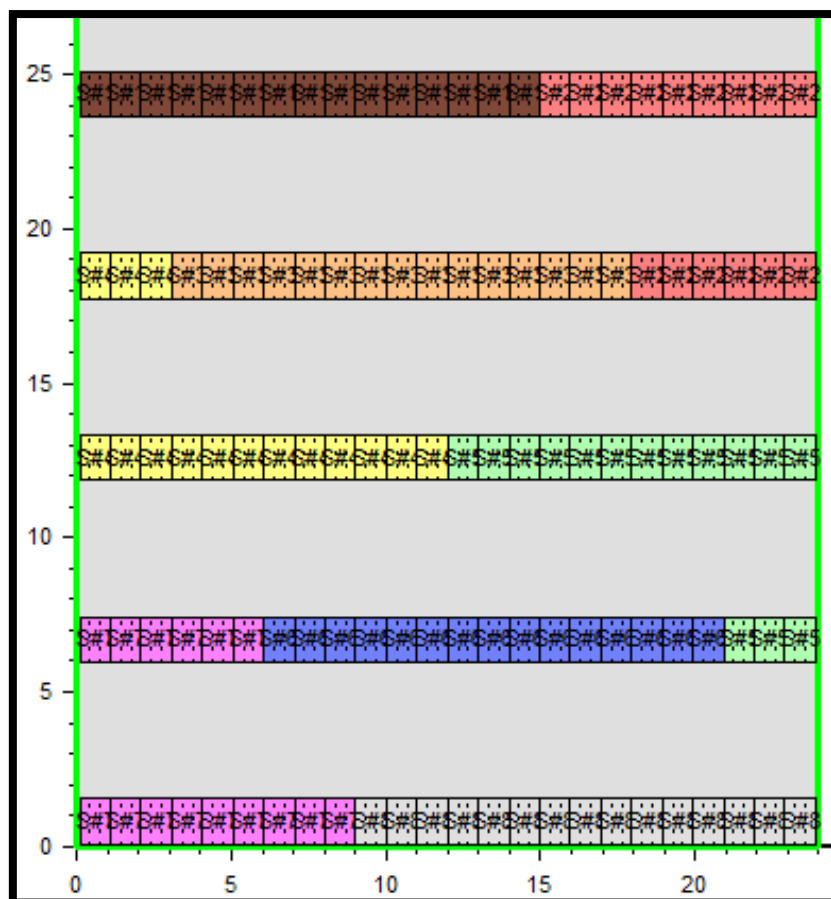
User's needs Detailed losses Cancel OK

Εικόνα 7.20: Απεικόνιση της καρτέλας "System" υπό συνθήκες STC (Standard Test Conditions).

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 371 V
 Vmpp (20°C) 437 V
 Voc (-10°C) 568 V

Plane irradiance: 1066 W/m² ☒ Max. in data ☐ STC
 Imp (GMax) 63.2 A Max. operating power: 24.6 kW
 Isc (GMax) 68.6 A at 1066 W/m² and 50°C
 Isc (at STC) 63.7 A **Array nom. Power (STC) 25.2 kWp**

Εικόνα 7.21: Απεικόνιση μέρους της καρτέλας "System" υπό οριακές συνθήκες.

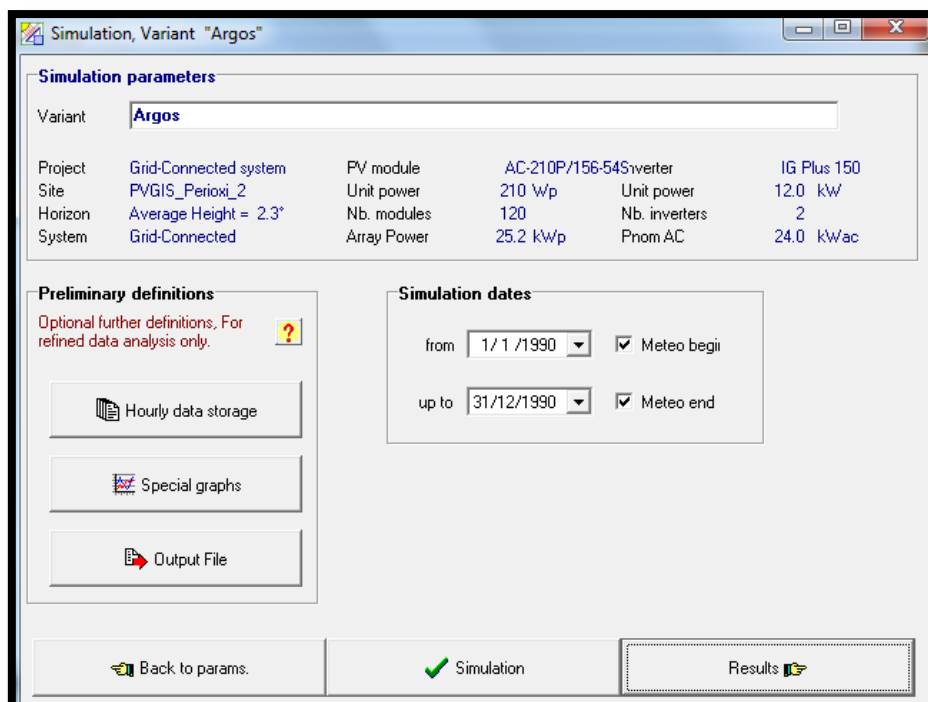


Εικόνα 7.22: Καρτέλα απεικόνισης της επιλογής “Module layout” και αναπαράστασης της χωροθέτησης των ΦΒ πλαισίων σε κάθετη διάταξη. Οι δύο κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν την παρουσία των διόδων παράκαμψης (3 δίοδοι ανά ΦΒ πλαίσιο). Το σύνολο των ΦΒ πλαισίων του ίδιου χρώματος αναπαριστούν μία συστοιχία. Το ΦΒ σύστημα προβάλλεται από γωνία κλίσης 60°.

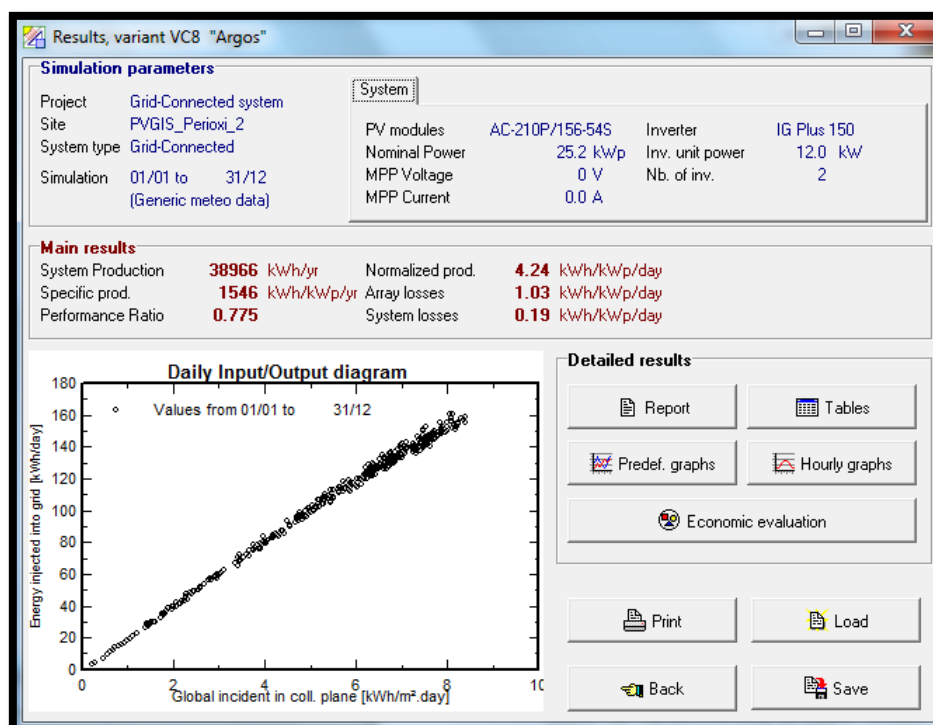
7.12. Προσομοίωση ΦΒ συστήματος

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης του επιλεγμένου ΦΒ συστήματος. Η προσομοίωση πραγματοποιείται μέσω της επιλογής του πλαισίου “Simulation” της εικόνας 5.15. Η καρτέλα που αναδύεται παρουσιάζεται στην εικόνα 7.23 και εμφανίζει τα κύρια στοιχεία του ΦΒ συστήματος καθώς και το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης της προσομοίωσης.

Στη συνέχεια από την καρτέλα της εικόνας 7.23 επιλέγεται το πλαίσιο “Simulation” με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας νέας καρτέλας (εικόνα 7.24), η οποία παρουσιάζει ορισμένα κύρια αποτελέσματα της προσομοίωσης. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι **38.966kWh/έτος** και ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του ΦΒ συστήματος είναι **0,775**.



Εικόνα 7.23: Καρτέλα απεικόνισης του πλαισίου "Simulation" του λογισμικού PVSYS.



Εικόνα 7.24: Καρτέλα παρουσίασης κύριων αποτελεσμάτων της προσομοίωσης τα οποία σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.

Στην καρτέλα της εικόνας 7.24 επιλέγεται το πλαίσιο "Report" μέσω του οποίου παρουσιάζεται μία πεντασέλιδη αναφορά με αναλυτικά αποτελέσματα για το ΦΒ σύστημα. Σε κάθε σελίδα της προσομοίωσης μελετώνται τα εξής:

1. (Σελίδα 1): Πραγματοποιείται αναφορά για τις παραμέτρους που διέπουν την προσομοίωση του ΦΒ συστήματος δηλαδή τα γεωγραφικά στοιχεία, τον

προσανατολισμό των ΦΒ πλαισίων, τον ορίζοντα, τις σκιάσεις, τα χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων και του μετατροπέα καθώς τις ενεργειακές καταναλώσεις.

2. (Σελίδα 2): Γίνεται αναφορά σχετική με τον ηλιακό χάρτη (διάγραμμα ορίζοντα) και τις γραμμές σκιασμού που προκαλούνται από αυτόν.
3. (Σελίδα 3): Απεικονίζονται η τρισδιάστατη προοπτική του ΦΒ συστήματος με τις κοντινές σκιάσεις από τα παρακείμενα κτίρια καθώς και ο ηλιακός χάρτης με τις γραμμές σκιασμού που προκαλούνται από αυτά.
4. (Σελίδα 4): Παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως είναι η εξερχόμενη από το μετατροπέα ηλεκτρική ενέργεια, ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του ΦΒ συστήματος, η εξερχόμενη από το μετατροπέα ηλεκτρική ενέργεια ανά kW εγκατεστημένης ισχύος στη διάρκεια ενός έτους, το διάγραμμα παραγωγής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα και το διάγραμμα του μηνιαίου συντελεστή απόδοσης του ΦΒ συστήματος.
5. (Σελίδα 5): Παρουσιάζεται το διάγραμμα απωλειών του ΦΒ συστήματος.

