



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

Μελέτη Διασυνδεδεμένης Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης σε Κτηνοτροφική Μονάδα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πέτρος Β. Κορδαλής

Επιβλέπων : Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2010



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

**Μελέτη Διασυνδεδεμένης Φωτοβολταϊκής
Εγκατάστασης σε Κτηνοτροφική Μονάδα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πέτρος Β. Κορδαλής

Επιβλέπων : Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε απ' την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2010

..... Πέτρος Β. Κορδαλής, Διπλωματούχος
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Πέτρος Β. Κορδαλής, 2010
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η τεχνοοικονομική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στοιχείων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια κτηνοτροφική μονάδα αιγοπροβάτων στην περιοχή Γοργόμυλος, έδρα του δήμου Ανωγείου, νομού Πρεβέζης. Η μονάδα είναι διασυνδεδεμένη στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο της Δ.Ε.Η. και αποτελείται από ένα χώρο που καλύπτεται με στέγη, η οποία είναι προσανατολισμένη στο γεωγραφικό Νότο.

Αρχικά προσδιορίζονται οι ηλεκτρικές καταναλώσεις μιας κτηνοτροφικής μονάδας και προτείνονται τρόποι εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα δυο σενάρια σύμφωνα με τα οποία θα γίνουν δυο διαφορετικές μελέτες.

Ύστερα γίνεται μια λεπτομερής μελέτη της φ/β εγκατάστασης σύμφωνα με το πρώτο και στη συνέχεια με το δεύτερο σενάριο, η οποία αφορά τον πλήρη ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί (φ/β πλαίσια, αντιστροφείς κλπ.). Επίσης γίνεται μια τεχνοοικονομική μελέτη του έργου και για τα δυο σενάρια.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν απ' την εργασία.

Λέξεις κλειδιά: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή ακτινοβολία, φωτοβολταϊκά πλαίσια, αντιστροφείς, διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Abstract

Scope of the present thesis is the analysis of a grid connected photovoltaic system, which is placed in a sheep farm.

First of all, the electric consumption of a sheep farm is specified and ways of decreasing the needs of electrical power are proposed.

Then, we state the two scenarios, according to which two different analysis will be made.

Afterwards, there is a detailed study of a grid connected photovoltaic system as far as the electrical and mechanical equipment is concerned (pv modules, inverters etc.) for both scenarios. Moreover by estimating the annually produced electrical energy, a techno-economic analysis of the system is presented.

Finally, there is the conclusion of this thesis.

Keywords: renewable energy sources, solar radiation, photovoltaic modules, inverters, grid connected photovoltaic system.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Είναι αποτέλεσμα εκτεταμένης βιβλιογραφικής έρευνας σε θέματα όπως η ηλιακή ενέργεια, η φωτοβολταϊκή μετατροπή, η διασύνδεση στο δίκτυο κ.α.

Ελπίζω να είναι έστω και μια ελάχιστη συμβολή στην ενίσχυση και εξάπλωση των ΑΠΕ, ζήτημα πλέον καθοριστικής σημασίας για τη σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κ. Μαρία Ιωαννίδου, καθηγήτρια Ε.Μ.Π. για την πολύτιμη βοήθεια, τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και την καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Περιεχόμενα

1) ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ	σελ. 9
2) ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	σελ. 11
3) ΤΑ ΔΥΟ ΣΕΝΑΡΙΑ	σελ. 12
4) 1 ^ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	σελ. 13
4.1) Υπολογισμός ισχύος εγκατάστασης	σελ. 13
4.2) Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης	σελ. 24
4.2.1) Επιλογή αντιστροφέα	σελ. 24
4.2.2) Επιλογή φ/β πλαισίων	σελ. 27
4.2.3) Συνδυασμός πλαισίου-αντιστροφέα	σελ. 31
4.3) Διαστασιολόγηση συστοιχίας	σελ. 33
4.3.1) Ανάστροφο ρεύμα	σελ. 34
4.4) ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	σελ. 37
4.5) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	σελ. 40
5) 2 ^ο ΣΕΝΑΡΙΟ	σελ. 42
5.1) Υπολογισμός ισχύος εγκατάστασης	σελ. 42
5.2) Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης	σελ. 48
5.2.1) Επιλογή αντιστροφέα	σελ. 48
5.2.2) Επιλογή φ/β πλαισίων	σελ. 50
5.2.3) Συνδυασμός πλαισίου-αντιστροφέα	σελ. 50
5.3) Διαστασιολόγηση συστοιχίας	σελ. 52
5.3.1) Ανάστροφο ρεύμα	σελ. 52
5.4) ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	σελ. 52
5.5) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	σελ. 55
6) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 56
Βιβλιογραφία	σελ. 57
Παράρτημα	σελ. 59

1) ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ

Για να λειτουργήσει μια σύγχρονη κτηνοτροφική μονάδα αιγοπροβάτων πρέπει να διαθέτει αρκετά μηχανήματα που καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Για το άρμεγμα απαιτείται ο συνδυασμός ενός **συμπιεστή αέρα** ισχύος 2hp και μιας **αντλίας** ισχύος 1hp.

Το γάλα που παράγεται πρέπει να διατηρείται σε ψυγείο. Για τη συγκεκριμένη δύναμη της μονάδας, μας αρκεί ένα ψυγείο που λειτουργεί με **συμπιεστή** ισχύος 2kW. Για να μην πήξει όμως πρέπει να βάλουμε στο ψυγείο 2 **αναδευτήρες** ισχύος 1hp ο καθένας, οι οποίοι θα το ανακατεύουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Για το πότισμα των ζώων αλλά και για τον καθαρισμό του χώρου θα χρειαστούμε μια **αντλία** νερού ισχύος 1,5hp.

Ο χώρος χρειάζεται **εξαερισμό** ο οποίος έχει ισχύ 5kW όπως επίσης **φωτισμό** όπου στη συγκεκριμένη εγκατάσταση θα βάλουμε 1kW.

Άρα οι ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι:

α) Άρμεγμα:

Θεωρούμε ότι το άρμεγμα 100 αιγοπροβάτων απαιτεί τη λειτουργία του συμπιεστή και της αντλίας, συνολικής ισχύος 3hp, για 4 ώρες την ημέρα.

β) Ψυκτική εγκατάσταση:

Για τη διατήρηση της ψύξης του ψυκτικού θαλάμου, ο συμπιεστής ισχύος 2kW θα λειτουργεί το 10% του χρόνου τους χειμερινούς μήνες και το 50% τους θερινούς. Επίσης οι 2 αναδευτήρες, ισχύος 1hp ο καθένας, θα λειτουργούν 9 ώρες την ημέρα.

γ) Αντλία:

Θεωρούμε ότι η ηλεκτρική αντλία νερού, ισχύος 1,5hp, θα λειτουργεί 2 ώρες τις ημέρες του χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι, λόγω των μεγαλύτερων καταναλώσεων νερού, θα λειτουργεί 4 ώρες την ημέρα.

δ) Εξαερισμός:

Για την ανανέωση του αέρα στη μονάδα, τα μηχανήματα ισχύος 5kW θα λειτουργούν 8 ώρες την ημέρα

ε) Φωτισμός

Για τις ανάγκες φωτισμού θα καταναλώσουμε 1kW για 4 ώρες την ημέρα.

Πίνακας 1 Εκτίμηση των μέσων ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων που θα τροφοδοτεί το σύστημα

Κατανάλωση	Χειμώνας	Καλοκαίρι
α) Άρμεγμα	3hp x 4h=2,238kW x 4h=8,952kWh	3hp x 4h=2,238kW x 4h=8,952kWh
β) Ψυκτική εγκατάσταση	(0,1 x 24h x 2kW)+(2 x 1hp x 9h)=4,8kWh+(2 x 0,746kW x 9h)=4,8kWh+13,428kWh=18, 228kWh	(0,5 x 24h x 2kW)+(2 x 1hp x 9h)=24kWh+(2 x 0,746kW x 9h)=24kWh+13,428kWh=37, 428kWh
γ) Αντλία	5kW x 2h=10kWh	5kW x 4h=20kWh
δ) Εξαερισμός	2hp x 8h=1,492kW x 8h=11,936kWh	2hp x 8h=1,492kWh x 8h=11,936kWh
ε) Φωτισμός	1kW x 4 h=4kWh	1kW x 4 h=4kWh
Σύνολο	45,354kWh≈46kWh	66,792kWh≈67kWh

Τώρα θα υπολογίσουμε τη μέγιστη ισχύ που ενδέχεται να ζητηθεί να τροφοδοτήσει το σύστημα συγκεντρώνοντας και αθροίζοντας τις επί μέρους ισχείς.

Πίνακας 2 Καταγραφή της μέγιστης ισχύος που απορροφούν οι διάφορες καταναλώσεις

Κατανάλωση	Μέγιστη Ισχύς
α) Αρμεγμα	3hp=2,238Kw
β) Ψυκτική εγκατάσταση	2kW+(2 x 1hp)=2kW+1,492kW=3,492kW
γ) Αντλία	1,5hp=1,119kW
δ) Εξαερισμός	5kW
ε) Φωτισμός	1kW
Σύνολο	9,341kW≈9,5kW

2) ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πριν τη μελέτη μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μας πρέπει, αφού προσδιοριστούν οι ανάγκες αυτές, να βρεθούν τρόποι μείωσής τους. Είναι ανούσιο να γίνεται λόγος για χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας τη στιγμή που καταναλώνεται άσκοπα και παράλογα ηλεκτρική ενέργεια. Πρέπει πάντα πρώτα να μελετάμε τρόπους εξοικονόμησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Απ' τα δεδομένα, εξοικονόμηση ενέργειας μπορούμε να έχουμε στον εξαερισμό και το φωτισμό.

Θα μπορούσαμε να απαλλαγούμε απ' τα 5kW που καταναλώνει ο υπάρχων εξαερισμός, αν εκμεταλλευόμασταν τον μηχανισμό του φυσικού ελκυσμού. Δημιουργώντας κάποια ανοίγματα στους τοίχους της εγκατάστασης (ψηλά και χαμηλά), αναγκάζουμε τον αέρα να φεύγει απ' το χώρο και να ανανεώνεται με καθαρό.

Παρατηρούμε ότι οι απαιτήσεις φωτισμού είναι ιδιαίτερα υψηλές. Η μείωσή τους κατά μεγάλο βαθμό είναι εφικτή με δύο κυρίως τρόπους. Με τη δημιουργία μεγαλύτερων παραθύρων και την αντικατάσταση των λαμπτήρων.

Τα μεγαλύτερα παράθυρα θα μείωναν την ανάγκη τεχνητού φωτισμού καθώς θα υπήρχε περισσότερο φυσικό φως στο χώρο. Αυτό το μέτρο θα είχε θετικά οφέλη και στα ζώα διότι είναι γνωστό ότι το φυσικό φως είναι απαραίτητο για την ομαλή διαβίωσή τους.

Η αντικατάσταση των παλαιών ενεργοβόρων λαμπτήρων της εγκατάστασης με νέους είναι το δεύτερο μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας για το φωτισμό. Μπορούμε να τοποθετήσουμε νέους λαμπτήρες τεχνολογίας Led και να μειώσουμε την κατανάλωση για φωτισμό ακόμα και 50%.

Η μελέτη θα γίνει θεωρώντας ότι δεν κάναμε εξοικονόμηση και ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις παρέμειναν ως είχαν.

3) ΤΑ ΔΥΟ ΣΕΝΑΡΙΑ

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (Ν.3851/2010), η Δ.Ε.Η. είναι υποχρεωμένη να αγοράσει όλη την παραγόμενη από φωτοβολταϊκά στοιχεία ενέργεια για τουλάχιστον 25 έτη. Η τιμή στην οποία αγοράζει αυτή την ενέργεια για εγκαταστάσεις που θα ολοκληρωθούν μέχρι και το 2011 ανέρχεται στα €0,55/kWh.

Η τιμή στην οποία αγοράζει η κτηνοτροφική μονάδα ηλεκτρική ενέργεια απ' τη Δ.Ε.Η. ανέρχεται στα €0,14002/kWh. Δηλαδή η παραγόμενη ενέργεια πωλείται στη Δ.Ε.Η. περίπου 4 φορές ακριβότερα απ' ότι αγοράζεται απ' αυτήν.

Ανάλογα με την επιθυμία του ιδιοκτήτη της κτηνοτροφικής μονάδας, ο οποίος είναι και ο επενδυτής της εγκατάστασης, υπάρχουν 2 εναλλακτικά σενάρια. Το πρώτο σενάριο είναι η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής

τόσης ενέργειας όσης καταναλώνεται απ' την κτηνοτροφική μονάδα ενώ το δεύτερο είναι η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής μικρότερης απ' αυτήν που απαιτείται.

4)1^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

4.1) Υπολογισμός ισχύος εγκατάστασης

Βλέπουμε ότι η μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται τους καλοκαιρινούς μήνες και αντιστοιχεί σε $67\text{kWh}/\text{ημέρα}=2010\text{kWh}/\text{μήνα}$. Άρα θα πρέπει να εγκαταστήσουμε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών στοιχείων το οποίο να παράγει περίπου $2010\text{kWh}/\text{μήνα}=24120\text{kWh}/\text{έτος}$.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι σαφώς πολύ περισσότερη απ' ό,τι απαιτεί η κτηνοτροφική μονάδα κατά τη διάρκεια του έτους αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς δε χάνεται, παρά πωλείται σε υψηλή τιμή αποφέροντας κέρδη στον επενδυτή.

Για τον υπολογισμό της ισχύος της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στοιχείων χρησιμοποιώ την εφαρμογή PVGIS, το οποίο διατίθεται δωρεάν απ' την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η εφαρμογή αυτή παίρνει σαν είσοδο το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής που βρίσκεται η κτηνοτροφική μονάδα, τις απώλειες του συστήματος (κατά μέσο όρο είναι περίπου 14%) και την εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Σαν αποτέλεσμα μάς δίνει τη βέλτιστη κλίση των συλλεκτών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά από παρακολούθηση έργων που έχουν ολοκληρωθεί το συμπέρασμα είναι ότι η εφαρμογή αυτή έχει μια απόκλιση απ' το τελικό αποτέλεσμα περίπου -20% και θα ληφθεί υπ' όψιν στους υπολογισμούς.

Εδώ θα εργαστούμε αντίστροφα και με δοκιμές θα βρούμε πόση εγκατεστημένη ισχύς καλύπτει τις ετήσιες ανάγκες μας. Το αγροτεμάχιο στο οποίο βρίσκεται η κτηνοτροφική μονάδα έχει γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ}20'01,93''$ και γεωγραφικό μήκος $20^{\circ}55'31,55''$.

Με αυτό το δεδομένο και εγκατεστημένη ισχύ 1kWp έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα.

Estimation of PV electricity generation for the chosen location

Modify the parameters of your PV installation and click the "Submit" button. [\[help\]](#)

PV technology:

Enter installed peak PV power kWp

Estimated system losses (%) [0.0:100.0]

Module inclination [0,90] deg.

Module orientation [-180;180] (E:-90 S:0)
 deg.

