



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

*Μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με παρακολούθηση ηλίου ενός άξονα σε
πάρκο*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οδυσσέας Παρασκευόπουλος
Κωνσταντίνος Μαλής

Επιβλέπων: κ. Πέτρος Καραϊσάς
Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Copyright © Οδυσσέας Παρασκευόπουλος, Κωνσταντίνος Μαλής 2017

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 Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον εισηγητή της πτυχιακής μας εργασίας κ. Πέτρο Καραϊσά ο οποίος εμπιστεύτηκε πως θα φέρουμε εις πέρας το έργο και ανέλαβε την επίβλεψη της εργασίας μας. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους ανθρώπους που μας στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας όπως η οικογένεια και οι φίλοι μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση του ηλίου μέσω μιας εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100kW, που λαμβάνει χώρα στην περιοχή της Τροιζηνίας. Η μελέτη αυτή περιέχει το σκοπό, την τεchnοοικονομική - ενεργειακή ανάλυση καθώς και το όφελος της εγκατάστασης αυτής προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1..... | 7 |
| ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ..... | 7 |
| 1)ΗΛΙΟΣ..... | 7 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΕΣ..... | 9 |
| ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 9 |
| ΕΞΙΣΩΣΗ ΧΡΟΝΟΥ..... | 10 |
| ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ..... | 10 |
| ΓΩΝΙΕΣ ΗΛΙΟΥ..... | 11 |
| ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ, δ | 14 |
| ΩΡΙΑΙΑ ΓΩΝΙΑ, h | 16 |
| ΗΛΙΑΚΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ, α | 17 |
| ΗΛΙΑΚΗ ΓΩΝΙΑ ΑΖΥΜΟΥΘΙΟ, z | 17 |
| ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΩΝ ΚΑΙ ΗΜΕΡΩΝ..... | 18 |
| ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, θ | 19 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2..... | 21 |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ..... | 21 |
| 2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ –ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 21 |
| 2.2) ΠΟΙΟΣ ΗΤΑΝ Ο ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ ΣΤΗΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ..... | 25 |
| 2.3) ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ..... | 30 |
| 2.4) ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ..... | 32 |
| 2.4.1) ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ..... | 32 |
| 2.5) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ..... | 35 |
| 2.6) ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ..... | 35 |
| 2.6.1) ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΙΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ..... | 36 |
| 2.6.2) ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΙΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ..... | 36 |
| 2.6.3) ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΚΥΤΤΑΡΩΝ..... | 36 |
| 2.6.4) ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HOT SPOT..... | 37 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3..... | 38 |
| ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ..... | 38 |
| 3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 38 |
| 3.2) ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ..... | 38 |
| 3.3) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 3.4) ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ | 44 |
| 3.5) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ. | 46 |
| 3.6) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ (INVERTER) | 48 |
| 3.7) ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ..... | 49 |
| 3.8) ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ | 50 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | 52 |
| ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ | 52 |
| 4.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 52 |
| 4.2) ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ..... | 52 |
| 4.2.1) ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ..... | 52 |
| 4.2.2) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟΥ | 53 |
| 4.3) ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ..... | 54 |
| 4.4) ΓΕΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ..... | 57 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | 58 |
| ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ | 58 |
| 5.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 58 |
| 5.2) ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ | 58 |
| 5.3) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΩΣΗΜΟΤΗΤΑΣ | 61 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... | 68 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α..... | 69 |
| ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ..... | 69 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β | 71 |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ | 71 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

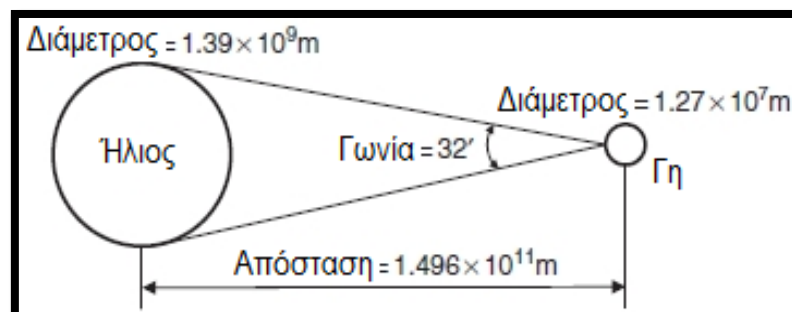
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1) ΗΛΙΟΣ

Ο ήλιος είναι μια σφαίρα έντονης θερμής αεριώδους ύλης, όπως φαίνεται στο *σχήμα 1* και έχει διάμετρο $1,39 \times 10^9$ m. Ο ήλιος βρίσκεται περίπου 1.5×10^8 χιλιόμετρα μακριά από τη γη. Έτσι λοιπόν, καθώς η θερμική ακτινοβολία ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός στο κενό, αφού φύγει από τον ήλιο, η ηλιακή ενέργεια φτάνει στον πλανήτη μας σε 8 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα. Όπως παρατηρείται από τη γη, ο ηλιακός δίσκος σχηματίζει γωνία 32 λεπτών μιας μοίρας.

Αυτό είναι σημαντικό σε πολλές εφαρμογές, ειδικά σε οπτικούς συγκεντρωτές όπου ο ήλιος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως σημειακή πηγή, διότι ακόμα και αυτή η μικρή γωνία είναι σημαντική στην ανάλυση της οπτικής συμπεριφοράς του συλλέκτη. Ο ήλιος έχει μια αποτελεσματική θερμοκρασία μέλανος σώματος 5762K. Η θερμοκρασία στην κεντρική περιοχή του ηλίου είναι πολύ υψηλότερη και εκτιμάται σε 8×10^6 έως 40×10^6 K.

Στην πραγματικότητα, ο ήλιος είναι ένας συνεχής αντιδραστήρας σύντηξης στον οποίο το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο. Η συνολική ισχύς του ήλιου είναι 3.8×10^{20} MW, η οποία είναι ίση με 63 MWm^{-2} της επιφάνεια του ήλιου. Αυτή η ενέργεια ακτινοβολεί προς όλες τις κατευθύνσεις. Η γη λαμβάνει μόνο ένα μικρό κλάσμα της συνολικής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ίσο με $1,7 \times 10^{14}$ kW. Ωστόσο, ακόμη και με αυτό το μικρό κλάσμα, εκτιμάται ότι 84 λεπτά προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη γη, είναι ίση με την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας ενός έτους. Όπως φαίνεται από τη γη, ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του περίπου μία φορά κάθε 4 εβδομάδες.



Σχήμα 1.1

Από την προϊστορία, ο ήλιος έχει αποξηράνει και έχει συντηρήσει το φαγητό του ανθρώπου. Έχει επίσης εξατμίσει το θαλασσινό νερό για να δώσει άλας. Από τότε που

άρχιζε ο άνθρωπος να εκλογικεύεται, έχει αναγνωρίσει τον ήλιο ως κινητήρια δύναμη πίσω από κάθε φυσικό φαινόμενο.

Γι' αυτό πολλές από τις προϊστορικές φυλές θεωρούσαν τον ήλιο ως «Θεό». Πολλά σενάρια της αρχαίας Αιγύπτου δηλώνουν ότι η Μεγάλη Πυραμίδα, ένα από τα μεγαλύτερα τεχνικά επιτεύγματα του ανθρώπου, χτίστηκε ως σκάλα προς τον ήλιο.

Ο άνθρωπος συνειδητοποίησε ότι η σωστή χρήση της ηλιακής ενέργειας ήταν ωφέλιμη γι' αυτόν, από τους προϊστορικούς χρόνους. Ο ιστορικός Ξενοφώντας, στα «Απομνημονεύματα» του, καταγράφει μερικές από τις διδασκαλίες του φιλόσοφου Σωκράτη (470-399 π.Χ.) σχετικά με τον σωστό προσανατολισμό των κατοικιών ώστε να έχουν σπίτια που θα ήταν δροσερά το καλοκαίρι και ζεστά το χειμώνα.

Βασικά, όλες οι μορφές ενέργειας στον κόσμο είναι η ηλιακής προέλευσης. Το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το ξύλο αρχικά παραγόntonταν με φωτοσυνθετικές διεργασίες, ακολουθούμενες από πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις στις οποίες η σάπια βλάστηση υποβλήθηκε σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμα και η ενέργεια του ανέμου και της παλίρροιας είναι ηλιακής προέλευσης εφόσον προκαλούνται από διαφορές θερμοκρασίας σε διάφορες περιοχές της γης.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της ηλιακής ενέργειας, σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας, είναι ότι είναι καθαρό και μπορεί να τροφοδοτηθεί χωρίς καμία μόλυνση και επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Τον περασμένο αιώνα, τα ορυκτά καύσιμα έχουν παράσχει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μας, λόγω της χαμηλότερης τιμής και της ευκολίας στην χρήση που προσφέρουν σε σχέση με την ενέργεια από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, και μέχρι πρότινος, η ρύπανση του περιβάλλοντος βρισκόταν σε χαμηλή υπόληψη.

Δώδεκα χειμερινές ημέρες του 1973 άλλαξαν την οικονομική σχέση μεταξύ καυσίμων και ενέργειας, όταν ο αιγυπτιακός στρατός εισέβαλε κατά μήκος της διώρυγας του Σουέζ στις 12 Οκτωβρίου, προκαλώντας μια διεθνή κρίση. Τόσο τα ζητήματα των τιμών όσο και των πολιτικών όπλων έγιναν γρήγορα αντιληπτά, όταν έξι μέλη του Οργανισμού των Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (ΟΠΕΚ) συναντήθηκαν στο Κουβέιτ και εγκατέλειψαν γρήγορα την ιδέα της διεξαγωγής περαιτέρω διαβουλεύσεων για τις τιμές με τις πετρελαϊκές εταιρείες, ανακοινώνοντας ότι αύξησαν την τιμή του αργού πετρελαίου τους κατά 70%.

Ο λόγος για την ταχεία αύξηση της ζήτησης πετρελαίου οφείλεται κυρίως στην αύξηση των ποσοτήτων του πετρελαίου, που παράγονται με πολύ χαμηλό κόστος, έγινε διαθέσιμη κατά τη δεκαετία του 1950 και 1960 από τη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική. Για τις χώρες κατανάλωσης, το εισαγόμενο πετρέλαιο ήταν φθινό σε σύγκριση με την εγχώρια παραγωγή ενέργειας από στερεά καύσιμα.

Αλλά το κύριο πρόβλημα είναι ότι τα τωρινά αποθέματα πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα, με τα τρέχοντα ποσοστά κατανάλωσης, θα ήταν επαρκή για την κάλυψη ζήτησης για άλλα 40, 60 και 250 χρόνια, αντίστοιχα. Αν προσπαθήσουμε να δούμε τις συνέπειες αυτών των περιορισμένων αποθεμάτων, θα βρεθούμε αντιμέτωποι με μια κατάσταση στην οποία η τιμή των καυσίμων θα επιταχυνθεί καθώς τα αποθέματα μειώνονται. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή του πετρελαίου έχει καθιερωθεί σταθερά ως ηγέτης των τιμών για όλες τις τιμές των καυσίμων, τότε το συμπέρασμα είναι ότι οι τιμές της

ενέργειας θα αυξηθούν κατά τις επόμενες δεκαετίες σε κάτι μεγαλύτερο από το ποσοστό πληθωρισμού ή ακόμα περισσότερο. Επιπλέον, υπάρχει και η ανησυχία σχετικά με την περιβαλλοντολογική ρύπανση που προκαλείται από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Εκτός από τους χιλιάδες τρόπους με τους οποίους η ενέργεια του ήλιου έχει χρησιμοποιηθεί τόσο από τη φύση όσο και από τον άνθρωπο στο πέρασμα του χρόνου, π.χ. να καλλιεργήσει τρόφιμα ή να στεγνώσει ρούχα, χρησιμοποιείται επίσης για την εκτέλεση διάφορων άλλων εργασιών. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση κτιρίων, νερού για οικιακές και βιομηχανικές χρήσεις, να λειτουργούν θερμικές μηχανές, να αφαλατώσουν το θαλασσίνο νερό, να παράγουν ηλεκτρισμό και πολλά άλλα.

Υπάρχουν πολλές εναλλακτικές πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί για ορυκτά καύσιμα. Η απόφαση σχετικά με το είδος της πηγής ενέργειας που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, σε κάθε περίπτωση, πρέπει να γίνεται βάσει οικονομικών, περιβαλλοντικών και ασφαλιστικών κριτηρίων. Λόγω των επιθυμητών πτυχών περιβάλλοντος και ασφάλειας, πιστεύεται ευρέως ότι η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να χρησιμοποιείται έναντι άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας, ακόμη και όταν το κόστος είναι ελαφρώς υψηλότερο.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΕΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως παρατηρείται από τη γη, η διαδρομή του ήλιου στον ουρανό ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το σχήμα που περιγράφεται από τη θέση του ήλιου, θεωρώντας το την ίδια ώρα κάθε μέρα για ένα πλήρες έτος, ονομάζεται ανάλημμα και μοιάζει με ένα σχήμα 8 ευθυγραμμισμένο κατά μήκος ενός άξονα βορρά/νότου. Η πιο προφανής διακύμανση της φαινομενικής θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι η ταλάντευση μεταξύ βορά/νότου γωνίας 47° (λόγω της κλίσης των $23,5^\circ$ του άξονα της γης σε σχέση με τον ήλιο), η οποία ονομάζεται απόκλιση. Η ταλάντευση βορρά/νότου σε εμφανή γωνία είναι η κύρια αιτία για την ύπαρξη των εποχών στη γη.

Το να γνωρίζουμε της διαδρομή του ήλιου στο ουρανό είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, το κέρδος της ηλιακής θερμότητας, τον κατάλληλο προσανατολισμό των ηλιακών συλλεκτών, την τοποθέτηση των συλλεκτών για την αποφυγή σκίασης, και πολλά άλλα τα οποία δεν είναι άμεσου ενδιαφέροντος εδώ. Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να περιγράψει τις κινήσεις του ήλιου σε σχέση με τη γη οι οποίες δίνουν στον ήλιο την ανατολική/δυτική τροχιά του στον ουρανό. Η διακύμανση της προσπίπτουσας ηλιακής γωνίας και η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται θα αναλυθεί για έναν αριθμό σταθερών επιφανειών. Το ηλιακό περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί ένα ηλιακό σύστημα εξαρτάται κυρίως από τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια. Ο γενικός καιρός μιας τοποθεσίας είναι απαραίτητος σε πολλούς

ενεργειακούς υπολογισμούς. Αυτό παρουσιάζεται συνήθως ως αρχείο τυπικού μετεωρολογικού έτους (TME).

Στους υπολογισμούς της ηλιακής ενέργειας, ο φαινομενικός ηλιακός χρόνος (ΦΗΧ) πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να εκφράσει την ώρα της ημέρας. Ο ΦΗΧ βασίζεται στη φαινομενική γωνιακή κίνηση του ήλιου στον ουρανό. Ο χρόνος κατά τον οποίο ο ήλιος διασχίζει τον μεσημβρινό του παρατηρητή είναι το τοπικό ηλιακό μεσημέρι. Αυτό συνήθως δεν συμπίπτει με την μεσημεριανή ώρα των 12:00 μιας τοποθεσίας. Για να μετατραπεί η τοπική ώρα (ΤΩ) σε ΦΗΧ, εφαρμόζονται δύο διορθώσεις, η εξίσωση του χρόνου και η διόρθωση γεωγραφικού μήκους. Αυτά αναλύονται παρακάτω.

ΕΞΙΣΩΣΗ ΧΡΟΝΟΥ

Λόγω παραγόντων που σχετίζονται με την τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο, η τροχιακή ταχύτητα της γης ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου με αποτέλεσμα ο ΦΗΧ να ποικίλλει ελαφρώς από τον μέσο χρόνο που τηρείται από ένα ρολόι το οποίο λειτουργεί με ενιαίο ρυθμό. Η παρέκκλιση αυτή ονομάζεται εξίσωση χρόνου (EX). Η εξίσωση του χρόνου προκύπτει επειδή η διάρκεια μιας ημέρας, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται από τη γη για να ολοκληρώσει μια περιστροφή γύρω απ' τον άξονα της σε σχέση με τον ήλιο, δεν είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Στη διάρκεια του έτους, ο μέσος χρόνος της ημέρας είναι 24 ώρες. Ωστόσο, ο χρόνος μιας ημέρας ποικίλλει λόγω της εκκεντρικότητας της τροχιάς της γης και της κλίσης του άξονά της από το κανονικό επίπεδο της τροχιάς της. Λόγω της ελλειπτικής της τροχιάς, η γη βρίσκεται πιο κοντά στον ήλιο στις 3 Ιανουαρίου και πιο μακριά από αυτόν στις 4 Ιουλίου. Επομένως, η τροχιακή ταχύτητα της γης είναι μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητά της για το ήμισυ του έτους (από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο) και μικρότερη από τη μέση ταχύτητά για το υπόλοιπο ήμισυ (περίπου από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο).

Οι τιμές της εξίσωσης του χρόνου ως συνάρτηση της ημέρας του έτους (N) μπορούν να ληφθούν κατά προσέγγιση από την ακόλουθη εξίσωση:

$$EX = 9,87\sin(2B) - 7,53\cos(B) - 1,5\sin(B) \text{ [min] [1]}$$

$$\text{Όπου } B = (N - 81) \frac{360}{364} \text{ [2]}$$

Μια γραφική παράσταση της εξίσωσης [1] φαίνεται στο *σχήμα 2* από το οποίο μπορεί να ληφθεί απευθείας η εξίσωση του χρόνου.

ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

Ο τυπικός χρόνος του ρολογιού υπολογίζεται από έναν επιλεγμένο μεσημβρινό κοντά στο κέντρο μιας ζώνης ώρας ή από τον τυπικό μεσημβρινό, τον Γκρίνουιτς, ο οποίος έχει

γεωγραφικό μήκος 0° . Δεδομένου ότι ο ήλιος χρειάζεται 4 λεπτά για να διανύσει 1° μήκους, ένας όρος διόρθωσης γεωγραφικού μήκους της τάξεως του 4 (πρότυπο γεωγραφικό μήκος - τοπικό γεωγραφικό μήκος) θα πρέπει είτε να προστεθεί είτε να αφαιρεθεί στον τυπικό χρόνο ρολογιού της τοποθεσίας. Αυτή η διόρθωση είναι σταθερή για ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό μήκος και πρέπει να τηρείται ο ακόλουθος κανόνας όσον αφορά το θετικό και το αρνητικό σύμβολο. Αν η τοποθεσία βρίσκεται ανατολικά του τυπικού μεσημβρινού, η διόρθωση προστίθεται στον χρόνο ρολογιού. Αν η τοποθεσία βρίσκεται δυτικά, τότε αφαιρείται. Η γενική εξίσωση για τον υπολογισμό του ΦΗΧ είναι η ακόλουθη:

$$\Phi H X = T P X + E X \pm 4(P G M - T G M) - \Theta \Omega \quad [3]$$

Όπου ΤΠΧ είναι ο Τοπικός Πρότυπος Χρόνος, ΠΓΜ είναι το Πρότυπο Γεωγραφικό Μήκος, ΤΓΜ είναι το Τοπικό Γεωγραφικό Μήκος, και $\Theta\Omega$ είναι η Θερινή Ώρα (είναι είτε 0 είτε 60 λεπτά)

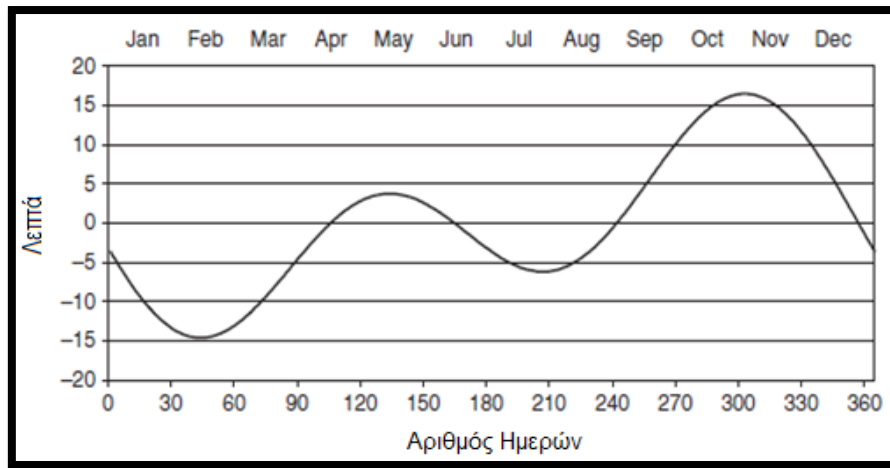
Εάν μια τοποθεσία βρίσκεται ανατολικά του Γκρίνουιτς, η διόρθωση γεωγραφικού μήκους της σχέσης [3] είναι αρνητική (-), και αν βρίσκεται δυτικά, είναι θετική (+). Αν η θερινή ώρα χρησιμοποιείται, θα πρέπει να αφαιρεθεί από τον ΤΠΧ. Ο όρος $\Theta\Omega$ εξαρτάται από το εάν η θερινή ώρα είναι σε λειτουργία (συνήθως από τα τέλη Μαρτίου έως τα τέλη Οκτωβρίου) ή όχι. Αυτός ο όρος συνήθως παραλείπεται από την εξίσωση και λαμβάνεται υπόψιν μόνο αν η εκτίμηση είναι εντός της περιόδου $\Theta\Omega$.

ΓΩΝΙΕΣ ΗΛΙΟΥ

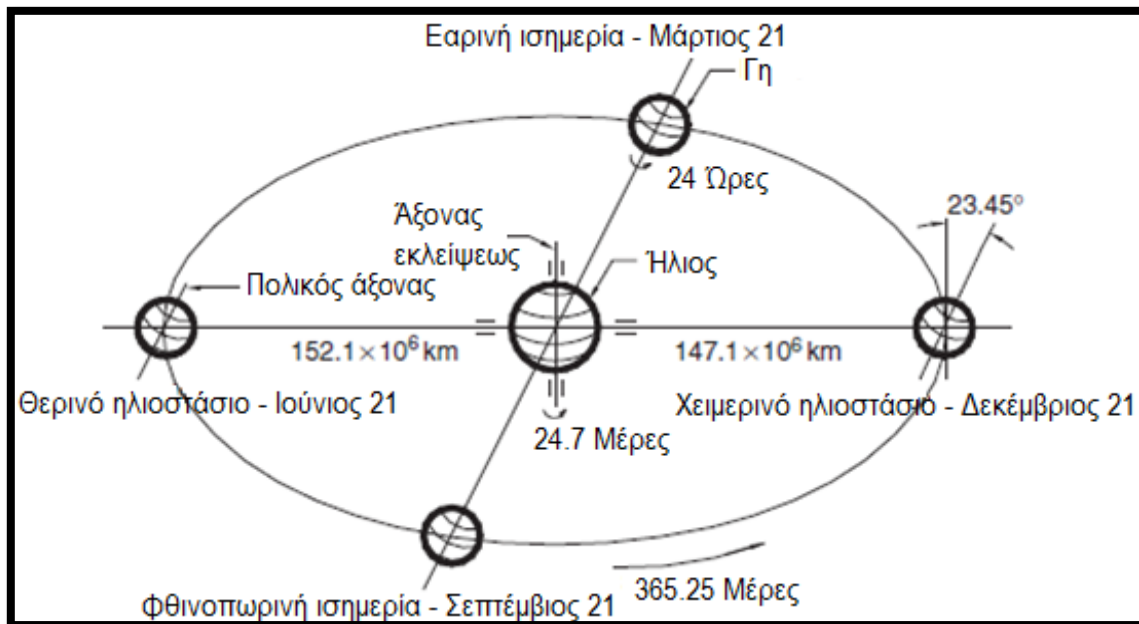
Η γη κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον άξονά της κάθε 24 ώρες και ολοκληρώνει μια περιστροφή γύρω από τον ήλιο σε μια περίοδο 365,25 ημερών κατά προσέγγιση. Αυτή η περιστροφή δεν είναι κυκλική αλλά ακολουθεί μια ελλειπτική τροχιά. Η εκκεντρότητα, e , της τροχιάς της γης είναι πολύ μικρή και είναι ίση με 0.016 73. Επομένως, η κίνηση της γύρω από τον ήλιο είναι σχεδόν κυκλική. Η απόσταση ήλιου-γης, R , στο περιήλιο (η μικρότερη απόσταση, στις 3 Ιανουαρίου) και το αφήλιο (μεγαλύτερη απόσταση, στις 4 Ιουλίου) δίνεται από τον Garg :

$$R = a(1 \pm e) \quad [4]$$

Όπου a : μέση απόσταση γης-ήλιου, το οποίο είναι 149.5985×10^6 km.



Σχήμα 2 Εξίσωση χρόνου



Σχήμα 3 Ετήσια κίνηση της γης περί του ηλίου

Το συν (+) στην εξίσωση [4] είναι για την απόσταση ήλιου-γης όταν η γη βρίσκεται στο αφήλιο και το πλην (-) όταν βρίσκεται στο περιήλιο. Η λύση της εξίσωσης [4] δίνει τιμές για τη μεγαλύτερη απόσταση που είναι ίση με $152,1 \times 10^6 \text{ km}$ και για τη μικρότερη απόσταση η οποία είναι ίση με $147,1 \times 10^6 \text{ km}$ όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Η διαφορά των δύο αποστάσεων είναι μόνο 3,3%. Η μέση απόσταση ηλίου-γης, a , ορίζεται ως το ήμισυ του αθροίσματος των αποστάσεων των περιηλίων και των αφήλιων.

Η θέση του ήλιου στον ουρανό αλλάζει από μέρα σε μέρα και από ώρα σε ώρα. Είναι γνωστό ότι ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα στον ουρανό το καλοκαίρι από το χειμώνα. Οι σχετικές κινήσεις του ήλιου και της γης δεν είναι απλές, είναι όμως συστηματικές και επομένως αναμενόμενες. Μια φορά το χρόνο η γη ολοκληρώνει μια πλήρη απόσταση γύρω

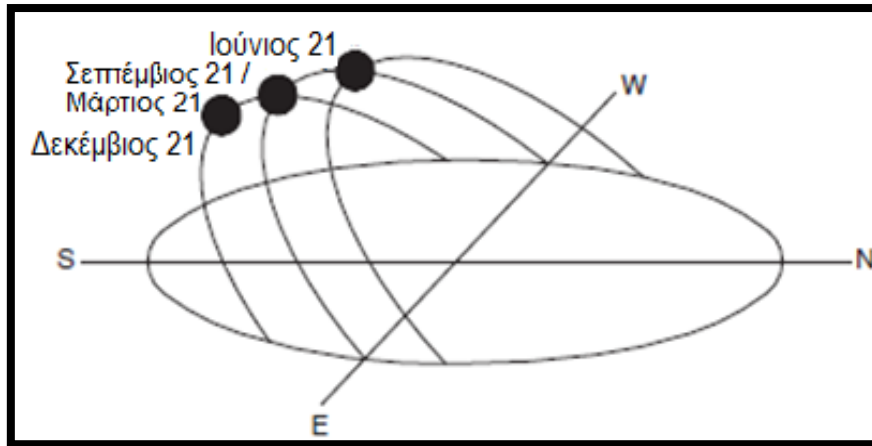
από τον ήλιο σε μια τροχιά η οποία έχει ελλειπτικό σχήμα. Καθώς η γη κάνει την ετήσια περιστροφή της γύρω από τον ήλιο, περιστρέφεται κάθε 24 ώρες γύρω από τον άξονά της, ο οποίος είναι κεκλιμένος σε γωνία 23 μοιρών 27,14 πρώτων λεπτών ($23,45^\circ$) στο επίπεδο της έλλειψης που σχηματίζεται μεταξύ του τροχιακού επιπέδου της γης και του ισημερινού του ηλίου όπως φαίνεται στο *σχήμα 3*.

Η πιο εμφανής φαινομενική κίνηση του ήλιου είναι ότι κινείται καθημερινά διαγράφοντας ένα τόξο στον ουρανό, φτάνοντας στο υψηλότερο σημείο το μεσημέρι. Καθώς ο χειμώνας γίνεται άνοιξη και έπειτα καλοκαίρι, τα σημεία ανατολής και δύσης του ηλίου κινούνται σταδιακά προς τα βόρεια κατά μήκος του ορίζοντα. Στο βόρειο ημισφαίριο, οι ημέρες μεγαλώνουν όσο ο ήλιος ανατέλλει νωρίτερα και δύει αργότερα κάθε μέρα και η διαδρομή του ήλιου φτάνει υψηλότερα στον ουρανό. Στις 21 Ιουνίου, ο ήλιος βρίσκεται στη βορειότερη θέση του σε σχέση με τη γη. Αυτό ονομάζεται θερινό ηλιοστάσιο και κατά τη διάρκειά του, ο χρόνος της ημέρας είναι ο μέγιστος. Έξι μήνες αργότερα, στις 21 Δεκεμβρίου, το χειμερινό ηλιοστάσιο, συμβαίνει το αντίστροφο. Δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται στη νοτιότερη θέση του (βλ. *σχήμα 4*). Στη μέση της περιόδου των 6 μηνών, δηλαδή περίπου στις 21 Μαρτίου και στις 21 Σεπτεμβρίου, η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τη διάρκεια της νύχτας. Αυτές ονομάζονται εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία, αντίστοιχα. Το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο είναι το αντίθετο στο νότιο ημισφαίριο, δηλαδή το θερινό ηλιοστάσιο είναι στις 21 Δεκεμβρίου και το χειμερινό ηλιοστάσιο είναι στις 21 Ιουνίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες αυτές οι ημερομηνίες είναι κατά προσέγγιση και ότι υπάρχουν μικρές αποκλίσεις (διαφορά λίγων ημερών) από έτος σε έτος.

Για τους σκοπούς αυτού του κεφαλαίου, η άποψη του Πτολαιμέου σχετικά με την κίνηση του ήλιου, θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση που ακολουθεί χάριν ευκολίας, δηλαδή, δεδομένου ότι όλες οι κινήσεις είναι σχετικές, είναι βολικό να θεωρήσουμε τη γη σταθερή και να περιγράψουμε την εικονική κίνηση του ήλιου σε ένα σύστημα συντεταγμένων που έχει προσαρμοστεί για τη γη.

Για τις περισσότερες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, χρειάζονται ακριβείς προβλέψεις για το πού θα βρίσκεται ο ήλιος στον ουρανό σε δεδομένη στιγμή κάποιας ημέρας και έτους. Σύμφωνα με την άποψη του Πτολεμαίου, ο ήλιος είναι αναγκασμένος να κινείται με δύο βαθμούς ελευθερίας στην ουράνια σφαίρα. Επομένως, η θέση του σε σχέση με έναν παρατηρητή ο οποίος βρίσκεται στη γη μπορεί να περιγραφεί πλήρως με δύο αστρονομικές γωνίες, το ηλιακό υψόμετρο (α) και το ηλιακό αζιμούθιο (z). Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή κάθε γωνίας μαζί με τη σχετική διατύπωση.

Πριν δώσουμε τις εξισώσεις των γωνιών ηλιακού υψομέτρου και αζιμούθιου, πρέπει να οριστούν οι γωνίες ηλιακής απόκλισης και χρόνου. Αυτά απαιτούνται σε όλες τις άλλες διατυπώσεις γωνίας ηλιακής ακτινοβολίας.



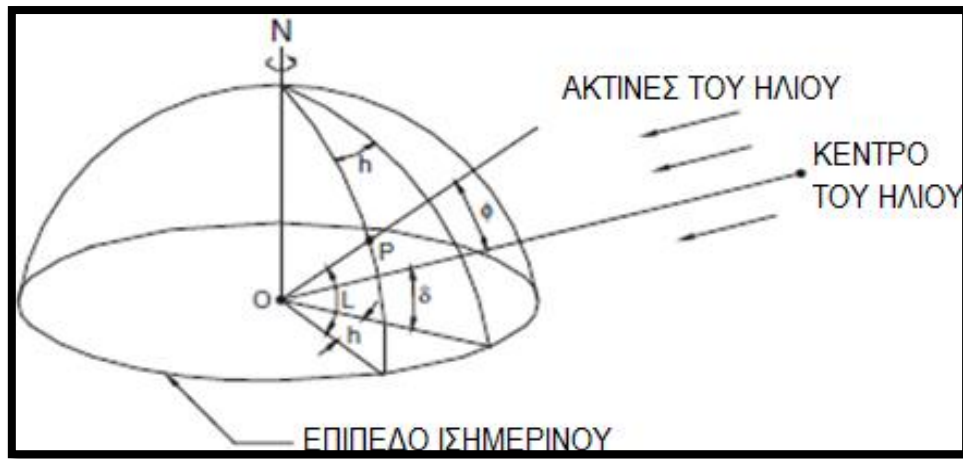
Σχήμα 4 Ετήσιες αλλαγές στη θέση του ήλιου στον ουρανό

ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ, δ

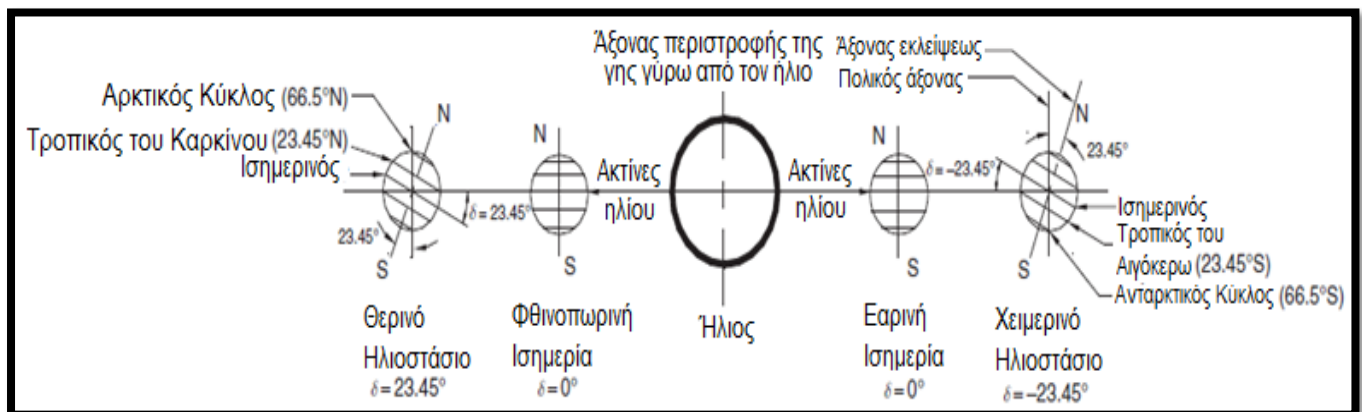
Όπως φαίνεται στο σχήμα 3, ο άξονας περιστροφής της γης είναι κεκλιμένος υπό γωνία $23,45^\circ$ από τον άξονα της εκλείψεως, ο οποίος είναι φυσιολογικό στο εκλειπτικό επίπεδο. Το εκλειπτικό επίπεδο είναι το επίπεδο της τροχιάς γύρω από τον ήλιο. Η ηλιακή γωνία απόκλισης είναι η γωνιακή απόσταση των ακτίνων του ήλιου βόρεια (ή νότια) του ισημερινού. Η βόρεια απόκλιση ορίζεται ως θετική. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5, είναι η γωνία μεταξύ της κεντρικής γραμμής γης-ηλίου και της προβολής αυτής, στο επίπεδο του ισημερινού. Αποκλίσεις βόρεια του ισημερινού (καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο) θεωρούνται θετικοί και οι νότιοι αρνητικοί. Το σχήμα 6 δείχνει τη γωνιακή απόκλιση κατά τη διάρκεια των ισημεριών και των ηλιοστασίων. Όπως φαίνεται, η γωνιακή απόκλιση κυμαίνεται από 0° στην εαρινή ισημερία, σε $+23,45^\circ$ στο θερινό ηλιοστάσιο, σε 0° κατά την φθινοπωρινή ισημερία, σε $-23,45^\circ$ στο χειμερινό ηλιοστάσιο.