PVSYST V5.20					26/07/15	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters						
Project :		Grid-Connected system				
Geographical site		PVGIS_Perioxi_2		Country	Greece	
Situation		Latitude	37.6°N	Longitude	22.8°E	
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+1	Altitude	2 m	
		Albedo	0.20			
Meteo data :		PVGIS_Perioxi_2 from PVGIS, Synthetic Hourly data				
Simulation variant :		Argos				
		Simulation date	26/07/15 00h48			
Simulation parameters						
Collector Plane Orientation		Tilt	30°	Azimuth	0°	
Horizon		Average Height	2.3°			
Near Shadings		According to strings		Electrical effect	100 %	
		Shadings of thin objects		Electrical effect	40 %	
PV Array Characteristics						
PV module		Si-poly	Model	AC-210P/156-54 \$		
			Manufacturer	Axitec		
Number of PV modules		In series	15 modules	In parallel	8 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules	120	Unit Nom. Power	210 Wp	
Array global power		Nominal (STC)	25 kWp	At operating cond.	23 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	387 V	I mpp	59 A	
Total area		Module area	176 m²			
Inverter						
		Model	IG Plus 150			
		Manufacturer	Fronius			
Characteristics		Operating Voltage	230-500 V	Unit Nom. Power	12.0 kW AC	
Inverter pack		Number of inverter	2 units	Total Power	24.0 kW AC	
PV Array loss factors						
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s	
--> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)				NOCT	56 °C	
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	108 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
Module Quality Loss				Loss Fraction	0.1 %	
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	2.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos I - 1)	bo Parameter	0.05	
User's needs :		Unlimited load (grid)				

Εικόνα 7.25: Σελίδα 1 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

Grid-Connected System: Horizon definition

Project : **Grid-Connected system**Simulation variant : **Argos**

Main system parameters

Horizon

Near Shadings

PV Field Orientation

PV modules

PV Array

Inverter

Inverter pack

User's needs

System type **Grid-Connected**

Average Height 2.3°

According to strings

tilt 30°

Model AC-210P/156-54S

Nb. of modules 120

Model IG Plus 150

Nb. of units 2.0

Unlimited load (grid)

azimuth 0°

Pnom 210 Wp

Pnom total **25 kWp**

Pnom 12 kW ac

Pnom total **24 kW ac**

Horizon

Average Height 2.3°

Albedo Factor 100 %

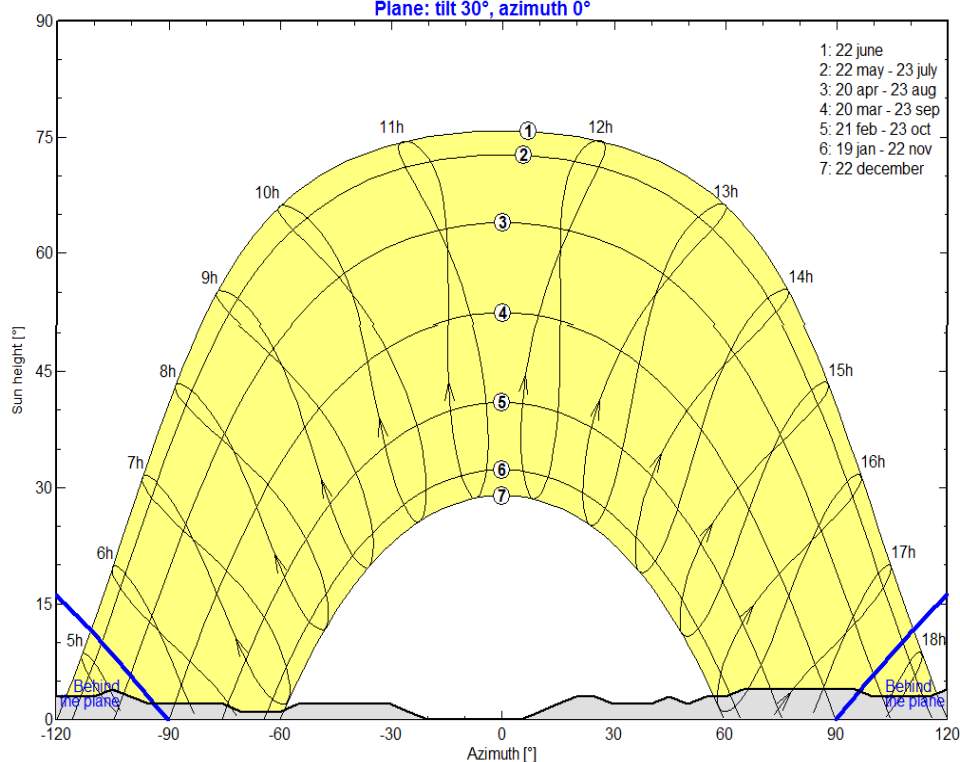
Diffuse Factor 0.99

Albedo Fraction 0.93

Height [°]	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
Azimuth [°]	-120	-115	-110	-105	-100	-95	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60
Height [°]	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Azimuth [°]	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5
Height [°]	1.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0
Azimuth [°]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Height [°]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0			
Azimuth [°]	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			

Horizon line at PVGIS Argos

Plane: tilt 30°, azimuth 0°



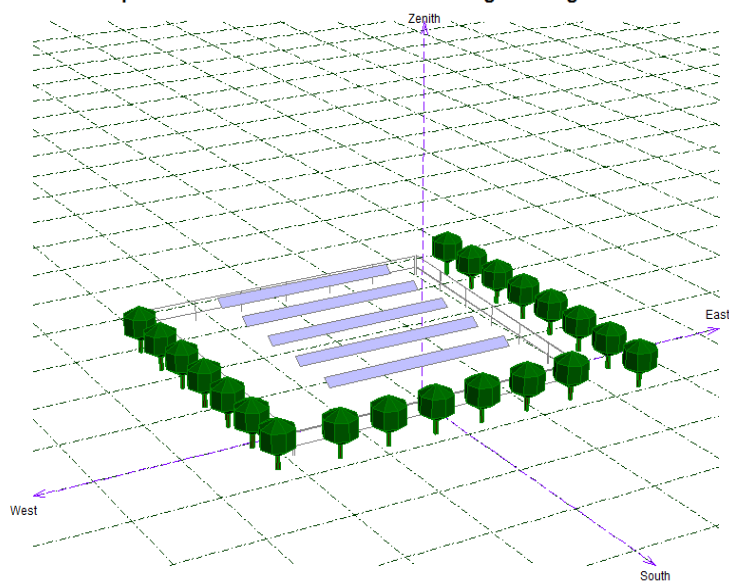
Εικόνα 7.26: Σελίδα 2 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

Grid-Connected System: Near shading definition

Project : **Grid-Connected system**Simulation variant : **Argos**

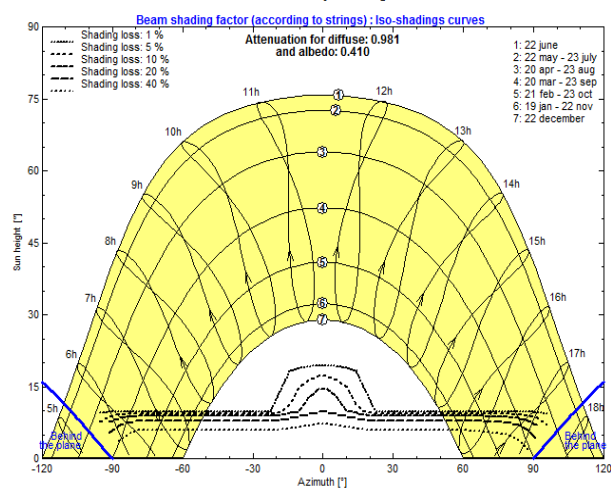
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
Horizon	Average Height	2.3°		
Near Shadings	According to strings			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	AC-210P/156-54S	Pnom	210 Wp
PV Array	Nb. of modules	120	Pnom total	25 kWp
Inverter	Model	IG Plus 150	Pnom	12 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	24 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Grid-Connected system: Argos



Εικόνα 7.27: Σελίδα 3 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

Grid-Connected System: Main results

Project : Grid-Connected system

Simulation variant : Argos

Main system parameters

Horizon

Near Shadings

PV Field Orientation

PV modules

PV Array

Inverter

Inverter pack

User's needs

System type

Average Height

According to strings

tilt

Model

Nb. of modules

Model

Nb. of units

Unlimited load (grid)

Grid-Connected

2.3°

30°

AC-210P/156-54S

120

IG Plus 150

2.0

azimuth 0°

Pnom 210 Wp

Pnom total 25 kWp

Pnom 12 kW ac

Pnom total 24 kW ac

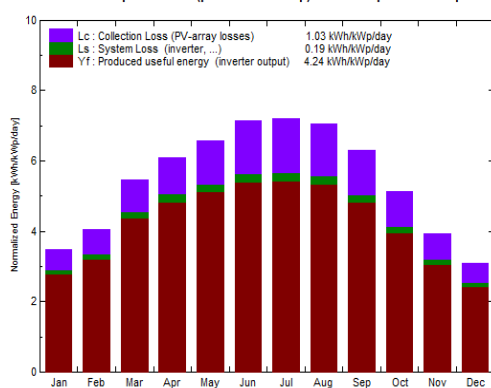
Main simulation results

System Production

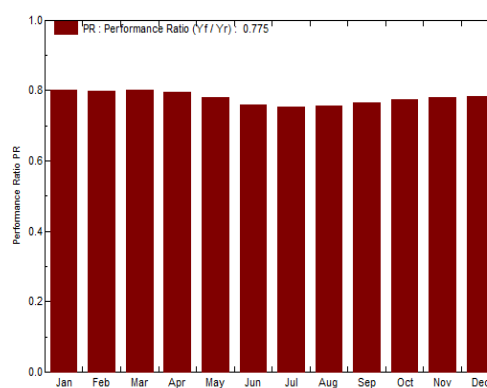
Produced Energy 39.0 MWh/year
Performance Ratio PR 77.5 %

Specific prod. 1546 kWh/kWp/year

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 25 kWp



Performance Ratio PR



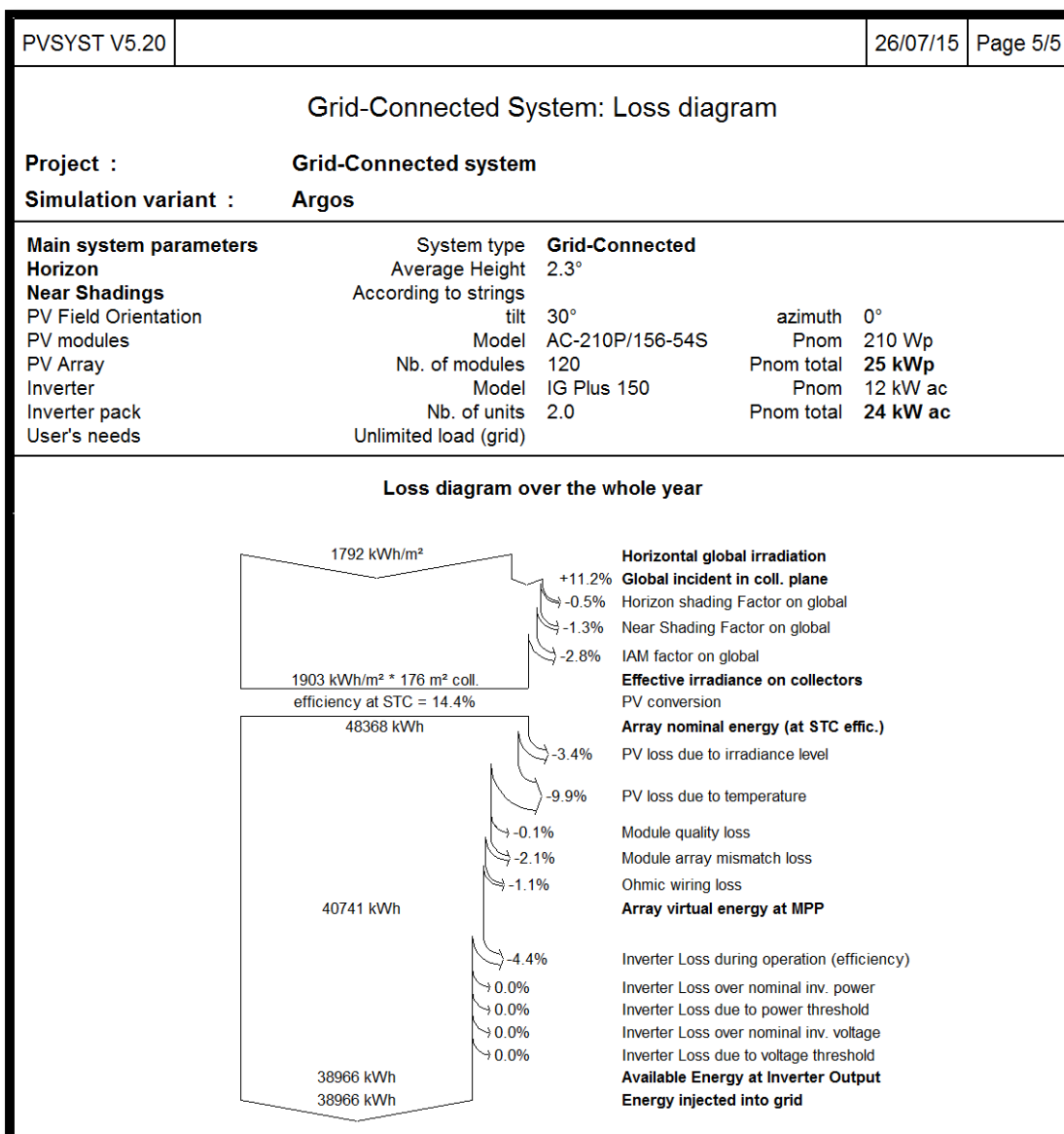
Argos

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	%	%
January	69.4	13.60	107.5	101.9	2271	2170	11.99	11.45
February	84.0	13.90	113.2	107.5	2379	2274	11.92	11.39
March	141.7	14.90	169.1	161.8	3564	3411	11.95	11.44
April	174.0	15.60	182.7	174.8	3822	3655	11.87	11.35
May	212.0	18.80	203.4	194.1	4179	3998	11.65	11.15
June	234.3	22.60	213.8	203.7	4274	4085	11.34	10.84
July	240.6	25.10	223.4	213.2	4430	4238	11.25	10.76
August	213.9	25.70	218.7	209.8	4359	4172	11.31	10.82
September	163.2	24.10	189.3	181.7	3814	3649	11.43	10.94
October	120.6	22.20	158.9	151.9	3239	3099	11.56	11.06
November	78.6	19.60	118.1	112.3	2424	2318	11.64	11.13
December	60.1	16.70	96.0	90.5	1987	1897	11.74	11.21
Year	1792.5	19.43	1994.0	1903.2	40741	38966	11.59	11.08

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
T Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
EffArrR Effic. Eout array / rough area
EffSysR Effic. Eout system / rough area

Εικόνα 7.28: Σελίδα 4 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.



