



ΤΜΗΜΑ  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΟΝΑΔΑ  
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 500KW ΚΑΙ 1MW ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΕΣ  
ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΕΣ (SUN TRACKING) ΒΑΣΕΙΣ.»**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΓΓΕΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 6965)**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΑΠΡΑΝΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Α.Μ. 7550)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΟΥΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

(ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ)

**ΠΑΤΡΑ 2023**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται σε συγκριτική μελέτη εγκατάστασης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκή μονάδα ονομαστικής ισχύος 500 KW και 1 MW σε σταθερές και κινητές (sun tracking) βάσεις.

Στην εισαγωγή πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών και της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Ακολουθεί το πρώτο κεφάλαιο όπου περιγράφονται οι τρόποι υποσύλωσης των φωτοβολταϊκών πάνελ και στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι απώλειες στα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά και στα φωτοβολταϊκά πάνελ αντίστοιχα. Ακολουθεί το πέμπτο κεφάλαιο το οποίο αποτελεί έναν οδηγό χρήσης για το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη. Κατόπιν, στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιούνται οι μελέτες για τις δύο περιπτώσεις ισχύος (500kW και 1MW) και στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικονομοτεχνική μελέτη και για τις δύο περιπτώσεις.

Γενικά, αποκτήθηκε γνώση σχετικά με το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τις μελέτες και επίσης για τον τρόπο υπολογισμού οικονομικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται προκειμένου να επιβεβαιωθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης.

*Ευχαριστούμε θερμά τον κ. Ανδρέα Βούρο για την επιμέλεια, την αμείωτη βοήθεια και στήριξη του στην εκπόνηση της εργασίας μας.*

## ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

**Αγγέλου Γεώργιος**

(Όνοματεπώνυμο)



.....

(Υπογραφή)

Ο Φοιτητής

**Καπράνας Δημήτριος**

(Όνοματεπώνυμο)



.....

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αποτελεί μια συγκριτική μελέτη εγκατάστασης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκή μονάδα ονομαστικής ισχύος 500 KW και 1 MW σε σταθερές και κινητές (sun tracking) βάσεις. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν εδραιώσει την παρουσία τους αποδεικνύοντας την αξία τους σε παγκόσμιο επίπεδο. Η Ελλάδα αποτελεί ανερχόμενη δύναμη με στόχο να γίνει κόμβος ΑΠΕ στο μέλλον στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη. Στην παρούσα εργασία διαπιστώνεται η ωριμότητα και οι δυνατότητες της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών που είναι ένας από τους πυλώνες των ΑΠΕ. Παράλληλα διαπιστώνονται και τα μεγάλα οικονομικά οφέλη από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Στην εισαγωγή πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ με την αρχή να γίνεται το 1839 από τον γάλλο επιστήμονα Edmond Becquerel που ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στη συνέχεια περιγράφονται οι προσπάθειες για την παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ κυρίως στις δεκαετίες 1950-1970 και οι βελτιώσεις που έφεραν την απόδοσή τους στα σημερινά δεδομένα

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τρόποι υποσύλωσης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες, οι σταθερές βάσεις και οι ιχνηλάτες (trackers). Στις σταθερές βάσεις η θέση και η κλίση των πάνελ δεν αλλάξει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το μόνο που μπορεί να αλλάξει είναι η κλίση χειμώνα – καλοκαίρι για καλύτερη πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών. Στα συστήματα με ιχνηλάτες η κλίση και ο προσανατολισμός των πάνελ μεταβάλλονται διαρκώς «κυνηγώντας» την ηλιακή ακτινοβολία με στόχο την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που επιβεβαιώνεται με τα σενάρια που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

Η απόδοση των ηλιακών συστημάτων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες τόσο κατά τον σχεδιασμό τους όσο και κατά τη λειτουργία τους. Οι παράγοντες αυτοί αποτελούν τις απώλειες που υπάρχουν και πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να γίνει πλήρως κατανοητή η λειτουργία τους. Οι απώλειες αυτές αποτελούν το θέμα του τρίτου κεφαλαίου της εργασίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι υπάρχουν απώλειες λόγω των συνδέσεων, των καλωδίων, των εξαρτημάτων αλλά και λόγω της φύσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Ειδικά το είδος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επηρεάζει το βαθμό απόδοσης των πάνελ. Αυτό είναι και το αντικείμενο του τέταρτου κεφαλαίου.

Ακολουθεί το πέμπτο κεφάλαιο όπου παρουσιάζεται ένας σύντομος οδηγός χρήσης του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία.

Το έκτο κεφάλαιο αποτελεί το κύριο μέρος της εργασίας. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πέντε διαφορετικά σενάρια μελέτης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 500kW και το ίδιο γίνεται για πάρκο ισχύος 1MW, ήτοι δέκα σενάρια συνολικά. Η μελέτες πραγματοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού PVSyst. Η πρώτη είναι με σταθερές βάσεις, η δεύτερη με σταθερές πάλι βάσεις με αλλαγή κλίσης χειμώνα-καλοκαίρι, η τρίτη με ιχνηλάτες, η τέταρτη με ιχνηλάτες με οριζόντιο άξονα και η πέμπτη με ιχνηλάτες με κάθετο άξονα.

Στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια τεchnοοικονομική μελέτη και των δύο συστημάτων (πάρκο ισχύος 500kW και πάρκο ισχύος 1MW) για την περίπτωση του κάθετου άξονα με ιχνηλάτες που αποδείχθηκε η αποδοτικότερη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι πρόκειται για μια κερδοφόρα επένδυση με απόσβεση ιδίων κεφαλαίων και κερδοφορία από τον πέμπτο κιάλας χρόνο.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	X
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	X
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	XI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	XIII
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ιστορία και ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών .....	1
1.2 Ηλιακή ενέργεια το 1800 .....	1
1.3 Ηλιακή ενέργεια στη δεκαετία του 1900 .....	1
1.4 Ηλιακή ενέργεια τη δεκαετία του 2000.....	3
1.5 Το μέλλον της ηλιακής ενέργειας .....	5
2. ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ .....	6
2.1 Ιχνηλάτες <sup>[4]</sup> .....	6
2.1.1 Ιχνηλάτες μονού άξονα.....	6
2.1.2 Πλεονεκτήματα του ιχνηλάτη μονού άξονα .....	7
2.1.3 Οριζόντιος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα (Horizontal Single-Axis Solar Tracker -HSAT).....	7
2.1.4 Οριζόντιος κεκλιμένος Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα (Horizontal Tilted Single-Axis Solar Tracker - HTSAT).....	8
2.1.5 Κατακόρυφος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα (Vertical Single-Axis Solar Tracker -VSAT).....	9
2.1.6 Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα με Κατακόρυφη Κλίση (Vertical-Tilted Single-Axis Solar Tracker - VTSAT).....	9

2.1.7	Ιχνηλάτες Διπλού Άξονα[4] .....	10
2.1.8	Αρχή λειτουργίας ιχνηλάτη διπλού άξονα .....	10
2.1.9	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	11
2.1.10	Ενεργοί Ιχνηλάτες και Παθητικοί Ιχνηλάτες .....	11
2.1.11	Ενεργοί ηλιακοί ιχνηλάτες .....	11
2.1.12	Παθητικοί Ηλιακοί Ιχνηλάτες.....	11
2.1.13	Ολογραφικός Ιχνηλάτης .....	12
2.1.14	Οφέλη διατάξεων ιχνηλατών[3] .....	12
2.2	Δομές σταθερής κλίσης [3].....	12
2.2.1	Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη [5] .....	12
2.2.2	Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη :.....	14
2.2.3	Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση 15	
2.2.4	Οφέλη από τις σταθερές κατασκευές.....	15
2.3	Συστήματα Ανατολής-Δύσης[5] .....	16
2.3.1	Πλεονεκτήματα των συστημάτων ανατολής - δύσης .....	17
2.3.2	Μειονεκτήματα των συστημάτων ανατολής - δύσης .....	17
3.	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	19
3.1	Επίδραση της σκίασης σε σειρά και παράλληλα συνδεδεμένες ηλιακές φωτοβολταϊκές μονάδες.....	22
3.2	Λύσεις σκίασης ηλιακών πάνελ.....	22
3.2.1	Δίοδοι παράκαμψης.....	22
3.2.2	Ηλιακά πάνελ με ενσωματωμένους μικρο-μετατροπείς.....	23
3.3	Η επίδραση της σκόνης στην απόδοση του ηλιακού πάνελ.....	24
3.4	Οπτικές απώλειες σε συστοιχίες ηλιακών κυψελών.....	24
3.5	Φασματική Απόκριση Ηλιακών Κυψελών .....	25
3.6	Απώλεια ΦΒ λόγω επιπέδου ακτινοβολίας .....	25
3.7	Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση των ηλιακών πάνελ .....	25

3.8	Ανακολουθία ηλιακών συλλεκτών – Απώλειες ανακολουθίας στη μονάδα ηλιακής φωτοβολταϊκής μονάδας.....	26
3.9	Απώλειες καλωδίου DC σε Φ/Β συστήματα .....	27
3.10	Απώλειες ηλιακού μετατροπέα .....	27
3.11	Απώλειες καλωδίων AC σε ηλιακά συστήματα.....	28
3.12	Άλλες Απώλειες Φ/Β συστήματος.....	28
3.13	Προσέγγιση για τη μείωση των απωλειών σε ένα έργο ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας .....	28
3.14	Τρόποι βελτίωσης της απόδοσης των ηλιακών πάνελ .....	29
3.14.1	Αυτόματοι Ηλιακοί Ιχνηλάτες.....	29
3.14.2	Ανακλαστικοί καθρέφτες για τη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ	29
4.	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ .....	31
4.1	Τα είδη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.....	31
4.1.1	Άμεση κανονική ακτινοβολία (Direct Normal IrradianceDNI).....	31
4.1.2	Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία (Diffuse Horizontal Irradiance - DHI).....	31
4.1.3	Η Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία (GHI) .....	32
4.2	Τα είδη απωλειών στα ΦΒ πάνελ.....	33
5.	ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PVSyst.....	35
6.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	47
6.1	Έλεγχος περιθωρίου απορρόφησης ισχύος διασυνδεδεμένου συστήματος στην περιοχή εγκατάστασης του ΦΒ πάρκου .....	47
6.2	Οι παράμετροι της εγκατάστασης ισχύος 500kW.....	49
6.3	Παρουσίαση των 5 διαφορετικών σεναρίων για την εγκατάσταση των 500kW	50
6.3.1	Σενάριο 1: Σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30° .....	50
6.3.2	Σενάριο 2: Σταθερές βάσεις με αλλαγή γωνίας κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι.....	56
6.3.3	Σενάριο 3: Κινητές βάσεις (ιχνηλάτες) .....	60
6.3.4	Σενάριο 4: Ιχνηλάτες στον οριζόντιο άξονα κίνησης.....	64