☒ Use given inclination and orientation

☐ Find optimal inclination for given orientation

☐ Find optimal inclination and orientation

☐ Show performance for 2-axis tracking system

☒ Show horizon outline graph

☒ Show also the in-plane irradiation

Click to confirm your choice

Location: 39°20'2" North, 20°55'32" East, Elevation: 504 m a.s.l,

Nearest city: Arta, Greece (21 km away)

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Inclination of modules: 29.0° (Optimum at given orientation)

Orientation (azimuth) of modules: 0.0°

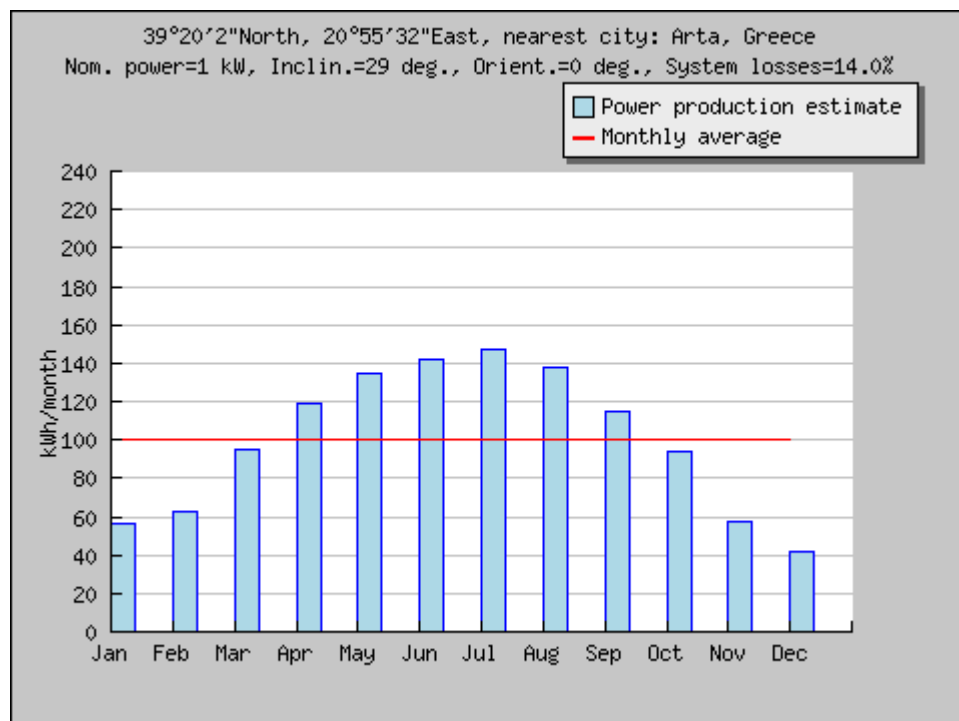
Estimated losses due to temperature: 8.7% (using local ambient temperature data)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

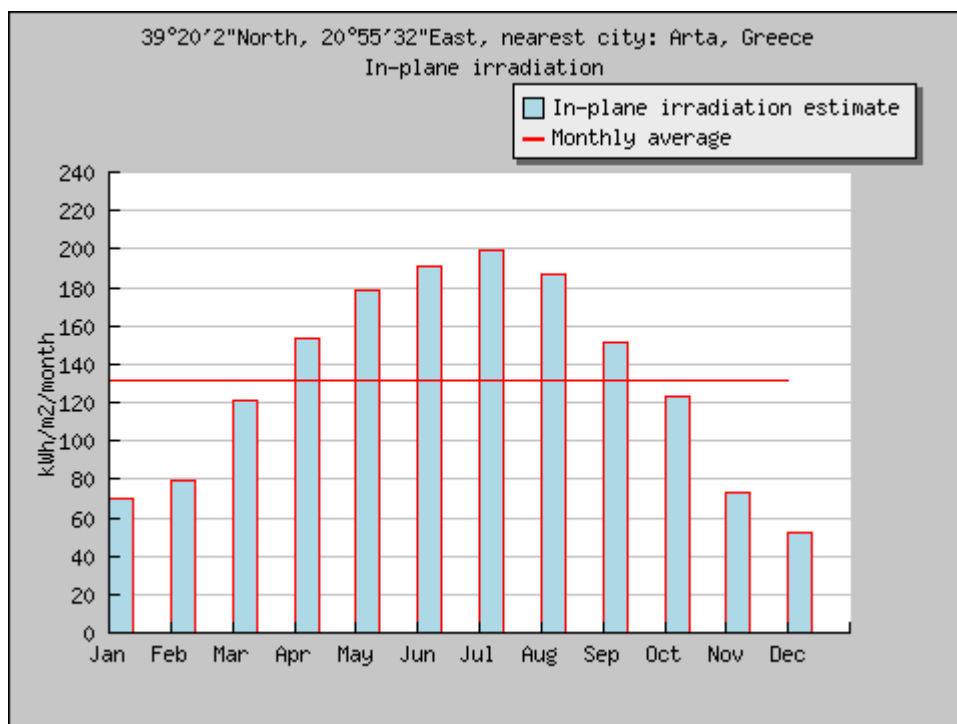
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 25.4%

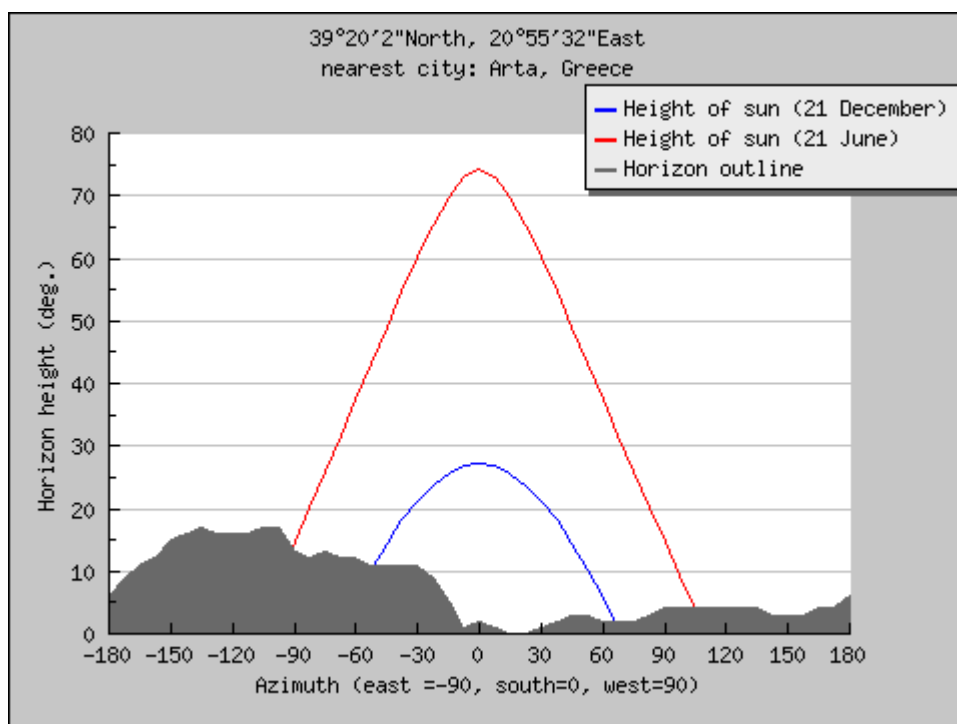
Σχήμα 1 Αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα



Σχήμα 2 Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην τοποθεσία που μελετάται



Σχήμα 3 Κίνηση του ήλιου στην τοποθεσία που μελετάται



Πίνακας 3 Αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα, ημέρα και έτος

PV electricity generation for: Nominal power=1.0 kW, System losses=14.0%		
	Inclin.=29 deg., Orient.=0 deg.	
Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	56	1.8
Feb	63	2.3
Mar	95	3.1
Apr	119	4.0
May	135	4.4
Jun	142	4.7
Jul	147	4.7
Aug	138	4.5
Sep	114	3.8
Oct	94	3.0
Nov	58	1.9
Dec	41	1.3
Yearly average	100	3.3
Total yearly production (kWh)	1203	

Πίνακας 4 Ηλιακή ακτινοβολία στην τοποθεσία που μελετάται ανά μήνα, ημέρα και έτος

In-plane irradiation for:		
Inclin.=29 deg., Orient.=0 deg.		
Month	Irradiation per month (kWh/m2)	Irradiation per day (kWh/m2)
Jan	70	2.3
Feb	79	2.8
Mar	121	3.9
Apr	153	5.1
May	179	5.8
Jun	191	6.4
Jul	199	6.4
Aug	187	6.0
Sep	152	5.1
Oct	123	4.0
Nov	74	2.5
Dec	52	1.7
Yearly average	132	4.3
Total yearly irradiation (kWh/m2)	1579	

Συνυπολογίζοντας ότι η εφαρμογή υποεκτιμά το πραγματικό αποτέλεσμα κατά 20%, βρίσκω ότι εγκατεστημένη ισχύς 1kWp παράγει περίπου 1450kWh/έτος. Άρα για την κτηνοτροφική μονάδα κατανάλωσης 24120kWh/έτος θα πρέπει να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκά στοιχεία συνολικής ισχύος περίπου 16,5kWp. Πράγματι, μετά από δοκιμές βρίσκουμε ότι για εγκατεστημένη ισχύ 17kWp έχουμε ετήσια παραγωγή (συνυπολογίζοντας την υποεκτίμηση) περίπου 24500kWh.

Estimation of PV electricity generation for the chosen location

Modify the parameters of your PV installation and click the "Submit" button. [\[help\]](#)

PV technology:

Crystalline silicon

Enter installed peak PV power

17

 kWp

Estimated system losses (%) [0.0:100.0]

14.0

Module inclination [0,90]

29

 deg.

Module orientation [-180;180] (E:-90 S:0)

0

 deg.

☒ Use given inclination and orientation

☐ Find optimal inclination for given orientation

☐ Find optimal inclination and orientation

☐ Show performance for 2-axis tracking system

☒ Show horizon outline graph

☒ Show also the in-plane irradiation

Location: 39°20'2" North, 20°55'32" East, Elevation: 504 m a.s.l,

Nearest city: Arta, Greece (21 km away)

Nominal power of the PV system: 17.0 kW (crystalline silicon)

Inclination of modules: 29.0°

Orientation (azimuth) of modules: 0.0°

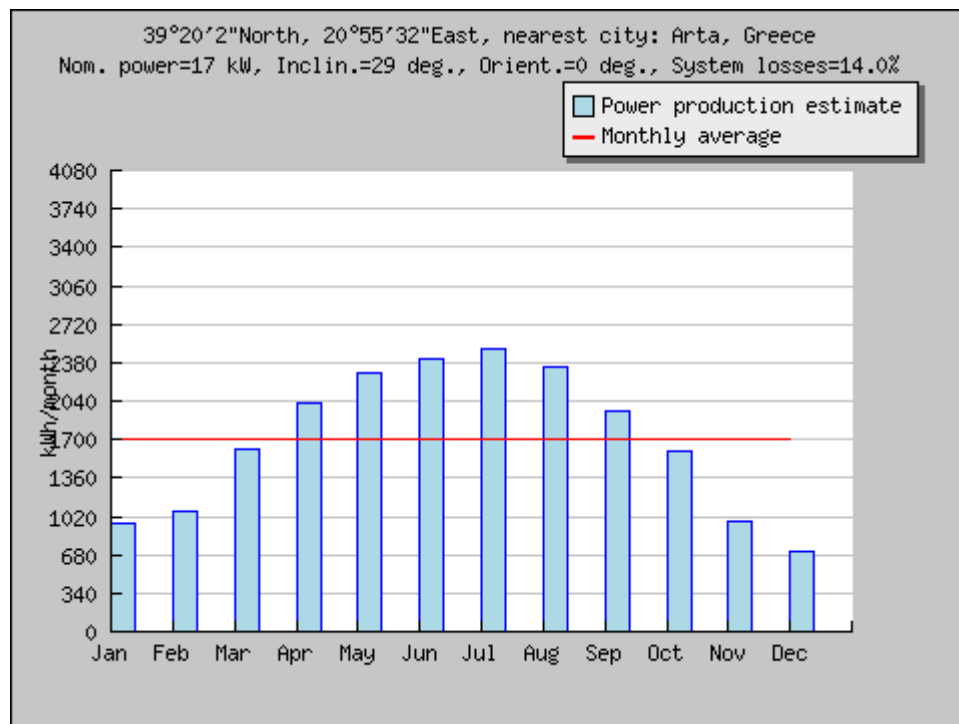
Estimated losses due to temperature: 8.7% (using local ambient temperature data)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

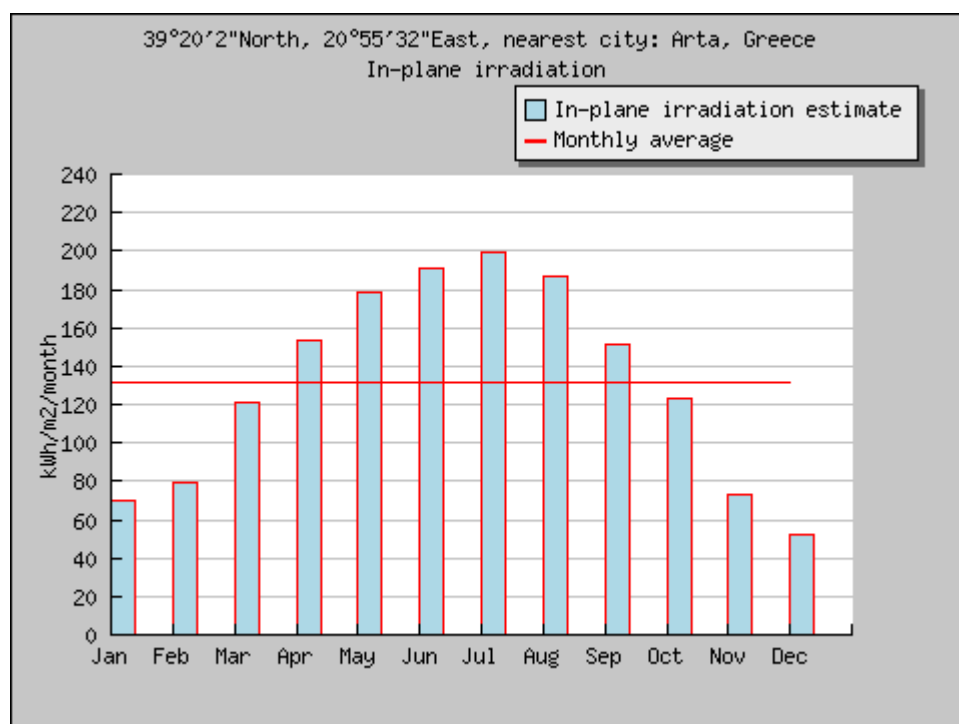
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 25.4%

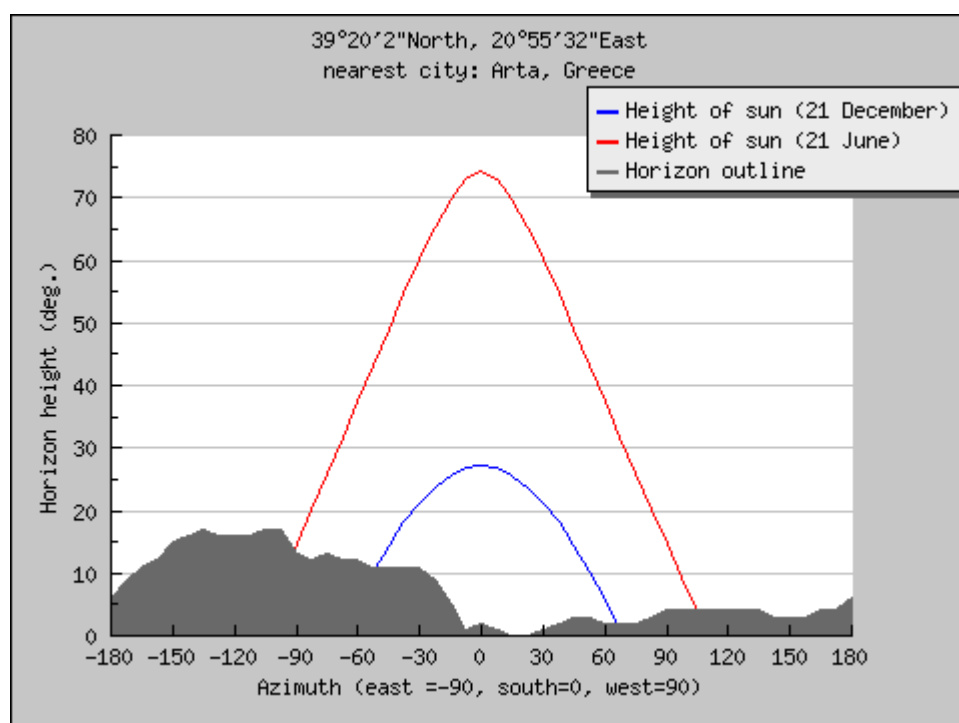
Σχήμα 4 Αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα



Σχήμα 5 Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην τοποθεσία που μελετάται



Σχήμα 6 Κίνηση του ήλιου στην τοποθεσία που μελετάται



Πίνακας 5 Αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα, ημέρα και έτος

PV electricity generation for: Nominal power=17.0 kW, System losses=14.0%		
	Inclin.=29 deg., Orient.=0 deg.	
Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	956	31
Feb	1072	38
Mar	1614	52
Apr	2022	67
May	2296	74
Jun	2411	80
Jul	2492	80
Aug	2349	76
Sep	1946	65
Oct	1604	52
Nov	984	33
Dec	705	23
Yearly average	1704	56
Total yearly production (kWh)	20451	

Πίνακας 6 Ηλιακή ακτινοβολία στην τοποθεσία που μελετάται ανά μήνα, ημέρα και έτος

In-plane irradiation for:		
Inclin.=29 deg., Orient.=0 deg.		
Month	Irradiation per month (kWh/m ²)	Irradiation per day (kWh/m ²)
Jan	70	2.3
Feb	79	2.8
Mar	121	3.9
Apr	153	5.1
May	179	5.8
Jun	191	6.4
Jul	199	6.4
Aug	187	6.0
Sep	152	5.1
Oct	123	4.0
Nov	74	2.5
Dec	52	1.7
Yearly average	132	4.3
Total yearly irradiation (kWh/m ²)	1579	

4.2) Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης

4.2.1) Επιλογή αντιστροφέα

Η επιλογή των αντιστροφέων είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης. Αν η προσέγγιση γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε αναμφισβήτητα θα καταλήξουμε στην επιλογή αντιστροφέων μεγάλης ισχύος, γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του φ/β συστήματος μικρή. Όμως μια τέτοια επιλογή, προφανώς είναι λανθασμένη, καθώς περιέχει τον κίνδυνο να αποκοπεί όλο το σύστημα σε περίπτωση βλάβης του μοναδικού αντιστροφέα.