Εικόνα 7.29: Σελίδα 5 της αναφοράς της προσομοίωσης του λογισμικού PVSYST.

7.13. Σύστημα στήριξης του ΦΒ συστήματος

Το σύστημα στήριξης θα αποτελείται από σταθερές βάσεις στήριξης, οι οποίες εξασφαλίζουν σταθερή γωνία κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο για τα ΦΒ πλαίσια κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Για την επιλογή των κατάλληλων βάσεων στήριξης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “RETScreen Plus” μέσω του οποίου καθίσταται γνωστή η μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα. Η ταχύτητα του ανέμου αποτελεί το κυριότερο μετεωρολογικό στοιχείο για την τελική επιλογή βάσεων στήριξης των ΦΒ πλαισίων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πως η ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου είναι 4m/s (14,4km/h) και η μέγιστη μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου είναι 4,9m/s (17,64km/h). Τα στοιχεία αυτά αφορούν μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην Πυργέλα Άργους, η οποία είναι η πλησιέστερη στην εγκατάστασή μας περιοχή με απόσταση μικρότερη των 4 χιλιομέτρων.

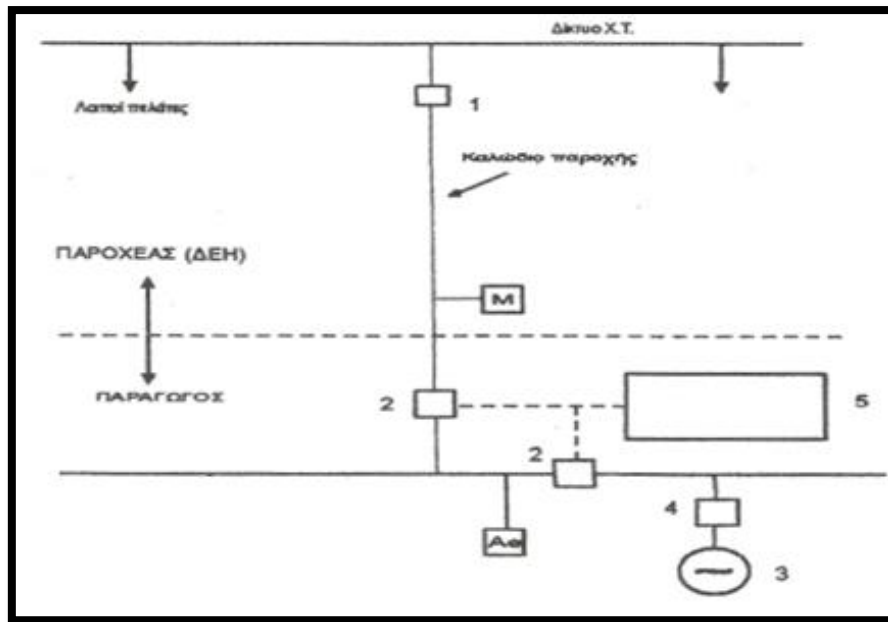
Θέση κλιματολογικών δεδομένων		Argos / Pargela
Μήνας	Ταχύτητα ανέμου	
	m/Δευτερόλεπτο ▾	
Ιανουάριος	4,7	
Φεβρουάριος	4,9	
Μάρτιος	4,3	
Απρίλιος	3,8	
Μαΐος	3,4	
Ιούνιος	3,3	
Ιούλιος	3,5	
Αύγουστος	3,5	
Σεπτέμβριος	3,3	
Οκτώβριος	3,8	
Νοέμβριος	4,3	
Δεκέμβριος	4,8	
Ετήσιο	4,0	
Πηγή	NASA	

Εικόνα 7.30: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Πυργέλας Άργους από το λογισμικό RETScreen Plus.

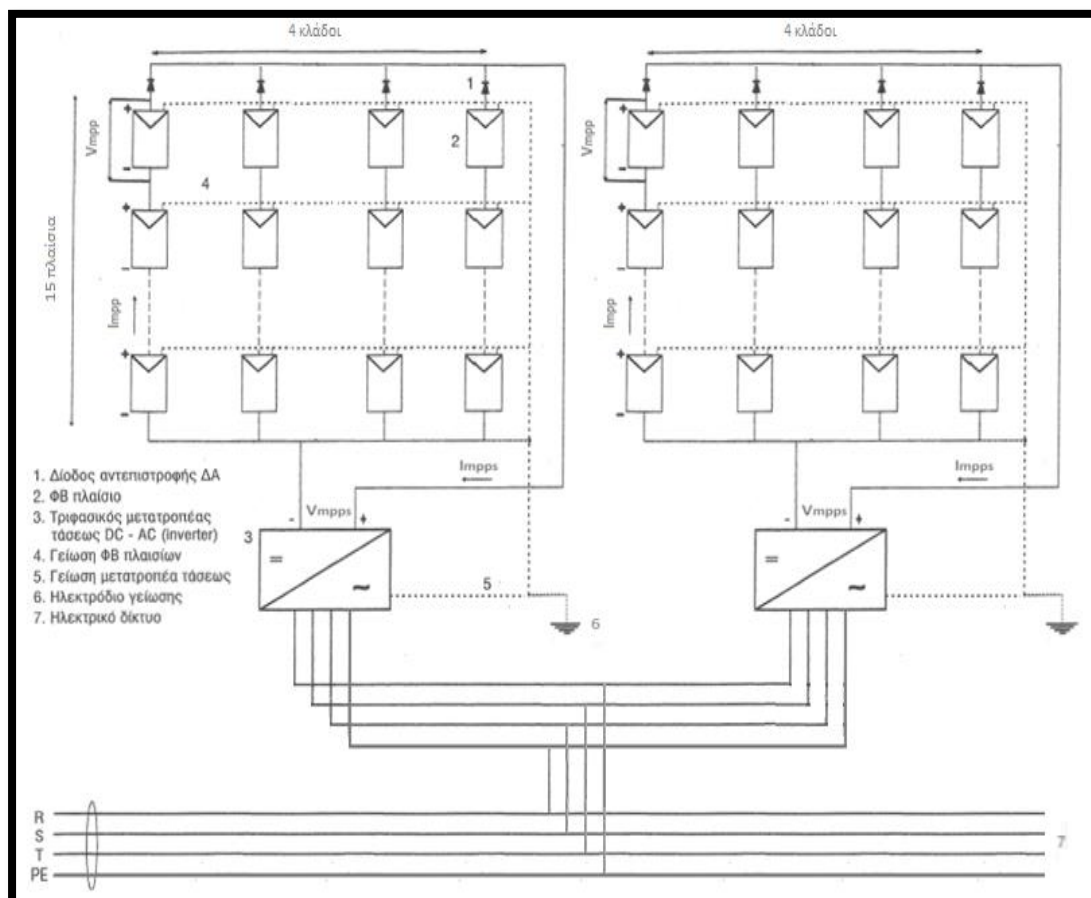
Στην παρούσα εγκατάσταση θα χρησιμοποιήσουμε, όπως και στην προηγούμενη προσομοίωση, τις σταθερές βάσεις στήριξης “FARMLAND-ST6 ” της εταιρίας “UISOLAR”, των οποίων η χρήση είναι εφαρμόσιμη σε αγροτικές εκτάσεις. Το σύστημα υποστήριξης των ΦΒ πλαισίων είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένο εν θερμώ ατσάλι και ανοδιωμένο αλουμίνιο προσφέροντας υψηλή αντιδιαβρωτική προστασία κατάλληλη για αγροτικές εκτάσεις. Επιπλέον μπορεί να σχεδιαστεί και προσαρμοστεί στο εργοστάσιο ύστερα από συγκεκριμένη απαίτηση του πελάτη με στόχο την εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων[8]. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και η τρισδιάστατη αναπαράσταση του συστήματος στήριξης έχουν παρουσιαστεί στις εικόνες 5.46 και 5.47.

7.14. Σχεδιασμός ΦΒ συστήματος

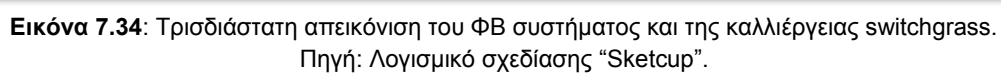
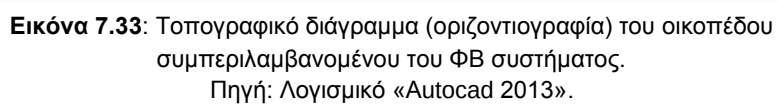
Το διάγραμμα σύνδεσης ενός ΦΒ συστήματος με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί βασικό βήμα για τον τελικό υπολογισμό. Το παρόν ΦΒ σύστημα περιλαμβάνει τις ΦΒ συστοιχίες, τους αναστροφείς τάσεως DC-AC και ένα μετρητή εξερχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τρόπος σύνδεσης του ΦΒ συστήματος με το δίκτυο παροχής εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ αιχμής της ΦΒ γεννήτριας και δεδομένου πως το εξεταζόμενο ΦΒ σύστημα έχει ονομαστική ισχύ **25,2kW_p**, η σύνδεση θα πραγματοποιηθεί με το δίκτυο Χαμηλής Τάσης.

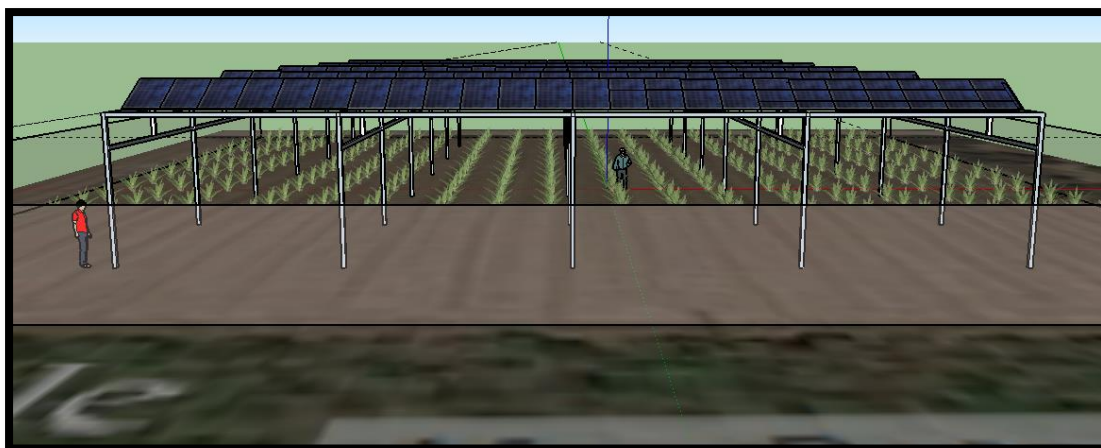


Εικόνα 7.31: Διάγραμμα σύνδεσης του ΦΒ συστήματος με δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας Χαμηλής Τάσης. (1: Μικρό ασφαλειοκιβώτιο, 2: Αυτόματος διακόπτης της σύνδεσης, 3: ΦΒ συστοιχίες και αναστροφείς, 4: Διακόπτης παραλληλισμού, 5: Προστατευτικές διατάξεις, 6: Μ: Μετρητής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, Αε: Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας παραγωγού).
Πηγή: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (2011) [1].