6.3.5	Σενάριο 5:Ιχνηλάτες με κάθετο άξονα κίνησης .....	68
6.4	Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	72
6.5	Οι παράμετροι της εγκατάστασης ισχύος 1MW .....	73
6.6	Παρουσίαση των 5 διαφορετικών σεναρίων για την εγκατάσταση του 1MW	74
6.6.1	Σενάριο 1: Σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30° .....	74
6.6.2	Σενάριο 2: Σταθερές βάσεις με αλλαγή γωνίας κλίσης χειμώνα – καλοκαίρι .....	79
6.6.3	Σενάριο 3: Κινητές βάσεις (ιχνηλάτες) .....	83
6.6.4	Σενάριο 4: Ιχνηλάτες στον οριζόντιο άξονα κίνησης .....	87
6.6.5	Σενάριο 5: Ιχνηλάτες με κάθετο άξονα κίνησης .....	91
6.7	Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	95
7.	ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	96
7.1	Ετήσια έσοδα από τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο για την εγκατάσταση 500kW .....	96
7.2	Κόστος αρχικής εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης.....	97
7.3	Χρόνος απόσβεσης αρχικής επένδυσης .....	98
7.3.1	Δάνεια Σταθερού Χρεολυσίου.....	99
7.3.2	Αποσβέσεις .....	101
7.3.3	Ετήσια έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	101
7.4	Ετήσια έσοδα από τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο για την εγκατάσταση του 1MW .....	106
7.5	Κόστος αρχικής εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης.....	106
7.6	Χρόνος απόσβεσης αρχικής επένδυσης .....	108
7.6.1	Αποσβέσεις .....	109
7.6.2	Ετήσια έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	109
8.	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	115
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	118

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Διαφήμιση Bell Solar Battery (Πηγή: τεύχος 1956 του περιοδικού Look)..	3
Εικόνα 1.2 Τύποι ηλιακών συλλεκτών.....	4
Εικόνα 2.1 Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα με Κατακόρυφη Κλίση ( <a href="https://www.made-in-china.com/showroom/liaodanny/product-detailHCFmxwLDCnhb/China-Tilted-Single-Axis-Tracking-System.html">https://www.made-in-china.com/showroom/liaodanny/product-detailHCFmxwLDCnhb/China-Tilted-Single-Axis-Tracking-System.html</a> ).....	9
Εικόνα 2.2 Διάταξη ανατολής-δύσης σε ΦΒ πάρκο ( <a href="https://sunshine-energy.gr/">https://sunshine-energy.gr/</a> )	16
Εικόνα 2.3 Συστήματα ανατολής – δύσης σε ταράτσα ( <a href="https://sunshine-energy.gr/">https://sunshine-energy.gr/</a> ) .....	17
Εικόνα 3.1 Δίοδοι παράκαμψης .....	23
Εικόνα 3.2 Υβριδικό φωτοβολταϊκό-θερμικό ηλιακό πάνελ .....	26
Εικόνα 6.1 Αναζήτηση διαθεσιμότητας στον δήμο που ανήκει η έκταση της μελέτης .....	47
Εικόνα 6.2 Εμφάνιση αποτελεσμάτων αναζήτησης .....	48

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Φωτοκύτταρο PN πυριτίου-EMF(Πηγή: Ευρεσιτεχνία ΗΠΑ αρ. 2.402.662) .....	2
Σχήμα 2.1 Ιχνηλάτης με παρακολούθηση μονού άξονα ( <a href="https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/">https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/</a> ) .....	7
Σχήμα 2.2 Οριζόντιος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα ( <a href="https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/">https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/</a> ) .....	8
Σχήμα 2.3 Οριζόντιος κεκλιμένος Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα ( <a href="https://taiyangnews.info/technology/classification-of-single-axis-trackers/">https://taiyangnews.info/technology/classification-of-single-axis-trackers/</a> ) .....	8

Σχήμα 2.4	Κατακόρυφος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα <a href="https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/">https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/</a> .....	9
Σχήμα 2.5	Ιχνηλάτες διπλού άξονα ( <a href="https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/">https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/</a> ) .....	10
Σχήμα 2.6	Τοποθέτηση του συλλέκτη με βάση το γεωγραφικό πλάτος ( <a href="https://sunshine-energy.gr/">https://sunshine-energy.gr/</a> ) .....	14
Σχήμα 2.7	Τοποθέτηση του συλλέκτη με βάση την εποχή του χρόνου ( <a href="https://sunshine-energy.gr/">https://sunshine-energy.gr/</a> ) .....	15
Σχήμα 4.1	Τα τρία είδη ακτινοβολίας πάνω στο ηλιακό πάνελ ( <a href="https://www.researchgate.net/publication/351752520_On_the_Optimal_Tilt_Angle_and_Orientation_of_an_On-Site_Solar_Photovoltaic_Energy_Generation_System_for_Sabah%27s_Rural_Electrification/figures?lo=1">https://www.researchgate.net/publication/351752520_On_the_Optimal_Tilt_Angle_and_Orientation_of_an_On-Site_Solar_Photovoltaic_Energy_Generation_System_for_Sabah%27s_Rural_Electrification/figures?lo=1</a> ) .....	32
Σχήμα 6.1	Διασύνδεση του πάρκου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.....	49
Σχήμα 6.2	Διασύνδεση του πάρκου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας(1MW).....	73

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 1.1:	Τάση μείωσης του κόστους. (Πηγή: PVinsights).....	4
Διάγραμμα 6.1	Διάγραμμα απωλειών ισχύος με σταθερές βάσεις και κλίση 30° (500kW) .....	53
Διάγραμμα 6.2	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για σταθερές βάσεις και κλίση 30° (500kW).....	55
Διάγραμμα 6.3	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°(500kW) .....	55
Διάγραμμα 6.4	Διάγραμμα απωλειών ισχύος για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(500kW).....	58
Διάγραμμα 6.5	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία στο πάνελ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(500kW) .....	59

Διάγραμμα 6.6	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(500kW).....	59
Διάγραμμα 6.7	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(500kW) .....	62
Διάγραμμα 6.8	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις(500kW).....	63
Διάγραμμα 6.9	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(500kW) .....	63
Διάγραμμα 6.10	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW).....	66
Διάγραμμα 6.11	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα (500kW).....	67
Διάγραμμα 6.12	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW).....	67
Διάγραμμα 6.13	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW) .....	70
Διάγραμμα 6.14	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW) .....	71
Διάγραμμα 6.15	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW) .....	71
Διάγραμμα 6.16	Διάγραμμα απωλειών ισχύος με σταθερές βάσεις και κλίση 30° (1MW) .....	77
Διάγραμμα 6.17	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για σταθερές βάσεις και κλίση 30° (1MW) .....	78
Διάγραμμα 6.18	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°(1MW) .....	78
Διάγραμμα 6.19	Διάγραμμα απωλειών ισχύος για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW).....	81
Διάγραμμα 6.20	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία στο πάνελ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW).....	82
Διάγραμμα 6.21	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW).....	82

Διάγραμμα 6.22	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(1MW) .....	85
Διάγραμμα 6.23	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις(1MW).....	86
Διάγραμμα 6.24	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(1MW) .....	86
Διάγραμμα 6.25	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW) .....	89
Διάγραμμα 6.26	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW) .....	90
Διάγραμμα 6.27	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW) .....	90
Διάγραμμα 6.28	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW).....	93
Διάγραμμα 6.29	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW) .....	94
Διάγραμμα 6.30	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα (1MW).....	94

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 6-1	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της μελέτης 500kW.....	49
Πίνακας 6-2	Τα δεδομένα της μελέτης των 500kW για σταθερές βάσεις με κλίση 30° .....	50
Πίνακας 6-3	Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις (500kW).....	51
Πίνακας 6-4	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις και κλίση 30°(500kW) .....	52
Πίνακας 6-5	Τα δεδομένα της μελέτης για τη μελέτη για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα –καλοκαίρι (500kW).....	56

Πίνακας 6-6	Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι (500kW) .....	57
Πίνακας 6-7	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα –καλοκαίρι (500kW) .....	57
Πίνακας 6-8	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις (500kW).....	60
Πίνακας 6-9	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις(500kW) .....	60
Πίνακας 6-10	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις(500kW) .....	61
Πίνακας 6-11	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα.....	64
Πίνακας 6-12	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW) .....	64
Πίνακας 6-13	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW).....	65
Πίνακας 6-14	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW) .....	68
Πίνακας 6-15	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW) .....	68
Πίνακας 6-16	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW) .....	69
Πίνακας 6-17	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της μελέτης (1MW).....	73
Πίνακας 6-18	Τα δεδομένα της μελέτης για σταθερές βάσεις με κλίση 30° .....	74
Πίνακας 6-19	Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις.....	75
Πίνακας 6-20	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις και κλίση 30° (1MW).....	76
Πίνακας 6-21	Τα δεδομένα της μελέτης για τη μελέτη για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW).....	79
Πίνακας 6-22	Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW) .....	79
Πίνακας 6-23	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW).....	80

Πίνακας 6-24	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις(1MW).....	83
Πίνακας 6-25	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις(1MW).....	83
Πίνακας 6-26	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις(1MW).. .....	84
Πίνακας 6-27	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW) .....	87
Πίνακας 6-28	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW) .....	87
Πίνακας 6-29	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW).....	88
Πίνακας 6-30	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW)	91
Πίνακας 6-31	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW) .....	91
Πίνακας 6-32	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW) .....	92
Πίνακας 7-1	Ετήσια έσοδα των εγκαταστάσεων.....	96
Πίνακας 7-2	Κόστος αρχικής εγκατάστασης.....	97
Πίνακας 7-3	Κόστος ετήσιας συντήρησης .....	98
Πίνακας 7-4	Πίνακας εξόφλησης δανείου .....	100
Πίνακας 7-5	Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	101
Πίνακας 7-6	Οικονομικές απολαβές για την εγκατάσταση των 500kW .....	103
Πίνακας 7-7	Ετήσια έσοδα των εγκαταστάσεων(1MW).....	106
Πίνακας 7-8	Κόστος αρχικής εγκατάστασης.....	106
Πίνακας 7-9	Κόστος ετήσιας συντήρησης .....	107
Πίνακας 7-10	Πίνακας εξόφλησης δανείου.....	108
Πίνακας 7-5	Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	109
Πίνακας 7-6	Οικονομικές απολαβές .....	112