Επισημαίνεται ότι ο τύπος των αντιστροφέων για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός). Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική ισχύς εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να ταυτίζεται σε καμία περίπτωση με την ισχύ αιχμής των φ/β πλαισίων στην είσοδό του. Μια τέτοια επιλογή θα ήταν λανθασμένη, καθώς τα φ/β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής τους υπό ιδανικές συνθήκες, οι οποίες δεν συναντώνται στην πράξη και αν συμβεί ποτέ αυτό διαρκεί για ένα πολύ μικρό διάστημα. Επιπλέον και οι εταιρείες, οι οποίες παράγουν αντιστροφείς προτείνουν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν επιλεγεί μικρότερη τιμή, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα τη μη αποδοτική χρήση των αντιστροφέων και ακόμα μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνται περισσότεροι αντιστροφείς για την υλοποίηση της ίδιας φ/β εγκατάστασης. Η ισχύς του αντιστροφέα πρέπει να συμβιβάζει πολλές παραμέτρους.

Για τη συγκεκριμένη φ/β εγκατάσταση εξετάστηκαν τα προϊόντα μιας εκ των μεγαλύτερων εταιρειών στον χώρο, της SMA. Η εταιρεία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στο χώρο των αντιστροφέων για φ/β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία όσον αφορά την αξιοπιστία και την απόδοση.

Η προσέγγιση που ακολουθείται για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα έχει πρώτα από όλα να κάνει με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συμβιβάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Θεωρούμε ότι όλοι οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν είναι όμοιοι, γεγονός που εξασφαλίζει ότι και τα string των φ/βπλαισίων, καθώς και οι συστοιχίες θα προκύψουν ίδιες. Αυτό θα έχει με τη σειρά του σαν αποτέλεσμα να απλοποιηθεί η τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης και να γίνει ευκολότερη η κυκλωματική σύνδεση.

Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 17kWp, η ισχύς των αντιστροφέων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή. Εξετάζονται οι διάφορες υλοποιήσεις που μπορούν να προκύψουν χρησιμοποιώντας τους αντιστροφείς της SMA της σειράς SUNNY MINI CENTRAL, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύς. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν είναι τα : SMC 4600A, SMC 5000A και SMC 6000A. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των αντιστροφέων φαίνονται στον πίνακα 7, ενώ αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα.

Πίνακας 7 Τεχνικά στοιχεία των αντιστροφέων SUNNY MINI CENTRAL της εταιρείας SMA

SMA-SUNNY MINI CENTRAL			
	SMC 4600A	SMC 5000A	SMC 6000A
Τιμές Εισόδου			
Μέγιστη ισχύς DC	5250W	5750W	6300W
Εύρος τάσης DC	246V-480V	246V-480V	246V-480V
Ονομαστική τάση DC	270V	270V	270V
Μέγιστη τάση DC	600V	600V	600V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	26A	26 ^A	26A
Διακύμανση τάσης DC	<10%	<10%	<10%
Μέγιστος αριθμός παράλληλων string	4	4	4
Τιμές Εξόδου			
Μέγιστη ισχύς AC	4600W στους 40° C	5000W στους 40° C	6000W στους 40° C
Ονομαστική ισχύς AC	5000W	5500W	6000W
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	26A	26 ^A	26A
THD ρεύματος AC	<4%	<4%	<4%
Ονομαστική τάση AC	220V-240V	220V-240V	220V-240V
Ονομαστική συχνότητα AC	50Hz	50Hz	50Hz
Απόδοση			
Μέγιστη απόδοση	96,1%	96,1%	96,1%
Euro-eta	95,3%	95,3%	95,3%
Μηχανολογικά στοιχεία			
Βάρος	62kg	62kg	63kg
Ύψος/Μήκος/Πλάτος/ (mm)	468/613/242	468/613/242	468/613/242

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πλήθους των αντιστροφέων σε κάθε περίπτωση. Επειδή η φ/β εγκατάσταση πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο XT μέσω τριών αγωγών στις τρεις φάσεις του δικτύου (τριφασική σύνδεση) εξετάζεται το κατά πόσο είναι δυνατόν οι τρεις αυτοί αντιστροφέες να προσφέρουν μια υλοποίηση στην οποία θα υπάρχει συμμετρία ισχύος μεταξύ των τριών φάσεων. Εφόσον έχει επιλεγεί

η χρήση ενός τύπου αντιστροφέα αυτό συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των αντιστροφών πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 3, για να μπορούν να ομαδοποιηθούν συμμετρικά, όσον αφορά την ισχύ, οι έξοδοί τους. Αν δεν καταστεί δυνατή μια τέτοια υλοποίηση με κανέναν από τους αντιστροφείς που θα επιλεγούν τότε θα εξεταστεί μια διαφορετική προσέγγιση.

Εξετάζοντας τον αντιστροφέα SMC 4600A, παρατηρούμε ότι η ισχύς εισόδου είναι 5,25kW. Λαμβάνοντας υπόψη όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω για την ισχύ αιχμής των πλαισίων προκύπτει ότι η ιδανική ισχύς στην είσοδό του κυμαίνεται μεταξύ 5.250Wp και 6.300Wp (έως 20% αυξημένη). Οι τιμές αυτές μας οδηγούν στην επιλογή 3 τέτοιων αντιστροφών (αριθμός πολλαπλάσιος του 3), που θα δέχονται στη είσοδό τους 5.667Wp ($17.000Wp/3 \approx 5.667Wp$). Τα αντίστοιχα μεγέθη για τους άλλους δύο αντιστροφείς προκύπτουν με τον ίδιο τρόπο και είναι: 3 αντιστροφείς SMC 5000A με ισχύ εισόδου την ίδια με πριν δηλαδή 5.667Wp, 3 αντιστροφείς SMC 6000A με ισχύ εισόδου την ίδια με πριν δηλαδή 5.667Wp.

Παίρνοντας τις τιμές για τους παραπάνω αντιστροφείς όμως βλέπουμε ότι το κόστος αγοράς τους είναι σχεδόν ίδιο, άρα θα πρέπει πρώτα να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατόν να συνδυαστούν με τα επιλεγόμενα πλαίσια, γεγονός που εξετάζεται παρακάτω.

Τέλος οι παραπάνω τιμές ισχύος εισόδου των αντιστροφών είναι ενδεικτικές, ενώ οι ακριβείς θα υπολογιστούν με βάση την ισχύ των φ/β πλαισίων.

4.2.2) Επιλογή φ/β πλαισίων

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι γενικά ένα πολυσύνθετο πρόβλημα. Η πληθώρα κατασκευαστικών εταιρειών και πλαισίων επιτείνουν ακόμα περισσότερο τη δυσκολία της επιλογής.

Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες έγινε η επιλογή των πλαισίων ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρείας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοσή τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί είχε να κάνει με την επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του. Πολύ γρήγορα η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου, καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές,

δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφορες. Σύγκριση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων δίνεται στον πίνακα 8.

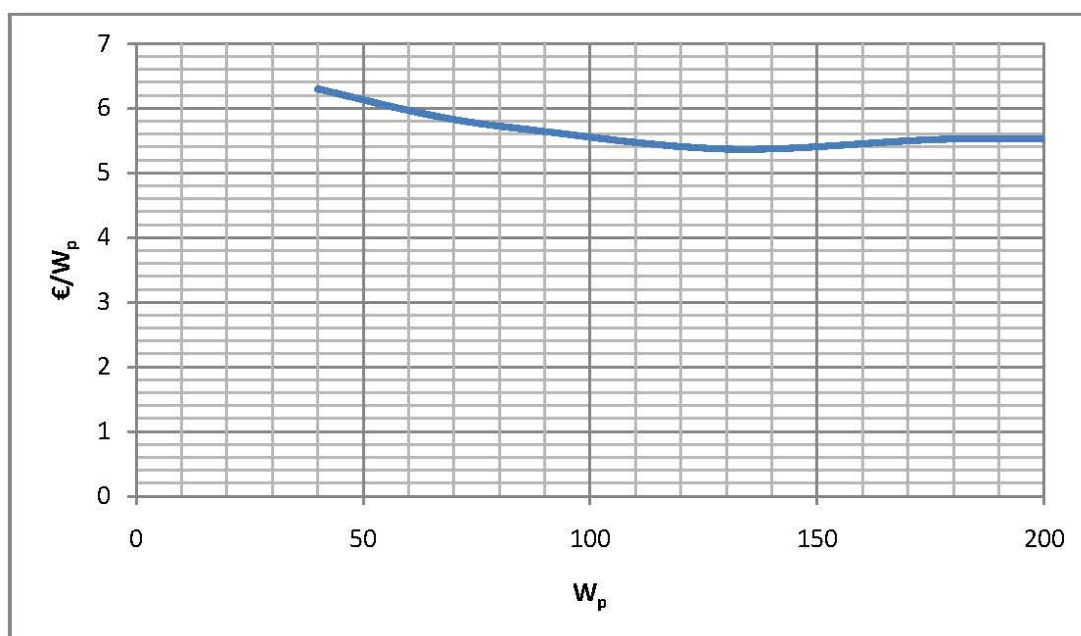
Πίνακας 8 Συγκριτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων

Υλικό φ/β στοιχείων	Απόδοση φ/β στοιχείων του εμπορίου	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	14-19%	• Ομοιόμορφη μοριακή δομή • Μεγάλος βαθμός απόδοσης	• Υψηλό κόστος παραγωγής • Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής • Ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο	10-14%	• Οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο • Τετραγωνικά δισκία επιτρέπουν μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης	• Χαμηλότερη απόδοση συγκρινόμενη με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο • Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής
Ribbon Πυρίτιο	Έως 15%	• Λιγότερες απώλειες πυριτίου στην παραγωγή	• Χειρότερη ποιότητα πυριτίου από αυτή του μον/κού • Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Thin-film Πυρίτιο	Έως 17% (ραγδαία εξελισσόμενη έρευνα)	• Λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό • Όχι μεγάλες απαιτήσεις σε υλικό υποστρώματος • Πολλά υποσχόμενη τεχνολογία	• Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Άμορφο Πυρίτιο	6-9%	• Χαμηλό κόστος παραγωγής συγκρινόμενο με το κρυσταλλικό πυρίτιο • Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας	• Μικρός βαθμός απόδοσης • Βαθμιαία μείωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου
Αρσενικούχο γάλλιο	25-30%	• Μεγάλος βαθμός απόδοσης • Υψηλή θερμική αδράνεια	• Υψηλό κόστος παραγωγής (5πλασιο του κρυσταλλικού πυριτίου)
Δισεληνιούχος Ινδιούχος Χαλκός	Έως 10%	• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας • Δεν εμφανίζει βαθμιαία πτώση της απόδοσης όπως το άμορφο πυρίτιο	• Πολύπλοκο υλικό • Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία • Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Τελλουριούχο Κάδμιο	6-13%	• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας • Χαμηλό κόστος παραγωγής	• Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία • Περιορισμένη εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα

Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών γεννητριών είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξεως του 10-15% ακριβότερες. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τις πολυκρυσταλλικές. Όμως εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.

Προφανώς για την επιλογή της κατασκευάστριας εταιρείας δεν ήταν δυνατόν να εξεταστούν όλες οι εκατοντάδες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο. Επιλέχθηκαν 4-5 μεγάλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται για πολλά χρόνια στο χώρο, έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και η αντοχή των προϊόντων (γεγονός υψίστης σημασίας για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις) έχει αποδειχθεί στη πράξη. Οι εταιρείες αυτές είναι η BP Solar, Shell, Kyocera, Siemens, Sharp και η SolarWorld.

Σχήμα 7 Κόστος φ/β πλαισίων σε σχέση με την ισχύ που παράγουν. Οι τιμές αφορούν πλαίσια της εταιρείας SolarWorld. Σκοπός είναι να φανεί ότι το κόστος των μικρών πλαισίων (μέχρι 100kwp) είναι υψηλότερο απ'τα μεγαλύτερα πλαίσια.



Από την άποψη της ισχύος συμφέρει περισσότερο η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με μεγάλη ισχύ αντί πολλών πλαισίων με μικρότερες ισχύεις ειδικά για μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις, που λειτουργούν ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα πλαίσια

δουλεύονται πιο εύκολα στην εγκατάστασή τους, απαιτούνται λιγότερες συνδέσεις και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο. Επίσης το κόστος ανά Wp μειώνεται ελαφρά με την αύξηση της ισχύος ενός πλαισίου, αλλά για πλαίσια μεγαλύτερα των 120Wp είναι ουσιαστικά σταθερό (Σχήμα 7). Από την άλλη η επιλογή ενός πλαισίου με πολύ μεγάλη ισχύ μπορεί να έχει και αρνητικές επιπτώσεις, γιατί μια ενδεχόμενη σκίαση ενός μέρους του, θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ότι σε ένα πλαίσιο μικρότερης ισχύος.

Στη συγκεκριμένη όμως φ/β εγκατάσταση, η τοποθέτηση των πλαισίων θα γίνει σε στέγη άρα δεν τίθεται θέμα σκίασης. Έτσι θα επιλεγεί πλαίσιο με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ.

Τελικά μελετώντας τα datasheet των πλαισίων από τις παραπάνω εταιρείες, επιλέχθηκε ένα πλαίσιο της εταιρίας SolarWorld, το οποίο θα εξεταστεί, αν μπορεί να συνδυαστεί και με ποιο τρόπο, με τους αντιστροφείς της προηγούμενης παραγράφου, για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος, που είναι η εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος 17kWp. Το πλαίσιο αυτό είναι το: Sunmodule SW 235, ονομαστικής ισχύος 235Wp. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 9 και αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα.

Πίνακας 9 Τεχνικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίου Sunmodule SW 235 της εταιρείας Solarworld

SolarWorld	
Ηλεκτρική απόδοση υπό στάνταρ συνθήκες (STC*)	
	Sunmodule SW 235
Ονομαστική μέγιστη ισχύς P_{max}	235Wp
Ονομαστική τάση φόρτισης V_{mpp}	30V
Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης I_{mpp}	7,85A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc}	37V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}	8,35A
Τάση μέγιστης ισχύος συστήματος	1000V
Πλήθος φ/β στοιχείων ανά πλαίσιο	60
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
Μορφή φ/β στοιχείων	πολυγωνική
Διαστάσεις φ/β στοιχείων (μήκος×πλάτος)mm	1675 x 1001

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή του φ/β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Ακόμα οι διαστάσεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του, ρόλο κλειδί έχουν τα μεγέθη της τάσης και έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνυφασμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

4.2.3) Συνδυασμός πλαισίου-αντιστροφέα

Με βάση την επιλογή των αντιστροφέων και των φ/β πλαισίων, που έγινε παραπάνω, εξετάζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί για την υλοποίηση της φ/β εγκατάστασης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε φαίνεται αμέσως παρακάτω και βασίστηκε στα εξής:

a) Τα πλαίσια που συνδέονται σε έναν αντιστροφέα πρέπει να έχουν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, σε διαφορετική περίπτωση δεν υπάρχει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους. Γενικότερα πρέπει μια τέτοια υλοποίηση να αποφεύγεται, καθώς μπορούν να ανακύψουν και τεχνικά προβλήματα (π.χ ανάστροφο ρεύμα προς κάποιο παράλληλο string, γεγονός που εξετάζεται παρακάτω).

b) Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, προτιμήθηκε οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση να είναι οι ίδιοι (κυρίως να έχουν την ίδια ισχύ) και ο συνολικός αριθμός τους να είναι πολλαπλάσιο του 3.

c) Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όλα τα πλαίσια, που θα χρησιμοποιηθούν σε όλη την εγκατάσταση θα είναι τα ίδια.