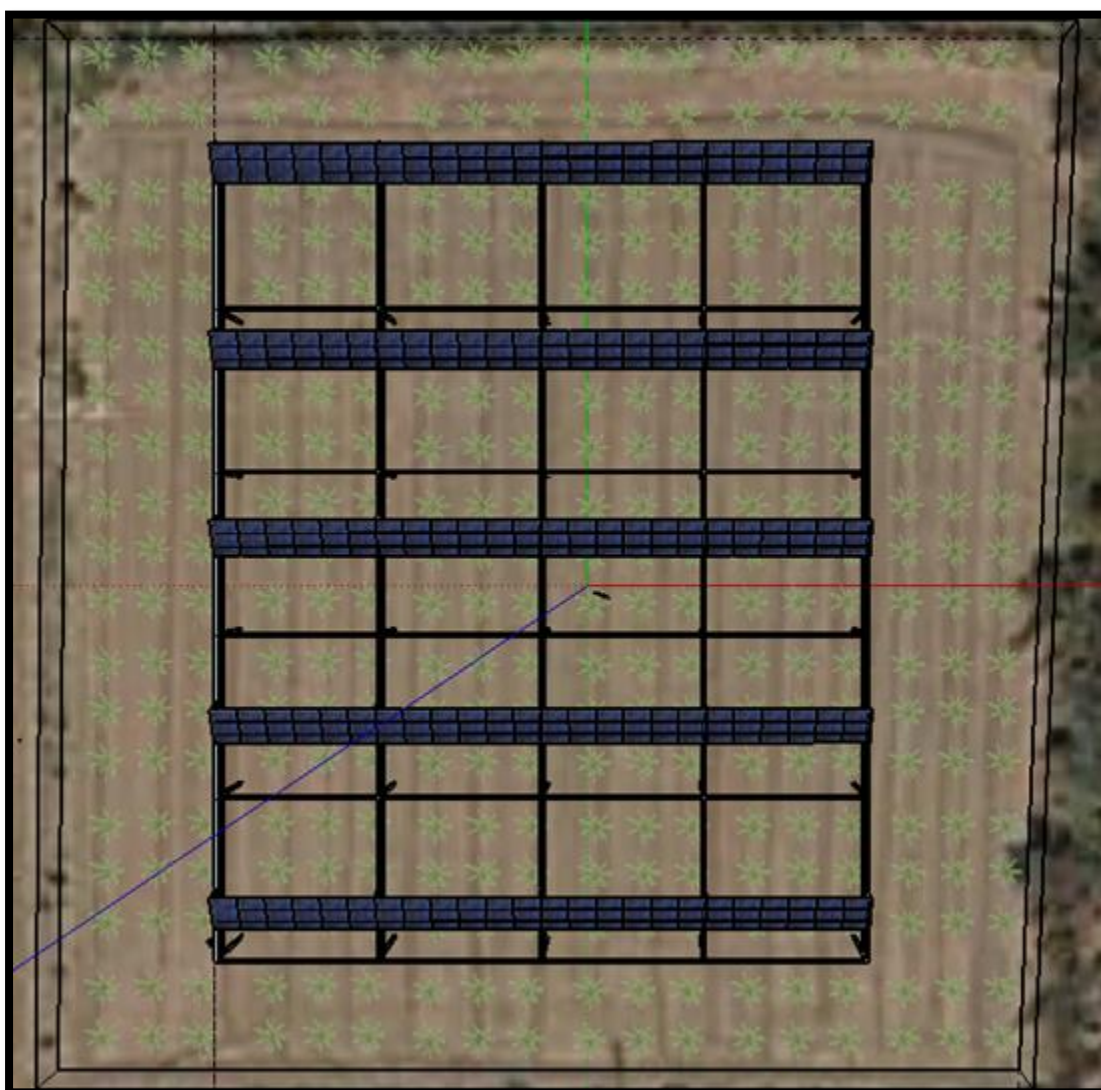


Εικόνα 7.32: Το ΦΒ σύστημα εγκατεστημένης ισχύος 25,2kW_p, συνδεδεμένο στο δίκτυο με δύο τριφασικούς αναστροφείς τάσεως DC-AC.
Πηγή: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (2011) [1].





Εικόνα 7.35: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος και της καλλιέργειας switchgrass.
Πηγή: Λογισμικό σχεδίασης “Sketcup”.



Εικόνα 7.36: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ΦΒ συστήματος και της καλλιέργειας switchgrass (κάτοψη).
Πηγή: Λογισμικό σχεδίασης “Sketcup”.

7.15. Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης

Η συνδυασμένη επένδυση της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου και της καλλιέργειας switchgrass δημιουργεί στον παραγωγό ένα είδος αγροτικής απασχόλησης και προσφέρει ένα ετήσιο εισόδημα ικανό για την επίτευξη της διαβίωσής του. Για την αποτελεσματική αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου θα προσδιοριστούν πέντε δείκτες αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων (NPV, IRR, DPP, PVR και ORR). Η συνολική αξιολόγηση της επένδυσης της συγκαλλιέργειας θα πραγματοποιηθεί στο τέλος του κεφαλαίου και ύστερα από την εκτενή παρουσίαση και ανάλυση των χρηματοροών για το ΦΒ σύστημα και την φυτική παραγωγή ξεχωριστά.

Οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης του ΦΒ συστήματος

Ο παραγωγός θα χρηματοδοτήσει την επένδυση μέσω ιδίων κεφαλαίων σε ποσοστό 100% με επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων 2%. Επιπλέον θα ασφαλίσει το ΦΒ σύστημα προς 0,5% του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Τα λειτουργικά έξοδα λόγω συντήρησης ανέρχονται επίσης στο 0,5% του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Οι ετήσιες εκροές ασφάλισης και συντήρησης αυξάνονται ετησίως σύμφωνα με τον πληθωρισμό του οποίου η τιμή ορίζεται στο 3,2%. Η εγγύηση των αναστροφών έχει επεκταθεί στα 20 έτη με συνέπεια να μην απαιτείται αντικατάστασή τους κατά τη διάρκεια της 20ετούς σύμβασης. Στις ετήσιες εισροές υπολογίζονται τα έσοδα που προκύπτουν από τη σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΛΑΓΗΕ Α.Ε., προς 0,06905 €/kWh. Σύμφωνα με την υπηρεσία ΑΠΕ η τιμή αυτή παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της σύμβασης. Το ΦΒ σύστημα παρουσιάζει ετήσια πτώση απόδοσης ίση με 0,9% και οι αποσβέσεις του επενδυτικού σχεδίου υπολογίζονται ανά περίοδο με τη μέθοδο της σταθερής απόσβεσης. Η υπολειμματική αξία του ΦΒ συστήματος στο τέλος της 20ετούς σύμβασης θεωρείται μηδενική και ο φορολογικός συντελεστής των κερδών ισούται με 13%. Οι τεχνικές αξιολόγησης της επιμέρους επένδυσης θα υπολογιστούν ως προς τα ίδια κεφάλαια και οι σχέσεις υπολογισμού που αντιστοιχούν σε αυτήν την περίπτωση χρηματοδότησης έχουν παρουσιαστεί στον πίνακα 5.10.

Πίνακας 7.5: Αρχικό κόστος της επένδυσης εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος.

Αρχικό κόστος	Τιμή ανά W_p (€/W _p)	Εγκατεστημένη Ισχύς (W _p)	Τελική τιμή (€)
ΦΒ πλαίσια	0,61	25200	15372
Αναστροφές τάσεως DC-AC		24000	4900
Σύστημα στήριξης	0,246	25200	6199,2
Πίνακες και καλωδιώσεις			1107
Μηχανολογικός-Οικοδομικός-Ηλεκτρολογικός Σχεδιασμός			500
Μεταφορά-Εγκατάσταση			1500
Άδειες			984
Σύνολο			30562,2

Πίνακας 7.6: Δεδομένα επένδυσης του ΦΒ συστήματος.

Αρχικό κόστος ΦΒ συστήματος (€)	30562,2
Ίδια κεφάλαια επένδυσης (€)	30562,2
Πληθωρισμός (%)	3,2
Επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων k_{Eq} (%)	2
Ασφαλιστικές εισφορές (% του αρχικού κόστους)	0,5
Λειτουργικά έξοδα επένδυσης (% του αρχικού κόστους)	0,5
Ετήσια πώση απόδοσης ΦΒ σταθμού (%)	0,9
Τιμή πώλησης ηλ. ενέργειας (€/kWh)	0,06905
Ποσοστό ετήσιας αύξησης τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (%)	0
Φορολογικός συντελεστής (ΦΣ) (%)	13

Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παραμένει αμετάβλητη, ορίστηκε σύμφωνα με την υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.2262/31.01.2012 (Β' 97/31.01.2012) στα **0,06905€/kWh** και υπολογίστηκε μέσω της σχέσης[2]:

$$\begin{aligned} \text{Τιμή Ενέργειας} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) &= 1,2 * \mu OT \Sigma_{2014} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) = \\ &= 1,2 * 0,0575 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) = 0,06905 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \quad (7.1) \end{aligned}$$

Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ΦΒ (Π.ΦΒ.) σε kWh σύστημα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Pi. \Phi B_{.t} (kWh) = \Pi. \Phi B_{.t-1} (kWh) - 0,09 * \Pi. \Phi B_{.t-1} (kWh) \text{ για } t \geq 2 \quad (7.2)$$

Η ετήσια απόδοση του ΦΒ συστήματος (ΑΠ.ΦΒ.) σε (%) υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$ΑΠ. \Phi B_{.t} (kWh) = ΑΠ. \Phi B_{.t-1} (kWh) - 0,09 * ΑΠ. \Phi B_{.t-1} (kWh) \text{ για } t \geq 2 \quad (7.3)$$

Για τον υπολογισμό των ετήσιων ονομαστικών εκροών λόγω λειτουργικών και ασφαλιστικών εξόδων χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$Εκροή_t(€) = Εκροή_{\text{πρώτου έτους}}(€) * (1 + 0,032)^{t-1} \text{ για } t \geq 1 \quad (7.4)$$

Για τον υπολογισμό των ετήσιων ονομαστικών εισροών λόγω πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται η σχέση:

$$Εισροή_t(€) = \text{Τιμή Ενέργειας} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) * \Pi. \Phi B_{.t} (kWh) \text{ για } t \geq 1 \quad (7.5)$$

Για τον υπολογισμό της απόσβεσης A_t μια συνηθισμένη μέθοδος απόσβεσης των επενδύσεων είναι η γραμμική. Τότε, αν ο χρόνος απόσβεσης είναι N_A έτη, η ετήσια απόσβεση A_t είναι το $1/N_A$ του αρχικού κόστους της επένδυσης[3]:

$$A_t(\text{€}) = \frac{\text{Αρχικό κόστος } \Phi B \text{ συστήματος (€)}}{N_A} \text{ για } t \geq 1 \quad (7.6)$$

Πίνακας 7.7: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εκροών.

	Ταμειακές εκροές (€) (Ονομαστικές)			
Έτος	Λειτουργικά	Ασφάλεια	Αρχικό κόστος	Σύνολο
0			30562,2	30562,2
1	152,811	152,811		305,622
2	157,700952	157,701055		315,4020072
3	162,747382	162,747489		325,4948714
4	167,955299	167,955409		335,9107073
5	173,329868	173,329982		346,65985
6	178,876424	178,876541		357,7529651
7	184,60047	184,60059		369,20106
8	190,507685	190,507809		381,015494
9	196,603931	196,604059		393,2079898
10	202,895256	202,895389		405,7906454
11	209,387905	209,388042		418,7759461
12	216,088317	216,088459		432,1767764
13	223,003144	223,00329		446,0064332
14	230,139244	230,139395		460,2786391
15	237,5037	237,503855		475,0075555
16	245,103818	245,103979		490,2077973
17	252,947141	252,947306		505,8944468
18	261,041449	261,04162		522,0830691
19	269,394776	269,394952		538,7897273
20	278,015408	278,01559		556,0309986

Πίνακας 7.8: Παρουσίαση της ετήσιας απόδοσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΦΒ συστήματος, των ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εισροών και των ετήσιων αποσβέσεων.