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## **1.1 Ιστορία και ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών**

Η πρώτη κίολας ανακάλυψη του ηλιακού κυττάρου σηματοδότησε την αρχή της αλλαγής στην παραγωγή ενέργειας. Αυτή η αλλαγή θα επαναλαμβανόταν ξανά και ξανά για να σημειωθεί νέα πρόοδος στον τομέα της ηλιακής ενέργειας από ερευνητές και συνεχίζεται ακόμη. Η ιστορία της ηλιακής ενέργειας είναι μια ιστορία καινοτομίας που ξεκίνησε στις αρχές του 19ου αιώνα [1]

## **1.2 Ηλιακή ενέργεια το 1800**

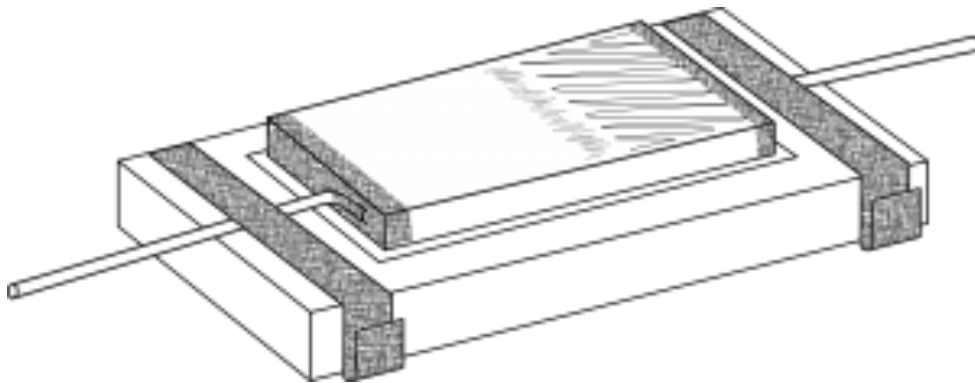
Το 1839, ο Γάλλος επιστήμονας Edmond Becquerel ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε νεαρή ηλικία 19 ετών. Συνειδητοποίησε όταν τα ηλεκτρόνια ήταν σε διεγερμένη κατάσταση σε μια ζώνη αγωγιμότητας, μπορούσαν να κινηθούν ελεύθερα μέσα από ένα υλικό, δημιουργώντας έτσι ένα ρεύμα. Αλλά αυτό δεν αναγνωρίστηκε ευρέως έως ότου ο Αϊνστάιν έγραψε μια εργασία για τη δύναμη της ηλιακής ενέργειας για την οποία τελικά έλαβε το βραβείο Νόμπελ το 1922. Το πρώτο ηλιακό πάνελ εφευρέθηκε από τον Τσαρλς Φριτς το 1883, ο οποίος επικάλυψε ένα λεπτό στρώμα σεληνίου με ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα χρυσού. Οι κυψέλες που προέκυψαν είχαν ηλεκτρική απόδοση μετατροπής μόνο περίπου 1%. Αυτή η εφεύρεση οδήγησε στην έναρξη ενός κινήματος για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

## **1.3 Ηλιακή ενέργεια στη δεκαετία του 1900**

Η ηλιακή εποχή ξεκίνησε το 1950 όταν οι επιστήμονες του εργαστηρίου Bell εστίασαν στις εξελίξεις των φωτοβολταϊκών (PV) και άρχισαν να χρησιμοποιούν πυρίτιο για την παραγωγή ηλιακών κυψελών. Αυτή η ανακάλυψη πιστώνεται στους Daryl Chapin, Calvin Fuller και Gerald Pearson που παρήγαγαν αποτελεσματικότητα μόνο 4%. Αυτή η σημαντική ανακάλυψη οδήγησε την κυβέρνηση των ΗΠΑ να διαθέσει περισσότερα χρήματα στην τεχνολογία των ηλιακών κυψελών. Στις

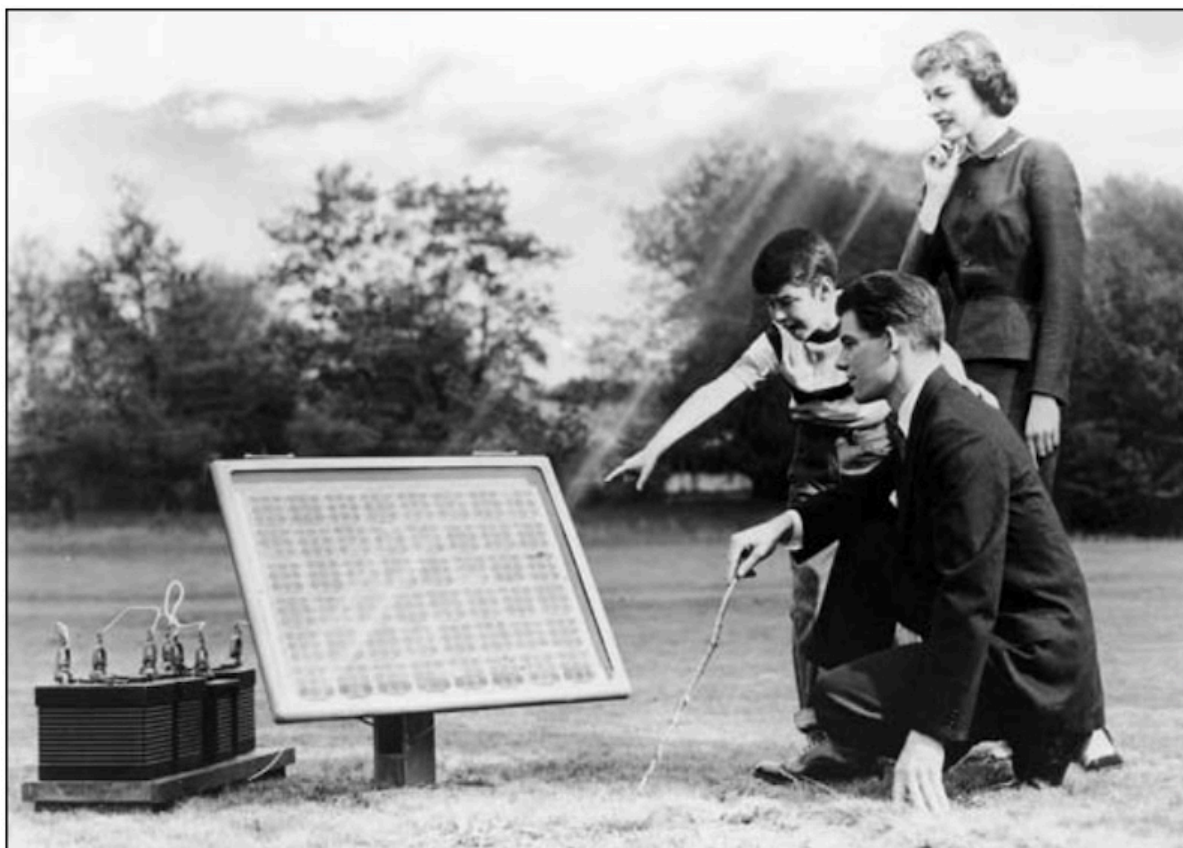


δεκαετίες του 1960 και του 1970 η παραγωγή ηλιακών συλλεκτών κατέστη δυνατή, αλλά το μειονέκτημα ήταν ότι ήταν πολύ ακριβό για τους κύριους καταναλωτές. Ωστόσο, οι επιστήμονες συνέχισαν να αναπτύσσουν τεχνολογία ηλιακής ενέργειας για να μειώσουν το κόστος. Με την άνοδο των ημιαγωγών το 1941, ο Russel S Ohl περιέγραψε μια διαδικασία σχηματισμού πλινθωμάτων πυριτίου που οδήγησε στην πρώτη κυψέλη σύνδεσης PN. Ο Ohl έκοψε ένα τμήμα από το πλινθίο συμπεριλαμβανομένων των τμημάτων κορυφής, φραγμού και κάτω, και προσάρτησε ηλεκτρόδια στο πάνω και στο κάτω μέρος, αποδίδοντας το πρώτο ηλιακό στοιχείο πυριτίου. Το παρακάτω σχήμα αντιπροσωπεύει την πρώτη κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας κυψέλη πυριτίου PN -EMF (ηλεκτροκινητική δύναμη σύνδεσης PN).



Σχήμα 1.1 Φωτοκύτταρο PN πυριτίου-EMF(Πηγή: Ευρεσιτεχνία ΗΠΑ αρ. 2.402.662)

Η παρακάτω εικόνα είναι μια φωτογραφία διαφήμισης που εμφανίστηκε στο τεύχος του 1956 του περιοδικού Look, επιδεικνύοντας την «Ηλιακή μπαταρία Bell» στο αμερικανικό κοινό.[1]