Έστω ότι επιλέγονται 3 αντιστροφείς SMC 4600A, ο καθένας εκ των οποίων πρέπει να δέχεται στην είσοδο του 5667Wp για να φτάσουμε τα 17kWp που είναι η επιθυμητή τιμή της εγκατάστασης.

Το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός των πλαισίων και η κυκλωματική σύνδεσή τους. Υπολογίζεται ότι σε κάθε αντιστροφέα συνδέονται 24 πλαίσια των 235Wp (**235Wp×24=5640Wp**). Τα πλαίσια αυτά οργανώνονται σε 3 παράλληλα string των 8 πλαισίων το καθένα. Αυτό σημαίνει ότι η είσοδος του αντιστροφέα δέχεται:

8πλαίσια εν σειρά×30V=240V

από ένα string (επί συνόλου 3 string ανά αντιστροφέα), που είναι η απαραίτητη τάση εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου. Ακόμα δέχεται:

3παράλληλα string×7,85A=23,55A

που παρατηρούμε ότι βρίσκεται μέσα στα όρια του αντιστροφέα.

Ο συνολικός αριθμός των φ/β πλαισίων της εγκατάστασης προκύπτει:

24πλαίσια/αντιστροφέα×3 αντιστροφείς=72 φ/β πλαίσια

Τέλος η συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι:

5640Wp/αντιστροφέα×3 αντιστροφείς=16.920Wp

που είναι πολύ κοντά στο επιθυμητό.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συνδυασμού των άλλων δυο αντιστροφέων με το φ/β πλαίσιο Sunmodule SW 235 και τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10 Πιθανοί συνδυασμοί πλαισίου-αντιστροφέων

	1 ^η περίπτωση	2 ^η περίπτωση	3 ^η περίπτωση
Αντιστροφέας(INV)	SMC 4600A	SMC 5000A	SMC 6000A
Πλαίσιο	Sunmodule SW 235	Sunmodule SW 235	Sunmodule SW 235
Πλήθος αντιστροφέων	3	3	3
Πλάισια/αντιστροφέ α	24	24	24
Ισχύς PV στην είσοδο αντιστροφέα $P_{in,dc}$	5640Wp	5640Wp	5640Wp
Παράλληλα String/αντιστροφέα	3	3	3
Πλάισια εν σειρά/αντιστροφέα	8	8	8
Τάση στην είσοδο αντιστροφέα $V_{in,dc}$	240V	240V	240V
Ένταση ρεύματος στην είσοδο αντιστροφέα $I_{in,dc}$	23,55A	23,55A	23,55A
Συνολική ισχύς εγκατάστασης	16920Wp	16920Wp	16920Wp
Κόστος αντιστροφέων	3×€2990=€8970	3×€2990=€8970	3×€3043=€9129

Απ' τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι έχουμε να επιλέξουμε ανάμεσα στον αντιστροφέα SMC 4600A και τον SMC 5000A. Επειδή το κόστος

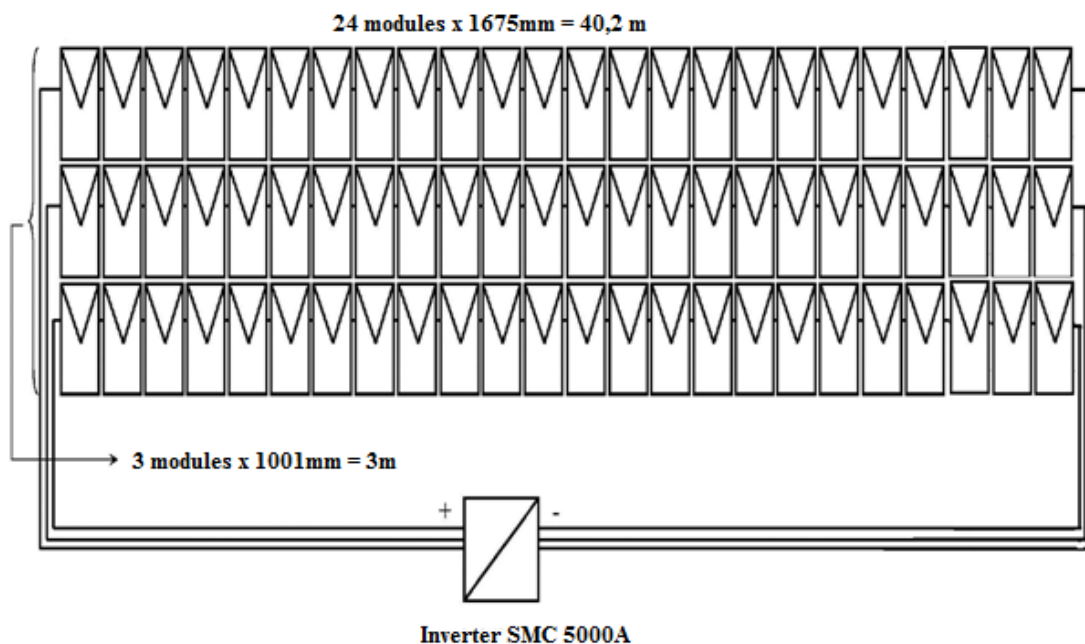
τους είναι ίδιο θα επιλέξουμε τον SMC 5000A για λόγους πιθανής μελλοντικής επέκτασης της φ/β εγκατάστασης.

4.3) Διαστασιολόγηση συστοιχίας

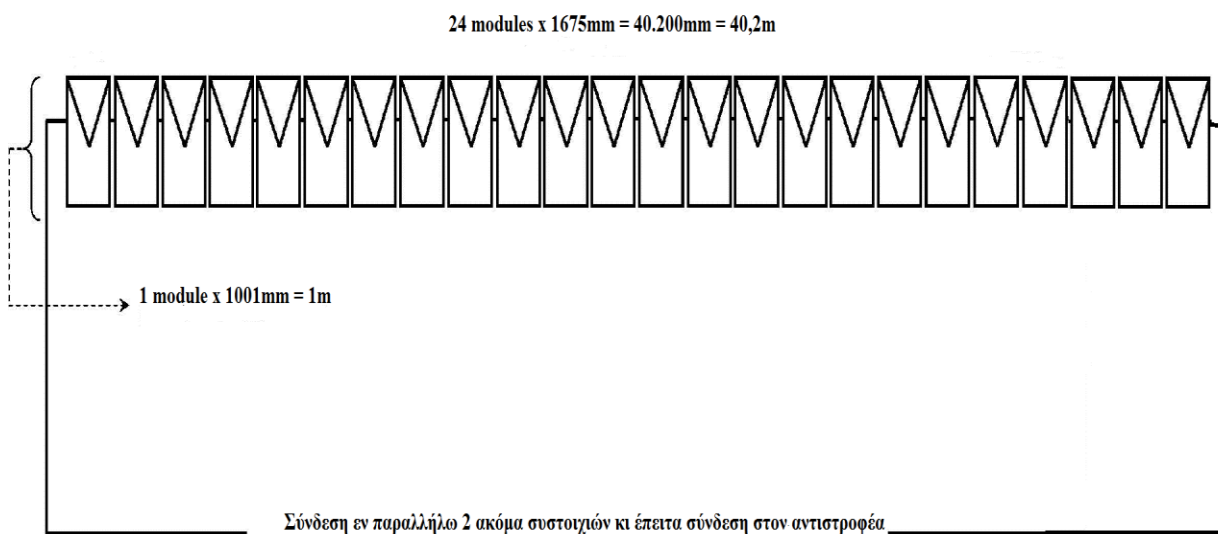
Είναι πολύ βολικό να επιλεγούν οι συστοιχίες του φ/β πάρκου να αποτελούνται από 24 φ/β πλαίσια με την κυκλωματική σύνδεση που περιγράφηκε παραπάνω (Σχήμα 8). Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει ένας αντιστροφέας ανά συστοιχία. Η λύση αυτή σαφώς και δεν είναι η μοναδική. Μια εναλλακτική υλοποίηση φαίνεται στο σχήμα 9, όπου έχει επιλεγεί κάθε string με 8 πλαίσια εν σειρά να αποτελεί και μια συστοιχία. Σε αυτή την διάταξη σε κάθε αντιστροφή καταλήγουν 3 συστοιχίες παράλληλα, χωρίς βέβαια να μεταβάλλεται ο συνολικός αριθμός των πλαισίων που παραμένει 24 πλαίσια/αντιστροφή. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο υλοποιήσεις έχει να κάνει με το γεγονός ότι η δεύτερη περίπτωση έχει μικρότερες συστοιχίες και απαιτείται μεγαλύτερο μήκος καλωδίων για τις συνδέσεις από την πρώτη περίπτωση. Τονίζεται ότι δεν προκύπτει καμία διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις, όσον αφορά την τελική απαιτούμενη έκταση της φ/β εγκατάστασης. Επιπλέον δεν είναι δεσμευτικό ότι η σε σειρά σύνδεση των φ/β πλαισίων ενός string πρέπει να αποτελεί και το μήκος μιας συστοιχίας. Θα μπορούσε ως μήκος της συστοιχίας να επιλεγεί οποιοσδήποτε αριθμός φ/β πλαισίων χωρίς να υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην λειτουργία, κάνοντας απλά τη σύνδεσή τους πιο πολύπλοκη.

Θεωρώντας ότι επιλέγεται ο συνδυασμός 3 συστοιχιών των 24 φ/β πλαισίων, απαιτούνται περίπου 125 τετραγωνικά μέτρα στέγης με κλίση 29°.

Σχήμα 8 Κυκλωματική διάταξη συστοιχίας



Σχήμα 9 Εναλλακτική διάταξη συστοιχίας



4.3.1 Ανάστροφο ρεύμα

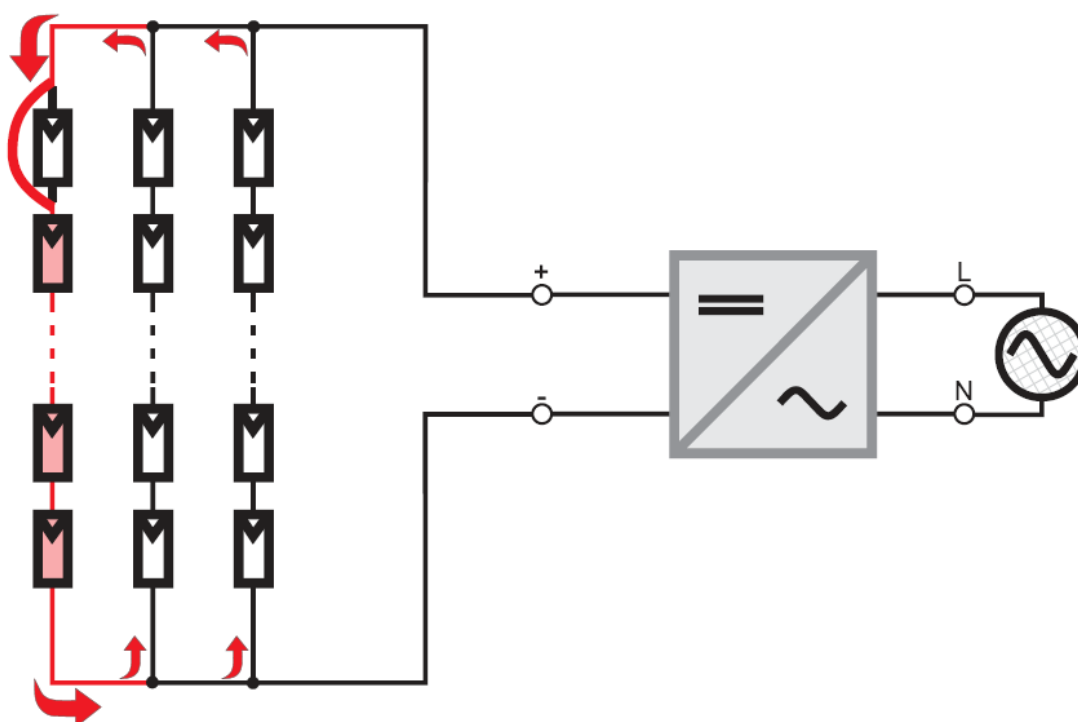
Το φαινόμενο της αντιστροφής ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια σε μια φ/β συστοιχία, που συνδέεται σε έναν αντιστροφέα είναι γενικά ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο. Μπορεί να εμφανιστεί μόνο στην περίπτωση, την οποία υπάρχουν φ/β πλαίσια συνδεδεμένα παράλληλα και η τάση ανοιχτού κυκλώματος στα άκρα των παράλληλων strings είναι

διαφορετική. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί εάν επιλεγούν παράλληλα strings ίδιου μήκους και ισχύος. Επομένως σε μια φ/β γεννήτρια, η οποία έχει διαστασιολογηθεί σωστά και για κατάσταση λειτουργίας χωρίς σφάλματα, η εμφάνιση του ανάστροφου ρεύματος είναι τελείως ανεπαίσθητη.

Το ανάστροφο ρεύμα μπορεί να εμφανιστεί μόνο σε περιπτώσεις σφαλμάτων της φ/β γεννήτριας (π.χ. βραχυκύκλωμα σε ένα ή περισσότερα πλαίσια), τα οποία μπορούν να μειώσουν σημαντικά την τάση ανοιχτού κυκλώματος ενός string σε σχέση με τα άλλα παράλληλα string. Σε μία τέτοια περίπτωση η δίοδος παράκαμψης (bypass diode), που έχουν όλα τα φ/β πλαίσια, αναγκάζει το ανάστροφο ρεύμα να περάσει μέσα από το string, το οποίο εμφάνισε το σφάλμα και ανάλογα με την τιμή αυτού του ρεύματος μπορεί να οδηγήσει σε θέρμανση και πιθανώς καταστροφή όλων των πλαισίων, που είναι συνδεδεμένα σε σειρά στο συγκεκριμένο string.

Παρόλο που τέτοια φαινόμενα σφαλμάτων είναι αρκετά απίθανα, και πολύ σπάνια συμβαίνουν στην πράξη, πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης.

Σχήμα 10 Φαινόμενο της αντίστροφης ροής ρεύματος [SMA]



Όπως φαίνεται και στο σχήμα 10 η τιμή του ανάστροφου ρεύματος ισούται με το συνολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης των υπολοίπων strings.

Στην περίπτωση της συστοιχίας, που έχει επιλεγεί για τη φ/β εγκατάσταση, η τιμή αυτή προκύπτει:

$$\text{Ανάστροφο Ρεύμα} = (3 \text{ παράλληλα strings} - 1) \times 8,35\text{A} = 16,7\text{A}$$

Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της αντίστροφης ροής του ρεύματος σε μια συστοιχία, μπορούν να εφαρμοστούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- **Διαστασιολόγηση των strings.** Με την κατάλληλη επιλογή των στοιχείων που αποτελούν ένα string (πλαίσια, καλώδια, ακροδέκτες σύνδεσης), έτσι ώστε να αντέχουν το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης των υπολοίπων strings.

Όταν ο μέγιστος αριθμός των παράλληλων strings είναι 2, ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται πάντα, καθώς το ανάστροφο ρεύμα που θα δεχθεί το string, όπου εμφανίστηκε το σφάλμα, θα προέρχεται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του άλλου string και θα ισούται με αυτό. Επομένως δεν χρειάζεται καμία επιπλέον προστασία έναντι του ανάστροφου ρεύματος όταν υπάρχουν 2 παράλληλα strings.