Έτος	Ετήσια ΑΠ.ΦΒ Συστήματος (%)	Ετήσια Π.ΦΒ. (kWh)	Ταμειακές εισροές (€) (Ονομαστικές)	Ετήσιες αποσβέσεις (€)
1	100	38966	2690,6023	1528,11
2	99,1	38615,306	2666,386879	1528,11
3	98,2081	38267,76825	2642,389397	1528,11
4	97,3242271	37923,35833	2618,607893	1528,11
5	96,44830906	37582,04811	2595,040422	1528,11

6	95,58027427	37243,80967	2571,685058	1528,11
7	94,72005181	36908,61539	2548,539892	1528,11
8	93,86757134	36576,43785	2525,603033	1528,11
9	93,0227632	36247,24991	2502,872606	1528,11
10	92,18555833	35921,02466	2480,346753	1528,11
11	91,3558883	35597,73544	2458,023632	1528,11
12	90,53368531	35277,35582	2435,901419	1528,11
13	89,71888214	34959,85962	2413,978306	1528,11
14	88,9114122	34645,22088	2392,252502	1528,11
15	88,11120949	34333,41389	2370,722229	1528,11
16	87,31820861	34024,41317	2349,385729	1528,11
17	86,53234473	33718,19345	2328,241258	1528,11
18	85,75355363	33414,72971	2307,287086	1528,11
19	84,98177164	33113,99714	2286,521502	1528,11
20	84,2169357	32815,97116	2265,942809	1528,11

Για τον υπολογισμό των ονομαστικών ΚΤΡ πραγματοποιούμε για κάθε έτος την πράξη[3]:

$$\begin{aligned}
& \text{Ονομαστικές ΚΤΡ}_t \\
&= (\text{Ονομαστικές Ταμειακές εισροές}_t \\
&\quad - \text{Ονομαστικές Ταμειακές εκροές}_t) * (1 - \Phi\Sigma) + A_t \\
&\text{για } t \geq 1 \text{ (7.7)}
\end{aligned}$$

Για τον υπολογισμό των παρούσων καθαρών ταμειακών ροών πραγματοποιούμε την πράξη[3]:

$$\text{Παρούσα ταμειακή ροή}_t = \frac{\text{Ονομαστική ταμειακή ροή}_t}{(1 + 0,02)^{t-1}} \text{ για } t \geq 1 \text{ (7.8)}$$

Πίνακας 7.9: Υπολογισμός ονομαστικών και παρούσων χρηματορροών (€) επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια.

Έτος	Ονομαστικές ΚΤΡ (€)	Παρούσες ΚΤΡ (€)	Αθροιστικές παρούσες ΚΤΡ (€)
0	-30562,2	-30562,2	-30562,2
1	2273,587161	2273,587161	-28288,61284
2	2244,011139	2200,01092	-26088,60192
3	2214,352538	2128,36653	-23960,23539
4	2184,600851	2058,598174	-21901,63721
5	2154,745397	1990,65168	-19910,98553
6	2124,775221	1924,474381	-17986,51115
7	2094,679084	1860,015082	-16126,49607

8	2064,445459	1797,224008	-14329,27206
9	2034,062516	1736,052772	-12593,21929
10	2003,518113	1676,454332	-10916,76496
11	1972,799787	1618,382951	-9298,382009
12	1941,894739	1561,794165	-7736,587845
13	1910,78983	1506,644741	-6229,943104
14	1879,47156	1452,892646	-4777,050458
15	1847,926066	1400,497013	-3376,553445
16	1816,139101	1349,418104	-2027,135342
17	1784,096025	1299,617281	-727,5180607
18	1751,781795	1251,056976	523,5389148
19	1719,180944	1203,700655	1727,23957
20	1686,277575	1157,512797	2884,752367

Πίνακας 7.10: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος.

Τεχνική αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου	Λήψη απόφασης
NPV = 2884,752367 € > 0	Αποδοχή σχεδίου
IRR = 3,13 % > 2%	Αποδοχή σχεδίου
DPP = 17,58 έτη	Οριακά ικανοποιητική τιμή (≈9/10 της διάρκειας σύμβασης)
PVR = 1,094389552 > 1	Αποδοχή σχεδίου
ORR = 0,094389552 > 0	Αποδοχή σχεδίου

Οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης της καλλιέργειας switchgrass

Ο παραγωγός θα χρηματοδοτήσει την επένδυση μέσω ιδίων κεφαλαίων σε ποσοστό 100% με επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων 2%. Το αρχικό κόστος επένδυσης, που θα καταβληθεί κατά το έτος εγκατάστασης της καλλιέργειας, συνίσταται στην αγορά των σπόρων, των ζιζανιοκτόνων και στην άρδευση. Οι ετήσιες εκροές της καλλιέργειας του switchgrass συνίστανται στο κόστος υλικών (λίπανση και άρδευση), στον απαιτούμενο μηχανολογικό εξοπλισμό (κόστος συντήρησης, ασφάλισης και καυσίμων), στη συγκομιδή, στην αποθήκευση και στη μεταφορά της βιομάζας στη συμβεβλημένη με τον παραγωγό εταιρία παραγωγής βιοκαυσίμων. Επιπροσθέτως, οι ετήσιες εκροές αυξάνονται ετησίως σύμφωνα με τον πληθωρισμό του οποίου η τιμή ορίζεται στο 3,2%. Στις ετήσιες εισροές υπολογίζονται

τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση της παραγόμενης ξηρής βιομάζας, προς 0,14 €/kg. Η τιμή αυτή παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της σύμβασης του παραγωγού με την εταιρία αξιοποίησης της βιομάζας. Η υπολειμματική αξία της καλλιέργειας στο τέλος της 20ετούς διάρκειας σύμβασης θεωρείται μηδενική και ο φορολογικός συντελεστής των κερδών ισούται με 13%. Οι αποσβέσεις του επενδυτικού σχεδίου υπολογίζονται ανά περίοδο με τη μέθοδο της σταθερής απόσβεσης. Οι τεχνικές αξιολόγησης της επιμέρους επένδυσης θα υπολογιστούν ως προς τα ίδια κεφάλαια και οι σχέσεις υπολογισμού που αντιστοιχούν σε αυτήν την περίπτωση χρηματοδότησης έχουν παρουσιαστεί στον πίνακα 5.10.

Η καλλιέργεια ορίζεται πως θα έχει 20ετή διάρκεια βιολογικού κύκλου. Η μέση ετήσια απόδοση της καλλιέργειας σε βιομάζα το πρώτο έτος θα οριστεί στη μισή από την επιδιωκόμενη μέγιστη δυνατή (2tn/στρέμμα) και από το δεύτερο έως και το εικοστό έτος θα ισούται με τη μέγιστη επιδιωκόμενη δυνατή σύμφωνα με τα δεδομένα του κεφαλαίου 6. Στην οικονομική αξιολόγηση θα συμπεριληφθεί η παράμετρος της μείωσης της απόδοσης της καλλιέργειας λόγω της σκίασης από το ΦΒ σύστημα, σύμφωνα με την οποία η μέση απόδοση της καλλιέργειας θα οριστεί στο 80% της παραγωγής που θα υπήρχε υπό συνθήκες πλήρους ήλιου σύμφωνα με τα δεδομένα του κεφαλαίου 4.

Πίνακας 7.11: Αρχικό κόστος της επένδυσης της καλλιέργειας switchgrass σε 1512,24 τ.μ. έκτασης γης για επιδιωκόμενη παραγωγή 2tn/στρέμμα. Το κόστος κάθε κατηγορίας προέρχεται από τον υπολογισμό της μέσης τιμής κόστους που αναφέρεται σε κάθε βιβλιογραφική αναφορά, ανηγμένο στην επιδιωκόμενη παραγωγή βιομάζας και στη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση.

Αρχικό κόστος εγκατάστασης καλλιέργειας	Κόστος (€)
Σπορά [7],[9],[11]	67,2
Ζιζανιοκτονία [9],[11]	5,325
Μηχανολογικός εξοπλισμός [10],[11]	43,845
Σύνολο	116,37

Πίνακας 7.12: Ετήσια έξοδα της καλλιέργειας switchgrass σε 1512,24 τ.μ. έκτασης γης για επιδιωκόμενη παραγωγή 2tn/στρέμμα. Το κόστος κάθε κατηγορίας προέρχεται από τον υπολογισμό της μέσης τιμής κόστους που αναφέρεται σε κάθε βιβλιογραφική αναφορά, ανηγμένο στην επιδιωκόμενη παραγωγή βιομάζας και στη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση.

Ετήσια έξοδα καλλιέργειας	Κόστος (€)
Λίπανση [8],[9],[10],[11]	14,235
Άρδευση [8],[9],[11]	24,32

Συγκομιδή-Αποθήκευση-Μεταφορά [10],[11]	71,58
Σύνολο	110,135

Πίνακας 7.13: Δεδομένα επένδυσης της καλλιέργειας switchgrass.

Αρχικό κόστος εγκατάστασης καλλιέργειας (€)	116,37
Ίδια κεφάλαια επένδυσης (€)	116,37
Πληθωρισμός (%)	3,2
Επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων k_{Eq} (%)	2
Ετήσια παραγωγή βιομάζας κατά το πρώτο έτος (kg)	1200
Ετήσια παραγωγή βιομάζας από το δεύτερο έως και το εικοστό έτος (kg)	2400
Ποσοστό ετήσιας πτώσης παραγωγής βιομάζας από το δεύτερο έτος (%)	0
Τιμή πώλησης switchgrass (€/kg)	0,14
Ετήσια έξοδα (€)	110,135
Φορολογικός συντελεστής (ΦΣ) (%)	13
Καλλιεργούμενη έκταση γης (τ.μ.)	1512,24

Για τον υπολογισμό της τελικής ετήσιας παραγωγής βιομάζας θα χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω σχέση με την οποία ορίζεται η επίδραση της σκίασης των ΦΒ πλασιών:

$$Τελική Παραγωγή Βιομάζας_t(kg) = 0,8 * Παραγωγή Βιομάζας_t(kg) \text{ για } t \geq 1 \quad (7.9)$$

Η τιμή παραγωγού για την πώληση της καλλιέργειας switchgrass δεν είναι διεθνώς καθορισμένη, όμως η τιμή του σανού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για τον προσδιορισμό της[4]. Η τιμή του σανού το 2013 κυμάνθηκε από 0,09 έως 0,26€ στην Ελλάδα[5]. Επίσης αξίζει να αναφερθεί πως δεν έχει γνωστοποιηθεί από τα βιοδιυλιστήρια η τιμή παραγωγού για την πώληση switchgrass. Παρά ταύτα η τιμή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την αξία της καλλιέργειας ως ζωοτροφή δηλαδή περίπου 0,09 €/kg[6]. Συνεπώς η τιμή παραγωγού για το switchgrass που θα επιλέξουμε ανήκει στο παραπάνω εύρος τιμών, προσεγγίζοντας περισσότερο το κάτω άκρο, με στόχο την, όσο το δυνατό, πιο ρεαλιστική αξιολόγηση της επένδυσης:

$$T.S. \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) = 0,14 \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) \quad (7.10)$$

Για τον υπολογισμό των ετήσιων ονομαστικών εκροών λόγω λειτουργικών εξόδων χρησιμοποιείται η σχέση 7.4.

Για τον υπολογισμό των ετήσιων ονομαστικών εισροών λόγω πώλησης της βιομάζας χρησιμοποιείται η σχέση:

$$Εισροή_t(€) = T.S. \left(\frac{€}{kg} \right) * Τελική Παραγωγή Βιομάζας_t(kg) \text{ για } t \geq 1 \quad (7.11)$$

Για τον υπολογισμό της ετήσιας απόσβεσης A_t θα χρησιμοποιηθεί η σχέση 7.6.

Πίνακας 7.14: Παρουσίαση ονομαστικών ετήσιων ταμειακών εκροών και εισροών, ετήσιων αποσβέσεων, αρχικού κόστους και ετήσιας απόδοσης switchgrass σε βιομάζα.

Έτος	Ταμειακές εκροές (€) (Ονομαστικές)	Αρχικό κόστος (€)	Τελική Παραγωγή Βιομάζας (kg)	Ταμειακές εισροές (€) (Ονομαστικές)	Ετήσιες αποσβέσεις (€)
0		116,37			
1	110,135		1200	168	5,8185
2	113,65932		2400	336	5,8185
3	117,2964182		2400	336	5,8185
4	121,0499036		2400	336	5,8185
5	124,9235005		2400	336	5,8185
6	128,9210526		2400	336	5,8185
7	133,0465262		2400	336	5,8185
8	137,3040151		2400	336	5,8185
9	141,6977436		2400	336	5,8185
10	146,2320714		2400	336	5,8185
11	150,9114976		2400	336	5,8185
12	155,7406656		2400	336	5,8185
13	160,7243669		2400	336	5,8185
14	165,8675466		2400	336	5,8185
15	171,1753081		2400	336	5,8185
16	176,652918		2400	336	5,8185
17	182,3058113		2400	336	5,8185
18	188,1395973		2400	336	5,8185
19	194,1600644		2400	336	5,8185
20	200,3731865		2400	336	5,8185

Για τον υπολογισμό των ονομαστικών καθαρών ταμειακών ροών χρησιμοποιούμε τη σχέση 7.7 και για τον υπολογισμό των παρούσων καθαρών ταμειακών ροών χρησιμοποιούμε τη σχέση 7.8.