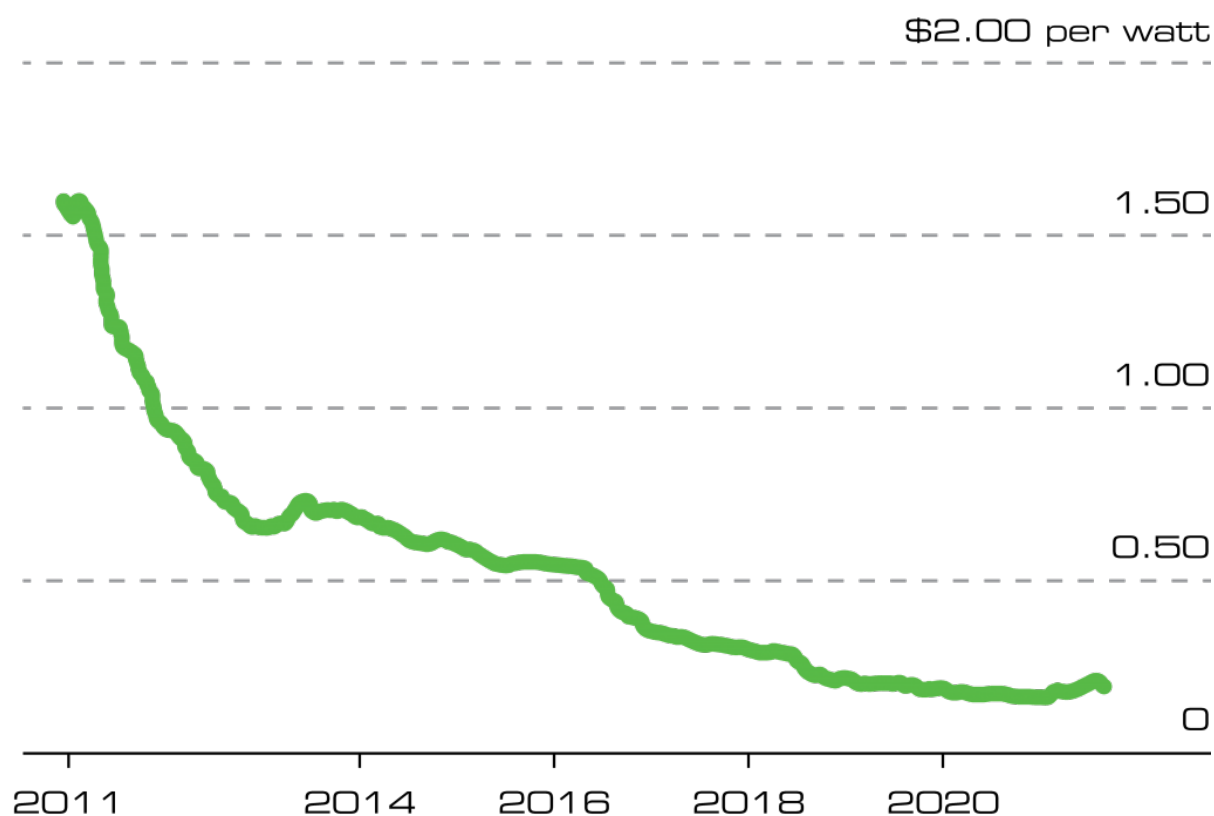


Εικόνα 1.1: Διαφήμιση Bell Solar Battery (Πηγή: τεύχος 1956 του περιοδικού Look)

## 1.4 Ηλιακή ενέργεια τη δεκαετία του 2000

Στη δεκαετία του 1950 ο κόσμος είχε λιγότερο από ένα βατ ηλιακές κυψέλες που τροφοδοτούσαν ηλεκτρικό εξοπλισμό. Γρήγορα στον 21ο αιώνα, 50 χρόνια συνεχούς ανακάλυψης και ανάπτυξης πυριτίου και άλλων φωτοβολταϊκών υλικών και συνεχίζονται, σήμερα τα ηλιακά πάνελ παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε εκατομμύρια σπίτια σε όλο τον κόσμο, τροφοδοτούν κτίρια, δορυφόρους και παρέχουν καθαρή ενέργεια σε όλο τον κόσμο.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ηλιακής ενέργειας εκτιμάται ότι είναι περίπου 728 GW και εκτιμάται ότι θα αυξηθεί στα 1.645 GW το 2026. Η ηλιακή ενέργεια έχει παρουσιάσει την πιο ταχεία μείωση κόστους μεταξύ των ενεργειακών τεχνολογιών. Η τιμή των φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου τη δεκαετία του 1950 ήταν 76 US\$/Watt, η οποία μειώθηκε σημαντικά σε 0,20 US\$/Watt το 2021. Από το 2000 έως το 2019 οι τιμές μειώθηκαν σημαντικά, αλλά οι μειώσεις άρχισαν να ισοπεδώνονται μετά από αυτό. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την τάση μείωσης του κόστους.



Διάγραμμα 1.1: Τάση μείωσης του κόστους. (Πηγή: PVinsights)

Τα μεγαλύτερα εργοστάσια, η χρήση αυτοματισμού και πιο αποτελεσματικές μέθοδοι παραγωγής έχουν προσφέρει οικονομίες κλίμακας, χαμηλότερο κόστος εργασίας και λιγότερα απόβλητα υλικών για τον ηλιακό τομέα. Το μέσο κόστος ενός ηλιακού πάνελ μειώθηκε κατά 90% από το 2010 έως το 2020.



Εικόνα 1.2 Τύποι ηλιακών συλλεκτών

Οι κύριοι τύποι ηλιακών συλλεκτών που διατίθενται σήμερα στην αγορά είναι τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά και τα πάνελ λεπτής μεμβράνης. Τα πάνελ λεπτής μεμβράνης περιλαμβάνουν κύτταρα κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά, σε αντίθεση με τα ηλιακά κύτταρα πυριτίου. Το καθένα έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. [1]

## 1.5 Το μέλλον της ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια έχει προχωρήσει με ρυθμό που είναι εκπληκτικό ακόμη και για τους ειδικούς στον τομέα και τώρα υπόσχεται να διαδραματίσει εξέχοντα ρόλο στη συνεχιζόμενη ενεργειακή μετάβαση. Σύμφωνα με τα δεδομένα της βιομηχανίας ηλιακής ενέργειας (SEIA) για την τελευταία δεκαετία, η παγκόσμια βιομηχανία φωτοβολταϊκών αναπτύσσεται με μέσο ετήσιο ρυθμό σύνθετου μεγαλύτερου από 35%. Είναι βέβαιο ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών θα συνεχίσει να αυξάνεται καθώς το παγκόσμιο χαρτοφυλάκιο ενέργειας μεταβαίνει περισσότερο προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η αύξηση της ισχύος της μονάδας των πάνελ από 250 W σε 500 W την τελευταία δεκαετία είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της σχετικής συνεισφοράς του κόστους της μονάδας στο συνολικό κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα ηλιακά κύτταρα πυριτίου εξακολουθούν να κυριαρχούν στην αγορά και θα χρειαστεί λίγος χρόνος για να αποκτήσουν κυριαρχία στην αγορά τα ηλιακά κύτταρα άλλης γενιάς.

Μία από τις βασικές προκλήσεις είναι να μειωθεί το κόστος και να βελτιωθεί η απόδοση, αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εξεύρεση νέων ανταγωνιστικών μεθόδων κατασκευής ηλιακών μονάδων πλακιδίων πυριτίου στην αγορά με χαμηλότερο κόστος. Εστιάζοντας στην κρυσταλλική τεχνολογία φωτοβολταϊκών που βασίζεται σε πυρίτιο, αυτή η τυποποιημένη βιομηχανία έχει μια απότομη καμπύλη εκμάθησης και είναι σε καλή θέση για να ανταποκριθεί στην πρόκληση της παραγωγής πολλών τεραβάτ ενέργειας. Φτάνουμε επίσης στο θεωρητικό όριο των ηλιακών κυψελών μονής διασταύρωσης.

Τελικά, οι συνδυασμένες τεχνολογίες μπορούν να αποτελέσουν μια λύση για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, ωστόσο απαιτείται ακόμη σημαντική έρευνα για να καταστεί δυνατό αυτό με χαμηλό κόστος για τη μαζική αγορά. Δεδομένου του γεγονότος ότι αυτή η τεχνολογία είναι πάνω από πενήντα ετών, απαιτείται περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη για την πλοήγηση σε διάφορες δυνατότητες[1].

## **2. ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ**

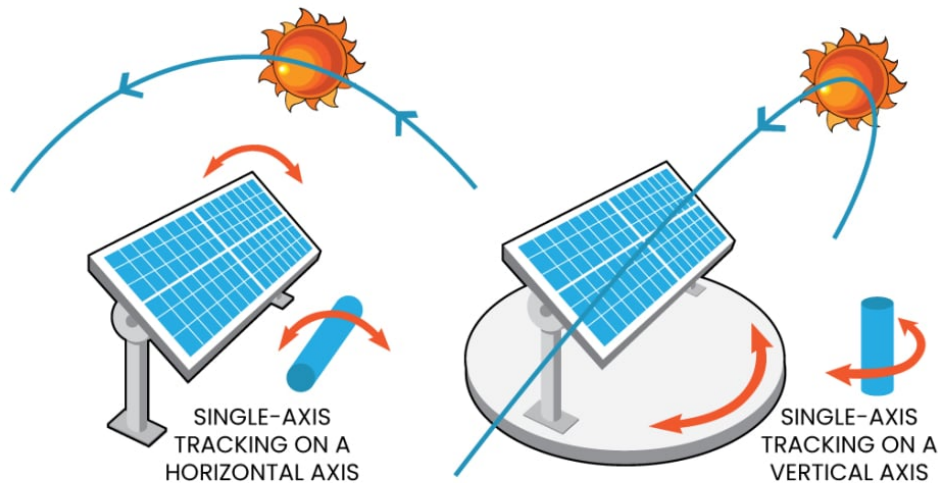
Οι βάσεις στήριξης των ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ μπορούν να είναι σταθερές ή μπορούν να περιλαμβάνουν έναν κινητήρα για αλλαγή του προσανατολισμού των μονάδων για την παρακολούθηση/ιχνηλάτηση του ήλιου. Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε σχέδιο ανάλογα με το έργο.

### **2.1 Ιχνηλάτες<sup>[4]</sup>**

Τα ηλιακά συστήματα παρακολούθησης μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον τρόπο κίνησής τους. Η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών μπορεί να περιστραφεί/γέρνει γύρω από άξονες για να δημιουργήσει μια σωστή γωνία που μπορεί να τα βοηθήσει να λάβουν το μέγιστο ηλιακό φως.