- **Δίοδοι φραγής (String Diodes).** Οι δίοδοι αυτές συνδέονται εν σειρά με κάθε παράλληλο string για να αποτρέψουν την διέλευση ανάστροφου ρεύματος. Το μειονέκτημα είναι ότι στην κανονική λειτουργία της γεννήτριας σε κάθε string περνάει από τη δίοδο αυτή το ρεύμα κανονικής λειτουργίας με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες. Επιπλέον μια ενδεχόμενη βλάβη της διόδου μπορεί να αναιρέσει τον προστατευτικό της ρόλου ή ακόμα και να επιφέρει αστοχία όλου του string.

- **Ασφάλειες τήξης (String Fuses).** Συνδέονται και αυτές εν σειρά με κάθε παράλληλο string και έχουν κατάλληλη τιμή έτσι ώστε να προστατεύουν από το ανάστροφο ρεύμα. Πλεονεκτούν σε σχέση με τις δίοδους φραγής καθώς έχουν ασήμαντες απώλειες κατά την κανονική λειτουργία, ενώ και η περίπτωση βλάβης τους μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή.

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η μέγιστη τιμή του ανάστροφου ρεύματος που μπορούν να δεχθούν τα φ/β πλαίσια είναι μια παράμετρος που δεν δίνεται από τους κατασκευαστές. Κάποιες εταιρείες μόνο δίνουν την μέγιστη τιμή της ασφάλειας που απαιτείται. Ως γενικός κανόνας πάντως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ότι για τιμές του ανάστροφου ρεύματος μεγαλύτερες από το διπλάσιο του ρεύματος βραχυκύκλωσης των πλαισίων πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται η προστασία έναντι του αντίστροφου ρεύματος να γίνει με ασφάλειες τήξης όπως φαίνεται και στην κυκλωματική διάταξη του σχήματος 11.

4.4)ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Αντιστροφείς

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι οι αντιστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν, ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον «Οδηγό σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο χαμηλής τάσης» της Δ.Ε.Η. Το πιστοποιητικό που συνοδεύει τους αντιστροφείς δίνεται στο Παράρτημα, τα σημαντικότερα σημεία του οποίου είναι:

- Η εισαγωγή συνεχούς ρεύματος (χωρίς τη χρήση ΜΣ) είναι μικρότερη του 0,5% της ονομαστικής του τιμής.
- Η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος (THDI) είναι μικρότερη από 4%.
- Η σύνδεση και η αποσύνδεση γίνεται μέσω ηλεκτρονόμων που ελέγχονται μέσω λογισμικού και περιλαμβάνει αυτόματη (επανα)σύνδεση εφόσον οι τιμές τάσης και συχνότητας εμπίπτουν στα όρια $0,8 \times V_{nom} - 1,15 \times V_{nom}$ και 49,5Hz – 50,5Hz και άμεση αποσύνδεση εφόσον δεν πληρούνται τα όρια αυτά.
- Η ενεργός προστασία έναντι της νησιδοποίησης μέσω μέτρησης της σύνθετης αντίστασης

Καλώδια

Τα καλώδια, με τα οποία συνδέονται τα φ/β πλαίσια μεταξύ τους, είναι ειδικού τύπου διατομής 2,5mm² και μπορεί κάποιος να τα προμηθευτεί μαζί με τις γεννήτριες.

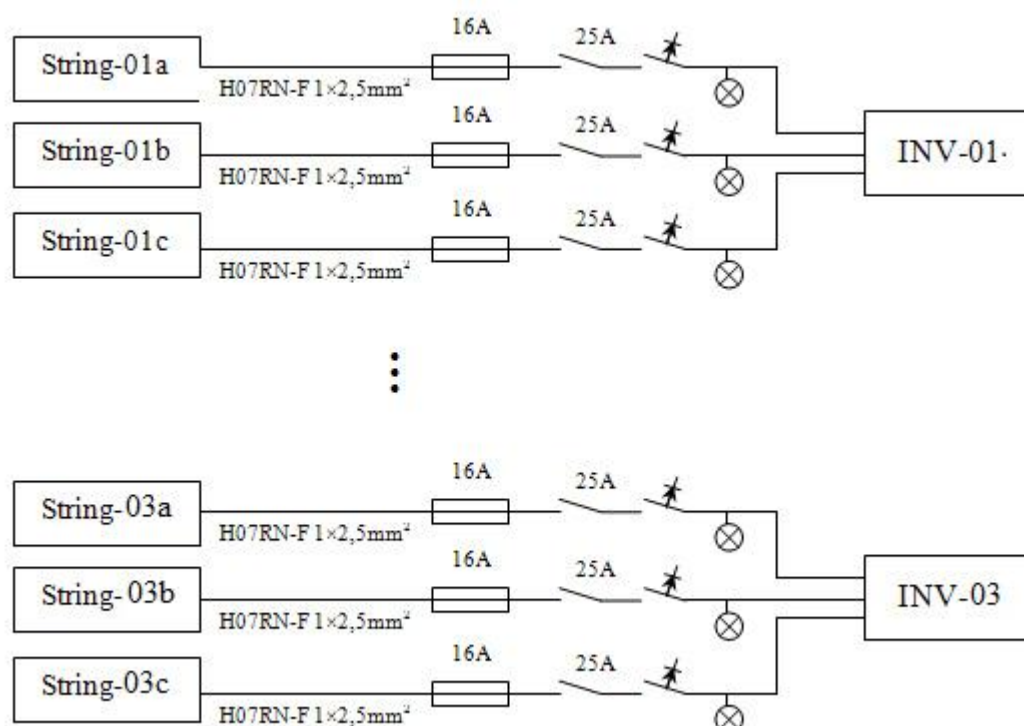
Στα datasheet των εταιρειών (Παράρτημα) φαίνεται η θέση του κιβωτίου σύνδεσης σε κάθε φ/β πλαίσιο. Στο κιβώτιο αυτό, ένας ακροδέκτης παρέχει δύο πολικότητες, επικοινωνώντας με το εξωτερικό μέσω δύο οπών με στυπιοθλίπτες καλωδίου.

Σήμερα ωστόσο αυξάνεται ο αριθμός των προκαλωδιωμένων στοιχείων που διαθέτουν στεγανούς συνδετήρες και επιτρέπουν τη γρήγορη σύνδεση χωρίς να είναι αναγκαίο το άνοιγμα κιβωτίων σύνδεσης. Η προκαλωδίωση

αυτή περιλαμβάνει καλώδια διαφορετικού μήκους με αρσενικό και θηλυκό βύσμα για τις δύο πολικότητες.

Ακόμα η σύνδεση της συστοιχίας με τον αντιστροφέα μπορεί να γίνει με καλώδια νεοπρενίου ή PVC, τα οποία ενδείκνυνται για μεσαία και υψηλή καταπόνηση και είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες. Ο υπολογισμός αυτών των καλωδίων, γίνεται με βάση τις τιμές της τάσης και της έντασης στην είσοδο του αντιστροφέα, οι οποίες τιμές φαίνονται στον πίνακα. Τελικά η παροχή ισχύος από τις φ/β συστοιχίες γίνεται μέσω καλωδίων τύπου H07RN-F (νεοπρενίου) διατομής $1 \times 2,5 \text{ mm}^2$, που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα έντασης 7,85A από τα φ/β πλαίσια στον αντιστροφέα.

Σχήμα 11 Διάγραμμα σύνδεσης στην πλευρά συνεχούς ρεύματος



Από την άλλη η σύνδεση του αντιστροφέα με τον πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης γίνεται με καλώδια τύπου H07V-K (παλιότερα γνωστά ως NYAF) διατομής $3 \times 16 \text{ mm}^2$. Είναι πολύ σημαντικό οι απώλειες των καλωδίων αυτών να μην ξεπερνούν το 1%, όπως χαρακτηριστικά ορίζεται στα datasheet των αντιστροφέων. Οι απώλειες εξαρτώνται τόσο από τη διατομή των αγωγών όσο και από το μήκος τους.

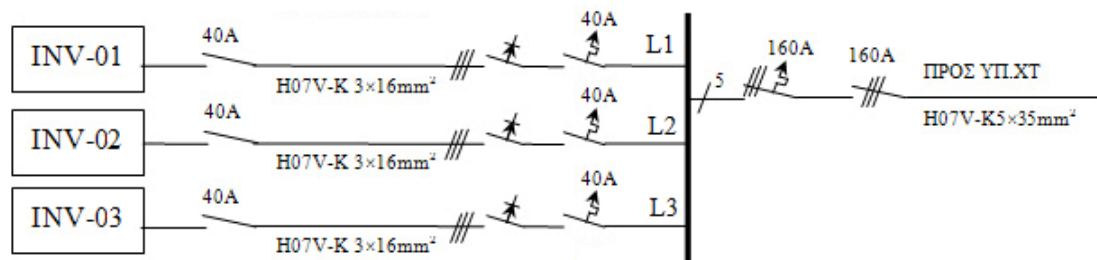
Για τη συγκεκριμένη διατομή που επιλέχτηκε, η απαίτηση οι απώλειες να περιορίζονται στο 1% ικανοποιείται όταν το μέγιστο μήκος των καλωδίων είναι 31,1m. Το σχετικά μικρό μέγεθος της φ/β εγκατάστασης ικανοποιεί εύκολα την απαίτηση αυτή.

Τα καλώδια στον πίνακα ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και έπειτα αναχωρούν για τη σύνδεσή τους με την XT του δικτύου με καλώδια τύπου H07V-K διατομής $5 \times 35\text{mm}^2$ και προστατεύονται με διακόπτη μικροαυτόματο 160A και αποζεύκτη επίσης 160A.

Μέσα προστασίας

Η είσοδος κάθε αντιστροφέα προστατεύεται με διάταξη ασφάλεια τήξης σε συνδυασμό με αποζεύκτη (ασφαλειοαποζεύκτης), διακόπτη διαρροής έντασης και ενδεικτική λυχνία. Οι ασφάλειες θα είναι των 16A και οι διακόπτες των 25A, ενώ ο διακόπτης διαφυγής έντασης θα είναι των 30mA. Η διάταξη με την σειρά της προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο. Στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην έξοδο του αντιστροφέα, θα υπάρχει επίσης διακόπτης διαφυγής έντασης και μικροαυτόματος διακόπτης των 40A.

Σχήμα 11 Διάγραμμα σύνδεσης στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος



Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου

Είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να γίνεται η παρακολούθηση και καταγραφή της απόδοσης μιας φ/β εγκατάστασης, καθώς και η εύκολη επέμβαση στις παραμέτρους του συστήματος όταν είναι αυτό αναγκαίο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο ένα σύστημα ελέγχου. Η εταιρεία SMA, ταυτόχρονα με την παραγωγή των αντιστροφέων, προσφέρει και μια πληθώρα προϊόντων καταγραφής, αλλά και λογισμικού επεξεργασίας σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για την εγκατάσταση που μελετάται μια πολύ καλή λύση προσφέρει ο συνδυασμός του Sunny Boy Control με το λογισμικό Sunny Data Control.

Το Sunny Boy Control μπορεί να καταγράψει μια πληθώρα μεταβλητών του φ/β συστήματος, να τις αποθηκεύσει και έπειτα να αποστείλει κάθε ώρα ή κάθε μέρα μια αναφορά για την κατάσταση της εγκατάστασης ή μια αναφορά σφαλμάτων μέσω email ή Fax. Για το σκοπό αυτό συνδέεται σε ένα εξωτερικό μόντεμ, το οποίο επιτρέπει από οποιοδήποτε σημείο και με την βοήθεια του λογισμικού για ηλεκτρονικό υπολογιστή Sunny Data Control, την πρόσβαση στην φ/β εγκατάσταση, τον έλεγχο της τρέχουσας κατάστασής της και τις ενεργειακές αποδόσεις που επιτεύχθηκαν. Η επικοινωνία με τους μετατροπείς γίνεται είτε μέσω αγωγού δικτύου(Powerline) είτε μέσω διεπαφής RS485. Με ένα μόνο SunnyBoy Control είναι εφικτή η επιτήρηση έως και 50 αντιστροφών, ακόμη και διαφορετικών κατηγοριών απόδοσης.

4.5) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το σημαντικότερο μειονέκτημα των φ/β εγκαταστάσεων είναι το υψηλό κόστος αγοράς των φ/β γεννητριών. Παρακάτω ακολουθεί μια τεχνοοικονομική ανάλυση της φ/β εγκατάστασης των 17kWp. Λόγω της υψηλής τιμής αγοράς απ' τη Δ.Ε.Η., της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα, δεν υπάρχει πλέον κάποια επιδότηση άρα το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας επιβαρύνει αποκλειστικά και μόνο τον επενδυτή.

Αρχικά υπολογίζεται το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των φ/β γεννητριών.

Πίνακας 11 Συγκεντρωτικός πίνακας κόστους

ΠΡΟΪΟΝ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΙΜΗ
SOLARWORLD SUNMODULEPLUS SW 235	Τεμ.	72	550,23 €	39.617 €
SMA-SUNNY MINI CENTRAL 5000A	Τεμ.	3	2.990 €	8.970 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧ ΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	Τεμ.	1	3.000 €	3.000 €
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ				1.000 €
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ Σ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (ΚΑΛΩΔΙΑ, ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ κ.τ.λ.)				500 €
ΛΟΙΠΑ ΕΞΟΔΑ				500 €
ΣΥΝΟΛΟ				53.587 €

Έπειτα παρουσιάζεται η τιμή πώλησης της ενέργειας από την εγκατάσταση που υλοποιήθηκε σύμφωνα με τον αναπτυξιακό νόμο 3851/2010. Εφόσον πρόκειται για διασυνδεδεμένο σύστημα με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 100kWp, τότε η τιμή της ενέργειας είναι 0,55€/kWh.

Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ

Γνωρίζουμε ότι η κτηνοτροφική μονάδα αγοράζει απ' τη Δ.Ε.Η. 24120kWh/έτος προς €0,14002/kWh. Άρα πληρώνει στη Δ.Ε.Η. περίπου €3400/έτος.

Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ

Η τιμή στην οποία η Δ.Ε.Η. αγοράζει την παραγόμενη από φωτοβολταϊκά στοιχεία ηλεκτρική ενέργεια είναι €0,55/kWh. Άρα για παραγωγή 24500kWh/έτος, ο επενδυτής εισπράττει περίπου €13500/έτος.

Απόσβεση

Εφ'όσον το κόστος κατασκευής ανέρχεται στα 53.600€, η απόσβεση θα γίνει σε περίπου 4 χρόνια.

Κέρδος

Απ'το 5^ο έτος μέχρι και το 20^ο (όταν και λήγει σύμφωνα με τον κατασκευαστή των φ/β πλαισίων η διάρκεια ζωής τους), ο επενδυτής εισπράττει ετησίως 13.500€ άρα συνολικά 202.500€.

5)2^ο Σενάριο

5.1) Υπολογισμός ισχύος εγκατάστασης

Το 2^ο σενάριο περιλαμβάνει την εγκατάσταση φ/β στοιχείων με σκοπό την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας απ'αυτή που καταναλώνει η κτηνοτροφική μονάδα. Συγκεκριμένα, αφού είδαμε ότι η αναλογία τιμής πώλησης στη ΔΕΗ και τιμής αγοράς απ'αυτήν είναι 4 προς 1, η εγκατάσταση μπορεί να παράγει το ¼ της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το σενάριο αυτό αποσκοπά σε μηδενικό λογαριασμό της ΔΕΗ. Είδαμε προηγουμένως ότι η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 24.120kWh. Άρα θα εγκατασταθεί ένα φ/β σύστημα που θα παράγει ετησίως περίπου 6.000kWh.

Με δεδομένα τα αποτελέσματα του 1^{ου} σεναρίου και χρησιμοποιώντας την εφαρμογή PVGIS υπολογίζω ότι χρειάζεται μια εγκατάσταση ισχύος 4,5kWp περίπου. Πράγματι, ύστερα από δοκιμές και συνυπολογίζοντας την υποεκτίμηση 20% της εφαρμογής, βρίσκουμε ότι απαιτείται φ/β σύστημα ισχύος 4,2kWp. Ένα τέτοιο σύστημα παράγει ετησίως 6.065kWh.