Πίνακας 7.15: Υπολογισμός ονομαστικών και παρούσων χρηματορροών (€) επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια.

Έτος	Ονομαστικές KTP (€)	Παρούσες KTP (€)	Αθροιστικές παρούσες KTP (€)
0	-116,37	-116,37	-116,37
1	51,098955	51,098955	-65,271045
2	194,1927966	190,3850947	125,1140497
3	191,0285211	183,6106508	308,7247005
4	187,7629888	176,933258	485,6579585
5	184,3929595	170,3505923	656,0085508
6	180,9150893	163,8603703	819,8689211
7	177,3259272	157,4603486	977,3292698
8	173,6219119	151,1483226	1128,477592
9	169,7993681	144,9221257	1273,399718
10	165,8545029	138,7796287	1412,179347
11	161,7834021	132,7187388	1544,898086
12	157,582026	126,7373991	1671,635485
13	153,2462058	120,8335875	1792,469072
14	148,7716395	115,0053161	1907,474388
15	144,153887	109,2506306	2016,725019
16	139,3883664	103,5676094	2120,292628
17	134,4703491	97,95436291	2218,246991
18	129,3949554	92,40903289	2310,656024
19	124,157149	86,92979182	2397,585816
20	118,7517328	81,51484216	2479,100658

Πίνακας 7.16: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου καλλιέργειας switchgrass.

Τεχνική αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου	Λήψη απόφασης
NPV = 2479,100658 € > 0	Αποδοχή σχεδίου
IRR = 295,87 % > 2%	Αποδοχή σχεδίου
DPP = 1,34 έτη	Ικανοποιητική τιμή

PVR = 22,30360624 > 1	Αποδοχή σχεδίου
ORR = 21,30360624 > 0	Αποδοχή σχεδίου

Για τον υπολογισμό των ονομαστικών KTP που προκύπτουν από τη συγκαλλιέργεια του ΦΒ συστήματος και του switchgrass πραγματοποιούμε για κάθε έτος την πράξη:

$$\begin{aligned}
 & \text{Ονομαστικές } KTP_t(\text{ΦΒ σύστημα και καλλιέργεια switchgrass}) \\
 &= (\text{Ονομαστικές } KTP_t(\text{ΦΒ σύστημα}) \\
 &+ \text{Ονομαστικές } KTP_t(\text{καλλιέργεια switchgrass})) \\
 &\text{για } t \geq 1 \text{ (7.12)}
 \end{aligned}$$

Για τον υπολογισμό των παρούσων KTP που προκύπτουν από τη συγκαλλιέργεια του ΦΒ συστήματος και του switchgrass πραγματοποιούμε την πράξη[3]:

$$\begin{aligned}
 & \text{Παρούσα } KTP_t(\text{ΦΒ σύστημα και καλλιέργεια switchgrass}) \\
 &= \frac{\text{Ονομαστική } KTP_t(\text{ΦΒ σύστημα και καλλιέργεια switchgrass})}{(1 + 0,02)^{t-1}} \\
 &\text{για } t \geq 1 \text{ (7.13)}
 \end{aligned}$$

Πίνακας 7.17: Υπολογισμός παρούσων χρηματορροών και αθροιστικών παρούσων χρηματορροών συνολικής επένδυσης συγκαλλιέργειας ΦΒ συστήματος και switchgrass ως προς τα ίδια κεφάλαια.

Έτος	Παρούσες KTP (€)	Αθροιστικές παρούσες KTP (€)
0	-30678,57	-30678,57
1	2324,686116	-28353,88388
2	2390,396015	-25963,48787
3	2311,977181	-23651,51069
4	2235,531432	-21415,97926
5	2161,002272	-19254,97698
6	2088,334752	-17166,64223
7	2017,47543	-15149,1668
8	1948,37233	-13200,79447
9	1880,974898	-11319,81957
10	1815,23396	-9504,585614
11	1751,10169	-7753,483924
12	1688,531564	-6064,95236

13	1627,478328	-4437,474032
14	1567,897962	-2869,57607
15	1509,747643	-1359,828426
16	1452,985713	93,15728667
17	1397,571644	1490,72893
18	1343,466008	2834,194939
19	1290,630447	4124,825386
20	1239,027639	5363,853025

Πίνακας 7.18: Αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου συντοποθέτησης ΦΒ συστήματος και switchgrass.

Τεχνική αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου	Λήψη απόφασης
$NPV = 5363,853025 \text{ €} > 0$	Αποδοχή σχεδίου
$IRR = 4,07 \% > 2\%$	Αποδοχή σχεδίου
$DPP = 15,94 \text{ έτη}$	Οριακά ικανοποιητική τιμή ($\approx 4/5$ της διάρκειας σύμβασης)
$PVR = 1,174840386 > 1$	Αποδοχή σχεδίου
$ORR = 0,174840386 > 0$	Αποδοχή σχεδίου

Βιβλιογραφία

- [1]. ΠΕΡΔΙΟΣ, Δ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ". ΑΘΗΝΑ: ΣΕΛΚΑ-4Μ, ΤεκδοΤΙΚΗ, 2011.
- [2]. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ. Ανάκτηση από <http://helapco.gr/>: http://helapco.gr/wp-content/uploads/HELAPCO_PR_5_March2015.pdf, Μάρτιος 2015.
- [3]. Στ. Παπαθανασίου, "Σημειώσεις Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ". Αθήνα: ΕΜΠ, 2012.
- [4]. Marty Schmer, "Sustainable Production and Distribution of Bioenergy for the Central USA". Από <http://cropwatch.unl.edu/>: http://cropwatch.unl.edu/c/document_library/get_file?uuid=96b554d7-3154-4d6f-8d8a-c2732a232d55, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [5]. Δούσκα Ελένη, "Βαρύ το κόστος για το τριφύλλι από εργατικά και ναύλα στα νησιά". Ανάκτηση από <http://www.agronews.gr/>: <http://www.agronews.gr/ekmetaleuseis/sitira-kai-sporoi/arthro/110043/varu-to-kostos-gia-to-trifulli-apo-ergatika-kai-naula-sta-nisia/>, Μάρτιος 2014.
- [6]. Richard Perrin, Susan J. Harlow, "The Economics of Switchgrass for Biofuel". Ανάκτηση από <http://www.extension.org/>: <http://www.extension.org/pages/71073/the-economics-of-switchgrass-for-biofuel#.VfKpKhGqPBe>, Ιούλιος 2014.
- [7]. Γ.Ν. Σκαράκης, Ν. Κορρές, Ο.Ι. Παυλή, "Ενεργειακές Καλλιέργειες - Βιοκάυσιμα". Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2008.
- [8]. "Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe Initiation of a productivity network-Final Report for the period from 01-04-1998 to 30-09-2001". Wageningen: Dr. Ir. H.W. Elbersen, Agrotechnological Research Institute (ATO-DLO), 2001.
- [9]. Efthymia Alexopoulou, "Management and yields of switchgrass (*Panicum virgatum* L.)". Από <http://www.fibrafp7.net/>: <http://www.fibrafp7.net/Portals/0/2nd/28/3-Alexopoulou.pdf>, ανάκτηση Σεπτέμβριος 2015.
- [10]. "Bioenergy chains from perennial crops in South Europe". CORDIS, 2006.
- [11]. Giannoulis, K.D., N.G. Danalatos and Sakellariou M., "Switchgrass, Cardoon and *Miscanthus*, perennial crops as Alternatives for solid biofuel production in central Greece". Volos: University of Thessaly, 2011.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1. Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στην οποία πραγματοποιήσαμε βιβλιογραφική έρευνα, τεχνική προμελέτη και οικονομική αξιολόγηση δύο περιπτώσεων συνύπαρξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αγροτικής απασχόλησης, έχουμε τη δυνατότητα να εξάγουμε και να καταγράψουμε ένα σύνολο συμπερασμάτων εφ' όλης της ύλης, τα οποία συνίστανται από τα εξής:

- Οι τιμές των δεικτών παραγωγικότητας της χρησιμοποιούμενης γης (LER) των α/φ/β συστημάτων είναι εντυπωσιακές καθώς κυμαίνονται από 1,21 έως 1,67. Τόσο υψηλές τιμές των δεικτών LERs δεν έχουν αναφερθεί ούτε προβλεφθεί για οποιοδήποτε μικτό σύστημα συγκαλλιέργειας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μέση μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τις υπό μελέτη καλλιέργειες κατά 54% και 35% αποφέρει μέση μείωση κατά 47% και 23% αντίστοιχα της απόδοσης της παραγωγής τους σε ξηρή βιομάζα..
- Η σκίαση των αρδευόμενων καλλιεργειών με φωτοβολταϊκά πλαίσια, επιτρέπει την εξοικονόμηση νερού η οποία κυμαίνεται μεταξύ 14% και 29%, καθώς ο συντελεστής αξιοποίησης νερού (WUE) παρουσιάστηκε αρκετά σταθερός με συνέπεια οι δυνατότητες για βελτίωση να είναι μικρές, όταν η άρδευση επιτρέπει την εξατμισοδιαπνοή και η παραγόμενη βιομάζα βρίσκεται κοντά στο βέλτιστο επίπεδο της.
- Τα ηλιακά πάρκα και οι αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνυπάρχουν σε μία γεωργική έκταση, με συνέπεια να ενθαρρύνεται η πολλαπλή χρήση της γης, καθώς με την κατάλληλη χωροταξία και διαχείριση, τα ηλιακά πάρκα μπορούν να υποστηρίξουν την πανίδα και τη χλωρίδα, συμβάλλοντας επιπλέον και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας.
- Η επένδυση της εγκατάστασης του διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος στην κτηνοτροφική μονάδα, μέσω αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό (net metering), η οποία είχε αρχικό κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος 1,52€/W_p, **κρίθηκε οικονομικά βιώσιμη**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα υπολογισμού πέντε βασικών δεικτών αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων. Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίστηκε στα 85991,27765 €, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης στο 17,05%, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής στα 8,77 έτη, ο λόγος παρούσας αξίας στο 4,7409958 και ο συνολικός βαθμός απόδοσης στο 3,7409958, καθιστώντας την επένδυση οικονομικά συμφέρουσα για τον υποψήφιο επενδυτή. Εκτός από το οικονομικό όφελος του επενδυτή, το οποίο οφείλεται ουσιαστικά στην, προερχόμενη από τον ενεργειακό συμψηφισμό, μείωση των ταμειακών εκροών, είναι σαφές πως οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες στον, όμορο με την κτηνοτροφική μονάδα, βοσκότοπο δε θα

ανασταλούν έπειτα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος, συμβάλλοντας στη διατήρηση της αγροτικής χρήσης της γης. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί πως η υιοθέτηση του συγκεκριμένου σχεδίου θα συμβάλει στην ικανοποίηση των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αφενός για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς θα αποσοβούνται ετησίως περί τους 20 τόνους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αφετέρου για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40% έως το 2020, η οποία το 2013 στην Ελλάδα βρισκόταν μόλις στο 21,2%.