#### **2.1.1 Ιχνηλάτες μονού άξονα**

Όταν η κίνηση ή η ρύθμιση της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πραγματοποιείται με περιστροφή γύρω από έναν άξονα, ονομάζεται παρακολούθηση μονού άξονα. Όταν η κίνηση της φωτοβολταϊκής επιφάνειας συμβαίνει γύρω από δύο άξονες ταυτόχρονα, ονομάζεται παρακολούθηση διπλού άξονα



Σχήμα 2.1 Ιχνηλάτης με παρακολούθηση μονού άξονα (<https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/>)

### 2.1.2 Πλεονεκτήματα του ιχνηλάτη μονού άξονα

Τα πλεονεκτήματα των ιχνηλατών μονού άξονα περιλαμβάνουν:

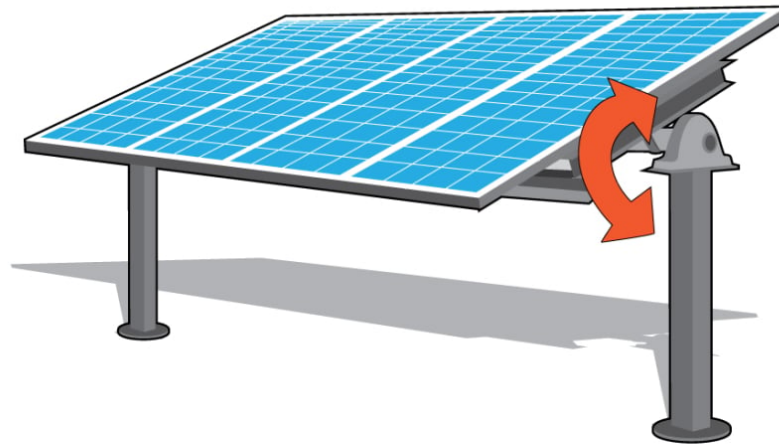
- Οι ιχνηλάτες μονού άξονα κινούνται συνήθως από τα ανατολικά προς τα δυτικά και ακολουθούν την κατεύθυνση του Ήλιου.
- Οι ιχνηλάτες μονού άξονα είναι φθηνοί, πολύ απλοί στη ρύθμιση και λειτουργούν με χαμηλό κόστος.
- Είναι πιο αξιόπιστοι από τους ιχνηλάτες διπλού άξονα.
- Ο μονός άξονας έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους ιχνηλάτες διπλού άξονα.
- Οι ιχνηλάτες μονού άξονα ταιριάζουν σε εταιρείες που θέλουν μια επιλογή χαμηλού κόστους.
- Οι ιχνηλάτες μονού άξονα ταιριάζουν επίσης σε περιοχές με λιγότερο ήλιο.
- Ο ιχνηλάτης μονού άξονα έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με ένα ηλιακό πάνελ σε σταθερή μορφή. Η αποτελεσματικότητα του ηλιακού ανιχνευτή μονού άξονα πάνω από το σταθερό πάνελ στήριξης ηλιακής παρακολούθησης είναι 32,17%.

Οι διάφοροι τύποι ανιχνευτών μονού άξονα επεξηγούνται παρακάτω:

### 2.1.3 Οριζόντιος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα (Horizontal Single-Axis Solar Tracker -HSAT)

Το HSAT περιστρέφεται από ανατολή προς δύση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας σε σταθερό άξονα, ο οποίος είναι παράλληλος με το έδαφος, και θεωρείται ως η πιο

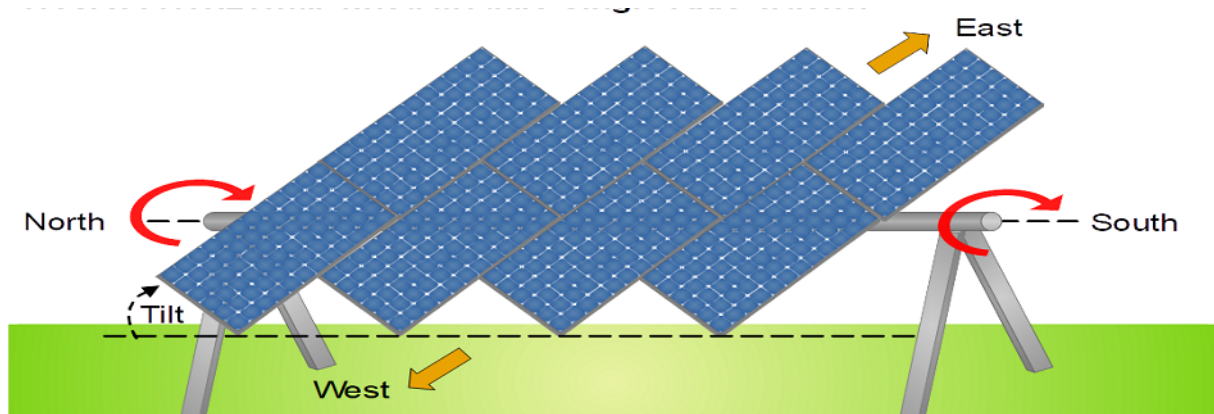
οικονομική διαμόρφωση ιχνηλάτη σε πολλές εφαρμογές φωτοβολταϊκών. Η δομή HSAT τοποθετείται σε πολλά στηρίγματα κατά μήκος του περιστρεφόμενου άξονα, απαιτεί λιγότερο υλικό για κατασκευή και η οριζόντια διαμόρφωσή της προτιμάται περισσότερο σε σύγκριση με άλλες γεωμετρίες παρακολούθησης.



Σχήμα 2.2 Οριζόντιος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα (<https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/>)

#### 2.1.4 Οριζόντιος κεκλιμένος Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα (Horizontal Tilted Single-Axis Solar Tracker - HTSAT)

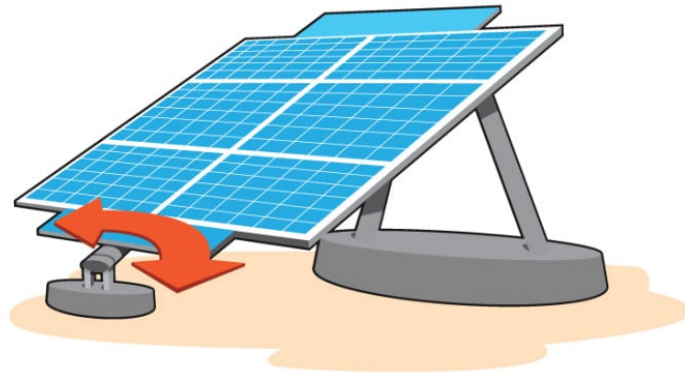
Το HTSAT είναι πολύ παρόμοιο με το HSAT, αλλά είναι εγκατεστημένο σε μια συγκεκριμένη κλίση. Είναι πιο περίπλοκοι από τους οριζόντιους ιχνηλάτες ενός άξονα και είναι ακριβοί. Απαιτούν τσιμεντένια βάση, προσθέτοντας στο συνολικό κόστος και δεν είναι εύκολο να επεκταθούν



Σχήμα 2.3 Οριζόντιος κεκλιμένος Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα (<https://taiyangnews.info/technology/classification-of-single-axis-trackers/>)

### 2.1.5 Κατακόρυφος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα (Vertical Single-Axis Solar Tracker -VSAT)

Αυτά τα συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν σε προσανατολισμό Βορρά/Νότου ή Ανατολής/Δύσης για να ακολουθήσουν περισσότερη κίνηση «πάνω-κάτω» του ήλιου στον ουρανό. Αυτά εμφανίζονται συχνότερα σε τοποθεσίες μεγάλου υψομέτρου ή σε πιο ακραία γεωγραφικά πλάτη.



Σχήμα 2.4 Κατακόρυφος ηλιακός ανιχνευτής μονού άξονα <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/>

### 2.1.6 Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα με Κατακόρυφη Κλίση (Vertical-Tilted Single-Axis Solar Tracker - VTSAT)

Αυτά είναι παρόμοια με τα HTSAT εκτός από το ότι η κλίση ευθυγραμμίζεται σε οριζόντια θέση και περιστρέφεται σε κατακόρυφο άξονα. Αυτοί οι ιχνηλάτες είναι καλύτεροι στην παραγωγή ενέργειας σε σύγκριση με τους οριζόντιους ιχνηλάτες. Ωστόσο, η κλίση τους υπόκειται σε αυξημένα φορτία ανέμου σε σύγκριση με τις οριζόντιες μονάδες. Επίσης, έχουν υψηλή δομική ζήτηση και απαιτούν επιπλέον σκυρόδεμα και χάλυβα για να χτίσουν μια ισχυρή βάση.



Εικόνα 2.1 Ηλιακός Ιχνηλάτης Μονού Άξονα με Κατακόρυφη Κλίση (<https://www.made-in-china.com/showroom/iaodanny/product-detailHCFmxwLDCnhb/China-Tilted-Single-Axis-Tracking-System.html>)



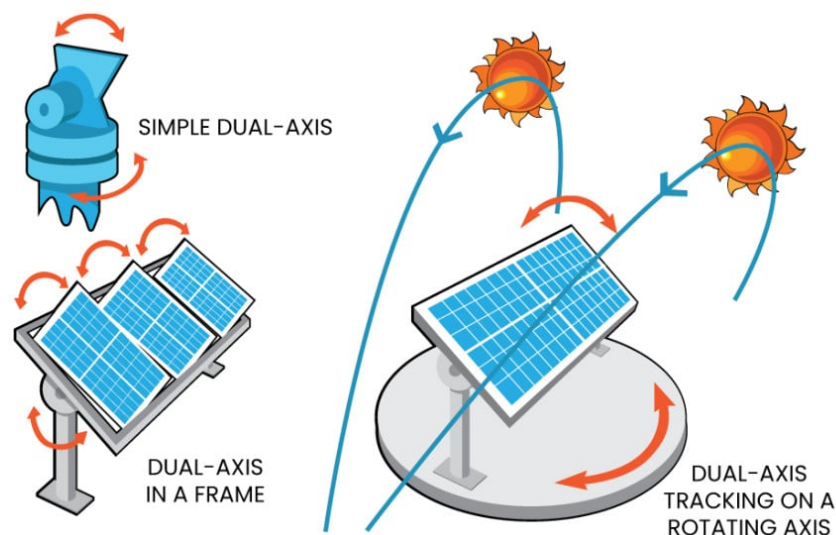
### 2.1.7 Ιχνηλάτες Διπλού Άξονα[4]

Οι ιχνηλάτες διπλού άξονα έχουν έναν οριζόντιο και έναν κατακόρυφο άξονα, δηλαδή και τον άξονα ανατολής/δύσης και τον άξονα βορρά/νότου και έτσι μπορούν να παρακολουθούν ολόκληρη την κίνηση του ήλιου στον ουρανό. Αυτοί οι ιχνηλάτες έχουν επομένως τη δυνατότητα να μεγιστοποιήσουν τη συνολική απόδοση ισχύος προσανατολίζοντας τα πάνελ στο άμεσο ηλιακό φως για τον μέγιστο αριθμό ωρών την ημέρα. Ένα ηλιακό πάνελ διπλού άξονα παράγει έως και 40% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από έναν στατικό τύπο, αλλά κοστίζει 100% περισσότερο και έχει μεγαλύτερο κόστος συντήρησης. Η ποσότητα ενέργειας που δαπανάται εξωτερικά για τον προσανατολισμό του ηλιακού πάνελ πρέπει να αφαιρεθεί από τη συνολική ποσότητα ενέργειας που παράγεται για να μετρηθεί με ακρίβεια η ενέργεια που παράγεται από τα πάνελ.

