



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Προσομοίωση και βελτιστοποίηση συστήματος ηλιακής αντλίας μεταβλητής ταχύτητας σε εφαρμογή άρδευσης για διαφορετικές τεχνολογίες άρδευσης

Νικολούδης Σταύρος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης

Δρ. Ελευθερία Σεργάκη (Συνεπιβλέπουσα)

Χανιά, Απρίλιος 2019

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να δώσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σταυρακάκη για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, για την στήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα την Δρ. Σεργάκη, για την υποστήριξη και το πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε. Οι συμβουλές και οι επισημάνσεις της ήταν καθοριστικές για την τελέσφορη προσπάθεια μου.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω το τρίτο μέλος της εξεταστικής επιτροπής κ. Καλαϊτζάκη, ο οποίος με δίδαξε πολύ ενδιαφέροντα πράγματα σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου, τα οποία τα εφάρμοσα και στην παρούσα διπλωματική.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, οι οποίοι ήταν δίπλα μου σ' όλο αυτό το χρονικό διάστημα αυτής της προσπάθειας, παρέχοντάς μου ψυχολογική υποστήριξη και χρήσιμες συμβουλές. Η αγάπη τους, η υπομονή τους και η αμέριστη συμπαράστασή τους με βοήθησαν να εκπληρώσω το δύσκολο έργο της εκπόνησης της διπλωματικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται και σχεδιάζεται ένα αυτόνομο σύστημα ηλιακής αντλίας σε μία εφαρμογή άρδευσης ελαιοκαλλιέργειας έκτασης 10 στρεμμάτων, στη περιοχή των Μοιρών, Ηρακλείου Κρήτης.

Για την ηλεκτρική τροφοδότηση της αντλίας, χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά, ρυθμιστές φόρτισης, συσσωρευτές και αντιστροφέας DC-AC. Γίνεται πλήρης διαστασιολόγηση του εξοπλισμού που απαρτίζει το αυτόνομο σύστημα, με βάση τις αρδευτικές απαιτήσεις της έκτασης, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και την ημερήσια καταναλισκόμενη ενέργεια του συστήματος αντλίας – κινητήρα.

Διεξάγεται οικονομική αξιολόγηση του αυτόνομου συστήματος, με βάση τον δείκτη της ΚΠΑ, καθώς και του διασυνδεδεμένου συστήματος. Τα δύο σενάρια συγκρίνονται μεταξύ τους και υπολογίζεται μία ελάχιστη απόσταση, από την οποία προκύπτει η μία περίπτωση πιο συμφέρουσα από την άλλη.

ABSTRACT

In this diploma thesis, an autonomous solar pump system is being studied and designed in an application of olive-growing irrigation of 10 acres in the region of Mires, Heraklion, Crete.

Pumps chargers, accumulators, and DC-AC inverter are used to power the pump. The full equipment of the stand-alone system is made, based on the irrigation requirements of the area, the meteorological data of the site and the daily consumption of the pump-motor system.

An economic assessment of the stand-alone system is carried out, based on the NPV indicator and the interconnected system. The two scenarios are compared with each other and a minimum distance is estimated, from which one more advantageous case is derived.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας στη γεωργία.....	11
1.1.1 Ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα.....	12
1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας.....	12
1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	15
2.1 Ηλιακά συστήματα άντλησης νερού.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ.....	17
3.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	17
3.1.1 Γενικά.....	17
3.1.2 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών διατάξεων.....	18
3.1.2.1 Ηλιακά στοιχεία πυριτίου.....	18
3.1.3 Η δομή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	19
3.2 Ρυθμιστής φόρτισης.....	21
3.2.1 Γενικά.....	21
3.2.2 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης.....	21
3.3 Ηλεκτρικός συσσωρευτής.....	22
3.3.1 Γενικά.....	22
3.3.2 Τύποι συσσωρευτών.....	24
3.3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.....	25
3.4 Αντιστροφέας.....	26
3.4.1 Γενικά.....	26
3.4.2 Τύποι Αντιστροφέων.....	26
3.5 Ηλεκτρικός Κινητήρας.....	31
3.5.1 Γενικά.....	31
3.5.2 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροκινητήρα.....	34
3.5.3 Κατηγορίες ηλεκτροκινητήρων.....	35
3.6 Αντλία νερού.....	37
3.6.1 Αρχή λειτουργίας.....	37
3.6.2 Κατηγορίες αντλιών.....	38
3.6.3 Επιφανειακές και υποβρύχιες αντλίες.....	43
3.6.4 Σχεδιαστικές παράμετροι: ροή και ολικό μανομετρικό ύψος.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	51
4.1 Περιγραφή τοποθεσίας της εξεταζόμενης ελαιοκαλλιέργειας.....	51
4.2 Ορθολογική άρδευση της ελιάς.....	52
4.2.1 Υδατικές ανάγκες της ελαιοκαλλιέργειας.....	52
4.2.2 Ενδεικτικός πίνακας αρδευτικών αναγκών.....	55
4.3 Φορτία και καταναλώσεις.....	56
4.3.1 Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας της περιοχής μέσω του λογισμικού PVGIS.....	56
4.3.2 Επιλογή συστήματος κινητήρα/αντλίας.....	58

4.3.3 Εκτίμηση απαιτούμενης ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	62
4.3.4 Επιλογή δεξαμενής αποθήκευσης νερού.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	65
5.1 Εξεταζόμενο σενάριο άρδευσης ελαιοκαλλιέργειας 10 στρεμμάτων.....	65
5.1.1 Υπολογισμός ημερήσιων απαιτήσεων νερού στο έτος.....	66
5.1.2 Υπολογισμός έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας της περιοχής.....	67
5.1.3 Εκτίμηση του απαιτούμενου ποσοστού ροής της αντλίας.....	69
5.2 Επιλογή συστήματος κινητήρα/αντλίας.....	72
5.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας/κινητήρα.....	72
5.2.2 Υπολογισμός ολικού μανομετρικού ύψους.....	77
5.2.3 Επιλογή δεξαμενής αποθήκευσης.....	80
5.3 Υπολογισμός καταναλισκόμενης ενέργειας.....	80
5.3.1 Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας.....	80
5.4 Επιλογή φωτοβολταϊκών πλασίων.....	81
5.4.1 Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών πλασίων.....	81
5.4.2 Υπολογισμός ισχύος αιχμής και παραγόμενης ενέργειας.....	82
5.4.3 Επιλογή και χαρακτηριστικά πλαισίου.....	84
5.5 Επιλογή τάσης λειτουργίας του συστήματος.....	85
5.6 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης.....	86
5.7 Επιλογή συσσωρευτών.....	88
5.8 Επιλογή αντιστροφέα.....	90
5.9 Τεχνική μελέτη για την τοποθέτηση πλασίων.....	91
5.9.1 Στήριξη και χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πλασίων.....	91
5.9.2 Αποφυγή σκίασης.....	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	95
6.1 Εισαγωγή.....	95
6.2 Υπολογισμός ΚΠΑ.....	97
6.2.1 ΚΠΑ αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας.....	97
6.2.2 ΚΠΑ συστήματος τροφοδοτούμενο από τον ΔΕΔΔΗΕ.....	98
6.2.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων ΔΕΔΔΗΕ με το αυτόνομο σύστημα.....	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	107
Παράρτημα 1 – Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού φωτοβολταϊκού συστήματος.....	107
Παράρτημα 2 – Πίνακες υπολογισμού της ΚΠΑ.....	111

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια είναι ένα από τα θεμελιώδη εργαλεία που έχει οδηγήσει τον πλανήτη μας στο να πετύχει σημαντικά βήματα προόδου. Για αυτό ακριβώς το λόγο υπάρχει μεγάλη αύξηση στις ενεργειακές απαιτήσεις. Δεδομένου ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας περιορίζονται, είναι λογικό να υποθέτουμε ότι κάποια στιγμή στο μέλλον αυτοί οι πόροι θα εξαντληθούν. Κι ενώ μέχρι τώρα έχουν γίνει πολλές προβλέψεις σχετικά με το πότε θα γίνει αυτό, καμία από αυτές δεν μπορούσε να το προσδιορίσει με ακρίβεια. Λόγω επομένως του ότι τα ορυκτά καύσιμα είναι περιορισμένα, η κοινωνία μας θα πρέπει να αναζητήσει άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας που να είναι πιο καθαρές και φιλικές προς το περιβάλλον. Το αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ανανεώσιμων τεχνολογιών ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία κ.α. Αυτές οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές ισχύος, με σκοπό να παράγουν ενέργεια με ελάχιστους ή μηδενικούς ρύπους. Μία από αυτές τις εφαρμογές είναι στον γεωργικό τομέα, όπου τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα καλύπτουν μεγάλες ανάγκες ενέργειας για την ανάπτυξη και εξέλιξη του.

1.1 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας στη γεωργία

Η γεωργία αναμφίβολα αποτελεί ένα σημαντικό οικονομικό κομμάτι για πολλές χώρες. Η ενέργεια παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του αγροτικού τομέα. Ένα μεγάλο ποσοστό αυτού χρησιμοποιεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας για αρδευτικούς και μεταφορικούς σκοπούς. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος και ο αέρας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ αποδοτικά, από οικονομικής

πλευράς, στη γεωργία, καθώς μπορούν να διατηρήσουν την αυτάρκεια τους και να μειώσουν τις πολλαπλές εκπομπές ρύπων. Όταν, τέλος λαμβάνονται υπόψη παράγοντες, όπως η αύξηση του κόστους των ορυκτών καυσίμων ή οι απομακρυσμένες περιοχές, όπου είναι δύσκολη/δαπανηρή η διασύνδεσή τους με το δίκτυο της ΔΕΗ, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια συμφέρουσα λύση.

1.1.1 Ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούν ηλιακά πάνελ για να μετατρέψουν την φωτεινή ενέργεια του ήλιου σε ηλεκτρισμό. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για ποικίλες εφαρμογές στη γεωργία, όπως η άντληση νερού, η ηλεκτροδότηση κτιρίων κ.α. Τα ηλιακά συστήματα άντλησης νερού χρησιμοποιούν τα ηλιακά πάνελ για να παράγουν ηλεκτρισμό, με σκοπό να αντλήσουν νερό από διάφορες πηγές, όπως λίμνες, ποτάμια, πηγάδια ή ακόμα και δεξαμενές αποθήκευσης. Αυτά τα συστήματα μπορεί να έχουν πιο υψηλά αρχικά κόστη συγκριτικά με τις γεννήτριες, αλλά παρουσιάζουν αυτάρκεια, διάρκεια και μεγάλο χρόνο ζωής. Η χρήση τους, επίσης, μπορεί να είναι μία πολύ αποδοτική επιλογή σε μη διασυνδεδεμένες αγροτικές εφαρμογές, ενώ ακόμα και όταν ο ήλιος δεν είναι πάντα διαθέσιμος, μπορεί να χρησιμοποιηθούν συσσωρευτές για την αποθήκευση και αξιοποίηση της ενέργειας.

1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση και η βελτιστοποίηση ενός αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας σε μια εφαρμογή άρδευσης ελαιοκαλλιέργειας στις Μοίρες, Ηρακλείου Κρήτης.

Απαιτείται η διαστασιολόγηση του αυτόνομου συστήματος, που αποτελείται από φωτοβολταϊκά, ρυθμιστές φόρτισης, συσσωρευτές, αντιστροφέα DC/AC, το σύστημα αντλία/ κινητήρα και τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού.

Βασιζόμενοι σε μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής (όπως ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας), της βέλτιστης κλίσης των φωτοβολταϊκών για την περιοχή μελέτης και της ορθολογικής χρήσης του νερού στην άρδευση, προσδιορίζεται η βέλτιστη ισχύς του κινητήρα της αντλίας, το ποσοστό ροής που παρέχει η αντλία, ο χρόνος άρδευσης και κατ' συνέπεια η ημερήσια καταναλισκόμενη ενέργεια.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο **1^ο κεφάλαιο** αναφέρονται εισαγωγικά στοιχεία της διπλωματικής εργασίας και αναλύεται ο στόχος και η δομή της παρούσας εργασίας.

Στο **2^ο κεφάλαιο** αναφέρονται διάφορες μελέτες πάνω σε συστήματα άντλησης νερού σε διαφορετικές χώρες ανά τον κόσμο.

Στο **3^ο κεφάλαιο** περιγράφονται αναλυτικά τα δομικά στοιχεία ενός αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας. Συγκεκριμένα αναλύονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, ο ρυθμιστής φόρτισης, οι συσσωρευτές, ο αντιστροφέας, ο ηλεκτρικός κινητήρας και η αντλία νερού.

Στο **4^ο κεφάλαιο** περιγράφονται τα δεδομένα της μελέτης, όπως τα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης περιοχής και ελαιοκαλλιέργειας. Επίσης συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με την ορθολογική άρδευσης της ελιάς, περιγράφεται θεωρητικά το λογισμικό, το οποίο παρουσιάζει τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας της περιοχής, αναλύεται η επιλογή του συστήματος κινητήρα/αντλία και εκτιμούνται οι ημερήσιες απαιτήσεις σε ενέργεια.

Στο **5^ο κεφάλαιο** πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση του αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας και η επιλογή των δομικών στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται η επιλογή του συστήματος αντλία/κινητήρα, της δεξαμενής αποθήκευσης, του πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων με βάση την ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής, του ρυθμιστή φόρτισης με βάση την ονομαστική ισχύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των συσσωρευτών με βάση την αυτονομία του συστήματος και του αντιστροφέα με βάση την ισχύ εκκίνησης και λειτουργίας του κινητήρα.

Στο **6^ο κεφάλαιο** διεξάγεται τεχνοοικονομική μελέτη, στην οποία εξετάζεται το παρόν σενάριο της εξεταζόμενης έκτασης, χρησιμοποιώντας ως δείκτη την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ). Ακόμα υπολογίζεται η ΚΠΑ για το σενάριο διασύνδεσης της έκτασης με τον ΔΕΔΔΗΕ και γίνεται ανάλυση ευαισθησίας της αναφορικά με την απόσταση της εγκατάστασης από το δίκτυο.

Τέλος, στο **7^ο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

2.1 Ηλιακά συστήματα άντλησης νερού

Το 2009 οι Brian και Clark [29] παρουσίασαν μία σύνοψη σχετική με την σχεδίαση ενός βέλτιστου ηλιακού συστήματος άντλησης νερού. Χρησιμοποίησαν συγκριτικές μεθόδους ανάλυσης για να εκτιμήσουν τη καλύτερη επιλογή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας για μεθόδους άντλησης σε διάφορες περιοχές των ΗΠΑ, όπως η άντληση νερού με χρήση του ήλιου έναντι της χρήσης του αέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η άρδευση απαιτεί λιγότερο από 1,5 kW μέγιστης ισχύος, καθώς και το ότι το ηλιακό σύστημα άντλησης νερού είναι πιο προτιμητέο από αυτό το αέρα. Αυτό συμβαίνει, λόγω της ευκολότερης εγκατάστασης και λιγότερης συντήρησης των φωτοβολταϊκών έναντι των ανεμογεννητριών.

Το 2004, σε μία άλλη μελέτη [29] οι Cuadros και Hamidat, παρουσίασαν μια διαδικασία βελτιστοποίησης των ηλιακών αρδευτικών συστημάτων. Η κατάλληλη διαστασιολόγηση του συστήματος εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, το μέγεθος του φωτοβολταϊκού πίνακα, το ολικό μανομετρικό ύψος της αντλίας, το είδος της καλλιέργειας, καθώς και αν το σύστημα άντλησης είναι εναλλασσόμενου ή σταθερού ρεύματος. Κατέληξαν δε, ότι η βέλτιστη διαστασιολόγηση αυξάνει σημαντικά τη παραγωγή ισχύος, τη απόδοση του συστήματος και μειώνει το συνολικό κόστος.

Το 1996 εγκαταστάθηκε στο πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας στο Οράν της Αλγερίας [29] ένα σύστημα άντλησης νερού με απ' ευθείας σύνδεση από φωτοβολταϊκά. Το σύστημα περιελάμβανε τον φωτοβολταϊκό πίνακα μέγιστης ισχύος

1,4 kW, την φυγόκεντρη αντλία και τον DC κινητήρα. Ο φωτοβολταϊκός πίνακας αποτελούνταν από 30 πλαίσια της εταιρίας Kyocera LA 361J15, όπου κάθε ένα από αυτά παρουσίαζε μέγιστη ισχύ 51 W. Δύο στοιχειοσειρές πλαισίων συνδέθηκαν σε παραλληλία με κάθε στοιχειοσειρά να είχε από 15 πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Το DC σύστημα κινητήρα-αντλία συνδεόταν αμέσως στο φωτοβολταϊκό πίνακα. Χρησιμοποιήθηκαν δύο δεξαμενές ίσως κυβικών για τη αποθήκευση του νερού ενώ η χρήση των μπαταριών δεν θεωρήθηκε απαραίτητη, λόγω του υψηλού κόστους που διέθεταν.

Ο κινητήρας απαιτούσε ισχύ ενός ίππου για τις 1750 στροφές ανα λεπτό, με την τάση να αναγράφεται στα 180 V και το ρεύμα στα 4,9 A. Η υδραυλική ισχύς της αντλίας ήταν 750 W , ενώ η παροχή της έφτανε μέχρι και τα 80 λίτρα/λεπτό σε μανομετρικό ύψος ίσο με 33 μέτρα. Τέλος οι δύο δεξαμενές που χρησιμοποιήθηκαν είχε κάθε μία χωρητικότητα από δύο κυβικά μέτρα, με την μία από αυτές να εγκαθίσταται σε υψόμετρο 11 μέτρα και την άλλη στα 0,6 μέτρα.

Το 2012 ο Al-Smairan [29] παρουσίασε μία μελέτη ηλιακού συστήματος άντλησης νερού σε απομακρυσμένες περιοχές. Το ηλιακό σύστημα άντλησης βρισκόταν στο Bangladesh, όπου η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ήταν 5,3 kWh/m²/day. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να μπορεί να μεταφέρει 45 κυβικά μέτρα νερό ανά ημέρα. Το νερό αντλούνταν από πηγάδι βάθους 174 μέτρων, με τη κεφαλή της αντλίας να είναι 105 μέτρα. Βασιζόμενοι σε υδραυλικά και κλιματικά δεδομένα, υπολογίστηκε ότι για τις ανάγκες ενέργειας της αντλίας, τα φωτοβολταϊκά έπρεπε να διαθέτουν μέγιστη ισχύ 5 kW με καθημερινή παραγωγή ενέργειας 12,875 kWh/day.

Το σύστημα αποτελούνταν από 108 φωτοβολταϊκά πάνελ με προσανατολισμό προς το νότο , μία τριφασική υποβρύχια AC αντλία 5,5 kW και έναν inverter ισχύος 7,5 kVA. Δύο δεξαμενές των 55 κυβικών μέτρων χρησιμοποιήθηκαν για αποθήκευση νερού, ενώ ούτε και σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

3.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια [5]

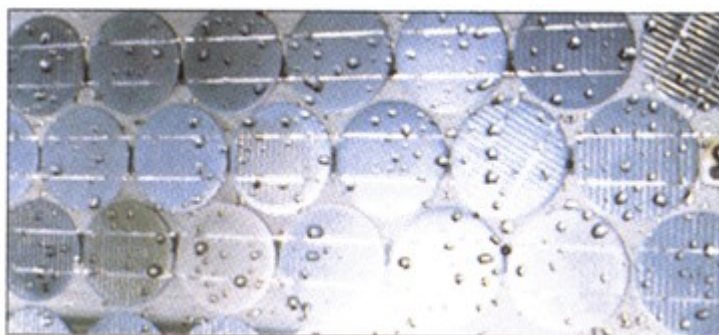
3.1.1 Γενικά

Το βασικό και χαρακτηριστικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η Φ/Β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα Φ/Β ηλιακά στοιχεία.

Η τάση και η ισχύς των Φ/Β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών.

Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο Φ/Β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5 V περίπου και ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4 W περίπου. Για αυτό, τα Φ/Β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης. π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει περίπου 15-20 V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες, για την φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου. Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα με μορφή σάντουιτς. Δηλαδή, τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, που

αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με την βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το Φ/Β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των Φ/Β γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των Φ/Β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία Φ/Β πλαισίου.

Τα Φ/Β πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχύ. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4 V μέχρι 22 V και ένταση ρεύματος από περίπου 0,5 A μέχρι 2,5 A. Πριν βγουν στο εμπόριο, τα Φ/Β πλαίσια υποβάλλονται συνήθως σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και σε δοκιμασία 5ήμερης συνεχούς παραμονής σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 95% και θερμοκρασίας 95 °C, για να ελεγχθεί η στεγανότητά τους.

3.1.2 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών διατάξεων

3.1.2.1 Ηλιακά στοιχεία πυριτίου

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητες (έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή διακένου) δεν είναι ιδεώδεις για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη ένα πλούσιο παρελθόν 3-4 δεκαετιών σαν το κύριο υλικό των διατάξεων των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. Επομένως οι ιδιότητές του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με τη χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία.

3.1.3 Η δομή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

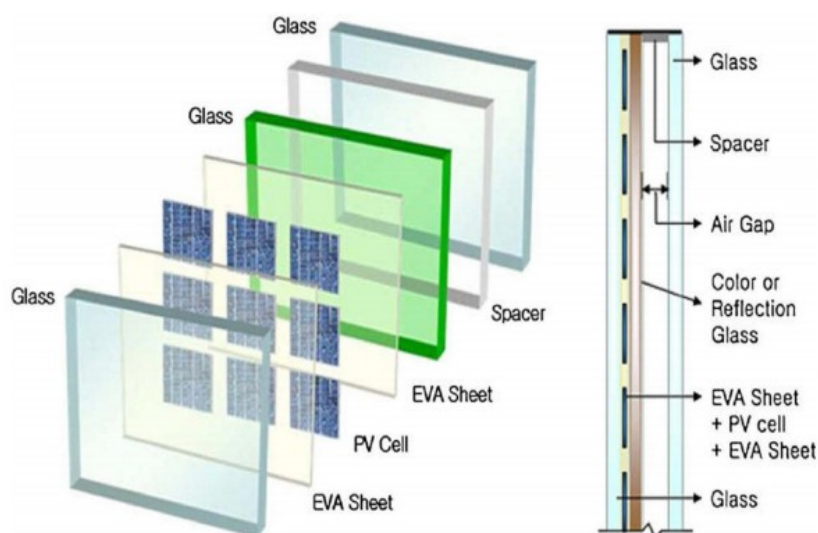
Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από έναν αριθμό ηλιακών κυψελών. Για να γίνει εφικτή η λειτουργία του πλαισίου, είναι σημαντικό να προστατεύονται οι ηλιακές κυψέλες από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οι ηλιακές κυψέλες είναι πολύ λεπτές και άρα επιρρεπείς σε μηχανικές βλάβες. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων και η δομή τους συχνά είναι διαφορετική για τα διάφορα είδη ηλιακών κυψελών ή για τις ποικίλες εφαρμογές τους. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία είναι:

- Ειδικό γυαλί
- Συμπυκνωμένο υλικό (Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Sheet) για την ενθυλάκωση των κυψελών
- Ηλιακές κυψέλες
- Συμπυκνωμένο υλικό (EVA)
- Ειδικό γυαλί
- Κενό αέρος

- Ειδικό γυαλί

Οι ηλιακές κυψέλες περικλείονται συνήθως από δυο κομμάτια γυαλιού ή ένα φύλλο γυαλιού και ένα πλαστικού, ενώ μερικές φορές εξ ολοκλήρου από πλαστικό. Τα είδη των γυαλιών που χρησιμοποιούνται είναι διαφανή, χρωματισμένα και αντανακλούν την θερμότητα. Το συμπυκνωμένο υλικό είναι συνήθως EVA(υαλώδη μεμβράνη ειδικής επεξεργασίας), υλικό που εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη διαπερατότητα στο φως.

Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2: Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται σε σειρά, παράλληλα ή και συνδυασμένες προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε τάση και σε ρεύμα. Επίσης, οι ηλιακές κυψέλες πρέπει να όμοιες, για να εμφανίζουν όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται επάνω σε περιστρεφόμενα στηρίγματα που ακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται

η μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και, συνακόλουθα, η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2 Ρυθμιστής φόρτισης [27]

3.2.1 Γενικά

Η φόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή μέσω Φ/Β συστοιχίας, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης. Παράλληλα, επιβάλλεται ο συνεχής έλεγχος του συσσωρευτή όταν τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Ελεγκτής ή ρυθμιστής φόρτισης ονομάζεται η ηλεκτρονική διάταξη, που ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή και έχει δύο δυνατότητες:

- α) να απομονώσει το συσσωρευτή από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στη περίπτωση της υπερφόρτισης,
- β) να απομονώσει το συσσωρευτή από την κατανάλωση στη περίπτωση της υπερεκφόρτισης.

Η υπερφόρτιση προκαλεί την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου λόγω ηλεκτρόλυσης και μειώνει τη στάθμη του ηλεκτρολύτη, ενώ η υπερεκφόρτιση περιορίζει σημαντικά το χρόνο ζωής του συσσωρευτή.

Ο ελεγκτής φόρτισης ενεργοποιείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει συγκεκριμένα όρια τάσεως(setpoints). Τα όρια αυτά είναι τα 2,35 V/στοιχείο κατά τη φόρτιση και τα 1,8 V/στοιχείο κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή.

3.2.2 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης

Για την επιλογή του ελεγκτή φόρτισης λαμβάνουμε υπ' όψη τρεις παραμέτρους:

- **Ονομαστική τάση**

Πρέπει να έχει τάση ίση με την ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή.

- **Ρεύμα εισόδου**

Πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δεχθεί το μέγιστο ρεύμα, που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία.

- **Ρεύμα εξόδου**

Πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης, που λειτουργούν ταυτόχρονα.

3.3 Ηλεκτρικός συσσωρευτής [27]

3.3.1 Γενικά

Ένα ΦΒ σύστημα πρέπει να παρέχει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, για την ικανοποίηση της ζήτησης και τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Τέτοιες περίοδοι είναι οι νυχτερινές ώρες και οι συννεφιασμένες ημέρες.

Όταν ένα Φ/Β σύστημα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής, έχει την δυνατότητα να αντλήσει από αυτό την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και να διοχετεύσει προς αυτό την περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, όταν η τελευταία υπερβαίνει τις απαιτήσεις της κατανάλωσης. Η δυνατότητα της παραπάνω ενεργειακής ανταλλαγής δεν υπάρχει στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα. Η ανάγκη αποθήκευσης της περίσσειας της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί όταν η παραγωγή δεν ανταποκρίνεται στη ζήτηση, καλύπτεται από ειδικές διατάξεις, που ονομάζονται ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή μπαταρίες.