- ο Η συνολική προστιθέμενη αξία από την **επανακαλλιέργεια** όλων των εγκαταλελειμμένων στρεμμάτων της Ελλάδας με ενεργειακές καλλιέργειες, που στοχεύουν στην παραγωγή στερεού βιοκαυσίμου 6 εκατ. τόνων, θα συνεισφέρει στην αύξηση του ΑΕΠ κατά **8,4 δις € / έτος** κατ' ελάχιστον. Το ισχυρό κίνητρο ενασχόλησης με αυτό το είδος εναλλακτικών καλλιεργειών οφείλεται: στην αύξηση του αγροτικού εισοδήματος, στο ελάχιστο κόστος επένδυσης μετά το 1^ο έτος της εγκατάστασης, στη βελτίωση της βιοποικιλότητας και της ποιότητας ζωής, στην ενδυνάμωση του αγροτικού χώρου, στη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο, στην ασφάλεια στον εφοδιασμό ενέργειας, στη σημαντική βελτίωση της εδαφικής γονιμότητας, στο μηδενισμό της εδαφικής διάβρωσης και ερημοποίησης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις και σε άλλα τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη σε τοπικό και εθνικό επίπεδο.
- ο Η καλλιέργεια επιλεγμένων φυτών κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελεί έναν έξυπνο τρόπο αξιοποίησης της γης με παράλληλη παραγωγή δυο τύπων ανανεώσιμης ενέργειας. Τα συντοποθετημένα συστήματα ηλιακής ενέργειας και βιοκαυσίμων σε ακαλλιέργητες εκτάσεις αποτελούν μια καινοτόμο στρατηγική. Οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι μια τέτοια πράσινη «συμβίωση» θα είχε και ένα επιπλέον όφελος: το νερό για τον καθαρισμό των φ/β πλαισίων από τη σκόνη, θα μπορούσε να καταλήγει στις καλλιέργειες που βρίσκονται κάτω από αυτά, αντί να πηγαίνει χαμένο. Οι προσομοιώσεις ενισχύουν αυτή τη θεωρία και αναφέρουν ότι η ιδέα αυτή θα ήταν μια κατάσταση, όπου όλοι θα κέρδιζαν καθώς το νερό είναι ήδη περιορισμένο σε πολλές περιοχές. Μια τέτοια προσέγγιση θα μας επέτρεπε την παραγωγή ενέργειας και τη γεωργία με το ίδιο νερό.
- ο Η επένδυση της εγκατάστασης του διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΛΑΓΗΕ, αρχικού κόστους ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος 1,21€/W_p, σε συνδυασμό με την καλλιέργεια switchgrass, αρχικού κόστους 77,58€/στρέμμα, στην ίδια έκταση γης, **κρίθηκε οικονομικά βιώσιμη**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα υπολογισμού πέντε βασικών δεικτών αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων. Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίστηκε στα 5363,853025 €, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης στο 4,07%, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής στα 15,94 έτη, ο λόγος παρούσας αξίας στο 1,174840386 και ο συνολικός βαθμός απόδοσης στο 0,174840386, καθιστώντας την επένδυση οικονομικά συμφέρουσα για τον υποψήφιο επενδυτή. Η υιοθέτηση του σχεδίου αυτού θα συμβάλει, όπως και το προηγούμενο, στην επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αξίζει να σημειωθεί πως κάθε έτος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα θα

αποσποβούνται 33 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Επιπροσθέτως, από τη χρήση της παραγόμενης βιοαιθανόλης από την καλλιέργεια switchgrass στον τομέα των μεταφορών, θα μειώνονται κατά τουλάχιστον 65% οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

- Η καλλιέργεια του switchgrass αποτελεί μια ελκυστική επιλογή για την παραγωγή βιοκαυσίμων καθώς χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος εγκατάστασης και υψηλή παραγωγικότητα. Παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών και συγκριτικά με άλλες ενεργειακές καλλιέργειες παράγει περισσότερη βιομάζα σε άγονα εδάφη. Οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε άζωτο είναι μικρές καθώς εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία και συνεπώς απαιτεί μειωμένη άρδευση **με μικρή πιθανότητα αποτυχημένης εγκατάστασης**. Η απόδοση της βιομάζας του, ως στερεού καυσίμου, σε ενέργεια κυμαίνεται από 18 - 36 GJ /στρέμμα /έτος, με ενεργειακό ισοζύγιο μεγαλύτερο του 10 και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου 80%. Η επένδυση της εγκατάστασης της καλλιέργειας switchgrass κρίθηκε οικονομικά βιώσιμη παρά την ετήσια πρόβλεψη μειωμένης απόδοσης σε βιομάζα κατά 20%. Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίστηκε στα 2479,100658 €, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης στο 295,87%, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής στα 1,34 έτη, ο λόγος παρούσας αξίας στο 22,30360624 και ο συνολικός βαθμός απόδοσης στο 21,30360624, καθιστώντας την επένδυση εξαιρετικά συμφέρουσα για τον υποψήφιο επενδυτή.

8.2. Προοπτικές

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες προοπτικές για περαιτέρω διερεύνηση, με βάση τα ζητήματα που τέθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία και είναι οι ακόλουθες:

- Η εκκίνηση πειραματικής μελέτης συνύπαρξης φωτοβολταϊκού συστήματος σε συνδυασμό είτε με κτηνοτροφικές δραστηριότητες, είτε με εδωδιμα φυτά, είτε με ενεργειακές καλλιέργειες κυρίως σε μη αξιοποιούμενες εκτάσεις γης της Ελλάδας με στόχο τον καθορισμό των κύριων παραμέτρων χωροθέτησής του και τη λήψη απόφασης για το δείκτη παραγωγικότητας της χρησιμοποιούμενης γης των ελληνικών εδαφών.
- Η πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας στην περίπτωση συνύπαρξης ΦΒ συστήματος και φυτικής παραγωγής. Στην ανάλυση αυτή προτείνεται η μεταβολή ορισμένων μεταβλητών τεχνικής και οικονομικής φύσης όπως είναι η εγκατεστημένη ισχύς και η ετήσια πτώση απόδοσης του ΦΒ συστήματος, το σχήμα χρηματοδότησης, ο λόγος της κάλυψης του εδάφους από το ΦΒ σύστημα προς την κάλυψη του εδάφους από καλλιέργειες, με στόχο τη διερεύνηση των επιπτώσεών τους στις οικονομικές προοπτικές του επενδυτικού σχεδίου.
- Η διεξαγωγή πειραματικής μελέτης ενός ευρύτερου συνόλου ενεργειακών καλλιεργειών. Ο στόχος της προτεινόμενης δραστηριοποίησης είναι η εξαγωγή

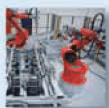
συμπερασμάτων και η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων σχετικά με την απόδοση των καλλιεργειών αυτών στα ελληνικά εδάφη. Ο καθορισμός των καταλληλότερων, για τα ελληνικά δεδομένα, καλλιεργειών από την προαναφερθείσα μελέτη σε συνδυασμό με την απαιτούμενη ενημέρωση του αγροτικού πληθυσμού, τη σταδιακή βελτίωση της τεχνογνωσίας και την αρωγή του κρατικού μηχανισμού μέσω κατάλληλων νομοθετημάτων, θα συμβάλουν στην προώθηση της ενεργειακής γεωργίας και στην επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την Ελλάδα, όσον αφορά τη συμμετοχή των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΦΥΛΛΑΔΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ



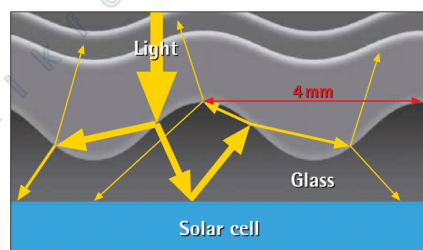
- **Higher solar-module efficiency, up to 15.2%**
 - Market leader in efficiency of polycrystalline solar modules
 - Excellent value for money
- **Higher energy yield**
 - Up to 5% more yield through Pyramid technology
 - Outstanding partial load performance through particularly efficient soldering and selected solar cells
- **Long service life**
 - 4mm glass and extremely strong aluminium frame
 - Secure embedding of sensitive glass edge using UV-resistant silicon
 - Very strong 3-layer rear foil with high insulation-breakdown resistance
- **Matching supplementary components**
 - alfasolar A2 installation stand for high strength, fast assembly and 10-year guarantee
 - Proven Radox and Titanex solar cable
 - Grid inverters from market leaders
- **Best guarantee conditions**
 - 6-year workmanship warranty, 25-year power warranty (10 Years 90% and 25 Years 80% of the nominal power)
- **Made in Germany**
 - State-of-the-art production line in Hanover, Lower Saxony
 - Experience in manufacturing of solar modules since 2001



Solar module series alfasolar Pyramid 54

At alfasolar we have been working on the improvement of solar modules since 1993. During this period we have experienced that the right selection not only of materials but also of the production process is the basis for durable products such as solar modules.

With the new "alfasolar Pyramid" solar modules we present you an innovative and exclusive product line with a multitude of benefits: so that it is that much easier for you to decide from the wide range of products available on the market.



- New pyramid-structured glass with self-cleaning effect
- 3.5% more performance from perpendicular irradiance
- 20% more performance from oblique irradiance (80°)

alfasolar modules were always something special. Find out more by reading our flyer "Benefits of the alfasolar Pyramid solar module series", which we will send to you on request.

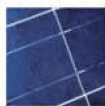
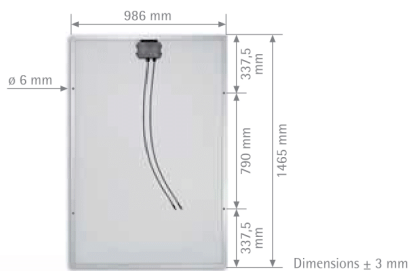
We look forward to hearing from you!

alfasolar GmbH
Ahrensburger Straße 4-6
D-30659 Hannover

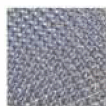
Sales:
Fon +49 (0) 511 261 447-14
Fax +49 (0) 511 261 447-50
export@alfasolar.de

● **Our free service**

- Optimum system design
- Yield and economy calculation
- Our service team comes to you to perform warranty work!
- Our field representatives answer your queries on site
- Flash measurement data available as an Excel file
- Average rating of system modules is rated performance or above



Very strong and reliable polycrystalline high-performance cells with an efficiency of 17%

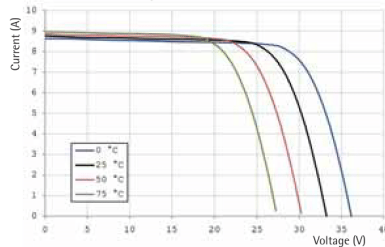
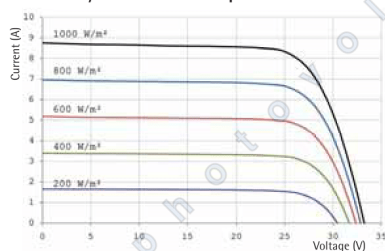


New solar glass for even more yield at insolation angles between 40° - 70°



High-quality, service-friendly connector box

alfasolar Pyramid 54 – 210 Wp



Physical data

Dimensions/weight	1465 x 986 x 35 mm/18.2 kg
Cell type	54 polycrystalline solar cells 156 x 156 mm
Connector box	IP 65 with H+S connectors 2 x 1.0 m Radox cable 1 x 4 mm² W x H x D = 155 x 130 x 28 mm
Bypass diodes	3 x 12 A/1000 V
Vertical hole spacing	790 mm/hole size M 6

Limiting values/Qualifications

Permissible module temperature range	-40 to +85 °C
Maximum permissible system voltage	1000 V
Surface pressure	5400 N/m²
Maximum reverse current	15 A
Humidity at 85 °C	85 % relative
Rating tolerance	-0/+2.5 %

Thermal data

α [I_{sc}]	+5.5 mA/°C
β [U_{oc}]	-108.0 mV/°C
γ [P_{mpp}]	-0.4 %/°C
NOCT	45 ± 2 °C

Electrical data	195	200	205	210	215	220
Output at STC (Wp)						
Short-circuit current I_{sc} (A)	8.66	8.72	8.80	8.89	8.95	9.10
Open-circuit voltage U_{oc} (V)	33.18	33.21	33.28	33.49	33.54	33.60
Current in MPP I_{mpp} (A)	7.82	7.95	8.10	8.21	8.31	8.43
Voltage in MPP U_{mpp} (V)	25.06	25.27	25.32	25.58	25.88	26.10
Bulk factor (%)	68.2	69.37	70.03	70.54	71.64	71.96
Power output (W/m²)	135.00	138.46	141.92	145.38	148.84	152.30

Outstanding partial-load performance; at low irradiance level of 200 W/m², 95% +/-0.5% of the STC efficiency is achieved.



Environmental management system to SS European standard ISO 14001: 2004



Quality management system to DIN-EN-ISO 9001-2008



Qualified, IEC 61215: 2005 2nd Edition IEC 61730 Periodic Inspection



Information valid as of 04/2010 - This data sheet complies with the regulations of European standard 50380. alfasolar reserves the right to change specifications. Doc.-No. DBE-03.



Spitzentechnik für höchste Erträge – der REFUSOL 10/ 12/ 15K Advanced Technology for Highest Yields – REFUSOL 10 /12 /15K

Verschwendung zu eliminieren war der Leitgedanke bei der Entwicklung unserer Solarwechselrichter-Reihe REFUSOL.

Mit der neuen, hoch effizienten Schaltungstopologie lassen sich beachtliche Wirkungsgrade über einen breiten Eingangsspannungsbereich verwirklichen. Und damit Ihre Erträge maximieren.

So erreicht der **REFUSOL 15K** einen **Spitzenwirkungsgrad von mehr als 98%** bzw. einen Europäischen Wirkungsgrad von 97,7% bei einem MPPT-Bereich von 460 bis 800 V. Dabei erfolgt die Einspeisung bereits ab 20 W, bei einem Eigenverbrauch von weniger als 0,2 W. Während die ressourcenschonende, kompakte Bauweise einen Beitrag zum Umweltschutz leistet, können durch die natürliche Konvektion und dem innovativen MPP-Tracking deutlich erhöhte Erträge in jeder Photovoltaik-Anlage realisiert werden

The idea to eliminate the waste of energy was the main issue when we manufactured our solar inverter series REFUSOL.