Estimation of PV electricity generation for the chosen location

Modify the parameters of your PV installation and click the "Submit" button. [\[help\]](#)

PV technology:

Crystalline silicon

Enter installed peak PV power

4.2

 kWp

Estimated system losses (%) [0.0:100.0]

14.0

Module inclination [0,90]

29

 deg.

Module orientation [-180;180] (E:-90 S:0)

3

 deg.

☐

 Use given inclination and orientation

☐

 Find optimal inclination for given orientation

☐

 Find optimal inclination and orientation

☐

 Show performance for 2-axis tracking system

☒

 Show horizon outline graph

☒

 Show also the in-plane irradiation

Click to confirm your choice

Location: 39°20'2" North, 20°55'32" East, Elevation: 504 m a.s.l,

Nearest city: Arta, Greece (21 km away)

Nominal power of the PV system: 4.2 kW (crystalline silicon)

Inclination of modules: 29.0° (optimum)

Orientation (azimuth) of modules: 3.0° (optimum)

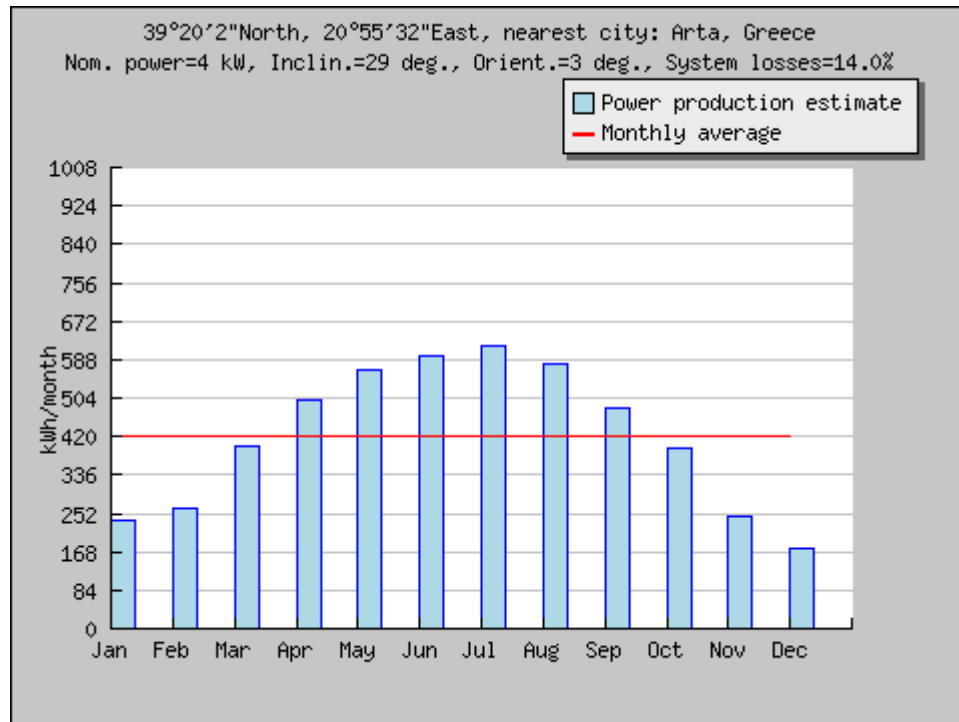
Estimated losses due to temperature: 8.7% (using local ambient temperature data)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

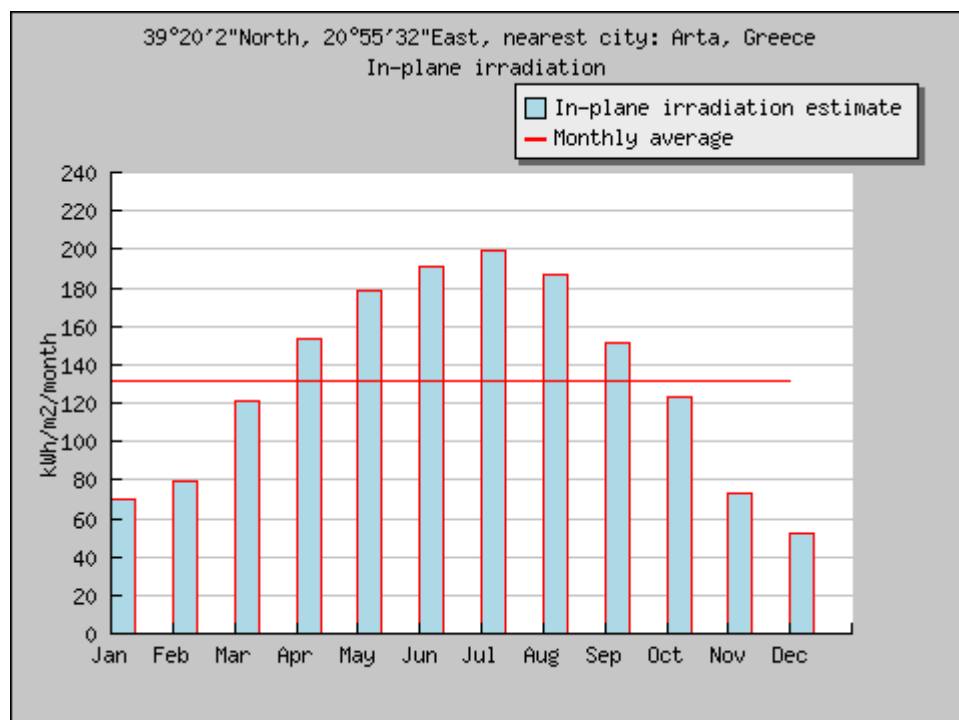
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 25.4%

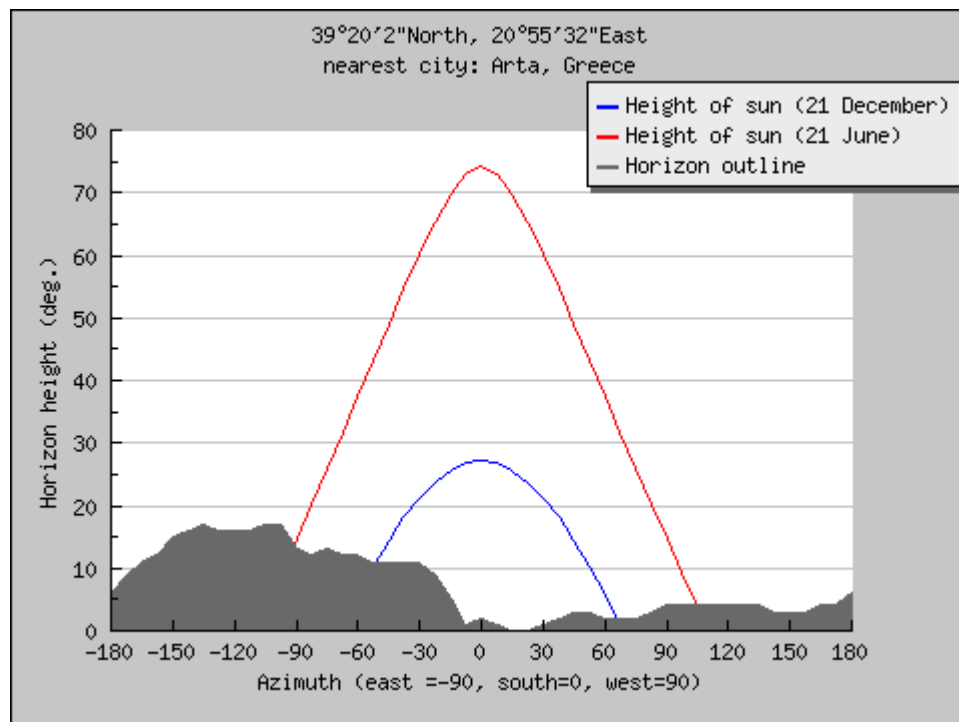
Σχήμα 12 Αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα



Σχήμα 13 Ηλιακή ακτινοβολία στην τοποθεσία που μελετάται ανά μήνα



Σχήμα 14 Κίνηση του ήλιου στην τοποθεσία που μελετάται



Πίνακας 12 Αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα, ημέρα και έτος

PV electricity generation for: Nominal power=4.2 kW, System losses=14.0%		
	Inclin.=29 deg., Orient.=3 deg.	
Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	236	7.6
Feb	265	9.5
Mar	399	12.9
Apr	500	16.7
May	567	18.3
Jun	596	19.9
Jul	616	19.9
Aug	581	18.7
Sep	481	16.0
Oct	396	12.8
Nov	243	8.1
Dec	174	5.6
Yearly average	421	13.8
Total yearly production (kWh)	5054	

Πίνακας 13 Ηλιακή ακτινοβολία στην τοποθεσία που μελετάται ανά μήνα, ημέρα και έτος

Inclin.=29 deg., Orient.=3 deg.		
Month	Irradiation per month (kWh/m2)	Irradiation per day (kWh/m2)
Jan	70	2.3
Feb	79	2.8
Mar	121	3.9
Apr	154	5.1
May	179	5.8
Jun	191	6.4
Jul	199	6.4
Aug	187	6.0
Sep	152	5.1
Oct	123	4.0
Nov	74	2.5
Dec	52	1.7
Yearly average	132	4.3
Total yearly irradiation (kWh/m2)	1579	

5.2) Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης

5.2.1)Επιλογή αντιστροφέα

Ακολουθώντας τα ίδια βήματα με το 1ο σενάριο επιλέγουμε τον κατάλληλο αντιστροφέα. Θεωρούμε ότι όλοι οι αντιστροφέες που θα χρησιμοποιηθούν είναι όμοιοι, γεγονός που εξασφαλίζει ότι και τα string των φ/β πλαισίων, καθώς και οι συστοιχίες θα προκύψουν ίδιες. Αυτό θα έχει με τη σειρά του σαν αποτέλεσμα να απλοποιηθεί η τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης και να γίνει ευκολότερη η κυκλωματική σύνδεση. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 4,2kWp, η ισχύς των αντιστροφέων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή.

Εξετάζονται οι διάφορες υλοποιήσεις που μπορούν να προκύψουν χρησιμοποιώντας τους αντιστροφέες της SMA της σειράς SUNNY BOY, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν είναι τα : SB 1200 και SB 1700. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των αντιστροφέων φαίνονται στον πίνακα , ενώ αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα.

Πίνακας 14 Τεχνικά στοιχεία των αντιστροφών SUNNY BOY της εταιρείας SMA

SMA-SUNNY BOY		
	SB 1200	SB 1700
Τιμές Εισόδου		
Μέγιστη ισχύς DC	1320W	1850W
Εύρος τάσης DC	100V-320V	147V-320V
Ονομαστική τάση DC	120V	180V
Μέγιστη τάση DC	400V	400V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	12,6A	12,6A
Διακύμανση τάσης DC	<10%	<10%
Μέγιστος αριθμός παράλληλων string	2	2
Τιμές Εξόδου		
Μέγιστη ισχύς AC	1200W στους 40oC	1700W στους 40oC
Ονομαστική ισχύς AC	1200W	1550W
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	6,1A	8,6A
THD ρεύματος AC	<4%	<4%
Ονομαστική τάση AC	220V-240V	220V-240V
Ονομαστική συχνότητα AC	50Hz	50Hz
Απόδοση		
Μέγιστη απόδοση	92,1%	93,5%
Euro-eta	90,9%	91,8%
Μηχανολογικά στοιχεία		
Βάρος	23kg	25kg
Ύψος/Μήκος/Πλάτος/ (mm)	440/339/214	440/339/214

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πλήθους των αντιστροφών σε κάθε περίπτωση. Επειδή η φ/β εγκατάσταση πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο ΧΤ μέσω τριών αγωγών στις τρεις φάσεις του δικτύου (τριφασική σύνδεση) εξετάζεται το κατά πόσο είναι δυνατόν οι τρεις αυτοί αντιστροφείς να προσφέρουν μια υλοποίηση στην οποία θα υπάρχει συμμετρία ισχύος μεταξύ των τριών φάσεων. Εφόσον έχει επιλεγεί η χρήση ενός τύπου αντιστροφέα αυτό συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των αντιστροφών πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 3, για να μπορούν να ομαδοποιηθούν συμμετρικά, όσον αφορά την ισχύ, οι έξοδοί τους. Αν

δεν καταστεί δυνατή μια τέτοια υλοποίηση με κανέναν από τους αντιστροφείς που θα επιλεγούν τότε θα εξεταστεί μια διαφορετική προσέγγιση.

Εξετάζοντας τον αντιστροφέα SB 1200, παρατηρούμε ότι η ισχύς εισόδου είναι 1,32kW. Λαμβάνοντας υπόψη όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω για την ισχύ αιχμής των πλαισίων προκύπτει ότι η ιδανική ισχύς στην είσοδό του κυμαίνεται μεταξύ 1.320Wp και 1.584Wp (έως 20% αυξημένη). Οι τιμές αυτές μας οδηγούν στην επιλογή 3 τέτοιων αντιστροφέων (αριθμός πολλαπλάσιος του 3), που θα δέχονται στην είσοδό τους 1.400Wp ($4.200Wp/3=1.400Wp$). Για τον αντιστροφέα SB 1700 πρέπει πάλι να επιλεγούν 3 τεμάχια, που θα δέχονται στην είσοδό τους 1.400Wp. Παίρνοντας τις τιμές για τους παραπάνω αντιστροφείς βλέπουμε ότι ο SB 1700 είναι ακριβότερος κατά περίπου 200€ μόνο, άρα θα πρέπει πρώτα να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατόν να συνδυαστούν με τα επιλεγόμενα πλαίσια, γεγονός που εξετάζεται παρακάτω.

Τέλος οι παραπάνω τιμές ισχύος εισόδου των αντιστροφέων είναι ενδεικτικές, ενώ οι ακριβείς θα υπολογιστούν με βάση την ισχύ των φ/β πλαισίων.

5.2.2)Επιλογή φ/β πλαισίων

Θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια φ/β πλαίσια όπως προηγουμένως. Αυτά είναι της εταιρείας Solarworld με κωδικό Sunmodule SW 235, ονομαστικής ισχύος 235Wp.

5.2.3)Συνδυασμός πλαισίου-αντιστροφέα

Έστω ότι επιλέγονται 3 αντιστροφείς SB 1200, ο καθένας εκ των οποίων πρέπει να δέχεται στην είσοδο του 1400Wp για να φτάσουμε τα 4,2kWp που είναι η επιθυμητή τιμή της εγκατάστασης.

Το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός των πλαισίων και η κυκλωματική σύνδεσή τους. Υπολογίζεται ότι σε κάθε αντιστροφέα συνδέονται 6 πλαίσια των 235Wp ($235Wp \times 6 = 1410Wp$). Τα πλαίσια αυτά οργανώνονται σε 1 string. Αυτό σημαίνει ότι η είσοδος του αντιστροφέα δέχεται:

$$6\text{πλαίσια εν σειρά} \times 30V = 180V$$

από ένα string (επί συνόλου 3 string ανά αντιστροφέα), που είναι η απαραίτητη τάση εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου. Ακόμα δέχεται:

$$1 \text{ string} \times 7,85 \text{ A} = 7,85 \text{ A}$$

που παρατηρούμε ότι βρίσκεται μέσα στα όρια του αντιστροφέα.

Ο συνολικός αριθμός των φ/β πλαίσίων της εγκατάστασης προκύπτει:

$$6 \text{ πλαίσια/αντιστροφέα} \times 3 \text{ αντιστροφείς} = 18 \text{ φ/β πλαίσια}$$

Τέλος η συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι:

$$1410 \text{ Wp/αντιστροφέα} \times 3 \text{ αντιστροφείς} = 4.230 \text{ Wp}$$

που είναι πολύ κοντά στο επιθυμητό.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συνδυασμού του δεύτερου αντιστροφέα με το φ/β πλαίσιο Sunmodule SW 235 και τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στον πίνακα.