Είναι προφανές ότι η ποσότητα της αποθηκευόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται κυρίως από το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς και τις αιχμές της κατανάλωσης. Συνήθως απαιτείται μία αυτοδυναμία 3-10 ημερών περίπου.

Ένας ηλεκτρικός συσσωρευτής αποτελείται από ζεύγη μεταλλικών ηλεκτροδίων συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά, τα οποία έχουν συνήθως τη μορφή πλακών και είναι εμβαπτισμένα σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη. Κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων ονομάζεται στοιχείο.

Κύριος σκοπός μιας μπαταρίας λοιπόν είναι η συσσώρευση της ηλεκτρικής ενέργειας με παράλληλη δυνατότητα συνεχούς απόδοσης της. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η μπαταρία έχει τις εξής ιδιότητες:

- **Ικανοποιητική υψηλή δεκτικότητα φόρτισης :** Χαρακτηρίζεται από την όσο δυνατό υψηλή ένταση ρεύματος φόρτισης με αποφυγή πτώσης τάσης στο εσωτερικό της. Ο συντελεστής απόδοσης της φόρτισης βρίσκεται στο 90% περίπου. Επίσης η μπαταρία πρέπει να μπορεί να φορτίζεται και με ρεύμα χαμηλής τάσης.
- **Μεγάλη αντοχή σε κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης :** Ο αριθμός των κύκλων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το βάθος εκφόρτισης. Δηλαδή, όσο πιο μικρό το βάθος εκφόρτισης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κύκλος ζωής της μπαταρίας.
- **Δυνατότητα επαρκούς επαναφόρτισης :** Είναι δεδομένη όταν παρατηρείται για γρήγορη επαναφόρτιση μέχρι την ονομαστική της χωρητικότητα, με αμελητέες απώλειες στη συσσωρευμένη χωρητικότητα.
- **Απλή και αξιόπιστη λειτουργία :** Είναι επιθυμητή, δηλαδή στην διάρκεια ενός έτους μπορεί να γίνει συμπλήρωση υγρών μια με δυο φορές και πρέπει να διατηρήσουμε την μπαταρία καθαρή, να μην έχουμε υπερχειλίση υγρών και να αποφεύγουμε τυχόν βραχυκυκλώματα των πόλων.

3.3.2 Τύποι συσσωρευτών

Ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές διακρίνονται σε πολλούς τύπους(π.χ μολύβδου, νικελίου-καδμίου, νικελίου-ψευδαργύρου, αργύρου-ψευδαργύρου κ.λπ). Ο πιο δημοφιλής συσσωρευτής, γνωστός ήδη από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, με ευρεία χρήση στα υποβρύχια και τα αυτοκίνητα και ο οποίος είναι ο οικονομικότερος για χρήση στα Φ/Β συστήματα, είναι ο συσσωρευτής μολύβδου- θειικού οξέος. Δηλαδή, ο συσσωρευτής του οποίου τα ηλεκτρόδια μολύβδου είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα θειικού οξέος. Διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- **Μπαταρίες μολύβδου – οξέος:** Η βασικότερη αιτία της τόσο ευρείας διάδοσης των μπαταριών μολύβδου-οξέος είναι το μικρό κόστος τους συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες μπαταριών (100-300 €/kWh), σε συνδυασμό με την εμπορική διαθεσιμότητα, αλλά και η πολυετής συσσωρευμένη λειτουργική εμπειρία. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 80-85%, καθώς και από υψηλή αξιοπιστία. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ο ρυθμός αστοχίας των μπαταριών μολύβδου-οξέος είναι μικρότερος από 0,25% καθώς επίσης παρουσιάζουν μικρούς βαθμούς εκφόρτισης.
- **Μπαταρίες νικελίου–καδμίου:** Συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν μεγαλύτερες τιμές ειδικής ενέργειας, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (2000-2500 κύκλοι), υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης, αλλά έχουν μικρότερη απόδοση (60-75%) είναι και πιο ακριβές. Επιπλέον πλεονεκτήματα τους αποτελούν η αυξημένη αξιοπιστία και οι πολύ μικρές ανάγκες συντήρησης ακόμα και σε ψυχρά κλίματα, η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης και η εξαιρετική παροχή βηματικής τάσης. Για τους λόγους αυτούς είναι γενικά κατάλληλες για φορητές συσκευές, φωτισμό έκτακτης ανάγκης, UPS και εκκίνηση κινητήρων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το βασικό μειονέκτημα τους είναι το σχετικά υψηλό κόστος (800

€/kWh) εξαιτίας της ακριβής κατασκευαστικής διαδικασίας. Επιπλέον, το κάδμιο είναι ένα βαρύ τοξικό μέταλλο που εισάγει προβλήματα διάθεσης και ανακύκλωσης των μπαταριών νικελίου-καδμίου.

3.3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση και η ονομαστική χωρητικότητα.

- **Ονομαστική τάση**

Η ονομαστική τάση στους πόλους του εκφορτίζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) E , που μετράται σε [V].

- **Ονομαστική χωρητικότητα**

Η ονομαστική χωρητικότητα C ενός συσσωρευτή είναι το ηλεκτρικό φορτίο, που μπορεί να αποθηκεύσει στο εσωτερικό του με τη μορφή χημικής ενέργειας και μετράται σε [Ah]. Είναι, δηλαδή, το γινόμενο της έντασης του ρεύματος I που δίνει ο συσσωρευτής (ανεξάρτητα από την τάση του) επί το πλήθος των ωρών n_h μέχρι να εκφορτίσει ($C=In_h$)

Η **μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια** E_B , που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή, δίνεται από τη Σχέση 3.1

$$E_B = CV_B \text{ [Wh]} \quad (3.1)$$

όπου:

C [Ah]: ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή

V_B [V]: ονομαστική τάση συσσωρευτή

3.4 Αντιστροφέας [27]

3.4.1 Γενικά

Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς (DC) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) για να μπορούν να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά. Ένας τέτοιος μετατροπέας είναι ο περιστρεφόμενος, στον οποίο το συνεχές ρεύμα προκαλεί περιστροφή ενός κινητήρα που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συσκευή αυτή δεν χρησιμοποιείται σήμερα διότι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν κατασκευασθεί παρόμοιες συσκευές με ημιαγωγούς και χωρίς κινητά μέρη. Η απόδοση των τελευταίων είναι πολύ μεγαλύτερη, η συντήρησή τους πολύ πιο εύκολη και η ανάγκη για επιδιόρθωση πολύ σπάνια.

3.4.2 Τύποι Αντιστροφέων

Ανάλογα με το είδος του Φ/Β συστήματος χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος μετατροπέας. Σε ένα αυτοτελές Φ/Β σύστημα συνδέεται μετατροπέας που έχει τέτοια κατασκευή ώστε να λειτουργεί με την ηλεκτρική ενέργεια που δίνουν τα Φ/Β πλαίσια και να μετατρέπει τη συνεχή μορφή της ενέργειας αυτής σε εναλλασσόμενη. Σε ένα Φ/Β σύστημα ενωμένο με το κεντρικό δίκτυο, συνδέεται μετατροπέας που λειτουργεί με την τάση του κεντρικού δικτύου και καθίσταται ικανός να μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πλαισίων σε εναλλασσόμενη ώστε να τροφοδοτούνται οι ηλεκτρικές συσκευές ή ακόμη και το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα αυτοτελούς φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα εξής :

- Η τάση εισόδου, είναι η τάση των Φ/Β πλαισίων
- Η ισχύς του που καθορίζεται από το μέγεθος του Φ/Β συστήματος
- Η απόδοσή του που κυμαίνεται μεταξύ του 80 και 90%
- Η ικανότητα του να μετατρέπει όσο το δυνατό καλύτερα τη συνεχή τάση εισόδου σε εναλλασσόμενη, χωρίς να εμφανίζονται σήματα παραμόρφωσης και να διατηρεί μια σχετική σταθερότητα στη συχνότητα.

Βασικό κριτήριο στην εκλογή κατάλληλου μετατροπέα που θα τοποθετηθεί σε αυτοτελές Φ/Β σύστημα είναι το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο καταναλωτής. Πολλές συσκευές λειτουργούν και με εναλλασσόμενη τάση διαφορετική της ημιτονοειδούς. Υπάρχουν όμως συσκευές, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, που χρειάζονται τέλεια ημιτονοειδή τάση για να λειτουργήσουν κανονικά. Άλλες συσκευές που έχουν κινητήρα χρειάζονται σταθερότητα στη συχνότητα γι αυτό και ο μετατροπέας πρέπει να δίνει εναλλασσόμενη τάση σταθερής συχνότητας.

Η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση αποτελεί βασικό κριτήριο για την εκλογή του μετατροπέα. Αν ένας μετατροπέας έχει 90% απόδοση τότε στην είσοδό του θα χρειαστεί ισχύς 3,3 kW για να δώσει στην έξοδό του ισχύ 3 kW. Συνήθως η απόδοση είναι μικρότερη αν η ισχύς που του δίνεται είναι μικρότερη από τη τιμή για την οποία κατασκευάστηκε. Φυσικά είναι πλεονέκτημα για ένα μετατροπέα να έχει σταθερή απόδοση για μεγάλη περιοχή διαφορετικών τιμών ισχύος.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να έχει ένας μετατροπέας είναι η αυτόματη διακοπή της λειτουργίας του όταν δεν είναι συνδεδεμένος με καταναλωτή σε λειτουργία. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια γιατί δεν θα υπάρχουν απώλειες στον ίδιο τον μετατροπέα όταν δεν περνά ρεύμα από αυτόν.

Επίσης, σε περίπτωση που ο μετατροπέας χρειαστεί να τροφοδοτήσει μεγάλο κινητήρα σαν αυτόν που βρίσκεται σε ηλεκτρική αντλία νερού ή σε συμπιεστή ψυγείου, πρέπει να είναι σε θέση να δώσει στην αρχή την απαραίτητη ισχύ που χρειάζεται ο κινητήρας για να ξεκινήσει, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Για παράδειγμα ένας κινητήρας ισχύος ενός ίππου (HP), ανάλογα με την απόδοσή του, χρειάζεται 1 μέχρι 1,5 kW για να λειτουργήσει κανονικά. Για να ξεκινήσει όμως είναι δυνατό να χρειασθεί 5 kW ή ακόμη και περισσότερη ισχύ. Κάθε μετατροπέας έχει ως χαρακτηριστικά τη μέγιστη στιγμιαία ισχύ που μπορεί να δώσει σε ένα κινητήρα για να τον ξεκινήσει και τη συνεχή ισχύ που δίνει στον ίδιο κινητήρα για να λειτουργήσει κανονικά.

Άλλο χαρακτηριστικό μετατροπέα αυτοτελούς Φ/Β συστήματος, είναι η σταθερότητα τάσης που δίνει στον καταναλωτή. Επειδή η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δεν είναι πάντοτε η ίδια, υπάρχουν αυξομειώσεις στη τάση που δέχεται ο μετατροπέας. Σήμερα έχουν κατασκευασθεί εξαιρετικοί από πλευράς ποιότητας μετατροπείς που έχουν τη δυνατότητα να δίνουν ημιτονοειδή εναλλασσόμενη τάση με (1-2%) αυξομείωση στην τάση εξόδου. Οι περισσότερες οικιακές συσκευές λειτουργούν κανονικά με αυξομειώσεις της τάσης γύρω στο 5-10%.

Αυτές είναι συνήθως μικρότερες των αυξομειώσεων της τάσης που δίνει το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο στο σπίτι. Για προστασία τόσο του ιδίου του μετατροπέα, της μπαταρίας αλλά και του καταναλωτή, ένας καλής ποιότητας μετατροπέας έχει

μηχανισμό διακοπής της λειτουργίας του εφόσον η τάση στην είσοδο του έχει αστάθεια.

Ο συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής προς την ισχύ που δίνεται στον καταναλωτή. Η τιμή του συντελεστή ισχύος εξαρτάται από την εκλογή του μετατροπέα και το είδος του καταναλωτή. Ένας καλής ποιότητας μετατροπέας παρουσιάζει συντελεστή ισχύος 0,7 κατά τη σύνδεση του με τους διάφορους καταναλωτές.

Είναι γεγονός όμως ότι πολλοί μετατροπείς παρουσιάζουν προβλήματα στη διατήρηση σταθερότητας μιας αποδεκτής τιμής του συντελεστή ισχύος κάτω από διαφορετικές συνθήκες φόρτισης. Για παράδειγμα αν στο κύκλωμα του καταναλωτή υπάρχουν φώτα και πλυντήριο, είναι δυνατό να χαμηλώσουν τα φώτα λόγω μικρότερης ισχύος που δέχονται αν λειτουργήσει συγχρόνως και το πλυντήριο.

Πολλοί μετατροπείς, όταν λειτουργούν, προκαλούν ηλεκτρομαγνητική ενόχληση σε ηλεκτρονικές συσκευές. Για να αποφευχθεί το άσχημο αυτό επακόλουθο πρέπει να γίνει καλή εκλογή του μετατροπέα ώστε το βασικό εσωτερικό κύκλωμα να μην προκαλεί ηλεκτρομαγνητική εκπομπή.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας μετατροπέας είναι να μη προκαλεί θόρυβο κατά τη λειτουργία του. Στην περίπτωση που προκαλεί κάποιο μικρό θόρυβο, πρέπει να τοποθετείται μακριά από χώρους στους οποίους ο θόρυβος είναι ενοχλητικός.

Είναι πολύ σημαντικό επίσης για το μετατροπέα να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να υποστεί βλάβη αλλά και σε περίπτωση βλάβης ο αντιπρόσωπος να είναι σε θέση να τον επιδιορθώσει.

Μετατροπέας Φ/Β συστήματος συνδεδεμένου με δίκτυο

Τα κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα αυτού είναι δύο. Πρώτον έχει απόδοση που είναι γύρω στο 90-95% και δεύτερο μπορεί να μετατρέψει πλήρως τη συνεχή τάση εναλλασσόμενη, γιατί λειτουργεί με βάση το σήμα που παίρνει από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Θα πρέπει να έχει μεγάλη ισχύ για να μπορεί να μετατρέπει σε εναλλασσόμενη όλη την ισχύ που παράγουν τα Φ/Β πλαίσια. Θα πρέπει ακόμη να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει και σε περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερων τιμών ισχύος που μπορεί να εμφανισθούν κατά τη διάρκεια ειδικών καιρικών συνθηκών. Για παράδειγμα, μεγάλη ισχύς μπορεί να δημιουργηθεί όταν ορισμένα σύννεφα που, λειτουργώντας σαν φακός, προκαλούν μεγαλύτερη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας στα Φ/Β πλαίσια από τη κανονική.

Ένα πλεονέκτημα του μετατροπέα που συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο είναι ότι δεν χρειάζεται να αντιμετωπίσει τις μεγάλες τιμές ρεύματος που απαιτούνται για το ξεκίνημα ενός κινητήρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα τα υψηλά ρεύματα να παρέχονται από το δίκτυο. Και σε αυτή την περίπτωση όμως ο μετατροπέας πρέπει να έχει σταθερή απόδοση σε πολύ μεγάλη περιοχή τιμών ισχύος.

Άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας τέτοιος μετατροπέας είναι η ικανότητα να προσαρμόζει τη λειτουργία του υπό τέτοια τάση, ώστε με οποιοσδήποτε συνθήκες, η ισχύς εξόδου να είναι πάντα η μέγιστη. Γενικά, η καλή απόδοση και η ικανότητα του μετατροπέα να χρησιμοποιεί τη μέγιστη ισχύ που παράγουν τα Φ/Β πλαίσια έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί έχει σχέση με το οικονομικό όφελος του ιδιοκτήτη του Φ/β συστήματος.

Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια είναι δυνατό να διατεθεί δια μέσου του ηλεκτρικού δικτύου, η μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που δίνει ο μετατροπέας πρέπει να είναι ημιτονοειδής όπως ακριβώς το ρεύμα που κυκλοφορεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Πραγματικά, με την αλματώδη ανάπτυξη της φυσικής της στερεάς κατάστασης της ύλης, έχουν κατασκευασθεί μετατροπείς που δίνουν σχεδόν τέλεια ημιτονοειδή τάση με ελάχιστα αρμονικά σήματα που την παραμορφώνουν. Το αποτέλεσμα είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο δεν προκαλεί προβλήματα στη λειτουργία των κινητήρων και είναι πλήρως δεκτή από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι ο συντελεστής ισχύος. Στην ιδανική περίπτωση ο συντελεστής αυτός πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι η τάση και το ρεύμα παίρνουν συγχρόνως τη μέγιστη τους τιμή και ότι όλη η ισχύς εξόδου του μετατροπέα είναι ίση με την ισχύ που καταναλώνει το φορτίο. Τελευταία έχουν κατασκευασθεί μετατροπείς που έχουν συντελεστή ισχύος 0.95 που είναι ίσος με αυτόν που έχει το ηλεκτρικό δίκτυο.

Για την εκλογή του μετατροπέα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως θα πρέπει να προσεχθεί ώστε κατά τη λειτουργία του να μην προκαλεί εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτά είναι δυνατό να επηρεάσουν τη λειτουργία συσκευών όπως είναι οι τηλεοράσεις, τα ραδιόφωνα, τα τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

3.5 Ηλεκτρικός Κινητήρας [27],[28]

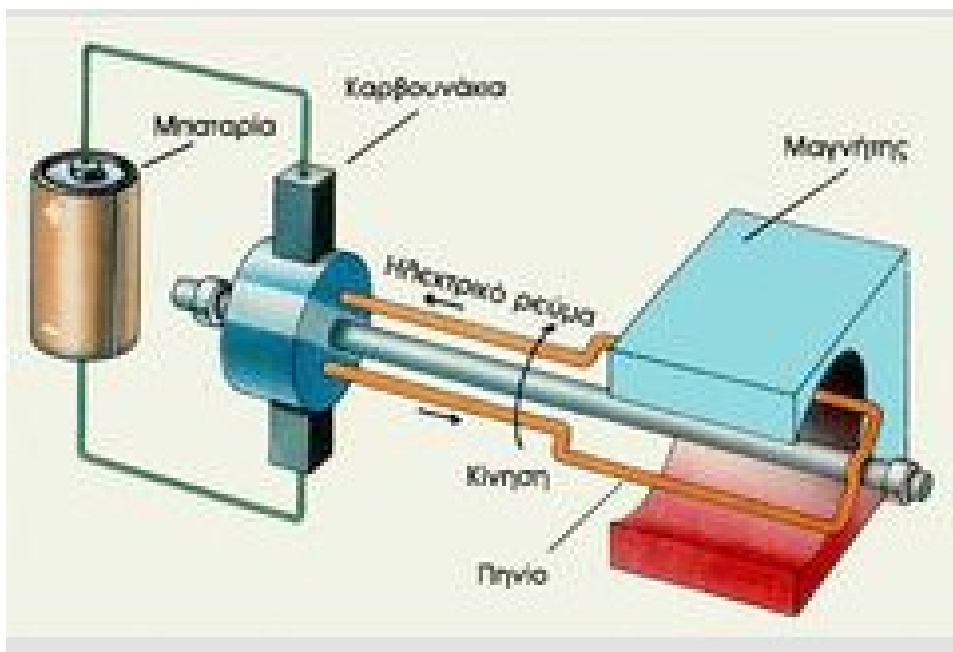
3.5.1 Γενικά

Ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια μηχανή που δημιουργεί κίνηση καταναλώνοντας ηλεκτρισμό. Σ' έναν απλό ηλεκτροκινητήρα, το

ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μια συρμάτινη περιέλιξη (θηλειά), η οποία βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη

Όμως κάθε ρευματοφόρος αγωγός, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δέχεται κάποια δύναμη. Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις που ασκούνται στην περιέλιξη, σπρώχνουν τη μια πλευρά της προς τα πάνω και την άλλη προς τα κάτω, με αποτέλεσμα αυτή να περιστρέφεται. Γι' αυτό και το σύρμα λέγεται "ρότορας", ενώ ο ηλεκτρομαγνήτης "στάτης".

Αυτός αντιστρέφει τη φορά του ρεύματος δύο φορές σε κάθε περιστροφή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή φορά περιστροφής του ρότορα.



Σχήμα 3.3: DC ηλεκτρικός κινητήρας
Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα.



Σχήμα 3.4: Εσωτερικό ασύγχρονου κινητήρα στην οποία διακρίνονται όλα τα δομικά του στοιχεία.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν μια κατηγορία στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών. Το βασικό στοιχείο μιας στρεφόμενης ηλεκτρικής μηχανής είναι η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή και αντίστροφα. Υπάρχουν τρεις τρόποι λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών. Η λειτουργία τους σαν κινητήρες, σαν γεννήτριες και σαν πέδες.

Στην ηλεκτροτεχνία οι κινητήρες και οι γεννήτριες ρεύματος είναι μηχανήματα αντίστοιχης δομής και αντίστροφης λειτουργίας. Σε μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και αυτό εκφράζεται με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ στους κινητήρες το ηλεκτρικό ρεύμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.

Η λειτουργία τόσο των ηλεκτρικών γεννητριών όσο και των ηλεκτρικών κινητήρων στηρίζεται στη ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Με βάση λοιπόν το φαινόμενο της επαγωγής όταν ένας αγωγός (δηλαδή ένα αγώγιμο ηλεκτρικά υλικό)

κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε μέσα στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή δηλαδή ηλεκτρικό δυναμικό το οποίο είναι και το αίτιο εμφάνισης ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό.

Στους κινητήρες αντίστοιχα αξιοποιείται ένα άλλο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο μια δύναμη που τείνει να τον κινήσει. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την ένταση του μαγνητικού πεδίου, αλλά και το μήκος του αγωγού. Σημειώνεται πως η φορά της ασκούμενης στον αγωγό δύναμης αντιστρέφεται είτε αν αλλάξει η φορά του ρεύματος, είτε αν αντιστραφεί η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου.

3.5.2 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροκινητήρα

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν κινητήρα παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στο κύριο τύλιγμα της μηχανής, που λέγεται τύλιγμα τυμπάνου και αποδίδεται μηχανική ενέργεια εξόδου πάνω σε μια περιστρεφόμενη άτρακτο. Μια εξωτερικά επιβαλλόμενη ηλεκτρική τάση v οδηγεί ένα ρεύμα i μέσα στο τύλιγμα τυμπάνου ενάντια σε μια εσωτερικά επαγόμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη e . Το τύλιγμα τυμπάνου γίνεται έτσι ικανό να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό $e \cdot i$. Το πεδίο ζεύξεως ασκεί μια στιγμιαία ηλεκτρομαγνητική ροπή $T_{πεδ}$ πάνω στο περιστρεφόμενο μέλος της μηχανής που λέγεται δρομέας (ρότορας). Αν ο δρομέας στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω τότε η στιγμιαία ισχύς εξόδου που αποδίδεται στην άτρακτο θα είναι $T_{πεδ} \cdot \omega$. Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου $T_{εξ}$ δρα με φορά αντίστροφη από εκείνη της περιστροφής και καθιστά το φορτίο ικανό ν' απορροφά μηχανική ενέργεια. Ισχύει προφανώς η Σχέση 3.2:

$$T_{πεδ} - T_{εξ} = J \, d\omega/dt \quad (3.2)$$

Όπου J είναι η ροπή αδρανείας του δρομέα και του μηχανικού του φορτίου (η κίνηση του οποίου είναι ο τελικός σκοπός της ύπαρξης του κινητήρα). Όταν $T_{πεδ} = T_{εξ}$ τότε $d\omega/dt = 0$ και η μηχανή περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας έχουμε ότι:

$$(\omega \times T_{πεδ})_{\text{μέση τιμή}} = (e_i)_{\text{μέση τιμή}} \quad (3.3)$$

Δεδομένου ότι στο τύλιγμα τυμπάνου αναπτύσσεται μια ΗΕΔ (ηλεκτρεγερτική δύναμη), χρειαζόμαστε ένα μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως που συνηθέστατα (εκτός από την περίπτωση μόνιμου μαγνήτη στις μικρές μηχανές), στην πράξη παρέχεται από τυλίγματα διεγέρσεως ή τυλίγματα πεδίου. Στη μόνιμη λειτουργία των συνήθων μηχανών της πράξης, οι οποίες έχουν χωριστά τροφοδοτούμενο τύλιγμα διέγερσης, η μέση τιμή της ισχύος που τροφοδοτεί το τύλιγμα αυτό δαπανάται υπό μορφή θερμότητας.

3.5.3 Κατηγορίες ηλεκτροκινητήρων

Οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος και στους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι οποίοι καλύπτουν και την πλειοψηφία των εφαρμογών. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με τη σειρά τους διακρίνονται σε μονοφασικούς και πολυφασικούς. Τόσο οι μονοφασικοί όσο και οι πολυφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε σύγχρονους κινητήρες και σε κινητήρες επαγωγής ή ασύγχρονους. Ένας σύγχρονος κινητήρας αποτελείται από μια σειρά τριών τυλιγμάτων στο στάτορα με ένα απλό στρεφόμενο μέρος. Καθώς το ρεύμα που περνάει από το πηνίο μεταβάλλεται ο κινητήρας εργάζεται ομαλά μόνο στη συχνότητα του ημιτονοειδούς ρεύματος επιτυγχάνοντας μια λειτουργία με σταθερή ταχύτητα από μηδενικό ως πλήρες φορτίο λειτουργίας.

Στους ασύγχρονους κινητήρες το ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμεύει κυρίως για να επάγει την περιστροφή των τυλιγμάτων παρά για να περιστρέφει ευθέως τον άξονα.

Οι πολυφασικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι κατά βάση μηχανές σταθερής ταχύτητας, αλλά διαφοροποιούνται ως προς κάποια σχεδιαστικά στοιχεία τους με συνέπεια να διαμορφώνονται τέσσερις βασικές υποκατηγορίες των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος. Στον πιο συνήθη τύπο (DESIGN A,B) έχουμε κανονικές τιμές ροπής και ρεύματος εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Στον δεύτερο τύπο (DESIGN C) έχουμε υψηλή ροπή εκκίνησης με κανονική ένταση ρεύματος εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Στον τρίτο τύπο (DESIGN D) έχουμε επίσης υψηλή ροπή εκκίνησης αλλά χαμηλό ρεύμα εκκίνησης, ενώ η ολίσθηση είναι υψηλή. Στον τέταρτο τύπο (DESIGN F) έχουμε χαμηλή ροπή και ρεύμα εκκίνησης αλλά και χαμηλή ολίσθηση.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες σε αυτήν όπου το μαγνητικό πεδίο παράγεται από ένα μόνιμο μαγνήτη και αυτούς όπου το πεδίο παράγεται από ένα τύλιγμα διεγέρσεως.