In our efforts to maximize earnings, we have achieved an impressive grade of efficiency over a wide input voltage range with a new high innovative circuit topology.

*The **REFUSOL 15K** achieves a **maximum efficiency of more than 98%** and an European efficiency of 97,7% respectively in a MPPT-range of 460 to 800 V. Energy production is achieved already at 20 W, with a friction loss of less than 0,2 W. While the economical handling of resources and the compact design contributes to environmental protection, the natural cooling and the innovative MPP-Tracking account for remarkably higher yields in every photovoltaic-unit.*

	REFUSOL 10K	REFUSOL 12K	REFUSOL 15K
DC Daten / DC data			
Max. PV-Leistung / Max. PV Power	11,7 kW	13,8 kW	17,5 kW
MPPT-Bereich / MPPT-Range	380 ... 800 V	410 ... 800 V	460 ... 800 V
Max. DC Spannung / Max. DC Voltage	900 V		
Max. DC Strom / Max. DC current	29 A	30 A	36 A
MPP Tracking / MPP tracking	schnelles, präzises MPP-Tracking fast, precise MPP tracking		
Interner Überspannungsschutz / Internal overvoltage protection	Typ 3 / type 3		
AC Daten / AC data			
AC-Bemessungsleistung / Rated AC-Power	10 kW	12 kW	15 kW
AC max. Leistung / Max. AC-Power	11 kW	12,4 kW	16,5 kW
AC Netzanschluss / AC grid connection	3 AC 400 V+N, 50 - 60 Hz		
Cos phi	1		
Max. AC Strom / Max. AC current	18 A	18 A	25 A
Klirrfaktor THD / Distortion factor THD	< 2,5%		
Max. Wirkungsgrad / Max. efficiency	97,8%	98%	> 98%
Europ. Wirkungsgrad / Efficiency	97,4%	97,5%	97,7%
Einspeisung ab / Infeed as from	20 W		
Eigenverbrauch Nacht Internal consumption in night operation	< 0,2 W		
Interner Überspannungsschutz / Internal overvoltage protection	Typ 3 / type 3		
Kühlung, Umgebungsbedingungen, EMV / Cooling, ambient conditions, EMC			
Kühlung / Cooling	Natürliche Konvektion / Natural convection		
Umgebungstemperatur / Ambient temperature	-25 ... +55°C		
Aufstellhöhe / Site altitude	Bis 2000 m ü. NN / up to 2000 m above sea level		
Geräusch / Noise	< 45 dBa		
Störaussendung / Emitted interference	EN 61000-6-4: 2007		
Zertifikate / Certificates	CE (UL und CSA in Vorbereitung) CE (UL and CSA in preparation)		
Störfestigkeit / Interference immunity	EN 61000-6-2: 2005		
Umweltklassen / Environmental classif.	4K4H nach DIN IEC 721-3-3 / 4K4H acc. to DIN IEC 721-3-3		
ENS / SZS	Nach VDE 0126-1-1 / acc. to VDE 0126-1-1		
Mechanik / Mechanics			
Schutzart / Type of protection	IP65 nach EN 60529 / IP65 as per EN 60529		
Abmessungen / Dimensions	520 mm / 530 mm / 270 mm		
Breite Width / Höhe Height / Tiefe Depth			
Gewicht / Weight	38 kg		

* Minimale DC-Spannung = 250 V

Alle Angaben ohne Gewähr. Änderungen vorbehalten. *No responsibility is taken for the correctness of this information. Subject to modification.*



Polykristallines Photovoltaikmodul

Sie profitieren:

Maximale Energieerträge
Durch die Einzelvermessung der AXITEC Module erhalten Sie eine garantierte Leistung mit einer minimalen Leistungstoleranz von $-2/+2\%$. Ein optimales Schwachlichtverhalten ist dank der verarbeiteten Hochleistungszellen mit einem Wirkungsgrad von durchschnittlich 15 % gesichert.

Durchdachte Konstruktion
Der AXITEC-Modulrahmen aus eloxiertem Aluminium bietet durch den Soft-Grip-Falz an der Rückseite einen sehr guten Trage- und Installations-Komfort. Die bewährte Hohlkammerbauweise verleiht dem Rahmen zusätzliche Stabilität.

Ausgefeilte Technik
Für eine flexible Montage ist die Anschlussdose so konstruiert, dass sie die Rahmenhöhe des Moduls nicht überragt. Standardmäßig ist die Anschlussdose mit Bypass-Dioden ausgestattet. Die installierten Dioden sind nicht vergossen. Dadurch ist ein einfacher Austausch jederzeit möglich.

Hochwertige Kabel und praktisches Stecksystem
Die Kabel und das trittfeste sowie verschleißbare Stecksystem sind extrem robust und bieten eine exzellente Witterungsbeständigkeit (TUV, IP67).

Umfangreiche Garantieleistungen
AXITEC bietet 10 Jahre Herstellergarantie auf das Produkt, 12 Jahre Herstellergarantie auf 90 % der Nennleistung und 25 Jahre Herstellergarantie auf 80 % der Nennleistung.

Polycrystalline photovoltaic module

Your advantage:

Maximum energy return
The individual measurements of AXITEC modules provide a guaranteed efficiency at a minimum power tolerance of $-2/+2\%$. The integrated high-efficiency cells ensure an optimum output under low-luminosity conditions at an average over 15 %.

Technically matured construction
The AXITEC module frame is made of anodized aluminium, which provides best comfort for carrying, handling and installation by means of the soft-grip edge on the back side of the module. Additional stability of the frame is given by the proven construction with chambers.

Sophisticated technology
The junction box is constructed in such a manner that it does not exceed the height of the frame. The junction box is equipped as standard with bypass diodes. The installed diodes are not sealed which allows to replace them easily, if required.

Top quality cables and practical connecting system
The cable and the lockable connecting system are extremely robust and offer an excellent weather resistance (TUV, IP67).

Considerable warranties
AXITEC offers 10 years limited manufacturer warranty on the product, 12 years limited manufacturer warranty on 90 % of the nominal power and 25 years limited manufacturer warranty on 80 % of the nominal power.



CE, IEC 61215, Schutzklasse II

Steckverbindung IP67

Vertrieb durch/Distributed by:

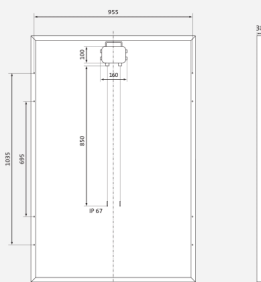
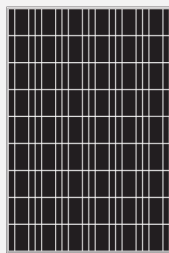
Elektrische Daten (bei Standard-Testbedingungen (STC) Einstrahlung 1000 Watt/m² mit Spektrum AM 1.5 bei einer Zelltemperatur von 25°C)
Electrical data (at standard conditions (STC) solarisation 1000 watt/m², spectrum AM 1.5 at a cell temperature of 25°C)

Typ/Type	Nennle Nominal output P _{mp}	Nennspannung Nominal voltage U _{mp}	Nennstrom Nominal current I _{mp}	Kurzschlussstrom Short circuit current I _{sc}	Leerlaufspannung Open circuit voltage U _{oc}	Modul Wirkungsgrad Module conversion efficiency
AC-190P/156-54S	190 Wp	26,29 V	7,24 A	7,71 A	33,09 V	12,94 %
AC-195P/156-54S	195 Wp	26,67 V	7,33 A	7,81 A	33,24 V	13,29 %
AC-200P/156-54S	200 Wp	27,12 V	7,41 A	7,86 A	33,49 V	13,66 %
AC-205P/156-54S	205 Wp	27,38 V	7,50 A	7,91 A	34,00 V	13,96 %
AC-210P/156-54S	210 Wp	27,72 V	7,59 A	7,96 A	34,24 V	14,30 %
AC-215P/156-54S	215 Wp	27,98 V	7,71 A	8,04 A	34,51 V	14,68 %
AC-220P/156-54S	220 Wp	28,24 V	7,83 A	8,12 A	34,75 V	15,04 %

Systemspannung/System voltage 1000 V

Mechanische Daten/Mechanical data

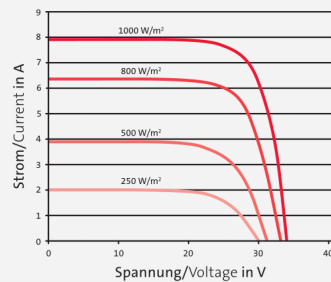
Zellgröße/Cell size 156 x 156 mm
Zellanzahl/Number of cells 54
L x B x H/L x W x H 1481 x 992 x 38 mm
Gewicht/Weight 19 kg



Temperaturkoeffizienten/Temperature coefficients

Spannung/Voltage U_{oc} -0,33 %/°C
Strom/Current I_{sc} 0,04 %/°C
Leistung /Output P_{mp} -0,40 %/°C

I-U Kennlinie bei 1000-800-500-250 W/m²/
I-U characteristic curve at 1000-800-500-250 W/m²



Beispiel/Example for AC-205P/156-54S

Änderungen der technischen Daten sind ohne Vorankündigung möglich. Alle Rechte und Irrtümer vorbehalten.
Technical data are subject to change without prior notice, errors excepted.



Maximum earnings.
In any weather.

Fronius **IG Plus**

The new generation mains-connected PV inverter

The aim was clear: use every ray of sunshine to maximum effect. The maximum level of efficiency is not necessarily the most critical factor. The intelligent interaction of various other factors is far more important. A constant efficiency rating over a wide input voltage range, for example, and a rapid and precise response to the smallest change in the weather. Plus reliable, uninterrupted operation. The new Fronius IG Plus generation of inverters combines all these factors. With performance classes from 3.5 to 12 kW. For maximum yield in any weather.





INPUT DATA	Fronius IG Plus	35	50	70	100	120	150
DC nominal capacity		3700 W	4200 W	6800 W	8400 W	10500 W	12600 W
MPP voltage range		230 - 500 V	230 - 500 V	230 - 500 V	230 - 500 V	230 - 500 V	230 - 500 V
Max. input voltage		600 V	600 V	600 V	600 V	600 V	600 V
(for 1000 W/m², -10°C)							
Max. input		16.0 A	18.3 A	29.7 A	36.6 A	45.8 A	54.9 A
OUTPUT DATA							
AC nominal capacity		3500 W	4000 W	6500 W	8000 W	10000 W	12000 W
Max. output		3500 W	4000 W	6500 W	8000 W	10000 W	12000 W
Max. efficiency		96.0 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %
Euro efficiency		95.0 %	95.1 %	95.4 %	95.5 %	95.5 %	95.5 %
MPP adaptation efficiency		99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %
Main voltage / Frequency		230 V / 50 Hz (60 Hz)					
Power connection		1-phase		2-phase / 1-phase (optional)		3-phase	
Harmonic distortion		< 3.5 %	< 3.5 %	< 3.5 %	< 3.5 %	< 3.5 %	< 3.5 %
Power factor		1	1	1	1	1	1
Power consumption at night		1 W	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W
GENERAL DATA							
Measurements (height x width x depth)		631 x 434 x 244 mm		926 x 434 x 244 mm		1221 x 434 x 244 mm	
Connection area weight		11.0 kg		11.0 kg		11.0 kg	
Power module area weight		14.0 kg		26.0 kg		38.0 kg	
Protection class		IP 44	IP 44	IP 44	IP 44	IP 44	IP 44
Inverter concept		HF transformer					
Cooling		Regulated cooling					
Housing		Metal housing for inside and outside installation					
Ambient temperature range		From -20°C to +50°C					
Permitted humidity		0% to 95%					
SAFETY EQUIPMENT							
DC insulation measurement		Warning at R _{iso} < 500k Ohm					
Overload behavior		Operating point shift, power limiter					
DC circuit breaker		integrated					

The right to make technical modifications is reserved.



FRONIUS INTERNATIONAL GMBH
4600 Wels-Thalheim, Günter-Fronius-Straße 1
Austria
E-mail: PV@fronius.com
www.fronius.com

Text and illustrations are technically correct at the time of going to print. The right to make modifications is reserved.
This document may not be copied or reproduced in any form, not even in part, without prior written consent of Fronius International GmbH.

40_0006_2896_v03 2008 as1