### 2.1.8 Αρχή λειτουργίας ιχνηλάτη διπλού άξονα

Υπάρχουν τρία μέσα αλλαγής της θέσης ενός ηλιακού ιχνηλάτη:

- **Χειροκίνητο**– Υπάρχει προσωπικό που προσαρμόζει τη θέση του ηλιακού ιχνηλάτη σε διάφορες στιγμές της ημέρας. Αυτή η μέθοδος παρακολούθησης είναι οικονομικά βιώσιμη σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου η τιμή της εργατοώρας είναι χαμηλή.
- **Παθητικό**- Ο ηλιακός ιχνηλάτης είναι εφοδιασμένος με έναν βολβό υγρού που όταν εκτίθεται στον ήλιο θερμαίνεται. Αυτό προκαλεί την εξάτμιση του υγρού. Αυτή η επέκταση όγκου ωθεί και γέρνει τον προσαρτημένο ηλιακό ιχνηλάτη προς τον ήλιο.
- **Ενεργός** – Ηλεκτροκινητήρες ή υδραυλικοί κύλινδροι χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της θέσης του ιχνηλάτη.



Σχήμα 2.5

ιχνηλάτες διπλού άξονα (<https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/>)

### 2.1.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του διπλού άξονα, γι' αυτό, ακόμη κι αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη, αλλά και πάλι δεν έχουν βρει ευρεία εμπορική εφαρμογή. Τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών διπλού άξονα περιλαμβάνουν:

- Μπορεί να δώσει 40% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από ένα μη κινούμενο ηλιακό πάνελ
- Υψηλότερος βαθμός ευελιξίας, επιτρέποντας υψηλότερη απόδοση ενέργειας τις ηλιόλουστες μέρες

Τα μειονεκτήματα των ανιχνευτών διπλού άξονα περιλαμβάνουν

- Τα πολλά κινούμενα μέρη καθιστούν πιο πιθανό τα εξαρτήματα να πάθουν βλάβη
- Μικρότερη διάρκεια ζωής και χαμηλότερη αξιοπιστία
- Πολύ δαπανηρό. Μπορεί να παράγει 40% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε σύγκριση με τα στατικά πάνελ αλλά είναι επίσης 100% πιο δαπανηρή.
- 

### 2.1.10 Ενεργοί Ιχνηλάτες και Παθητικοί Ιχνηλάτες

Οι φωτοβολταϊκοί ιχνηλάτες μπορούν να ταξινομηθούν σε **ενεργούς** και παθητικούς ανιχνευτές με βάση τα συστήματα κίνησης τους. Οι πιο συνηθισμένοι είναι οι ενεργοί ηλιακοί ιχνηλάτες, ενώ λιγότερο συνηθισμένοι είναι οι παθητικοί ηλιακοί ιχνηλάτες. Ως αποτέλεσμα των διαφορετικών σχεδίων τους, η απόδοση και το κόστος τους διαφέρουν επίσης.

### 2.1.11 Ενεργοί ηλιακοί ιχνηλάτες

Στους ενεργούς ιχνηλάτες παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια για να κινούνται οι ενεργοποιητές τους. Αυτή η ενέργεια μπορεί ακόμη και να είναι μέρος της ενέργειας που συλλέγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα που οδηγούν. Τα συστήματα ενεργοποιητή μπορεί να αποτελούνται από κινητήρες και άλλες περίτεχνες μηχανικές συσκευές.

### 2.1.12 Παθητικοί Ηλιακοί Ιχνηλάτες

Οι παθητικοί ηλιακοί ιχνηλάτες παρακολουθούν επίσης τον ήλιο, αλλά το κάνουν χωρίς να απαιτούν εξωτερική πηγή ενέργειας. Τις περισσότερες φορές, η θερμότητα του ήλιου χρησιμοποιείται για να προκαλέσει διαστολή μιας σταθερής μάζας υλικού, π.χ. ενός αερίου χαμηλού σημείου βρασμού. Η διαστολή προκαλεί μια μηχανική κίνηση ενός ενεργοποιητή. Ένα ζεύγος ή περισσότεροι ενεργοποιητές είναι

τοποθετημένοι έτσι ώστε να επεκτείνονται διαφορεικά ανάλογα με τον προσανατολισμό του ανιχνευτή ωφέλιμου φορτίου σε σχέση με τον ήλιο. Η Διαφορική επέκταση κάνει τον ιχνηλάτη να κινηθεί πιο κοντά στην κατεύθυνση του ήλιου. Κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου, όταν ουσιαστικά δεν υπάρχει ηλιακή ενέργεια για να οδηγήσει αυτή τη διάταξη, Συγκρατείται χειροκίνητα σε σχεδόν κατακόρυφη θέση με αυτο-απελευθερούμενο δέσιμο τη νύχτα, έτσι ώστε το ξημέρωμα, όταν παίρνει αρκετή διαφορική ενέργεια, να μπορεί να μετακινηθεί στη θέση του και στη συνέχεια να συνεχίσει να παρακολουθεί.

### **2.1.13 Ολογραφικός Ιχνηλάτης**

Ο ολογραφικός ηλιακός ανιχνευτής είναι μια δυνατότητα που έχει αναλυθεί καλά αλλά δεν έχει εφαρμοστεί στην πράξη παρά μόνο σε εργαστηριακό επίπεδο. Αυτός ο τύπος ιχνηλάτη θα είναι σταθερός ανιχνευτής. Το φως από διαφορετικές γωνίες θα αντιμετωπιστεί από διαφορετικά ολογράμματα και θα μεταφερθεί στο ηλιακό κύτταρο. Δεδομένου ότι δεν εμπλέκεται καμία κίνηση, δεν υπάρχει ανάγκη για παροχή ρεύματος και ως εκ τούτου πρόκειται για μια μορφή παθητικού ιχνηλάτη.

### **2.1.14 Οφέλη διατάξεων ιχνηλατών[3]**

Οι δομές ιχνηλάτη δημιουργούν υψηλότερη παραγωγή ενέργειας καθώς διατηρούν τα πάνελ στη βέλτιστη γωνία για να δέχονται τις περισσότερες ακτίνες του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας — που σημαίνει ότι για την ίδια μέγιστη ισχύ μια εγκατάσταση μπορεί να παράγει περισσότερη ενέργεια. Έχουν επίσης ένα συνολικό χαμηλότερο επίπεδο κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, παρά το γεγονός ότι απαιτούν υψηλότερες αρχικές δαπάνες κεφαλαίου, καθώς η αυξημένη απόδοση μειώνει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

## **2.2 Δομές σταθερής κλίσης [3]**

Μια δομή σταθερής κλίσης στρέφει τις γωνίες προς τον ισημερινό, επομένως η γωνία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας. Τα πάνελ έχουν κλίση προς το νότο στο βόρειο ημισφαίριο και προς το βορρά στο νότιο ημισφαίριο.

### **2.2.1 Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη [5]**

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια πχ. προσόψεις, στέγες.

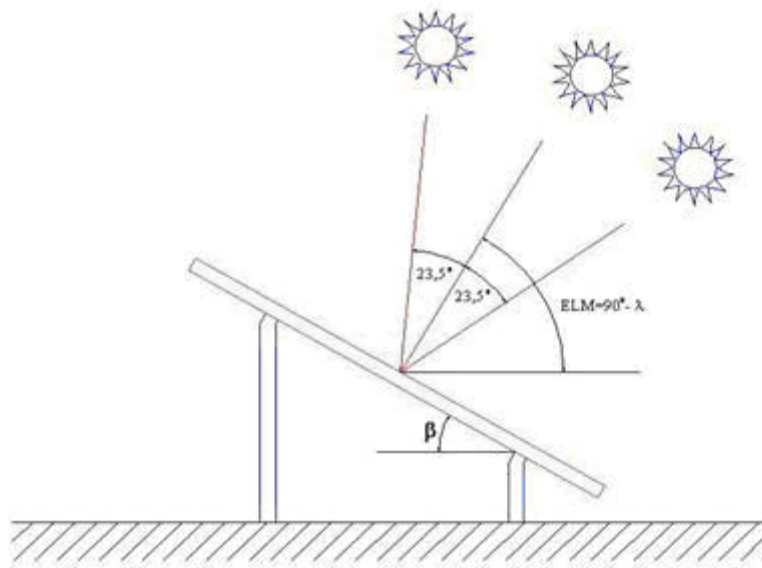
Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Όταν ο χώρος τοποθέτησης δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, είναι η πιο απλή περίπτωση. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο (στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε βόρειο). Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το  $\lambda$  του τόπου (γεωγραφικό πλάτος), οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή  $ELM_{\epsilon\lambda}=(90^{\circ}-\lambda)-23,5^{\circ}$ , στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη  $ELM_{\mu\epsilon\gamma}=(90^{\circ}-\lambda)+23,5^{\circ}$  (21 Ιουνίου) και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτινών κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από  $-23,5^{\circ}$  έως  $+23,5^{\circ}$ . Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με την γωνία  $\lambda$  του τόπου, η μέση ημερησία τιμή της ετησίας ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη.

Για να προκύψει, βεβαία η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και τη ανακλαστικότητα του εδάφους. Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρο) σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη το albedo του εδάφους.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη ( $>200$ ) βρίσκεται στην περιοχή  $\lambda-(10^{\circ}\div 15^{\circ})$ .
- Για τόπους με μικρά  $\lambda$ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι  $0^{\circ}$ . Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία  $5^{\circ}\div 10^{\circ}$  ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).
- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία  $\beta=\lambda-10^{\circ}$ .
- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι  $\beta=\lambda+15^{\circ}$ . Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση  $\beta=\lambda-15^{\circ}$ .
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.



Σχήμα 2.6 Τοποθέτηση του συλλέκτη με βάση το γεωγραφικό πλάτος (<https://sunshine-energy.gr/>)

## 2.2.2 Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη :

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνιάς κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90°.

Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, ανέμου, θερμοκρασίας, κλπ.), καθώς και το albedo του εδάφους όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.