Η διακύμανση της ηλιακής γωνιακής απόκλισης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους φαίνεται στο σχήμα 7. Η γωνιακή απόκλιση δ , σε μοίρες, για οποιαδήποτε ημέρα του έτους (N) μπορεί να υπολογιστεί περίπου με την εξίσωση :

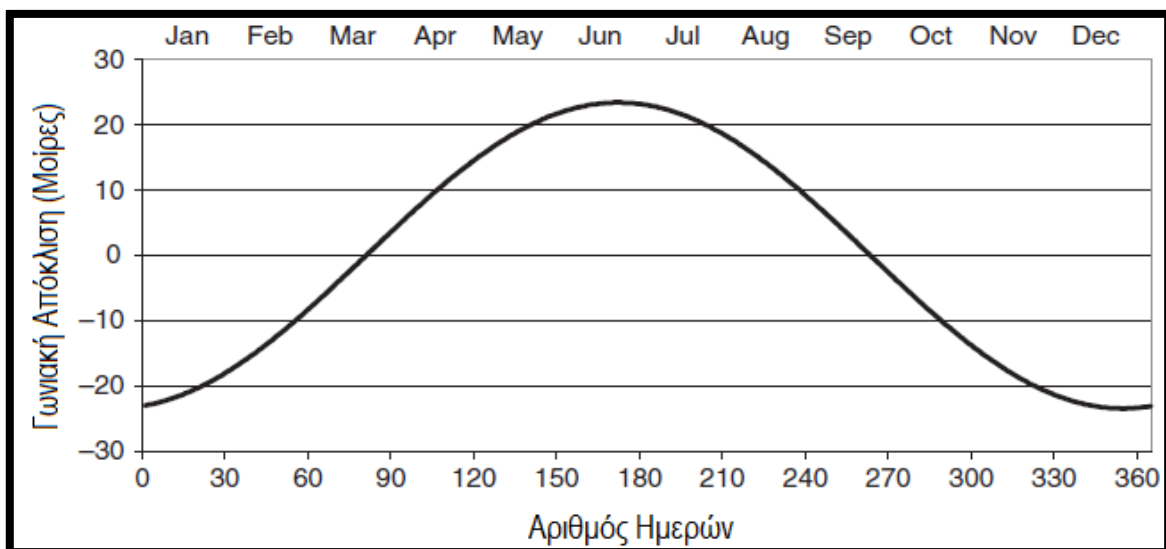
$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad [5]$$



Σχήμα 5 Ορισμός γεωγραφικού πλάτους, γωνιακού χρόνου, ηλιακή απόκλιση



Σχήμα 6 Ετήσια διακύμανση ηλιακής γωνιακής απόκλισης



Σχήμα 7 Γωνιακή απόκλιση ηλίου

Η απόκλιση μπορεί επίσης να δοθεί σε ακτίνια με τον τύπο Spencer :

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos(\Gamma) + 0,070257 \sin(\Gamma) - 0,006758 \cos(2\Gamma) + 0,000907 \sin(2\Gamma) - 0,002697 \cos(3\Gamma) + 0,00148 \sin(3\Gamma) \quad [6]$$

Όπου Γ ονομάζεται γωνία ημέρας που δίνεται από τον τύπο (σε ακτίνια) :

$$\Gamma = \frac{2\pi(N-1)}{365} \quad [7]$$

Η ηλιακή απόκλιση κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης ημέρας μπορεί να θεωρηθεί σταθερή στους υπολογισμούς της μηχανικής.

Όπως φαίνεται στο *Σχήμα 6*, οι τροπικές περιοχές του Καρκίνου ($23,45^\circ$ B) και του Αιγόκερου ($23,45^\circ$ N) είναι τα γεωγραφικά πλάτη όπου ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα κατά τη διάρκεια του θερινού και του χειμερινού ηλιοστασίου, αντίστοιχα. Άλλα δύο γεωγραφικά πλάτη που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι ο Αρκτικός ($66,5^\circ$ B) και ο Ανταρκτικός ($66,5^\circ$ N) Κύκλος.

Όπως φαίνεται στο *Σχήμα 6*, κατά την διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου, όλα τα σημεία βόρεια του Αρκτικού Κύκλου βρίσκονται σε απόλυτο σκοτάδι, ενώ όλα τα σημεία νότια του Ανταρκτικού Κύκλου λαμβάνουν συνεχή ηλιακό φως. Το αντίθετο συμβαίνει κατά το θερινό ηλιοστάσιο. Στην εαρινή και την φθινοπωρινή ισημερία, ο βόρειος και ο νότιος πόλος ισαπέχουν από τον ήλιο και η μέρα είναι ίση με τη νύχτα, δηλαδή 12 ώρες η καθεμία.

ΩΡΙΑΙΑ ΓΩΝΙΑ, h

Η ωρική γωνία, h , ενός σημείου στην επιφάνεια της γης ορίζεται ως η γωνία μέσω της οποίας η γη θα γυρίσει για να φέρει τον μεσημβρινό του σημείου ακριβώς κάτω από τον ήλιο. Στο *Σχήμα 5*, η ωρική γωνία του σημείου P φαίνεται ως η γωνία που μετρείται επί του ισημερινού επίπεδου της γης ανάμεσα στην προβολή του OP και την προβολή της γραμμής ηλίου-γης που ενώνει κέντρο με κέντρο. Η ωρική γωνία στο τοπικό ηλιακό μεσημέρι είναι 0, με κάθε 360/24 ή 15 μοίρες μήκος να ισοδυναμεί με 1 ώρα και οι απογευματινές ώρες να χαρακτηρίζονται ως θετικές. Εκφρασμένη συμβολικά, η ωρική γωνία σε μοίρες είναι:

$$h = \pm 0,25 \text{ (αριθμός λεπτών απ' το τοπικό ηλιακό μεσημέρι)} \quad [8]$$

Όπου το συν (+) εφαρμόζεται στις απογευματινές ώρες και το πλην (-) στις πρωινές.

Η ωρική γωνία μπορεί επίσης να ληφθεί από το ΦHX, δηλαδή από τον διορθωμένο τοπικό ηλιακό χρόνο:

$$h = (AST - 12)15 \quad [9]$$

Στο τοπικό ηλιακό μεσημέρι, $\PhiHX=12$ και $h=0^\circ$. Επομένως, από την σχέση [3], ο ΤΠΧ (ο χρόνος που δείχνουν τα ρολόγια μας στο τοπικό ηλιακό μεσημέρι) είναι:

$$TΠΧ = 12 - EX \pm 4(ΠΓΜ - ΤΓΜ) \quad [10]$$

ΗΛΙΑΚΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ, α

Η ηλιακή υψομετρική γωνία είναι η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και ενός οριζόντιου επιπέδου όπως φαίνεται στο *σχήμα 8*. Σχετίζεται με την ηλιακή ζενιθιακή γωνία Φ , που είναι η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της κάθετης. Έτσι:

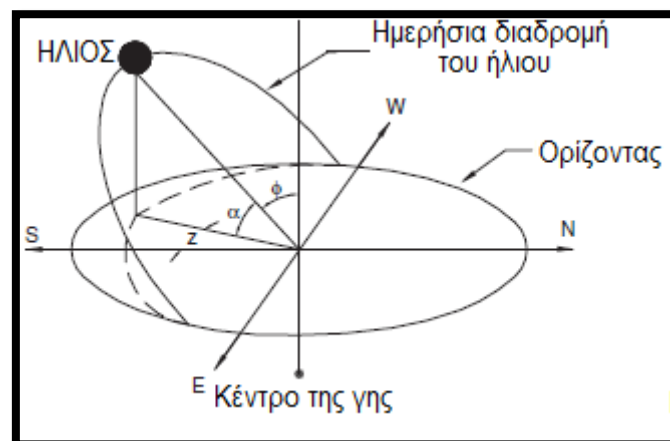
$$\Phi + \alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad [11]$$

Η μαθηματική έκφραση για την ηλιακή υψομετρική γωνία είναι:

$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h) \quad [12]$$

όπου L είναι το τοπικό γεωγραφικό πλάτος, που ορίζεται ως η γωνία μεταξύ μιας γραμμής από το κέντρο της γης έως την περιοχή ενδιαφέροντος και του ισημερινού επίπεδο.

Οι τιμές βόρεια του ισημερινού είναι θετικές και οι νότιες είναι αρνητικές.



Σχήμα 8 Φαινομενική ημερήσια διαδρομή του ηλίου στον ουρανό από την αυγή έως το ηλιοβασίλεμα

ΗΛΙΑΚΗ ΓΩΝΙΑ ΑΖΥΜΟΥΘΙΟ, z

Η γωνία του ηλιακού αζιμουθίου z είναι η γωνία των ακτίνων του ήλιου, που μετριέται στο οριζόντιο επίπεδο, νότια προς το βόρειο ημισφαίριο ή βόρεια για το νότιο ημισφαίριο (από τα δυτικά χαρακτηρίζεται ως θετική). Η μαθηματική έκφραση για την ηλιακή γωνία αζιμουθίου είναι:

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta)\sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad [13]$$

Αυτή η εξίσωση είναι σωστή με την προϋπόθεση ότι το $\cos(h) > \tan(\delta) / \tan(L)$ [18]. Εάν δεν ισχύει αυτό, σημαίνει ότι ο ήλιος βρίσκεται πίσω από τη γραμμή E-W όπως φαίνεται στο *σχήμα 4* και η γωνία αζιμουθίου για τις πρωινές ώρες είναι $-\pi + |z|$ και για τις απογευματινές ώρες είναι $\pi - |z|$.

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος είναι, εξ ορισμού, ακριβώς στον μεσημβρινό, ο οποίος περιέχει τη γραμμή βορρά-νότου, και κατά συνέπεια, το ηλιακό αζιμούθιο είναι 0 μοίρες. Επομένως, το υψόμετρο α_n είναι:

$$\alpha_n = 90^\circ - L + \delta \quad [14]$$

ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΩΝ ΚΑΙ ΗΜΕΡΩΝ

Ο ήλιος θεωρείται ότι ανατέλλει και δύει όταν η ηλιακή υψομετρική γωνία είναι 0. Έτσι, η ωρική γωνία στο ηλιοβασίλεμα, h_{SS} , μπορεί να βρεθεί επιλύοντας την εξίσωση [12] ως προς h με γωνία $\alpha=0^\circ$. Οπότε:

$$\sin(\alpha) = \sin(0) = 0 = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h_{SS})$$

$$\text{Ή } \cos(h_{SS}) = -\frac{\sin(L)\sin(\delta)}{\cos(L)\cos(\delta)}$$

$$\text{η οποία μειώνεται:} \quad \cos(h_{SS}) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad [15]$$

όπου το h_{SS} θεωρείται θετικό κατά το ηλιοβασίλεμα.

Καθώς η ωρική γωνία στο ηλιακό μεσημέρι είναι 0° , με κάθε 15° γεωγραφικού μήκους να ισοδυναμούν με 1 ώρα, ο χρόνος ανατολής και δύσης του ηλίου, σε ώρες, από το ηλιακό μεσημέρι είναι :

$$H_{SS} = -H_{Sr} = \frac{1}{15} \cos^{-1}[-\tan(L) \tan(\delta)] \quad [16]$$

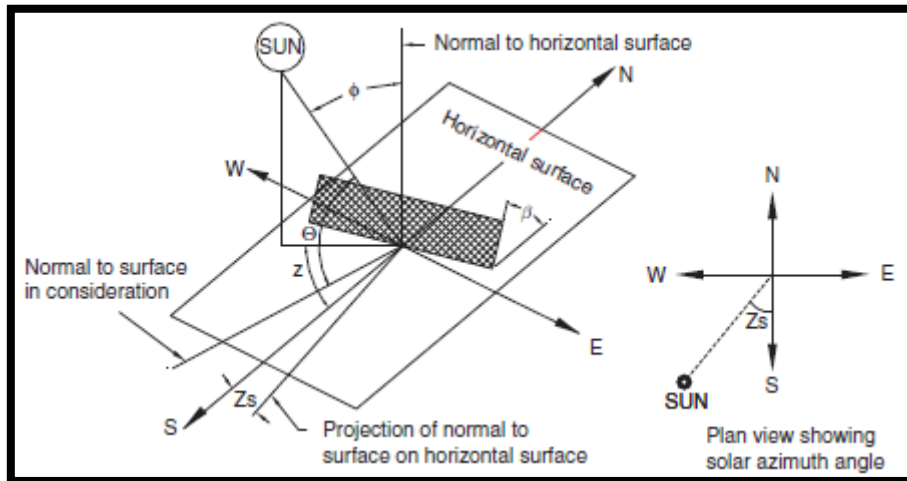
Η διάρκεια της ημέρας είναι διπλάσια από την ώρα της δύσης, αφού το ηλιακό μεσημέρι βρίσκεται στο μέσο της ώρας ανατολής και δύσης. Έτσι, η διάρκεια ημέρας σε ώρες είναι:

$$\text{Διάρκεια Ημέρας} = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan(L) \tan(\delta)] \quad [17]$$

ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, θ

Η ηλιακή γωνία πρόσπτωσης, θ , είναι η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της κανονικής επιφάνειας. Σε ένα οριζόντιο επίπεδο, η γωνία πρόσπτωσης, θ , και η ζενιθιακή γωνία, Φ , είναι οι ίδιες. Οι γωνίες που φαίνονται στο *σχήμα 9* σχετίζονται με τις βασικές γωνίες του *σχήματος 5* σύμφωνα με την ακόλουθη γενική έκφραση για την προσπίπτουσα γωνία [16, 17]:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(L) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(z_s) + \\ & \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \sin(\beta) \cos(z_s) + \\ & \cos(\delta) \sin(h) \sin(\beta) \sin(z_s) \end{aligned} \quad [18]$$



Σχήμα 9 Διάγραμμα ηλιακών γωνιών

όπου β είναι η γωνία κλίσης της επιφάνειας από την οριζόντια και z_s είναι η αζιμουθιακή γωνία της επιφάνειας. Σε ειδικές περιπτώσεις, η σχέση [18] παίρνει πολύ απλούστερες μορφές.

Σε οριζόντιες επιφάνειες, $\beta=0^\circ$ και $\theta=\Phi$, οπότε η σχέση [8] γίνεται ίδια με την σχέση [12].

Για κάθετες επιφάνειες, $\beta=90^\circ$ και η σχέση [18] γίνεται:

$$\cos(\theta) = -\cos(L) \sin(\delta) \cos(z_s) + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(z_s) + \cos(\delta) \sin(h) \sin(z_s) \quad [19]$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό στο βόρειο ημισφαίριο, $z_s=0^\circ$ και η σχέση [18] γίνεται:

$$\cos(\theta) = \sin(L) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \sin(\delta) \sin(\beta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \sin(\beta)$$

η οποία απλοποιείται περαιτέρω:

$$\cos(\theta) = \sin(L - \beta) \sin(\delta) + \cos(L - \beta) \cos(\delta) \cos(h) \quad [20]$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες με βόρειο προσανατολισμό στο νότιο ημισφαίριο, $z_s=180^\circ$ και η σχέση

[18] γίνεται:

$$\cos(\theta) = \sin(L - \beta) \sin(\delta) + \cos(L - \beta) \cos(\delta) \cos(h) \quad [21]$$

Η εξίσωση [18] είναι μια γενική σχέση της γωνίας πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια οποιουδήποτε προσανατολισμού. Όπως φαίνεται στις σχέσεις [19] - [21], η γενική αυτή σχέση μπορεί να πάρει πολύ πιο απλούστερες μορφές για συγκεκριμένες περιπτώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ –ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Από πολλούς θεωρείται ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ένα σύγχρονο φαινόμενο που αποτελεί αντίκτυπο στο εμπάργκο του πετρελαίου της δεκαετίας του 1970. Ωστόσο, δεν συμβαίνει αυτό. Η χρήση ηλιακής ενέργειας, με διάφορου τύπου μορφές, για να στηρίξει την ανάπτυξη και την εξέλιξη του πολιτισμού, βρίσκεται στο προσκήνιο για τόσο χρονικό διάστημα όσο υπάρχει και η ανθρωπότητα. Όταν στην σύγχρονη κοινωνία ακούμε για πηγές ενέργειας, κανονικά αυτό που θα μας ερχόταν στο μυαλό αρχικά, θα ήταν οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ωστόσο, η τρέχουσα βιομάζα μας από ξύλο, αποξηραμένη ζωική κοπριά και τύρφη, ήταν η κλασσική επιλογή καυσίμων των αρχαίων πολιτισμών.

Προφανώς, τα παραδοσιακά και τα σύγχρονα βιοκαύσιμα, όπως και άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, δημιουργήθηκαν αρχικά από τον ήλιο με τα βιοκαύσιμα να λειτουργούν ως συσκευή πρώιμης αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας, το οποίο ήταν χρήσιμο μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι προϊστορικοί άνθρωποι δεν είχαν την επιστημονική ικανότητα και τη γνώση που εμείς έχουμε σήμερα, αλλά είχαν μια θεμελιώδη κατανόηση της δύναμης του ήλιου και κατάλαβαν ότι από αυτό το «φωτεινό άστρο», διάφορες μορφές ενέργειας δημιουργήθηκαν για να βελτιώσουν το βιοτικό τους επίπεδο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο πολλοί αρχαίοι πολιτισμοί, όπως οι Ιθαγενείς Αμερικανοί, βόρειοι και νότιοι, οι Βαβυλώνιοι, οι Πέρσες, οι αρχαίοι Ινδουιστές και οι Αιγύπτιοι, είχαν μεγάλο σεβασμό προς τον ήλιο, μέχρι που έφτασαν στο σημείο να τον προσκυνούν.

Οι αρχαίοι Έλληνες, όντας γνωστοί για τους θεούς τους, ήταν αφοσιωμένοι στους θεούς Ήλιο και Απόλλωνα, και σύμφωνα με τις παραδόσεις τους, έχτισαν ναούς για να δείξουν την λατρεία τους. Αυτό παρατηρήθηκε ακόμα και στους αρχαίους Αιγύπτιους και στην αφοσίωσή τους στον Ρα, ο οποίος συνήθως απεικονίζεται με τον ηλιακό δίσκο του Wadjet τοποθετημένο πάνω από το γερακίσιο κεφάλι του. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι ήταν αυτοί οι οποίοι αγκάλιασαν πλήρως το δυναμικό του ήλιου σε πρώτη φάση ως ελεύθερη πηγή ενέργειας.

Η πρώτη γνωστή εφεύρεση που χρησιμοποίησε τις ακτίνες του ήλιου ήταν το 600 π.Χ., όταν άναψε φωτιά με την εστίαση των ηλιακών ακτινών πάνω στο ξύλο μέσω μεγεθυντικού υλικού (Εικόνα 1).

Αυτή η αρχή δεν εγκαταλείφθηκε, απεναντίας, χρησιμοποιήθηκε περαιτέρω για εφαρμογές φωτισμού, συγκεκριμένα για ανάφλεξη των πυρσών κατά τον 3ο και 2ο αιώνα π.Χ. Ωστόσο, όπως συμβαίνει με πολλές καινοτόμες ιδέες, οι εξελίξεις στην ηλιακή ενέργεια

συχνά δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τη βελτίωση της ζωής του ανθρώπου, αλλά αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται προς όφελος στρατιωτικών επιχειρήσεων. Ένα αρχαίο παράδειγμα αυτής της χρήσης παρουσιάστηκε από τον Αρχιμήδη το 212 π.Χ. όταν οι Έλληνες χρησιμοποίησαν την μεγεθυντική αρχή της ηλιακής ακτινοβολίας για να κάψουν τα πανιά των ρωμαϊκών πλοίων που επιτίθοντο στις Συρακούσες (Εικόνα 2) διαφοροποιώντας έτσι τις δυνατότητες του ηλίου ώστε να συμπεριλαμβάνεται και στον πόλεμο καθώς και στην καθημερινή ζωή.

Πολύ σπάνια ένας πολιτισμός προχωράει σε καινούργιες ιδέες ή τεχνολογίες αν δεν υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για πρόοδο. Η Ελλάδα γνώρισε έλλειψη καυσίμων τον 4ο αιώνα π.Χ., και ως εκ τούτου είχε την ανάγκη να είναι καινοτόμα και να προωθήσει μια ιδέα που θα παρείχε θερμότητα και φως στις κοινότητες της, καθώς ήταν ζωτικής σημασίας για την επιβίωσή τους. Από το 400 π.Χ. ακόμα, οι Έλληνες υλοποιούσαν παθητικούς ηλιακούς σχεδιασμούς στα σπίτια τους, αποτελώντας έτσι την πρώτη κοινότητα η οποία έκανε πλήρη ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στην κοινωνία της για λόγους εκτός της θρησκευτικής λατρείας.

Η βασική αρχή του παθητικού ηλιακού σχεδιασμού (Εικόνα 3) ήταν η προστασία της βόρειας πλευράς του κτιρίου από τα στοιχεία της φύσης (άνεμος, βροχή, κ.λπ.) και να διασφαλιστεί ότι η νότια πλευρά ήταν ανοικτή στην ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, αλλά σκιασμένη το καλοκαίρι.

Αυτή η απλή αρχή έγινε ευρέως αποδεκτή και εφαρμόστηκε όχι μόνο σε ιδιωτικές κατοικίες, αλλά και σε δημόσια κτίρια και στα παγκοσμίου φήμης ρωμαϊκά λουτρά (Εικόνα 4).

Αυτό εξασφάλισε ότι ο πολιτισμός κατέλαβε τη βέλτιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας. Ακόμη και με περιορισμένη κατανόηση του λόγου για τον οποίο λειτούργησε, οι πολιτισμοί δημιούργησαν πόλεις βασισμένους σε αυτή την αρχή. Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι δεν ήταν οι μόνοι που εκμεταλλεύτηκαν αυτή την ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, αλλά και ο Πουέμπλο, ο Ανασαζι και οι Κινέζοι χρησιμοποίησαν την ιδέα αυτή για τους ίδιους λόγους χρήσης φωτός και θερμότητας. Αν και πολλές κοινωνίες είχαν παρόμοιες ιδέες, αυτές δεν δημιουργήθηκαν μαζί ή οι γνώσεις δεν μεταβιβάστηκαν, μάλλον αναπτύχθηκαν ξεχωριστά, μιας και η ανταλλαγή γνώσεων δεν ήταν τόσο εφικτή όσο είναι στη σημερινή σύγχρονη εποχή.

Οι κοινωνίες ωστόσο αναβάθμισαν τα συστήματά τους και ένα καλό παράδειγμα αυτής της αναβάθμισης προήλθε από τους Ρωμαίους και ήταν η χρήση του γυαλιού για να περικλείσουν τη θερμότητα στα κτίρια, επομένως να την αποθηκεύουν και εξασφαλίζουν τη μέγιστη ζεστασιά στο χώρο. Η ρωμαϊκή κυβέρνηση προχώρησε εφαρμόζοντας τον πρώτο νόμο τονίζοντας ότι ήταν παράνομο να εμποδίζουν το φως του ήλιου του γείτονά στους, υποστηρίζοντας έτσι της ηλιακή θέρμανση και τον φωτισμό σε κυβερνητικό και κοινοτικό επίπεδο. Οι Ρωμαίοι ανέπτυξαν την ιδέα του θερμοκηπίου, στην οποία εμείς βασιζόμαστε τώρα, για να καλλιεργήσουν φρούτα και λαχανικά που έφεραν από διάφορες χώρες καθώς επέκτειναν την αυτοκρατορία τους. Αυτή η ιδέα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο με την ίδια μορφή σήμερα όπως ήταν στη ρωμαϊκή εποχή για να εξασφαλίσουμε επαρκή εφόδια και ποικιλίες τροφίμων για να τροφοδοτηθεί ο κόσμος, εξασφαλίζοντας την αυτό-επιβίωση.

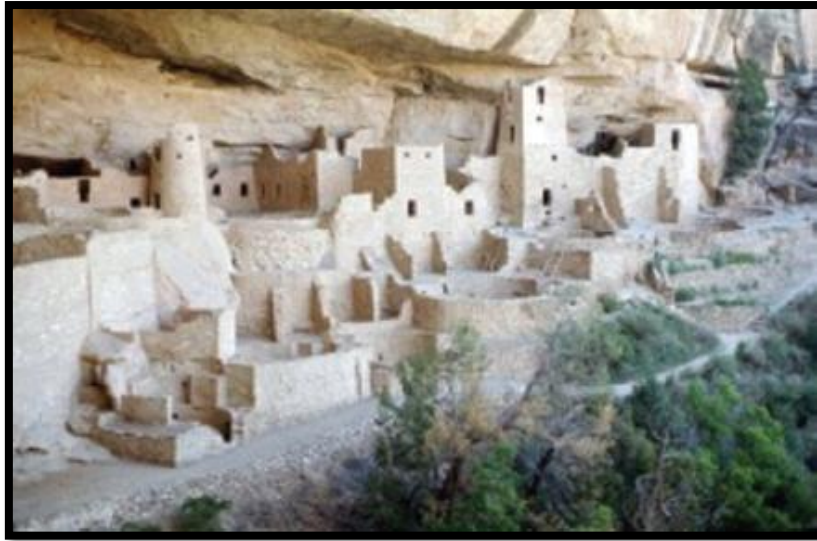
Μετά τη στροφή της ιστορίας στην περίοδο μετά Χριστόν (μ.Χ.), σημειώθηκαν πολύ λίγες αλλαγές ή εξελίξεις με την ηλιακή ενέργεια μέχρι τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης. Σε διάφορους αιώνες από την αρχή αυτής της εποχής, σημειώθηκαν πράξεις ορισμένων ανθρώπων / κοινοτήτων για τη χρήση της θερμότητας και το φως του ήλιου, αλλά δεν επισημάνθηκαν ή δεν σημειώθηκαν βελτιώσεις ή ανακαλύψεις. Το 100 μ.Χ. ο Πλίνιος ο νεότερος (Εικόνα 5), ο οποίος ήταν δικηγόρος, συγγραφέας και ρωμαίος δικαστής, τεκμηριώνεται ότι διαθέτει εξοχικό σπίτι στην Ιταλία που θα το θεωρούσαμε σήμερα ένα θερμοκήπιο, αλλά όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η χρήση του ήλιου ήταν κοινή στην ελληνική και τη ρωμαϊκή εποχή κι έτσι δεν ήταν μια νέα ιδέα.



Εικόνα 2.1 Δημιουργία φωτιάς από τον ήλιο



Εικόνα 2.2 Η μεγεθυντική αρχή και η επίθεση στα ρωμαϊκά στρατιωτικά πλοία



Εικόνα 2.3 Παθητική ηλιακή σχεδίαση στο βράχο των Anasazi

Επιπλέον, καταγράφηκε ότι οι άνθρωποι της Βόρειας Αμερικής της ινδιάνικης φυλής των Πουέμπλο το 1200 μ.Χ. ανακάλυψαν και εκμεταλλεύτηκαν τα οφέλη της παθητικής ηλιακής ακτινοβολίας. Από τον 18ο αιώνα, έγινε δεκτό ως φυσιολογικό για τις ανώτερες τάξεις να έχουν θερμοκήπια, και αυτό επεκτάθηκε τον 19ο αιώνα, όπου οι πλούσιοι κατασκευάζουν θερμοκήπια (Εικόνα 6) για να χαλαρώσουν οι άνθρωποι, να περπατήσουν και να απολαύσουν τη ζεστασιά σε ένα περιβάλλον ευχάριστο γι' αυτούς.



Εικόνα 2.4 Ρωμαϊκά λουτρά



Εικόνα 2.5 Πλίνιος ο Νεότερος



Εικόνα 2.6 Θερμοκήπια που ξεκίνησαν αρχικά από τους Ρωμαίους

2.2) ΠΟΙΟΣ ΗΤΑΝ Ο ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ ΣΤΗΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

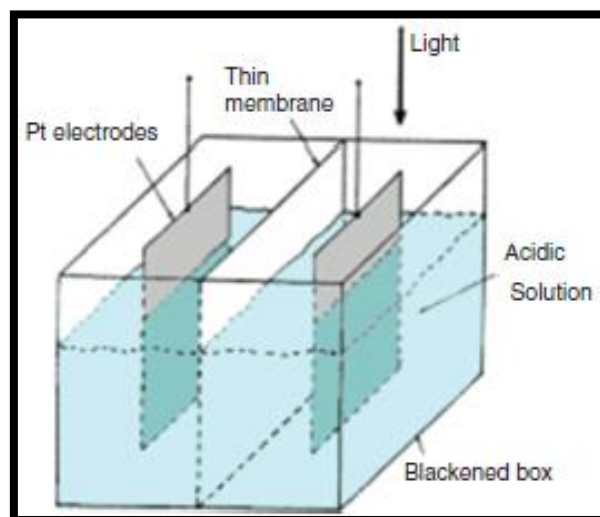
Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, εδώ και αιώνες χρησιμοποιούμε τη δύναμη του ήλιου με διάφορους τρόπους. Ωστόσο, η δεκαετία του 1800 ήταν αυτή κατά την οποία συνέβη η επιστημονική ανακάλυψη που μας επέτρεψε να εκμεταλλευτούμε πλήρως όλες τις δυνατότητες αυτής της ελεύθερης, μεγάλης σε αφθονία, πηγής καυσίμου. Τα εύσημα αυτής της ανάκαμψης στη χρήση της ηλιακής ενέργειας οφείλονται σε μια δημοσίευση το 1839

από τον φυσικό Edmund Becquerel (*Εικόνα 7*) από τη Γαλλία, ο οποίος συζήτησε ένα πείραμα που είχε αναλάβει με μια μπαταρία υγρών στοιχείων.



Εικόνα 2.7 Edmund Becquerel

Κατά τη διάρκεια της έρευνάς του, η Becquerel ανακάλυψε ότι όταν το φως του ήλιου “έβλεπε» τις ασημένιες πλάκες, η τάση εξόδου της μπαταρίας παρουσίαζε αύξηση (*Εικόνα 8*). Αυτή η ανακάλυψη άνοιξε το δρόμο σε περισσότερες έρευνες. Ωστόσο, δεν ήταν βασικής προτεραιότητας τότε καθώς τα ορυκτά καύσιμα βρίσκονταν σε λογικές τιμές και σε αφθονία.

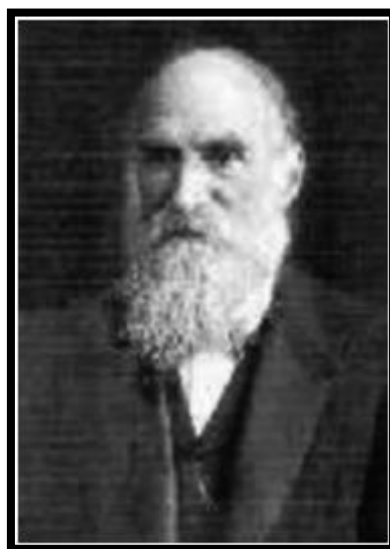


Εικόνα 2.8 Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

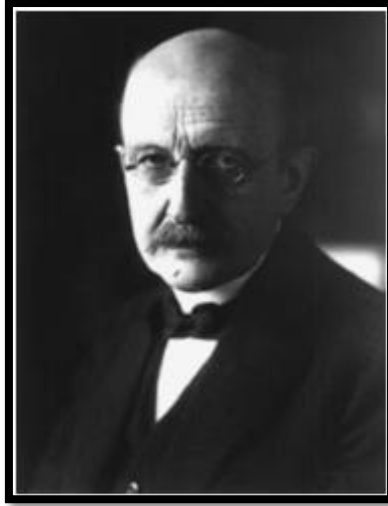
Μια άλλη υποστήριξη αυτής της αρχικής ανακάλυψης πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1800, αλλά η πρόοδος για την απόδειξή της ήταν αργή μέχρι τα μέσα του 20ου αιώνα. Ο Adams (*Εικόνα 9*) και ο Day συζήτησαν σε μια δημοσίευση την επίδραση του ηλιακού φωτός στο σελήνιο, και αργότερα το 1883, ένας ηλεκτρολόγος, ο Charles Edgar Fritts από τη Νέα Υόρκη, σχεδίασε ένα πολύ αναποτελεσματικό (1-2%) πρωτότυπο κυψέλης που ήταν παρόμοιο με τις τυπικές κυψέλες που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Η αποτελεσματικότητα αυτής και όλων των άλλων κυψελών υπολογίζεται με τη μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το σύνολο της πιθανής ενέργειας που προσπίπτει στην φωτοβολταϊκή (PV) επιφάνεια. Το πρωτότυπο έχει πολλά από τα χαρακτηριστικά των σημερινών ηλιακών κυψελών. Είχε ένα γυάλινο κάλυμμα κάτω, το οποίο ήταν μια μάζα χρυσών καλωδίων πεπιεσμένο μεταξύ γυαλιού και ενός λεπτού στρώματος σεληνίου. Αυτό ήταν το πρώτο μοντέλο προς βελτίωση για τους επιστήμονες, αλλά χρειάστηκαν αρκετές δεκαετίες για την επίτευξη μιας αποτελεσματικότερης έκδοσης και μιας πραγματικής κατανόησης του λόγου για τον οποίο η προηγούμενη έκδοση είχε χαμηλή παραγωγή.

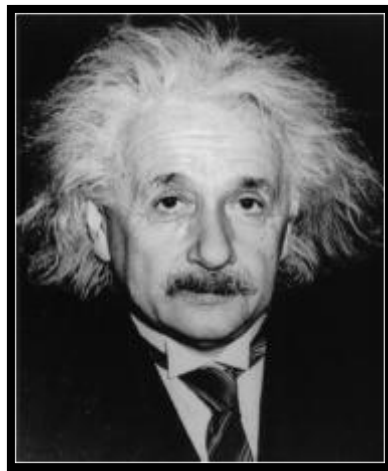
Μικρή εξέλιξη είχε σημειωθεί κατά τη διάρκεια 50 χρόνων από την αρχική ανακάλυψη και είναι ασαφές το κατά πόσο αυτό οφείλεται στην έλλειψη γνώσης, έλλειψη ενδιαφέροντος ή την σταθερή χαμηλή τιμή των ορυκτών καυσίμων. Το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα δεν παρουσίασε καμία ιδιαίτερη διαφορά. Το μοναδικό αξιοσημείωτο γεγονός ήταν η νέα ιδέα του Planck (*Εικόνα 10*) σχετικά με τα κβάντα φωτός, η οποία υποστήριξε την μελέτη του Albert Einstein (*Εικόνα 11*) το 1905, για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με την οποία κέρδισε το βραβείο Νόμπελ το 1921.



Εικόνα 2.9 William Adams



Εικόνα 2.10 Max Planck

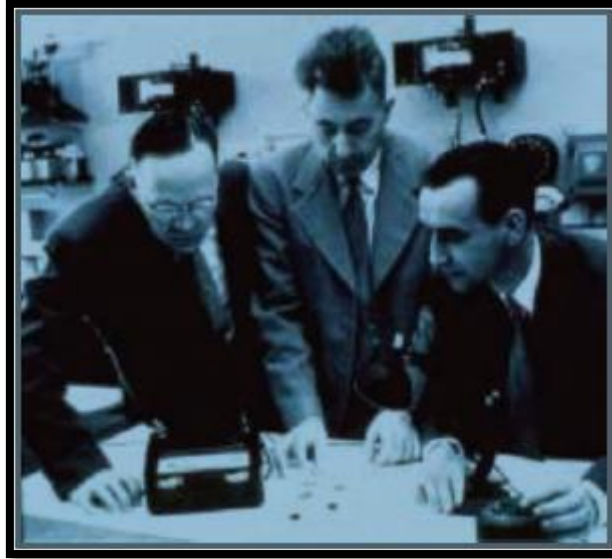


Εικόνα 2.11 Albert Einstein

Το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα έφερε ταχύτερες εξελίξεις, μερικές από τις οποίες ήταν απλώς φυσική επιστημονική πρόοδος, αλλά επίσης, ορισμένα ιστορικά γεγονότα συνέβαλαν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών κυψελών. Οι ερευνητές του Bell Labs στην Αμερική, ήταν υπεύθυνοι για μία εκ των μεγαλύτερων ανακαλύψεων που κατέστησαν την ηλιακή βιομηχανία σε αυτό που βλέπουμε σήμερα και που χωρίς να το γνωρίζουν ότι ήταν η δουλειά τους πάνω στους ημιαγωγούς θα υποστήριζε την ανάπτυξη των ηλιακών κυψελών. Οι ημιαγωγοί είναι το μέσο μεταξύ αγωγών και μονωτών και είναι κατασκευασμένοι από πυρίτιο.

Οι ερευνητές του Bell Labs παρατήρησαν πως το πυρίτιο είχε καλύτερα αποτελέσματα από το σελήνιο που δοκιμάστηκε προηγουμένως. Αυτοί, για πρώτη φορά, προέβλεψαν τη δυνατότητα των ηλιακών κυψελών να έχουν απόδοση άνω του 20% σε σύγκριση με τα τρέχοντα επίπεδα του 1-2%. Η ομάδα (Εικόνα 12), όμως, συνειδητοποίησε ότι δεν μπορούσε

να κάνει αυτό το σημαντικό βήμα μόνο με τη μετάβαση σε ένα διαφορετικό υλικό οπότε συνέχισε την έρευνα για την εύρεση της βέλτιστης ημιαγωγής σύνδεσης p-n.