Στους κινητήρες της πρώτης κατηγορίας η μαγνητική ροή παραμένει σταθερή σε όλες τις ταχύτητες του κινητήρα και οι χαρακτηριστικές καμπύλες ταχύτητας - ροπής και έντασης ρεύματος - ροπής είναι γραμμικές.

Η δεύτερη κατηγορία χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες. Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης, στους κινητήρες διέγερσης εν σειρά και στους κινητήρες σύνθετης διέγερσης. Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται παράλληλα με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Στους κινητήρες διέγερσης εν σειρά το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται εν σειρά με το τύλιγμα του

επαγωγικού τυμπάνου. Στους κινητήρες σύνθετης διέγερσης κάθε κύριος μαγνητικός πόλος έχει δύο τυλίγματα το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα εν σειρά.

3.6 Αντλία νερού [3]

3.6.1 Αρχή λειτουργίας

Μία αντλία νερού κινεί το υγρό στοιχείο από την πηγή, η οποία μπορεί να είναι ένα ποτάμι, ένα φράγμα ή ένα πηγάδι, μέσω σωληνώσεων, είτε στο σημείο χρήσης/άρδευσης απ' ευθείας είτε σε κάποια εγκατάσταση αποθήκευσης, όπως μια δεξαμενή αποθήκευσης. Η αντλία σε ένα ηλιακό σύστημα άντλησης οδηγείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα, ενώ η πηγή ενέργειας παρέχεται από τα ηλιακά πάνελ.

Υπάρχει μία μεγάλη γκάμα διαθέσιμων αντλιών:

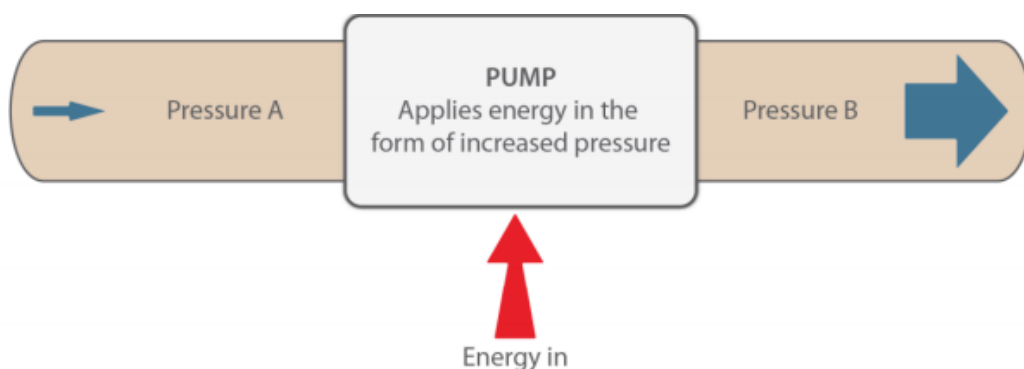
- Αντλίες διαφορετικών τύπων
- Αντλίες διαφορετικών χωρητικοτήτων
- Αντλίες διαφορετικών φυσικών μεγεθών

Για την επιλογή της κατάλληλης αντλίας, πρέπει αρχικά να καθοριστούν οι αρδευτικές απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Αυτές περιλαμβάνουν τις καθημερινές ανάγκες σε νερό, καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με τη πηγή νερού, το σημείο άντλησης και τη διαδρομή ανάμεσά τους.

Όταν δεν υποστηρίζεται άλλη συμπληρωματική πηγή ενέργειας, όπως το ηλεκτρικό δίκτυο ή η αποθήκευση μέσω συσσωρευτών, η αντλία πρέπει να είναι ικανή να μεταφέρει αρκετό νερό κάθε λεπτό, κατά τη διάρκεια ωρών ηλιοφάνειας,

ώστε να καλυφτούν οι ημερήσιες απαιτήσεις. Η αντλία επίσης, χρειάζεται αρκετή ισχύ για να μετακινήσει αυτό το απαιτούμενο ποσοστό νερού από τη πηγή, στο σημείο “εκφόρτισής” της, μέσω της λεγόμενης “κεφαλής” της (head).

Η αντλία ορίζεται σαν ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για να μετακινεί το υγρό που μεταφέρει. Αντλίες μετακινούν αυτό το υγρό χρησιμοποιώντας την ενέργεια που δέχονται για να αυξήσουν το ποσοστό πίεσης του συστήματος, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα(Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Αρχή του πώς η αντλία κινεί το νερό

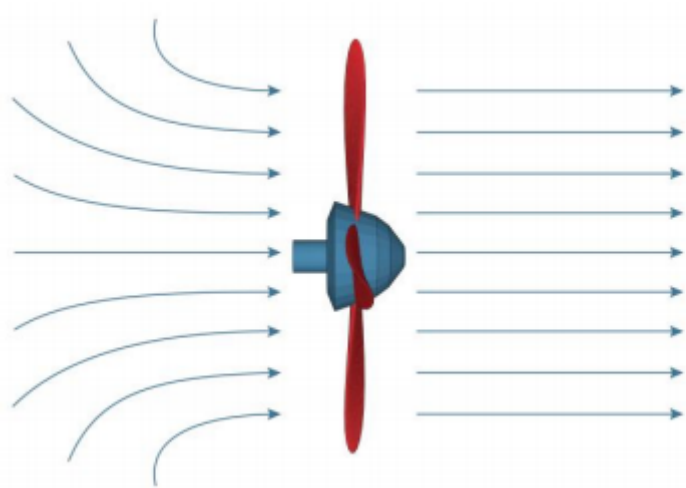
3.6.2 Κατηγορίες αντλιών

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι αντλιών: Οι δυναμικές αντλίες και οι αντλίες θετικής μετατόπισης. Οι δυναμικές αντλίες γενικά παρέχουν καλύτερη απόδοση και ευελιξία, ενώ είναι και καταλληλότερες σε πιο μεγάλες εφαρμογές άντλησης.

- **Δυναμικές αντλίες**

Μία δυναμική αντλία χρησιμοποιεί ένα σύνολο από περιστρεφόμενα πτερύγια, που καλούνται “πτερωτές” για να αυξήσει ή να μειώσει τη πίεση του συστήματος

(Σχήμα 3.6). Περιστρέφοντας τα πτερύγια είτε με τη φορά των δεικτών του ρολογιού είτε αντίστροφα από αυτή, η ροή του υγρού μπορεί να αλλάξει, αλλάζοντας έτσι και την πίεσή του.



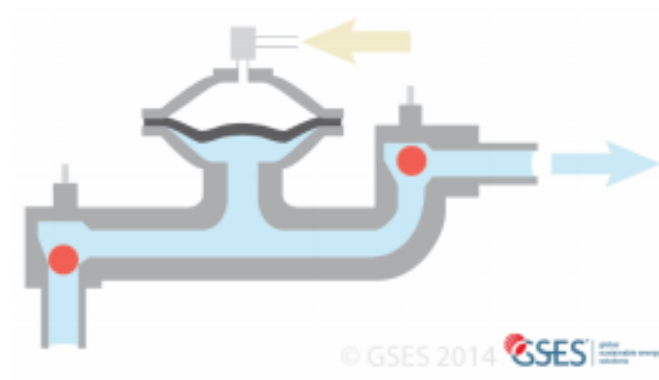
Σχήμα 3.6 : Σχηματικό διάγραμμα δυναμικής αντλίας

Η φυγόκεντρη αντλία είναι ένα είδος δυναμικής αντλίας που χρησιμοποιείται συχνά σε ηλιακές αρδευτικές εφαρμογές.

- **Αντλίες θετικής μετατόπισης**

Οι αντλίες θετικής μετατόπισης λειτουργούν με την αλλαγή του όγκου σε ένα κλειστό σύστημα. Καθώς ο όγκος του νερού μειώνεται, η πίεση αυξάνεται και αντιστρόφως καθώς ο όγκος αυξάνεται, η πίεση μειώνεται. Αυτές οι αλλαγές στη πίεση προκαλούν αναρρόφηση στο υγρό, το οποίο μετά πιέζεται προς τη επιθυμητή κατεύθυνση.

Οι αντλίες ελικοειδούς δρομέα και οι αντλίες διαφράγματος είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αντλίες θετικής μετατόπισης σε εφαρμογές άντλησης νερού.



Σχήμα 3.7: Σχηματικό διάγραμμα μίας αντλίας διαφράγματος

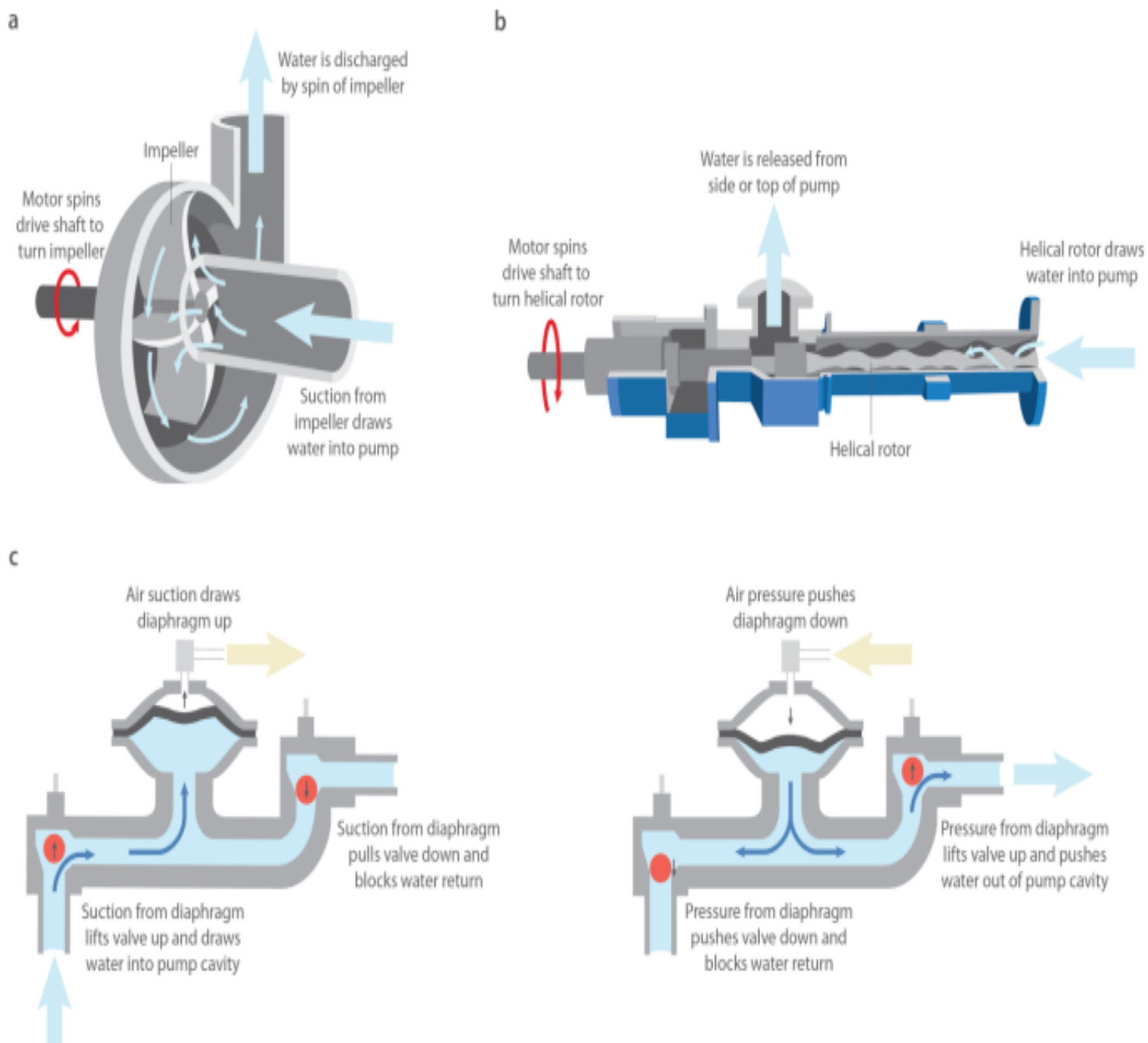
Συνοπτικά παρουσιάζονται παρακάτω σε ένα πίνακα οι διαφορετικοί τύποι αντλιών με τα βασικά χαρακτηριστικά τους (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 : Χαρακτηριστικά τριών διαφορετικών αντλιών

ΕΙΔΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
Φυγόκεντρη	Δυναμική	Η φυγόκεντρη αντλία χρησιμοποιεί την “πτερωτή” που ρίχνει νερό με υψηλή ταχύτητα	Η φυγόκεντρη αντλία μπορεί να κινήσει μεγάλη ποσότητα νερού σε σύντομο διάστημα(υψηλή ροή),αλλά μόνο μέσω χαμηλού μανομετρικού ύψους(χαμηλής κεφαλής). Η απόδοση της φυγόκεντρης αντλίας είναι εξαρτώμενη από την τάση λειτουργίας της.	Η φυγόκεντρη αντλία θα μπορούσε να μεταφέρει μεγάλη ποσότητα νερού από ένα φράγμα σε μία δεξαμενή αποθήκευσης, σε περιοχές όπου το νερό δεν χρειάζεται να “ταξιδέψει” σε λόφους.

ΕΙΔΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
Ελικοειδούς δρομέα	Θετικής μετατόπισης	Η ελικοειδούς δρομέα αντλία χρησιμοποιεί μία βίδα για την ανύψωση του νερού μέσω των κοιλοτήτων	Η ελικοειδούς δρομέα αντλία μπορεί να μεταφέρει μικρότερες ποσότητες νερού(χαμηλή παροχή) σε υψηλό μανομετρικό υψος(υψηλής κεφαλής). Μπορεί να λειτουργεί στη μέγιστη αποτελεσματικότητά της σε πολλές διαφορετικές τάσεις λειτουργίας.	Η ελικοειδούς δρομέα αντλία θα μπορούσε να μεταφέρει νερό από μία βαθειά οπή ή να μεταφέρει νερό από ένα φράγμα σε μία δεξαμενή νερού που βρίσκεται σε ένα ψηλό λόφο.

ΕΙΔΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
Διαφράγματος	Θετικής μετατόπισης	Η αντλία διαφράγματος αντλεί νερό σε ένα θάλαμο, καθώς το διάφραγμα κινείται προς τα έξω και αναγκάζει το νερό να βγει προς τα έξω, καθώς το διάφραγμα κινείται προς τα μέσα.	Η αντλία διαφράγματος μπορεί να αντλήσει περισσότερο ιξώδη υγρά, ενώ σπάνια καταστρέφεται από ξηρασίες. Μπορεί να μεταφέρει μικρότερες ποσότητες νερού(χαμηλή παροχή), αλλά μόνο μέσω μικρού μανομετρικού υψους(χαμηλή κεφαλή) συγκριτικά με την φυγόκεντρη και ελικοειδούς δρομέα αντλία.	Οι αντλίες διαφράγματος συχνά χρησιμοποιούνται για άντληση ιξωδών υγρών, όπως το λάδι, το μέλι και η λάσπη. Σε αγροτικές εφαρμογές, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα, όπου η πηγή νερού είναι ευαίσθητη σε ξηρασία ή πολύ λασπώδης.



Σχήμα 3.8: α) Λειτουργία φυγόκεντρης αντλίας, β) Λειτουργία ελικοειδούς δρομέα αντλίας, γ) Λειτουργία αντλίας διαφράγματος.

3.6.3 Επιφανειακές και υποβρύχιες αντλίες

Ανάλογα με το είδος της εγκατάστασής τους οι αντλίες χωρίζονται σε επιφανειακές και υποβρύχιες (Σχήμα 3.9).

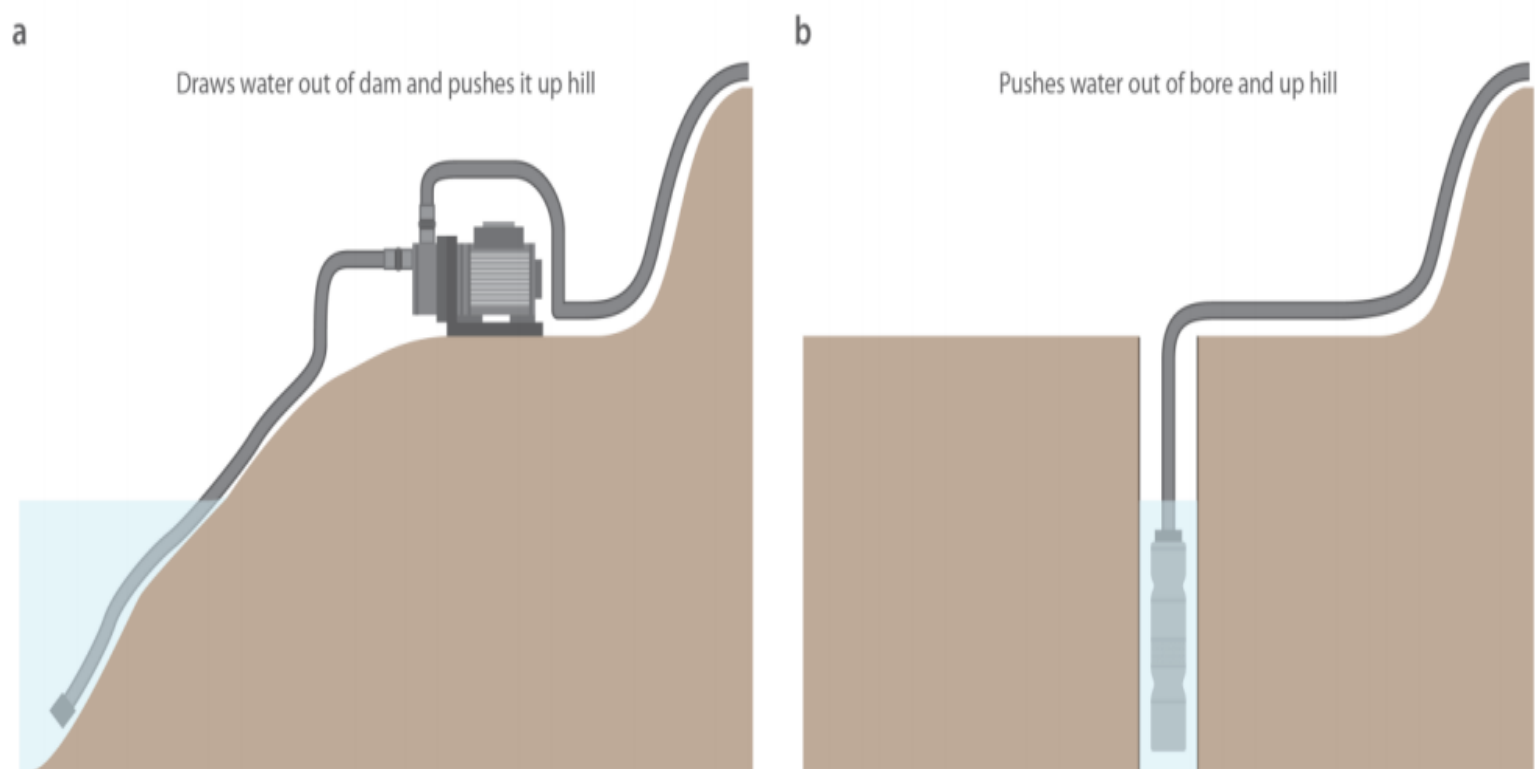
- **Επιφανειακές αντλίες**

Αυτό το είδος αντλίας τοποθετείται στο έδαφος πάνω από τη στάθμη νερού. Η αντλία αυτή μεταφέρει νερό από μία πηγή, όπως ένα φράγμα, μέχρι το σημείο αποθήκευσης ή άμεσης χρήσης.

- **Υποβρύχιες αντλίες**

Αυτό το είδος αντλίας εγκαθίσταται κάτω από τη στάθμη νερού, όπως η οπή ή το πηγάδι. Η αντλία πιέζει το νερό αμέσως από τη πηγή στο σημείο χρήσης ή αποθήκευσης.

Στις επιφανειακές αντλίες, πιο ειδικά, υπάρχει ένα όριο μέγιστης απόστασης μεταξύ της επιφανειακής αντλίας και της πηγής νερού. Το πρακτικό όριο ανύψωσης είναι περίπου 7,62 μέτρα, αλλά οι κατασκευαστές παρέχουν πληροφορίες σχετικά με αυτό το όριο για κάθε τύπο αντλίας.



Σχήμα 3.9: a) Μία επιφανειακή αντλία χρειάζεται να αντλήσει νερό από ένα φράγμα και να το μεταφέρει στο σημείο μεταφοράς, b) Μία υποβρύχια αντλία χρειάζεται μόνο να πιάσει το νερό από την αντλία στο σημείο μεταφοράς.

3.6.4 Σχεδιαστικές παράμετροι: ροή και ολικό μανομετρικό ύψος

Υπάρχουν τρεις παράμετροι κλειδιά σε ένα σύστημα άντλησης:

- **Το ποσοστό ροής** : Αυτό αναφέρεται στο ποσοστό νερού που μπορεί να αντληθεί από το σύστημα.
- **Η κεφαλή της αντλίας** : Αναφέρεται στο ποσοστό της αντίστασης, κατά την μετακίνηση του νερού (κατακόρυφο ύψος).

- **Η ισχύς της αντλίας :** Αναφέρεται στο ποσοστό της ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη του συνδυασμού ενός δεδομένου ποσοστού ροής και κατακόρυφου ύψους.

Γενικά, μία αντλία με υψηλή κεφαλή μεταφέρει μικρό ποσοστό ροής, ενώ μία αντλία με χαμηλή κεφαλή μεταφέρει υψηλό ποσοστό ροής.

Ποσοστό ροής αντλίας

Το ποσοστό ροής, όπως ειπώθηκε και πριν, είναι το ποσοστό του νερού που αντλείται σε μία δεδομένη χρονική περίοδο. Μετριέται σε L/min ή m³/day (όπου 1 m³=1000 L).

Σε ένα ηλιακό σύστημα άντλησης, τα αναμενόμενα ποσοστά ροής εκτιμούνται σύμφωνα με την μεταβλητότητα των επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας της εκάστοτε περιοχής. Έτσι:

- Εάν σε καθημερινή βάση απαιτείται το ελάχιστο ποσοστό ροής, ανεξάρτητα από τις ώρες διαθέσιμης ακτινοβολίας, η σχεδίαση του συστήματος γίνεται με τρόπο ώστε να αυξάνεται το καθημερινό απαιτούμενο ποσοστό ροής. Αυτό συμβαίνει για να αντισταθμιστεί η μειωμένη απόδοση της αντλίας σε μέρες με μειωμένη ηλιοφάνεια.
- Στον υπολογισμό της ροής, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι υπάρχουν περιορισμένες ώρες ηλιοφάνειας κάθε μέρα για την άντληση νερού. Λαμβάνονται επίσης υπ' όψιν τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, τα οποία ποικίλουν από ώρα σε ώρα. Για παράδειγμα, σε βόρειου προσανατολισμού Φ/Β πίνακες, θα αντληθεί περισσότερο νερό κατά τη διάρκεια της μέρας, όπου τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας είναι υψηλότερα, από ότι τις πρωινές ή απογευματινές ώρες, όπου τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι πιο χαμηλά.

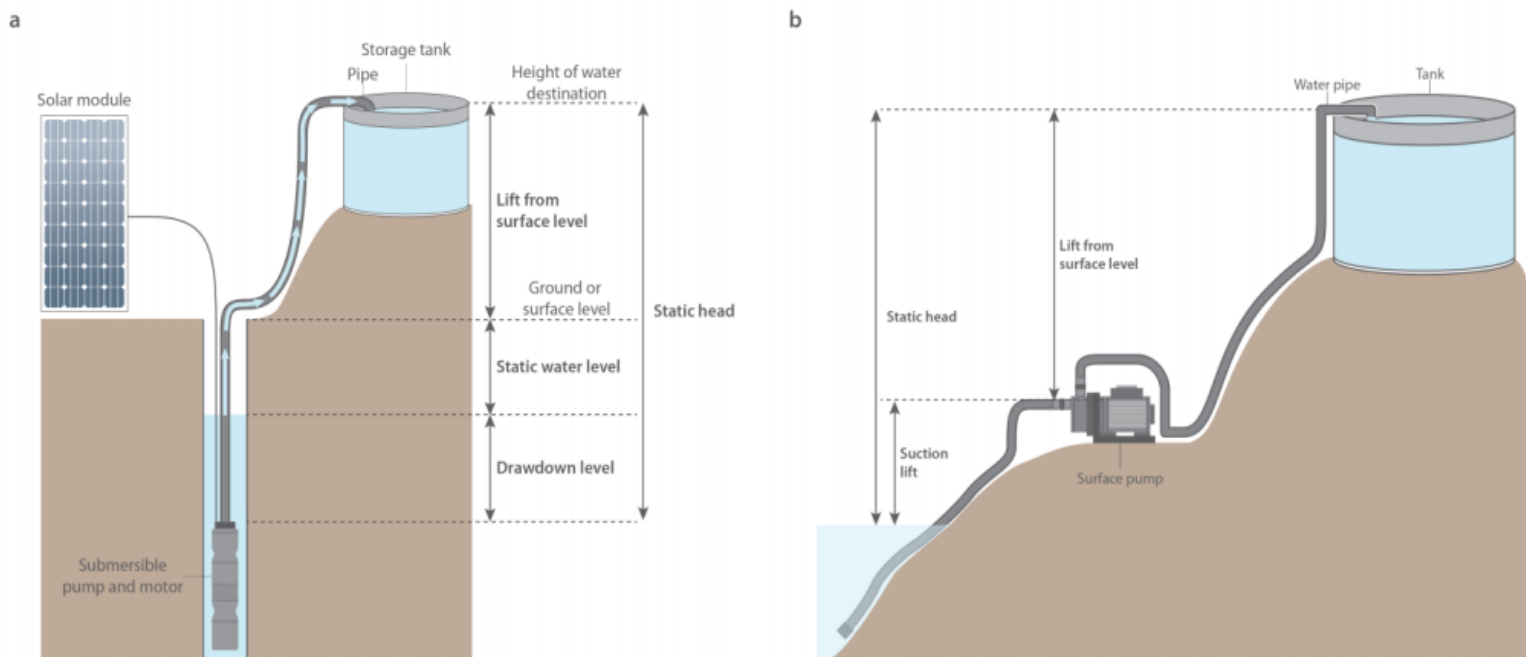
Το ποσοστό ροής είναι ένα πολύ σημαντικό τμήμα της σχεδίασης ενός ηλιακού συστήματος άντλησης και πρέπει να καθορίζεται με ακρίβεια για την βέλτιστη σχεδίαση του.