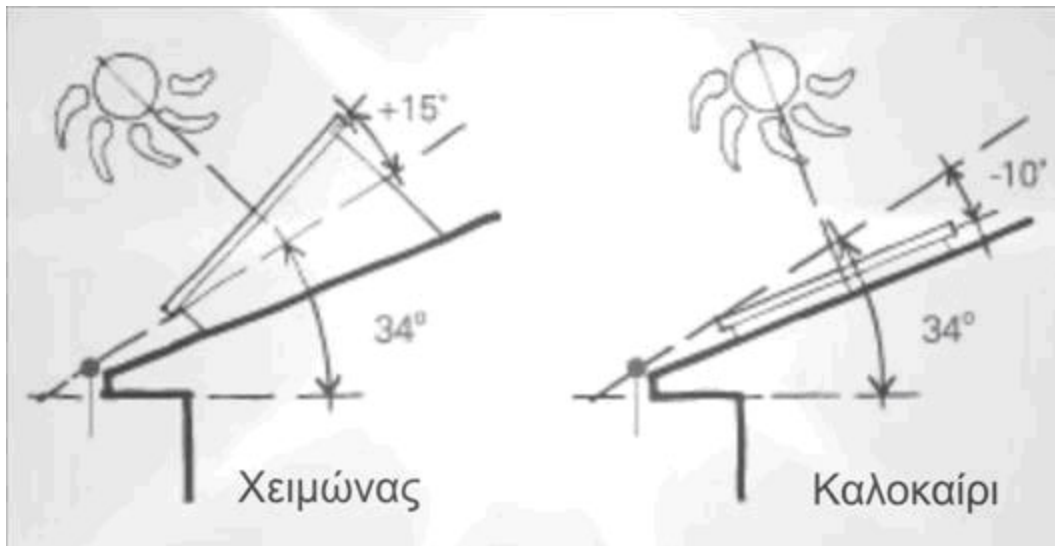
Συμπέρασμα:

Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι  $\beta = \lambda + (10^\circ \div 15^\circ)$ .

Κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι  $\beta = \lambda - (10^\circ \div 15^\circ)$ .

### 2.2.3 Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση

Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους. Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.



Σχήμα 2.7 Τοποθέτηση του συλλέκτη με βάση την εποχή του χρόνου (<https://sunshine-energy.gr/>)

### 2.2.4 Οφέλη από τις σταθερές κατασκευές

Οι σταθερές κατασκευές επιτρέπουν την εγκατάσταση περισσότερων πάνελ στον ίδιο χώρο σε σχέση με τους ιχνηλάτες, που λόγω της κίνησής τους καλύπτουν μεγαλύτερη περιοχή. Επομένως οι σταθερές κατασκευές παρέχουν περισσότερη συνολική ενέργεια για την ίδια περιοχή παρά τη χαμηλότερη ειδική παραγωγή (kWh/kWp) ειδικά το πρῶτο και το βράδυ.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σκίαση μεταξύ των σειρών που δημιουργείται από την κλίση των πάνελ, οι σταθερές κατασκευές έχουν μικρότερη **απόσταση μεταξύ τους**, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εγκατάστασης περισσότερων σειρών και αυξάνοντας την ποσότητα της μέγιστης ισχύος και της συνολικής παραγόμενης ενέργειας. Τα σχέδια σταθερών πάνελ μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν στη μεγαλύτερη ποσότητα πάνελ σε κάθε τοποθεσία.

## 2.3 Συστήματα Ανατολής-Δύσης[5]

Στα συστήματα ανατολής-δύσης, τα ηλιακά πάνελ εγκαθίστανται σε γωνίες αζιμουθίου 90 μοιρών, με τα μισά από αυτά να βλέπουν προς την ανατολή και τα μισά προς τη δύση. Αυτός ο προσανατολισμός χρησιμοποιείται τόσο στη γη όσο και σε επίπεδες οροφές.



Εικόνα 2.2 Διάταξη ανατολής-δύσης σε ΦΒ πάρκο (<https://sunshine-energy.gr/>)

Το ενδιαφέρον για τη διάταξη αυτή είναι σήμερα μεγαλύτερο διεθνώς, αν και περισσότερα τέτοια έργα κατασκευάζονται πιο κοντά στον ισημερινό ή σε έργα με περιορισμούς τοποθεσίας, όπως εμπορικές στέγες.

Με τη διάταξη ανατολής-δύσης υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης μεγαλύτερης πυκνότητας ηλιακών μονάδων στα ίδια τετραγωνικά σε σχέση με μια συστοιχία με νότιο προσανατολισμό. Υπάρχουν λιγότεροι διάδρομοι μεταξύ σειρών πάνελ και πολλές φορές οι σειρές πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν διαδοχικά για να σχηματίσουν μπλοκ.

Οποιαδήποτε απώλεια ενέργειας σε μια συστοιχία ανατολής-δύσης μπορεί να ανακτηθεί με τον αριθμό των επιπλέον μονάδων της, ειδικά αν βρίσκεται πιο κοντά στον ισημερινό. Όσο πιο νότια είναι ένα έργο, τόσο πιο ψηλά θα είναι ο ήλιος στον ουρανό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, που σημαίνει μεγαλύτερη έκθεση για μια σειρά ανατολής-δύσης.

Καθώς οι τιμές των πάνελ και των συσσωρευτών μειώνονται, η γη θα αποτελεί το πιο ακριβό μέρος του συστήματος, οπότε οι κατασκευαστές πιστεύουν ότι η διάταξη ανατολής-δύσης είναι η απάντηση στην εξοικονόμηση γης.



Εικόνα 2.3 Συστήματα ανατολής – δύσης σε ταράτσα (<https://sunshine-energy.gr/>)

### 2.3.1 Πλεονεκτήματα των συστημάτων ανατολής - δύσης

Αυτά τα έργα Ανατολής-Δύσης - τόσο στο έδαφος όσο και στην οροφή - εγκαθίστανται σε μικρότερα ύψη από τις συστοιχίες με νότιο προσανατολισμό. Η χαμηλότερη γωνία των διαδοχικών μονάδων και το μικρότερο ύψος σημαίνει ότι ο άνεμος περνά πάνω και μέσα από τη συστοιχία. Στις συστοιχίες με νότιο προσανατολισμό, υπάρχει μεγαλύτερη αντίσταση στον αέρα που φυσά στο πίσω μέρος αυτών των μονάδων.

Τα συστήματα Ανατολής-Δύσης βλέπουν σταθερότερη συνολική παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας παρά την άνοδο της παραγωγής το μεσημέρι που παρατηρείται σε συστοιχίες με νότιο προσανατολισμό. Σε επίπεδο εξαρτημάτων, αυτό σημαίνει ότι αποφεύγεται το ψαλίδισμα του μετατροπέα, το οποίο συμβαίνει όταν ένας μετατροπέας λαμβάνει περισσότερη ηλεκτρική είσοδο από αυτή που έχει σχεδιαστεί για επεξεργασία.

### 2.3.2 Μειονεκτήματα των συστημάτων ανατολής - δύσης

Τα πάνελ με ανατολική και δυτική όψη πρέπει να έχουν ξεχωριστά ηλεκτρικά συστήματα, που απαιτούν διαφορετική **διάταξη και ανάλυση τοποθεσίας** από τις παραδοσιακές διαμορφώσεις. Και καθώς υπάρχει λιγότερος χώρος μεταξύ κάθε πίνακα, η εκτέλεση της συντήρησης είναι πιο δύσκολη από ό,τι με ένα σύστημα παρακολούθησης.



Η μεγάλη ποσότητα εγκατεστημένων μονάδων που λειτουργούν εκτός της βέλτιστης γωνίας προκαλεί πτώση της συγκεκριμένης παραγωγής της Φ/Β (kWh/kWp) εγκατάστασης και αύξηση του συνολικού κόστους της Φ/Β εγκατάστασης.

### 3. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Οι απώλειες φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική απόδοση και ισχύ εξόδου των συστοιχιών ηλιακών πάνελ. Ο καλός σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη 10 κύριες απώλειες φωτοβολταϊκών , ενώ οι βέλτιστες πρακτικές σχεδιασμού και εγκατάστασης συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών ισχύος ηλιακών κυψελών.

Είναι γεγονός ότι τα ηλιακά πάνελ δεν είναι πολύ αποδοτικά . Τα πιο αποτελεσματικά είναι μονοκρυσταλλικού τύπου, με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ να έρχονται σε δεύτερη μοίρα. Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ χρησιμοποιούνται εκτενώς για οικιακές και μεγάλης κλίμακας ηλιακές εγκαταστάσεις, ενώ άλλοι, εξειδικευμένοι τύποι χρησιμοποιούνται για ορισμένες περιπτώσεις που χρειάζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά πάνελ. Παρακάτω δίνονται οι αποδόσεις των τριών πιο κοινών κατηγοριών πάνελ[2]

ΤΥΠΟΣ	Μονοκρυσταλλικό	Πολυκρυσταλλικό	Λεπτή μεμβράνη
ΣΥΝΘΕΣΗ	Ένα κρύσταλλο	Πολλαπλοί κρύσταλλοι	Λεπτές στρώσεις πυριτίου
ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ	Έως 22%	Περίπου 15%	Μέγιστο 10%

<b>ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ</b>	25 έως 30 ετών	20 έως 25 ετών	15 έως 20 ετών
<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>	Ακριβός	Πιο φθηνά	Ακριβός

Τα ηλιακά πάνελ βαθμολογούνται και αξιολογούνται με δύο συνήθεις τρόπους:

- Αξιολόγηση **STC**(Standard Test Conditions)
- Βαθμολογία **NOCT** (Nominal Operating Cell Temperature)

Η βαθμολογία ηλιακού πάνελ **STC** δίνει την ισχύ εξόδου σε ακτινοβολία  $1000\text{W}/\text{m}^2$  που είναι αρκετά υψηλό ποσοστό. Πολλές τοποθεσίες δεν έχουν αυτό το επίπεδο και σίγουρα, σχεδόν καμία τοποθεσία στη Γη δεν θα έχει αυτό το επίπεδο όλο το χρόνο.

Η βαθμολογία **NOCT** δίνει ισχύ σε ακτινοβολία  $800\text{W}/\text{m}^2$ , η οποία είναι πολύ πιο λογική. Σημαίνει ότι όταν αγοράζουμε ένα ηλιακό πάνελ  $100\text{Watt}$ , το καλύτερο που μπορούμε να περιμένουμε σε τέλειες συνθήκες είναι  $100\text{Watt}$ , αλλά κυρίως θα έχουμε  $80\text{Watt}$  μέση τιμή, πιθανώς λιγότερα όλο το χρόνο.