Εικόνα 2.12 Επιστήμονες του Bell Labs Daryl Chaplin, Calvin Fuller και Gerald Pearson

Οι ερευνητές του Bell ανακάλυψαν ότι θα μπορούσαν να επιτύχουν 6% απόδοση κυψέλης (US \$ 250 ανά watt έναντι περίπου \$ 3 ανά watt για τον άνθρακα) με την ανάμιξη του αρσενικού με πυρίτιο και την τοποθέτηση ενός λεπτού στρώματος βορίου στην κυψέλη. Πιθανώς εν αγνοία τους, οι επιστήμονες, είχαν ξεκινήσει μια επανάσταση στον ενεργειακό εφοδιασμό, που σε λιγότερο από 20 χρόνια θα χρειαζόταν παγκοσμίως, ακόμη και αν η ανακάλυψή τους ήταν μια περιστροφή από την τεχνολογία των τρανζίστορ και της ειδικότητάς τους. Ακόμη και με την πρόοδο του, το τρέχον προϊόν ήταν υπερβολικά ακριβό για χειρσαία χρήση. Ωστόσο, για τις εφαρμογές διαστημικής ενέργειας, ήταν η τέλεια λύση, καθώς δεν υπήρχε άλλη εναλλακτική. Έτσι, παρά τα αρνητικά της σημεία, ήταν ακόμα η καλύτερη λύση.

Η πρώτη από τις πολλές ηλιακές κυψέλες για την τροφοδοσία διαστημικών μηχανών τοποθετήθηκε στον διαστημικό δορυφόρο Vanguard I το 1958 και λειτούργησε έως ότου αποσυρθεί το 1964. Η τεράστια επιτυχία των φωτοβολταϊκών κυψελών, ως μια ανεξάντλητη και μη ρυπογόνα πηγή ενέργειας, τους έχει εξασφαλίσει μια θέση στη διαστημική βιομηχανία (Εικόνα 13) ανεξαρτήτως κόστους και αποδοτικότητας.

Όσο περισσότερες βελτιώσεις και εξελίξεις έχουν γίνει στις κυψέλες, τόσο έχουν αυξηθεί και οι επιλογές για την ενσωμάτωσή τους. Καθώς η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συσσωρευτών συνεχίζει να βελτιώνεται, φτάνοντας στο 14% από την



Εικόνα 2.13 Ηλιακά τροφοδοτούμενος διαστημικός δορυφόρος

Hoffman Electronics (1960), το ίδιο συμβαίνει και με τη μετάβαση της χρήσης αυτών των συσσωρευτών μόνο στο διάστημα και της μελλοντικής τους εγκατάστασης σε επίγειες εφαρμογές.

Από την άποψη της βιωσιμότητας, είναι κρίμα που μια τόσο σημαντική πηγή ενέργειας όπως η ηλιακή τεχνολογία χρειάστηκε τόσο πολύ χρόνο για να αναπτυχθεί και να επεκταθεί λόγω της συνεχούς δημοτικότητας των ορυκτών καυσίμων. Κάτι τέτοιο πιθανότατα θα συνέβαινε ούτως ή άλλως, εάν οι πετρελαϊκές κρίσεις το 1973 και το 1979 με το εμπάργκο του πετρελαίου από τον ΟΠΕΚ δεν είχαν συμβεί. Αυτή η ραγδαία αύξηση της τιμής του πετρελαίου και οι τεράστιες ελλείψεις του, ειδικά στην Αμερική, ανάγκασε την κυβέρνηση να καταλάβει ότι η εξάρτηση της από ξένα ορυκτά καύσιμα ήταν μια ριψοκίνδυνη επιχείρηση και τόνισε τη μεταβλητότητα της παραδοσιακής ενεργειακής αγοράς, ιδίως όταν υπήρχε ελεύθερη πρόσβαση στον ήλιο, την πιο ισχυρή πηγή ενέργειας. Σε αυτό το σημείο, ξεκίνησε να παρουσιάζεται ενδιαφέρον για την «εναλλακτική» ενέργεια μέσω της έρευνας και ανάπτυξης (E & A) καθώς και κυβερνητικοί σκοποί που βοήθησαν στην υποστήριξη της αποδοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2.3) ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Συνέβησαν πολλά σημαντικά γεγονότα για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας σε αυτό που είναι σήμερα. Ωστόσο, πολλά άλλα μικρότερα γεγονότα έπαιξαν το ρόλο τους στην ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Ο παρακάτω Πίνακας 1 περιγράφει το έτος του γεγονότος μαζί με μια περίληψη που περιγράφει τη σύγχρονη ιστορία της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

| | |
|----------|---|
| 200 π.Χ. | Ο Αρχιμήδης χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια μέσω κάτοπτρων για να κάψει τον στόλο των Ρωμαίων στην πολιορκία των Συρακουσών. |
| 1839 | Παρατηρείται για πρώτη φορά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο μεταλλικό στοιχείο του σεληνίου (se) από τον Γάλλο φυσικό Edmund Becquerel. |
| 1876 | Παρατηρείται από τους Adams και τον φοιτητή τους τον Day ότι μία ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παράγεται από το σελήνιο (Se) όταν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο. |
| 1883 | Κατασκευάζεται η πρώτη φωτοβολταϊκή κυψέλη από τον Charles Fritts. Χρησιμοποίησε σελήνιο και χρυσό και η απόδοση της ήταν της τάξης <1% (απόδοσης). |

- 1904 Γράφεται η πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοβολταϊκό φαινόμενο από τον Albert Einstein .Τιμήθηκε με βραβείο νόμπελ το 1921
- 1918 Προστίθεται η μέθοδος παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) από τον Πολωνό Czochralski .
- 1939 Κατασκευάζεται το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από Se με απόδοση 1%.
- 1941 Κατασκευάζεται το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από Si.
- 1949 Αναπτύσσεται η θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης από τους Mott και Schottky. Ανοίγει ο δρόμος για τις πρακτικές εφαρμογές.
- 1954 Κατασκευάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο από Si (p-n) με απόδοση 6%.
- 1956 Εμπορική παραγωγή ηλιακών κατασκευών από την εταιρεία Hofman.
- 1958 Εκτοξεύεται ο αμερικανικός δορυφόρος Vanquard I ο οποίος διαθέτει ως βοηθητική πηγή ενέργειας 6 στοιχεία Si.
- 1958 Εκτοξεύεται ο σοβιετικός δορυφόρος Sputnic ο οποίος διαθέτει ως μοναδική πηγή ενέργειας τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- 1959 Κατασκευάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο από Cds απόδοσης 5%.
- 1960 Κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων με απόδοση 14%.
- 1962 Γίνεται η μεγαλύτερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην Ιαπωνία από την εταιρεία Sharp σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242 Wp.
- 1962 Εκτοξεύεται ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος (Teslar) με φωτοβολταϊκά στοιχεία ισχύος 14 W της εταιρείας Belt Telephone Laboratories.
- 1974 Εγκατάσταση 3100 φωτοβολταϊκών συστημάτων από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ.
- 1976 Εγκαθίστανται οι πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών για την τροφοδότηση ψυγείων , τηλεπικοινωνιακού και ιατρικού εξοπλισμού, άντλησης νερού και φωτισμού.
- 1977 Κατασκευάζεται το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από GaAs με απόδοση 16%.
- 1981 Το αεροπλάνο Solar Challenger πετά πάνω από την Μάγχη εξοπλισμένο με 16128 φωτοβολταϊκά στοιχεία Si συνολικής ισχύος 2,7 KW.
- 1981 Γίνεται η εγκατάσταση της πρώτης φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην Ελλάδα συνολικής ισχύος 100 KW .
- 1983 Λειτουργία του πρώτου φωτοβολταϊκού σταθμού ισχύος 1 MW στην Βικτροβιλ.
- 1984 Κυκλοφορία άμορφων φωτοβολταϊκών στοιχείων.
- 1990 Ραγδαία ανάπτυξη της αγοράς των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις ΗΠΑ αιτία αποτέλεσε ο πόλεμος του Κόλπου.
- 1999 Ανάπτυξη φωτοβολταϊκού στοιχείου με απόδοση 32,3% από τις εταιρείες Spectolab και NREL. Το στοιχείο αποτελεί συνδυασμό τριών υλικών (στρώσεων) και είναι ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV.
- 2004 Μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στο χώρο των φωτοβολταϊκών, παρατηρείται μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή πάνελ.
- 2006 Αυξάνεται η ζήτηση του πυριτίου (υψηλής καθαρότητας) από τις βιομηχανίες φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- 2011 Παγκόσμια ενεργειακή επανάσταση προκαλείται από την πτώση της τιμής του καθαρού πυριτίου που αγγίζει την τιμή του 1\$ το Watt ανοίγοντας νέες αγορές.
- 2012 Η κινέζικη εταιρεία Yingli Solar καθίσταται ο μεγαλύτερος παγκόσμιος καθετοποιημένος παραγωγός φωτοβολταϊκών πλαισίων με ζήτηση που αγγίζει τα 30 GW το έτος.

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων , οι υψηλές τους τιμές και η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι ορισμένοι βασικοί παράγοντες που καθιστούν επιτακτική την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα τελευταία χρόνια έχουν επενδυθεί σημαντικά χρηματικά ποσά στην ανάπτυξη νέων συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Με βάση επομένως την αυξανόμενη ανάγκη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναμένω την ανάπτυξη ηλιακών κυψελών υπό μορφής λεπτής μεμβράνης των οποίων η κατασκευή προσομοιάζεται με την εκτύπωση σε χαρτί , το κόστος τους θα είναι μισό από εκείνο των κρυσταλλικών κυψελών. Μικρομετατροπέων , το κόστος της νέας αυτής τεχνολογίας μετατροπέων ρεύματος από DC σε AC στο ένα δέκατο των σημερινών. Αποτέλεσμα της ανάπτυξης του συστήματος αυτού είναι η δυνατότητα της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε καταναλωτές που θα επιθυμούν ένα μικρό σύστημα. Ακόμη η δημιουργία νέων racks για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε στέγες θα είναι πιο οικονομικές σε σχέση με εκείνες που προϋπήρχαν. Γίνεται επομένως εμφανές ότι τα επόμενα χρόνια θα έχουμε αύξηση των φωτοβολταϊκών εφαρμογών στον βιομηχανικό κλάδο (αυτοκίνητα ,καράβια, τρόφιμα) . Τέλος η σημαντική μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθιστά πιο προσιτή την εφαρμογή τους σε νέους κλάδους όπως εκείνοι των αμυντικών συστημάτων και των πράσινων εφαρμογών.

2.4) ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

2.4.1) ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων είναι:

- Τεχνολογία παραγωγής ημιαγωγικών υλικών με κρυσταλλική δομή, η πλειοψηφία των οποίων αποτελείται από πυρίτιο.
- Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), η οποία ονομάζεται έτσι λόγω του πάχους των στοιχείων, τα οποία είναι πολύ μικρά (της τάξεως των μm).
- Άλλες τεχνολογίες που στοχεύουν στην μείωση της ενεργοβόρας παραγωγής καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge defined film fed growth και μέθοδος String Process).

Οι κρύσταλλοι και η μορφή λεπτού φιλμ διαφέρουν ως προς την απορροφητικότητα του φωτός, την απόδοση μετατροπής της από τη μια μορφή ενέργειας στην άλλη καθώς επίσης και την τεχνολογία και το κόστος κατασκευής.

Μια σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων (πάνελ) μαζί με τις συσκευές μετατροπής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην κατάλληλη μορφή, αποτελεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο συνηθίζεται να έχει τη μορφή τετραγώνου, πλευράς 120-160mm. Για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων γίνεται χρήση δυο τύπων πυριτίου: του άμορφου και του κρυσταλλικού. Το κρυσταλλικό διακρίνεται σε δυο κατηγορίες, το μονοκρυσταλλικό και το πολυκρυσταλλικό. Οι δυο αυτοί τύποι πυριτίου εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις) μέσω της οποίας επιλέγεται η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν φωτοβολταϊκά πλαίσια, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εκγιβωτισμένα σε γυαλί με αλουμινένιο πλαίσιο, σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών από τα οποία αποτελούνται. Με αυτόν τον τρόπο, ένα πλαίσιο 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πλαίσια δύναται να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τα 200 W.

I. Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο είναι ένα ημιαγωγό στοιχείο με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Παρ' ότι η ιδιότητα αυτή του πυριτίου δεν είναι ιδανική για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο αποτελεί το επικρατέστερο υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το βασικό στοιχείο που χρησιμοποιείται στις ηλεκτρονικές διατάξεις εδώ και χρόνια. Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι το πυρίτιο έχει μελετηθεί επαρκώς καθώς επίσης υπάρχει σε πληθώρα στην αγορά και η καθαρότητά του καθώς και τελειότητα της κρυσταλλικής δομής βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο. Ακόμα τα Φ/Β στοιχεία έχουν λειτουργήσει σε ακραίες καιρικές συνθήκες, σε διαστημικές και επίγειες εφαρμογές, επίσης ικανοποιητικά. Οι λόγοι για τους οποίους το πυρίτιο κατέχει κυρίαρχη θέση στην κατασκευή Φ/Β στοιχείων, αν και δεν είναι το ιδανικότερο υλικό, είναι οι εξής:

- Βρίσκεται σε αφθονία στη φύση καθώς κατέχει την δεύτερη θέση μετά το οξυγόνο και υπάρχει σε πολλά είδη πετρωμάτων. Συνήθως εντοπίζεται σε μορφή διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) και χρειάζεται να υποστεί επεξεργασία για να αποκτήσει την απαιτούμενη καθαρότητα.
- Αφού γίνει η κατάλληλη επεξεργασία του πυριτίου και φτάσει στην κατάλληλη καθαρότητα και κρυσταλλική δομή, το λιώσιμο και η μορφοποίησή του γίνεται εύκολα όπως επίσης και η μετατροπή του σε μονοκρυσταλλική μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες έχουν αντοχή έως και τους 125 °C, του δίνεται έτσι η δυνατότητα να χρησιμοποιείται ακόμη και σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες.

II. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Η μοριακή δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη. Ο αυξημένος βαθμός απόδοσής του συγκριτικά με άλλα υλικά οφείλεται σ' αυτήν την ομοιομορφία του. Οι τιμές του βαθμού απόδοσης των μονοκρυσταλλικών στοιχείων βρίσκεται μεταξύ 14% και 18%.

III. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από περιοχές μονοκρυσταλλικού πυριτίου, χωρίς, όμως, την ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή που συναντάται στο μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Ο βαθμός απόδοσής του κυμαίνεται στο 10-14%.

IV. Ribbon πυρίτιο

Το Ribbon πυρίτιο βρίσκεται σε μορφή ταινίας και παράγεται έτσι διότι η διαδικασία αυτή είναι πιο οικονομική, γεγονός που οφείλεται στην αποφυγή κοπής, και οι απώλειες καθαρού πυριτίου είναι λιγότερες. Η ποιότητά του είναι χαμηλότερη απ' αυτήν των μονοκρυσταλλικών και στην επιφάνειά του παρουσιάζονται ανωμαλίες. Η απόδοσή του κυμαίνεται από 14-15%.

v. Κρυσταλλικό πυρίτιο λεπτού φιλμ

Η τεχνολογία αυτή αποσκοπεί στην μείωση του κόστους ελαττώνοντας το απαιτούμενο υλικό για την παραγωγή των στοιχείων. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει άμεσα στα κατάλληλα υποστρώματα (γυαλί, κεραμικό, κλπ). Τα πλεονεκτήματα του λεπτού φιλμ δεν σταματάνε στην μείωση του κόστους. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η ευκολία της συνδεσμολογίας τους εν σειρά, δημιουργώντας, κατά την εναπόθεσή τους, ολόκληρα πλαίσια. Μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας μπορεί να θεωρηθεί η απαιτητικότητα της, αφού πρέπει να υπάρχει παραγωγή μεγάλων περιοχών χωρίς κανένα ελάττωμα.

Μολονότι το πάχος του c-SiTFC είναι της τάξεως κάποιων μm (5-50 μm), έχει αποδειχθεί, τόσο στην θεωρία όσο και στην πράξη, ότι η απόδοσή της είναι αρκετά καλή. Η ευφυία της τεχνολογίας αυτής βρίσκεται στον έξυπνο οπτικό σχεδιασμό, ο οποίος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διαδρομής του φωτός έως και 30 φορές, ή και περισσότερο, από το πάχος του φιλμ, μέσω ανακλάσεων. Εκτός από την μειωμένη απαίτηση της ποσότητας του πυριτίου, το c-SiTFC δεν έχει υψηλές απαιτήσεις ως προς το υλικό του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι χαμηλής ποιότητας πυρίτιο, γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης. Έρευνες σχετικά με το c-SiTFC επισημαίνουν την υψηλή απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί (έως και 21% υπό ιδανικές συνθήκες). Λίγες είναι οι εταιρίες οι οποίες το έχουν περάσει στη γραμμή παραγωγής τους ως εμπορικό προϊόν παρά την εμφανώς αυξημένη ανάπτυξη του κατά τα τελευταία χρόνια.

VI. Άμορφο πυρίτιο

Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται στην παραγωγή Φ/Β στοιχείων βασισμένο στην τεχνολογία λεπτού φιλμ. Σαν υλικό έχει μια δομή η οποία παρουσιάζει αρκετές ανωμαλίες, αυτό όμως δεν το εμποδίζει στο να εφαρμόζεται στην Φ/Β τεχνολογία ως κράμα με υδρογόνο. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες βελτιώνεται από την προσθήκη υδρογόνου και περιέχεται σε μια ατομική αναλογία η οποία κυμαίνεται από 10% έως 40%.

Μια διαφορά του από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είναι το ενεργειακό διάκενο, του οποίου η τιμή μεταβάλλεται και η διακύμανση της είναι 1,12-1,7eV περίπου. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι το αυξημένο επίπεδο απορροφητικότητας ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο φαίνεται να είναι περίπου 40 φορές πιο υψηλό συγκριτικά με το μονοκρυσταλλικό. Σχετικά με αυτή του την ιδιότητα, το a-Si φέρεται περίπου σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου. Έτσι, μια λεπτή επίστρωση φτάνει για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων.

Ακόμα, το άμορφο πυρίτιο μπορεί να εναποτεθεί σε διάφορα υποστρώματα των οποίων τα κόστος είναι χαμηλά, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, του γυαλιού και του πλαστικού. Η διαδικασία κατασκευής χρειάζεται χαμηλότερες θερμοκρασίες άρα και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, το ολικό κόστος υλικού και κατασκευής είναι μικρότερο. Κύρια μειονεκτήματα είναι ο χαμηλός βαθμός απόδοσης ο οποίος είναι 6-9% για στοιχεία του εμπορίου, και μπορεί να φτάσει μέχρι και 13% για στοιχεία φτιαγμένα σε εργαστήριο, και η βαθμιαία πτώση του βαθμού απόδοσης η οποία μπορεί να φτάσει από 10-15% σε διάστημα μερικών μηνών.

2.5) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το ηλιακό φως είναι πακέτα ενέργειας τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Η ενέργεια που εμπεριέχεται στα φωτόνια, διαφέρει ανάλογα με το μήκος κύματος του φάσματος του ηλίου. Για παράδειγμα, η ενέργεια του γαλάζιου χρώματος ή του υπεριώδους είναι περισσότερη από του κόκκινου ή του υπέρυθρου. Καθώς τα φωτόνια προσκρούουν πάνω σε μία φωτοβολταϊκή επιφάνεια, μια ποσότητα αυτών ανακλάται, μια άλλη διαπερνά το φωτοβολταϊκό στοιχείο και μια άλλη απορροφάται απ' αυτό.

Η απορροφούμενη ποσότητα είναι αυτή η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Στην ουσία τα φωτόνια εξαναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του Φ/Β να κινηθούν με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται ηλεκτρικό ρεύμα, μιας και το ρεύμα στην ουσία είναι η προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων. Βάσει αυτής της αρχής, αναπτύχθηκε μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της εποχής μας.

2.6) ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ

Τα ηλιακά κελιά σπανίως χρησιμοποιούνται μεμονωμένα. Κελιά ίδιων χαρακτηριστικών συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά ούτως ώστε να αποδώσουν μεγαλύτερη ισχύ παίρνοντας την μορφή φωτοβολταϊκού πάνελ. Εν συνεχεία, ο συνδυασμός των πάνελ δημιουργεί τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Οι συνδέσεις που μπορούν να υπάρξουν είναι εν σειρά ή παράλληλα.

2.6.1) ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΙΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ

Κατά την παράλληλη σύνδεση των κελιών, η τάση των συνδεδεμένων άκρων παραμένει η ίδια με αυτή του κάθε κελιού. Έτσι, λοιπόν, η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσεως προκύπτει απ' το άθροισμα των ρευμάτων για την σταθερή αυτή τάση. Δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος διότι το μεγαλύτερο ρεύμα απαιτεί και μεγαλύτερη διατομή καλωδίων, καθώς επίσης υπάρχει και αύξηση των απωλειών που προκύπτουν απ' την μείωση της τάσης. Για τους παραπάνω λόγους η σύνδεση πραγματοποιείται σε σειρά.

2.6.2) ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΙΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Κατά την εν σειρά σύνδεση των κελιών, παραμένει ίδια η ροή του ρεύματος σε κάθε κελί του πάνελ, ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα της τάσεως του κάθε κελιού. Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσεως προκύπτει από το παραπάνω άθροισμα των τάσεων για την ίδια τιμή ρεύματος.

2.6.3) ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Διάφορα είναι τα στάδια κατασκευής για την ομαδοποίηση των κυττάρων. Το πλαίσιο είναι η μικρότερη δομική μονάδα των ομαδοποιημένων αυτών κυττάρων, τα οποία είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα και συσκευασμένα με τέτοιο τρόπο προκειμένου να προστατεύονται από το περιβάλλον. Τα πλαίσια αυτά δίνουν μια DC ισχύ κατά την πρόσπτωση ηλιακού φωτός πάνω του. Εν συνεχεία, το πάνελ, δηλαδή ένα σύνολο δύο ή περισσότερων πλαισίων, μηχανικά και ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, τα οποία αποτελούν μια μονάδα κατάλληλη για εγκατάσταση. Η συστοιχία (array) ορίζεται ως το σύνολο των πάνελ μαζί με την κατασκευή στήριξης και οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα, που χρίζεται απαραίτητο, για να χαρακτηριστεί μηχανικά έτοιμη μια ανεξάρτητη μονάδα παραγωγής Φωτοβολταϊκής ισχύος.

Για ηλιακά κύτταρα που έχουν ίδια χαρακτηριστικά και αποτελούν μια συστοιχία, η μέγιστη ισχύς που αποδίδουν είναι ίση με το άθροισμα των μέγιστων ισχύων που δίνει το κάθε κύτταρο της συστοιχίας μεμονωμένα. Το γεγονός αυτό είναι αντίστοιχο με την εν σειρά σύνδεση δύο ή περισσότερων ίδιων πηγών τάσεως και την παράλληλη σύνδεση δύο ή περισσότερων πηγών ρεύματος, οι οποίες βρίσκονται υπό ιδανικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε πως εάν τα κύτταρα συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα η ισχύς που θα λάβουμε θα είναι ίδια. Όταν είναι συνδεδεμένα σε σειρά το ρεύμα που διαρρέει την αλυσίδα ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ενός κυττάρου, καθώς το ίδιο ρεύμα διαρρέει όλα τα κύτταρα της αλυσίδας. Η τάση εξόδου θα είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους τάσεων των κυττάρων της αλυσίδας. Η ισχύς εξόδου θα είναι:

$$P_{σειρ.} = I_{sc} V_{σειρ} = n I_{sc} V_{out} \quad (2.1)$$

Όταν είναι συνδεδεμένα παράλληλα, τα κύτταρα θα βρίσκονται υπό τάση V_{out} ενώ το συνολικό ρεύμα θα είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων των επί μέρους κυττάρων. Από αυτό προκύπτει ότι η ισχύς εξόδου θα είναι:

$$P_{\text{παρ}} = I_{\text{out}} V_{\text{παρ}} = n I_{\text{sc}} V_{\text{out}} (2.2)$$

Άρα παρατηρούμε ότι η ισχύς εξόδου παραμένει ίδια.

2.6.4) ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HOT SPOT

Διάφοροι είναι οι λόγοι για τους οποίους τα χαρακτηριστικά των κυττάρων ενός πλαισίου ή μιας συστοιχίας δεν είναι ακριβώς ίδια εμφανίζουν, όμως, μια στατιστική κατανομή των παραμέτρων τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην μαζική παραγωγή τους, αλλά και να προκύπτει όταν τίθενται σε λειτουργία. Υπάρχουν παράγοντες που συμβάλλουν στην μερική ή την ολική σκίαση των κυττάρων όπως για παράδειγμα κτίρια, δέντρα κλπ.

Ένας ακόμη λόγος μπορεί να είναι η θραύση που μπορούν να υποστούν τα κύτταρα και η οποία εν συνεχεία μπορεί να οφείλεται στην διαφορά της διαστολής μεταξύ κυττάρων και υλικού στήριξης, ακραία καιρικά φαινόμενα ή ακόμα και σε σφάλματα κατασκευής ή εγκατάστασης των πλαισίων. Όλα τα παραπάνω εκτός της μειωμένης ισχύς εξόδου, υπάρχει πιθανότητα να προκαλέσουν το φαινόμενο hot spot.

Το hot spot προκαλείται από την ανάστροφη πόλωση ενός ή περισσότερων κυττάρων και αυτό με τη σειρά του έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή τους. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στις περιπτώσεις όπου κάποιο ή κάποια ηλιακά κύτταρα ενός πλαισίου παρουσιάζουν μικρότερο ρεύμα από εκείνο της αλυσίδας στην οποία ανήκει. Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι το φαινόμενο hot spot δημιουργείται όταν το ρεύμα βραχυκύκλωσης του σκιασμένου ή ελαττωματικού κυττάρου είναι μικρότερο από αυτό των υπόλοιπων κυττάρων του πλαισίου.

Για παράδειγμα στην περίπτωση βραχυκύκλωσης μιας αλυσίδας κυττάρων, τα κύτταρα που λειτουργούν ορθά έχουν την τάση να επιβάλλουν μεγαλύτερο ρεύμα απ' ότι μπορούν να αποδώσουν τα ελαττωματικά. Όταν συμβεί αυτό, γίνεται ανάστροφη πόλωση των ελαττωματικών κυττάρων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τάση στα άκρα τους να είναι ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς από αυτήν των υπόλοιπων, όπως προκύπτει από τον νόμο τάσεων του Κίρχωφ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

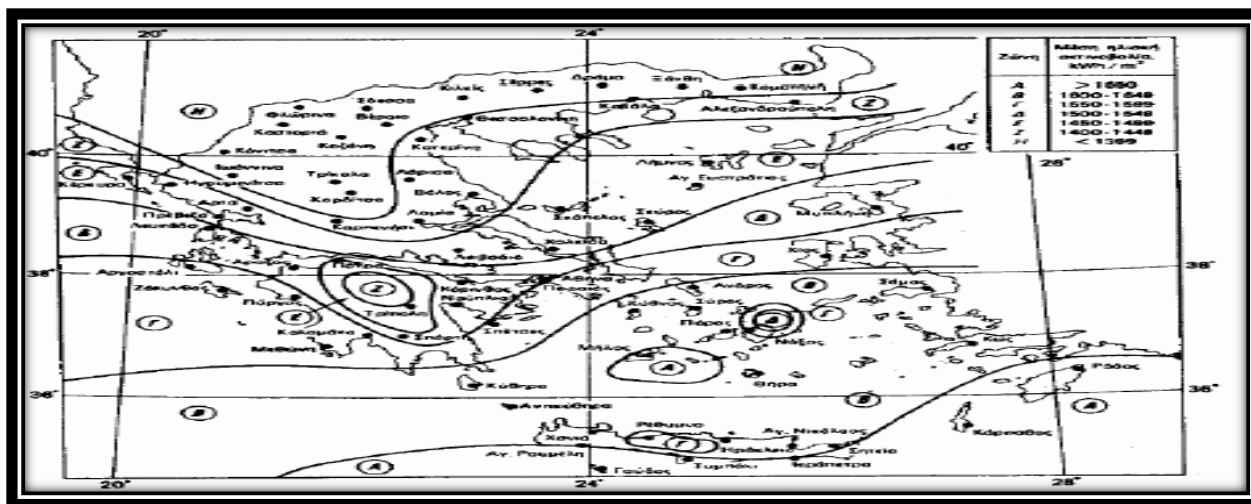
3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρών κεφάλαιο αναφέρεται στην μελέτη εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου. Η μελέτη εγκατάστασης αποτελείται από διάφορα τμήματα των οποίων η εύρυθμη λειτουργία παίζει καθοριστικό ρόλο στην βιωσιμότητα του πάρκου. Τα τμήματα που μελετώνται και αναλύονται παρακάτω είναι η επιλογή και επισκόπηση του χώρου εγκατάστασης, η επιλογή του φωτοβολταϊκού στοιχείου, καλωδιώσεων, διάταξης πλαισίων, αντιστροφέα και βάσεων στήριξης. Επιπροσθέτως θα παρουσιαστεί και ο λεπτομερής υπολογισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του μοντέλου του Hottle και του ισοτροπικού μοντέλου.

3.2) ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε ετήσια βάση, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου, εξαρτάται από την γεωγραφική θέση της εγκατάστασης, καθώς επίσης και από τον προσανατολισμό των πλαισίων προς τον ήλιο. Για τελική απόφαση της εγκατάστασης, θα πρέπει να γνωρίζουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή που γίνεται η μελέτη στην Τροιζηνία Αργολίδος.

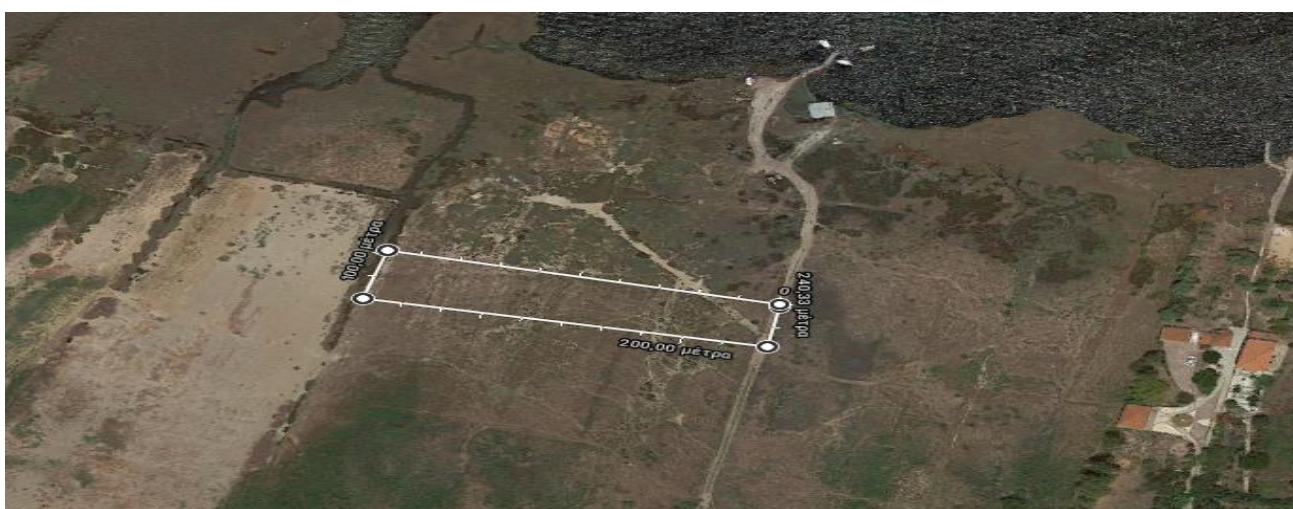
Το οικόπεδο βρίσκεται στο Νομό Αργους στην περιοχή Άγιος Γεώργιος Τροιζηνίας, όπως παρουσιάζεται στο γενικό χάρτη της περιοχής. Η πρόσβαση γίνεται μέσω υφιστάμενης αγροτικής οδού στις παρυφές της θέσης εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού Πάρκου. Η προβλεπόμενη έκταση γης για την κατασκευή του Έργου είναι περίπου 2 στρέμματα. Το αγροτεμάχιο έχει μηδενική κλίση και είναι, εξαιρετικά ηλιόλουστο αφού κανένα βουνό η λόφος δεν το σκιάζει από την ανατολή έως την δύση του ηλίου. Επιπροσθέτως θα πρέπει να αναφερθεί πως το παρών οικόπεδο ανήκει στην Γ κλιματική ζώνη, όπως παρουσιάζεται και από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2. Γεωγραφικά πλάτη και κλιματικές ζώνες στον Ελλαδικό χώρο.

Η επιλογή της θέσης έγινε σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς :

1. Να ικανοποιεί τους περιορισμούς που προβλέπονται την σχετική νομοθεσία δηλαδή να μην είναι σε Πυρήνες Εθνικών Δρυμών, Αισθητικά δάση, Προστατευόμενες να μην είναι οικότοπος, περιοχή ορνιθοπανίδας αρχαιολογικός χώρος, πολιτιστικό μνημείο, αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, ζώνη αναδάσμου, αρδευόμενη έκταση, η οργανωμένη ζώνη δευτερογενούς ή τριτογενούς τομέα.
2. να μην επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον, τους υπάρχοντες οικισμούς, και γενικώς καμία από τις εν γένει δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής.
3. να μην είναι ορατό από οικισμούς.



Εικόνα 3.1. Επιλεγμένη περιοχή εγκατάστασης του πάρκου.

3.3) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Για τον υπολογισμό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο γίνεται με την βοήθεια πράξεων και προκύπτει μέσω υπολογισμού. Η ηλιακή ακτινοβολία που πήραμε από την ΤΟΤΕΕ ΚΕΝΑΚ αφορά την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Οπότε για να μπορούμε να υπολογίσουμε την ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο ,πρέπει να υπολογιστεί η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο μέσω γεωμετρικών παραμέτρων. Οι απαραίτητοι υπολογισμοί που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία απαιτούν τις γεωμετρικές παραμέτρους και εφαρμόζονται μέσω του τύπου του ηλιακού χρόνου. Ο ηλιακός χρόνος δίδεται από την σχέση:

$$HX = TX - 4 * (L\sigma\tau - Lt) + Et \quad (1.1)$$

Όπου:

(-) για το ανατολικό ημισφαίριο

Lst: μεσημβρινός στον οποίο αναφέρεται η τοπική ώρα

Lt: τοπικός μεσημβρινός , Et: απαραίτητη διορθωτική εξίσωση χρόνου(μιν)

Η διορθωτική εξίσωση του χρόνου(μιν) δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Et = 9,87 * \sin(2B) - 7.53 * \cos(B) - 1.5 * \sin(B) \quad (1.2)$$

Και

$$B = [360 * \frac{D-81}{364}] \quad (1.3)$$

Όπου:

D: οι ημέρες του έτους

Η ηλιακή απόκλιση δίδεται από τον τύπο:

$$\delta = 23,45 * \sin[360 * \frac{D+284}{365}] \quad (1.4)$$

Η ωριαία απόκλιση του ήλιου δίδεται από τον τύπο:

$$\omega = 15^\circ * (HX - 12:00) \quad (1.5)$$

Η γωνία πρόσπτωσης δίδεται από τον τύπο :

$$\sin\theta = (\cos\delta * \cos\omega * \cos(\varphi - \beta)) + (\sin\delta * \sin(\varphi - \beta)) \quad (1.6)$$

Η ζενιθιακή γωνία δίδεται από τον τύπο:

$$\sigma_{\theta z} = (\sin\delta * \sin\varphi) + (\cos\delta * \cos\varphi * \cos\omega) \quad (1.7)$$

Η ωριαία γωνία του ήλιου κατά τη (δύση /ανατολή) δίδεται από τον τύπο:

$$\omega_s = \pm \arccos * (-\tan\varphi * \tan\delta) \quad (1.8)$$

Ο υπολογισμός της ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας σε ωριαία δίδεται από τον τύπο:

$$rd = \frac{Id}{Hd} = \frac{\pi}{3,14} * \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi * \omega_s}{180} * \cos\omega_s} \quad (1.9)$$

Ο υπολογισμός της ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας σε ωριαία δίδεται από τον τύπο :

$$rt = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} * (a + b * \cos\omega) * \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi * \omega_s}{180} * \cos\omega_s} \quad (1.10)$$

Όπου:

$$a = 0.409 + 0.5016 * \sin(\omega_s - 60) \quad (1.11)$$

$$b = (0.6609 + 0.4767 * \sin(\omega_s - 60)) \quad (1.12)$$

Παράλληλα για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο βάσει των τιμών της διάχυτης και ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο που έχουν υπολογιστεί στον πίνακα 1.1 , χρησιμοποιείται το ισοτροπικό μοντέλο.