Ολικό μανομετρικό ύψος

Το ολικό μανομετρικό ύψος αναπαριστά το άθροισμα των αντιστάσεων που παρουσιάζονται κατά την άντληση του νερού (Σχήμα 3.10). Το απαιτούμενο ολικό μανομετρικό ύψος του συστήματος είναι μία προδιαγραφή που η αντλία πρέπει να ικανοποιεί ώστε να μετακινήσει την απαιτούμενη ποσότητα νερού. Περιλαμβάνει τόσο το ύψος ανύψωσης μέσω του οποίου το νερό χρειάζεται για να φτάσει στο σημείο μεταφοράς του (στατική κεφαλή), όσο και τις απώλειες που παρουσιάζονται από τη μεταφορά του νερού από τις σωληνώσεις(δυναμική κεφαλή).

- **Στατική κεφαλή**

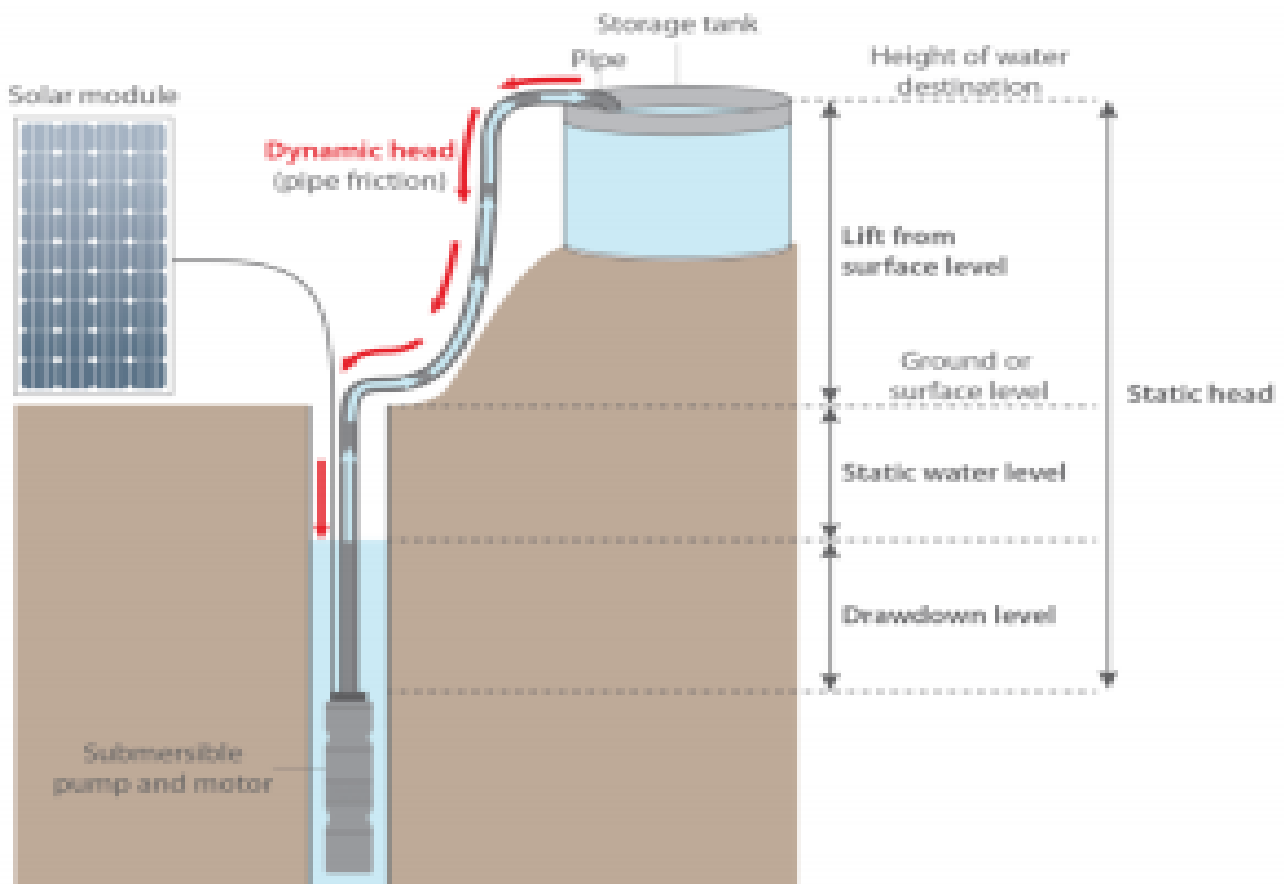
Αφορά την κατακόρυφη απόσταση, κατά την οποία το νερό μετακινείται. Στις υποβρύχιες αντλίες, αυτή η απόσταση αναπαρίσταται από το ύψος μεταξύ της αντλίας νερού και του προορισμού στον οποίο μεταφέρεται. Στις επιφανειακές αντλίες, είναι το ύψος ανάμεσα στη κορυφή της υδάτινης πηγής και του υδάτινου προορισμού.



Σχήμα 3.10: α) Στατική κεφαλή μίας υποβρύχιας αντλίας, β) Στατική κεφαλή μίας επιφανειακής αντλίας.

- **Δυναμική κεφαλή**

Αφορά τις απώλειες λόγω τριβής των σωληνώσεων. Οι κύριοι συντελεστές αυτής της παραμέτρου είναι η ταχύτητα του νερού (ποσοστό παροχής), η διάμετρος της σωλήνας, το μήκος της σωλήνας και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη (Σχήμα 3.11). Η δυναμική κεφαλή θα πρέπει, επίσης να επιτρέπει τη επίδραση άλλων σωληνώσεων, όπως φίλτρα, βαλβίδες και σωλήνες εισόδου.

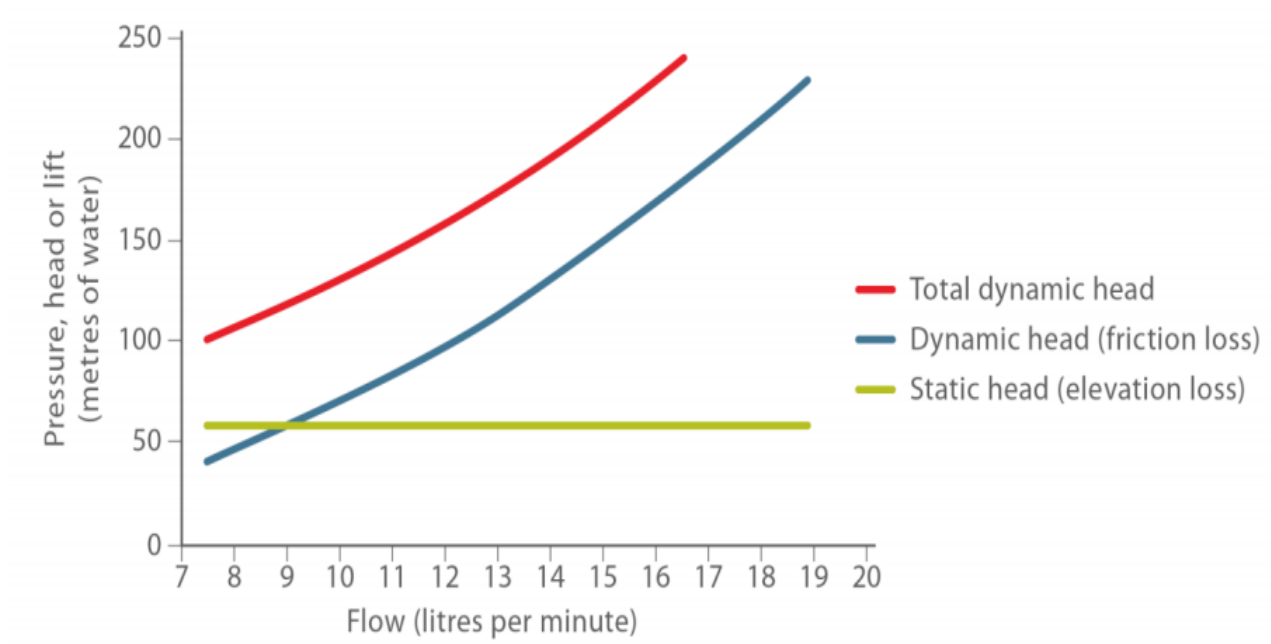


Σχήμα 3.11 : Δυναμική κεφαλή υποβρύχιας αντλίας.

Το ολικό μανομετρικό ύψος ισούται με το άθροισμα της στατικού ύψους(στατική κεφαλή) και του δυναμικού ύψους(δυναμική κεφαλή), δηλαδή ισχύει ότι:

$$\text{Ολικό μανομετρικό ύψος} = \text{στατικό ύψος} + \text{δυναμικό ύψος} \quad (3.4)$$

Η σχέση που συνδέει τις παραπάνω παραμέτρους φαίνεται στο Σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12: Σχέση ανάμεσα στη στατική κεφαλή(πράσινο), δυναμική κεφαλή (μπλε) και ολικό ύψος (κόκκινο). Η δυναμική κεφαλή αυξάνεται καθώς η παροχή αυξάνεται, ενώ η στατική κεφαλή παραμένει ίδια ανεξαρτήτως ροής. Το ολικό ύψος προκύπτει από το άθροισμα τους.

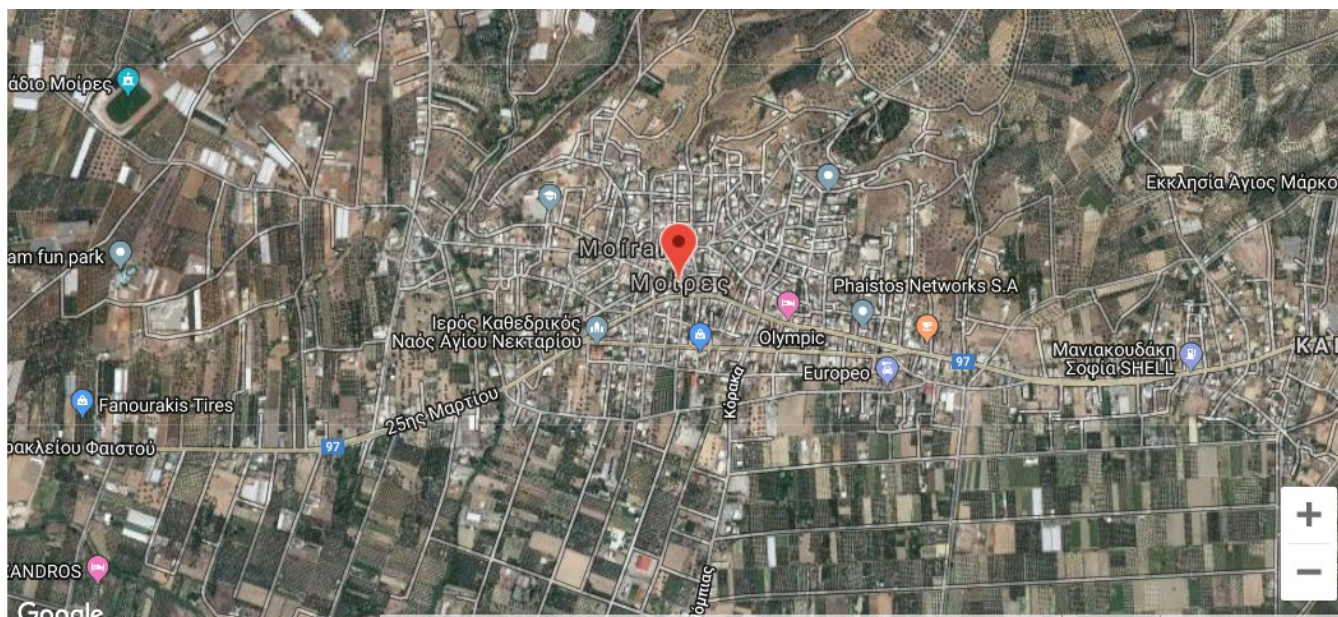
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 Περιγραφή τοποθεσίας της εξεταζόμενης ελαιοκαλλιέργειας

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται μία έκταση ελαιοκαλλιεργειών για άρδευση, με χρήση αυτόνομων ηλιακών αντλιών. Η έκταση βρίσκεται στη κωμόπολη των Μοιρών Ηρακλείου Κρήτης, στη περιοχή της Μεσαράς, με συντεταγμένες $35^{\circ} 3' 32''$ N, $24^{\circ} 52' 38''$ E και υψόμετρο 155 μέτρων (βλέπε Σχήμα 4.2).

Το σενάριο προς μελέτη αφορά την έκταση 10 στρεμμάτων ελαιοκαλλιέργειας, αποτελούμενων από 200 ελαιόδενδρα.



Σχήμα 4.1: Γεωγραφική θέση της κωμόπολης των Μοιρών



Σχήμα 4.2 Γεωγραφική θέση εξεταζόμενης έκτασης

Το πιο κοντινό σημείο διασύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ βρίσκεται σε απόσταση 1000 μέτρα από την έκταση, γεγονός που καθιστά ασύμφορη την τροφοδότησή της από αυτό. Συγκεκριμένα, η προσφορά του ΔΕΔΔΗΕ για την επέκταση του δικτύου έως το χωράφι, ανέρχεται στα 40 €/μέτρο, πράγμα που σημαίνει ότι συνολικά ο πελάτης θα έπρεπε να διαθέσει 40.000 € για την διασύνδεση με το δίκτυο.

4.2 Ορθολογική άρδευση της ελιάς [6],[7]

4.2.1 Υδατικές ανάγκες της ελαιοκαλλιέργειας

Η σημαντική εξάπλωση της ελαιοκαλλιέργειας στην Ελλάδα οφείλεται μεταξύ άλλων και στο γεγονός ότι η ελιά είναι δέντρο ανθεκτικό στην ξηρασία και ενδείκνυται η καλλιέργειά της στις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες της χώρας μας, ενώ μπορεί να είναι παραγωγική ακόμα και όταν δεν αρδεύεται.

Για να έχει η ελιά υψηλή παραγωγή απαιτεί εξασφάλιση ικανοποιητικής υγρασίας, ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο του καλοκαιριού.

Η άρδευση της ελιάς, όταν γίνεται ορθά, επιδρά θετικά στην άνθιση και την καρπόδεση, ενώ συμβάλλει στη μείωση της ετήσιας εναλλαγής μεγάλης και μικρής καρποφορίας (παρενιαυτοφορία), διατηρώντας παράλληλα την ελαιοπεριεκτικότητα σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Τα στάδια της ελιάς, σε ετήσια βάση, ως προς τις υδατικές ανάγκες της είναι:

- Λίγο πριν και ως την άνθιση (Μάρτιος – Μάιος): Την περίοδο αυτή η άρδευση είναι απαραίτητη προκειμένου να έχουμε καλύτερη ανάπτυξη ανθέων, καλύτερη καρπόδεση και βλάστηση.
- Από την καρπόδεση ως τη σκλήρυνση του πυρήνα (Μάιος – Ιούνιος): Περίοδος έντονης ανάπτυξης του καρπού
- Από την ελαιοποίηση ως τη συγκομιδή του καρπού (Αύγουστος – Σεπτέμβριος ή ως τις πρώτες βροχές του φθινοπώρου): με σκοπό την αύξηση της περιεκτικότητας σε λάδι και τη μεγαλύτερη τελική ανάπτυξη της σάρκας του καρπού.

Τα κατώτατα και ανώτατα όρια των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού άρδευσης στα αναπτυγμένα δέντρα ελιάς ορίζονται από 240 έως 290 m³/στρέμμα/έτος.

Η υπερβολική άρδευση, από την άλλη μεριά, μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα όπως ανάπτυξη ζιζανίων, εμφάνιση ασθενειών και συσσώρευση αλάτων (άρδευση με υφάλμυρο νερό). Αναλυτικότερα, την άνοιξη η υπερβολική άρδευση είναι ο καθοριστικός παράγοντας ανάπτυξης της βερτισιλλίσωσης, αλλά και της απώλειας του αζώτου και άλλων θρεπτικών, που είναι απαραίτητα για την καλή καρπόδεση. Τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά και το φθινόπωρο, η υπερβολική άρδευση δύναται να καθυστερήσει την ωρίμανση των ελαίων, να οδηγήσει σε μαλάκωμα των επιτραπέζιων ελιών, σε αύξηση των ζημιών

από το δάκο, ενώ οι όψιμες αρδεύσεις μπορεί να κάνουν πιο ευαίσθητη τη νέα βλάστηση στους παγετούς του χειμώνα.



Παράλληλα, όταν η άρδευση της ελιάς γίνεται εμπειρικά χωρίς επιστημονική καθοδήγηση έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη των υδατικών πόρων.

Για την ορθή άρδευση της ελιάς, ο υπολογισμός των αναγκών σε νερό προσδιορίζεται με βάση τα εδαφο-κλιματικά δεδομένα της κάθε περιοχής, το φυτικό συντελεστή, την ηλικία των δέντρων και τον χρόνο της προηγούμενης άρδευσης.

Οι παρακάτω ενδεικτικές ποσότητες άρδευσης αναφέρονται, ανάλογα με την ηλικία των δέντρων, σε $\text{m}^3/\text{στρέμμα}$ (ενδεικτικός αριθμός 30 ελαιόδεντρων ανά στρέμμα).

- Για δέντρα μεγαλύτερα των 10 ετών (δόση $120 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$)
- Για δέντρα 4-10 ετών (δόση $85 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$)
- Για δέντρα μικρότερα των 4 ετών (δόση $50 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$)



Είναι απαραίτητο να επισημανθεί ότι οι παραπάνω δόσεις άρδευσης περιγράφονται ως μέσες ενδεικτικές τιμές για την Ελληνική Επικράτεια και θα πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με τις τρέχουσες κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής (Βόρεια Ελλάδα λιγότερες ανάγκες – Νότια Ελλάδα περισσότερες ανάγκες).

Επίσης, η μέγιστη δόση που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε πότισμα σχετίζεται με τον τύπο του εδάφους αλλά και την ηλικία των ελαιόδεντρων. Αναλυτικότερα, για δέντρα έως 10 ετών σε ελαφρύ έδαφος συνιστάται εφαρμογή μέγιστης δόσης ίση με 7 m³/στρέμμα, ενώ σε μέσο ή βαρύ έδαφος συνιστάται εφαρμογή μέγιστης δόσης ίσης με 10 m³/στρέμμα. Για δέντρα μεγαλύτερα των 10 ετών που καλλιεργούνται σε ελαφρύ έδαφος συνιστάται εφαρμογή μέγιστης δόσης ίσης με 12 m³/στρέμμα, ενώ σε μέσο ή βαρύ έδαφος συνιστάται εφαρμογή μέγιστης δόσης ίσης με 20 m³/στρέμμα.

Θα πρέπει βέβαια να επισημανθεί ότι, εκτός από την ορθή άρδευση των ελαιόδεντρων, ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στις σωστές καλλιεργητικές πρακτικές, οι οποίες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποθήκευση νερού στο έδαφος και στη μείωση των υδατικών αναγκών των δέντρων.

4.2.2 Ενδεικτικός πίνακας αρδευτικών αναγκών

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός πίνακας αρδευτικών αναγκών για διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένης και της εξεταζόμενης περιοχής των Μοιρών.

Ο πίνακας αυτός παρέχεται από τον ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ-ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ και έχει σκοπό να ενημερώσει τους αγρότες για τις εβδομαδιαίες αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών



ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ -ΓΕΝΙΚΗ Δ/ΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
Ινστιτούτο Ελιάς, Υποτροπικών Φυτών & Αμπέλου
Εργ. Υδατικών Πόρων - Αρδεύσεων & Περιβ/ντικής Γεωπληροφορικής
E-mail: kourgialas@nagref-cha.gr, Τηλ. 28210-83442



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ
Διεύθυνση Αγροτικής Οικονομίας
E-mail: kfotakis@crete.gov.gr, Τηλ. 2813-407901

ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (Περιοχές Π.Ε. Ηρακλείου) (σε κυβικά μέτρα ανά στρέμμα), για την περίοδο: 07-13/6/2018

ΠΕΡΙΟΧΗ *	ΑΡΔΕΥΣΗ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ								
		ΕΛΙΑ (ΑΝΑΠΤΥΓΜΕΝΑ ΔΕΝΤΡΑ)			ΑΜΠΕΛΙ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ (ΑΝΑΠΤΥΓΜΕΝΑ ΠΡΕΜΝΑ)			ΑΜΠΕΛΙ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΟ (ΑΝΑΠΤΥΓΜΕΝΑ ΠΡΕΜΝΑ)		
		ΕΔΑΦΟΣ			ΕΔΑΦΟΣ			ΕΔΑΦΟΣ		
		ΕΛΑΦΡΥ	ΜΕΣΟ	ΒΑΡΥ	ΕΛΑΦΡΥ	ΜΕΣΟ	ΒΑΡΥ	ΕΛΑΦΡΥ	ΜΕΣΟ	ΒΑΡΥ
ΠΕΖΩΝ ΚΟΥΝΑΒΩΝ, ΜΥΡΤΙΑΣ, ΚΑΛΛΟΝΗΣ, ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΙΩΝ	Ανάγκες σε νερό (κ.μ./στρ.)	9	9	9	12	12	12	12	12	12
	Αριθμός Αρδεύσεων	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Δόση Άρδευσης (κ.μ./στρ.)	9	9	9	12	12	12	12	12	12
ΜΟΙΡΩΝ, ΠΕΤΡΟΚΕΦΑΛΙΟΥ, ΠΟΜΠΙΑΣ, ΑΛΗΘΙΝΗΣ, ΚΟΥΣΕ, ΠΕΡΙΟΥ, ΚΑΣΤΕΛΙΟΥ	Ανάγκες σε νερό (κ.μ./στρ.)	11	11	11	14	14	14	14	14	14
	Αριθμός Αρδεύσεων	1	1	1	2	1	1	2	1	1
	Δόση Άρδευσης (κ.μ./στρ.)	11	11	11	7	14	14	7	14	14

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, για την περιοχή των Μοιρών και για την καλλιέργεια της ελιάς, οι εβδομαδιαίες ανάγκες σε νερό ανέρχονται στα 11 m³/στρέμμα/εβδομάδα, με τον αριθμό των αρδεύσεων να είναι μία φορά την εβδομάδα.

4.3 Φορτία και καταναλώσεις

4.3.1 Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας της περιοχής μέσω του λογισμικού PVGIS

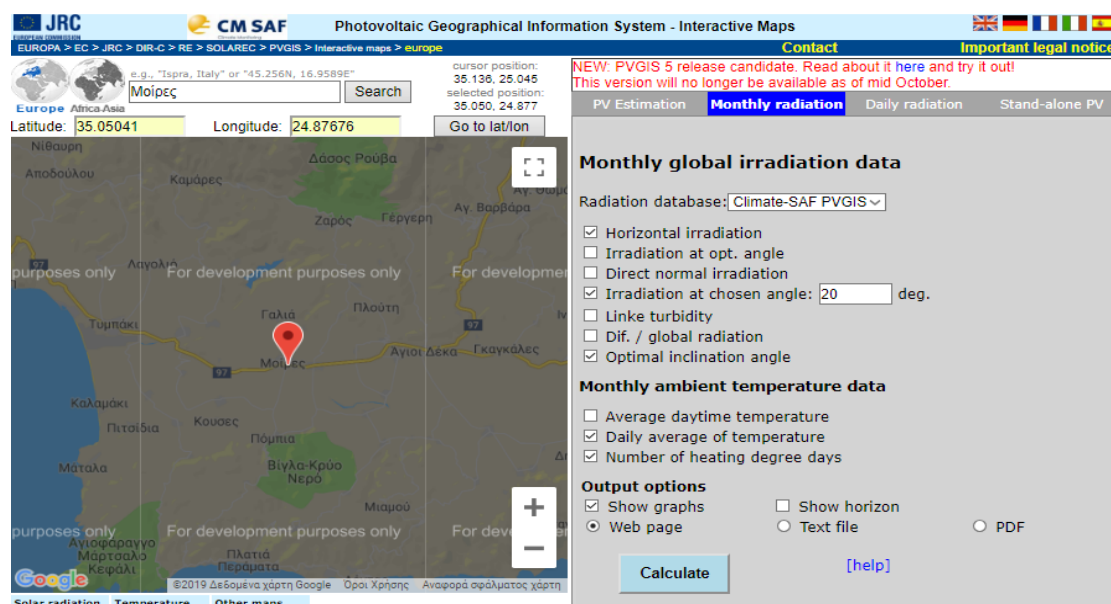
Αφού καθοριστούν οι αρδευτικές ανάγκες της ελαιοκαλλιέργειας, κρίνεται απαραίτητο για την διαστασιολόγηση του συστήματος, ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας της εξεταζόμενης περιοχής. Βάσει αυτών των υπολογισμών, καθορίζεται ο τύπος και το μέγεθος του συστήματος αντλία-κινητήρα,

η δεξαμενή αποθήκευσης, η ισχύς αιχμής των φωτοβολταϊκών πλαισίων και κατ' συνέπεια τα μεγέθη:

1. του ρυθμιστή φόρτισης,
2. των συσσωρευτών και
3. του αντιστροφέα.

Για την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στην περιοχή των Μοιρών, χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο πρόγραμμα προσομοίωσης PVGIS του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Ενέργειας (JRC). Στο πρόγραμμα αυτό εισάγοντας τις συντεταγμένες της περιοχής και την βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών, εμφανίζονται αποτελέσματα μέσης ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m² και μέσης θερμοκρασίας σε °C για κάθε μήνα του έτους.

Το παρόν πρόγραμμα, παρέχει και την δυνατότητα εμφάνισης των δεδομένων με τη μορφή γράφων (figures), οι οποίοι δείχνουν πιο παραστατικά τα αποτελέσματα. Πλήρης αναφορά και ένδειξη αποτελεσμάτων θα γίνει στο Κεφάλαιο 5, όπου θα παρουσιαστεί και η συνολική διαστασιολόγηση του συστήματος.