Πίνακας 15 Πιθανοί συνδυασμοί πλαισίου-αντιστροφέων

	1 ^η περίπτωση	2 ^η περίπτωση
Αντιστροφέας(INV)	SB 1200	SB 1700
Πλαίσιο	Sunmodule SW 235	Sunmodule SW 235
Πλήθος αντιστροφέων	3	3
Πλαίσια/αντιστροφέα	6	6
Ισχύς PV στην είσοδο αντιστροφέα $P_{in,dc}$	1410Wp	1410Wp
Παράλληλα String/αντιστροφέα	1	1
Πλαίσια εν σειρά/αντιστροφέα	6	6
Τάση στην είσοδο αντιστροφέα $V_{in,dc}$	180V	180V
Ένταση ρεύματος στην είσοδο αντιστροφέα $I_{in,dc}$	7,85A	7,85A
Συνολική ισχύς εγκατάστασης	4.230Wp	4.230Wp
Κόστος αντιστροφέων	$3 \times \text{€}1100 = \text{€}3300$	$3 \times \text{€}1300 = \text{€}3900$

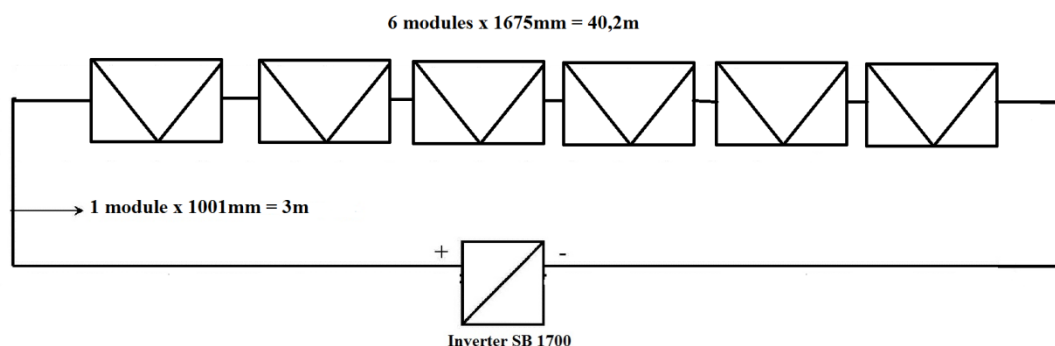
Επειδή η διαφορά κόστους είναι σχετικά μικρή θα επιλέξουμε τον SB 1700 για λόγους πιθανής μελλοντικής επέκτασης της φ/β εγκατάστασης.

5.3) Διαστασιολόγηση συστοιχίας

Είναι πολύ βολικό να επιλεγούν οι συστοιχίες της φ/β εγκατάστασης να αποτελούνται από 6 φ/β πλαίσια με την κυκλωματική σύνδεση που περιγράφηκε παραπάνω (Σχήμα 14). Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει ένας αντιστροφέας ανά συστοιχία.

Με αυτή την επιλογή απαιτούνται περίπου 35 τετραγωνικά μέτρα στέγης με κλίση 29°.

Σχήμα 14 Κυκλωματική διάταξη συστοιχίας



5.3.1) Ανάστροφο ρεύμα

Εφ'όσον σε κάθε αντιστροφέα συνδέεται μόνο ένα string φ/β πλαισίων, δεν υπάρχει περίπτωση να εμφανιστεί ανάστροφο ρεύμα.

5.4) ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Αντιστροφεείς

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι οι αντιστροφεείς που χρησιμοποιήθηκαν, ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον «Οδηγό σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο χαμηλής τάσης» της Δ.Ε.Η. Το πιστοποιητικό που συνοδεύει τους αντιστροφεείς δίνεται στο Παράρτημα, τα σημαντικότερα σημεία του οποίου είναι:

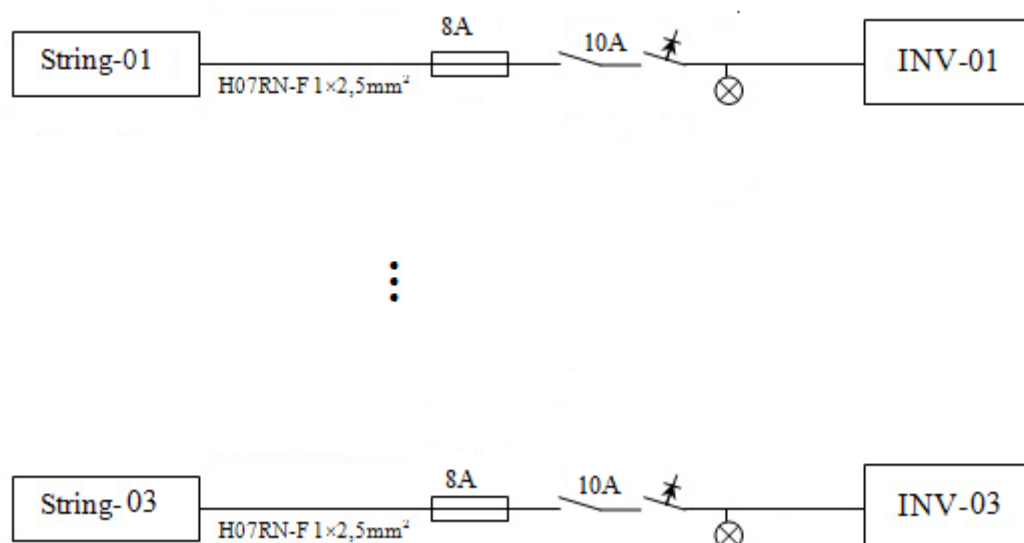
- Η εισαγωγή συνεχούς ρεύματος (χωρίς τη χρήση ΜΣ) είναι μικρότερη του 0,5% της ονομαστικής του τιμής.

- Η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος (THDI) είναι μικρότερη από 4%.
- Η σύνδεση και η αποσύνδεση γίνεται μέσω ηλεκτρονόμων που ελέγχονται μέσω λογισμικού και περιλαμβάνει αυτόματη (επανα) σύνδεση εφόσον οι τιμές τάσης και συχνότητας εμπίπτουν στα όρια $0,8 \times V_{nom}$ - $1,15 \times V_{nom}$ και 49,5Hz – 50,5Hz και άμεση αποσύνδεση εφόσον δεν πληρούνται τα όρια αυτά.
- Η ενεργός προστασία έναντι της νησιδοποίησης μέσω μέτρησης της σύνθετης αντίστασης

Καλώδια

Η παροχή ισχύος από τις φ/β συστοιχίες γίνεται μέσω καλωδίων τύπου H07RN-F (νεοπρενίου) διατομής $1 \times 2,5 \text{ mm}^2$, που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα έντασης 7,85A από τα φ/β πλαίσια στον αντιστροφέα.

Σχήμα 14 Διάγραμμα σύνδεσης στην πλευρά συνεχούς ρεύματος



Από την άλλη η σύνδεση του αντιστροφέα με τον πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης γίνεται με καλώδια τύπου H07V-K (παλιότερα γνωστά ως NYAF) διατομής $3 \times 16 \text{ mm}^2$. Είναι πολύ σημαντικό οι απώλειες των καλωδίων αυτών να μην ξεπερνούν το 1%, όπως χαρακτηριστικά ορίζεται στα datasheet των αντιστροφέων. Οι απώλειες εξαρτώνται τόσο από τη διατομή των αγωγών όσο και από το μήκος τους.

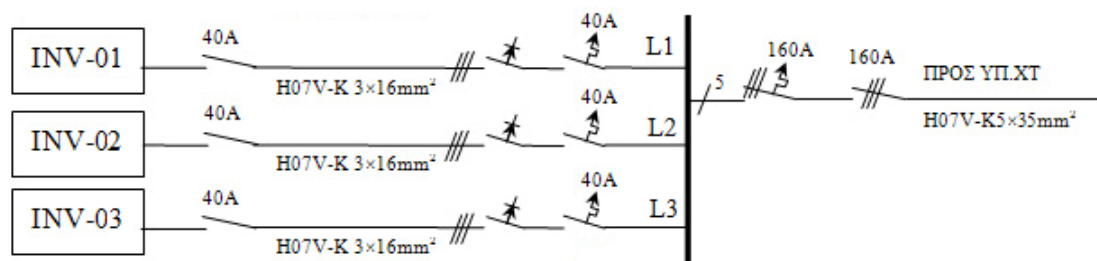
Για τη συγκεκριμένη διατομή που επιλέχτηκε, η απαίτηση οι απώλειες να περιορίζονται στο 1% ικανοποιείται όταν το μέγιστο μήκος των καλωδίων είναι 31,1m. Το μικρό μέγεθος της φ/β εγκατάστασης ικανοποιεί αυτή τη συνθήκη.

Τα καλώδια στον πίνακα ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και έπειτα αναχωρούν για τη σύνδεσή τους με την ΧΤ του δικτύου με καλώδια τύπου H07V-K διατομής $5 \times 35 \text{ mm}^2$ και προστατεύονται με διακόπτη μικροαυτόματο 160A και αποζεύκτη επίσης 160A.

Μέσα προστασίας

Η είσοδος κάθε αντιστροφέα προστατεύεται με διάταξη ασφάλεια τήξης σε συνδυασμό με αποζεύκτη (ασφαλειοαποζεύκτης), διακόπτη διαρροής έντασης και ενδεικτική λυχνία. Οι ασφάλειες θα είναι των 8A και οι διακόπτες των 10A, ενώ ο διακόπτης διαφυγής έντασης θα είναι των 30mA. Η διάταξη με την σειρά της προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο. Στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην έξοδο του αντιστροφέα, θα υπάρχει επίσης διακόπτης διαφυγής έντασης και μικροαυτόματος διακόπτης των 40A.

Σχήμα 13 Διάγραμμα σύνδεσης στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος



5.5)ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Αρχικά υπολογίζεται το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των φ/β γεννητριών.

Πίνακας 16 Συγκεντρωτικός πίνακας κόστους

ΠΡΟΪΟΝ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΙΜΗ
SOLARWORLD SUNMODULEPLUS SW 235	Τεμ.	18	550,23 €	9.905 €
SMA-SUNNY BOY SB 1700	Τεμ.	3	1.300 €	3.900 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟ Υ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	Τεμ.	1	3.000 €	3.000 €
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ				500 €
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (ΚΑΛΩΔΙΑ, ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ κ.τ.λ.)				200 €
ΛΟΙΠΑ ΕΞΟΔΑ				300 €
ΣΥΝΟΛΟ				17.805 €

Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ

Γνωρίζουμε ότι η κτηνοτροφική μονάδα αγοράζει απ' τη Δ.Ε.Η. 24120kWh/έτος προς €0,14002/kWh. Άρα πληρώνει στη Δ.Ε.Η. περίπου €3400/έτος.

Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ

Η τιμή στην οποία η Δ.Ε.Η. αγοράζει την παραγόμενη από φωτοβολταϊκά στοιχεία ηλεκτρική ενέργεια είναι €0,55/kWh. Άρα για παραγωγή 6.065kWh/έτος, ο επενδυτής εισπράτει περίπου €3.336/έτος.

Βλέπουμε ότι δεν υπάρχει κέρδος απ' τη συγκεκριμένη επένδυση αλλά μειώνεται το ετήσιο ποσό που πληρώνει ο κτηνοτρόφος στη ΔΕΗ σχεδόν κατά 100%!

6) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή τη μελέτη εξετάστηκαν δυο σενάρια εγκατάστασης φ/β στοιχείων. Κάθε σενάριο αφορά διαφορετική εγκατεστημένη ισχύ, άρα και διαφορετικό κόστος και κέρδος.

Το 1^ο σενάριο απευθύνεται σε επενδυτές οι οποίοι έχουν σκοπό να παράγουν και να πουλήσουν στη ΔΕΗ ολόκληρη την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει η κτηνοτροφική τους μονάδα. Με μια εγκατάσταση με διάρκεια ζωής 20 έτη και κόστος περίπου 54.000€ θα έχουν κέρδος περίπου 203.000€.

Το 2^ο σενάριο απευθύνεται σε επενδυτές που δεν επιθυμούν το καθαρό κέρδος αλλά τη «δωρεάν» ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό γίνεται, όπως αναφέρθηκε, λόγω του μηδενικού ισοζυγίου μεταξύ πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση η εγκατάσταση κοστίζει περίπου 18.000€ και διάρκεια ζωής 20 έτη.

Με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων εξοικονομούμε σαφώς χρήματα. Το πιο σημαντικό μέρος όμως αυτής της εγκατάστασης είναι η συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος. Στόχος είναι να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι εκπομπές ρύπων που προέρχονται απ' τις καύσεις για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται. Έτσι, με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων καλύπτονται οι ενεργειακές καταναλώσεις με μηδενική ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Βιβλιογραφία

- [1] Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Κ. Καγκαράκης Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- [2] Ηλεκτρισμός από Ηλιακή Ενέργεια, Thomas Markvart, Επιμέλεια Ελληνικής Έκδοσης Παναγιώτης Σκούτζος, Εκδόσεις ΙΩΝ
- [3] Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd Edition, Duffie J. and Beckman W.
- [4] Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Antonio Luque and Steven Hegedus
- [5] Σημειώσεις Εγκαταστάσεων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και Ανεμογεννητριών, Στέφανος Ν. Μανιάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Κ.Ε.Κ. Αγίων Αναργύρων
- [6] First Course on Power Electronics and Drivers, Ned Mohan, Professor of Power Electronics and Systems, University of Minnesota, 2003 Edition.
- [7] Power Electronics Handbook, Muhammad H. Rashid, Professor University of West Florida, by Academic Press
- [8] Power Electronics, Converters, Applications and Design, Second Edition, Mohan/Underland/Robbins, John Wiley & Sons Inc.
- [9] Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, Μιχ. Π. Παπαδόπουλος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997
- [10] Φυσική, Τεχνολογία και Χρήσεις Φωτοβολταϊκών, Κ.Θ. Δέρβος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
- [11] Photovoltaic Solar Energy Generation, Adolf Goetzberger and Volker U. Hoffmann, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
- [12] Proceedings of Solar Forum 2001: Solar Energy: The power to choose, April 21-25, 2001 Washington DC. 'Effects of tilt and azimuth on annual incident solar radiation for United States Locations', Craig B. Christensen and Greg M. Barker
- [13] Σημειώσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Δρ. Π. Αξαόπουλος
- [14] Μελέτη και Κατασκευή Φωτοβολταϊκού Πάρκου για Κάλυψη Ενεργειακών Εφαρμογών σε Παραγωγικές Μονάδες, Π. Γκουλιάρης, Δ. Γκουλιάρης, Φ. Γκουλιάρης
- [15] Σύνδεση Εγκαταστάσεων Παραγωγής στα Δίκτυα Διανομής, Σημειώσεις Α.Π.Ε., Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου, Λέκτορας ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003
- [16] Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙΙ, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων. Τεχνολογία, Μελέτες, Εφαρμογές, Σ.Ν.Καπλάνης, Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [17] Αυτόνομες Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας Μικρού και Μεσαίου Μεγέθους, Βασίλης Μαλαμής, Εκδόσεις ΙΩΝ

- [18] Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems, Joe-Air Jiang, Tsong-Liang Huang, Ying-Tung Hsiao and Chia-Hong Chen, Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 8, No 2, pp. 147_153 (2005)
- [19] Ανάλυση της Λειτουργίας Εργαστηριακού Πρωτότυπου Μικροδικτύου, Διπλωματική Εργασία, Χαράλαμπος Ι. Αναστασόπουλος, Ε.Μ.Π., Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Αθήνα Ιούλιος 2004
- [20] Έλεγχος Φόρτισης στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Πτυχιακή Εργασία, Κυριάκος Τανατζής, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας
- [21] Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκής Γεννήτριας στο Νέο Κτίριο των Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ.Π., Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Δημητρώπουλος Δημήτριος, Ε.Μ.Π., Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Αθήνα 2004
- [22] Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW, Διπλωματική Εργασία, Γεώργιος Α. Κτενίδης, Ε.Μ.Π., Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Αθήνα 2008
- [23] Πρακτικά Όγδοου Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαρτίου 2006, Ινστιτούτο Ηλιακής Ενέργειας.

Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν πολλές πληροφορίες από το διαδίκτυο. Παρακάτω δίνονται κάποιες διευθύνσεις από τις οποίες αντλήθηκαν πληροφορίες για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

- [24] www.sma-hellas.com
- [25] www.tsokaktsis-solar.gr
- [26] www.rae.gr
- [27] www.desmie.gr
- [28] www.ypan.gr
- [29] www.cres.gr
- [30] www.iea.org
- [31] www.aenaon.net/gr/
- [32] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



SUNNY MINI CENTRAL 4600A / 5000A / 6000A

SMC 4600A / SMC 5000A / SMC 6000A

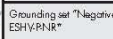
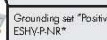
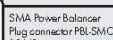


Powerful • OptiCool active temperature management • The best tracking efficiency with OptiTrac MPP tracking	Safe • Galvanic isolation • Integrated ESS DC switch-disconnector • SMA Power Balancer for three-phase grid connection	Flexible • Suitable for generator grounding*	Simple • DC plug system SUNCLIX
--	---	---	--

SUNNY MINI CENTRAL 4600A / 5000A / 6000A

Proven technology for flexible applications

The Sunny Mini Central 4600A, 5000A and 6000A are installed in locations where galvanic isolation is required. This means they can be used around the world for many different types of connections. In this way, the Sunny Mini Centrals can be used with crystalline cells as well as thin-film modules. Thanks to their graduated performance classes, they offer the highest degree of flexibility in plant design. The Sunny Mini Centrals 5000A and 6000A are ideal for three-phase systems, while the Sunny Mini Central 4600A is designed for single-phase PV plants.

[illegible]



**NEU! 25 JAHRE LINEARE
LEISTUNGSGARANTIE UND AUF
5 JAHRE ERWEITERTE
PRODUKTGEWÄHRLEISTUNG***

Länge 1675 mm
Breite 1001 mm
Höhe 31 mm
Rahmung Aluminium⁹
Gewicht 21,2 kg

Sunmodule⁺ SW 220/225/230/235 poly

Deutsche Qualitätsstandards
Vollautomatisierte Fertigungsanlagen und eine lückenlose Prozess- und Materialüberwachung sichern die Qualität, die der Konzern weltweit seinen Standorten zum Maßstab macht.

Ausgezeichnete Produkte
Im Langzeittest des Photon-Prüflabors belegten die Module von SolarWorld sowohl in 2008 als auch in 2009 den ersten Platz. Das Sunmodule Plus SW 225 poly wurde von ÖKO-TEST mit der Note „sehr gut“ bewertet.

SolarWorld Plus-Sortierung
Die Plus-Sortierung garantiert höchste Anlageneffizienz. Es werden nur Module ausgeliefert, die nach Leistungstests die ausgewiesene Nennleistung oder mehr erreichen.

25 Jahre lineare Leistungsgarantie*
Über 25 Jahre garantiert SolarWorld eine maximale Leistungsdegression von 0,7% p.a. – ein deutlicher Mehrwert gegenüber branchenüblichen, zweistufigen Garantien. Hinzu kommt eine auf 5 Jahre erweiterte Produktgewährleistung.

*gemäß des beim Kauf gültigen SolarWorld Service-Zertifikats
www.solarworld.de/servicezertifikat



Mit uns wird Sonne Strom.

www.solarworld.de

Sunmodule⁺

SW 220/225/230/235 poly

VERHALTEN BEI STANDARDTESTBEDINGUNGEN (STC)*

SW 220 SW 225 SW 230 SW 235

Maximalleistung P_{max} 220 Wp 225 Wp 230 Wp 235 Wp Leerlaufspannung U_{oc} 36,6 V 36,8 V 36,9 V 37,0 V Spannung bei Maximalleistung U_{mp} 29,2 V 29,5 V 29,8 V 30,0 V Kurzschlussstrom I_{sc} 8,08 A 8,17 A 8,25 A 8,35 A Strom bei Maximalleistung I_{mp} 7,54 A 7,63 A 7,72 A 7,85 A

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

VERHALTEN BEI 800 W/m², NOCT, AM 1.5

SW 220 SW 225 SW 230 SW 235

Maximalleistung P_{max} 157,3 Wp 160,9 Wp 164,4 Wp 170,4 Wp Leerlaufspannung U_{oc} 33,1 V 33,3 V 33,4 V 33,5 V Spannung bei Maximalleistung U_{mp} 26,2 V 26,5 V 26,7 V 27,1 V Kurzschlussstrom I_{sc} 6,68 A 6,75 A 6,82 A 6,73 A Strom bei Maximalleistung I_{mp} 6,01 A 6,08 A 6,15 A 6,28 A

Geringe Wirkungsgradreduktion im Teillastverhalten bei 25°C: bei 200W/m² werden 95% (+/- 3%) des STC Wirkungsgrades (1000W/m²) erreicht.

VERWENDETE MATERIALIEN

Zellen pro Modul	60
Zelltyp	Polykristallin
Zellabmessungen	156 mm x 156 mm
Vorderseite	gehärtetes Glas (EN 12150)

KENNGRÖSSEN ZUR OPTIMALEN SYSTEMEINBINDUNG

Maximale Systemspannung SK II	1000 V
Rückstrombelastbarkeit	16 A
Erhöhte Schneelast nach IEC 61215	5,4 kN/m ²
Anzahl Bypassdioden	3

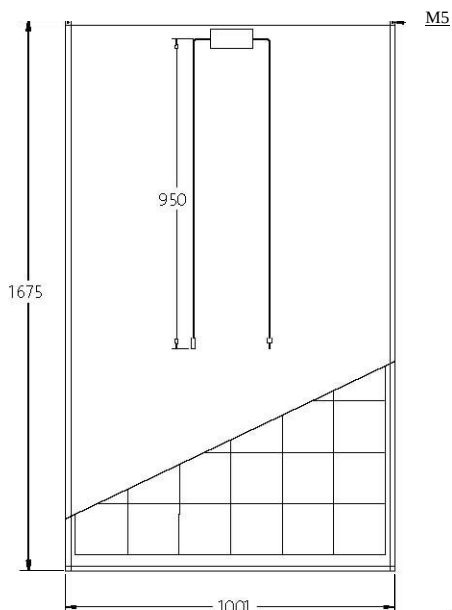
THERMISCHE KENNGRÖSSEN

NOC	46 °C
T _{TK}	0,034
TK U_c	%/K -0,34
TK P_{pp}	%/K -0,48
	%/K

WEITERE ANGABEN

Messtoleranz +/- 3 % Anschlussdose IP65 Stecker MC4
SolarWorld Plus-Sortierung² P ≥ P

Flashmax



• Qualified, IEC 61215
• Safety tested, IEC 61730
• Periodic Inspection



1) Vorübergehend können auch Module mit einer Rahmenhöhe von 34 mm ausgeliefert werden. Bitte informieren Sie sich bei Ihrem Fachhändler. 2) Die von SolarWorld ermittelte Leistung (P) liegt immer über der Maximalleistung (P_{max}) des Moduls.

3) Marktabhängig Die SolarWorld AG behält sich Spezifikationsänderungen vor. Dieses Datenblatt entspricht den Vorgaben der EN 50380. Dieses Datenblatt ist auch als englische 31 Fassung erhältlich.



Πιστοποιητικό για μετατροπείς

σε φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο Ελληνικό δημόσιο δίκτυο

Τύπος μετατροπία	Ονομαστική ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος	Μέγιστη ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος	Βαθμός απόδοσης	Ρύθμιση χαμηλής τάσης	Ρύθμιση υψηλής τάσης	Ρύθμιση χαμηλής συχνότητας ηπειρωτική Ελλάδα	Ρύθμιση υψηλής συχνότητας ηπειρωτική Ελλάδα
Sunny Boy 1200	1200 W	1200 W	92,1 %	186 V	253 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 1700	1550 W	1700 W	93,5 %	186 V	253 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 2500	2300 W	2500 W	94,1 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 3000	2750 W	3000 W	95,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 3300	3300 W	3600 W	95,2 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 3300TLHC	3000 W	3300 W	96,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 3800	3800 W	3800 W	95,6 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 4600A	4600 W	5000 W	96,1 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 5000A	5000 W	5500 W	96,1 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 6000A	6000 W	6000 W	96,1 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 7000HV	6650 W	7000 W	96,1 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 7000HV-11	6650 VA	7000 VA	96,2 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 6000TL	6000 W	6000 W	98,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 7000TL	7000 W	7000 W	98,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 8000TL	8000 W	8000 W	98,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 9000TL-10	9000 W	9000 W	98,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 10000TL-10	10000 W	10000 W	98,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 11000TL-10	11000 W	11000 W	98,0 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 9000TLRP-10	9000 VA	9000 VA	97,7 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 10000TLRP-10	10000 VA	10000 VA	97,7 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Mini Central 11000TLRP-10	11000 VA	11000 VA	97,7 %	186 V	260 V	49,51 Hz	50,49 Hz
Sunny Boy 2000HF-30	2000 W	2000 W	96,3 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Boy 2500HF-30	2500 W	2500 W	96,3 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Boy 3000HF-30	3000 W	3000 W	96,3 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Boy 3000TL-20	3000 W	3000 W	97,0 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Boy 4000TL-20	4000 W	4000 W	97,0 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Boy 5000TL-20	4600 W	5000 W	97,0 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Tripower 10000TL-10	10000 VA	10000 VA	98,1 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Tripower 12000TL-10	12000 VA	12000 VA	98,1 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Tripower 15000TL-10	15000 VA	15000 VA	98,1 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz
Sunny Tripower 17000TL-10	17000 VA	17000 VA	98,1 %	184 V	264,5 V	49,50 Hz	50,50 Hz

Ισχυεί για όλους τους μετατροπείς που αναφέρονται πιο πάνω:

Εύρος τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος: $0,8 V_{nom} - 1,15 V_{nom}$ ($V_{nom} = 230 V$)

Κατώτερο όριο $>184 V$

Ανώτατο όριο: $< 264,5 V$

Περιοχή συχνότητων εναλλασσόμενου ρεύματος: $45,5 Hz - 54,5 Hz$ (περιοχή συχνότητων του μετατροπέα)

Ρύθμιση χαμηλής συχνότητας: $47,5 Hz$ για τα μη συνδεδεμένα στο δίκτυο νησιά

Ρύθμιση υψηλής συχνότητας: $51,0 Hz$ για τα μη συνδεδεμένα στο δίκτυο νησιά

Συντελεστής παραμόρφωσης ρεύματος: $< 4\%$

DC-Current Injection: $< 0,5\%$ του ονομαστικού ρεύματος

Active Anti Islanding (Επιτήρηση δικτύου): SMA Grid Guard, επιτήρηση δικτύου active anti islanding σύμφωνα με την

DIN VDE 0126-1-1 Με μέτρηση τάσης/συχνότητας/σύνθετης αντίστασης/LOM (Loss Of Mains)

Ο χρόνος αποσύνδεσης σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων συχνότητας και τάσης είναι $< 0,5 s$.

Ο χρόνος επανασύνδεσης μετά την επαναφορά του δικτύου είναι τουλάχιστον $180 s$

Οι ρυθμίσεις αυτές εξασφαλίζουν ότι τα όρια της αποσύνδεσης για την τάση και τη συχνότητα παραμένουν τα ίδια.

Niestetal, 16.04.2010

SMA Solar Technology AG



i. V. Tobias Henne

(Director T.M. PM)

SUNNY BOY 1200 / 1700 / 2500 / 3000



SB 1200 / SB 1700 / SB 2500 / SB 3000

Safe • Integrated ESS DC switch-disconnector • Galvanic isolation	All purpose • For indoor and outdoor installation • Suitable for generator grounding*	Reliable • Tried and tested technology • Maintenance free, thanks to convection cooling	Simple • DC plug system SUN-CLIX
--	--	--	---

SUNNY BOY 1200 / 1700 / 2500 / 3000

Proven technology for secure investments

Universally applicable: the Sunny Boy inverters 1200, 1700, 2500 and 3000 are used in the most diverse AC grids thanks to their galvanic isolation. In addition, the devices are suitable for simple grounding of the generator. Their integrated ESS DC switch-disconnector makes installation simpler while also reducing assembly costs. Equipped with the OptiTrac MPP-tracking process, it will always find the best working point, even under dynamic weather conditions. In this way, it reliably converts solar energy into solar yield.

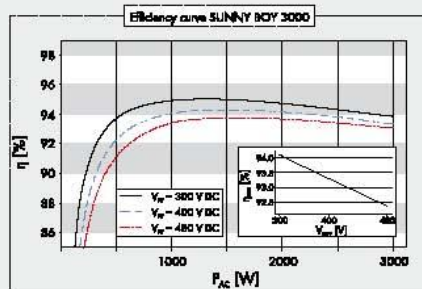
Technical data	Sunny Boy 1200	Sunny Boy 1700	Sunny Boy 2500	Sunny Boy 3000
Input (DC)				
Max. DC power [at $\cos \varphi = 1$]	1320 W	1850 W	2700 W	3200 W
Max. DC voltage	400 V	400 V	600 V	600 V
MPP voltage range	100 V - 320 V	147 V - 320 V	224 V - 480 V	268 V - 480 V
DC nominal voltage	120 V	180 V	300 V	350 V
Min. DC voltage / start voltage	100 V / 120 V	139 V / 180 V	224 V / 300 V	268 V / 330 V
Max. input current / per string	12.6 A / 12.6 A	12.6 A / 12.6 A	12 A / 12 A	12 A / 12 A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	1 / 2	1 / 2	1 / 3	1 / 3
Output (AC)				
AC nominal power [at 230 V, 50 Hz]	1200 W	1550 W	2300 W	2750 W
Max. AC apparent power	1200 VA	1700 VA	2500 VA	3000 VA
Nominal AC voltage, range	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V
AC grid frequency, range	50, 60 Hz ± 4.5 Hz	50, 60 Hz ± 4.5 Hz	50, 60 Hz ± 4.5 Hz	50, 60 Hz ± 4.5 Hz
Max. output current	6.1 A	8.6 A	12.5 A	15 A
Power factor [cos φ]	1	1	1	1
Phase conductors / connection phases	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Efficiency				
Max. efficiency / Euroclass	92.1 % / 90.9 %	93.5 % / 91.8 %	94.1 % / 93.2 %	95.0 % / 93.6 %
Protection devices				
DC reverse-polarity protection	•	•	•	•
ESS switch-disconnector	•	•	•	•
AC short-circuit protection	•	•	•	•
Ground fault monitoring	•	•	•	•
Grid monitoring [SMA Grid Guard]	•	•	•	•
Galvanically isolated / all-pole sensitive fast current monitoring unit	•/—	•/—	•/—	•/—
Protection class / overvoltage category	1 / III	1 / III	1 / III	1 / III
General data				
Dimensions [W / H / D] in mm	440 / 339 / 214	440 / 339 / 214	440 / 339 / 214	440 / 339 / 214
Weight	23 kg	25 kg	28 kg	32 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission [typical]	≤ 41 dB(A)	≤ 46 dB(A)	≤ 33 dB(A)	≤ 30 dB(A)
Internal consumption [night]	< 0.1 W	< 0.1 W	< 0.25 W	< 0.25 W
Topology	LF transformer	LF transformer	LF transformer	LF transformer
Cooling concept	Convection	Convection	Convection	Convection
Electronics protection rating / connection no. [as per IEC 60329]	IP65 / IP65	IP65 / IP65	IP65 / IP65	IP65 / IP65
Climatic category [per IEC 60721-3-4]	4K4H	4K4H	4K4H	4K4H
Features				
DC connection: SUNCLIX	•	•	•	•
AC connection: screw terminal / plug on reactor / spring type terminal	-/•/—	-/•/—	-/•/—	-/•/—
Display: text line / graphic	•/—	•/—	•/—	•/—
Interfaces: RS485 / Bluetooth®	o/o	o/o	o/o	o/o
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	•/o/o/o/o/o	•/o/o/o/o/o	•/o/o/o/o/o	•/o/o/o/o/o
Certificates and permits [more available on request]	CE, VDE 0126-1-1, DK SP40**, RD 1663, GB3/1-1, CER/06/190 [only SB 1700], FCC, AS4777, EN 50438***, C10/C11, PFDS, IEEE 929		CE, VDE 0126-1-1, DK SP40**, RD 1663, GB3/1-1, CER/06/190, FCC, AS4777, EN 50438***, C10/C11, PFDS	

* Variants for France under preparation **Only applies to IT variants, *** Does not apply to all national deviations of EN 50438

• Standard features o Optional features — not available

Data at nominal conditions

Type designation SB 1200 SB 1700 SB 2500 SB 3000



Accessories