Η ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία υπολογίζεται βάσει του ισοτροπικού μοντέλου υποθέτοντας πως η διάχυτη ακτινοβολία είναι ισοτροπική. Η ανακλώμενη διάχυτη ακτινοβολία δίδεται από το τύπο:

$$Ir = 0.5 * I * \rho * (1 - \cos\beta) \quad (1.13)$$

Όπου:

ρ = αντανακλαστικότητα του εδάφους

Για την διάχυτη συνιστώσα της ακτινοβολίας ,που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο , το ισοτροπικό μοντέλο θεωρεί ότι προέρχεται ομοιόμορφα από τον ουράνιο θόλο και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Is = 0.5 * Id * (1 + \cos\beta) \quad (1.14)$$

Άρα η συνολική διάχυτη ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια ,είναι το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Id, \beta = Is + Ir \quad (1.15)$$

Η άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (I_b) συνδέεται με την άμεση ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο ($I_{b,\beta}$) μέσω του γεωμετρικού παράγοντα rb και δίδεται από τον τύπο:

$$rb = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (1.16)$$

Η άμεση ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο δίδεται από τον τύπο :

$$I_{b,\beta} = I_b * rb \quad (1.17)$$

Συμπερασματικά η ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_\beta = I_{b,\beta} + I_{d,\beta} \quad (1.18)$$

Τα αποτελέσματα των από πάνω τύπων δίδονται από τους ακόλουθους πίνακες.

| ΜΗΝΕΣ | ΗΜΕΡΕΣ | T.X | T.X (min) | H.X | H.X | B | Ετ | δ | ω (ωριαία αποκλιση) | ωs | φ |
|-------|--------|-----|-----------|-------------|-------------|------------|----------|--------------|----------------------|-----------|------|
| ΙΑΝ | 1 | 1 | 60 | 0,533784991 | 32,02709945 | -79,120879 | -3,57290 | -23,01163673 | -171,9932251 | 70,980198 | 37,5 |
| ΦΕΒΡ | 1 | 2 | 120 | 1,533784991 | 92,02709945 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -156,9932251 | 70,980198 | 37,5 |
| ΜΑΡΤ | 1 | 3 | 180 | 2,533784991 | 152,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -141,9932251 | 70,980198 | 37,5 |
| ΑΠΡΙ | 1 | 4 | 240 | 3,533784991 | 212,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -126,9932251 | 70,980198 | 37,5 |
| ΜΑΗ | 1 | 5 | 300 | 4,533784991 | 272,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -111,9932251 | 70,980198 | 37,5 |
| ΙΟΥΝ | 1 | 6 | 360 | 5,533784991 | 332,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -96,99322514 | 70,980198 | 37,5 |
| ΙΟΥΛ | 1 | 7 | 420 | 6,533784991 | 392,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -81,99322514 | 70,980198 | 37,5 |
| ΑΥΓ | 1 | 8 | 480 | 7,533784991 | 452,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -66,99322514 | 70,980198 | 37,5 |
| ΣΕΠΤ | 1 | 9 | 540 | 8,533784991 | 512,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -51,99322514 | 70,980198 | 37,5 |
| ΟΚΤ | 1 | 10 | 600 | 9,533784991 | 572,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -36,99322514 | 70,980198 | 37,5 |
| ΝΟΕ | 1 | 11 | 660 | 10,53378499 | 632,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -21,99322514 | 70,980198 | 37,5 |
| ΔΕΚ | 1 | 12 | 720 | 11,53378499 | 692,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | -6,993225137 | 70,980198 | 37,5 |
| Ιαν | 1 | 13 | 780 | 12,53378499 | 752,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 8,006774863 | 70,980198 | 37,5 |
| 30 | 1 | 14 | 840 | 13,53378499 | 812,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 23,00677486 | 70,980198 | 37,5 |
| Ιτ | 1 | 15 | 900 | 14,53378499 | 872,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 38,00677486 | 70,980198 | 37,5 |
| 23,9 | 1 | 16 | 960 | 15,53378499 | 932,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 53,00677486 | 70,980198 | 37,5 |
| | 1 | 17 | 1020 | 16,53378499 | 992,0270995 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 68,00677486 | 70,980198 | 37,5 |
| β | 1 | 18 | 1080 | 17,53378499 | 1052,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 83,00677486 | 70,980198 | 37,5 |
| 30 | 1 | 19 | 1140 | 18,53378499 | 1112,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 98,00677486 | 70,980198 | 37,5 |
| | 1 | 20 | 1200 | 19,53378499 | 1172,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 113,0067749 | 70,980198 | 37,5 |
| | 1 | 21 | 1260 | 20,53378499 | 1232,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 128,0067749 | 70,980198 | 37,5 |
| | 1 | 22 | 1320 | 21,53378499 | 1292,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 143,0067749 | 70,980198 | 37,5 |
| | 1 | 23 | 1380 | 22,53378499 | 1352,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 158,0067749 | 70,980198 | 37,5 |
| | 1 | 24 | 1440 | 23,53378499 | 1412,027099 | -79,1209 | -3,57290 | -23,01163673 | 173,0067749 | 70,980198 | 37,5 |

Πίνακας 1.1. Υπολογισμός ηλιακών παραμέτρων για την πρώτη ημέρα του έτους.

| a | b | rt | rd | H | Htot daily(KWh/m^2 day | I (KWh/m2hour) | H DEFFUSE (KWh/m2mon) | I (KWh/m2hour) | Id(KWh/m2hour) | Ibeam(KWh/m2hourly) |
|---------|----------|-----------|----------|------|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|---------------------|
| 0,50454 | 0,751697 | 0,076212 | -0,31778 | 68,7 | 2,216129032 | 0,168895245 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,056383 | -0,30092 | 68,7 | 2,216129032 | 0,124952058 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,023599 | -0,26893 | 68,7 | 2,216129032 | 0,052297668 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,0117 | -0,22397 | 68,7 | 2,216129032 | -0,025922859 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,03772 | -0,16911 | 68,7 | 2,216129032 | -0,083582962 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,04464 | -0,10808 | 68,7 | 2,216129032 | -0,098927328 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,02745 | -0,04505 | 68,7 | 2,216129032 | -0,060830904 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,012518 | 0,015681 | 68,7 | 2,216129032 | 0,027742185 | 25,9 | 0,027742185 | 0,013100857 | 0,014641328 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,067703 | 0,069985 | 68,7 | 2,216129032 | 0,150039227 | 25,9 | 0,150039227 | 0,058471138 | 0,091568089 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,126135 | 0,114157 | 68,7 | 2,216129032 | 0,279532092 | 25,9 | 0,279532092 | 0,095376619 | 0,184155473 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,174448 | 0,145188 | 68,7 | 2,216129032 | 0,386600094 | 25,9 | 0,386600094 | 0,121302252 | 0,265297841 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,201306 | 0,160962 | 68,7 | 2,216129032 | 0,446120851 | 25,9 | 0,446120851 | 0,134481249 | 0,311639602 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,200331 | 0,160405 | 68,7 | 2,216129032 | 0,443958766 | 25,9 | 0,443958766 | 0,134015483 | 0,309943283 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,171754 | 0,143554 | 68,7 | 2,216129032 | 0,380629094 | 25,9 | 0,380629094 | 0,119936695 | 0,2606924 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,122359 | 0,111557 | 68,7 | 2,216129032 | 0,271164253 | 25,9 | 0,271164253 | 0,09320433 | 0,177959923 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,063723 | 0,066596 | 68,7 | 2,216129032 | 0,141217878 | 25,9 | 0,141217878 | 0,055640156 | 0,085577722 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,009224 | 0,011735 | 68,7 | 2,216129032 | 0,020441562 | 25,9 | 0,020441562 | 0,009804109 | 0,010637453 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,02938 | -0,04929 | 68,7 | 2,216129032 | -0,065108116 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,04491 | -0,11232 | 68,7 | 2,216129032 | -0,099521729 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,03647 | -0,17305 | 68,7 | 2,216129032 | -0,080821959 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | -0,00948 | -0,22736 | 68,7 | 2,216129032 | -0,02099977 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,026025 | -0,27153 | 68,7 | 2,216129032 | 0,057674267 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,058229 | -0,30256 | 68,7 | 2,216129032 | 0,129042685 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50454 | 0,751697 | 0,076898 | -0,31833 | 68,7 | 2,216129032 | 0,17041597 | 25,9 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 1.2. Υπολογισμοί ολικής , άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο για την πρώτη ημέρα του έτους.

| συνθz | συνθz | συνθ | συνθ | rb | rb | b,β(KWh/M2hour) | Ir(KWh/m2h) | Is(KWh/m2h) | Id,B(KWh/m2h) | Iβ(KWh/m2h) |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| -0,965171608 | 0 | -0,95468 | 0 | 0,98913 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,91420721 | 0 | -0,89099 | 0 | 0,974605 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,817437599 | 0 | -0,77006 | 0 | 0,94204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,681457466 | 0 | -0,60013 | 0 | 0,88065 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,515533631 | 0 | -0,39277 | 0 | 0,761876 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,33097353 | 0 | -0,16213 | 0 | 0,489858 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,140354629 | 0 | 0,076084 | 0 | -0,54209 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,04333271 | 0,043333 | 0,305636 | 0,305636 | 7,053249 | 7,053249 | 0,103268933 | 0,00037167 | 0,012223266 | 0,012594941 | 0,115863874 |
| 0,207570497 | 0,20757 | 0,510883 | 0,510883 | 2,461248 | 2,461248 | 0,225371806 | 0,00201014 | 0,054554314 | 0,056564459 | 0,281936265 |
| 0,3411662 | 0,341166 | 0,677836 | 0,677836 | 1,986819 | 1,986819 | 0,365883656 | 0,00374502 | 0,088987597 | 0,092732617 | 0,458616273 |
| 0,435015491 | 0,435015 | 0,795118 | 0,795118 | 1,827792 | 1,827792 | 0,484909387 | 0,00517946 | 0,113176542 | 0,118356001 | 0,603265389 |
| 0,482722696 | 0,482723 | 0,854737 | 0,854737 | 1,770659 | 1,770659 | 0,551807402 | 0,00597689 | 0,125472714 | 0,1314496 | 0,683257002 |
| 0,481036649 | 0,481037 | 0,85263 | 0,85263 | 1,772485 | 1,772485 | 0,549369761 | 0,00594792 | 0,125038148 | 0,130986068 | 0,680355829 |
| 0,430072251 | 0,430072 | 0,788941 | 0,788941 | 1,834437 | 1,834437 | 0,478223821 | 0,00509946 | 0,111902459 | 0,117001922 | 0,595225744 |
| 0,33330264 | 0,333303 | 0,668009 | 0,668009 | 2,00421 | 2,00421 | 0,35666912 | 0,00363291 | 0,086960824 | 0,090593736 | 0,447262856 |
| 0,197322507 | 0,197323 | 0,498076 | 0,498076 | 2,524171 | 2,524171 | 0,2160128 | 0,00189196 | 0,051912972 | 0,053804933 | 0,269817733 |
| 0,031398672 | 0,031399 | 0,290723 | 0,290723 | 9,259072 | 9,259072 | 0,098492938 | 0,00027386 | 0,009147358 | 0,009421223 | 0,107914162 |
| -0,153161429 | 0 | 0,06008 | 0 | -0,39226 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,34378033 | 0 | -0,17813 | 0 | 0,518164 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,527467669 | 0 | -0,40769 | 0 | 0,772913 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,691705456 | 0 | -0,61293 | 0 | 0,886118 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,825301159 | 0 | -0,77989 | 0 | 0,944971 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,91915045 | 0 | -0,89717 | 0 | 0,976084 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,966857655 | 0 | -0,95679 | 0 | 0,989584 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

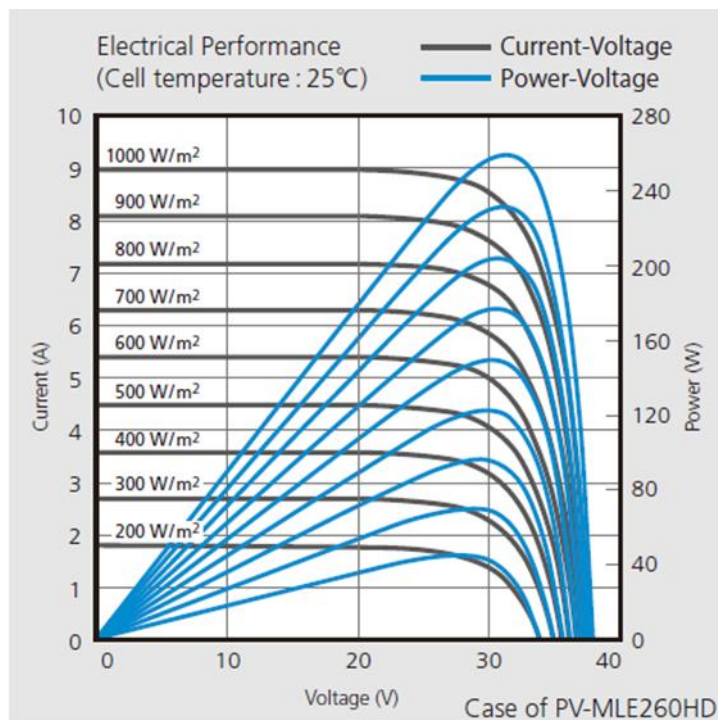
Πίνακας 1.3. Υπολογισμοί ολικής , άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο για την πρώτη ημέρα του έτους.

Οι παραπάνω υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί για βέλτιστη κλίση των πλαισίων $\beta_{opt}=30^\circ$, η οποία προέκυψε από την εφαρμογή της παρακάτω εξίσωσης.

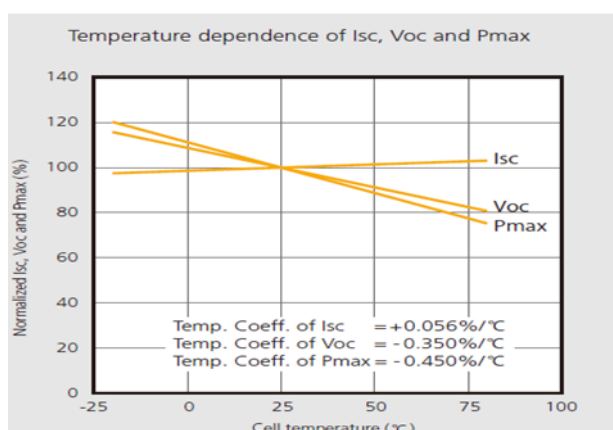
$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * \varphi \quad (1.19)$$

3.4) ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.

Η επιλογή των πλαισίων που θα τοποθετηθούν έχει να κάνει με τον τύπο και την ισχύ αυτών. Τα πλαίσια που επιλέχθηκαν είναι ισχύος 255W ,μοντέλο MLE255HD της εταιρίας MITSUBISHI για να υπάρξει μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η τεχνολογία των επιλεγμένων πλαισίων είναι μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Στο παράρτημα Α παρατίθεται το φυλλάδιο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου ενώ παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα που μας παρουσιάζουν την απόδοση του πλαισίου καθώς και την επίδραση της θερμοκρασίας σε αυτό.



Διάγραμμα 3.1.Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου παραμένει σταθερή στους 25C.



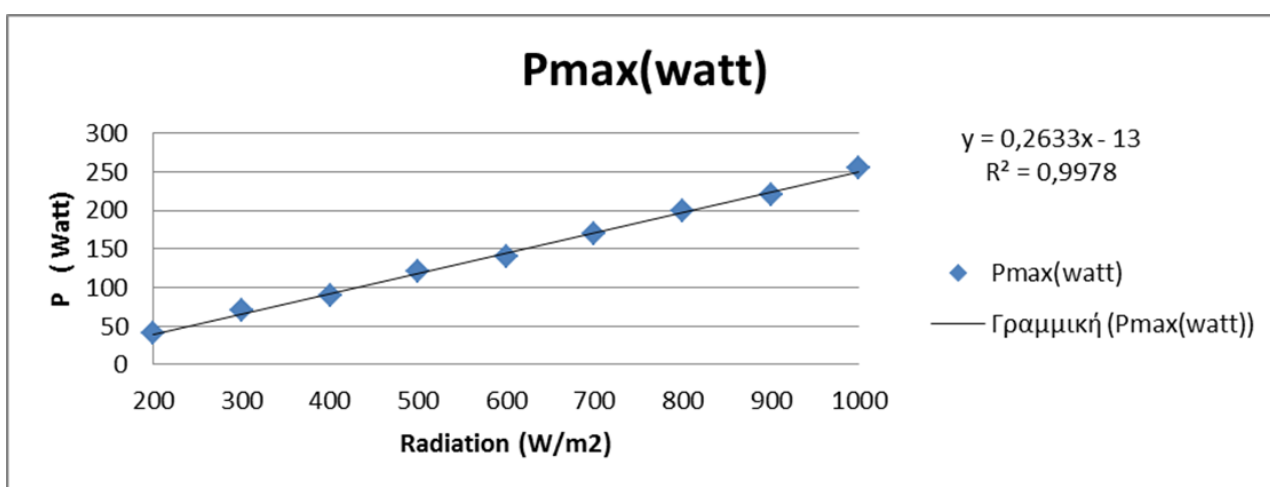
Διάγραμμα 3.2. Η θερμοκρασία και η εξάρτηση του Isc, Voc and Pmax από αυτή.

Για να υπολογίσουμε την παραγωγή ενέργειας από το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο χρησιμοποιήσαμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και ισχύος και υπολογίστηκε

μέσω του προγράμματος Excel η εξίσωση που θα μας δώσει την παραγωγή ενέργειας βάση της ακτινοβολίας.

| I (A) | Voltage (V) | H(W/m2) | Pmax(watt) |
|-------|-------------|---------|------------|
| 1,7 | 29 | 200 | 40 |
| 2,6 | 31 | 300 | 70 |
| 3,7 | 32 | 400 | 90 |
| 4,6 | 31 | 500 | 120 |
| 5,5 | 33 | 600 | 140 |
| 6,6 | 33 | 700 | 170 |
| 7,4 | 34 | 800 | 200 |
| 8,5 | 34 | 900 | 220 |
| 8,89 | 34 | 1000 | 255 |

Πίνακας 3.4. Οι τιμές του I-V και η αντίστοιχη μέγιστη ισχύ σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Διάγραμμα 3.3. Η μεταβολή της ισχύος ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εξίσωση που προκύπτει είναι :

$$y = 0.2633x - 13$$

Όπου:

x= η ετήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο που έχει υπολογιστεί από τους τύπους είναι :1496 KWh/m².

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από την γραμμική εξίσωση που προκύπτει ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής του φωτοβολταϊκού πλαισίου για κλίση γωνίας 30°.

| INCLINATION | ENERGY PRODUCTION (KWH) | (X)ANNUAL RADIATION (KWh) |
|-------------|-------------------------|---------------------------|
| 30 | 380,8968 | 1496 |

Πίνακας 3.5 . Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ανάλογα με την κλίση της γωνίας και την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο.

3.5) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.

Προκειμένου να υπολογίσουμε τον μέγιστο αριθμό φωτοβολταϊκών πλαισίων που μπορούν να τοποθετηθούν στο οικόπεδό μας μη λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη απόσταση από the site boundaries, πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο πλαισίων η οποία δίδεται από την εφαρμογή των παρακάτω τύπων.

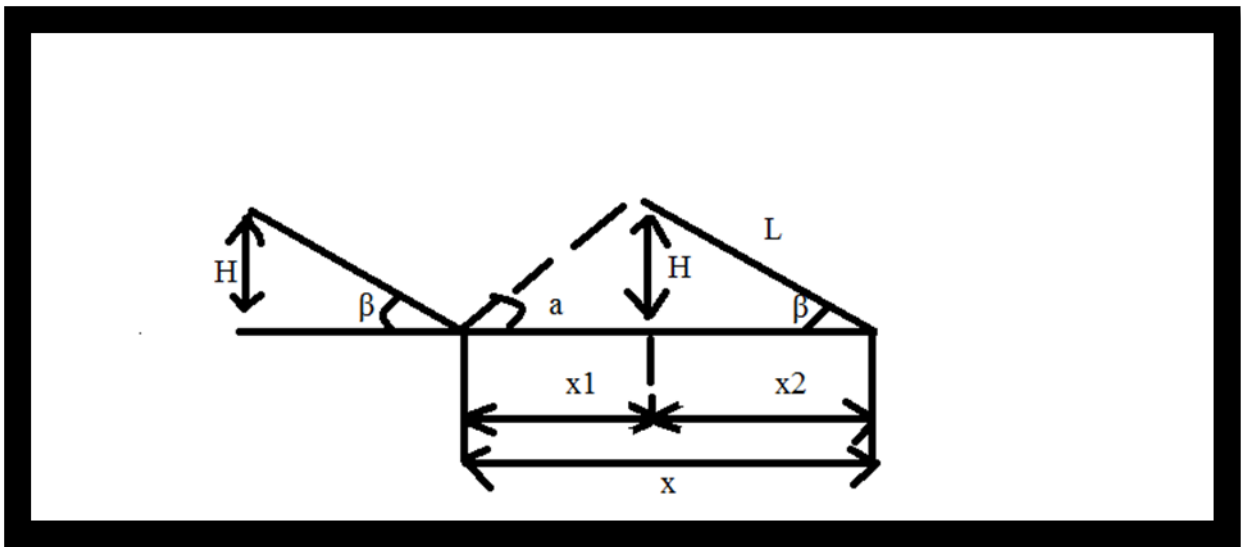
$$\sin\beta = \frac{H}{L} \Rightarrow H = \sin\beta * L \quad (3.20)$$

$$\cos\beta = \frac{x_2}{L} \Rightarrow x_2 = \cos\beta * L \quad (3.21)$$

$$\tan\alpha = \frac{H}{x_1} \Rightarrow x_1 = \frac{H}{\tan\alpha} \quad (3.22)$$

Όπου η απόσταση μεταξύ του ενός άκρου του φωτοβολταϊκού στοιχείου από το άλλο είναι ίση :

$$X = x_1 + x_2 \quad (3.23)$$



Διάγραμμα 3.4. Σχηματική απεικόνιση της απόστασης μεταξύ των άκρων των δύο πλαισίων και των χαρακτηριστικών μεγεθών αυτών.

Ο μέγιστος αριθμός των πλαισίων δίδεται από την διαίρεση μεταξύ της συνολικής απαιτούμενης ισχύος του πάρκου δια της ισχύος του ενός πλαισίου και παρουσιάζεται μαζί με τους υπολογισμούς για την απόσταση μεταξύ των πλαισίων στον παρακάτω πίνακα.

Ο μέγιστος αριθμός πλαισίων που θα χρησιμοποιήσουμε δίδεται από τον τύπο:

$$n = \frac{\text{Ονομαστικη ισχύς Εγκατάστασης}}{\text{Ονομαστική ισχύς Πλαισίου}} = \frac{100000W}{255W} = 392 \text{ πλαίσια} \quad (3.24)$$

Η ελάχιστη τιμή του ηλιακού ύψους παρουσιάζεται (α) στις 22 Δεκεμβρίου στις 12 το μεσημέρι (χειμερινή ισημερία) και δίδεται από τον τύπο:

$$\alpha = 90 - \varphi - \delta \quad (3.25)$$

| | | | | | |
|-------|----|--------|----------|-------------|----------|
| α | β | H(m) | X1(m) | X2(m) | X(m) |
| 29,3 | 30 | 0,8125 | 1,447858 | 1,407291281 | 2,855149 |
| L | | | | | |
| 1,625 | | | | | |
| A(m) | | | | | |
| 2000 | | | | | |

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των πάνελ .

Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια του πάρκου προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό μεταξύ του αριθμού των πλαισίων και της ετήσιας παραγωγής του ενός από αυτά. Το capacity factor δίδεται από τον τύπο:

$$CF = \frac{\text{Total production of park KWH(annual)}}{24*365*\text{Annual production of one pv panel } \Gamma(\text{KWH.Y})} \quad (3.25)$$

Οι τιμές του CF που παρατηρούνται στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές και αποτελούν και τις τυπικές τιμες για ένα πάρκο pv κυμαίνονται μεταξύ 10-25%. Άρα, από τον πίνακα 3.7 και με την επίλυση του τύπου 3.25 το CF είναι 0,17.

| β | Annual production of one pv panel $\Gamma(\text{KWH.Y})$ | Total production of park KWH(annual) | CF |
|----|--|--------------------------------------|----------|
| 30 | 380 | 148960 | 0,170114 |

Πίνακας 3.7. Η ετήσια παραγωγή του πάρκου και το capacity factor.

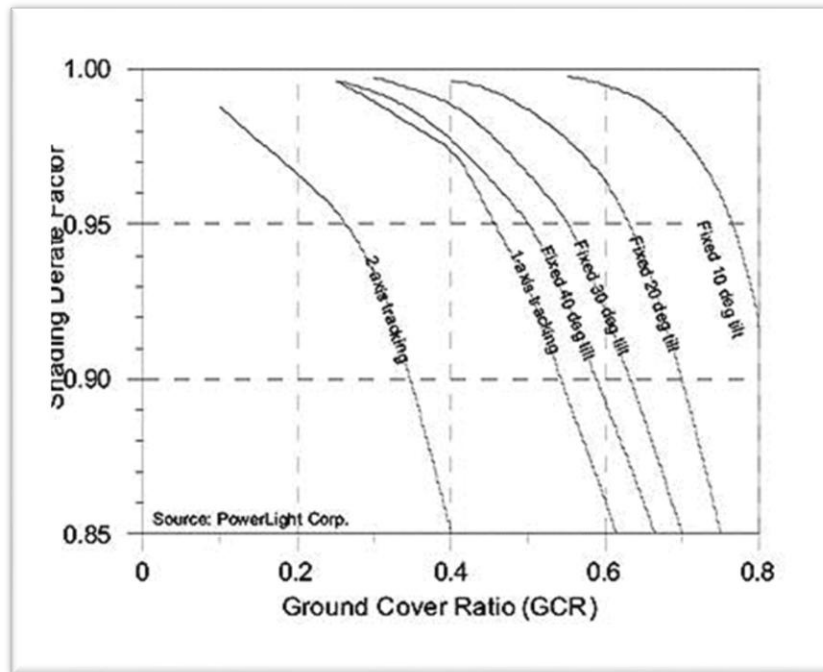
Το ground cover ratio ορίζεται ως η συνολική επιφάνεια του pv διαιρεμένη με την συνολική επιφάνεια του οικοπέδου και δίδεται από τον τύπο:

$$GCR = \frac{PV\text{area}(m^2)}{\text{System area}(m^2)} \quad (3.26)$$

$$GCR = (392 * (a * b))/2000m^2$$

$$GCR=0.329$$

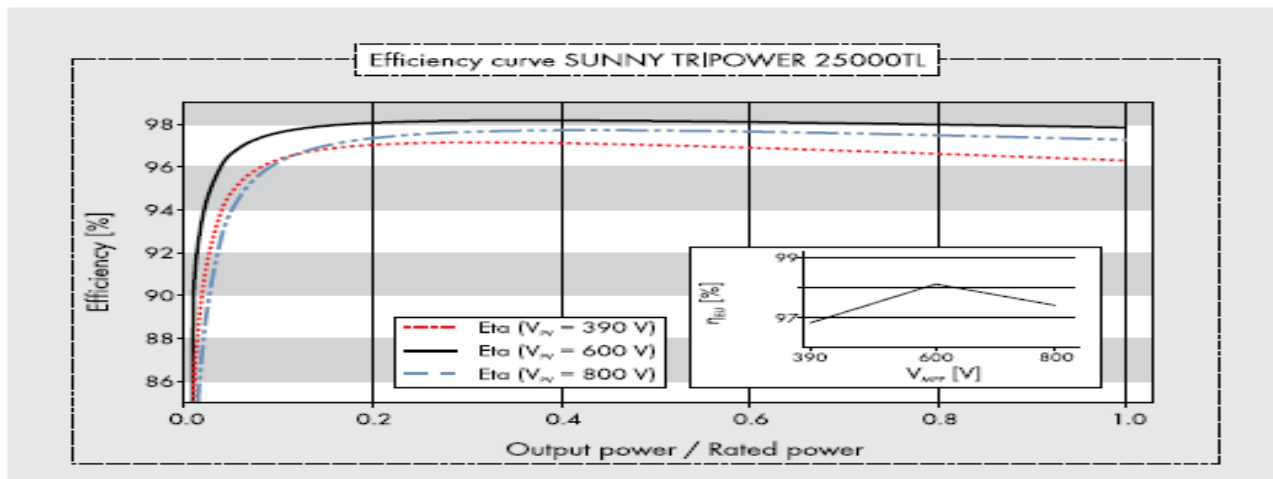
Από το GCR και την κλίση που έχει επιλεγθεί για να τοποθετηθούν τα πλαίσια μπορούμε να βρούμε το SDF(Shading Derate Factor) με την βοήθεια του παρακάτω διαγράμματος.



Διάγραμμα 3.5. Το SDF σε σχέση με το GCR και την επιλεγμένη κλίση.

3.6) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ (INVERTER)

Ο inverter που έχει επιλεγεί για την εγκατάσταση είναι ο SUNNY TRIPOWER 25500TL SMA, ο οποίος έχει μέγιστη ονομαστική ισχύ ίση με 25550 W. Τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.



Διάγραμμα 3.6. Σχέση απόδοσης –ισχύος με παράμετρο την τάση λειτουργίας.

| Technical Data | Sunny Tripower 20000TL | Sunny Tripower 25000TL |
|--|---|---|
| Input (DC) Input (DC) | | |
| Max. DC power (@ cos φ = 1) | 20440 W | 25550 W |
| Max. input voltage | 1000 V | 1000 V |
| MPP voltage range / rated input voltage | 320 V to 800 V / 600 V | 390 V to 800 V / 600 V |
| Min. input voltage / start input voltage | 150 V / 188 V | 150 V / 188 V |
| Max. input current input A / input B | 33 A / 33 A | 33 A / 33 A |
| Number of independent MPP inputs / strings per MPP input | 2 / A:3; B:3 | 2 / A:3; B:3 |
| Output (AC) | | |
| Rated power (@ 230 V, 50 Hz) | 20000 W | 25000 W |
| Max. AC apparent power | 20000 VA | 25000 VA |
| AC nominal voltage | 3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V | 3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V |
| Nominal AC voltage range | 160 V to 280 V | 160 V to 280 V |
| AC grid frequency / range | 50 Hz, 60 Hz / -6 Hz to +5 Hz | 50 Hz, 60 Hz / -6 Hz to +5 Hz |
| Rated power frequency / rated grid voltage | 50 Hz / 230 V | 50 Hz / 230 V |
| Max. output current | 29 A | 36.2 A |
| Power factor at rated power | 1 | 1 |
| Adjustable displacement power factor | 0 overexcited to 0 underexcited | 0 overexcited to 0 underexcited |
| Feed-in phases / connection phases | 3 / 3 | 3 / 3 |
| Efficiency | | |
| Max. efficiency / European Efficiency | 98.4 % / 98.0 % | 98.3 % / 98.1 % |

Πίνακας 3.8 . Τεχνικά δεδομένα του επιλεγμένου inverter(SUNNY TRIPOWER 25500TL).

Άρα αφού η εγκατεστημένη ισχύς είναι $99.96 \text{ KWh} / 25.55 \text{ KWh} = 4$. Οπότε θα χρειαστούν 4 inverter αυτού του είδους. Κάθε inverter διαθέτει 2 ανεξάρτητες μεταξύ τους εισόδους, με κάθε είσοδο να έχει δικό της MPPT

$$4 * 25550W = 102200W \rightarrow 102.2KWh > 100KWh$$

3.7) ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ

Έχοντας ως δεδομένο τον inverter και γνωρίζοντας:

- Το πάρκο που θα εγκατασταθεί έχει ισχύ της τάξης των 100KW.
- Ο αριθμός των πάνελ που απαιτούνται είναι : 392.
- Αφού η εγκατεστημένη ισχύς είναι 100 KW και θα χρησιμοποιηθούν 4 ίδιοι αντιστροφείς για την εγκατεστημένη ισχύ σημαίνει ότι θα έχουμε:

$$\frac{392 \text{πανελ}}{4} \approx 98 \text{πανελ ανα αντιστροφήα}$$

Κάθε inverter όπως είναι εμφανές και από τον πίνακα των χαρακτηριστικών του inverter μπορεί να έχει 6 σειρές πλαισίων. (Number of Independent MPP inputs/strings per MMP units->2/ A: 3 B:3). Αυτό σημαίνει ότι τα 98 πλαίσια που έχει κάθε inverter διαιρούμενα με τις 6 σειρές (strings) ισούται με 16,33 πάνελ ανά σειρά (string).

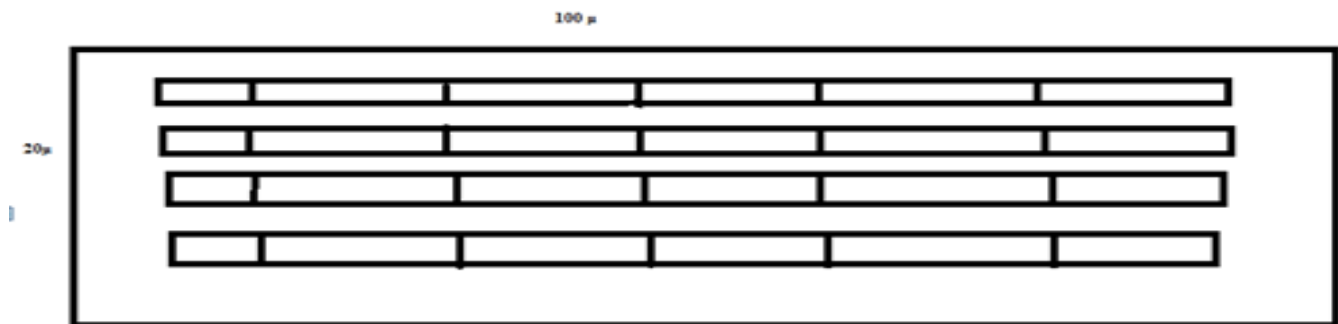
Για κάθε σειρά , ισχύει ότι το MPP (Maximum Power Point) του πλαισίου ισούται με 31,2V όπως βλέπουμε και από τα στοιχεία του. Για τα 16 πλαίσια ισχύει ότι (σε κάθε σειρά):

$$16panels * 31.2V = 499.2V$$

Οπότε η κάθε σειρά έχει MPP=499,2 V γεγονός που όντως μπορεί να ανταποκριθεί από το MPP κάθε inverter .(MPP voltage range/rated input voltage->390V to 800V/600V.)

Λαμβάνοντας υπόψη και τον υπολογισμό της χωροθεσίας προκύπτει ότι το μήκος του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι (1,625μ) και οι διαστάσεις του οικοπέδου 20*100μ. Άρα $100/1,019=98$ πλαίσια κατά μήκος του χώρου.

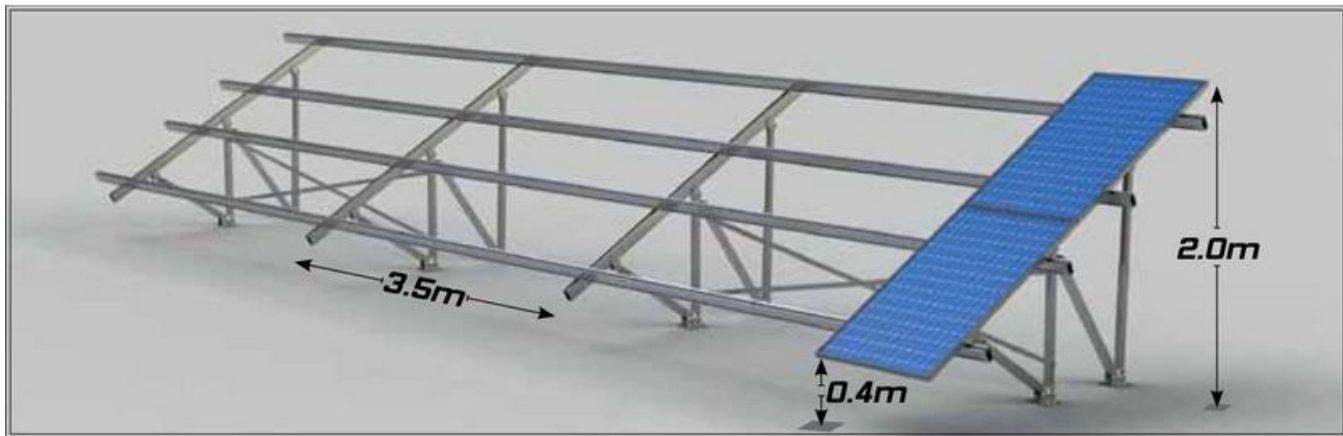
Λαμβάνοντας υπόψη και την ηλεκτρολογική προσέγγιση έχουμε ότι διατίθενται 392 πλαίσια . Άρα $392/98$ που τοποθετούνται κατά μήκος του χώρου ισούται με 4. Οπότε θέλουμε 4 σειρές ην πλαισίων.



Διάγραμμα 3.7.Τυπική χωροθέτηση πλαισίων στο χωράφι με προσανατολισμό το νότο.

3.8) ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών είναι της εταιρίας EUROPA και πιο συγκεκριμένα τα SUN350. Διαθέτει επιλογή ρύθμισης της κλίσης (μέσω αποσπώμενου ηλεκτρικού ή χειροκίνητου μηχανισμού) και κατασκευάζεται από υψηλής ανθεκτικότητας κράμα αλουμινίου 6060, που προσφέρει στιβαρότητα και υψηλή αντοχή. Η βάση στήριξης θεμελιώνεται σε πέδιλα μπετού μέσω μηχανικών αγκυρίων.