Σχήμα 4.3: Περιβάλλον λογισμικού PVGIS

4.3.2 Επιλογή συστήματος κινητήρα/αντλίας

Έχοντας επομένως εκτιμηθεί η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής, καθίσταται εφικτή η επιλογή του συστήματος αντλία-κινητήρα, το οποίο θα αναλάβει τη μεταφορά του νερού από την πηγή άρδευσης, έως το σημείο μεταφοράς και αποθήκευσής του.

Στη παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε υποβρύχια αντλία γεώτρησης της εταιρίας “ΚΡΟΝΟΣ” (Σχήμα 4.4), η οποία μπορούσε να αντλεί νερό από σπή μέγιστου βάθους 200 μέτρων.



Σχήμα 4.4: Υποβρύχια αντλία “Κρόνος”.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των υποβρύχιων αντλιών “Κρόνος” είναι:

- Είναι κατάλληλα για άντληση καθαρού, ψυχρού, γλυκού νερού, απαλλαγμένου από αέρια, οξέα, λάσπη ή άμμο.

- Είναι ιδανικά για οικιακή, επαγγελματική και βιομηχανική χρήση.
- Συνδυάζονται ιδανικά με πιεστικά δοχεία, ελεγκτές πίεσεως ή inverters για ομαλή παροχή νερού στην κατανάλωση.
- Τοποθετούνται εύκολα σε πηγάδια, δεξαμενές (οριζόντια ή κάθετη λειτουργία) και γεωτρήσεις.
- Είναι πλήρως ανταλλακτικές και επισκευάσιμες.
- Είναι 100% ελεγμένες και δοκιμασμένες από το εργοστάσιο.
- Μέγιστο βάθος βύθισης : 200 m.
- Μέγιστη θερμοκρασία αντλούμενου νερού: 35 0C
- Ελάχιστη ταχύτητα ροής αντλούμενου νερού για σωστή ψύξη: 0,08 ms⁻¹
- Τα πτερύγια είναι τύπου floating για καλύτερη αντοχή στην άμμο και είναι κατασκευασμένα από Noryl.

Ο κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα μελέτη ήταν ο υποβρύχιος ανοξείδωτος μονοφασικός ηλεκτροκινητήρας Φ4" WORTEx, της εταιρίας “Κρόνος” με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Βαθμός προστασίας IP 68. Κλάση μόνωσης F .
- Ισχύς : 0,75 HP - 3 HP (Μονοφασικός PSC 230 V, 50 Hz) .
- Ειδική σχεδίαση στάτορα για μεγάλη ροπή εκκίνησης στους μονοφασικούς τύπους .
- Τα υλικά κατασκευής του καλωδίου είναι κατάλληλα για χρήση σε πόσιμο νερό .
- Αποσπώμενο καλώδιο τροφοδοσίας μέσω στεγανού συνδέσμου (φίς).
- Υψηλής ποιότητας υλικά κατασκευασμένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπως ο μηχανικός στυπιοθλήπτης, καλώδια, περιέλιξη, μόνωση κ.α.

- Το λάδι του κινητήρα είναι μη τοξικό - αρίστης ποιότητας - άχρωμο σύμφωνα με τις διεθνείς φαρμακευτικές προδιαγραφές (USA FDA, US Pharmacopeia / National Formulary, European Pharmacopeia approved).

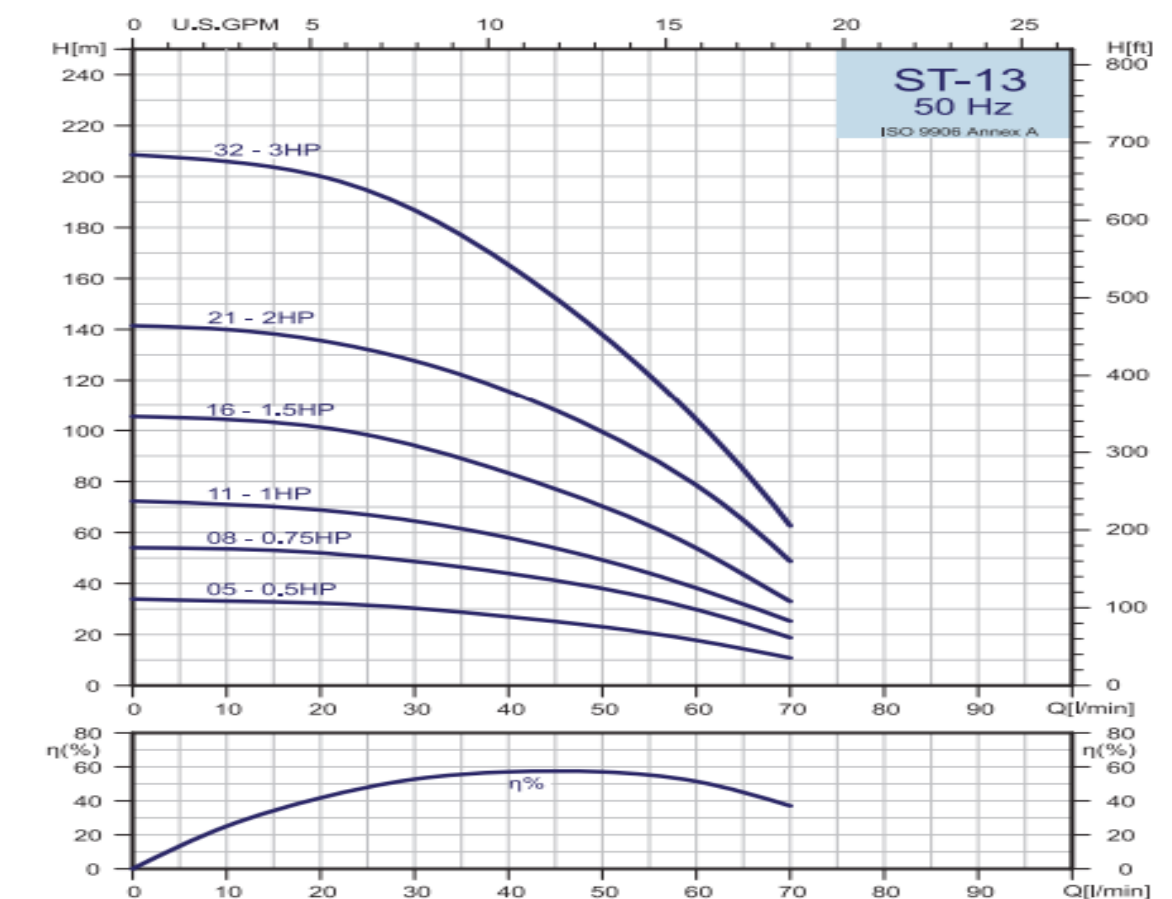
Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σχήμα (Σχήμα 4.5), στο οποίο περιγράφονται τα επιμέρους στοιχεία μίας αντλίας και τα υλικά κατασκευής τους.



Σχήμα 4.5: Περιγραφή εσωτερικού αντλίας “Κρόνος”

Τέλος παρέχονται πληροφορίες από την εταιρεία, σχετικά με τον κατάλληλο συνδυασμό παροχής(m^3/h) και ολικού μανομετρικού ύψους (m). Οι πληροφορίες αυτές δίνονται είτε με την μορφή πινάκων(Σχήμα 4.6), είτε με την μορφή καμπυλών (Σχήμα 4.7) και αποσκοπούν στην διευκόλυνση αγοράς αντλίας ανάλογα με τις υπάρχουσες ανάγκες.

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ		ΜΗΚΟΣ ΑΝΤΑΙΔΑΣ [mm]	ΠΛΑΧΗ m ³ /h																											
	HP	KW		l/min 0	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	360	400				
				m ³ /h 0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	7,2	8,4	9,6	11	12	13	14	16	17	18	22	24				
ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΣ [m]																															
ST 1305	0,5	0,4	236	34	32	31	30	29	28	24	19	13																			
ST 1308	0,8	0,6	289	54	51	50	49	46	43	38	30	19																			
ST 1311	1	0,8	342	72	68	66	64	61	58	49	38	26																			
ST 1316	1,5	1,1	430	106	101	98	95	89	83	70	54	33																			
ST 1321	2	1,5	519	142	135	132	127	122	115	100	79	49																			
ST 1332	3	2,2	749	208	200	194	187	177	165	138	104	62																			
ST 1805	0,5	0,4	257	33		29	28	27	26	24	21	18	13	8	3																
ST 1807	0,8	0,6	301	46		43	42	41	40	37	33	28	21	13	7																
ST 1809	1	0,8	344	59		55	54	52	51	47	43	37	28	20	10																
ST 1814	1,5	1,1	452	93		87	86	83	81	76	68	58	47	33	20																
ST 1818	2	1,5	538	120		113	111	108	105	98	88	75	60	42	25																
ST 1827	3	2,2	767	175		164	161	157	152	141	127	109	87	61	35																
ST 1835	4	3	934	231		217	212	208	202	189	170	149	120	87	50																
ST 1848	5,5	4	1253	322		299	292	285	276	256	231	199	160	118	70																
ST 3507	1	0,8	390	42						36	34	32	30	28	25	19	11														
ST 3510	1,5	1,1	483	62						53	51	48	45	41	38	29	18														
ST 3514	2	1,5	607	90						77	74	71	68	63	59	46	28														
ST 3520	3	2,2	831	125						107	102	97	92	86	80	62	40														
ST 3527	4	3	1048	169						145	139	131	123	115	107	84	55														
ST 3536	5,5	4	1318	221						190	181	173	164	154	143	112	72														
ST 3549	7,5	5,5	1802	302						257	246	234	222	209	193	151	96														
ST 4004	1	0,8	294	26									24	23	22	21	19	17	15	12											
ST 4006	1,5	1,1	356	39									36	35	34	32	29	26	22	17											
ST 4008	2	1,5	418	52									48	47	46	43	39	35	29	24											
ST 4013	3	2,2	573	82									75	73	71	66	59	50	40	30											
ST 4017	4	3	697	108									98	96	94	87	79	70	58	46											
ST 4023	5,5	4	921	148									134	131	127	118	108	95	79	60											
ST 4032	7,5	5,5	1238	202									182	178	172	160	143	125	105	80											
ST 6007	2	1,5	534	45											37	36	33	31	28	25	22	18	14								
ST 6010	3	2,2	690	64											54	52	48	44	41	36	32	26	20								
ST 6014	4	3	989	89											76	72	67	62	56	49	43	35	28								
ST 6019	5,5	4	1195	120											102	97	91	89	76	68	58	48	37								
ST 6026	7,5	5,5	1559	163											136	129	120	111	100	87	75	61	48								
ST 8008	3	2,2	676	51												41	39	37	35	31	29	29	27	24	17	12					
ST 8011	4	3	880	70												57	54	52	49	44	41	41	38	34	24	18					
ST 8015	5,5	4	1149	97												79	76	73	69	63	58	58	54	50	36	27					
ST 8020	7,5	5,5	1489	125												103	99	94	90	80	74	74	70	65	45	36					



Σχήμα 4.7: Καμπύλες δεδομένων αντλίας “Κρόνος”.

4.3.3 Εκτίμηση απαιτούμενης ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Αφού, επομένως, καθοριστεί η επιλογή της αντλίας, πράγμα που σημαίνει επιλογή της απαιτούμενης παροχής (m^3/h), ολικού μανομετρικού ύψους(m) για την μεταφορά του νερού και η ισχύς του μονοφασικού κινητήρα, που θα πρέπει να δουλεύει, μπορούν να καθοριστούν και οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος αντλία-κινητήρα.

Η ενέργεια που απαιτεί μία αντλία για να μπορέσει να αντλήσει νερό στη πλευρά της αναρρόφησης και να το μεταφέρει στη πλευρά της κατάθλιψης ισούται με

το γινόμενο των ωρών λειτουργίας της επί την ισχύ του κινητήρα, που βρίσκεται στον άξονά της. Δηλαδή:

$$E_{\text{αντλίας}}[\text{kWh}] = P_{\text{κινητήρα}}[\text{kW}] T_{\text{λειτουργίας}}[\text{h}] \quad (3.5)$$

4.3.4 Επιλογή δεξαμενής αποθήκευσης νερού

Το νερό στα ηλιακά συστήματα άντλησης νερού μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων σε δεξαμενή αποθήκευση του για μετέπειτα άρδευση. Η δεξαμενή βρίσκεται σε ανυψωμένη τοποθεσία, ώστε η ροή του νερού από αυτήν να γίνεται φυσικά, δηλαδή με την δύναμη της βαρύτητας.

Καθ' όλη τη διάρκεια, κατά την οποία η αντλία γεμίζει την δεξαμενή, θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει υπερχειλίση. Για το λόγο αυτό, τοποθετείται ένας διακόπτης-φλοτέρ, που ρυθμίζει τη στάθμη του νερού μέσα στη δεξαμενή και “ειδοποιεί” την αντλία τότε πρέπει να σταματήσει τη παροχή της.

Τέλος, το μέγεθος της δεξαμενής εξαρτάται, τόσο από τον ρυθμό λειτουργίας της αντλίας, δηλαδή από το πόσο νερό παρέχει κάθε ώρα, όσο και από τη περίοδο άρδευσης, δηλαδή τη συχνότητα με την οποία επιτυγχάνεται ορθολογική άρδευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

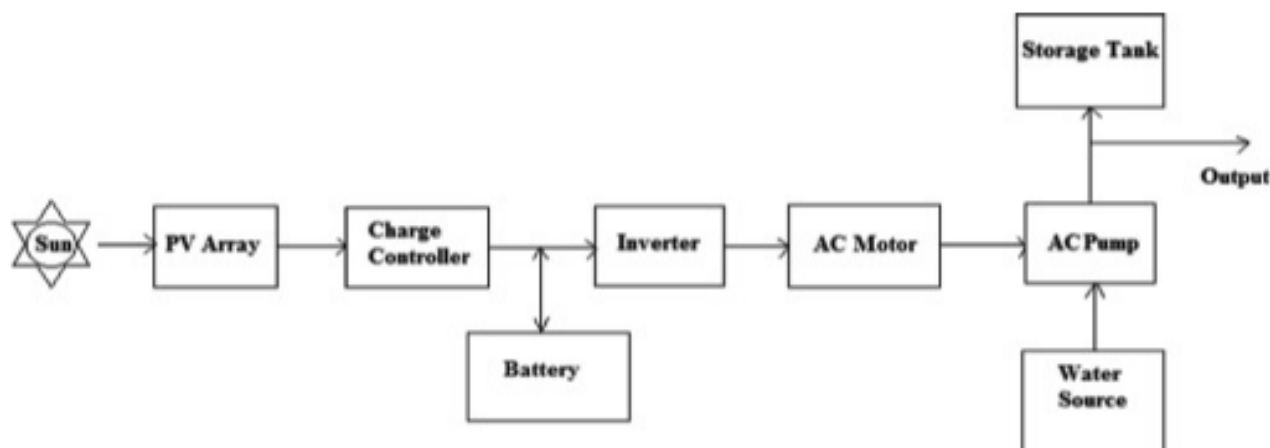
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Εξεταζόμενο σενάριο άρδευσης ελαιοκαλλιέργειας 10 στρεμμάτων

Τα σενάριο, το οποίο θα εξεταστεί περιλαμβάνει την έκταση των 10 στρεμμάτων ελαιοκαλλιέργειας. Θα γίνει πλήρης διαστασιολόγηση του αυτόνομου συστήματος, που σημαίνει πρακτικά ότι θα καθοριστούν:

- Οι απαιτήσεις σε άρδευση για την υπό μελέτη έκταση.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας-κινητήρα που επιλέγεται για να ικανοποιείται η ζήτηση.
- Το μέγεθος και το πλήθος των επιλεγμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Το μέγεθος του επιλεγμένου ρυθμιστή φόρτισης.
- Το μέγεθος και το πλήθος των επιλεγμένων συσσωρευτών.
- Το μέγεθος του αντιστροφέα.
- Το μέγεθος της δεξαμενής αποθήκευσης.

Το γενικό διάγραμμα του αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.1):



Σχήμα 5.1: Block diagram αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας.

5.1.1 Υπολογισμός ημερήσιων απαιτήσεων νερού στο έτος

Το αρχικό βήμα που απαιτείται για την διαστασιολόγηση του συστήματος είναι να καθοριστεί το φορτίο, δηλαδή να αποφασιστούν ποιες είναι οι ανάγκες σε νερό της ελαιοκαλλιέργειας.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4 για την ορθολογική χρήση του νερού και ακολουθώντας τον Πίνακα 4.1 (4.2.2 Ενδεικτικός πίνακας αρδευτικών αναγκών), καθορίζονται τα εξής:

- Η ελαιοκαλλιέργεια περιλαμβάνει 200 ελαιόδενδρα (ενδεικτικός αριθμός 20 ελαιόδεντρων ανά στρέμμα) .
- Το πότισμα ξεκινάει από το μήνα Απρίλιο μέχρι τον μήνα Οκτώβριο.
- Οι ανάγκες σε νερό είναι $11 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}/\text{εβδομάδα}$. Επομένως για τα 10 στρέμματα, οι εβδομαδιαίες ανάγκες είναι $110 \text{ m}^3/\text{εβδομάδα}$ και οι καθημερινές απαιτήσεις σε νερό φτάνουν περίπου στα $15,71 \text{ m}^3/\text{μέρα}$.

- Οι παραπάνω ημερήσιες απαιτήσεις είναι ίδιες και για τους 7 μήνες (Απρίλιο-Οκτώβριο).

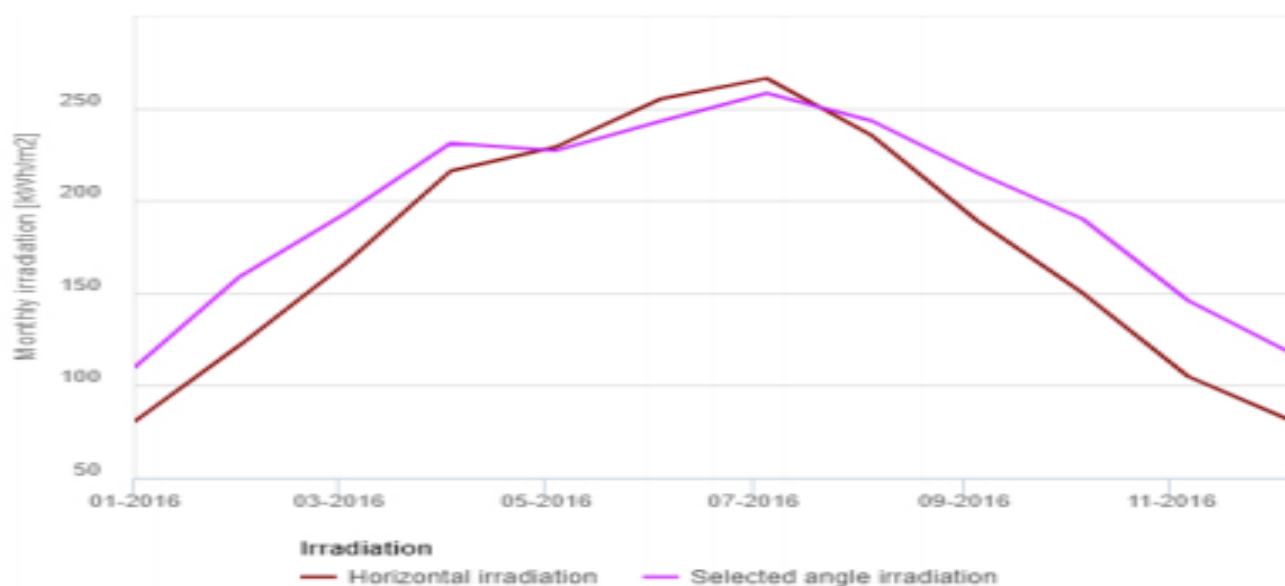
5.1.2 Υπολογισμός έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας της περιοχής

Για τον ακριβή υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στη περιοχή των Μοιρών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης PVGIS του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Ενέργειας (JRC). Ως δεδομένα εισόδου περάστηκαν:

1. Οι ακριβείς συντεταγμένες της εξεταζόμενης περιοχής (Γεωγραφικό πλάτος: 35,051, Γεωγραφικό μήκος: 24,873)
2. Το έτος, στο οποίο εξετάζονται οι μετρήσεις. Στο παρόν πρόγραμμα, ως έτος επιλέχτηκε το 2016, το οποίο ήταν και το πιο πρόσφατο.
3. Η βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών, η οποία προσδιορίστηκε στις 20°. Η βέλτιστη γωνία κλίσης, είναι η γωνία εκείνη με την οποία τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο, προκειμένου να δέχονται το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς να έχουν την μέγιστη δυνατή απόδοση, για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Για μια επιφάνεια σε έναν συγκεκριμένο τόπο, η αύξηση της κλίσης της έχει σαν αποτέλεσμα να δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τον χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι, είναι σύνηθες σε ηλιακές εφαρμογές που απαιτείται να γίνει χρήση της ηλιακής ενέργειας τον χειμώνα, η κλίση τους να είναι μεγάλη ενώ αν η χρήση γίνεται το καλοκαίρι η κλίση τους να είναι μικρή. Στην συγκεκριμένη μελέτη, σαν χρονική περίοδος ορίζεται κυρίως η θερινή, οπότε η κλίση θα έχει μία τιμή μειωμένη κατά 15° από την τιμή που ορίζει το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (35°).

Στην έξοδό του το πρόγραμμα, παρουσίαζε αναλυτικά για κάθε μήνα τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Σχήμα 5.2), καθώς και τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν στη περιοχή (Σχήμα 5.3).

Monthly solar irradiation estimates



Global horizontal irradiation		Global at user angle	
Month	2016	Month	2016
January	80.7	January	110
February	122	February	159
March	166	March	193
April	216	April	231
May	229	May	227
June	255	June	243
July	266	July	258
August	235	August	243
September	189	September	215
October	150	October	190
November	105	November	146
December	80.6	December	117

Σχήμα 5.2: PVGIS αποτέλεσμα: Οριζόντια προσπίπτουσα ακτινοβολία(κόκκινο) και ακτινοβολία με κλίση 20°(μωβ).

Monthly average temperature



Monthly average temperature

Month	2016
January	14.5
February	15.5
March	15.2
April	17.5
May	19.2
June	23.1
July	25.5
August	25.5
September	24.4
October	22.1
November	19.4
December	13.8

Σχήμα 5.3: PVGIS: Μηνιαίες θερμοκρασιακές μετρήσεις.

5.1.3 Εκτίμηση του απαιτούμενου ποσοστού ροής της αντλίας

Αρκετοί κατασκευαστές παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις προδιαγραφές των αντλιών, χρησιμοποιώντας ποσοστά ροής μετρούμενα σε m^3/h ή L/h ή L/min , ώστε να καθίσταται εφικτή η εκτίμηση του ποσοστού ροής της αντλίας άμεσα.

Αυτά τα ποσοστά ροής μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας την καθημερινή μέση ηλιακή ενέργεια, που μετράται σε PSH (peak sun hours). Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία μέρα, μετράται σε kWh/m^2 ή σε PSH, όπου $1 \text{ PSH} = 1 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{day}$.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των PSHs σε μία περιοχή για μία μέση μέρα, τόσο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία είναι διαθέσιμη για την συγκεκριμένη τοποθεσία κάθε μέρα.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας του Σχήματος 5.2, υπολογίζονται τα PSH για κάθε μέρα κάθε μήνα και παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1)

Πίνακας 5.1: Ηλιακή ακτινοβολία σε PSH για την περιοχή των Μοιρών

ΜΗΝΑΣ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ(kWh/m ²)	PSH για Φ/Β με κλίση 20°
Απρίλιος	231	7,7
Μάιος	227	7,32
Ιούνιος	243	8,1
Ιούλιος	258	8,32
Αύγουστος	243	7,83
Σεπτέμβριος	215	7,16
Οκτώβριος	190	6,12

Για να υπολογιστεί επομένως το ποσοστό ροής ανά ώρα, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση 5.1:

$$\text{Ποσοστό ροής[κμ/ώρα]} = \frac{\text{Καθημερινές απαιτήσεις ροής[m}^3\text{/day]}}{\text{Μέση καθημερινή ακτινοβολία[PSH]}} \quad (5.1)$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 5.2)

Πίνακας 5.2: Εκτιμώμενο ποσοστό ροής για κάθε ώρα κάθε μήνα.

ΜΗΝΑΣ	ΕΚΤΙΜΟΥΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΡΟΗΣ (m ³ /h)	ΜΗΝΑΣ	ΕΚΤΙΜΟΥΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΡΟΗΣ (m ³ /h)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	...	ΙΟΥΛΙΟΣ	...
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	...	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	...
ΜΑΡΤΙΟΣ	...	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	...
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	...	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	...
ΜΑΙΟΣ	...	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	...
ΙΟΥΝΙΟΣ	...	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	...

Προκειμένου, λοιπόν να προσδιοριστεί η τιμή του ποσοστού ροής της αντλίας, χρησιμοποιούνται τρεις εναλλακτικές επιλογές.

1. Χρησιμοποιείται ως ποσοστό ροής, η υψηλότερη τιμή του ποσοστού, το οποίο σημαίνει ότι η αντλία θα πρέπει να μεταφέρει την απαιτούμενη ποσότητα νερού σε καθημερινή βάση ακόμα και τον χειρότερο μήνα ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ θα αντλεί περίσσια ποσότητα νερού τους υπόλοιπους μήνες.
2. Χρησιμοποιείται ως ποσοστό ροής, η χαμηλότερη τιμή του ποσοστού, το οποίο σημαίνει ότι η αντλία θα πρέπει να μεταφέρει την απαιτούμενη ποσότητα νερού σε καθημερινή βάση μόνο τον καλύτερο μήνα ηλιακής ακτινοβολίας και λιγότερο στους άλλους μήνες.
3. Χρησιμοποιείται ως ποσοστό ροής, μία ενδιάμεση τιμή του ποσοστού, το οποίο σημαίνει ότι η αντλία θα μεταφέρει λιγότερη από την απαιτούμενη ποσότητα νερού σε καθημερινή βάση τον χειρότερο μήνα ηλιακής ακτινοβολίας και περισσότερη τους πιο ηλιόλουστους μήνες.