Διάγραμμα 3.8. Σχηματική απεικόνιση της βάσεως στήριξης των φωτοβολταικών.

Η κλίση τους κυμαίνεται σε 15° , 20° , 25° και 30° . Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του εδάφους και της ακμής ενός τυπικού panel ($990\text{mm} \times 1.651\text{mm}$) είναι 2.0m στο πίσω μέρος και 0.4m στο μπροστά μέρος για κλίση 30° . Η τυπική απόσταση μεταξύ δύο στηρίξεων είναι 3.5m.

Θα πρέπει βέβαια να αναφερθεί πως το παρών σύστημα φέρει όλες τις απαραίτητες πιστοποιήσεις και διαπιστεύσεις για αντοχή σε πιέσεις που ασκεί ο άνεμος και τα φορτία. Η απόσταση μεταξύ των σειρών θα είναι 2,85 μ, λαμβάνοντας υπόψη και την προβολή του εδάφους κάθε πλαισίου με το κενό ανάμεσα στις σειρές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

4.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί το σύστημα προστασίας του φωτοβολταϊκού πάρκου από κεραυνούς, η σωστή επιλογή καλωδίωσης μεταξύ των πλαισίων καθώς επίσης και η γείωση που θα πρέπει να έχει το πάρκο. Η σωστή διαστασιολόγηση των καλωδίων σε συνδυασμό με την γείωση και την αντικεραυνική προστασία αποτελούν μία ‘‘ασπίδα’’ προστασίας του πάρκου απέναντι σε σοβαρούς κινδύνους και συνθέτουν μαζί μία αξιόπιστη λύση για την εύρυθμη λειτουργία του.

4.2) ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

4.2.1) ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η αντικεραυνική προστασία κρίνεται αναγκαία προϋπόθεση έτσι ώστε το πάρκο να κριθεί ικανό για να τεθεί σε λειτουργία. Ο κίνδυνος πτώσης κεραυνού αποτελεί ένα παράγοντα που μπορεί να θέσει εκτός λειτουργίας το πάρκο. Η εγκατεστημένη ισχύς των 100KWh καθώς επίσης και τα 392 πάνελ σε τόσο μεγάλη έκταση εγκυμονούν την ύπαρξη του φαινομένου της υπέρτασης. Για τους λόγους αυτούς και εξαιτίας του υψηλού κόστους που παρουσιάζει η εγκατάσταση η αντικεραυνική προστασία είναι κομβικής σημασίας για την επένδυση.

Οι υπερτάσεις που είναι δυνατό να εμφανιστούν εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων που προκαλούν οι κεραυνοί, είναι ικανές να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στα μέλη του πάρκου. Τα προβλήματα αυτά μπορεί να αφορούν βλάβες στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα, κίνδυνο της ζωής των έμβιων οργανισμών αλλά και σε υλικά πράγματα. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να έχουμε απώλειες όπως εργαζομένων στην εγκατάσταση, η απώλεια παροχής ρεύματος στους καταναλωτές, η απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς και οι οικονομικές απώλειες από την μη λειτουργία του. Ωστόσο όμως ανάλογα και με τη θέση του πάρκου που θα κτυπήσει ο κεραυνός η επιπτώσεις που μπορεί να εμφανιστούν δύναται να κατηγοριοποιηθούν σε : σφάλμα μέσα στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, σφάλμα κοντά στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, σφάλμα στις υπηρεσίες που συνδέονται στην εγκατάσταση και σφάλμα στις κοντινές υπηρεσίες που συνδέονται με την εγκατάσταση. Επιπροσθέτως οι υπερτάσεις μπορούν να εμφανιστούν:

- Υπερτάσεις στην DC πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης
- Υπερτάσεις στην AC πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

4.2.2) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟΥ

Παρά το γεγονός ότι η θα τοποθετηθεί η προστασία για τους κεραυνούς , αυτό δεν διασφαλίζει την πλήρη προστασία του πάρκου με αποτέλεσμα να υπάρχει ο κίνδυνος αν και μικρός σε ποσοστό ένας κεραυνός να προκαλέσει ζημιές στα φ/β πλαίσια και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (inverters, καλώδια, συστήματα ελέγχου κλπ.). Για το λόγο αυτό καθοριστικό ρόλο έχει η επιλογή του κατάλληλου αλεξικέραυνου το οποίο είναι ικανό να προστατεύσει τις φ/β συστοιχίες από μια ενδεχόμενη φωτιά εξαιτίας ενός άμεσου χτυπήματος από κεραυνό και η προστασία του ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό που μπορεί να προκληθεί από τον κεραυνό. Θα ήταν παράλειψη βέβαια να μην αναφερθεί πως ανάλογα με τον τύπο της αντικεραυνικής προστασίας , το ύψος όπου θα τοποθετηθούν τα αλεξικέραυνα καθορίζεται η ποσότητα και η απόσταση όπου θα πρέπει να τοποθετηθούν.

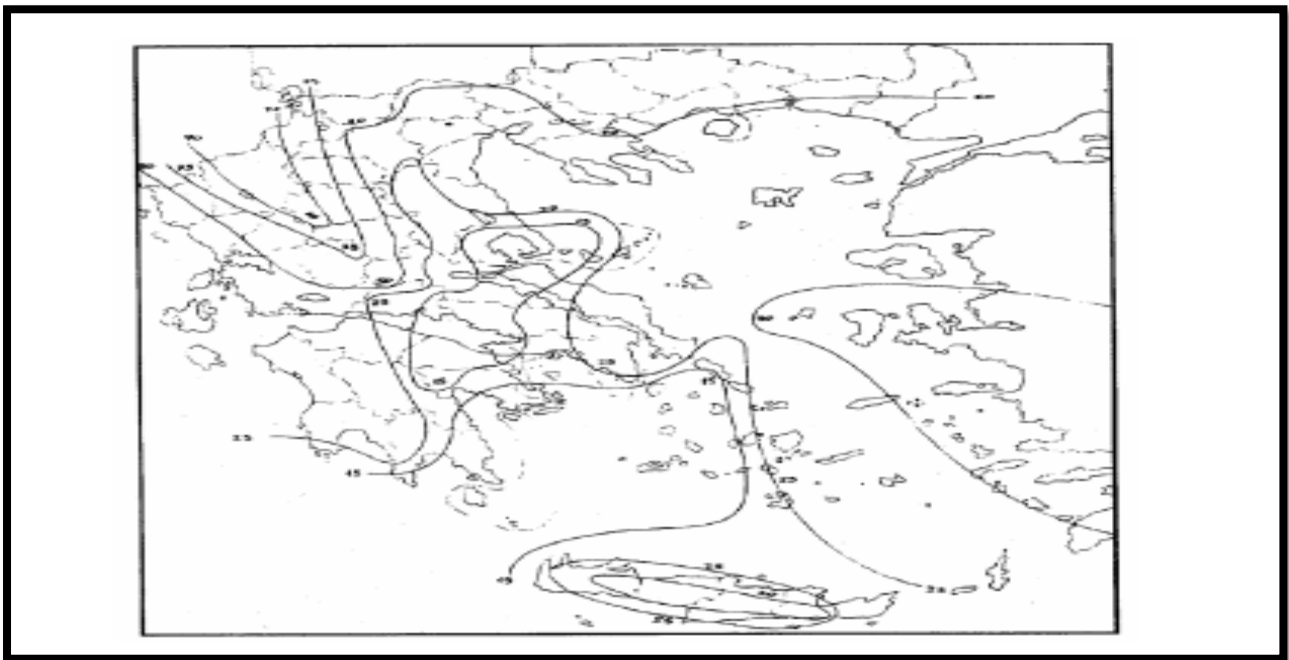
Το αλεξικέραυνο που θα τοποθετηθεί είναι του τύπου ακίδας και η τοποθέτηση τους θα γίνει σε σημεία του πάρκου που δεν θα προκαλούν σκίαση στα πλαίσια και θα παρέχουν την καλύτερη δυνατή προστασία από τους τυχόν κεραυνούς. Το αλεξικέραυνο θα είναι της εταιρίας Tesla-S ,διαθέτει στην κεφαλή του διπλή ακίδα που συγκεντρώνει τους κεραυνούς και είναι κατασκευασμένο από ένα ειδικό κράμα ορύχαλκου. Η κεφαλή περιλαμβάνει ειδικό μεταλλάκτη παραγωγής υψηλής τάσης ιονισμού, μέσω της φυσικής αστάθειας τόξου (πλάσματος) και με την βοήθεια μαγνητικού πεδίου, με χαρακτηριστικό γνώρισμα την εν σειρά σύνδεση σπινθηριστή με πηνίο και πυκνωτή. Επιπροσθέτως φέρει διάταξη ασφαλείας για την προστασία των κυκλωμάτων της κατά την στιγμή της πτώσης και σύλληψης του κεραυνού. Όλος ο μηχανισμός του διακένου, του εξωτερικού σπινθηριστή και των κυκλωμάτων της κεφαλής, ευρίσκεται εντός υδατοστεγούς περιβλήματος, (με αυτοφερόμενο τον δίσκο συλλογής), το οποίο είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του φορτίου προς την κάθοδο του αλεξικέραυνου. Τέλος η διαμόρφωση της βάσης του περιβλήματος (σφαίρα) της κεφαλής, παίζει το ρόλο (εξωτερικού) σπινθηριστή ασφαλείας, μεταξύ κεφαλής και καθόδου.

Ακόμη ανάμεσα σε μια εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας και τον μεταλλικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό της κατασκευής μπορεί να δημιουργηθεί μη ελεγχόμενη διαπήδηση ηλεκτρικού σπινθήρα εάν δεν υπάρχει μεταξύ τους η απαραίτητη απόσταση ασφαλείας. Αυτή δίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$s = \frac{Kc}{Km} * ki * L \quad (4.1)$$

Παράλληλα το κατάλληλο ύψος όπου θα πρέπει να είναι τοποθετημένο το αλεξικέραυνο δίδεται από τον τύπο:

$$p = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (4.2)$$



Πίνακας 4.1. Διάγραμμα κεραυνικών καμπυλών στον Ελλαδικό χώρο.



Πίνακας 4.2 Αλεξικέραυνο ιονισμού Tesla-S.

4.3) ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ

Η καλωδίωση που θα πρέπει να ακολουθηθεί στα επιμέρους τμήματα του πάρκου είναι ιδιαίτερα σημαντική και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το νευρικό σύστημα της συνολικής εγκατάστασης. Καλωδιώσεις θα χρειαστούν ανάμεσα στα πλαίσια και τους αντιστροφείς (inverter), από τους αντιστροφείς μέχρι τον κεντρικό πίνακα ελέγχου και τέλος από τον κεντρικό πίνακα ελέγχου μέχρι το δίκτυο. Τα καλώδια τα οποία θα πρέπει να

χρησιμοποιηθούν είναι συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και τάσης. Πιο συγκεκριμένα:

I. Καλώδια συνεχόμενου ρεύματος DC.

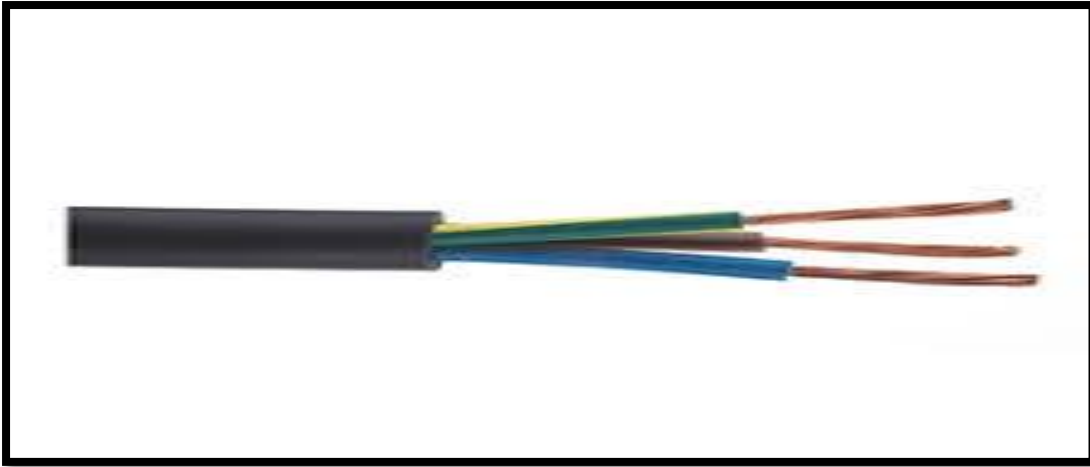
Τα καλώδια αυτού του είδους θα χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση κάθε σειράς φωτοβολταϊκών στοιχείων με τον επιλεγμένο αντιστροφέα. Οπότε κρίνεται σκόπιμη και ωφέλιμη η επιλογή εύκαμπτων μονωμένων και με περίβλημα από πλαστικό υψηλής αντοχής καλωδίων. Για τον λόγο αυτό θα επιλεγθούν καλώδια της εταιρίας DC Solar 6mm τα οποία είναι σύμφωνα με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ 623,4. Θα πρέπει να είναι τοποθετημένα ανά ζεύγος, να συνδέσουν ανά σειρά τα πλαίσια με τον αντιστροφέα και να ακολουθούν τη φορά της μίας ή της άλλης πολικότητας.

II. Καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος AC

Τα καλώδια αυτού του είδους χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια από αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα. Θα ήταν παράλειψη βέβαια να μην αναφερθεί πως βασικός ρόλος των αντιστροφέων είναι η μετατροπή της συνεχόμενης τάσης του ρεύματος σε εναλλασσόμενη. Οπότε θα πρέπει να επιλεγεί ένα καλώδιο το οποίο θα πρέπει να διατηρεί χαμηλές απώλειες ρεύματος να είναι ανθεκτικό στις σκληρές καιρικές συνθήκες και να μπορεί να ανταποκριθεί κατάλληλα στις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Γι αυτό το λόγο επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο το H07RN-F 25mm. Τα συγκεκριμένα είναι κατασκευασμένα από πολύ λεπτό χαλκό που προσφέρει καλή αγωγιμότητα και αντέχει σε θερμοκρασιακή μεταβολή -30C έως 60C.

III. Καλώδια ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος AC

Τα καλώδια αυτά χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το κεντρικό πίνακα στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή τα καλώδια αυτού του τύπου μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ρεύματος απαιτείται καλή εξωτερική μόνωση όπως επίσης και μεγάλη αντοχή στις ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται για τον λόγο αυτό βέβαια τοποθετούνται εντός του εδάφους σε βάθος 80-100 εκατοστών. Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν επιλέχθηκε το XLPE-PVC/SWA /PVC 120-95-95 mm. Το οποίο παρουσιάζει καλή θερμική συμπεριφορά και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Ακόμη η εσωτερική τους μόνωση είναι κατασκευασμένη από PVC υψηλής αντοχής και ο οπλισμός τους είναι ατσάλινα γαλβανισμένα σύρματα.



Πίνακας 4.3. Καλωδίωση συνεχούς τάσης DC Solar 6mm.



Πίνακας 4.4. Καλωδίωση εναλλασσόμενου ρεύματος τάσης H07RN-F 25mm.



Πίνακας 4.5. Καλωδίωση υψηλής ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος τάσης XLPE-PVC/SWA /PVC 120-95-95 mm.

4.4) ΓΕΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για την παρούσα εγκατάσταση επιλέγεται ο συνδυασμός άμεσης θεμελιακής γείωσης με διακόπτες διαφυγής έντασης. Η θεμελιακή γείωση συνδέεται με τα βάθρα των συστοιχιών, τα οποία είναι χυτά από οπλισμένο σκυρόδεμα και θεμελιωμένα σε βάθος περίπου 1m. Η θεμελιακή γείωση καθώς συνδέεται ηλεκτρικά με τον οπλισμό της εγκατάστασης αποκτά εντυπωσιακά χαμηλές τιμές αντίστασης, διότι σχηματίζει ένα πολύ μεγάλο ηλεκτρόδιο γείωσης. Ως ηλεκτρόδια θεμελιακής γείωσης χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ταινίες με ελάχιστες διαστάσεις διατομής 30 mm × 3.5 mm.

Χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδιο γείωσης σε μορφή ταινίας, πρέπει να τοποθετηθεί με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής της κατακόρυφα. Τα εξαρτήματα για τη σύνδεση των αγωγών ή των ταινιών μεταξύ τους καθώς και με σκληρό οπλισμό πρέπει να είναι κατασκευασμένα από θερμά γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα, να έχουν αντοχή σε διάβρωση και ικανότητα να άγουν το αναμενόμενο ρεύμα σφάλματος. Για τη σύνδεση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, των ισοδυναμικών συνδέσεων κλπ. με τη θεμελιακή γείωση κατασκευάζονται λήψεις όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις θέσεις εγκατάστασης πινάκων διανομής που προβλέπεται η άμεση σύνδεσή τους στη γείωση καθώς και όπου θα πραγματοποιηθούν οι κύριες και συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις.

Οι λήψεις θεμελιακής γείωσης είναι κατασκευασμένες από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση (γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα).



Πίνακας 4.6. Κατασκευή θεμελιακής γείωσης για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

5.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

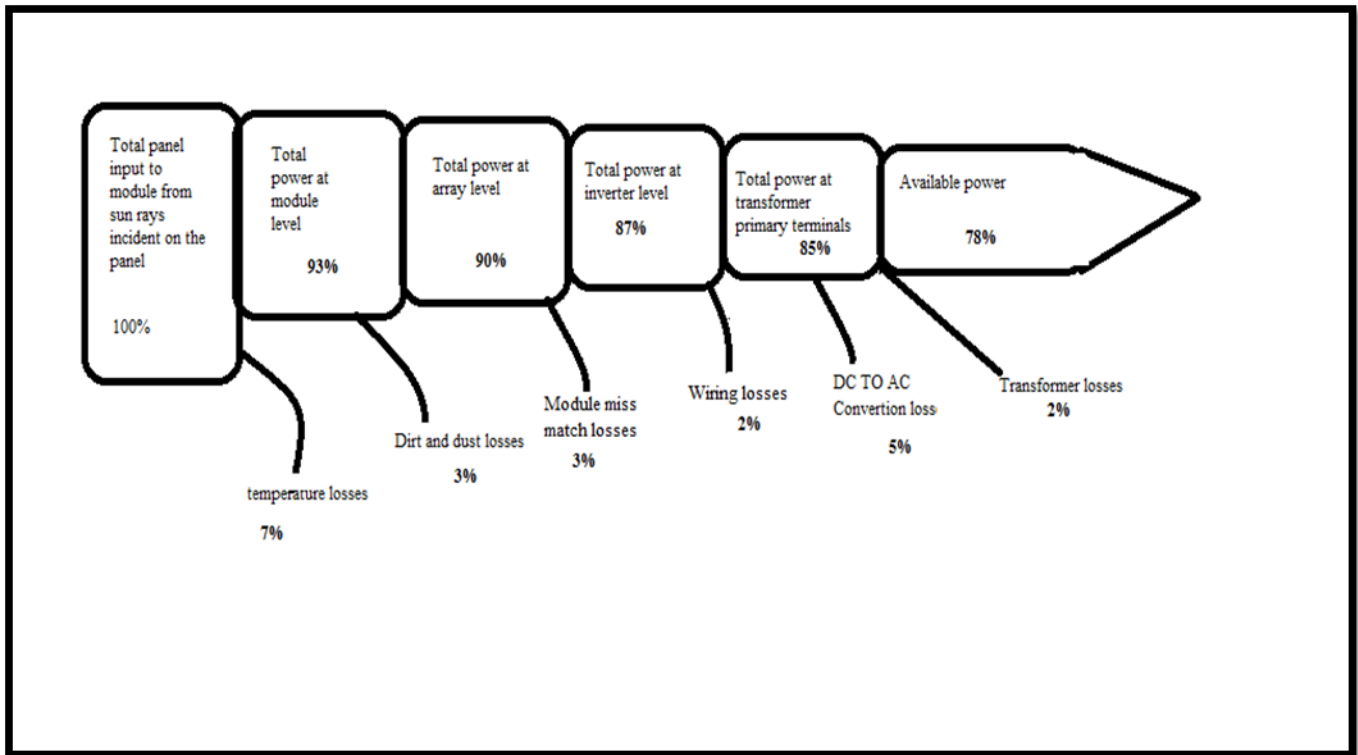
Όπως σε κάθε επένδυση ,έτσι και στα φωτοβολταϊκά, προτού ληφθεί μια απόφαση εκκίνησης, θα πρέπει να λαμβάνονται μια πληθώρα παραγόντων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό από την ανάληψη του ρίσκου που εμπεριέχει οποιαδήποτε επένδυση. Για το λόγο αυτό παρατίθεται και η παρακάτω οικονομική προσέγγιση για το πόσο βιώσιμη μπορεί να είναι η ύπαρξη του πάρκου

5.2) ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

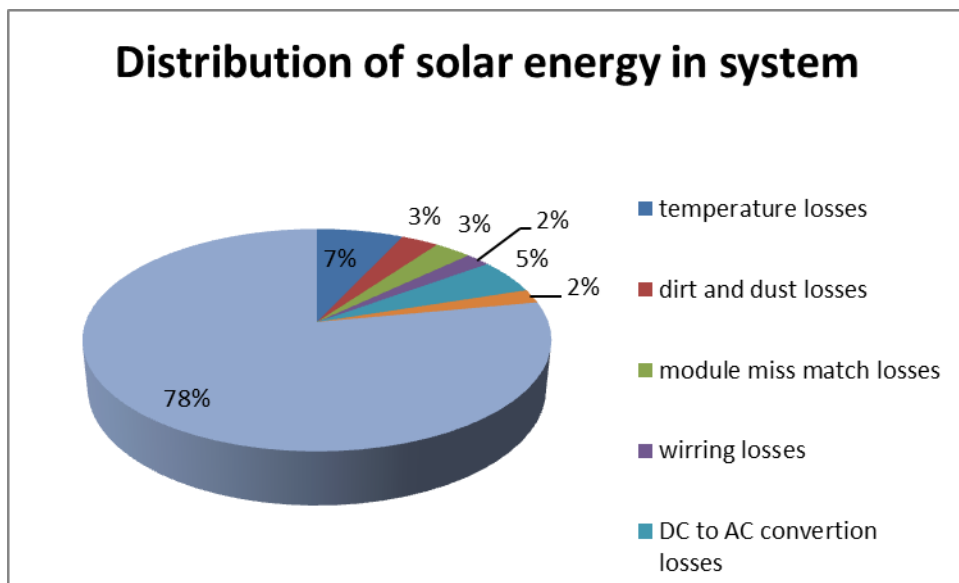
Η κύρια πηγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου είναι η ηλιακή. Βέβαια όπως είναι φυσικό από την παραγωγή της μέχρι την μεταφορά της στο δίκτυο και τον καταναλωτή συναντά κάποιες απώλειες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

- Temperature losses
- Dirt and dust losses
- Module miss match losses
- Wiring losses
- DC TO AC Conversion losses
- Transformer losses



Διάγραμμα 5.1. Shankey chart απωλειών ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.



Διάγραμμα 5.2. Οι απώλειες διανομής της ηλιακής ενέργειας στο σύστημα.

Μια εγκατάσταση η οποία θέλει να χαρακτηρίζεται ως “καλή” πρέπει να έχει ένα μέσο ετήσιο όρο απωλειών της τάξης του 15-20% . Παρατηρούμε επομένως από το παραπάνω διάγραμμα πως οι περισσότερες απώλειες αφορούν γενικότερα τις καλωδιώσεις, τους inverter και τις απώλειες που συναντώνται στο πλαίσιο.

Για να υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος για τα επόμενα 20 χρόνια λειτουργίας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την φυσιολογική μείωση απόδοσης των

πάνελ. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των πάνελ και λαμβάνοντας υπόψη ότι εγγυούνται 86% τουλάχιστον απόδοση στην ονομαστική τιμή peak μετά από 20 χρόνια έχουμε 0,7% μείωση κατά έτος. Ο παρών υπολογισμός δίδεται από τον τύπο:

$$c = \frac{\text{Total Production Cost}}{\text{Total energy yield}} \quad (5.1)$$

Όπου :

$$\text{Total Production Cost} = ICo + FCn + VCn \quad (5.2)$$

$$\Sigma Ei = n * (Cf * No * 8760) \quad (5.3)$$

Το κόστος της παραγωγής για τα 10,20 και 30 χρόνια λειτουργίας του πάρκου είναι:

| | | | |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| no (years of operation) | 10 | 20 | 30 |
| co(EUR/KWh) | 0,206684 | 0,103342 | 0,068895 |

Πίνακας 5.1. Υπολογισμός κόστους παραγόμενης ενέργειας .(e=4%)

Επιπροσθέτως θεωρώντας την τιμή πώλησης της kWh στα 0,419 EUR and το κόστος παραγωγής της ενέργειας στα 0,20 EURO cents/kWh έχουμε τον παρακάτω πίνακα όπου υπολογίζεται το κόστος ενέργειας για 10,20και 30 χρόνια .

Η παραγόμενη ενέργεια μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και αυτή η μείωση δίδεται από το παρακάτω πίνακα:

| Year | production(KWh) | Production cost (EUR) | Energy sale (EUR) |
|------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| 2018 | 488600 | 58.632,00 € | 239.414,00 € |
| 2019 | 480225,1 | 57.627,01 € | 235.310,30 € |
| 2020 | 471993,8 | 56.639,25 € | 231.276,94 € |
| 2021 | 463903,5 | 55.668,42 € | 227.312,72 € |
| 2022 | 455951,9 | 54.714,23 € | 223.416,44 € |
| 2023 | 448136,6 | 53.776,40 € | 219.586,95 € |
| 2024 | 440455,3 | 52.854,64 € | 215.823,09 € |
| 2025 | 432905,6 | 51.948,68 € | 212.123,76 € |
| 2026 | 425485,4 | 51.058,24 € | 208.487,83 € |
| 2027 | 418192,3 | 50.183,07 € | 204.914,22 € |
| 2028 | 411024,2 | 49.322,91 € | 201.401,87 € |
| 2029 | 403979,0 | 48.477,48 € | 197.949,72 € |
| 2030 | 397054,6 | 47.646,55 € | 194.556,74 € |
| 2031 | 390248,8 | 46.829,86 € | 191.221,92 € |
| 2032 | 383559,7 | 46.027,17 € | 187.944,27 € |
| 2033 | 376985,3 | 45.238,23 € | 184.722,79 € |
| 2034 | 370523,5 | 44.462,82 € | 181.556,53 € |
| 2035 | 364172,5 | 43.700,70 € | 178.444,54 € |
| 2036 | 357930,4 | 42.951,65 € | 175.385,89 € |
| 2037 | 351795,3 | 42.215,43 € | 172.379,68 € |
| 2038 | 345765,3 | 41.491,83 € | 169.424,98 € |
| 2039 | 339838,7 | 40.780,64 € | 166.520,94 € |
| 2040 | 334013,6 | 40.081,63 € | 163.666,67 € |
| 2041 | 328288,4 | 39.394,61 € | 160.861,32 € |
| 2042 | 322661,4 | 38.719,36 € | 158.104,07 € |
| 2043 | 317130,7 | 38.055,69 € | 155.394,07 € |
| 2044 | 311694,9 | 37.403,39 € | 152.730,52 € |
| 2045 | 306352,3 | 36.762,28 € | 150.112,63 € |
| 2046 | 301101,2 | 36.132,15 € | 147.539,61 € |
| 2047 | 295940,2 | 35.512,82 € | 145.010,69 € |
| 2048 | 290867,6 | 34.904,11 € | 142.525,12 € |

Πίνακας 5.2. Το κόστος παραγωγής της ενέργειας για 10,20,30 χρόνια λειτουργίας όπως επίσης και η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας.

5.3) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΩΣΗΜΟΤΗΤΑΣ

Τα αρχικό κόστος επένδυσης “ICo” μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ονομαστικής ισχύος “No” δίδεται από τον παρακάτω τύπο ως συνδυασμός του κόστους αγοράς του εξοπλισμού και του κόστους εγκατάστασης και προετοιμασίας της έναρξης λειτουργίας.

$$ICo = Pr * No + f * Pr * No \quad (5.4)$$

Ο συντελεστής εγκατάστασης f εκτιμάται ίσος με “f=0.10” έχοντας λάβει υπόψη το μέγεθος της επένδυσης ,τον πρόσθετο εξοπλισμό όπως επίσης και τα υπόλοιπα έξοδα της

εγκατάστασης. Το Pr ανηγμένη τιμή λαμβάνεται υπόψη σύμφωνα με τις προκαθορισμένες τιμές από διάγραμμα.

$$ICo = 4900 \frac{E}{KWp} * 100KWh + 0.1 * \frac{4900E}{KWp} * 100KWh \Rightarrow$$

$$ICo = 490000 \text{ EUR}$$

Ωστόσο όμως η αγορά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια μια ιδιαίτερη πτώση. Πιο ενδεικτικό κόστος των φωτοβολταϊκών στοιχείων της 80 δείχνει μια πτώση περίπου 2-4% που τους καθιστά ιδιαίτερα προσιτές αξία. Σήμερα το κόστος της KWh / ευρώ αντιστοιχεί στο γεγονός ότι η εγκατάσταση 1KW απαιτείται 2000-3000EUR. Έτσι, το κόστος εγκατάστασης μας βασίζεται στην ελληνική αγορά είναι:

| Materials | number | Price | Total Cost |
|-------------------|--------|----------|--------------|
| pv panels | 952 | 450,00 € | 428.400,00 € |
| inverter | 10 | 7500 | 75.000,00 € |
| cables | 150μ | 15 Ε/μ | 2.250,00 € |
| support bases | 950 | 15 | 14.250,00 € |
| Instalation works | x | x | 25.000,00 € |
| | | | 544.900,00 € |

Πίνακας 5.3. Το κόστος της εγκατάστασης με βάση τις σημερινά στοιχεία της αγοράς.

Η οικονομική ανάλυση του υποτιθέμενου φωτοβολταϊκού πάρκου προϋποθέτει τον υπολογισμό βασικών οικονομικών αξιών οι οποίοι παρουσιάζονται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους.

Ανάλυση Οικονομικών Όρων

- ICo: Αποτελεί το αρχικό κόστος της επένδυσης το οποίο δίδεται από τον τύπο:

$$ICo = Pr * No * (1 + f) \quad (5.5)$$

Όπου :

f: συντελεστής κόστους αρχικής εγκατάστασης (%) το οποίο λαμβάνουμε ίσο με 30% ή 0,3.

Ωστόσο όμως πρέπει να υπολογίσουμε και το Pr το οποίο είναι το ποσό της ανηγμένης τιμής (Euro/KWh) και δίδεται από τον τύπο:

$$Pr = 939.2 + 2435.6 * \exp\left(\frac{-No}{33.4}\right) \quad (5.6)$$

Όπου:

No: ονομαστική ισχύς της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

- Ro: τα έσοδα του έτους ίδρυσης του ενεργειακού σταθμού από την διάθεση της ενεργειακής παραγωγής.

$$Ro = 8760 * No * CF * co \quad (5.7)$$

co: τιμή διάθεσης της ενεργειακής παραγωγής τη στιγμή όπου ξεκινάει η επένδυση.

Τη θεωρούμε co=0,45 Euro/kWh

Παράλληλα ο τύπος 1.3 μπορεί να πάρει και την ακόλουθη μορφή:

$$Ro = Ewt * co \quad (5.8)$$

- ICn: διαχρονικό κόστος της επένδυσης μετά από n- έτη λειτουργίας και δίδεται από τον τύπο:

$$ICn = a * ICo * \prod_{i=1}^n (1 + i) + b + ICo * \prod_{i=1}^n (1 + i') \quad (5.9)$$

Όπου:

α: συντελεστής ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης, κοινώς τα χρήματα που τοποθετεί ο επενδυτής στην επένδυσή α=0,4 ή α= 40%.

β: τα χρήματα της επένδυσης που προέρχονται από τραπεζικά δάνεια.

γ: το ποσό της επιδότησης που δίδεται από το κράτος η ΕΕ.

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (5.10)$$

Θεωρώντας την επιδότηση γ=0 .Από τον τύπο 5.10 προκύπτει ότι τα χρήματα που προέρχονται από τον τραπεζικό δανεισμό είναι:

$$\beta = 1 - \alpha \Rightarrow \beta = 0,6 \text{ ή } \beta = 60\%$$

ι: απόδοση ιδίων κεφαλαίων όπου ισούται με ι=0.12 ή ι=12%

ι': κόστος του χρήματος το οποίο ισούται με ι'=0,09

- FC_n : το διαχρονικό σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας μετά από n - έτη της λειτουργίας αυτής, δίδεται από τον τύπο:

$$FC_n = m * ICo * (1 + g) * (1 + i)^n * \left[\frac{(1-(1+g))}{1-g} \right] \quad (5.11)$$

Όπου :

m : συντελεστής ετήσιου κόστους συντήρησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων το οποίο θεωρούμε ίσο με 3% άρα $m=0,03$.

g : πληθωρισμός αγοράς ο οποίος θεωρήθηκε $g=0.04$

- C_n : Αφορά το συνολικό κόστος και δίδεται από τον τύπο:

$$C_n = IC_n + FC_n + VC_n \quad (5.12)$$

Όπου :

VC_n : διαχρονικό μεταβλητό κόστος το οποίο θεωρώ $VC_n=0$

- R_n : τα διαχρονικά έσοδα της επιχείρησης μετά από n -έτη δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_n = Ro * (1 + e) * (1 + i)^{n-1} * \left[1 + \frac{1+e}{1+i} \dots \right]^{(n-1)} \quad (5.13)$$

Όπου :

e : ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής της ενέργειας το οποίο λαμβάνεται ίσο με 0,05 η 5% άρα έχουμε ότι $e=0.05$.

- G_n : διαχρονικά κέρδη της επιχείρησης μετά από n – χρόνια και δίδεται από τον τύπο:

$$G_n = R_n - IC_n - FC_n \quad (5.14)$$

- A_n : απόσβεση κεφαλαίων η οποία δίδεται από τον τύπο:

$$A_n = \alpha_n * ICo \quad (5.15)$$

Όπου:

$\alpha = 1/10$ ->απόσβεση εντός της δεκαετίας

- T_n : Φόροι ή (ϕ) δίδεται από τον τύπο:

$$Tn = (Rn - FCn - An) * \varphi \quad (5.16)$$

- Υπολογισμός NPV

$$npvn = \left(\frac{Ro}{ICo}\right) * \left(\frac{ae*(1-ae^n)}{1-ae}\right) - 1 + \gamma-m * \frac{am*(1-am^n)}{1-am} \quad (5.17)$$

Όπου:

$$am = \frac{1+g}{1+i}$$

$$ae = \frac{1+e}{1+i} \quad (1.12)$$

$$npvn = \frac{NPV}{ICo} \Rightarrow NPV = ICo * npvn \quad (5.18)$$

- Calculation of IRR

$$IRR = \left(\frac{Ro}{ICo}\right) * \left(\frac{ae*(1-ae^n)}{1-ae}\right) + (\gamma - 1)-m * \frac{am*(1-am^n)}{1-am} \quad (5.19)$$

Επειδή η εξίσωση του IRR έχει αυτή τη μορφή , η επίλυσή της για n=20,30 έτη , θα γίνει με την διαδικασία των δοκιμών(ae and am) όποτε δοκιμάζουμε επιλεγμένες τιμές του i σύμφωνα με τους πίνακες που ακολουθούν στους υπολογισμούς των οικονομικών πλάνων για κάθε φωτοβολταϊκό πάρκο.

Το ετήσιο κόστος και τα corresponding revenues για τριάντα χρόνια ,λαμβάνοντας υπόψη και κάθε κόστος αντικατάστασης του εξοπλισμού παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

| n | ICn | FCn | Cn | Rn | Gn | BCR=Gn/ICo | An | Tn | Gn - Tn | Gn,t* | Vcn |
|----|-------------|----------|----------|-----------|----------|------------|--------|----------|----------|----------|--------|
| 1 | 1440396,65 | 40781 | 1481177 | 298811 | -1182366 | -0,905 | 130708 | 36924 | -1219290 | -1172394 | 0 |
| 2 | 1587599,437 | 88086 | 1675686 | 648420 | -1027266 | -0,786 | 130708 | 124591 | -1151858 | -1064957 | 0 |
| 3 | 1750158,524 | 142765 | 1892924 | 1055669 | -837255 | -0,641 | 130708 | 226837 | -1064092 | -945974 | 0 |
| 4 | 1929708,947 | 205770 | 2135479 | 1528260 | -607218 | -0,465 | 130708 | 345617 | -952835 | -814488 | 0 |
| 5 | 2128063,246 | 278170 | 2406233 | 2074858 | -331375 | -0,254 | 130708 | 483134 | -814509 | -669467 | 0 |
| 6 | 2347231,091 | 361166 | 2708397 | 2705208 | -3189 | -0,002 | 130708 | 641867 | -645056 | -509797 | 0 |
| 7 | 2589441,101 | 456107 | 3045548 | 3430268 | 384720 | 0,294 | 130708 | 824602 | -439881 | -334274 | 0 |
| 8 | 2857165,116 | 564504 | 3421670 | 4262358 | 840688 | 0,643 | 130708 | 1034472 | -193784 | -141596 | 0 |
| 9 | 3153145,212 | 688056 | 3841201 | 5215320 | 1374119 | 1,051 | 130708 | 1275001 | 99118 | 69639 | 0 |
| 10 | 3480423,744 | 828667 | 4309090 | 6304713 | 1995622 | 1,527 | 130708 | 1550148 | 445474 | 300946 | 0 |
| 11 | 3842376,799 | 988472 | 5026910 | 7548010 | 2521100 | 1,929 | 130708 | 1864361 | 656739 | 426605 | 196061 |
| 12 | 4242751,42 | 1169869 | 5628288 | 8964839 | 3336551 | 2,553 | 130708 | 2222636 | 1113915 | 695748 | 215667 |
| 13 | 4685707,042 | 1375544 | 6296525 | 10577241 | 4280716 | 3,275 | 130708 | 2630587 | 1650129 | 991025 | 235274 |
| 14 | 5175861,628 | 1608513 | 7039254 | 12409963 | 5370709 | 4,109 | 130708 | 3094515 | 2276194 | 1314445 | 254880 |
| 15 | 5718343,043 | 1872153 | 7864982 | 14490784 | 6625802 | 5,069 | 130708 | 3621498 | 3004304 | 1668183 | 274486 |
| 16 | 6318846,248 | 2170255 | 8783193 | 16850884 | 8067691 | 6,172 | 130708 | 4219477 | 3848213 | 2054593 | 294092 |
| 17 | 6983697,022 | 2507068 | 9804463 | 19525257 | 9720794 | 7,437 | 130708 | 4897370 | 4823425 | 2476217 | 313698 |
| 18 | 7719922,918 | 2887352 | 10940580 | 22553168 | 11612589 | 8,884 | 130708 | 5665181 | 5947407 | 2935807 | 333304 |
| 19 | 8535332,325 | 3316449 | 12204692 | 25978672 | 13773981 | 10,538 | 130708 | 6534140 | 7239841 | 3436336 | 352910 |
| 20 | 9438602,541 | 3800342 | 13611461 | 29851193 | 16239733 | 12,424 | 130708 | 7516842 | 8722891 | 3981014 | 372516 |
| 21 | 10439377,91 | 4345738 | 15177239 | 34226171 | 19048932 | 14,574 | 130708 | 8627420 | 10421512 | 4573310 | 392123 |
| 22 | 11548379,2 | 4960157 | 16920265 | 39165788 | 2245523 | 17,019 | 130708 | 9881728 | 12363795 | 5216970 | 411729 |
| 23 | 12777525,48 | 5652023 | 18860883 | 44739782 | 25878899 | 19,799 | 130708 | 11297545 | 14581354 | 5916039 | 431335 |
| 24 | 14140069,99 | 6430778 | 21021789 | 51026361 | 30004571 | 22,956 | 130708 | 12894814 | 17109758 | 6674884 | 450941 |
| 25 | 15650751,57 | 7307005 | 23428304 | 58113219 | 34684915 | 26,536 | 130708 | 14695897 | 19989018 | 7498217 | 470547 |
| 26 | 17325963,52 | 8292561 | 26108677 | 66098685 | 39990008 | 30,595 | 130708 | 16725871 | 23264137 | 8391124 | 490153 |
| 27 | 19183941,86 | 9400731 | 29094433 | 75093002 | 45998569 | 35,192 | 130708 | 19012853 | 26985716 | 9359093 | 509759 |
| 28 | 21244975,25 | 10646405 | 32420746 | 85219759 | 52799014 | 40,395 | 130708 | 21588368 | 31210646 | 10408047 | 529365 |
| 29 | 23531639,08 | 12046263 | 36126874 | 96617508 | 60490634 | 46,279 | 130708 | 24487756 | 36002879 | 11544374 | 548972 |
| 30 | 26069056,58 | 13618996 | 40256630 | 109441555 | 69184926 | 52,931 | 130708 | 27750637 | 41434288 | 12774965 | 568578 |

Πίνακας 5.4. Το ετήσιο κόστος, τα έξοδα συντήρησης και άλλα οικονομικά μεγέθη.

A) Οικονομικό Σενάριο 1

Για την περίπτωση όπου η επίδοτηση $\gamma=0$ και με βάση τους τύπους που αναφέρθηκαν στο ερώτημα 8 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με $\alpha=40\%$ και $\beta=60\%$.

| Pr | n | ICn | FCn | Cn | Rn | Gn | BCR=Gn/ICo | An | Tn | Gn - Tn | Gn,t* | Vcn |
|---------|----|-------------|----------|----------|-----------|----------|------------|--------|----------|----------|----------|--------|
| 4900,0 | 1 | 1440396,65 | 40781 | 1481177 | 298811 | -1182366 | -0,905 | 130708 | 36924 | -1219290 | -1172394 | 0 |
| ICo | 2 | 1587599,437 | 88086 | 1675686 | 648420 | -1027266 | -0,786 | 130708 | 124591 | -1151858 | -1064957 | 0 |
| 1307075 | 3 | 1750158,524 | 142765 | 1892924 | 1055669 | -837255 | -0,641 | 130708 | 226837 | -1064092 | -945974 | 0 |
| Ro | 4 | 1929708,947 | 205770 | 2135479 | 1528260 | -607218 | -0,465 | 130708 | 345617 | -952835 | -814488 | 0 |
| 284582 | 5 | 2128063,246 | 278170 | 2406233 | 2074858 | -331375 | -0,254 | 130708 | 483134 | -814509 | -669467 | 0 |
| Ro/ICo | 6 | 2347231,091 | 361166 | 2708397 | 2705208 | -3189 | -0,002 | 130708 | 641867 | -645056 | -509797 | 0 |
| 0,22 | 7 | 2589441,101 | 456107 | 3045548 | 3430268 | 384720 | 0,294 | 130708 | 824602 | -439881 | -334274 | 0 |
| BC | 8 | 2857165,116 | 564504 | 3421670 | 4262358 | 840688 | 0,643 | 130708 | 1034472 | -193784 | -141596 | 0 |
| 196061 | 9 | 3153145,212 | 688056 | 3841201 | 5215320 | 1374119 | 1,051 | 130708 | 1275001 | 99118 | 69639 | 0 |
| | 10 | 3480423,744 | 828667 | 4309090 | 6304713 | 1995622 | 1,527 | 130708 | 1550148 | 445474 | 300946 | 0 |
| | 11 | 3842376,799 | 988472 | 5026910 | 7548010 | 2521100 | 1,929 | 130708 | 1864361 | 656739 | 426605 | 196061 |
| | 12 | 4242751,42 | 1169869 | 5628288 | 8964839 | 3336551 | 2,553 | 130708 | 2222636 | 1113915 | 695748 | 215667 |
| | 13 | 4685707,042 | 1375544 | 6296525 | 10577241 | 4280716 | 3,275 | 130708 | 2630587 | 1650129 | 991025 | 235274 |
| | 14 | 5175861,628 | 1608513 | 7039254 | 12409963 | 5370709 | 4,109 | 130708 | 3094515 | 2276194 | 1314445 | 254880 |
| | 15 | 5718343,043 | 1872153 | 7864982 | 14490784 | 6625802 | 5,069 | 130708 | 3621498 | 3004304 | 1668183 | 274486 |
| | 16 | 6318846,248 | 2170255 | 8783193 | 16850884 | 8067691 | 6,172 | 130708 | 4219477 | 3848213 | 2054593 | 294092 |
| | 17 | 6983697,022 | 2507068 | 9804463 | 19525257 | 9720794 | 7,437 | 130708 | 4897370 | 4823425 | 2476217 | 313698 |
| | 18 | 7719922,918 | 2887352 | 10940580 | 22553168 | 11612589 | 8,884 | 130708 | 5665181 | 5947407 | 2935807 | 333304 |
| | 19 | 8535332,325 | 3316449 | 12204692 | 25978672 | 13773981 | 10,538 | 130708 | 6534140 | 7239841 | 3436336 | 352910 |
| | 20 | 9438602,541 | 3800342 | 13611461 | 29851193 | 16239733 | 12,424 | 130708 | 7516842 | 8722891 | 3981014 | 372516 |
| | 21 | 10439377,91 | 4345738 | 15177239 | 34226171 | 19048932 | 14,574 | 130708 | 8627420 | 10421512 | 4573310 | 392123 |
| | 22 | 11548379,2 | 4960157 | 16920265 | 39165788 | 2245523 | 17,019 | 130708 | 9881728 | 12363795 | 5216970 | 411729 |
| | 23 | 12777525,48 | 5652023 | 18860883 | 44739782 | 25878899 | 19,799 | 130708 | 11297545 | 14581354 | 5916039 | 431335 |
| | 24 | 14140069,99 | 6430778 | 21021789 | 51026361 | 30004571 | 22,956 | 130708 | 12894814 | 17109758 | 6674884 | 450941 |
| | 25 | 15650751,57 | 7307005 | 23428304 | 58113219 | 34684915 | 26,536 | 130708 | 14695897 | 19989018 | 7498217 | 470547 |
| | 26 | 17325963,52 | 8292561 | 26108677 | 66098685 | 39990008 | 30,595 | 130708 | 16725871 | 23264137 | 8391124 | 490153 |
| | 27 | 19183941,86 | 9400731 | 29094433 | 75093002 | 45998569 | 35,192 | 130708 | 19012853 | 26985716 | 9359093 | 509759 |
| | 28 | 21244975,25 | 10646405 | 32420746 | 85219759 | 52799014 | 40,395 | 130708 | 21588368 | 31210646 | 10408047 | 529365 |
| | 29 | 23531639,08 | 12046263 | 36126874 | 96617508 | 60490634 | 46,279 | 130708 | 24487756 | 36002879 | 11544374 | 548972 |
| | 30 | 26069056,58 | 13618996 | 40256630 | 109441555 | 69184926 | 52,931 | 130708 | 27750637 | 41434288 | 12774965 | 568578 |

Πίνακας 5.6. Υπολογισμός οικονομικών μεγεθών για $\gamma=0$, $\alpha=40\%$ και $\beta=60\%$.

| | |
|------|--------------|
| npvn | 1,4469583368 |
| NPVn | 1891283 |

Πίνακας 5.7. Η τιμή του NPVn for $\gamma=0$, $\alpha=40\%$ και $\beta=60\%$.

β) Οικονομικό Σενάριο 2

Για την περίπτωση όπου $\gamma=40\%$, $\beta=30\%$ άρα συνεπάγεται ότι $\alpha=30\%$, οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

| n | ICn | FCn | Cn | Rn | Gn | BCR=Gn/ICo | An | Tn | Gn - Tn | Gn,t ^o | Vcn |
|----|-------------|----------|----------|-----------|----------|------------|--------|----------|----------|-------------------|--------|
| 1 | 1294004,25 | 40781 | 1334785 | 298811 | -1035974 | -0,793 | 130708 | 36924 | -1072898 | -1031632 | 0 |
| 2 | 1423639,949 | 88086 | 1511726 | 648420 | -863307 | -0,660 | 130708 | 124591 | -987898 | -913367 | 0 |
| 3 | 1566523,898 | 142765 | 1709289 | 1055669 | -653620 | -0,500 | 130708 | 226837 | -880457 | -782723 | 0 |
| 4 | 1724038,165 | 205770 | 1929808 | 1528260 | -401547 | -0,307 | 130708 | 345617 | -747165 | -638679 | 0 |
| 5 | 1897711,97 | 278170 | 2175882 | 2074858 | -101024 | -0,077 | 130708 | 483134 | -584158 | -480135 | 0 |
| 6 | 2089237,662 | 361166 | 2450404 | 2705208 | 254804 | 0,195 | 130708 | 641867 | -387063 | -305901 | 0 |
| 7 | 2300488,46 | 456107 | 2756595 | 3430268 | 673673 | 0,515 | 130708 | 824602 | -150929 | -114693 | 0 |
| 8 | 2533538,16 | 564504 | 3098043 | 4262358 | 1164315 | 0,891 | 130708 | 1034472 | 129843 | 94875 | 0 |
| 9 | 2790683,02 | 688056 | 3478739 | 5215320 | 1736581 | 1,329 | 130708 | 1275001 | 461580 | 324300 | 0 |
| 10 | 3074466,089 | 828667 | 3903133 | 6304713 | 2401580 | 1,837 | 130708 | 1550148 | 851432 | 575197 | 0 |
| 11 | 3387704,226 | 988472 | 4572238 | 7548010 | 2975772 | 2,277 | 130708 | 1864361 | 1111411 | 721952 | 196061 |
| 12 | 3733518,138 | 1169869 | 5119054 | 8964839 | 3845785 | 2,942 | 130708 | 2222636 | 1623149 | 1013814 | 215667 |
| 13 | 4115365,766 | 1375544 | 5726184 | 10577241 | 4851058 | 3,711 | 130708 | 2630587 | 2220471 | 1333557 | 235274 |
| 14 | 4537079,399 | 1608513 | 6400472 | 12409963 | 6009491 | 4,598 | 130708 | 3094515 | 2914976 | 1683326 | 254880 |
| 15 | 5002906,946 | 1872153 | 7149546 | 14490784 | 7341238 | 5,617 | 130708 | 3621498 | 3719740 | 2065440 | 274486 |
| 16 | 5517557,82 | 2170255 | 7981905 | 16850884 | 8868979 | 6,785 | 130708 | 4219477 | 4649502 | 2482407 | 294092 |
| 17 | 6086253,982 | 2507068 | 8907020 | 19525257 | 10618238 | 8,124 | 130708 | 4897370 | 5720868 | 2936940 | 313698 |
| 18 | 6714786,714 | 2887352 | 9935443 | 22553168 | 12617725 | 9,653 | 130708 | 5665181 | 6952543 | 3431971 | 333304 |
| 19 | 7409579,777 | 3316449 | 11078939 | 25978672 | 14899733 | 11,399 | 130708 | 6534140 | 8365594 | 3970666 | 352910 |
| 20 | 8177759,686 | 3800342 | 12350618 | 29851193 | 17500576 | 13,389 | 130708 | 7516842 | 9983734 | 4556446 | 372516 |
| 21 | 9027233,915 | 4345738 | 13765095 | 34226171 | 20461076 | 15,654 | 130708 | 8627420 | 11833656 | 5193006 | 392123 |
| 22 | 9966777,927 | 4960157 | 15338664 | 39165788 | 23827124 | 18,229 | 130708 | 9881728 | 13945396 | 5884335 | 411729 |
| 23 | 11006132,06 | 5652023 | 17089490 | 44739782 | 27650292 | 21,154 | 130708 | 11297545 | 16352747 | 6634740 | 431335 |
| 24 | 12156109,35 | 6430778 | 19037829 | 51026361 | 31988532 | 24,473 | 130708 | 12894814 | 19093718 | 7448870 | 450941 |
| 25 | 13428715,65 | 7307005 | 21206268 | 58113219 | 36906951 | 28,236 | 130708 | 14695897 | 22211054 | 8331740 | 470547 |
| 26 | 14837283,29 | 8292561 | 23619997 | 66098685 | 42478688 | 32,499 | 130708 | 16725871 | 25752817 | 9288764 | 490153 |
| 27 | 16396620,01 | 9400731 | 26307111 | 75093002 | 48785891 | 37,324 | 130708 | 19012853 | 29773038 | 10325783 | 509759 |
| 28 | 18123174,77 | 10646405 | 29298945 | 85219759 | 55920814 | 42,783 | 130708 | 21588368 | 34332447 | 11449097 | 529365 |
| 29 | 20035222,55 | 12046263 | 32630457 | 96617508 | 63987051 | 48,954 | 130708 | 24487756 | 39499295 | 12665505 | 548972 |
| 30 | 22153070,06 | 13618996 | 36340643 | 109441555 | 73100912 | 55,927 | 130708 | 27750637 | 45350275 | 13982336 | 568578 |

Πίνακας 5.8. Υπολογισμός οικονομικών μεγεθών για $\gamma=40\%$, $\alpha=30\%$ και $\beta=30\%$.

| | |
|------|-------------|
| npvn | 1,846958368 |
| NPVn | 2414113 |

Πίνακας 5.8. Η τιμή του NPVn for $\gamma=40\%$, $\alpha=30\%$ και $\beta=30\%$.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι τα αποτελέσματα και για τα δύο οικονομικά σενάρια μας δίνουν μια ισχυρά συμφέρουσα επένδυση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Τ.Ε.Ε. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) Τεχνικό Εγχειρίδιο για την μελέτη και υλοποίηση Φωτοβολταϊκών συστημάτων.
2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. (Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας)
3. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δρ. Αθανάσιος Ν. Κατσανεβάκης)
4. Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2004
5. T. Markvart, “Ηλεκτρισμός από Ηλιακή Ενέργεια”, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2003
6. Π. Σ. Γεωργιλάκης, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2006
7. J. Duffie and W. Beckman, “Solar Engineering of Thermal Processes”, 2nd Edition, Εκδόσεις Wiley-Interscience, Νέα Υόρκη Νοέμβριος 1991.
8. W. A. Beckman, Solar Irradiance. New York (1978).
9. DGS (German Energy Society). Planning & Installing Photovoltaics Systems. Earthscan. Berlin. 2009
10. Silcio Solar Technologies
11. Applied Photovoltaics” Stuart R. Wenham. Martin A. Green, Muriel E. Watt, Richard Corkish Photovoltaic Modules”, University of Delaware
12. Μωυσής Δαμιανίδης, Γεώργιος Κατσαρός, Ματθαίος Τόλης, Φώτιος Στεργιόπουλος, «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων», έτος 2011, Θεσσαλονίκη, ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας
13. «Planning and Installing Photovoltaic Systems», 2nd edition, year 2006, London, England
14. Javier Relancio, Luis Recuero, «Photovoltaic System Training», «Season 1-Design», year 2010, www.LeonardoEnergy.com
15. «Sma», www.sma.gr
16. APPLICATIONS FOR INFARED IMAGING EQUIPMENT IN PHOTOVOLTAIC CELL, MODULE AND SYSTEM TESTING”, D.L. King, J.A. Kratochvil, M.A Quintana

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ



MITSUBISHI ELECTRIC

PHOTOVOLTAIC MODULES

Changes for the Better



MLE Series

PV-MLE265HD 265W_p

PV-MLE260HD 260W_p

PV-MLE255HD 255W_p





SOLID PRODUCTS, SOLID COMPANY.

ADVANCED TECHNOLOGY

- Low-loss, half-cut cells
- 4 busbar monocrystalline cells
- Proprietary cell surface texturing process for greater light absorption
- Anti-reflective glass
- Optimum tab thickness
- Lead-free solder connections
- Selective emitter technology

LONG RELIABILITY

- Outstanding durability and protection against the elements allow the module to be installable even in high-saline areas.*
- Stronger improved frame allows the module to be fastened using the short frame sides
- Fused ITC yields load test of 5400Pa
- Frame has a protective double layer of corrosion-resistant coating
- 4-layer protective junction box
- 10-year product warranty

*excluding areas in which the module is directly exposed to salt water.

MITSUBISHI ELECTRIC QUALITY

- Highly automated production lines ensure a stable level of high quality for every module
- Cells are matched for uniformity before module assembly
- Every single module is sorted and labeled for positive tolerance only
- Industry-leading linear output power warranty
- Warranties and customer service all backed by one of the largest and most stable electronics manufacturers in the world

for a greener tomorrow 

Models Assembled 100% in Japan

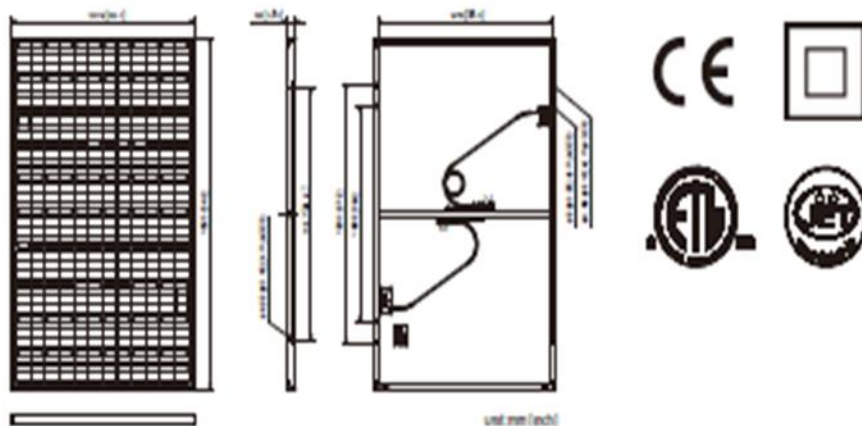
SPECIFICATIONS SHEET

| Model name | PV-MEJ25SHD | PV-MEJ26SHD | PV-MEJ26SHD |
|---|---|-------------|-------------|
| Cell type | Monocrystalline silicon, 70mm x 156mm | | |
| Number of cells | 120 cells | | |
| Performance at STC | | | |
| Maximum power rating (Pmax) | 255W | 260W | 265W |
| Warranted minimum Pmax | 255.0W | 260.0W | 265.0W |
| Tolerance of Pmax | -0/+5% | | |
| Open circuit voltage (Voc) | 37.8V | 38.0V | 38.2V |
| Short circuit current (Isc) | 8.89A | 8.96A | 9.08A |
| Maximum power voltage (Vmp) | 31.2V | 31.4V | 31.7V |
| Maximum power current (Imp) | 8.18A | 8.29A | 8.38A |
| Performance at NOCT (at 800W/m ²) | | | |
| Maximum power rating (Pmax) | 185W | 189W | 192W |
| Open circuit voltage (Voc) | 34.5V | 34.7V | 34.9V |
| Short circuit current (Isc) | 7.19A | 7.27A | 7.35A |
| Maximum power voltage (Vmp) | 28.0V | 28.2V | 28.4V |
| Maximum power current (Imp) | 6.60A | 6.69A | 6.76A |
| Normal operating cell temperature (NOCT) ^a | 45.7°C | | |
| Maximum system voltage | 600V (UL), 1000V (IEC) | | |
| Fuse rating | 15A | | |
| Dimensions | 1625x1019x46mm (64.0x40.1x1.81 inches) | | |
| Weight | 20kg (44lbs.) | | |
| Output terminal | (+) 800mm / (-) 1250mm with SMA (PV-02) connector | | |
| Module efficiency | 15.4% | 15.7% | 16.0% |
| Packing condition | 2 modules per carton | | |
| Certification | IEC 61215 2nd ed., IEC 61730, UL1703 | | |

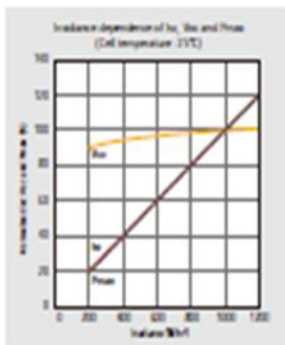
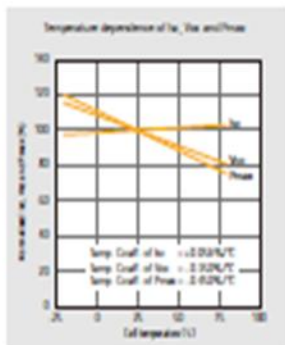
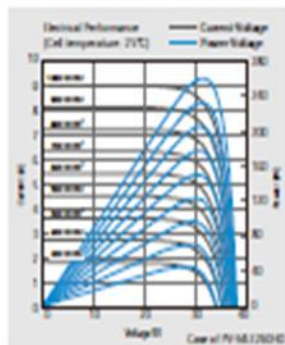
^aMeasured at 800W/m², ambient temp. 25°C, wind speed 1m/s.

Temperature Coefficient
 α (Isc) 0.056%/°C
 β (Voc) -0.290%/°C
 γ (Pmax) -0.450%/°C

DRAWINGS AND DIMENSIONS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS



Mitsubishi Electric US, Inc.
 3600-A Kaelin Avenue, Cypress, CA 90630-0007 714-920-2600 pv@meusa.com
www.mitsubishielectric.com