Στη παρούσα μελέτη το ποσοστό ροής/ώρα για κάθε υπό εξέταση μήνα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.3)

Πίνακας 5.3: Ποσοστό ροής αντλίας 10 στρεμμάτων ελαιοκαλλιέργειας στις Μοίρες

ΜΗΝΑΣ	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΕΣ ΑΠΙΤΗΣΕΙΣ(m ³ /day)	PSH	ΠΟΣΟΣΤΟ ΡΟΗΣ(m ³ /h)
Απρίλιος	15,71	7,70	2,04
Μάιος	15,71	7,32	2,14
Ιούνιος	15,71	8,10	1,94
Ιούλιος	15,71	8,32	1,88
Αύγουστος	15,71	7,83	2,00
Σεπτέμβριος	15,71	7,16	2,19
Οκτώβριος	15,71	6,12	2,56

Λόγω της ανάγκης να παρέχεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού στην ελαιοκαλλιέργεια τους παραπάνω μήνες, επιλέγεται ως ποσοστό ροής της αντλίας η υψηλότερη τιμή του ποσοστού, η οποία δίνεται για τον μήνα Οκτώβριο και

αντιστοιχεί περίπου σε 2,70 m³/ώρα, ενώ ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας ορίζεται στις 6 ώρες περίπου την ημέρα.

5.2 Επιλογή συστήματος κινητήρα/αντλίας

5.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας/κινητήρα

Η αντλία που επιλέγεται είναι της εταιρίας “Κρόνος” και συγκεκριμένα ο τύπος ST 1311. Είναι υποβρύχια και φυγόκεντρη, ενώ διαθέτει και τα εξής χαρακτηριστικά:

Στοιχεία λειτουργίας

- Παροχή: 2,7 m³/h.
- Ολικό μανομετρικό ύψος: 54 m.
- Στόμιο εξαγωγής: 1 1/4’’.
- Εξωτερική διάμετρος με προφυλακτήρα: 96 mm.
- Αντλούμενο ρευστό: Νερό 100 %.
- Μέγιστη θερμοκρασία αντλούμενου νερού: 35 °C.
- Μήκος αντλίας: 342 mm.

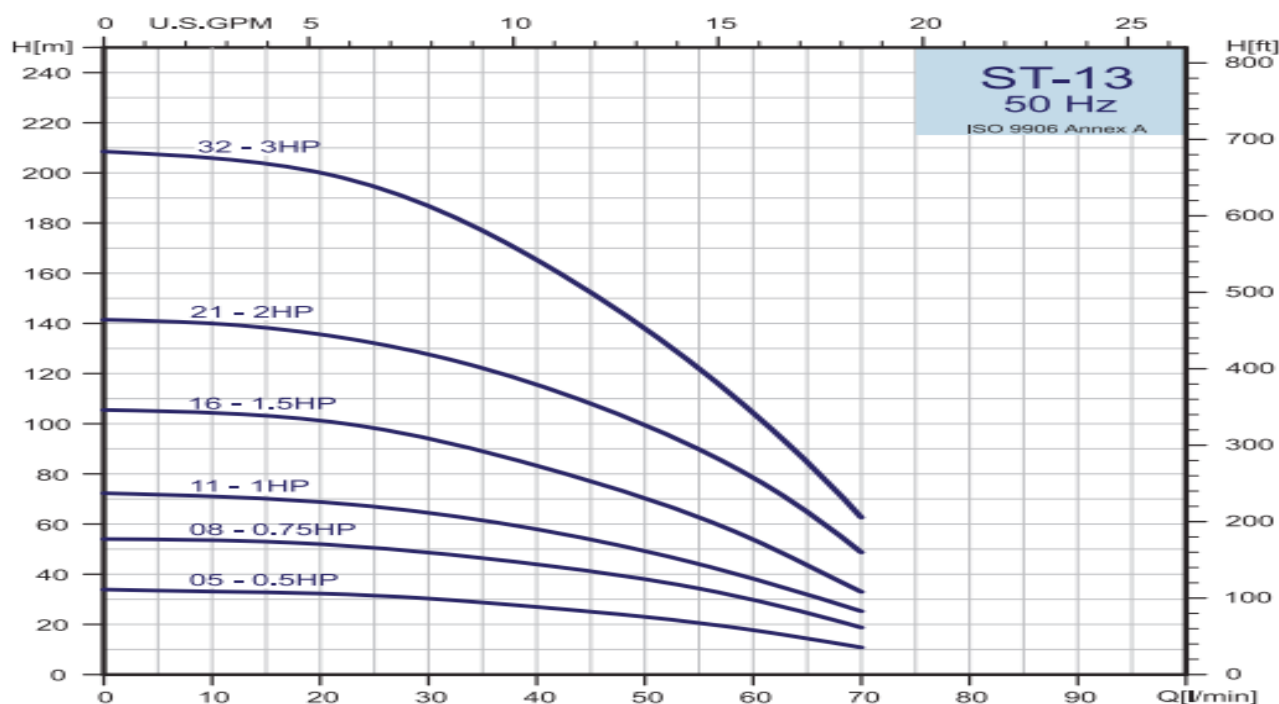
Υλικά κατασκευής

- Πτερύγια από Noryl της General Electrica.
- Βαθμίδες από διάφανο Lexan.
- Άξονα εξάγωνο από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304.
- Σώμα αντλίας από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 πάχους 1,5 mm.
- Φίλτρο από ανοξείδωτο χάλυβα SS 304.
- Κόμπλερ από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304.

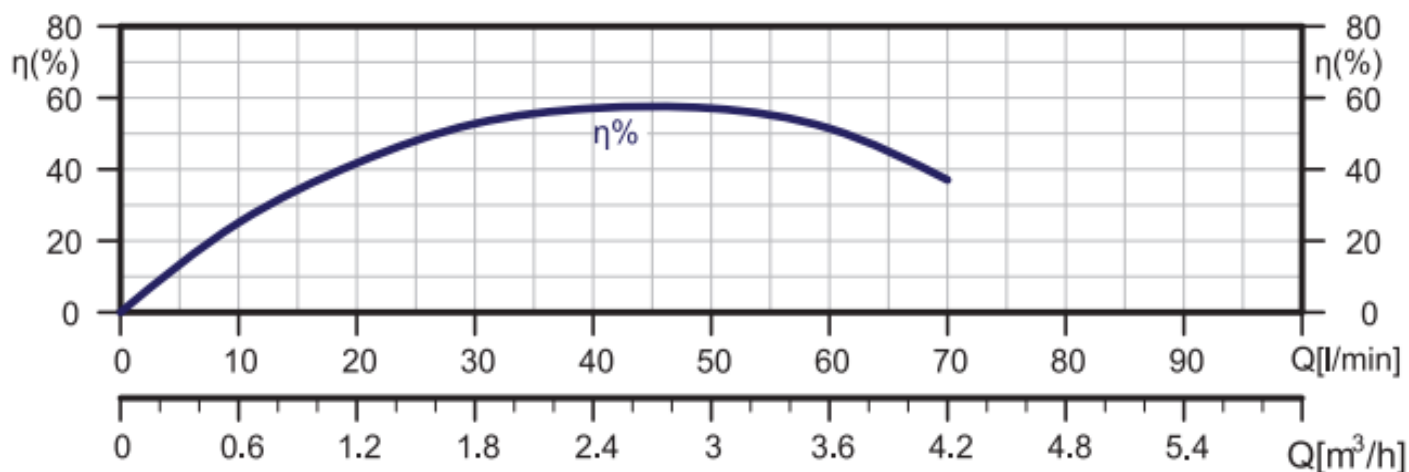
Ο κινητήρας που αντιστοιχεί στη παραπάνω αντλία είναι ο υποβρύχιος ανοξείδωτος ηλεκτροκινητήρας Φ4" WORTOX. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Είναι μονοφασικός τάσεως 230 V και συχνότητας 50 Hz.
- Έχει ονομαστική ισχύ (P2) ίση με 1 HP ή 0,75 KW.
- Ο ονομαστικός αριθμός στροφών του είναι ίσος με 2840 στροφές/λεπτό.
- Έχει μήκος ίσο με 380mm.
- Διαθέτει πυκνωτή εκκίνησης ίσο με 25μF.
- Το ονομαστικό ρεύμα του είναι ίσο με 5,7 A.
- Έχει συντελεστή απόδοσης ίσο με 0,64.
- Συντελεστή ισχύος ίσο με 0,9.
- Βαθμό προστασίας: IP 68.
- Κλάση μόνωσης: F.

Παρακάτω παρουσιάζονται με τη μορφή καμπυλών τα χαρακτηριστικά της αντλίας(παροχή- μανομετρικό ύψος) (Σχήμα 5.4), η απόδοση της αντλίας βάσει της δεδομένης παροχής της (Σχήμα 5.5) και τα χαρακτηριστικά του κινητήρα που χρησιμοποιείται (Πίνακας 5.4).



Σχήμα 5.4: Καμπύλη αντλίας ST-1311. Παρατηρείται ότι για παροχή 45 L/min που αντιστοιχεί στα 2,7 m³/h και για κινητήρα ισχύος 1 hp, το ολικό μανομετρικό ύψος της αντλίας είναι 54 m.



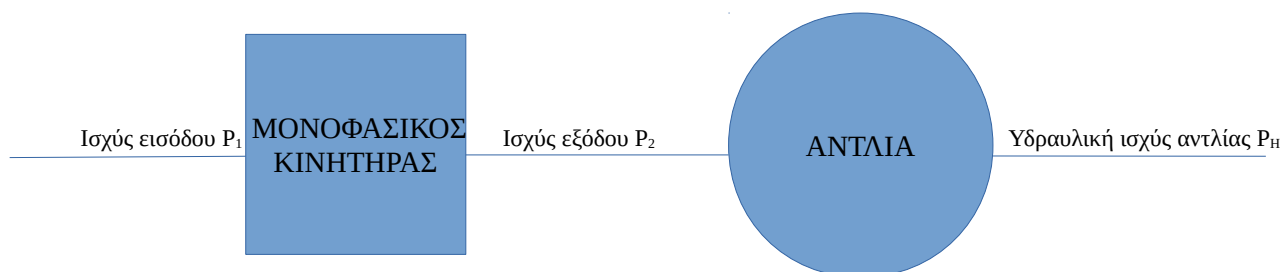
Σχήμα 5.5: Καμπύλη απόδοσης αντλίας ST-1311. Για την δεδομένη παροχή των 2,7m³/h, η απόδοση της αντλίας είναι περίπου ίση με 53%.

Πίνακας 5.5: Χαρακτηριστικά μονοφασικού κινητήρα

Μονοφασικός τύπος 230 V , 50 Hz , PSC

ΙΣΧΥΣ		I_n	ΑΠΟΔΟΣΗ	PF	N_n	ΠΥΚΝΩΤΗΣ	Ωστικό Έδρανο	ΜΗΚΟΣ
HP	KW	A	%	$\cos\phi$	RPM	μF	N	mm
1	0,75	5,7	64	0,90	2840	25	2000	380
1,5	1,1	7,8	68	0,90	2850	35	2000	405
2	1,5	9,8	73	0,90	2850	40	2000	440
3	2,2	15	72	0,88	2820	55	3000	495

Το σχήμα που περιγράφει το σύστημα κινητήρα-αντλία και στο οποίο αναγράφονται οι παράμετροι ισχύος εισόδου και εξόδου είναι το επόμενο (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6: Σύστημα κινητήρα-αντλίας. Η ισχύς εισόδου P_1 είναι η ισχύς που δέχεται ο κινητήρας στη είσοδο του. Η ισχύς P_2 είναι η ωφέλιμη ισχύς που παρουσιάζεται στη έξοδο του κινητήρα και ταυτόχρονα αποτελεί την μηχανική ισχύ στον άξονα της αντλίας. Η υδραυλική ισχύς P_H είναι η ισχύς στην έξοδο της αντλίας που ασκείται στο νερό.

Από το παραπάνω σχήμα υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

- Η υδραυλική ισχύς της αντλίας (P_H) υπολογίζεται από την σχέση $P_H = \rho g H_M Q$ (Σχέση 5.2), όπου $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα του νερού, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας, $H_M = 54 \text{ m}$ το ολικό μανομετρικό ύψος της αντλίας και $Q = 2,7 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00075 \text{ m}^3/\text{s}$ η συνολική ημερήσια παροχή της αντλίας. Προκύπτει επομένως η υδραυλική ισχύς $P_H = 397,3 \text{ Watts}$.
- Η μηχανική ισχύς στον άξονα της αντλίας (P_2) σύμφωνα με τις προδιαγραφές του επιλεγμένου κινητήρα, ισούται με $1 \text{ HP} = 755 \text{ Watts}$.

- Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου του κινητήρα (P_1), δίνεται από την σχέση $P_1 = I_1 V_1 \cos\phi$, όπου $I_1 = 5,7$ A το ρεύμα εισόδου που δέχεται ο κινητήρας, $V_1 = 230$ Volts η τάση λειτουργίας του μονοφασικού κινητήρα και $\cos\phi = 0,9$ ο συντελεστής ισχύος του. Προκύπτει επομένως ότι $P_1 \approx 1180$ Watts.
- Η απόδοση της αντλίας (η_A), προκύπτει από τον λόγο της υδραυλικής ισχύς της (P_H) προς την ισχύ εισόδου στον άξονα της (P_2). Προκύπτει επομένως ότι $\eta_A = 0,53$ ή 53%.
- Η απόδοση του κινητήρα (η_K), προκύπτει από τον λόγο της ισχύς εξόδου (P_2) προς την ισχύ εισόδου (P_1). Προκύπτει επομένως ότι $\eta_K = 0,64$ ή 64%.
- Η απόδοση του συστήματος κινητήρα-αντλία ($\eta_{\text{συστήματος}}$), μπορεί να υπολογιστεί είτε ως ο λόγος της υδραυλικής ισχύος (P_H) προς την ισχύ εισόδου (P_1), είτε ως το γινόμενο της απόδοσης της αντλίας (η_A) επί την απόδοση του κινητήρα (η_K). Και στις δύο περιπτώσεις, προκύπτει $\eta_{\text{συστήματος}} = 0,34$ ή 34%.

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στο παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 5.6).

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα διαστασιολόγησης αντλία-κινητήρα

	ΑΝΤΛΙΑ	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
ΙΣΧΥΣ (W)	397,3	755
ΑΠΟΔΟΣΗ (%)	53	64

5.2.2 Υπολογισμός ολικού μανομετρικού ύψους

Το ολικό μανομετρικό ύψος αναπαριστά την συνολική αντίσταση που συναντά το νερό κατά τη μεταφορά του από την πηγή μέχρι το σημείο μεταφοράς ή αποθήκευσής του. Η αντλία πρέπει να έχει τις κατάλληλες προδιαγραφές για να ξεπεράσει αυτές τις αντιστάσεις, ώστε να είναι ικανή να μεταφέρει το νερό στον απαιτούμενο προορισμό του. Το ολικό μανομετρικό ύψος περιλαμβάνει το ύψος μέσω του οποίου το νερό χρειάζεται να ανυψωθεί (στατικό ύψος), καθώς επίσης και τις απώλειες λόγω τριβών που προκύπτουν από την ροή των σωληνώσεων (δυναμικό ύψος). Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3 και συγκεκριμένα στο υποκεφάλαιο 3.6.4 Σχεδιαστικές παράμετροι: ροή και ολικό μανομετρικό ύψος ισχύει η σχέση 5.3:

$$\text{Ολικό μανομετρικό ύψος} = \text{στατικό ύψος} + \text{δυναμικό ύψος} \quad (5.3)$$

Υπολογισμός στατικού ύψους

Το στατικό ύψος, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι η κάθετη απόσταση, στην οποία το νερό ταξιδεύει για να καταλήξει στο σημείο μεταφοράς ή αποθήκευσής του.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της υποβρύχιας αντλίας το στατικό ύψος είναι το άθροισμα του επιπέδου ανάληψης του νερού, δηλαδή του ύψους ανάμεσα στην αντλία και του συνολικού επιπέδου του νερού, του στατικού επιπέδου του νερού, δηλαδή το επίπεδο στο οποίο η αντλία δεν βρέχεται και το επίπεδο ανύψωσης του νερού, το οποίο είναι το ύψος ανάμεσα στη δεξαμενή αποθήκευσης και της επιφάνειας του εδάφους. Ισχύει δηλαδή η σχέση 5.4:

$$\text{Στατικό ύψος} = \text{επίπεδο ανάληψης} + \text{στατικό επίπεδο} + \text{ανύψωση από επιφάνεια} \quad (5.4)$$

Η αντλία μεταφέρει νερό από οπή βάθους 30 m και το μεταφέρει μέσω σωληνώσεων σε υψομετρική διαφορά ίση με 20 m σε δεξαμενή αποθήκευσης. Επομένως το στατικό ύψος υπολογίζεται ίσο με 50 m (Σχήμα 5.7 και Σχήμα 5.8).

Υπολογισμός δυναμικού ύψους

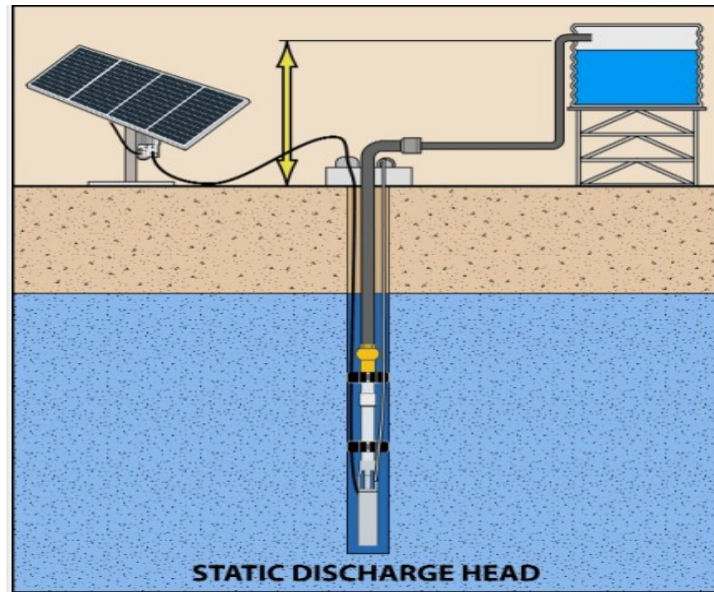
Ο υπολογισμός του δυναμικού ύψους της αντλίας είναι αρκετά πολύπλοκος. Γενικά οι απώλειες τριβής δυναμικού ύψους, καθορίζονται κυρίως από την διάμετρο των σωληνώσεων. Όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος της σωλήνας, τόσο μικρότερο είναι το δυναμικό ύψος, ειδικά σε εφαρμογές άντλησης υψηλής παροχής.

Για την επιλογή επομένως των σωληνώσεων, σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου και υλικού της σωλήνας. Ο κατάλληλος συνδυασμός αυτών των παραμέτρων μειώνει τις απώλειες τριβών, παρόλο που αυξάνει το κόστος του συστήματος.

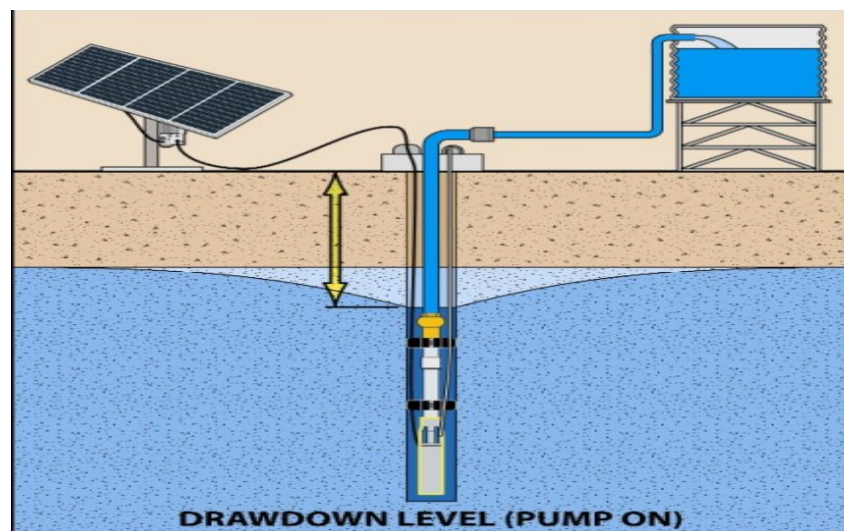
Για τον ακριβή υπολογισμό του δυναμικού ύψους, λόγω του ότι είναι περίπλοκος ο προσδιορισμός του χειρόγραφα, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή “Total dynamic Head Calculator”, του επίσημου site της “pump world” [19]. Οι ακριβείς μαθηματικές σχέσεις υπολογισμού του δυναμικού ύψους αναγράφονται στη σελίδα 102 του paper [3].

Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές:

1. Το ποσοστό ροής της αντλίας ίσο με 2,7 m³/h.
2. Η συνολική ανύψωση του νερού ίση με 50m.
3. Το μήκος της σωλήνας ίσο με 330 m. Η σωλήνα χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το νερό από την επιφάνεια του εδάφους, μέχρι το σημείο αποθήκευσής της στη δεξαμενή.
4. Η διάμετρος της σωλήνας ίση με 39mm και το υλικό κατασκευής από πλαστικό.



Σχήμα 5.7: Απόσταση ανύψωσης νερού ίση με 20 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 5.8: Στατικό επίπεδο νερού (η αντλία δεν βρέχεται) ίσο με 15 m και επίπεδο ανάληψης(ύψος ανάμεσα στη αντλία και το επίπεδο νερού) ίσο με 15 m.

Στη έξοδό του το πρόγραμμα υπολογίζει το ολικό μανομετρικό ύψος ίσο με 54 m. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι το στατικό ύψος είναι ίσο με 50 m και το δυναμικό ύψος ίσο με 4 m (Σχήμα 5.9).

Pump Flow Rate	Pipe Diameter(ID)	Pipe Length	Differential Elevation	Pipe Material	Total Dynamic Head(TDH)
m ³ /hr ▾	mm ▾	m ▾	m ▾	Plastic ▾	m ▾
2.7	39	330	50		53.9295863663558
<div> <div>Compute Total Dynamic Head(TDH)</div> <div>Reset</div> </div>					

Σχήμα 5.9: Υπολογισμός του ολικού μανομετρικού ύψους.

5.2.3 Επιλογή δεξαμενής αποθήκευσης

Η δεξαμενή που χρησιμοποιήθηκε ήταν κυλινδρικού σχήματος με ακτίνα 2 m και ύψος 9,6 m. Επομένως ο όγκος της υπολογίζεται από τη σχέση 5.5:

$$V = \pi r^2 h = 120 \text{ m}^3 \quad (5.5)$$

, όπου $\pi = 3,14$, r η ακτίνα του κυλίνδρου και h το ύψος του κυλίνδρου

Το μέγεθος αυτό επιλέχθηκε λόγω του ότι η ορθολογική χρήση ποτίσματος ορίστηκε στη μία φορά την βδομάδα και οι συνολικές απαιτήσεις ποτίσματος ορίστηκαν στα 110 m³ την εβδομάδα.

5.3 Υπολογισμός καταναλισκόμενης ενέργειας

5.3.1 Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας

Για να γίνει εφικτή η διαστασιολόγηση του συστήματος, δηλαδή όλων των στοιχείων που παράγουν ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του φορτίου, θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης.

Η ημερήσια καταναλισκόμενη ενέργεια της αντλίας εξαρτάται από το χρόνο που λειτουργεί μέσα σε μία μέρα, δηλαδή από τις ώρες λειτουργίας ανά ημέρα και από την ισχύ που δουλεύει ο κινητήρας.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, η ηλεκτρική ισχύς του κινητήρα είναι $P_2=0,75 \text{ kW}$ και ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας $T=6 \text{ h/day}$.

Επομένως, η ημερήσια ενέργεια που χρειάζεται η αντλία για να λειτουργήσει δίνεται από την Σχέση 5.6:

$$E_{\text{αντλίας}} = P_2 T = 4,5 \text{ kWh/day} \quad (5.6)$$

όπου $P_2=0,75 \text{ kW}$ η ηλεκτρική ισχύς του κινητήρα και $T=6 \text{ h/day}$, ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας.

5.4 Επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων

5.4.1 Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών πλαισίων

Όπως αναφέρθηκε και πριν, η βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών, δηλαδή η γωνία εκείνη με την οποία τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο, προκειμένου να δέχονται το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς να έχουν την μέγιστη δυνατή απόδοση, για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, προσδιορίστηκε στις 20° .

Σχετικά με τον προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων, θα πρέπει να προσδιοριστεί η αζιμούθια γωνία. Η αζιμούθια γωνία με μηδενικές μοίρες ($\alpha = 0^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του Φ/Β πλαισίου προς το Νότο, ενώ η γωνία $\alpha = 90^\circ$ προς τη Δύση, η $\alpha = -90^\circ$ προς την Ανατολή και η $\alpha = -180^\circ$ προς τον Βορρά. Στο βόρειο ημισφαίριο, τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται προς τον Νότο ($\alpha = 0^\circ$), ενώ στο νότιο ημισφαίριο τοποθετούνται προς τον Βορρά ($\alpha = -180^\circ$).

Στην παρούσα μελέτη η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης 20°, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό.

5.4.2 Υπολογισμός ισχύος αιχμής και παραγόμενης ενέργειας

Για τον υπολογισμό της ισχύος αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας χρησιμοποιήθηκε η σχέση 5.7:

$$P_{p\Sigma} = \frac{E_{\text{αντλίας}} P_{\text{STC}} m N}{E_{\text{HA}} \sigma_{\text{ΑΣ}} \sigma_{\mu} (N-n)} \quad (5.7)$$

όπου,

- $P_{\text{STC}} = 1 \text{ kW/m}^2$ η ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC.
- $m=1,2$ ο συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων.
- $E_{\text{HA}} = 6,12 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$, η ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία επιλέχθηκε για τον δυσμενέστερο μήνα (Οκτώβρη).
- $\sigma_{\theta} = 1 - [(t_a + 30) - 25] \cdot 0,004 = 0,892$, η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα τον Οκτώβριο, όπου $t_a = 22^{\circ}\text{C}$.
- $\sigma_{\text{ΑΣ}} = 0,77$, $\sigma_{\theta} = 0,686$, ο συντελεστής απωλειών συστοιχίας για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα,
- $\sigma_{\mu} = 0,85$ ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας της εγκατάστασης,
- $N = 31$ μέρες, η χρονική περίοδος αναφοράς και
- $n = 1$ μέρα, ο αριθμός ημερών αυτονομίας (μη ηλιοφανείς ημέρες).

Προκύπτει επομένως από τα παραπάνω ότι η ισχύς αιχμής Φ/Β συστοιχίας $P_{p\Sigma}$ είναι ίση με περίπου 1,5 kW.

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας των φωτοβολταϊκών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης PVGIS του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Ενέργειας (JRC). Στο παρακάτω Σχήμα 5.10 παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου, ενώ στο Σχήμα 5.11, δείχνεται η παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών για την κάλυψη της ημερήσιας ζήτησης.

PERFORMANCE OF OFF-GRID PV SYSTEMS

Solar radiation database* PVGIS-CMSAF

Installed peak PV power [Wp] * 1500

Battery capacity [Wh] * 13104

Discharge cutoff limit [%] * 30

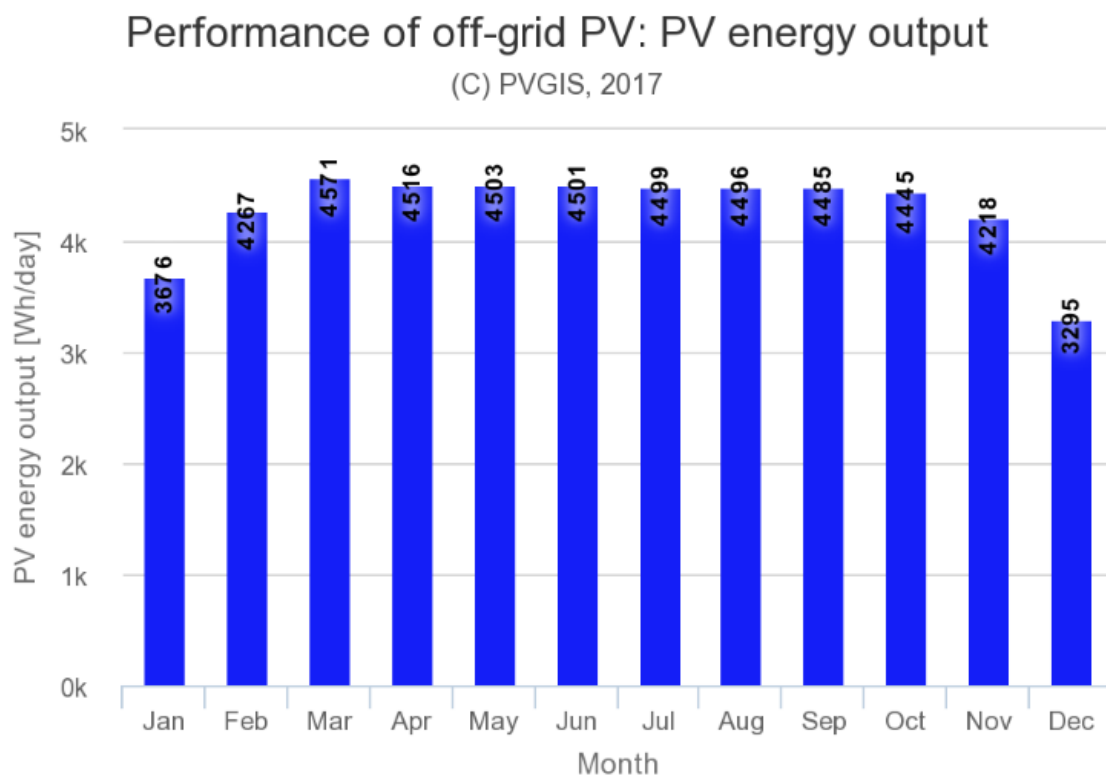
Consumption per day [Wh] * 4500

☐ Upload consumption data Επιλογή αρχείου Δεν επιλέχθ

Slope [°] * 20

Azimuth [°] * 0

Σχήμα 5.10: Δεδομένα εισόδου για το λογισμικό PV-GIS. Περιλαμβάνονται η εγκατεστημένη ισχύς των Φ/Β ίση με 1500 W, η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών ίση με 13104 Wh, το μέγιστο βάθος εκφόρτισης ίσο με 30%, η ημερήσια κατανάλωση ίση με 4500 Wh, η βέλτιστη γωνία κλίση των Φ/Β ίση με 20° και το αζιμούθιο ίσο με 0°.



Σχήμα 5.11: Μέση παραγωγή ενέργειας από το PVGIS. Παρατηρείται ότι η παραγωγή των Φ/Β καλύπτει για όλους τους μήνες την απαιτούμενη ενέργεια ακόμη και για τον δυσμενέστερο μήνα(Οκτώβρης).

5.4.3 Επιλογή και χαρακτηριστικά πλαισίου

Η επιλογή των πλαισίων που θα τοποθετηθούν, έχει να κάνει κυρίως με τον τύπο και την ισχύ τους. Η αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων έγινε για πάνελ μεγάλης ισχύος (250 W), για να υπάρξει μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ανά μονάδα επιφάνειας.

Όσον αφορά τον τύπο, δηλαδή την τεχνολογία των πλαισίων, αναζητήθηκαν πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το αυξημένο κόστος σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικού πυριτίου, αντισταθμίζεται από την αυξημένη απόδοσή τους. Μετά από αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων επιλέχθηκαν τα Φ/Β πλαίσια της εταιρίας JA

SOLAR και μάλιστα το μοντέλο JAM6 60-250/SI, το οποίο πληρούσε όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές που απαιτεί το σύστημα.

Ο αριθμός των πλαισίων Φ/Β συστοιχίας δίνεται από την σχέση 5.8

$$N = \frac{P_{\rho\Sigma}}{P_{\rho\Pi}} = \frac{1500W}{250W/\pi\lambda\acute{\alpha}\iota\sigma\iota\omicron} = 6 \text{ πλ}\acute{\alpha}\iota\sigma\iota\omicron \quad (5.8)$$

όπου $P_{\rho\Sigma}$ η εγκατεστημένη ισχύς των Φ/Β και $P_{\rho\Pi}$ η ισχύς που αποδίδει το Φ/Β.

Άρα θα χρειαστούν 6 πλαίσια των 250 W το καθένα.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου, ενώ στο Παράρτημα παρατίθεται ολοκληρωμένο το φυλλάδιο με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίου JAM6 60-250/SI

ELECTRICAL PARAMETERS					
TYPE	JAM6 60-250/SI	JAM6 60-255/SI	JAM6 60-260/SI	JAM6 60-265/SI	JAM6 60-270/SI
Rated Maximum Power at STC (W)	250	255	260	265	270
Open Circuit Voltage (Voc/V)	37.72	37.90	38.08	38.26	38.46
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	30.31	30.58	30.81	31.11	31.33
Short Circuit Current (Isc/A)	8.76	8.84	8.92	9.00	9.09
Maximum Power Current (Imp/A)	8.25	8.34	8.44	8.52	8.62
Module Efficiency [%]	15.29	15.59	15.90	16.21	16.51
Power Tolerance (W)	-0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc (atsc)	+0.049%/°C				
Temperature Coefficient of Voc (BVoc)	-0.340%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)	-0.410%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5				

NOCT					
TYPE	JAM6 60-250/SI	JAM6 60-255/SI	JAM6 60-260/SI	JAM6 60-265/SI	JAM6 60-270/SI
Max Power (Pmax) [W]	183.00	186.66	190.32	193.98	197.64
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	34.85	35.05	35.18	35.30	35.52
Max Power Voltage (Vmp) [V]	27.72	28.07	28.32	28.57	28.85
Short Circuit Current (Isc) [A]	7.02	7.07	7.10	7.13	7.15
Max Power Current (Imp) [A]	6.60	6.65	6.72	6.79	6.85
Condition	Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s				

5.5 Επιλογή τάσης λειτουργίας του συστήματος

Για τη συνεχή τάση του συστήματος και των συσσωρευτών είναι δυνατή η επιλογή μεταξύ 12 V, 24 V ή 48 V. Όσο υψηλότερη η τάση που χρησιμοποιείται στο

σύστημα, τόσο μικρότερο είναι το ρεύμα που απαιτείται, το οποίο συνεπάγεται ελαχιστοποίηση των απωλειών στα καλώδια. Ωστόσο, για να έχουμε υψηλή τάση θα πρέπει να συνδέσουμε μεγάλο πλήθος συσσωρευτών σε σειρά και κάτι τέτοιο αυξάνει το κόστος αντικατάστασης σε περίπτωση σφάλματος σε μία από τις συστοιχίες.

Για την ονομαστική ισχύ του εν λόγω συστήματος των 1500 W επιλέγεται ως βέλτιστη η τάση των 24 V.

5.6 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης που θα επιλεγεί πρέπει να έχει:

- Ονομαστική τάση ίση με εκείνη του συστήματος (24 V).
- Ονομαστική ισχύ τουλάχιστον ίση με την ονομαστική ισχύ των φωτοβολταϊκών.
- Τεχνικά χαρακτηριστικά ώστε να λειτουργεί χωρίς βλάβη στη μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ένας ενδεικτικός ρυθμιστής φόρτισης που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες είναι ο Tracer4210A της εταιρείας EPSOLAR.

Στον Πίνακα 5.8 φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης:

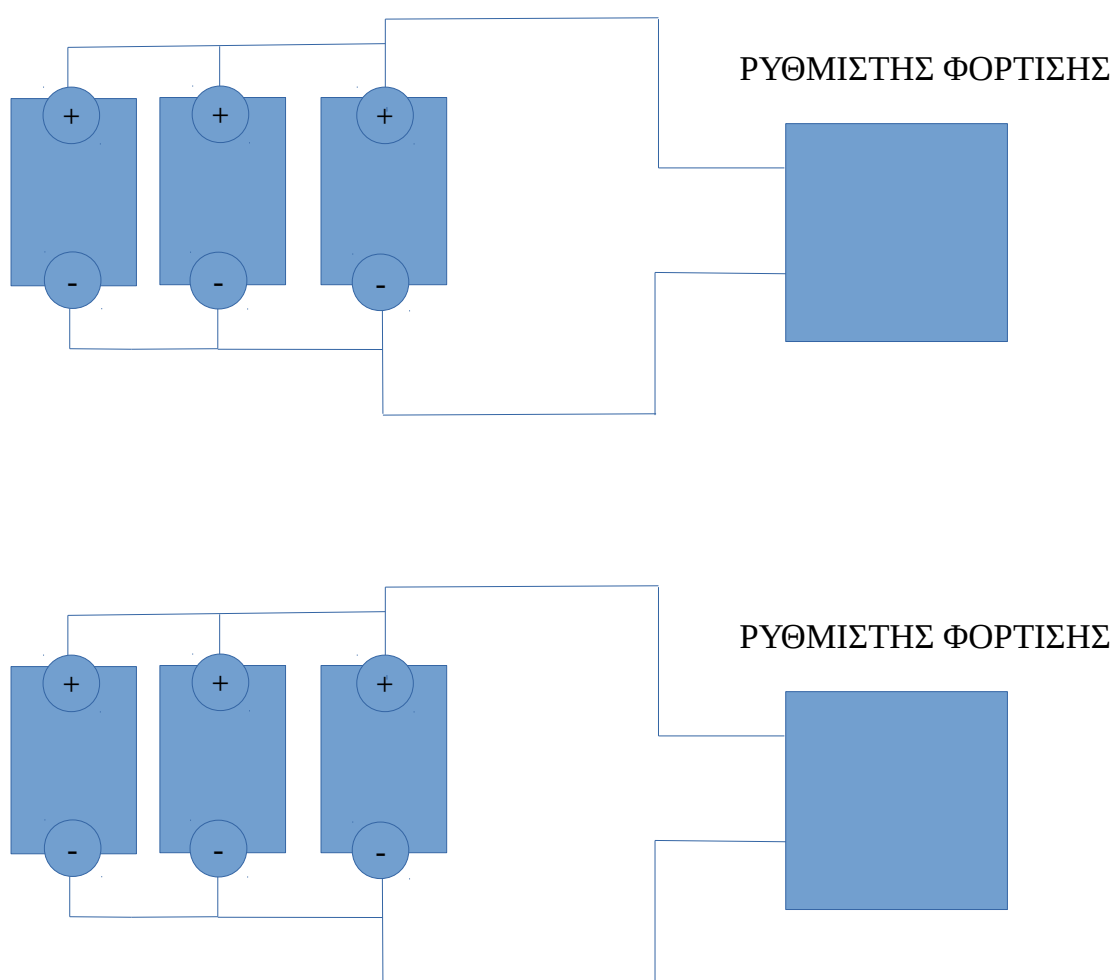
Πίνακας 5.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης Tracer4210A

Model	Tracer1210A	Tracer2210A	Tracer3210A	Tracer4210A
Nominal system voltage	12/24VDC auto work			
Rated charge current	10A	20A	30A	40A
Rated discharge current	10A	20A	30A	40A
Battery input voltage range	8~32V			
Max. PV open circuit voltage	100V(at minimum operating environment temperature) 92V(at 25 °C environment temperature)			
MPP voltage range	$V_{BAT}+2V\sim 72V$			
Max. PV input power	130W(12V) 260W(24V)	260W(12V) 520W(24V)	390W(12V) 780W(24V)	520W(12V) 1040W(24V)
Equalize charging voltage	Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V			
Boost charging voltage	Gel: 14.2V, Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V			
Float charging voltage	13.8V			
Low voltage reconnect voltage	12.6V			
Low voltage disconnect voltage	11.1V			
Self-consumption	$\leq 20mA/12V; \leq 16mA/24V$			
Temperature compensation coefficient	$-3mV/^{\circ}C/2V(25^{\circ}C)$			
Working temperature	$-25^{\circ}C \sim +45^{\circ}C$			
Enclosure	IP30			
Overall dimension	172x139x44mm	220x154x52mm	228x164x55mm	252x180x63mm
Power terminals	12AWG(4mm ²)	6AWG(16mm ²)	6AWG(16mm ²)	6AWG(16mm ²)
Net weight	0.6kg	1.1kg	1.2kg	1.9kg

Τα πλήρη χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα.

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης, παρατηρείται ότι για 24V σύστημα η μέγιστη ισχύς εισόδου είναι 1040W. Επομένως για ισχύ $P_{ps}=1500\text{ W}$, χρειάζονται 2 τεμάχια Tracer4210A.

Προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η τάση των 24 V στην έξοδο, συνδέονται τα πρώτα 3 Φ/Β πλαίσια παράλληλα με τον έναν ρυθμιστή φόρτισης και τα άλλα 3 Φ/Β πλαίσια επίσης παράλληλα με τον άλλον ρυθμιστή. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σύνδεση των Φ/Β με τους ρυθμιστές φόρτισης:



Σχήμα 5.12 : Σύνδεση Φ/Β με ρυθμιστές φόρτισης.

5.7 Επιλογή συσσωρευτών

Για την επιλογή των συσσωρευτών, θα εξεταστεί η περίπτωση στην οποία το σύστημα θα έχει αυτονομία μίας ημέρας.

Η ονομαστική χωρητικότητα του ηλεκτρικού συσσωρευτή υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση 5.9:

$$C_{1\eta\mu} = \frac{EN_{\text{αυτ}}}{\beta V_B} = 625 \text{ Ah} \quad (5.9)$$

όπου ,

- $E=4,5 \text{ kWh/day}$, η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης.
- $N_{\text{αυτ}}=1$ ημέρα, ο αριθμός ημερών αυτονομίας.
- $\beta=0,3$, το βάθος εκ φόρτισης του συσσωρευτή και
- $V_B=24 \text{ V}$ η τάση του συστήματος.

Ο συσσωρευτής που επιλέγεται είναι τάσης 6 V , της εταιρίας ROLLS, τύπου FLOODED DEEP CYCLE BATTERY S-290 . Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι φόρτισης -εκ φόρτισης και οι αντίστοιχες χωρητικότητες αυτού του συσσωρευτή, ενώ τα πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στο παράρτημα.

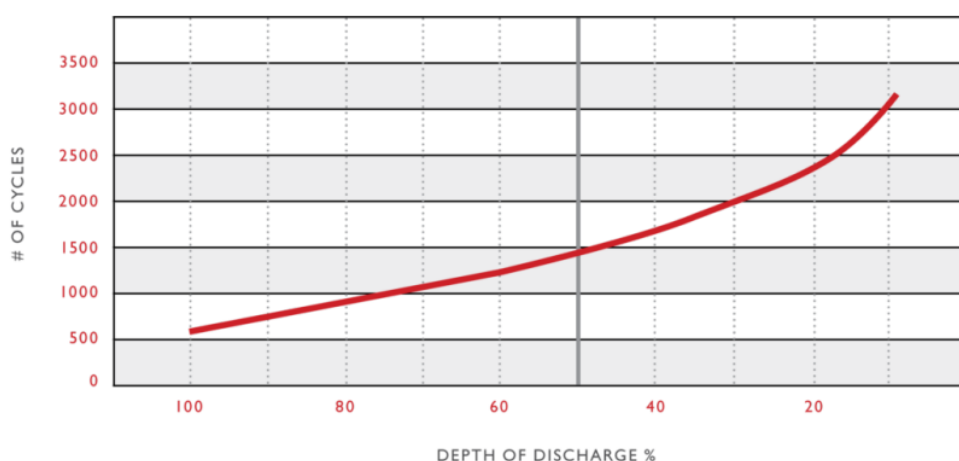
Πίνακας 5.9 : Χωρητικότητα συσσωρευτή σε σχέση με τους χρόνους φόρτισης-εκφόρτισης του.

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs
@ 100 Hour Rate	294 AH	2.94 A
@ 75 Hour Rate	290 AH	4.03 A
@ 50 Hour Rate	274 AH	5.47 A
@ 20 Hour Rate	230 AH	11.5 A
@ 15 Hour Rate	219 AH	14.57 A
@ 10 Hour Rate	202 AH	20.24 A
@ 8 Hour Rate	198 AH	24.73 A
@ 5 Hour Rate	182 AH	36.34 A
@ 1 Hour Rate	92 AH	92 A

Ο χρόνος φόρτισης- εκφόρτισης που επιλέγεται αντιστοιχεί στις 5 ώρες με την χωρητικότητα του συσσωρευτή να είναι ίση με 182 Ah.

Η συστοιχία των συσσωρευτών θα περιλαμβάνει 3 παράλληλους κλάδους με 4 συσσωρευτές των 6 V σε σειρά ανά κλάδο, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 12 συσσωρευτές. Η σύνδεση σε σειρά καθορίζει την ονομαστική τάση ($V = 6 \times 4 = 24 \text{ V}$) και η παράλληλη σύνδεση καθορίζει την ονομαστική χωρητικότητα ($C = 182 \times 3 = 546 \text{ Ah}$).

Τέλος στο παρακάτω σχήμα 5.13, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση του βαθμού εκφόρτισης του συσσωρευτή με την διάρκεια ζωής του.



Σχήμα 5.13: Βάθος εκφόρτισης σε συνάρτηση με κύκλους ζωής.

Όπως παρατηρείται, για το επιλεγμένο βάθος εκφόρτισης ($\beta=0,3$), η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή είναι περίπου 2000 κύκλοι ζωής.

5.8 Επιλογή αντιστροφέα

Ο αντιστροφέας, ο οποίος θα επιλεγθεί θα πρέπει να παρέχει στην έξοδό του την κατάλληλη ισχύ που χρειάζεται ο κινητήρας για να λειτουργήσει.

Λόγω του ότι οι κινητήρες, κατά την εκκίνηση τους, απαιτούν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ισχύος από την ονομαστική τιμή λειτουργίας τους, ο αντιστροφέας θα πρέπει να παρέχει την ισχύ αυτή ώστε να μπορέσει να ξεκινήσει ο κινητήρας ομαλά.

Στη παρούσα μελέτη ο κινητήρας, ο οποίος εξετάζεται, έχει ισχύ εισόδου ίση με 1180 Watt. Κατά την εκκίνηση του όμως, χρειάζεται ισχύ διπλάσια από αυτήν, δηλαδή ίση με 2360 Watt. Ο αντιστροφέας που ικανοποιεί αυτές τις απαιτήσεις είναι της εταιρίας MEAN WELL και το μοντέλο TS-1500-224. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα:

Πίνακας 5.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα TS-1500-224

MODEL		TS-1500-112□	TS-1500-124□	TS-1500-148□	TS-1500-212□	TS-1500-224□	TS-1500-248□	
OUTPUT	RATED POWER (Typ.)	1500W						
	MAXIMUM OUTPUT POWER (Typ.)	1725W for 180 sec. / 1875W for 10 sec. / surge power 3000W for 30 cycles						
	AC VOLTAGE	100 / 110 / 115 / 120VAC selectable by setting button			200 / 220 / 230 / 240VAC selectable by setting button			
	FREQUENCY	60±0.1Hz 50/60Hz selectable by setting button S.W			50±0.1Hz 50/60Hz selectable by setting button S.W			
	WAVEFORM	Note.2	True sine wave (THD<3%)					
	AC REGULATION (Typ.)	±3.0%						
	SAVING MODE (Typ.)	Default disabled. Load≤5W will be changed to standby mode						
FRONT PANEL INDICATOR		Battery voltage level, output load level, saving mode, fault and operation status						
INPUT	BAT. VOLTAGE	12V	24V	48V	12V	24V	48V	
	VOLTAGE RANGE (Typ.)	Note.3,6	10.5 ~ 15VDC	21 ~ 30VDC	42 ~ 60VDC	10.5 ~ 15VDC	21 ~ 30VDC	42 ~ 60VDC
	DC CURRENT (Typ.)	Note.5	150A	75A	37.5A	150A	75A	37.5A
	NO LOAD DISSIPATION (Typ.)		≤18W @ standby saving mode					
	OFF MODE CURRENT DRAW		≤1mA					
	EFFICIENCY (Typ.)	Note.2	87%	89%	89%	88%	90%	91%

Ο συγκεκριμένος αντιστροφέας δέχεται ως είσοδο τάση από τους συσσωρευτές ίση με αυτή του συστήματος (24 V) και παράγει στη έξοδο του τάση ίση με την τάση του κινητήρα (230 V). Επίσης, στην έξοδο του έχει ισχύ συνεχούς λειτουργίας 1500 W ,ώστε να μπορεί να ικανοποιεί την ισχύ συνεχούς λειτουργίας του κινητήρα και ισχύ αιχμής ίση με 3000 W, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει την ισχύ εκκίνησης του κινητήρα.

5.9 Τεχνική μελέτη για την τοποθέτηση πλαισίων

5.9.1 Στήριξη και χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ συνήθως μπορούν να στηριχθούν με δύο τρόπους:

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο, συνήθως αναφερόμενες ως σταθερές βάσεις.
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές (trackers).

Στην παρούσα μελέτη λόγω επιλέγονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε σταθερές βάσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που έχει σε σχέση με τους ηλιοπαρακολουθητές (trackers):

- Μεγαλύτερη αντοχή σε ανεμοπίεση.
- Απλότητα στην κατασκευή.
- Μικρότερο κόστος εγκατάστασης.
- Μεγαλύτερη ταχύτητα εγκατάστασης.
- Μικρότερο κόστος συντήρησης.
- Μεγαλύτερη ανεξάρτηση του επενδυτή από τον κατασκευαστή σε θέματα αξιοπιστίας.
- Καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

Η σταθερή βάση που θα κατασκευαστεί θα επιτρέπει την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 20 μοίρες, εν προκειμένω. Η στήριξη των 6 πλαισίων θα είναι σε συνεχόμενη βάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.14.



Σχήμα 5.14: Συνεχόμενη βάση στήριξης φωτοβολταϊκών οριζόντιου προσανατολισμού

Η χωροθέτηση θα γίνει σε τέσσερις σειρές των τριών πλαισίων σε οριζόντιο προσανατολισμό, εκ των οποίων η μία σειρά θα έχει δύο εφεδρικές θέσεις για ενδεχόμενη μελλοντική επέκταση του συστήματος.

Το σταθερό σύστημα θα είναι κατασκευασμένο από ειδικό κράμα αλουμινίου εξαιρετικής αντοχής, εξασφαλίζοντας αντιδιαβρωτική προστασία και θα είναι σύμφωνο με τους διεθνείς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς διαδικασιών παραγωγής και ποιότητας.

5.9.2 Αποφυγή σκίασης

Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά φαινόμενα (π.χ. σύννεφα).

Στην παρούσα μελέτη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2, δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο περιμετρικά της έκτασης, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει σκίαση. Επίσης τα πλαίσια θα τοποθετηθούν σε συνεχόμενη βάση, οπότε δεν υπάρχει σκίαση μεταξύ των πλαισίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

6.1 Εισαγωγή

Η οικονομική αξιολόγηση του συστήματος θα γίνει με τη χρήση του δείκτη της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ). Η Καθαρή Παρούσα Αξία μιας επένδυσης είναι η παρούσα αξία του καθαρού οικονομικού πλεονάσματος της επένδυσης. Με καθαρό οικονομικό πλεόνασμα νοείται η διαφορά μεταξύ της τελικής αξίας της υπό εξέτασης επένδυσης και του κόστους ευκαιρίας της, ενώ το κόστος ευκαιρίας της υπό εξέτασης επένδυσης, είναι το ποσό των χρημάτων που θα έχουμε εάν επενδύσουμε το ποσό των χρημάτων στην καλύτερη εναλλακτική επένδυση, που στη περίπτωση μας είναι η τροφοδότηση του συστήματος αντλία-κινήτηρα από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ. Ο αναλυτικός τύπος της ΚΠΑ παρουσιάζεται στην Σχέση 6.1.

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ΚΤΡ}_t}{(1+i)^t} - K_0 \quad (6.1)$$

όπου:

ΚΤΡ : Καθαρές Ταμειακές ροές

n: το χρονικό διάστημα στο οποίο θα αξιολογηθεί η επένδυση

i: το επιτόκιο αναγωγής

K_0 : το αρχικό κόστος της επένδυσης

Οι καθαρές ταμειακές ροές ορίζονται από τον τύπο $KTP = Έσοδα_t - Έξοδα_t$

Έσοδα

Είναι προφανές ότι για την παρούσα μελέτη και το αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών δεν υπάρχει κάποιο έσοδο, καθώς η ηλεκτροδότηση της αντλίας εξυπηρετεί μια πάγια ανάγκη του καταναλωτή η οποία δεν του επιφέρει κάποιο κέρδος. Συνεπώς ο υπολογισμός της ΚΠΑ θα γίνει με σκοπό να παρουσιαστεί το συνολικό κόστος της επένδυσης καθώς και να γίνει μία σύγκριση με το αντίστοιχο σενάριο της προσφοράς του ΔΕΔΔΗΕ.

Έξοδα

Τα έξοδα της επένδυσης χωρίζονται σε πάγια και λειτουργικά. Πάγια είναι αυτά που καταβάλλονται στην αρχή της επένδυσης (αρχικό κόστος) για μία φορά ενώ λειτουργικά είναι αυτά που θα καταβάλλονται κάθε χρόνο, αλλιώς ονομάζονται και λειτουργικές δαπάνες.

- Το αρχικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος αγοράς του εξοπλισμού και εγκατάστασης.
- Στα ετήσια κόστη περιλαμβάνονται το κόστος λειτουργίας για την ετήσια συντήρηση του συστήματος, η οποία είναι απαραίτητη για να εξασφαλίζει και να επιβεβαιώνει τη σωστή λειτουργία των πλαισίων.