New publication effective Sep. 2012.
 Specifications are subject to change without notice.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,130355 | 0,418082 | 0,418082 | 3,207257 | 3,207257 | 0,148397509 | 0,00106126 | 0,030737072 | 0,031798328 | 0,180195836 |
| 0,279003 | 0,603846 | 0,603846 | 2,164299 | 2,164299 | 0,272782176 | 0,00261726 | 0,064674344 | 0,067291604 | 0,340073779 |
| 0,3919 | 0,744932 | 0,744932 | 1,900821 | 1,900821 | 0,392961476 | 0,00406849 | 0,090449498 | 0,094517984 | 0,487479461 |
| 0,461353 | 0,831727 | 0,831727 | 1,802799 | 1,802799 | 0,477743965 | 0,00507683 | 0,106306002 | 0,111382831 | 0,589126796 |
| 0,482628 | 0,858314 | 0,858314 | 1,778417 | 1,778417 | 0,505364205 | 0,00540332 | 0,111163259 | 0,116566584 | 0,62193079 |
| 0,454276 | 0,822882 | 0,822882 | 1,811416 | 1,811416 | 0,468727568 | 0,00497005 | 0,104690258 | 0,109660311 | 0,578387878 |
| 0,378228 | 0,727847 | 0,727847 | 1,924358 | 1,924358 | 0,377243888 | 0,00388036 | 0,087328121 | 0,091208484 | 0,468452372 |
| 0,259668 | 0,579683 | 0,579683 | 2,232401 | 2,232401 | 0,254401365 | 0,00239205 | 0,060260049 | 0,062652101 | 0,317053466 |
| 0,078532 | 0,35332 | 0,35332 | 4,499047 | 4,499047 | 0,114888009 | 0,00061359 | 0,018905557 | 0,019519147 | 0,134407156 |
| 0 | 0,128549 | 0 | -1,26863 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,10851 | 0 | 0,372852 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,3417 | 0 | 0,715416 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,55513 | 0 | 0,85614 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73425 | 0 | 0,927387 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86686 | 0 | 0,96548 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94393 | 0 | 0,983745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,96202 | 0 | 0,988048 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,92705 | 0 | 0,980306 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83243 | 0 | 0,95686 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,68459 | 0 | 0,910774 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,49363 | 0 | 0,824291 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,27254 | 0 | 0,645926 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,0364 | 0 | 0,156239 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0,198699 | 0 | -4,43019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,129622 | 0,416737 | 0,416737 | 3,215003 | 3,215003 | 0,147435184 | 0,00105251 | 0,030511145 | 0,031563652 | 0,178998836 |
| 0,278553 | 0,602854 | 0,602854 | 2,164231 | 2,164231 | 0,271643139 | 0,00260709 | 0,064453262 | 0,067060349 | 0,338703488 |
| 0,391792 | 0,744367 | 0,744367 | 1,899903 | 1,899903 | 0,391891201 | 0,00405957 | 0,090260973 | 0,094320543 | 0,486211744 |
| 0,461622 | 0,831633 | 0,831633 | 1,801545 | 1,801545 | 0,476976673 | 0,00507172 | 0,106175523 | 0,111247244 | 0,588223916 |
| 0,483284 | 0,858703 | 0,858703 | 1,77681 | 1,77681 | 0,505061413 | 0,00540375 | 0,111112364 | 0,116516118 | 0,621577531 |
| 0,455301 | 0,823734 | 0,823734 | 1,809206 | 1,809206 | 0,468932907 | 0,00497645 | 0,104735056 | 0,109711507 | 0,578644414 |
| 0,379582 | 0,729108 | 0,729108 | 1,920819 | 1,920819 | 0,377868705 | 0,00389172 | 0,087478204 | 0,091369919 | 0,469238624 |
| 0,261286 | 0,581275 | 0,581275 | 2,224672 | 2,224672 | 0,255243323 | 0,00240613 | 0,060517833 | 0,062923961 | 0,318167284 |
| 0,080353 | 0,355165 | 0,355165 | 4,42008 | 4,42008 | 0,115570696 | 0,00062718 | 0,019282265 | 0,019909446 | 0,135480142 |
| 0 | 0,130482 | 0 | -1,31219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,10661 | 0 | 0,368697 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,33996 | 0 | 0,714376 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,55367 | 0 | 0,855885 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73316 | 0 | 0,927435 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86621 | 0 | 0,965684 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94375 | 0 | 0,984058 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,129139841 | 0,12914 | 0,406524 | 0,406524 | 3,147936 | 3,147936 | 0,152135275 | 0,00112715 | 0,033405029 | 0,034532184 | 0,186667459 |
| 0,281307257 | 0,281307 | 0,596686 | 0,596686 | 2,121118 | 2,121118 | 0,287652818 | 0,00284566 | 0,071644978 | 0,074490634 | 0,362143452 |
| 0,398220909 | 0,398221 | 0,742792 | 0,742792 | 1,865275 | 1,865275 | 0,421280721 | 0,00447654 | 0,101025592 | 0,10550213 | 0,526782851 |
| 0,471913326 | 0,471913 | 0,834884 | 0,834884 | 1,769147 | 1,769147 | 0,518507028 | 0,00564315 | 0,119544631 | 0,125187782 | 0,64369481 |
| 0,497362491 | 0,497362 | 0,866688 | 0,866688 | 1,742568 | 1,742568 | 0,554413189 | 0,00607094 | 0,125940052 | 0,13201099 | 0,686424179 |
| 0,472834087 | 0,472834 | 0,836035 | 0,836035 | 1,768136 | 1,768136 | 0,519785282 | 0,00565841 | 0,11977602 | 0,125434426 | 0,645219707 |
| 0,399999682 | 0,4 | 0,745015 | 0,745015 | 1,862538 | 1,862538 | 0,423509351 | 0,00450344 | 0,101472601 | 0,105976036 | 0,529485387 |
| 0,283822821 | 0,283823 | 0,59983 | 0,59983 | 2,113394 | 2,113394 | 0,290260801 | 0,00287791 | 0,072277144 | 0,07515505 | 0,365415851 |
| 0,10420589 | 0,104206 | 0,375364 | 0,375364 | 3,602141 | 3,602141 | 0,134285993 | 0,00088915 | 0,027139082 | 0,028028232 | 0,162314225 |
| -0,075536172 | 0 | 0,150743 | 0 | -1,99563 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,266213708 | 0 | -0,08754 | 0 | 0,328852 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,454832358 | 0 | -0,32326 | 0 | 0,710723 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,628538073 | 0 | -0,54034 | 0 | 0,859674 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,775493095 | 0 | -0,72399 | 0 | 0,933581 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,885682683 | 0 | -0,86169 | 0 | 0,972909 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,951597597 | 0 | -0,94406 | 0 | 0,992081 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,968747694 | 0 | -0,96681 | 0 | 0,997995 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,944537266 | 0 | -0,93655 | 0 | 0,991543 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,871955869 | 0 | -0,84585 | 0 | 0,970055 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,755949804 | 0 | -0,70087 | 0 | 0,927144 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,604424694 | 0 | -0,51151 | 0 | 0,846284 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,427706723 | 0 | -0,29067 | 0 | 0,679606 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,23783893 | 0 | -0,0534 | 0 | 0,224507 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,04776049 | 0 | 0,184142 | 0 | -3,85554 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,129575063 | 0,129575 | 0,405757 | 0,405757 | 3,131441 | 3,131441 | 0,151066355 | 0,00112487 | 0,033326881 | 0,034451751 | 0,185518107 |
| 0,282082607 | 0,282083 | 0,596344 | 0,596344 | 2,114074 | 2,114074 | 0,286232779 | 0,00283999 | 0,071455245 | 0,07429523 | 0,360528009 |
| 0,399369002 | 0,399369 | 0,742915 | 0,742915 | 1,860222 | 1,860222 | 0,419703499 | 0,00446984 | 0,10077798 | 0,105247822 | 0,524951321 |
| 0,473441377 | 0,473441 | 0,835483 | 0,835483 | 1,764701 | 1,764701 | 0,51704963 | 0,00563842 | 0,119296791 | 0,124935212 | 0,641984842 |
| 0,49925182 | 0,499252 | 0,867738 | 0,867738 | 1,738076 | 1,738076 | 0,553338665 | 0,00607094 | 0,125749652 | 0,131820588 | 0,685159253 |
| 0,475041392 | 0,475041 | 0,837482 | 0,837482 | 1,762967 | 1,762967 | 0,519263646 | 0,00566485 | 0,11969681 | 0,125361663 | 0,644625309 |
| 0,402459995 | 0,40246 | 0,746778 | 0,746778 | 1,855533 | 1,855533 | 0,423563952 | 0,00451645 | 0,101550758 | 0,106067209 | 0,529631161 |
| 0,28645393 | 0,286454 | 0,601806 | 0,601806 | 2,100884 | 2,100884 | 0,290751314 | 0,00289588 | 0,072548118 | 0,075444 | 0,366195314 |
| 0,106917177 | 0,106917 | 0,377441 | 0,377441 | 3,530222 | 3,530222 | 0,13486786 | 0,00090904 | 0,02766219 | 0,028571235 | 0,163439096 |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| -0,072863589 | 0 | 0,152771 | 0 | -2,09668 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,263676506 | 0 | -0,08569 | 0 | 0,324964 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,452517988 | 0 | -0,32168 | 0 | 0,710864 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,626518802 | 0 | -0,53913 | 0 | 0,86051 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,773821078 | 0 | -0,72321 | 0 | 0,934593 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,884386411 | 0 | -0,86138 | 0 | 0,973986 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,950679955 | 0 | -0,94423 | 0 | 0,993211 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,968089493 | 0 | -0,96737 | 0 | 0,999252 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,944190807 | 0 | -0,9375 | 0 | 0,992913 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,871854628 | 0 | -0,8471 | 0 | 0,971609 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,756010547 | 0 | -0,70233 | 0 | 0,928999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,604553147 | 0 | -0,51306 | 0 | 0,848657 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,427803999 | 0 | -0,29218 | 0 | 0,682968 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,237808265 | 0 | -0,05474 | 0 | 0,23019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,047513841 | 0 | 0,183068 | 0 | -3,85294 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,130111022 | 0,130111 | 0,405044 | 0,405044 | 3,113061 | 3,113061 | 0,150007381 | 0,00112323 | 0,033264596 | 0,03438783 | 0,184395211 |
| 0,282961485 | 0,282961 | 0,596059 | 0,596059 | 2,106503 | 2,106503 | 0,284812326 | 0,00283485 | 0,071272532 | 0,07410738 | 0,358919706 |
| 0,400621039 | 0,400621 | 0,743097 | 0,743097 | 1,854862 | 1,854862 | 0,41810756 | 0,00446349 | 0,100529865 | 0,104993352 | 0,523100912 |
| 0,475071382 | 0,475071 | 0,836137 | 0,836137 | 1,760023 | 1,760023 | 0,515554026 | 0,00563382 | 0,119042756 | 0,124676577 | 0,640230603 |
| 0,501238846 | 0,501239 | 0,868838 | 0,868838 | 1,733381 | 1,733381 | 0,552211022 | 0,0060709 | 0,125549581 | 0,131620481 | 0,683831503 |
| 0,47734016 | 0,47734 | 0,838972 | 0,838972 | 1,757598 | 1,757598 | 0,518682723 | 0,00567119 | 0,119606912 | 0,125278099 | 0,643960822 |
| 0,405003981 | 0,405004 | 0,748574 | 0,748574 | 1,848313 | 1,848313 | 0,423563372 | 0,00452938 | 0,101619731 | 0,106149115 | 0,529712487 |
| 0,2891599 | 0,28916 | 0,603805 | 0,603805 | 2,088136 | 2,088136 | 0,291199591 | 0,00291389 | 0,072813836 | 0,075727729 | 0,36692732 |
| 0,109692554 | 0,109693 | 0,379527 | 0,379527 | 3,459914 | 3,459914 | 0,135431488 | 0,00092917 | 0,028187321 | 0,02911649 | 0,164547978 |
| -0,070135846 | 0 | 0,154797 | 0 | -2,20711 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,261092155 | 0 | -0,08384 | 0 | 0,321108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,450163015 | 0 | -0,32012 | 0 | 0,711117 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,624463559 | 0 | -0,53794 | 0 | 0,861443 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,772115494 | 0 | -0,72246 | 0 | 0,935688 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,883056583 | 0 | -0,8611 | 0 | 0,975137 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,949726377 | 0 | -0,94442 | 0 | 0,99441 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,967391337 | 0 | -0,96795 | 0 | 1,000574 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,943797901 | 0 | -0,93846 | 0 | 0,994347 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,871698956 | 0 | -0,84836 | 0 | 0,973227 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,756007927 | 0 | -0,70378 | 0 | 0,930921 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,604608966 | 0 | -0,51458 | 0 | 0,851099 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,427819662 | 0 | -0,29365 | 0 | 0,686388 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,237687914 | 0 | -0,05604 | 0 | 0,235792 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0,047170887 | 0 | 0,182042 | 0 | -3,85921 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,130748 | 0,130748 | 0,404385 | 0,404385 | 3,092861 | 3,092861 | 0,148959728 | 0,00112224 | 0,033218112 | 0,034340357 | 0,183300085 |
| 0,283943867 | 0,283944 | 0,595833 | 0,595833 | 2,098417 | 2,098417 | 0,283393199 | 0,00283025 | 0,071096995 | 0,073927242 | 0,35732044 |
| 0,40197667 | 0,401977 | 0,743337 | 0,743337 | 1,849204 | 1,849204 | 0,416494978 | 0,00445748 | 0,100281534 | 0,104739013 | 0,521233991 |
| 0,476802669 | 0,476803 | 0,836846 | 0,836846 | 1,75512 | 1,75512 | 0,514022291 | 0,00562936 | 0,11878285 | 0,12441221 | 0,638434502 |
| 0,503322594 | 0,503323 | 0,869988 | 0,869988 | 1,728489 | 1,728489 | 0,55103197 | 0,00607083 | 0,12534011 | 0,131410942 | 0,682442913 |
| 0,479729158 | 0,479729 | 0,840503 | 0,840503 | 1,752037 | 1,752037 | 0,518043573 | 0,00567741 | 0,119506448 | 0,125183853 | 0,643227427 |
| 0,407630213 | 0,40763 | 0,750402 | 0,750402 | 1,840889 | 1,840889 | 0,42350792 | 0,00454222 | 0,101679417 | 0,106221636 | 0,529729555 |
| 0,291939184 | 0,291939 | 0,605824 | 0,605824 | 2,075173 | 2,075173 | 0,291605317 | 0,00293192 | 0,0730739 | 0,076005818 | 0,367611135 |
| 0,112530441 | 0,11253 | 0,381619 | 0,381619 | 3,391253 | 3,391253 | 0,135976302 | 0,0009495 | 0,028713678 | 0,029663175 | 0,165639477 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 0,174574 | 0 | -4,3465 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,06636 | 0 | 0,284859 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,30589 | 0 | 0,72037 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,5277 | 0 | 0,8764 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,71667 | 0 | 0,951327 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85991 | 0 | 0,99073 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94768 | 0 | 1,010115 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,97475 | 0 | 1,017338 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94856 | 0 | 1,012143 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86083 | 0 | 0,992908 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,71752 | 0 | 0,953767 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,52841 | 0 | 0,879254 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,30638 | 0 | 0,723779 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,06657 | 0 | 0,287657 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0,174695 | 0 | -4,55494 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,142704 | 0,400959 | 0,400959 | 2,809733 | 2,809733 | 0,139378595 | 0,00114689 | 0,033587626 | 0,034734512 | 0,174113107 |
| 0,29942 | 0,596806 | 0,596806 | 1,993205 | 1,993205 | 0,269628689 | 0,00281397 | 0,069755441 | 0,072569412 | 0,342198101 |
| 0,421118 | 0,74889 | 0,74889 | 1,778339 | 1,778339 | 0,399892811 | 0,00441761 | 0,097841298 | 0,102258905 | 0,502151716 |
| 0,499502 | 0,846846 | 0,846846 | 1,69538 | 1,69538 | 0,497177915 | 0,00559356 | 0,11593119 | 0,121524752 | 0,618702667 |
| 0,529231 | 0,883998 | 0,883998 | 1,670344 | 1,670344 | 0,53681554 | 0,0060689 | 0,122792322 | 0,128861221 | 0,665676761 |
| 0,50828 | 0,857816 | 0,857816 | 1,687683 | 1,687683 | 0,508725263 | 0,00573224 | 0,11795712 | 0,12368936 | 0,632414623 |
| 0,438076 | 0,770083 | 0,770083 | 1,757874 | 1,757874 | 0,420052597 | 0,00466253 | 0,101755094 | 0,10641762 | 0,526470217 |
| 0,323403 | 0,626777 | 0,626777 | 1,938067 | 1,938067 | 0,293297256 | 0,00310863 | 0,075290385 | 0,07839901 | 0,371696266 |
| 0,143986 | 0,402561 | 0,402561 | 2,79584 | 2,79584 | 0,140269725 | 0,00115871 | 0,033883548 | 0,035042256 | 0,17531198 |
| 0 | 0,17647 | 0 | -4,77822 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,06474 | 0 | 0,28154 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,30463 | 0 | 0,722028 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,52685 | 0 | 0,878482 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,71626 | 0 | 0,953369 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85995 | 0 | 0,992699 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94813 | 0 | 1,012055 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,9755 | 0 | 1,019363 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94959 | 0 | 1,014263 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86203 | 0 | 0,995219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,71879 | 0 | 0,956408 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,52962 | 0 | 0,88244 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,30743 | 0 | 0,727846 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,06734 | 0 | 0,292456 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0,174269 | 0 | -4,71943 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,144457 | 0,400942 | 0,400942 | 2,775506 | 2,775506 | 0,138533443 | 0,00115265 | 0,033702682 | 0,034855336 | 0,173388779 |
| 0,301526 | 0,597228 | 0,597228 | 1,980689 | 1,980689 | 0,268326668 | 0,00281529 | 0,069663195 | 0,072478486 | 0,340805153 |
| 0,423575 | 0,749752 | 0,749752 | 1,770058 | 1,770058 | 0,398226188 | 0,00441571 | 0,097606223 | 0,102021935 | 0,500248124 |
| 0,502288 | 0,84812 | 0,84812 | 1,688511 | 1,688511 | 0,495385895 | 0,00559097 | 0,115627494 | 0,121218461 | 0,616604356 |
| 0,532301 | 0,885626 | 0,885626 | 1,663769 | 1,663769 | 0,53519272 | 0,00606863 | 0,12249889 | 0,128567522 | 0,663760242 |
| 0,511568 | 0,859717 | 0,859717 | 1,680551 | 1,680551 | 0,507531478 | 0,00573692 | 0,117752135 | 0,123489054 | 0,631020531 |
| 0,441503 | 0,772156 | 0,772156 | 1,748928 | 1,748928 | 0,419432953 | 0,00467352 | 0,101710713 | 0,106384231 | 0,525817184 |
| 0,326879 | 0,628912 | 0,628912 | 1,923991 | 1,923991 | 0,293231483 | 0,00312555 | 0,07546782 | 0,078593368 | 0,371824851 |
| 0,147402 | 0,404621 | 0,404621 | 2,745028 | 2,745028 | 0,140572855 | 0,00117971 | 0,034376782 | 0,035556494 | 0,176129349 |
| 0 | 0,178346 | 0 | -5,29785 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,06315 | 0 | 0,278292 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,3034 | 0 | 0,723832 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,52603 | 0 | 0,880675 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,71589 | 0 | 0,955499 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86001 | 0 | 0,994743 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,94859 | 0 | 1,014062 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,97627 | 0 | 1,021452 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,95062 | 0 | 1,016443 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86322 | 0 | 0,997591 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,72003 | 0 | 0,959113 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,53079 | 0 | 0,885694 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,30842 | 0 | 0,731975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,06806 | 0 | 0,29719 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0,173903 | 0 | -4,91259 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,146312 | 0,400986 | 0,400986 | 2,740625 | 2,740625 | 0,13771228 | 0,00115899 | 0,033830686 | 0,034989675 | 0,172701956 |
| 0,30373 | 0,59771 | 0,59771 | 1,967897 | 1,967897 | 0,267043197 | 0,00281713 | 0,069578432 | 0,072395566 | 0,339438763 |
| 0,426128 | 0,750669 | 0,750669 | 1,761604 | 1,761604 | 0,396565261 | 0,0044142 | 0,097373456 | 0,101787659 | 0,49835292 |
| 0,505164 | 0,84944 | 0,84944 | 1,681512 | 1,681512 | 0,493582164 | 0,00558856 | 0,115321575 | 0,120910139 | 0,614492303 |
| 0,535453 | 0,887291 | 0,887291 | 1,657085 | 1,657085 | 0,533540871 | 0,00606836 | 0,122199654 | 0,128268016 | 0,661808888 |
| 0,514929 | 0,861642 | 0,861642 | 1,673323 | 1,673323 | 0,506296038 | 0,00574144 | 0,117538963 | 0,123280405 | 0,629576443 |
| 0,444992 | 0,774243 | 0,774243 | 1,739904 | 1,739904 | 0,41876701 | 0,00468429 | 0,10165712 | 0,106341405 | 0,525108416 |
| 0,330407 | 0,631048 | 0,631048 | 1,909909 | 1,909909 | 0,29312395 | 0,00314227 | 0,075636447 | 0,078778718 | 0,371902667 |
| 0,15086 | 0,406669 | 0,406669 | 2,695679 | 2,695679 | 0,140851413 | 0,00120064 | 0,03486344 | 0,036064085 | 0,176915498 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0,071411 | -0,16691 | -0,16691 | -2,33732 | -2,33732 | -0,022230014 | 0,00040942 | 0,019638331 | 0,020047747 | -0,002182267 |
| 0,260228 | 0,069052 | 0,069052 | 0,265353 | 0,265353 | 0,024719423 | 0,00232375 | 0,074911561 | 0,077235309 | 0,101954732 |
| 0,448111 | 0,303848 | 0,303848 | 0,678063 | 0,678063 | 0,176093682 | 0,00534478 | 0,129911485 | 0,135256262 | 0,311349944 |
| 0,622257 | 0,521476 | 0,521476 | 0,838039 | 0,838039 | 0,409197995 | 0,00913918 | 0,180889947 | 0,190029123 | 0,599227118 |
| 0,770798 | 0,707106 | 0,707106 | 0,917368 | 0,917368 | 0,678551918 | 0,01313158 | 0,22437285 | 0,237504428 | 0,916056346 |
| 0,88361 | 0,848086 | 0,848086 | 0,959796 | 0,959796 | 0,926494907 | 0,01662867 | 0,257396906 | 0,274025575 | 1,200520482 |
| 0,953006 | 0,93481 | 0,93481 | 0,980906 | 0,980906 | 1,097618368 | 0,01897931 | 0,277711581 | 0,296690887 | 1,394309255 |
| 0,974257 | 0,961367 | 0,961367 | 0,986769 | 0,986769 | 1,152854679 | 0,01972951 | 0,283932462 | 0,303661974 | 1,456516653 |
| 0,945915 | 0,925947 | 0,925947 | 0,978891 | 0,978891 | 1,079481116 | 0,01873212 | 0,275635607 | 0,294367732 | 1,373848848 |
| 0,86991 | 0,830965 | 0,830965 | 0,955231 | 0,955231 | 0,894386892 | 0,01618256 | 0,253386433 | 0,269568998 | 1,16395589 |
| 0,751423 | 0,682893 | 0,682893 | 0,9088 | 0,9088 | 0,639737115 | 0,01257137 | 0,218701184 | 0,23127255 | 0,871009664 |
| 0,570404 | 0,456676 | 0,456676 | 0,800618 | 0,800618 | 0,330458521 | 0,00790936 | 0,165710697 | 0,173620055 | 0,504078576 |
| 0,390662 | 0,232054 | 0,232054 | 0,594002 | 0,594002 | 0,118774353 | 0,00430286 | 0,113094108 | 0,117396969 | 0,236171321 |
| 0,201098 | -0,00484 | -0,00484 | -0,02408 | -0,02408 | -0,001395003 | 0,00160332 | 0,057602134 | 0,059205453 | 0,05781045 |
| 0,01463 | -0,23787 | -0,23787 | -16,2595 | -16,2595 | -0,012554731 | 5,3659E-05 | 0,003016462 | 0,003070122 | -0,00948461 |
| 0 | -0,45115 | 0 | 2,891317 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,63014 | 0 | 2,105623 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76265 | 0 | 1,881692 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83965 | 0 | 1,798292 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85747 | 0 | 1,7822 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82227 | 0 | 1,815313 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,7275 | 0 | 1,929058 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,57961 | 0 | 2,239739 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,38867 | 0 | 3,66676 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,070812 | -0,16772 | -0,16772 | -2,36846 | -2,36846 | -0,022203349 | 0,00040504 | 0,019460931 | 0,019865973 | -0,002337376 |
| 0,259602 | 0,068213 | 0,068213 | 0,262761 | 0,262761 | 0,024364276 | 0,00231524 | 0,074722786 | 0,077038025 | 0,101402301 |
| 0,447504 | 0,303033 | 0,303033 | 0,677162 | 0,677162 | 0,175385355 | 0,00533272 | 0,129724917 | 0,135057633 | 0,310442988 |
| 0,621714 | 0,520741 | 0,520741 | 0,837589 | 0,837589 | 0,40825578 | 0,00912517 | 0,18071902 | 0,189844187 | 0,598099968 |
| 0,770359 | 0,706501 | 0,706501 | 0,917106 | 0,917106 | 0,677564224 | 0,01311793 | 0,224229933 | 0,237347863 | 0,914912086 |
| 0,88331 | 0,847654 | 0,847654 | 0,959634 | 0,959634 | 0,925672891 | 0,01661788 | 0,257292457 | 0,273910336 | 1,199583227 |
| 0,952868 | 0,934581 | 0,934581 | 0,980808 | 0,980808 | 1,097142585 | 0,01897347 | 0,277653438 | 0,296626906 | 1,393769491 |
| 0,974295 | 0,961357 | 0,961357 | 0,986721 | 0,986721 | 1,152828961 | 0,01972981 | 0,283925306 | 0,303655121 | 1,456484081 |
| 0,946129 | 0,926159 | 0,926159 | 0,978893 | 0,978893 | 1,079905911 | 0,01873856 | 0,275680646 | 0,294419203 | 1,374325114 |
| 0,87029 | 0,831383 | 0,831383 | 0,955295 | 0,955295 | 0,89515913 | 0,01619392 | 0,253481316 | 0,269675234 | 1,164834364 |
| 0,751946 | 0,683491 | 0,683491 | 0,908962 | 0,908962 | 0,640676629 | 0,01258552 | 0,218840166 | 0,231425689 | 0,872102317 |
| 0,571053 | 0,457431 | 0,457431 | 0,80103 | 0,80103 | 0,331326965 | 0,00792361 | 0,165889884 | 0,173813494 | 0,505140459 |
| 0,391376 | 0,232891 | 0,232891 | 0,595055 | 0,595055 | 0,119383897 | 0,00431474 | 0,113295437 | 0,117610173 | 0,23699407 |
| 0,201832 | -0,00398 | -0,00398 | -0,01973 | -0,01973 | -0,001150177 | 0,00161135 | 0,057812605 | 0,059423956 | 0,058273779 |
| 0,015337 | -0,23704 | -0,23704 | -15,4558 | -15,4558 | -0,012881018 | 5,7438E-05 | 0,003222451 | 0,003279889 | -0,009601129 |
| 0 | -0,45041 | 0 | 2,898398 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62954 | 0 | 2,107315 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76223 | 0 | 1,882427 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83944 | 0 | 1,798667 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,8575 | 0 | 1,782118 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82252 | 0 | 1,815004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,72795 | 0 | 1,928333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58023 | 0 | 2,237711 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,38943 | 0 | 3,652625 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,070134 | -0,16854 | -0,16854 | -2,40319 | -2,40319 | -0,02217633 | 0,00040023 | 0,019263038 | 0,019663272 | -0,002513058 |
| 0,258906 | 0,067362 | 0,067362 | 0,26018 | 0,26018 | 0,024006397 | 0,00230623 | 0,07452087 | 0,076827102 | 0,100833499 |
| 0,446837 | 0,302217 | 0,302217 | 0,676349 | 0,676349 | 0,174682199 | 0,0053202 | 0,1295325 | 0,134852696 | 0,309534895 |
| 0,621119 | 0,520017 | 0,520017 | 0,837225 | 0,837225 | 0,407334692 | 0,00911083 | 0,180548975 | 0,189659802 | 0,596994494 |
| 0,769877 | 0,705917 | 0,705917 | 0,916922 | 0,916922 | 0,676617625 | 0,01310413 | 0,224093608 | 0,237197736 | 0,913815361 |
| 0,882971 | 0,84725 | 0,84725 | 0,959544 | 0,959544 | 0,924910832 | 0,01660711 | 0,257198904 | 0,27380601 | 1,198716842 |
| 0,952696 | 0,934384 | 0,934384 | 0,980779 | 0,980779 | 1,09673962 | 0,01896777 | 0,27760879 | 0,296576558 | 1,393316178 |
| 0,974298 | 0,96138 | 0,96138 | 0,986741 | 0,986741 | 1,152879562 | 0,01973028 | 0,283932368 | 0,303662651 | 1,456542213 |
| 0,946307 | 0,9264 | 0,9264 | 0,978964 | 0,978964 | 1,08040023 | 0,01874509 | 0,275738696 | 0,294483783 | 1,374884013 |
| 0,870629 | 0,831827 | 0,831827 | 0,955431 | 0,955431 | 0,895985534 | 0,01620522 | 0,25358616 | 0,269791379 | 1,165776913 |
| 0,752423 | 0,684105 | 0,684105 | 0,909203 | 0,909203 | 0,641650343 | 0,01259944 | 0,218984417 | 0,231583859 | 0,873234202 |
| 0,571647 | 0,458191 | 0,458191 | 0,801529 | 0,801529 | 0,332207322 | 0,00793743 | 0,166067231 | 0,174004657 | 0,506211979 |
| 0,392025 | 0,23372 | 0,23372 | 0,596186 | 0,596186 | 0,119992648 | 0,00432608 | 0,113487903 | 0,117813983 | 0,237806631 |
| 0,20249 | -0,00314 | -0,00314 | -0,0155 | -0,0155 | -0,000909515 | 0,00161886 | 0,058006833 | 0,059625693 | 0,058716178 |
| 0,015959 | -0,23625 | -0,23625 | -14,8032 | -14,8032 | -0,013165303 | 6,0808E-05 | 0,003404965 | 0,003465774 | -0,009699529 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0 | -0,44971 | 0 | 2,904052 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62899 | 0 | 2,108473 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76187 | 0 | 1,882812 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83928 | 0 | 1,798754 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,8576 | 0 | 1,781759 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82283 | 0 | 1,814398 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,72845 | 0 | 1,927227 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58089 | 0 | 2,235038 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39021 | 0 | 3,636003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,069377 | -0,1694 | -0,1694 | -2,44168 | -2,44168 | -0,022148861 | 0,000395 | 0,019044903 | 0,019439906 | -0,002708955 |
| 0,258141 | 0,066501 | 0,066501 | 0,257613 | 0,257613 | 0,023646364 | 0,00229674 | 0,074306076 | 0,076602819 | 0,100249182 |
| 0,446111 | 0,301404 | 0,301404 | 0,675626 | 0,675626 | 0,173985289 | 0,00530724 | 0,129334486 | 0,134641723 | 0,308627012 |
| 0,620475 | 0,519305 | 0,519305 | 0,836947 | 0,836947 | 0,406436115 | 0,00909618 | 0,180380037 | 0,189476214 | 0,59591233 |
| 0,769352 | 0,705355 | 0,705355 | 0,916817 | 0,916817 | 0,675713545 | 0,01309019 | 0,223964058 | 0,237054251 | 0,912767796 |
| 0,882596 | 0,846874 | 0,846874 | 0,959527 | 0,959527 | 0,924209882 | 0,01659637 | 0,257116372 | 0,273712742 | 1,197922624 |
| 0,952489 | 0,934219 | 0,934219 | 0,980819 | 0,980819 | 1,0964101 | 0,01896221 | 0,277577703 | 0,296539915 | 1,392950015 |
| 0,974268 | 0,961436 | 0,961436 | 0,986829 | 0,986829 | 1,153006443 | 0,01973092 | 0,283953644 | 0,303684562 | 1,456691004 |
| 0,946449 | 0,926671 | 0,926671 | 0,979103 | 0,979103 | 1,080963373 | 0,0187517 | 0,275809687 | 0,29456139 | 1,375524764 |
| 0,870929 | 0,832294 | 0,832294 | 0,95564 | 0,95564 | 0,896864903 | 0,01621645 | 0,253700827 | 0,26991728 | 1,166782183 |
| 0,752852 | 0,684735 | 0,684735 | 0,909522 | 0,909522 | 0,642656817 | 0,0126131 | 0,219133748 | 0,231746849 | 0,874403666 |
| 0,572183 | 0,458955 | 0,458955 | 0,802112 | 0,802112 | 0,333098258 | 0,00795078 | 0,166242503 | 0,174193285 | 0,507291543 |
| 0,392607 | 0,234541 | 0,234541 | 0,597394 | 0,597394 | 0,120599644 | 0,00433687 | 0,113671246 | 0,118008121 | 0,238607766 |
| 0,203072 | -0,00232 | -0,00232 | -0,01142 | -0,01142 | -0,000673457 | 0,00162583 | 0,058184555 | 0,059810388 | 0,059136931 |
| 0,016496 | -0,23548 | -0,23548 | -14,2755 | -14,2755 | -0,013414301 | 6,3762E-05 | 0,003563754 | 0,003627517 | -0,009786784 |
| 0 | -0,44906 | 0 | 2,908246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62849 | 0 | 2,109089 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76156 | 0 | 1,882847 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83919 | 0 | 1,798552 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85775 | 0 | 1,781125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,8232 | 0 | 1,813494 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,72901 | 0 | 1,925744 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,5816 | 0 | 2,231732 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39103 | 0 | 3,617007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,068543 | -0,17027 | -0,17027 | -2,48412 | -2,48412 | -0,022120845 | 0,00038936 | 0,018806776 | 0,019196132 | -0,002924712 |
| 0,25731 | 0,06563 | 0,06563 | 0,255062 | 0,255062 | 0,023284747 | 0,00228678 | 0,074078662 | 0,076365446 | 0,099650193 |
| 0,445327 | 0,300593 | 0,300593 | 0,674994 | 0,674994 | 0,173295684 | 0,00529386 | 0,129131123 | 0,134424983 | 0,307720667 |
| 0,619782 | 0,518607 | 0,518607 | 0,836757 | 0,836757 | 0,405561421 | 0,00908124 | 0,180212426 | 0,189293669 | 0,59485509 |
| 0,768785 | 0,704815 | 0,704815 | 0,916791 | 0,916791 | 0,674853387 | 0,01307615 | 0,223841463 | 0,236917608 | 0,911770995 |
| 0,882183 | 0,846527 | 0,846527 | 0,959582 | 0,959582 | 0,923571175 | 0,01658568 | 0,257044988 | 0,273630672 | 1,197201847 |
| 0,952247 | 0,934086 | 0,934086 | 0,980928 | 0,980928 | 1,096154633 | 0,01895681 | 0,277560237 | 0,296517048 | 1,392671681 |
| 0,974203 | 0,961524 | 0,961524 | 0,986985 | 0,986985 | 1,153209543 | 0,01973172 | 0,283989127 | 0,303720844 | 1,456930387 |
| 0,946555 | 0,926972 | 0,926972 | 0,979311 | 0,979311 | 1,081594622 | 0,0187584 | 0,275893542 | 0,29465194 | 1,376246562 |
| 0,871186 | 0,832785 | 0,832785 | 0,95592 | 0,95592 | 0,897796014 | 0,0162276 | 0,253825182 | 0,270052781 | 1,167848796 |
| 0,753234 | 0,685381 | 0,685381 | 0,909918 | 0,909918 | 0,643694591 | 0,01262648 | 0,219287969 | 0,231914444 | 0,875609035 |
| 0,572662 | 0,459722 | 0,459722 | 0,802781 | 0,802781 | 0,333998422 | 0,00796366 | 0,166415459 | 0,174379117 | 0,508377539 |
| 0,393122 | 0,235353 | 0,235353 | 0,598676 | 0,598676 | 0,121203916 | 0,0043471 | 0,113845204 | 0,118192306 | 0,239396221 |
| 0,203577 | -0,00152 | -0,00152 | -0,00746 | -0,00746 | -0,000442449 | 0,00163226 | 0,058345501 | 0,059977758 | 0,059535309 |
| 0,016945 | -0,23475 | -0,23475 | -13,8536 | -13,8536 | -0,013632856 | 6,6293E-05 | 0,003698562 | 0,003764855 | -0,009868001 |
| 0 | -0,44845 | 0 | 2,910951 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62805 | 0 | 2,109161 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76131 | 0 | 1,882529 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83916 | 0 | 1,798062 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85796 | 0 | 1,780216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82362 | 0 | 1,812296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,72962 | 0 | 1,923888 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58236 | 0 | 2,227805 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39188 | 0 | 3,595755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0,067633 | -0,17116 | -0,17116 | -2,53075 | -2,53075 | -0,02209218 | 0,0003833 | 0,018548902 | 0,018932205 | -0,003159975 |
| 0,256412 | 0,064751 | 0,064751 | 0,252528 | 0,252528 | 0,022922109 | 0,00227637 | 0,07383888 | 0,076115253 | 0,099037362 |
| 0,444486 | 0,299786 | 0,299786 | 0,674454 | 0,674454 | 0,172614432 | 0,00528008 | 0,128922656 | 0,13420274 | 0,306817172 |
| 0,61904 | 0,517923 | 0,517923 | 0,836656 | 0,836656 | 0,404711963 | 0,00906605 | 0,18004636 | 0,189112406 | 0,593824369 |
| 0,768177 | 0,704298 | 0,704298 | 0,916844 | 0,916844 | 0,674038534 | 0,01306201 | 0,223725998 | 0,236788006 | 0,91082654 |
| 0,881734 | 0,846209 | 0,846209 | 0,95971 | 0,95971 | 0,922995823 | 0,01657507 | 0,256984873 | 0,27355994 | 1,196555762 |
| 0,951972 | 0,933985 | 0,933985 | 0,981105 | 0,981105 | 1,095973805 | 0,01895157 | 0,277556449 | 0,296508022 | 1,392481827 |
| 0,974105 | 0,961644 | 0,961644 | 0,987208 | 0,987208 | 1,153488781 | 0,01973268 | 0,284038806 | 0,303771487 | 1,457260268 |
| 0,946624 | 0,927302 | 0,927302 | 0,979588 | 0,979588 | 1,082293236 | 0,01876516 | 0,275990183 | 0,294755343 | 1,377048579 |
| 0,871403 | 0,833298 | 0,833298 | 0,956272 | 0,956272 | 0,898777628 | 0,01623864 | 0,25395908 | 0,270197722 | 1,16897535 |
| 0,753566 | 0,68604 | 0,68604 | 0,91039 | 0,91039 | 0,64476219 | 0,01263955 | 0,219446881 | 0,232086426 | 0,876848616 |
| 0,573081 | 0,460489 | 0,460489 | 0,803532 | 0,803532 | 0,334906453 | 0,00797603 | 0,166585857 | 0,174561886 | 0,509468339 |
| 0,393568 | 0,236154 | 0,236154 | 0,600032 | 0,600032 | 0,121804481 | 0,00435674 | 0,114009511 | 0,118366251 | 0,240170732 |
| 0,204004 | -0,00074 | -0,00074 | -0,00364 | -0,00364 | -0,000216941 | 0,00163812 | 0,0584894 | 0,060127518 | 0,059910577 |
| 0,017307 | -0,23406 | -0,23406 | -13,5238 | -13,5238 | -0,013824455 | 6,8392E-05 | 0,003809128 | 0,00387752 | -0,009946935 |
| 0 | -0,44789 | 0 | 2,912142 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62766 | 0 | 2,108685 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76113 | 0 | 1,881859 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83919 | 0 | 1,797283 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85824 | 0 | 1,779034 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,8241 | 0 | 1,810807 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73028 | 0 | 1,921665 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58315 | 0 | 2,22327 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39276 | 0 | 3,572373 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,066649 | -0,17208 | -0,17208 | -2,58183 | -2,58183 | -0,022062763 | 0,00037685 | 0,01827152 | 0,018648374 | -0,003414389 |
| 0,255449 | 0,063866 | 0,063866 | 0,250015 | 0,250015 | 0,022559 | 0,00226552 | 0,07358698 | 0,075852504 | 0,098411504 |
| 0,44359 | 0,298984 | 0,298984 | 0,674009 | 0,674009 | 0,171942566 | 0,00526593 | 0,128709324 | 0,133975254 | 0,30591782 |
| 0,618251 | 0,517255 | 0,517255 | 0,836643 | 0,836643 | 0,403889076 | 0,00905061 | 0,179882055 | 0,188932662 | 0,592821738 |
| 0,767528 | 0,703805 | 0,703805 | 0,916977 | 0,916977 | 0,673270351 | 0,0130478 | 0,223617835 | 0,236665638 | 0,909935989 |
| 0,881249 | 0,845921 | 0,845921 | 0,959912 | 0,959912 | 0,922484915 | 0,01656453 | 0,256936144 | 0,273500679 | 1,195985594 |
| 0,951663 | 0,933917 | 0,933917 | 0,981352 | 0,981352 | 1,095868178 | 0,01894651 | 0,277566395 | 0,296512902 | 1,39238108 |
| 0,973972 | 0,961796 | 0,961796 | 0,987499 | 0,987499 | 1,153844053 | 0,01973381 | 0,284102668 | 0,303836476 | 1,457680529 |
| 0,946656 | 0,92766 | 0,92766 | 0,979933 | 0,979933 | 1,083058455 | 0,01877198 | 0,276099529 | 0,294871508 | 1,377929963 |
| 0,871577 | 0,833834 | 0,833834 | 0,956696 | 0,956696 | 0,899808485 | 0,01624956 | 0,254102378 | 0,27035194 | 1,170160425 |
| 0,75385 | 0,686712 | 0,686712 | 0,91094 | 0,91094 | 0,645858122 | 0,01265229 | 0,219610285 | 0,232262572 | 0,878120694 |
| 0,573441 | 0,461257 | 0,461257 | 0,804367 | 0,804367 | 0,335820976 | 0,00798788 | 0,166753448 | 0,174741323 | 0,510562299 |
| 0,393945 | 0,236942 | 0,236942 | 0,601461 | 0,601461 | 0,122400353 | 0,00436577 | 0,114163893 | 0,118529665 | 0,240930017 |
| 0,204351 | 8,92E-06 | 8,92E-06 | 4,36E-05 | 4,36E-05 | 2,61164E-06 | 0,0016434 | 0,058615973 | 0,060259374 | 0,060261986 |
| 0,01758 | -0,2334 | -0,2334 | -13,2762 | -13,2762 | -0,013991562 | 7,0052E-05 | 0,003895185 | 0,003965237 | -0,010026325 |
| 0 | -0,44737 | 0 | 2,911802 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62732 | 0 | 2,10766 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,761 | 0 | 1,880836 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83928 | 0 | 1,796218 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85858 | 0 | 1,777582 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82464 | 0 | 1,809028 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73098 | 0 | 1,919079 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58399 | 0 | 2,218142 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39367 | 0 | 3,546993 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,06559 | -0,17301 | -0,17301 | -2,63768 | -2,63768 | -0,022032483 | 0,00037002 | 0,017974866 | 0,018344882 | -0,0036876 |
| 0,254422 | 0,062976 | 0,062976 | 0,247524 | 0,247524 | 0,022195962 | 0,00225425 | 0,073323207 | 0,075577459 | 0,097773421 |
| 0,44264 | 0,298189 | 0,298189 | 0,67366 | 0,67366 | 0,171281105 | 0,00525142 | 0,128491365 | 0,133742782 | 0,305023887 |
| 0,617416 | 0,516604 | 0,516604 | 0,83672 | 0,83672 | 0,403094079 | 0,00903495 | 0,17971972 | 0,18875467 | 0,591848748 |
| 0,766839 | 0,703338 | 0,703338 | 0,91719 | 0,91719 | 0,67255018 | 0,01303355 | 0,223517145 | 0,236550694 | 0,909100875 |
| 0,880728 | 0,845663 | 0,845663 | 0,960186 | 0,960186 | 0,92203952 | 0,0165541 | 0,256898918 | 0,27345302 | 1,19549254 |
| 0,95132 | 0,933881 | 0,933881 | 0,981669 | 0,981669 | 1,095838294 | 0,01894162 | 0,277590125 | 0,296531747 | 1,392370041 |
| 0,973805 | 0,961981 | 0,961981 | 0,987857 | 0,987857 | 1,154275235 | 0,0197351 | 0,284180697 | 0,303915794 | 1,458191029 |
| 0,946651 | 0,928046 | 0,928046 | 0,980347 | 0,980347 | 1,083889499 | 0,01877884 | 0,276221495 | 0,29500034 | 1,378889839 |
| 0,871708 | 0,83439 | 0,83439 | 0,95719 | 0,95719 | 0,900887309 | 0,01626034 | 0,254254927 | 0,270515269 | 1,171402578 |
| 0,754082 | 0,687395 | 0,687395 | 0,911565 | 0,911565 | 0,646980882 | 0,01266468 | 0,219777977 | 0,232442657 | 0,87942354 |
| 0,57374 | 0,462023 | 0,462023 | 0,805283 | 0,805283 | 0,336740607 | 0,00799917 | 0,16691798 | 0,174917152 | 0,511657759 |
| 0,394251 | 0,237717 | 0,237717 | 0,60296 | 0,60296 | 0,122990534 | 0,00437418 | 0,114308077 | 0,118682253 | 0,241672787 |
| 0,204617 | 0,000735 | 0,000735 | 0,003591 | 0,003591 | 0,00021575 | 0,00164809 | 0,058724938 | 0,060373031 | 0,060588781 |
| 0,017764 | -0,23277 | -0,23277 | -13,104 | -13,104 | -0,014135839 | 7,1265E-05 | 0,003956464 | 0,004027729 | -0,01010811 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0 | -0,4469 | 0 | 2,90992 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62704 | 0 | 2,106086 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76093 | 0 | 1,879462 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83944 | 0 | 1,794867 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85897 | 0 | 1,775861 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82524 | 0 | 1,806964 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73174 | 0 | 1,916136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58487 | 0 | 2,212437 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39461 | 0 | 3,519751 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,064459 | -0,17395 | -0,17395 | -2,69865 | -2,69865 | -0,022001224 | 0,0003628 | 0,01765917 | 0,01802197 | -0,003979254 |
| 0,253333 | 0,062081 | 0,062081 | 0,245058 | 0,245058 | 0,021833528 | 0,00224257 | 0,073047801 | 0,075290373 | 0,097123901 |
| 0,441635 | 0,297401 | 0,297401 | 0,673408 | 0,673408 | 0,170631055 | 0,00523656 | 0,12826901 | 0,133505575 | 0,30413663 |
| 0,616535 | 0,515971 | 0,515971 | 0,836888 | 0,836888 | 0,402328269 | 0,0090191 | 0,179559563 | 0,188578658 | 0,590906927 |
| 0,766112 | 0,702895 | 0,702895 | 0,917484 | 0,917484 | 0,671879345 | 0,01301927 | 0,223424093 | 0,236443361 | 0,908322706 |
| 0,880172 | 0,845436 | 0,845436 | 0,960534 | 0,960534 | 0,921660684 | 0,01654379 | 0,256873305 | 0,273417093 | 1,195077776 |
| 0,950944 | 0,933879 | 0,933879 | 0,982054 | 0,982054 | 1,095884671 | 0,01893692 | 0,27762769 | 0,296564615 | 1,392449286 |
| 0,973604 | 0,962196 | 0,962196 | 0,988283 | 0,988283 | 1,154782181 | 0,01973655 | 0,284272872 | 0,30400942 | 1,458791601 |
| 0,946608 | 0,928459 | 0,928459 | 0,980828 | 0,980828 | 1,08478557 | 0,01878575 | 0,276355993 | 0,295141738 | 1,379927309 |
| 0,871795 | 0,834967 | 0,834967 | 0,957756 | 0,957756 | 0,902012807 | 0,01627096 | 0,254416574 | 0,270687538 | 1,172700344 |
| 0,754264 | 0,68809 | 0,68809 | 0,912266 | 0,912266 | 0,64812895 | 0,0126767 | 0,21994975 | 0,232626451 | 0,880755402 |
| 0,573977 | 0,462787 | 0,462787 | 0,806281 | 0,806281 | 0,33766395 | 0,0080099 | 0,167079199 | 0,175089095 | 0,512753045 |
| 0,394485 | 0,238478 | 0,238478 | 0,604529 | 0,604529 | 0,123574023 | 0,00438193 | 0,114441781 | 0,118823715 | 0,242397738 |
| 0,204803 | 0,001434 | 0,001434 | 0,007001 | 0,007001 | 0,000422011 | 0,00165218 | 0,058816009 | 0,060468189 | 0,0608902 |
| 0,017857 | -0,23219 | -0,23219 | -13,003 | -13,003 | -0,014258278 | 7,2023E-05 | 0,003992688 | 0,004064711 | -0,010193567 |
| 0 | -0,44647 | 0 | 2,90649 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62681 | 0 | 2,103963 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76092 | 0 | 1,877738 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83965 | 0 | 1,793232 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85943 | 0 | 1,773874 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82589 | 0 | 1,804619 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73255 | 0 | 1,912845 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58578 | 0 | 2,206173 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39558 | 0 | 3,490785 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,063256 | -0,17491 | -0,17491 | -2,76515 | -2,76515 | -0,021968863 | 0,00035521 | 0,01732466 | 0,017679872 | -0,00428899 |
| 0,252181 | 0,061184 | 0,061184 | 0,24262 | 0,24262 | 0,021472219 | 0,0022305 | 0,072761 | 0,074991497 | 0,096463716 |
| 0,440579 | 0,296622 | 0,296622 | 0,673256 | 0,673256 | 0,169993402 | 0,00522139 | 0,128042489 | 0,133263882 | 0,303257284 |
| 0,615609 | 0,515356 | 0,515356 | 0,837148 | 0,837148 | 0,401592928 | 0,00900307 | 0,179401787 | 0,188404853 | 0,58999778 |
| 0,765345 | 0,702479 | 0,702479 | 0,917859 | 0,917859 | 0,671259143 | 0,01300498 | 0,223338841 | 0,236343822 | 0,907602966 |
| 0,879582 | 0,84524 | 0,84524 | 0,960956 | 0,960956 | 0,921349429 | 0,01653361 | 0,256859414 | 0,27339302 | 1,194742449 |
| 0,950535 | 0,933909 | 0,933909 | 0,982509 | 0,982509 | 1,096007807 | 0,01893242 | 0,277679134 | 0,296611558 | 1,392619365 |
| 0,973368 | 0,962444 | 0,962444 | 0,988776 | 0,988776 | 1,155364724 | 0,01973816 | 0,284379172 | 0,30411733 | 1,459482053 |
| 0,946526 | 0,928899 | 0,928899 | 0,981377 | 0,981377 | 1,08574585 | 0,01879267 | 0,276502931 | 0,295295603 | 1,381041453 |
| 0,871838 | 0,835563 | 0,835563 | 0,958392 | 0,958392 | 0,90318367 | 0,01628141 | 0,254587164 | 0,270868573 | 1,174052243 |
| 0,754394 | 0,688793 | 0,688793 | 0,913042 | 0,913042 | 0,649300794 | 0,01268833 | 0,220125394 | 0,232813721 | 0,882114515 |
| 0,574152 | 0,463547 | 0,463547 | 0,807359 | 0,807359 | 0,338589601 | 0,00802003 | 0,167236845 | 0,175256871 | 0,513846471 |
| 0,394647 | 0,239222 | 0,239222 | 0,606166 | 0,606166 | 0,12414981 | 0,00438903 | 0,114564721 | 0,118953749 | 0,243103559 |
| 0,204906 | 0,002104 | 0,002104 | 0,01027 | 0,01027 | 0,00062093 | 0,00165565 | 0,058888893 | 0,060544541 | 0,061165471 |
| 0,017859 | -0,23165 | -0,23165 | -12,9711 | -12,9711 | -0,014359283 | 7,232E-05 | 0,004003575 | 0,004075895 | -0,010283387 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0 | -0,4461 | 0 | 2,901515 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62664 | 0 | 2,101295 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76097 | 0 | 1,875668 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83993 | 0 | 1,791317 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,85995 | 0 | 1,771626 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82659 | 0 | 1,801996 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,7334 | 0 | 1,909211 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58673 | 0 | 2,199366 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39657 | 0 | 3,460236 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,061983 | -0,17589 | -0,17589 | -2,83766 | -2,83766 | -0,021935265 | 0,00034726 | 0,016971556 | 0,017318819 | -0,004616446 |
| 0,25097 | 0,060286 | 0,060286 | 0,240212 | 0,240212 | 0,0211112544 | 0,00221804 | 0,072463034 | 0,074681078 | 0,095793623 |
| 0,439471 | 0,295853 | 0,295853 | 0,673204 | 0,673204 | 0,169369122 | 0,00520592 | 0,127812027 | 0,133017947 | 0,302387069 |
| 0,61464 | 0,514761 | 0,514761 | 0,8375 | 0,8375 | 0,400889313 | 0,00898688 | 0,179246593 | 0,188233475 | 0,589122788 |
| 0,764541 | 0,70209 | 0,70209 | 0,918316 | 0,918316 | 0,670690854 | 0,01299071 | 0,223261549 | 0,236252257 | 0,906943111 |
| 0,878957 | 0,845075 | 0,845075 | 0,961452 | 0,961452 | 0,921106754 | 0,01652357 | 0,256857351 | 0,273380924 | 1,194487677 |
| 0,950092 | 0,933972 | 0,933972 | 0,983033 | 0,983033 | 1,096208173 | 0,01892813 | 0,277744499 | 0,296672627 | 1,3928808 |
| 0,973098 | 0,962722 | 0,962722 | 0,989337 | 0,989337 | 1,156022675 | 0,01973993 | 0,284499569 | 0,304239496 | 1,460262171 |
| 0,946406 | 0,929365 | 0,929365 | 0,981994 | 0,981994 | 1,086769502 | 0,01879961 | 0,276662215 | 0,295461829 | 1,382231331 |
| 0,871837 | 0,836177 | 0,836177 | 0,959098 | 0,959098 | 0,904398573 | 0,01629166 | 0,254766538 | 0,271058198 | 1,175456772 |
| 0,754471 | 0,689506 | 0,689506 | 0,913893 | 0,913893 | 0,650494869 | 0,01269954 | 0,220304693 | 0,233004229 | 0,883499098 |
| 0,574263 | 0,464301 | 0,464301 | 0,808518 | 0,808518 | 0,339516147 | 0,00802954 | 0,167390653 | 0,175420192 | 0,514936339 |
| 0,394735 | 0,239948 | 0,239948 | 0,607871 | 0,607871 | 0,124716884 | 0,00439544 | 0,114676609 | 0,119072045 | 0,243788929 |
| 0,204926 | 0,002745 | 0,002745 | 0,013397 | 0,013397 | 0,000812043 | 0,00165848 | 0,058943294 | 0,060601778 | 0,06141382 |
| 0,017769 | -0,23114 | -0,23114 | -13,0085 | -13,0085 | -0,014438697 | 7,2148E-05 | 0,003988841 | 0,004060989 | -0,010377709 |
| 0 | -0,44578 | 0 | 2,895003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62653 | 0 | 2,098084 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76109 | 0 | 1,873253 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84027 | 0 | 1,789123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86052 | 0 | 1,769119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82735 | 0 | 1,799102 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,7343 | 0 | 1,905244 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58772 | 0 | 2,192037 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39759 | 0 | 3,428242 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,060642 | -0,17687 | -0,17687 | -2,91673 | -2,91673 | -0,021900286 | 0,00033896 | 0,016600076 | 0,016939037 | -0,004961249 |
| 0,249699 | 0,059388 | 0,059388 | 0,237837 | 0,237837 | 0,020755004 | 0,00220523 | 0,072154134 | 0,074359359 | 0,095114363 |
| 0,438312 | 0,295096 | 0,295096 | 0,673255 | 0,673255 | 0,168759169 | 0,00519016 | 0,127577846 | 0,132768011 | 0,30152718 |
| 0,613628 | 0,514186 | 0,514186 | 0,837944 | 0,837944 | 0,400218665 | 0,00897057 | 0,179094177 | 0,188064742 | 0,588283407 |
| 0,763699 | 0,701729 | 0,701729 | 0,918855 | 0,918855 | 0,67017573 | 0,01297647 | 0,223192374 | 0,236168842 | 0,906344572 |
| 0,878299 | 0,844942 | 0,844942 | 0,962022 | 0,962022 | 0,920933634 | 0,0165137 | 0,256867219 | 0,273380921 | 1,194314555 |
| 0,949617 | 0,934067 | 0,934067 | 0,983626 | 0,983626 | 1,09648622 | 0,01892404 | 0,277823825 | 0,296747869 | 1,393234089 |
| 0,972793 | 0,96303 | 0,96303 | 0,989965 | 0,989965 | 1,156755825 | 0,01974185 | 0,284634036 | 0,304375889 | 1,461131714 |
| 0,946247 | 0,929857 | 0,929857 | 0,982678 | 0,982678 | 1,087855672 | 0,01880656 | 0,276833747 | 0,295640306 | 1,383495978 |
| 0,87179 | 0,836808 | 0,836808 | 0,959874 | 0,959874 | 0,905656179 | 0,0163017 | 0,254954533 | 0,271256233 | 1,176912412 |
| 0,754494 | 0,690225 | 0,690225 | 0,914818 | 0,914818 | 0,65170962 | 0,01271031 | 0,220487429 | 0,233197735 | 0,884907355 |
| 0,574309 | 0,46505 | 0,46505 | 0,809755 | 0,809755 | 0,340442171 | 0,00803841 | 0,167540356 | 0,175578769 | 0,516020939 |
| 0,39475 | 0,240656 | 0,240656 | 0,609643 | 0,609643 | 0,125274227 | 0,00440114 | 0,114777151 | 0,119178292 | 0,244452519 |
| 0,204862 | 0,003355 | 0,003355 | 0,016379 | 0,016379 | 0,000994881 | 0,00166067 | 0,058978911 | 0,060639584 | 0,061634465 |
| 0,017586 | -0,23068 | -0,23068 | -13,1175 | -13,1175 | -0,014495793 | 7,1499E-05 | 0,003948194 | 0,004019693 | -0,0104761 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0 | -0,4455 | 0 | 2,886968 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62647 | 0 | 2,094337 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76126 | 0 | 1,870497 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84067 | 0 | 1,786656 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86116 | 0 | 1,766358 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82816 | 0 | 1,795942 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73525 | 0 | 1,90095 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,58874 | 0 | 2,184204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39863 | 0 | 3,394944 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,059232 | -0,17787 | -0,17787 | -3,00299 | -3,00299 | -0,021863764 | 0,00033031 | 0,016210433 | 0,016540747 | -0,005323017 |
| 0,248369 | 0,058491 | 0,058491 | 0,235498 | 0,235498 | 0,020400086 | 0,00219206 | 0,071834523 | 0,074026578 | 0,094426664 |
| 0,437104 | 0,29435 | 0,29435 | 0,67341 | 0,67341 | 0,168164486 | 0,00517415 | 0,127340161 | 0,132514308 | 0,300678794 |
| 0,612574 | 0,513633 | 0,513633 | 0,838483 | 0,838483 | 0,399582202 | 0,00895414 | 0,178944732 | 0,187898869 | 0,58748107 |
| 0,762821 | 0,701395 | 0,701395 | 0,919476 | 0,919476 | 0,669715002 | 0,01296228 | 0,223131467 | 0,23609375 | 0,905808752 |
| 0,877607 | 0,844841 | 0,844841 | 0,962665 | 0,962665 | 0,920831021 | 0,01650401 | 0,256889116 | 0,273393127 | 1,194224148 |
| 0,949108 | 0,934196 | 0,934196 | 0,984288 | 0,984288 | 1,096842374 | 0,01892018 | 0,277917149 | 0,296837328 | 1,393679702 |
| 0,972452 | 0,963369 | 0,963369 | 0,990659 | 0,990659 | 1,157563945 | 0,01974393 | 0,284782541 | 0,304526474 | 1,462090419 |
| 0,946048 | 0,930372 | 0,930372 | 0,98343 | 0,98343 | 1,089003488 | 0,0188135 | 0,277017426 | 0,295830925 | 1,384834412 |
| 0,871696 | 0,837456 | 0,837456 | 0,960719 | 0,960719 | 0,906955134 | 0,01631151 | 0,255150985 | 0,271462494 | 1,178417628 |
| 0,754463 | 0,69095 | 0,69095 | 0,915817 | 0,915817 | 0,652943482 | 0,01272061 | 0,22067338 | 0,233393995 | 0,886337477 |
| 0,57429 | 0,46579 | 0,46579 | 0,811071 | 0,811071 | 0,341366246 | 0,00804662 | 0,167685683 | 0,175732307 | 0,517098553 |
| 0,394688 | 0,241344 | 0,241344 | 0,61148 | 0,61148 | 0,125820822 | 0,00440612 | 0,114866049 | 0,119272173 | 0,245092994 |
| 0,204713 | 0,003934 | 0,003934 | 0,019215 | 0,019215 | 0,001168978 | 0,0016622 | 0,058995438 | 0,060657642 | 0,06182662 |
| 0,017309 | -0,23026 | -0,23026 | -13,3027 | -13,3027 | -0,014529211 | 7,0366E-05 | 0,003881338 | 0,003951704 | -0,010577507 |
| 0 | -0,44528 | 0 | 2,877432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62648 | 0 | 2,09006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76149 | 0 | 1,867406 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84113 | 0 | 1,783918 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86185 | 0 | 1,763348 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82903 | 0 | 1,79252 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73623 | 0 | 1,89634 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,5898 | 0 | 2,175889 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,39969 | 0 | 3,360478 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,057756 | -0,17888 | -0,17888 | -3,09718 | -3,09718 | -0,024776949 | 0,00033356 | 0,015765827 | 0,016099391 | -0,008677557 |
| 0,246983 | 0,057596 | 0,057596 | 0,233199 | 0,233199 | 0,021534047 | 0,0022615 | 0,071336963 | 0,073598464 | 0,095132511 |
| 0,435848 | 0,293618 | 0,293618 | 0,673672 | 0,673672 | 0,177676687 | 0,00535429 | 0,126801532 | 0,132155817 | 0,309832504 |
| 0,611479 | 0,513102 | 0,513102 | 0,839117 | 0,839117 | 0,42067322 | 0,00927794 | 0,178379716 | 0,187657659 | 0,608330879 |
| 0,761907 | 0,701091 | 0,701091 | 0,920179 | 0,920179 | 0,703688639 | 0,01344121 | 0,222556546 | 0,235997755 | 0,939686394 |
| 0,876881 | 0,844773 | 0,844773 | 0,963383 | 0,963383 | 0,96658487 | 0,01712259 | 0,256321446 | 0,273444036 | 1,240028907 |
| 0,948566 | 0,934356 | 0,934356 | 0,98502 | 0,98502 | 1,150923244 | 0,01963685 | 0,277373392 | 0,297010237 | 1,447933481 |
| 0,972076 | 0,963737 | 0,963737 | 0,991421 | 0,991421 | 1,214796546 | 0,02049806 | 0,284277729 | 0,30477579 | 1,519572336 |
| 0,94581 | 0,930912 | 0,930912 | 0,984249 | 0,984249 | 1,143545361 | 0,01953706 | 0,276563938 | 0,296101001 | 1,439646362 |
| 0,871556 | 0,838118 | 0,838118 | 0,961634 | 0,961634 | 0,953518143 | 0,01694254 | 0,254757702 | 0,271700244 | 1,225218387 |
| 0,754377 | 0,69168 | 0,69168 | 0,91689 | 0,91689 | 0,687878258 | 0,01321519 | 0,220345079 | 0,233560268 | 0,921438526 |
| 0,574205 | 0,466521 | 0,466521 | 0,812465 | 0,812465 | 0,361227613 | 0,00836084 | 0,167433322 | 0,175794158 | 0,537021772 |
| 0,394551 | 0,24201 | 0,24201 | 0,613381 | 0,613381 | 0,134221377 | 0,0045783 | 0,114673816 | 0,119252118 | 0,253473495 |
| 0,204478 | 0,004478 | 0,004478 | 0,021901 | 0,021901 | 0,001440633 | 0,00172639 | 0,058854409 | 0,060580797 | 0,06202143 |
| 0,016939 | -0,22989 | -0,22989 | -13,5715 | -13,5715 | -0,017317492 | 7,1361E-05 | 0,003779101 | 0,003850461 | -0,01346703 |
| 0 | -0,44511 | 0 | 2,866422 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62654 | 0 | 2,085261 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76179 | 0 | 1,863984 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84166 | 0 | 1,780913 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86261 | 0 | 1,760093 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,82995 | 0 | 1,788844 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73727 | 0 | 1,891423 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,59088 | 0 | 2,167111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40078 | 0 | 3,324977 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0,056214 | -0,17989 | -0,17989 | -3,20017 | -3,20017 | -0,024746779 | 0,0003239 | 0,015341475 | 0,015665371 | -0,009081409 |
| 0,245541 | 0,056706 | 0,056706 | 0,230941 | 0,230941 | 0,021162135 | 0,00224714 | 0,070997382 | 0,073244525 | 0,09440666 |
| 0,434544 | 0,292901 | 0,292901 | 0,674041 | 0,674041 | 0,177088828 | 0,00533717 | 0,126558051 | 0,131895217 | 0,308984046 |
| 0,610343 | 0,512594 | 0,512594 | 0,839847 | 0,839847 | 0,420087649 | 0,00926072 | 0,178237113 | 0,187497834 | 0,607585483 |
| 0,760957 | 0,700815 | 0,700815 | 0,920966 | 0,920966 | 0,703332884 | 0,01342665 | 0,222512726 | 0,23593938 | 0,939272264 |
| 0,876123 | 0,844736 | 0,844736 | 0,964176 | 0,964176 | 0,966638339 | 0,01711295 | 0,25636758 | 0,273480527 | 1,240118867 |
| 0,947991 | 0,93455 | 0,93455 | 0,985821 | 0,985821 | 1,151471184 | 0,01963331 | 0,277494522 | 0,297127834 | 1,448599018 |
| 0,971665 | 0,964134 | 0,964134 | 0,99225 | 0,99225 | 1,215808096 | 0,02050054 | 0,284453787 | 0,304954324 | 1,52076242 |
| 0,94553 | 0,931474 | 0,931474 | 0,985134 | 0,985134 | 1,144881582 | 0,01954422 | 0,276771112 | 0,296315329 | 1,441196911 |
| 0,871369 | 0,838795 | 0,838795 | 0,962618 | 0,962618 | 0,954967905 | 0,01695219 | 0,254970059 | 0,271922248 | 1,226890153 |
| 0,754234 | 0,692414 | 0,692414 | 0,918035 | 0,918035 | 0,689212457 | 0,01322486 | 0,220536332 | 0,233761196 | 0,922973653 |
| 0,574052 | 0,467242 | 0,467242 | 0,813937 | 0,813937 | 0,362193866 | 0,00836792 | 0,167568747 | 0,175936664 | 0,53813053 |
| 0,394337 | 0,242654 | 0,242654 | 0,615347 | 0,615347 | 0,134774803 | 0,00458191 | 0,114738368 | 0,119320282 | 0,254095086 |
| 0,204157 | 0,004989 | 0,004989 | 0,024435 | 0,024435 | 0,001608219 | 0,00172657 | 0,058831874 | 0,060558441 | 0,06216666 |
| 0,016474 | -0,22956 | -0,22956 | -13,9346 | -13,9346 | -0,01728256 | 6,916E-05 | 0,0036592 | 0,00372836 | -0,0135542 |
| 0 | -0,445 | 0 | 2,853973 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62666 | 0 | 2,079949 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76215 | 0 | 1,860237 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84224 | 0 | 1,777648 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86341 | 0 | 1,756599 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83091 | 0 | 1,784919 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73834 | 0 | 1,886207 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,592 | 0 | 2,157893 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40188 | 0 | 3,288573 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,054608 | -0,18092 | -0,18092 | -3,31296 | -3,31296 | -0,024714398 | 0,00031389 | 0,014899613 | 0,015213506 | -0,009500892 |
| 0,244044 | 0,05582 | 0,05582 | 0,228729 | 0,228729 | 0,020794502 | 0,00223246 | 0,070647762 | 0,072880223 | 0,093674726 |
| 0,433194 | 0,292199 | 0,292199 | 0,674521 | 0,674521 | 0,176520155 | 0,00531983 | 0,126311704 | 0,131631535 | 0,30815169 |
| 0,609168 | 0,512111 | 0,512111 | 0,840673 | 0,840673 | 0,41954209 | 0,00924345 | 0,178098031 | 0,187341477 | 0,606883566 |
| 0,759973 | 0,70057 | 0,70057 | 0,921836 | 0,921836 | 0,703038425 | 0,01341221 | 0,222477593 | 0,235889808 | 0,938928233 |
| 0,875332 | 0,844733 | 0,844733 | 0,965043 | 0,965043 | 0,966769149 | 0,01710354 | 0,256425994 | 0,273529529 | 1,240298679 |
| 0,947383 | 0,934775 | 0,934775 | 0,986691 | 0,986691 | 1,15210283 | 0,01963003 | 0,277629708 | 0,297259737 | 1,449362566 |
| 0,971217 | 0,96456 | 0,96456 | 0,993145 | 0,993145 | 1,216898059 | 0,02050317 | 0,284643736 | 0,305146904 | 1,522044962 |
| 0,94521 | 0,932059 | 0,932059 | 0,986087 | 0,986087 | 1,1462803 | 0,01955133 | 0,276990084 | 0,296541415 | 1,442821715 |
| 0,871133 | 0,839485 | 0,839485 | 0,963671 | 0,963671 | 0,956457415 | 0,01696154 | 0,255190336 | 0,272151877 | 1,228609293 |
| 0,754034 | 0,693149 | 0,693149 | 0,919254 | 0,919254 | 0,690562389 | 0,01323399 | 0,220730109 | 0,233964099 | 0,924526488 |
| 0,573831 | 0,467951 | 0,467951 | 0,815485 | 0,815485 | 0,363154033 | 0,00837424 | 0,16769897 | 0,176073211 | 0,539227244 |
| 0,394044 | 0,243273 | 0,243273 | 0,617375 | 0,617375 | 0,135313886 | 0,00458472 | 0,114790388 | 0,119375107 | 0,254688993 |
| 0,203749 | 0,005463 | 0,005463 | 0,026813 | 0,026813 | 0,001764866 | 0,00172602 | 0,058789351 | 0,060515373 | 0,062280239 |
| 0,015913 | -0,22927 | -0,22927 | -14,4075 | -14,4075 | -0,017209471 | 6,6436E-05 | 0,003512237 | 0,003578673 | -0,013630798 |
| 0 | -0,44494 | 0 | 2,840123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62683 | 0 | 2,074134 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76257 | 0 | 1,856171 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84288 | 0 | 1,774127 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86428 | 0 | 1,752871 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83193 | 0 | 1,780752 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,73945 | 0 | 1,880703 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,59315 | 0 | 2,148255 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40299 | 0 | 3,251389 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0,05294 | -0,18194 | -0,18194 | -3,43675 | -3,43675 | -0,024679471 | 0,00030356 | 0,014440435 | 0,014743999 | -0,009935472 |
| 0,242495 | 0,054941 | 0,054941 | 0,226566 | 0,226566 | 0,020431621 | 0,00221747 | 0,07028831 | 0,072505779 | 0,0929374 |
| 0,431799 | 0,291513 | 0,291513 | 0,675113 | 0,675113 | 0,175971586 | 0,0053023 | 0,126062692 | 0,131364988 | 0,307336573 |
| 0,607954 | 0,511652 | 0,511652 | 0,841596 | 0,841596 | 0,419037727 | 0,00922614 | 0,17796265 | 0,187188786 | 0,606226513 |
| 0,758954 | 0,700354 | 0,700354 | 0,922789 | 0,922789 | 0,702806447 | 0,01339791 | 0,222451287 | 0,235849196 | 0,938655643 |
| 0,874508 | 0,844761 | 0,844761 | 0,965985 | 0,965985 | 0,966978188 | 0,01709437 | 0,256496776 | 0,273591144 | 1,240569331 |
| 0,946742 | 0,935032 | 0,935032 | 0,987631 | 0,987631 | 1,152818527 | 0,019627 | 0,277778973 | 0,297405976 | 1,450224503 |
| 0,970734 | 0,965014 | 0,965014 | 0,994107 | 0,994107 | 1,218066109 | 0,02050595 | 0,284847532 | 0,305353483 | 1,523419592 |
| 0,944848 | 0,932664 | 0,932664 | 0,987105 | 0,987105 | 1,147740539 | 0,01955839 | 0,277220742 | 0,296779134 | 1,444519672 |
| 0,870848 | 0,840187 | 0,840187 | 0,964792 | 0,964792 | 0,957985215 | 0,01697058 | 0,255418357 | 0,272388936 | 1,230374151 |
| 0,753777 | 0,693885 | 0,693885 | 0,920544 | 0,920544 | 0,691926391 | 0,01324255 | 0,220926172 | 0,234168719 | 0,926095111 |
| 0,573541 | 0,468646 | 0,468646 | 0,817111 | 0,817111 | 0,364106615 | 0,00837979 | 0,167823704 | 0,17620349 | 0,540310104 |
| 0,393673 | 0,243867 | 0,243867 | 0,619466 | 0,619466 | 0,135837557 | 0,0045867 | 0,114829563 | 0,11941626 | 0,255253817 |
| 0,203253 | 0,005901 | 0,005901 | 0,029032 | 0,029032 | 0,001910088 | 0,00172474 | 0,058726517 | 0,060451255 | 0,062361343 |
| 0,015257 | -0,22904 | -0,22904 | -15,0117 | -15,0117 | -0,017091229 | 6,3183E-05 | 0,003337896 | 0,003401079 | -0,01369015 |
| 0 | -0,44493 | 0 | 2,824918 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62707 | 0 | 2,067828 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76305 | 0 | 1,851792 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84359 | 0 | 1,770355 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,8652 | 0 | 1,748916 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,833 | 0 | 1,776351 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,74061 | 0 | 1,874922 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,59433 | 0 | 2,138219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40413 | 0 | 3,213547 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,051211 | -0,18297 | -0,18297 | -3,57293 | -3,57293 | -0,02464161 | 0,00029291 | 0,013964132 | 0,014257047 | -0,010384563 |
| 0,240893 | 0,05407 | 0,05407 | 0,224456 | 0,224456 | 0,020073952 | 0,00220218 | 0,069919228 | 0,072121408 | 0,092195361 |
| 0,43036 | 0,290846 | 0,290846 | 0,675819 | 0,675819 | 0,175444018 | 0,00528458 | 0,125811214 | 0,131095792 | 0,306539811 |
| 0,606702 | 0,511218 | 0,511218 | 0,842618 | 0,842618 | 0,41857572 | 0,00920881 | 0,177831143 | 0,187039958 | 0,605615678 |
| 0,757901 | 0,700169 | 0,700169 | 0,923827 | 0,923827 | 0,702638105 | 0,01338376 | 0,222433944 | 0,235817701 | 0,938455806 |
| 0,873652 | 0,844823 | 0,844823 | 0,967001 | 0,967001 | 0,967266313 | 0,01708546 | 0,256580008 | 0,273665469 | 1,240931782 |
| 0,946068 | 0,93532 | 0,93532 | 0,988639 | 0,988639 | 1,153618596 | 0,01962424 | 0,277942339 | 0,297566579 | 1,451185175 |
| 0,970214 | 0,965494 | 0,965494 | 0,995136 | 0,995136 | 1,219311902 | 0,02050888 | 0,285065129 | 0,305574013 | 1,524885915 |
| 0,944443 | 0,933289 | 0,933289 | 0,98819 | 0,98819 | 1,149261306 | 0,01956539 | 0,277462971 | 0,297028359 | 1,446289665 |
| 0,870513 | 0,840899 | 0,840899 | 0,965981 | 0,965981 | 0,959549836 | 0,01697928 | 0,25565394 | 0,272633224 | 1,23218306 |
| 0,753461 | 0,694621 | 0,694621 | 0,921907 | 0,921907 | 0,693302797 | 0,01325051 | 0,221124285 | 0,234374795 | 0,927677592 |
| 0,573181 | 0,469327 | 0,469327 | 0,818811 | 0,818811 | 0,36505011 | 0,00838453 | 0,167942659 | 0,176327188 | 0,541377298 |
| 0,393222 | 0,244434 | 0,244434 | 0,621619 | 0,621619 | 0,136344751 | 0,00458783 | 0,114855576 | 0,119443404 | 0,255788155 |
| 0,202668 | 0,0063 | 0,0063 | 0,031087 | 0,031087 | 0,002043403 | 0,0017227 | 0,058643045 | 0,060365748 | 0,062409151 |
| 0,014504 | -0,22885 | -0,22885 | -15,7777 | -15,7777 | -0,016917994 | 5,9395E-05 | 0,003135858 | 0,003195252 | -0,013722741 |
| 0 | -0,44498 | 0 | 2,808408 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62737 | 0 | 2,061042 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76359 | 0 | 1,847108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84435 | 0 | 1,766339 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86618 | 0 | 1,744739 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83411 | 0 | 1,771722 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,7418 | 0 | 1,868874 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,59553 | 0 | 2,127808 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40528 | 0 | 3,175161 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0,049422 | -0,18401 | -0,18401 | -3,72319 | -3,72319 | -0,024600354 | 0,00028195 | 0,013470888 | 0,013752842 | -0,010847511 |
| 0,23924 | 0,053207 | 0,053207 | 0,222402 | 0,222402 | 0,019721945 | 0,00218661 | 0,069540715 | 0,071727323 | 0,091449267 |
| 0,428878 | 0,290196 | 0,290196 | 0,676641 | 0,676641 | 0,174938333 | 0,0052667 | 0,125557463 | 0,13082416 | 0,305762493 |
| 0,605413 | 0,510811 | 0,510811 | 0,843738 | 0,843738 | 0,418157207 | 0,0091915 | 0,177703683 | 0,186895182 | 0,605052389 |
| 0,756815 | 0,700015 | 0,700015 | 0,924949 | 0,924949 | 0,702534527 | 0,01336978 | 0,222425697 | 0,235795475 | 0,938330001 |
| 0,872765 | 0,844916 | 0,844916 | 0,968092 | 0,968092 | 0,967634357 | 0,01707683 | 0,256675773 | 0,2737526 | 1,241386957 |
| 0,945361 | 0,935639 | 0,935639 | 0,989716 | 0,989716 | 1,154503332 | 0,01962175 | 0,278119825 | 0,297741573 | 1,452244905 |
| 0,969657 | 0,966001 | 0,966001 | 0,99623 | 0,99623 | 1,220635069 | 0,02051196 | 0,285296477 | 0,305808441 | 1,52644351 |
| 0,943996 | 0,933934 | 0,933934 | 0,98934 | 0,98934 | 1,150841595 | 0,01957231 | 0,277716651 | 0,29728896 | 1,448130556 |
| 0,870128 | 0,841621 | 0,841621 | 0,967238 | 0,967238 | 0,961149803 | 0,01698764 | 0,2558969 | 0,272884538 | 1,234034341 |
| 0,753086 | 0,695355 | 0,695355 | 0,923341 | 0,923341 | 0,694689936 | 0,01325786 | 0,221324205 | 0,234582064 | 0,929272 |
| 0,572751 | 0,469992 | 0,469992 | 0,820588 | 0,820588 | 0,365983023 | 0,00838845 | 0,168055541 | 0,176443991 | 0,542427014 |
| 0,392691 | 0,244973 | 0,244973 | 0,623832 | 0,623832 | 0,136834409 | 0,0045881 | 0,114868105 | 0,1194562 | 0,256290609 |
| 0,201993 | 0,006661 | 0,006661 | 0,032976 | 0,032976 | 0,002164337 | 0,00171991 | 0,058538603 | 0,060258508 | 0,062422845 |
| 0,013655 | -0,2287 | -0,2287 | -16,7491 | -16,7491 | -0,016675694 | 5,5064E-05 | 0,002905798 | 0,002960862 | -0,013714832 |
| 0 | -0,44508 | 0 | 2,790647 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62773 | 0 | 2,053792 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76419 | 0 | 1,842128 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84518 | 0 | 1,762084 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86721 | 0 | 1,740347 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83527 | 0 | 1,766872 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,74302 | 0 | 1,862569 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,59676 | 0 | 2,117044 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40644 | 0 | 3,136339 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,047574 | -0,18504 | -0,18504 | -3,88955 | -3,88955 | -0,024555151 | 0,00027069 | 0,012960884 | 0,013231573 | -0,011323578 |
| 0,237537 | 0,052355 | 0,052355 | 0,220407 | 0,220407 | 0,019376035 | 0,00217076 | 0,069152965 | 0,071323728 | 0,090699763 |
| 0,427354 | 0,289567 | 0,289567 | 0,677581 | 0,677581 | 0,174455392 | 0,00524867 | 0,125301629 | 0,130550297 | 0,305005689 |
| 0,604088 | 0,51043 | 0,51043 | 0,844959 | 0,844959 | 0,417783297 | 0,00917421 | 0,177580438 | 0,186754647 | 0,604537944 |
| 0,755696 | 0,699892 | 0,699892 | 0,926156 | 0,926156 | 0,702496812 | 0,01335599 | 0,222426676 | 0,235782663 | 0,938279475 |
| 0,871845 | 0,845043 | 0,845043 | 0,969258 | 0,969258 | 0,968083122 | 0,01706848 | 0,256784147 | 0,273852627 | 1,24193575 |
| 0,944621 | 0,935989 | 0,935989 | 0,990863 | 0,990863 | 1,155473005 | 0,01961953 | 0,278311447 | 0,297930978 | 1,453403983 |
| 0,969063 | 0,966534 | 0,966534 | 0,997391 | 0,997391 | 1,222035223 | 0,02051519 | 0,285541524 | 0,306056713 | 1,528091936 |
| 0,943506 | 0,934596 | 0,934596 | 0,990557 | 0,990557 | 1,152480388 | 0,01957914 | 0,277981661 | 0,297560805 | 1,450041193 |
| 0,869692 | 0,842351 | 0,842351 | 0,968563 | 0,968563 | 0,962783633 | 0,01699562 | 0,256147052 | 0,273142674 | 1,235926307 |
| 0,75265 | 0,696086 | 0,696086 | 0,924846 | 0,924846 | 0,696086141 | 0,01326457 | 0,221525687 | 0,234790257 | 0,930876397 |
| 0,572248 | 0,47064 | 0,47064 | 0,82244 | 0,82244 | 0,36690386 | 0,00839153 | 0,168162053 | 0,176553579 | 0,543457439 |
| 0,392078 | 0,245483 | 0,245483 | 0,626107 | 0,626107 | 0,137305478 | 0,00458748 | 0,114866824 | 0,119454304 | 0,256759782 |
| 0,201229 | 0,006981 | 0,006981 | 0,034692 | 0,034692 | 0,002272424 | 0,00171633 | 0,058412854 | 0,060129186 | 0,06240161 |
| 0,012708 | -0,22861 | -0,22861 | -17,9899 | -17,9899 | -0,016343697 | 5,0186E-05 | 0,002647387 | 0,002697573 | -0,013646123 |
| 0 | -0,44524 | 0 | 2,771694 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,62814 | 0 | 2,046091 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,76485 | 0 | 1,836858 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,84606 | 0 | 1,757598 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,86829 | 0 | 1,735746 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,83647 | 0 | 1,76181 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,74429 | 0 | 1,856018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,59801 | 0 | 2,105947 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0,40761 | 0 | 3,097185 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,045669 | -0,18607 | -0,18607 | -4,07444 | -4,07444 | -0,024505333 | 0,00025913 | 0,012434295 | 0,012693421 | -0,011811911 |
| 0,235786 | 0,051514 | 0,051514 | 0,218477 | 0,218477 | 0,019036647 | 0,00215466 | 0,068756169 | 0,070910828 | 0,089947475 |
| 0,425789 | 0,288958 | 0,288958 | 0,678641 | 0,678641 | 0,173996035 | 0,00523051 | 0,125043899 | 0,130274407 | 0,304270442 |
| 0,602728 | 0,510077 | 0,510077 | 0,84628 | 0,84628 | 0,417455077 | 0,00915696 | 0,177461571 | 0,186618535 | 0,604073612 |
| 0,754545 | 0,699801 | 0,699801 | 0,927447 | 0,927447 | 0,702526032 | 0,0133424 | 0,222437008 | 0,235779412 | 0,938305444 |
| 0,870894 | 0,845201 | 0,845201 | 0,970498 | 0,970498 | 0,968613382 | 0,01706043 | 0,256905206 | 0,27396564 | 1,242579021 |
| 0,943847 | 0,936369 | 0,936369 | 0,992078 | 0,992078 | 1,156527858 | 0,0196176 | 0,278517216 | 0,298134813 | 1,454662671 |
| 0,968431 | 0,967092 | 0,967092 | 0,998617 | 0,998617 | 1,223511956 | 0,02051856 | 0,285800215 | 0,306318771 | 1,529830727 |
| 0,942972 | 0,935275 | 0,935275 | 0,991838 | 0,991838 | 1,15417665 | 0,01958588 | 0,278257878 | 0,297843757 | 1,452020407 |
| 0,869203 | 0,843088 | 0,843088 | 0,969955 | 0,969955 | 0,964449838 | 0,01700322 | 0,256404203 | 0,273407422 | 1,237857261 |
| 0,752153 | 0,696812 | 0,696812 | 0,926423 | 0,926423 | 0,697489741 | 0,01327062 | 0,221728482 | 0,234999105 | 0,932488846 |
| 0,571674 | 0,471269 | 0,471269 | 0,824367 | 0,824367 | 0,367811138 | 0,00839373 | 0,168261895 | 0,176655629 | 0,544466767 |
| 0,391384 | 0,245962 | 0,245962 | 0,628442 | 0,628442 | 0,137756916 | 0,00458597 | 0,114851405 | 0,11943737 | 0,257194286 |
| 0,200374 | 0,00726 | 0,00726 | 0,036232 | 0,036232 | 0,002367207 | 0,00171197 | 0,058265457 | 0,059977429 | 0,0623446384 |