Ως δεδομένα για την υπολογισμό της ΚΠΑ λαμβάνεται η διάρκεια 25 ετών ως οικονομικός κύκλος ζωής και η τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου ίση με 0,85%, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ηλεκτροδότηση της αντλίας εξυπηρετεί μια πάγια ανάγκη του καταναλωτή και όχι κάποια επένδυση μεγάλης αναμενόμενης απόδοσης.

Αφού καθοριστούν το αρχικό κόστος, τα λειτουργικά και τα έξοδα αντικατάστασης του εξοπλισμού , θα εξεταστεί η καθαρή παρούσα αξία με σκοπό να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα της εγκατάστασης του αυτόνομου συστήματος στο βάθος των 25 ετών.

6.2 Υπολογισμός ΚΠΑ

6.2.1 ΚΠΑ αυτόνομου συστήματος ηλιακής αντλίας

Το αρχικό κόστος της εγκατάστασης διαμορφώνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1 :

Πίνακας 6.1: Αρχικό κόστος επένδυσης

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ(€)
ΚΟΣΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	900
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	2220
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ	572,41
ΚΟΣΤΟΣ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	433,49
ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΣΗΣ	350
ΚΟΣΤΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ/ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΩΝ	410
ΚΟΣΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	172,13
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	76,5
ΚΟΣΤΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ/ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΩΝ	88,73
ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	216
ΜΕΛΕΤΗ-ΕΠΙΒΛΕΨΗ	810
ΣΥΝΟΛΟ	6249,26

Το αρχικό κόστος, επομένως, της επένδυσης ανέρχεται στα 6249,26 €. Τα ετήσια κόστη της επένδυσης διαμορφώνονται ως εξής, σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2:

Πίνακας 6.2 : Ετήσια κόστη συστήματος

ΕΤΗΣΙΑ ΚΟΣΤΗ	ΕΤΗ	ΚΟΣΤΟΣ(€)
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	25	200
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	7	2220
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ-ΚΙΝΗΤΗΡΑ	10	248,63

Η ΚΠΑ του συστήματος ανέρχεται στα **-16995 €**. Οι αναλυτικοί πίνακες του υπολογισμού της ΚΠΑ παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

6.2.2 ΚΠΑ συστήματος τροφοδοτούμενο από τον ΔΕΔΔΗΕ

Η προσφορά του ΔΕΔΔΗΕ για την συγκεκριμένη έκταση ανέρχεται στα 40000€ για την διασύνδεση της εγκατάστασης με το δίκτυο. Επιπλέον το τιμολόγιο του ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνοντας υπόψη και τις ρυθμιζόμενες χρεώσεις ανέρχεται σε 0,072 € ανά κιλοβατώρα.

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας δίνεται από την Σχέση 6.2:

$$E_{\text{ετησίως}} = 4,5 \text{ kWh/ημέρα} * 30 \text{ ημέρες} * 7 \text{ μήνες} = 945 \text{ kWh} \quad (6.2)$$

Οπότε ο καταναλωτής θα καλείται να πληρώσει το ποσό των 0,072 €/kWh * 945 kWh = 67,71 € κατά μέσο όρο κάθε χρόνο. Λαμβάνεται υπόψη επίσης ένας ετήσιος συντελεστής αύξησης του τιμολογίου της ΔΕΗ ίσος με 1%, ο οποίος μεταβάλλει σημαντικά το αποτέλεσμα της ΚΠΑ σε βάθος εικοσιπενταετίας.

Η ΚΠΑ του συστήματος ανέρχεται στα **-41708,77 €**. Οι αναλυτικοί πίνακες του υπολογισμού της ΚΠΑ παρουσιάζονται στο παράρτημα.

6.2.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων ΔΕΔΔΗΕ με το αυτόνομο σύστημα

Η αύξηση της απόστασης μιας εγκατάστασης από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ συνεπάγεται μεγαλύτερο αρχικό κόστος διασύνδεσης καθώς η τιμολόγηση του ΔΕΔΔΗΕ γίνεται με μονάδα “€/m”. Στη παράγραφο αυτή εξετάζεται ο δείκτης ευαισθησίας της ΚΠΑ με βάση την απόσταση της συγκεκριμένης εγκατάστασης από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ. Η ανάλυση ευαισθησίας δείχνει την απόσταση της εγκατάστασης από το δίκτυο και κατ’ επέκταση το αρχικό κόστος διασύνδεσης, ώστε η προσφορά του ΔΕΔΔΗΕ να είναι πιο συμφέρουσα έναντι του αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Προκύπτει ότι η εξισορρόπηση των δύο σεναρίων (ΔΕΔΔΗΕ και αυτόνομο σύστημα) επιτυγχάνεται για απόσταση 382 m από το υφιστάμενο δίκτυο. Διαπιστώνεται ότι πάνω από τα 382 m η διαφορά είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι πιο οικονομικό. Από τα 382m και κάτω το αυτόνομο σύστημα σταματάει να είναι η πλέον συμφέρουσα επιλογή καθώς το αρχικό κόστος διασύνδεσης της εγκατάστασης με το δίκτυο, μειώνεται αισθητά με γραμμικό ρυθμό.

Ένα τελευταίο συμπέρασμα που προκύπτει από τον δείκτη ευαισθησίας της ΚΠΑ, είναι ότι τα αυτόνομα συστήματα είναι αρκετά πιο οικονομική επιλογή έναντι της διασύνδεσης με το δίκτυο, όταν αυτό βρίσκεται μακριά από την εγκατάσταση. Υπάρχει μια απόσταση από το κοντινότερο σημείο διασύνδεσης με το ΔΕΔΔΗΕ έως την εγκατάσταση, η οποία εξισορροπεί το κόστος του αυτόνομου και του διασυνδεδεμένου συστήματος. Για το παρόν αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα η απόσταση αυτή ανέρχεται στα 382 m και είναι αρκετά μικρότερη από την απόσταση των 1000 m, όπου απέχει η έκταση από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε και σχεδιάστηκε ένα αυτόνομο σύστημα ηλιακής αντλίας, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση 10 στρεμμάτων ελαιοκαλλιέργειας.

Για την ηλεκτρική τροφοδότηση του συστήματος επιλέχτηκε η χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών, συσσωρευτών, ρυθμιστών φόρτισης, αντιστροφέα και δεξαμενής αποθήκευσης.

Το μέγεθος του φωτοβολταϊκού συστήματος προέκυψε ότι εξαρτάται από την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας της αντλίας καθώς η αναμενόμενη μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας έπρεπε πάντα να καλύπτει τη μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, η ονομαστική ισχύς του αντιστροφέα εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ εκκίνησης και συνεχόμενης λειτουργίας του κινητήρα, ενώ η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται από τις ημέρες αυτονομίας που θα επιλεγούν και αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο για το κόστος του συστήματος.

Για τη συγκεκριμένη έκταση προέκυψε ότι η ηλεκτρική τροφοδότηση με τη χρήση αυτόνομου συστήματος είναι πιο οικονομική έναντι της ηλεκτρικής τροφοδότησης από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

Προέκυψε επίσης ότι, ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις της έκτασης και τη διαστασιολόγηση του αυτόνομου συστήματος, είναι δυνατός ο υπολογισμός μιας ελάχιστης απόστασης από το δίκτυο διανομής, πέρα από την οποία είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα η τροφοδότηση με αυτόνομο σύστημα.

Ως επέκταση, θα μπορούσε να εξεταστεί η διαστασιολόγηση του συστήματος για άρδευση μεγαλύτερης έκτασης, καθώς και να μελετηθεί η διαστασιολόγηση γεννήτριας, στις περιπτώσεις που είναι αναγκαία η προσθήκη της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. **Σημειώσεις μαθήματος:** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Σταυρακάκης Γ. 2008.
2. **Κατσιγιάνης Ι. 2016.** Σημειώσεις μαθήματος: Ανάλυση Εγκαταστάσεων και Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. **Solar-powered pumping in agriculture: A guide to system selection and design.**
4. **Λέκκας Χρήστος 2018.** Διπλωματική εργασία: ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ.
5. <https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά>.
6. <https://www.ypaithros.gr/wp-content/uploads/2018/06/filadio-ardeusis.pdf>.
7. https://www.ypaithros.gr/wp-content/uploads/2018/06/Αρδευτ.-Δελτίο-Π.Ε.-Ηρακλείου-07-13_6_2018.pdf.
8. <http://solarpanelsystem.in/off-grid-solar-system/>.

9. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
10. <http://www.agrosales.gr/mainpage>.
11. **Σταυρακάκης Γ. 2015.** Φωτοβολταϊκά ενεργειακά συστήματα, Πολυτεχνείο Κρήτης .
12. **Dian Budhi Santoso:** An Optimal Design of Solar Water Pump System with Considering Cost and Effectiveness: Indonesian Perspective .
13. **Isaac Afonso Barata Carrêlo :** High Power PV Pumping Systems: Two Case Studies in Spain .
14. **Solar Water Pumps in Namibia:** A Comparison Between Solar And Diesel .
15. **Solar Water Pumping for Irrigation Case Study of the Kilimanjaro Region in Tanzania, 2015 .**
16. **"Design and Development of Solar Pump using MPPT (P&O) Algorithm".**
17. <https://www.kronospumps.com/images/ProspectusNo3.pdf>.
18. <http://www.stairs.com.tw/>.
19. <https://www.pumpworld.com/total-dynamic-head-calculator.htm>.
20. https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικός_κινητήρας.

21. <https://kronospumps.com/προϊόντα/υποβρύχιες-αντλίες-για-γεωτρήσεις/αντλίες-φ4>.
22. <http://www.jasolar.com/html/en/>.
23. <http://www.solarsalesusa.com/trace-inverters.cfm>.
24. <https://energypower.gr/proionta/rithmistis-fortisis-fotovoltaikon-mppt-tracer-3215bn-30a-12v-24v-epsolar/>.
25. http://www.gr-kiros.gr/2010/deepcycle/openvented_flat_rolls.php.
26. **CASS: A Context-Aware Simulation System for Smart Home .**
27. **ΣΤΑΜΑΤΗΣ Δ. ΠΕΡΔΙΟΣ: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ,**
ΑΘΗΝΑ 2011.
28. **STEPHEN J. CHAPMAN: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ AC-DC.**
29. **Khalil Raza : Experimental Assessment of Photovoltaic Irrigation System .**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1 – Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού φωτοβολταϊκού συστήματος

Τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου:

■ customized cable length available upon request

MECHANICAL PARAMETERS		WORKING CONDITIONS	
Cell (mm)	Mono 156×156	Maximum System Voltage	DC 1000V (IEC)
Weight (kg)	18.2 (approx)	Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Dimensions (L×W×H) (mm)	1650×991×40	Maximum Series Fuse	15A
Cable Cross Section Size (mm ²)	4	Maximum Static Load, Front (e.g., snow and wind)	5400Pa (112 lb/ft ²)
No. of Cells and Connections	60 (6×10)	Maximum Static Load, Back (e.g., wind)	2400Pa (50 lb/ft ²)
Junction Box	IP67, 3 diodes	NOCT	45±2°C
Connector	MC4 Compatible	Application Class	Class A
Packaging Configuration	26 Per Pallet		

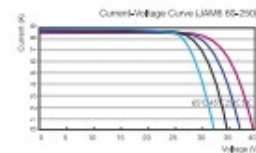
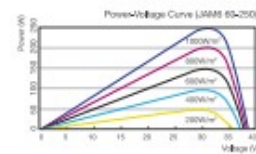
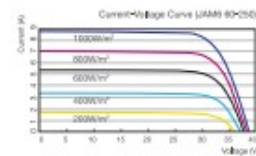
ELECTRICAL PARAMETERS		JAM6 60-250/SI	JAM6 60-255/SI	JAM6 60-260/SI	JAM6 60-265/SI	JAM6 60-270/SI
TYPE						
Rated Maximum Power at STC (W)		250	255	260	265	270
Open Circuit Voltage (Voc/V)		37.72	37.90	38.08	38.26	38.46
Maximum Power Voltage (Vmp/V)		30.31	30.58	30.81	31.11	31.33
Short Circuit Current (Isc/A)		8.76	8.84	8.92	9.00	9.09
Maximum Power Current (Imp/A)		8.25	8.34	8.44	8.52	8.62
Module Efficiency [%]		15.29	15.59	15.90	16.21	16.51
Power Tolerance (W)				-0 ~ +5W		
Temperature Coefficient of Isc (αIsc)				+0.049%/°C		
Temperature Coefficient of Voc (βVoc)				-0.340%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)				-0.410%/°C		
STC	Irradiance 1000W/m ² , Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5					

NOCT		JAM6 60-250/SI	JAM6 60-255/SI	JAM6 60-260/SI	JAM6 60-265/SI	JAM6 60-270/SI
TYPE						
Max Power (Pmax) [W]		183.00	186.66	190.32	193.98	197.64
Open Circuit Voltage (Voc) [V]		34.85	35.05	35.18	35.30	35.52
Max Power Voltage (Vmp) [V]		27.72	28.07	28.32	28.57	28.85
Short Circuit Current (Isc) [A]		7.02	7.07	7.10	7.13	7.15
Max Power Current (Imp) [A]		6.60	6.65	6.72	6.79	6.85
Condition	Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m ² , spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s					

Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

JA Solar 02.2014

I-V CURVE



Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης:

Technical Specifications:

Model	Tracer1210A	Tracer2210A	Tracer3210A	Tracer4210A
Nominal system voltage	12/24VDC auto work			
Rated charge current	10A	20A	30A	40A
Rated discharge current	10A	20A	30A	40A
Battery input voltage range	8~32V			
Max. PV open circuit voltage	100V(at minimum operating environment temperature) 92V(at 25 °C environment temperature)			
MPP voltage range	$V_{BAT}+2V \sim 72V$			
Max. PV input power	130W(12V) 260W(24V)	260W(12V) 520W(24V)	390W(12V) 780W(24V)	520W(12V) 1040W(24V)
Equalize charging voltage	Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V			
Boost charging voltage	Gel: 14.2V, Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V			
Float charging voltage	13.8V			
Low voltage reconnect voltage	12.6V			
Low voltage disconnect voltage	11.1V			
Self-consumption	$\leq 20mA/12V$; $\leq 16mA/24V$			
Temperature compensation coefficient	$-3mV/^{\circ}C/2V(25^{\circ}C)$			
Working temperature	$-25^{\circ}C \sim +45^{\circ}C$			
Enclosure	IP30			
Overall dimension	172x139x44mm	220x154x52mm	228x164x55mm	252x180x63mm
Power terminals	12AWG(4mm ²)	6AWG(16mm ²)	6AWG(16mm ²)	6AWG(16mm ²)
Net weight	0.6kg	1.1kg	1.2kg	1.9kg

Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών:

S-290



CONTAINER:	Polypropylene
COVER:	Polypropylene
TERMINALS:	Universal molded post
HANDLES:	No handles

PLATE HEIGHT:	159 mm	6.250 Inches
PLATE WIDTH:	159 mm	6.250 Inches
THICKNESS (POSITIVE):	2.79 mm	0.110 Inches
THICKNESS (NEGATIVE):	2.24 mm	0.088 Inches

COLD CRANK AMPS (CCA):	0°F / -17.8°C	710
MARINE CRANK AMPS (MCA):	32°F / 0°C	888
RESERVE CAPACITY (RC @ 25A):		315 Minutes

CAPACITY 220 AH

HOUR RATE:	SPECIFIC GRAVITY	CAPACITY / AMP HOUR	CURRENT / AMPS
@ 100 HOUR RATE	1.280	293	2.93
@ 72 HOUR RATE	1.280	277	3.85
@ 50 HOUR RATE	1.280	262	5.24
@ 24 HOUR RATE	1.280	227	9.44
@ 20 HOUR RATE	1.280	220	11.00
@ 15 HOUR RATE	1.280	207	13.79
@ 12 HOUR RATE	1.280	196	16.32
@ 10 HOUR RATE	1.280	187	18.70
@ 8 HOUR RATE	1.280	176	22.00
@ 6 HOUR RATE	1.280	163	27.13
@ 5 HOUR RATE	1.280	154	30.80
@ 4 HOUR RATE	1.280	143	35.75
@ 3 HOUR RATE	1.280	130	43.27
@ 2 HOUR RATE	1.280	112	56.10
@ 1 HOUR RATE	1.280	79	79.20

Amperes Hour capacity ratings based on specific gravities of 1.280. Reduce capacities 5% for 1.265 specific gravity and 10% for specific gravities of 1.250

WWW.ROLLSBATTERY.COM

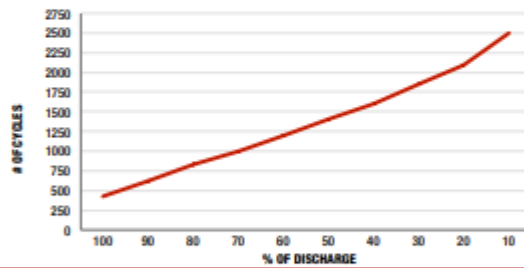
SPEC 01



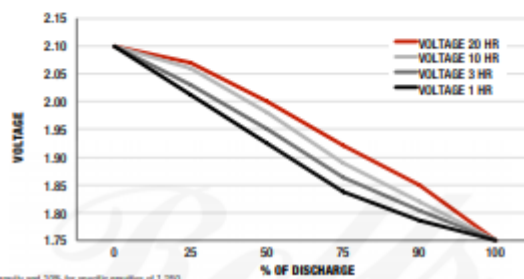
6 VOLTS		
WEIGHT DRY:	27 kg	59 Lbs.
WEIGHT WET:	31 kg	68 Lbs.
LENGTH:	259 mm	10 3/16 Inches
WIDTH:	181 mm	7 1/8 Inches
HEIGHT:	279 mm	11 Inches

CELLS:	19 Plates/Cell	3 Cell
SEPARATOR THICKNESS:	2 mm	0.061 Inches
GLASS MAT INSULATION:	1 mm	0.02 Inches
ELECTROLYTE RESERVE ABOVE PLATES	57 mm	2.25 Inches

CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



VOLTAGE VS. DEPTH OF DISCHARGE



SURRIETTE BATTERY COMPANY 1 STATION RD. SPRINGHILL, NS CANADA B0M 1A0

1/1/2014 REV. 1

Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα:



1500W True Sine Wave DC-AC Power Inverter

TS-1500 series



■ Features :

- True sine wave output (THD<3%)
- High surge power up to 3000W
- High efficiency up to 91%
- Power ON-OFF switch
- Standby saving mode can be selectable
- Front panel indicator for operation status
- Thermostatically controlled cooling fan
- Protections: Bat. low alarm / Bat. low shutdown / Over voltage / Over temp. / Output short / Input polarity reverse / Overload
- Application : Home appliance, power tools, office and portable equipment, vehicle and yacht ...etc.
- Optional monitoring software
- 3 years warranty



SPECIFICATION

MODEL		TS-1500-112□	TS-1500-124□	TS-1500-148□	TS-1500-212□	TS-1500-224□	TS-1500-248□
OUTPUT	RATED POWER (Typ.)	1500W					
	MAXIMUM OUTPUT POWER (Typ.)	1725W for 180 sec. / 1875W for 10 sec. / surge power 3000W for 30 cycles					
	AC VOLTAGE	100 / 110 / 115 / 120VAC selectable by setting button			200 / 220 / 230 / 240VAC selectable by setting button		
	FREQUENCY	60±0.1Hz 50/60Hz selectable by setting button S.W			50±0.1Hz 50/60Hz selectable by setting button S.W		
	WAVEFORM	Note.2 True sine wave (THD<3%)					
	AC REGULATION (Typ.)	±3.0%					
INPUT	SAVING MODE (Typ.)	Default disabled. Load ≤5W will be changed to standby mode					
	FRONT PANEL INDICATOR	Battery voltage level, output load level, saving mode, fault and operation status					
	BAT. VOLTAGE	12V	24V	48V	12V	24V	48V
	VOLTAGE RANGE (Typ.) Note.3,6	10.5 ~ 15VDC	21 ~ 30VDC	42 ~ 60VDC	10.5 ~ 15VDC	21 ~ 30VDC	42 ~ 60VDC
	DC CURRENT (Typ.) Note.5	150A	75A	37.5A	150A	75A	37.5A
	NO LOAD DISSIPATION (Typ.)	≤18W @ standby saving mode					
BATTERY INPUT PROTECTION	OFF MODE CURRENT DRAW	≤1mA					
	EFFICIENCY (Typ.) Note.2	87%	89%	89%	88%	90%	91%
	BATTERY TYPES	Open & sealed Lead Acid					
	FUSE	40A*5	30A*3	30A*2	40A*5	30A*3	30A*2
	BAT. LOW ALARM	11.3±4%	22.5±4%	45±4%	11.3±4%	22.5±4%	45±4%
	BAT. LOW SHUTDOWN	10.5±4%	21±4%	42±4%	10.5±4%	21±4%	42±4%
OUTPUT PROTECTION	REVERSE POLARITY	By internal fuse open					
	OVER TEMPERATURE	82°C ± 5°C	82°C ± 5°C	96°C ± 5°C	68°C ± 5°C	68°C ± 5°C	68°C ± 5°C
	OUTPUT SHORT	Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover; by internal RTH3 detect on heatsink of power transistor					
	OVER LOAD (Typ.)	Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover 105 ~ 115% load for 180 sec., 115% ~ 125% load for 10 sec.					
	GFCI PROTECTION	UL458 (only for "GFCI" receptacle-Type F)			None		
	WORKING TEMP. Note.1	0 ~ +40°C @ 100% load; 60°C @ 50% load					
ENVIRONMENT	WORKING HUMIDITY	20% ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-30 ~ +70°C / -22 ~ +158°F, 10 ~ 95% RH non-condensing					
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 3G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes					
	SAFETY STANDARDS	UL458 (only for "GFCI" receptacle-Type F), EAC TP TC 004			EAC TP TC 004		
	LVD	None			EN60950-1		
	WITHSTAND VOLTAGE	Bat I/P - AC O/P: 3.0KVAC AC O/P - FG: 1.5KVAC					
SAFETY & EMC	EMC EMISSION	Compliance to FCC class A, EAC TP TC 020			Compliance to EN55032 class B, 73/249/CEE, 99/54/CE, E-Mark, EAC TP TC 020		
	EMC IMMUNITY	Compliance to EAC TP TC 020			Compliance to EN61000-4-2,3,8, EAC TP TC 020		
	CONTROL WIRING	RJ11-RS232 (Option)					
	DIMENSION	420*220*88mm (L*W*H)					
OTHERS	PACKING	6.81Kg; 2pcs/14.6Kg/1.61CUFT					
	NOTE	1. Output derating capacity referenced by curve 1. 2. THD and Efficiency is tested by 1000W, linear load at 13V, 26V, 52V input voltage. 3. Input derating capacity referenced by curve 2. 4. All parameters not specified above are measured at rated load, 25°C of ambient temperature and set to factory setting. 5. DC current is tested by 1500W, linear load at 13V, 26V, 52V input voltage. 6. The tolerance of each voltage value by models is: 112/212 → ±0.5V; 124/224 → ±1V; 148/248 → ±2V. 7. Please do not turn on the inverter before start the engine if inverter connect to vehicle's battery directly. 8. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).					

File Name: TS-1500-SPEC 2018-01-15

Παράρτημα 2 – Πίνακες υπολογισμού της ΚΠΑ

ΠΕΡΙΟΔΟΙ	ΚΠΑ(Αυτόνομο σύστημα)		
	ΤΑΜΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ(€)	ΕΠΙΤΟΚΙΟ ΠΡΟΕΞΟΦΛΗΣΗΣ(%)	ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ(€)
0	-6249,255	0,85	-6249,255
1	-200	0,85	-198,314328210213
2	-200	0,85	-196,642863867341
3	-200	0,85	-194,98548722592
4	-200	0,85	-193,342079549748
5	-200	0,85	-191,712523103369
6	-200	0,85	-190,096701143648
7	-200	0,85	-188,494497911401
8	-2420	0,85	-2261,56016333957
9	-200	0,85	-185,330489462672
10	-200	0,85	-183,768457573299
11	-448,63	0,85	-408,745875662415
12	-200	0,85	-180,683778928487
13	-200	0,85	-179,160911183428
14	-200	0,85	-177,650878714356
15	-200	0,85	-176,153573340958
16	-2420	0,85	-2113,49354231591
17	-200	0,85	-173,196715711158
18	-200	0,85	-171,736951622368
19	-200	0,85	-170,289490949299
20	-200	0,85	-168,854229994347
21	-200	0,85	-167,431065933909
22	-448,63	0,85	-372,407531531629
23	-200	0,85	-164,620621528027
24	-2420	0,85	-1975,12099205664
25	-200	0,85	-161,857352344464
ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ			-16994,9061032046

ΚΠΑ(ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΔΕΔΔΗΕ)			
ΠΕΡΙΟΔΟΙ	ΤΑΜΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ(€)	ΕΠΙΤΟΚΙΟ ΠΡΟΕΞΟΦΛΗΣΗΣ(%)	ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ(€)
0	-40000	0,85	-40000
1	-67,70925	0,85	-67,1385721368369
2	-68,3863425	0,85	-67,2384311930642
3	-69,070205925	0,85	-67,3384387754039
4	-69,76090798425	0,85	-67,4385951047674
5	-70,4585170640925	0,85	-67,5389004023948
6	-71,1631022347334	0,85	-67,6393548898549
7	-71,8747332570807	0,85	-67,7399587890466
8	-72,5934805896516	0,85	-67,8407123221984
9	-73,3194153955481	0,85	-67,9416157118695
10	-74,0526095495036	0,85	-68,0426691809501
11	-74,7931356449986	0,85	-68,143872952662
12	-75,5410670014486	0,85	-68,2452272505589
13	-76,2964776714631	0,85	-68,346732298527
14	-77,0594424481777	0,85	-68,4483883207856
15	-77,8300368726595	0,85	-68,5501955418874
16	-78,6083372413861	0,85	-68,6521541867191
17	-79,3944206137999	0,85	-68,7542644805021
18	-80,1883648199379	0,85	-68,8565266487923
19	-80,9902484681373	0,85	-68,9589409174817
20	-81,8001509528187	0,85	-69,0615075127977
21	-82,6181524623468	0,85	-69,1642266613046
22	-83,4443339869703	0,85	-69,2670985899035
23	-84,27877732684	0,85	-69,3701235258329
24	-85,1215651001084	0,85	-69,4733016966696
25	-85,9727807511095	0,85	-69,5766333303285
ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ			-41708,7664424211