Αυτή είναι η πρώτη απώλεια που έχουμε να αντιμετωπίσουμε, αλλά, φυσικά, δεν μπορούμε να κάνουμε τίποτα γι' αυτό. Η αναποτελεσματικότητα είναι ενσωματωμένη. Στην πραγματικότητα, αυτός είναι ένας καλός τρόπος για να χαρακτηρίσουμε τις απώλειες φωτοβολταϊκών συστημάτων – αυτές που μπορούμε να βελτιώσουμε και αυτές που δεν μπορούμε.

Συνολικά, οι απώλειες ηλιακού συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ισχύος σε ηλιακούς συλλέκτες, αντιπροσωπεύουν περίπου το 26% της παραγόμενης ενέργειας, επομένως ό,τι μπορούμε να κάνουμε για να βελτιώσουμε την παραγωγή θα μπορούσε να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο κόστος λειτουργίας και απόσβεσης.

Από τον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι οι περισσότερες απώλειες είναι ζήτημα σχεδιασμού, ενώ καμία από αυτές δεν είναι σταθερή – ποικίλλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, τον καιρό και τις συνθήκες φορτίου.

Αιτία	Απώλειας	Ποσοστό	Σχεδιασμός	Συνολικές Απώλειες
Σκίαση		7%	Και τα δυο	<b>23,8%</b>
Σκόνη και βρωμιά		2%	Συντήρηση	
Αντανάκλαση		2,5%	Σχέδιο	
Φασματικές Απώλειες		1%	Σχέδιο	
Ακτινοβολία		1,5%	Σχέδιο	
Θερμικές Απώλειες		4,6%	Σχέδιο	
Αναντιστοιχία πίνακα		0,7%	Σχέδιο	
Απώλειες καλωδίου DC		1%	Σχέδιο	
Απώλειες μετατροπέα		3%	Σχέδιο	
Απώλειες καλωδίου AC		0,5%	Σχέδιο	

### 3.1 Επίδραση της σκίασης σε σειρά και παράλληλα συνδεδεμένες ηλιακές φωτοβολταϊκές μονάδες

Είναι λογικό ότι η σκίαση της επιφάνειας ενός ηλιακού πάνελ από τον ήλιο θα υποβαθμίσει την απόδοσή του, αλλά αυτό μπορεί να είναι πιο σοβαρό από ό,τι φανταζόμαστε.

Ο καλός σχεδιασμός μπορεί να μειώσει αυτήν την τιμή, ενώ η συνεχής συντήρηση θα διασφαλίσει ότι οι συστοιχίες των πάνελ δεν θα επισκιαστούν από δομές ή ανάπτυξη φυτών.

Έστω πάνελ 20 Volt 300 Watt με 60 ηλιακά κύτταρα, Voc 38 volt I<sub>max</sub> 24 A. – αυτό είναι ένα τυπικό μέγεθος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιακή ηλιακή εγκατάσταση. Αν καλυπτόταν πλήρως μόνο ένα από τα κελιά, η παραγωγή θα μειωθεί κατά **75%**. Αυτό εξηγείται στη συνέχεια

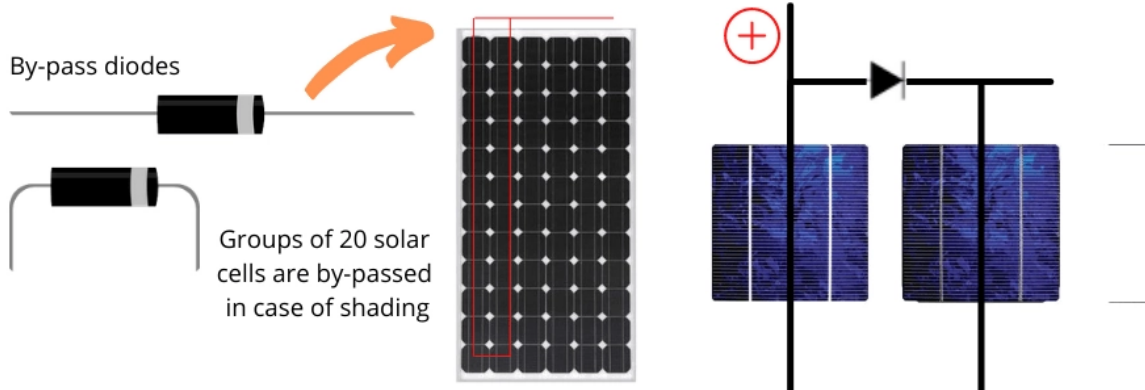
Τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται σε σειρά σε ομάδες των 20, στην περίπτωση ενός πάνελ 60 κυψελών, έτσι ώστε το ίδιο ρεύμα να ρέει μέσα από τις κυψέλες μιας ομάδας. Εάν έστω και ένα κελί είναι μερικώς σκιασμένο, εμποδίζοντας ένα ποσοστό της ροής του ρεύματος, η έξοδος ολόκληρου του πάνελ θα επηρεαστεί.

Εκτός από τη σοβαρή μείωση της ισχύος εξόδου, τα πάνελ μπορεί να καταστραφούν λόγω της δημιουργίας hot-spots, κάτι που μπορεί να συμβεί χωρίς ηλεκτρονική προστασία.

### 3.2 Λύσεις σκίασης ηλιακών πάνελ

#### 3.2.1 Δίοδοι παράκαμψης

Όλα τα σύγχρονα ηλιακά πάνελ είναι εξοπλισμένα με διόδους παράκαμψης, οι οποίες επιτρέπουν στο ρεύμα να ρέει γύρω από μια ομάδα ηλιακών κυψελών που ενδέχεται να μπλοκάρουν λόγω σκίασης. Δυστυχώς, η παραγωγή της συγκεκριμένης ομάδας χάνεται σε βάρος της εξοικονόμησης των άλλων δύο τρίτων. Δεν είναι η καλύτερη λύση, αλλά είναι η φθηνότερη. Οι διόδους by-pass δεν είναι γνωστές για τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους και είναι επίσης επιρρεπείς σε αστοχίες.



Εικόνα 3.1 Δίοδοι παράκαμψης

Μια πρόσφατη μελέτη βρήκε **ποσοστό αστοχίας 47%** κυρίως λόγω του γεγονότος ότι οι συνθήκες λειτουργίας των περισσότερων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πολύ πιο σκληρές από τις συνθήκες εργαστηριακών δοκιμών.

Υπάρχουν καλύτεροι τρόποι όχι μόνο για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης λόγω των απωλειών σκίασης αλλά και για την προστασία των ίδιων των **ηλιακών συλλεκτών** από ζημιές υπερθέρμανσης που προκαλούνται από τροφοδοσίες πίσω και μη ισορροπημένα φορτία.

### 3.2.2 Ηλιακά πάνελ με ενσωματωμένους μικρο-μετατροπείς

Η τυπική διάταξη (μέχρι τώρα) για τη μετατροπή της τάσης συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα που χρειαζόμαστε στο σπίτι μας ήταν να εγκαταστήσουμε μόνο έναν μεγάλο ηλιακό μετατροπέα .

Μια σειρά από 10 έως 14 πάνελ μπορεί να συνδεθούν μεταξύ τους σε σειρά, έτσι ώστε η τάση DC να φτάσει τα 600 βολτ – αυτό από μόνο του δεν είναι καλό. Είναι επικίνδυνο για ένα πράγμα. Τόξα ρεύματος συνεχούς ρεύματος που προκαλούν ζημιές και εγκαύματα.

Εάν ένα πλαίσιο στη συμβολοσειρά είναι σκιασμένο, τότε η μείωση της ισχύος εξόδου είναι σημαντική, λόγω της φύσης των σειριακών συνδέσεων. Μια λύση είναι να τοποθετηθεί ένας μικρο-μετατροπέας σε κάθε πάνελ, ο οποίος μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε AC και τον μεταδίδει σε ένα κεντρικό κουτί για περαιτέρω διανομή. Με αυτόν τον τρόπο, η έξοδος ενός ηλιακού πάνελ δεν τραβάει τα άλλα με τον ίδιο τρόπο.

### 3.3 Η επίδραση της σκόνης στην απόδοση του ηλιακού πάνελ

Ο αντίκτυπος της σκόνης στην απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών δεν μπορεί να αγνοηθεί και το διάγραμμα δίνει 2% απώλεια ενέργειας ως εύλογο ποσοστό για τους επαγγελματίες του κλάδου που μπορούν να χρησιμοποιήσουν στους υπολογισμούς σχεδιασμού τους. Αυτή είναι πραγματικά μια ευρεία μέση τιμή και θα ποικίλλει πολύ ανάλογα με τη γεωγραφική θέση.

Το 2% είναι περίπου σωστό για μια χώρα με βροχές όλο το χρόνο, αλλά για τοποθεσίες με μεγάλες περιόδους σκόνης και κοντά σε βιομηχανική δραστηριότητα, το ποσοστό αυτό θα μπορούσε εύκολα να φτάσει το 6 ή 7% – αυτή η απώλεια ενέργειας δεν είναι αμελητέα.

Η σκόνη συσσωρεύεται σε πάνελ που είναι τοποθετημένα σε χαμηλότερη γωνία κλίσης, αλλά ένας άλλος εχθρός της αποτελεσματικότητας του πάνελ, το κόπρι των πουλιών, είναι ένας πολύ καλός αποκλεισμός του ηλιακού φωτός. Συσσωρεύεται αρκετά γρήγορα με την πάροδο του χρόνου και επίσης σκληραίνει, καθιστώντας πολύ δύσκολο τον καθαρισμό του.

Όσον αφορά τη συχνότητα καθαρισμού των πάνελ, οι επαγγελματικές εταιρείες καθαρισμού συνιστούν ότι οι συστοιχίες ηλιακών πάνελ πρέπει να καθαρίζονται μία φορά κάθε 6 μήνες. Αυτό έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την παραγωγή ενέργειας κατά 3 έως 5% κατά μέσο όρο, με κέρδη έως και 25% σε περιοχές με πολύ σκόνη.

Όσον αφορά τον τρόπο καθαρισμού, πολλές εταιρείες συμβουλεύουν ζεστό νερό και ένα ήπιο διάλυμα σαπουνιού, όπως το πλύσιμο ενός αυτοκινήτου. Ωστόσο, πολλά σαπούνια αφήνουν ένα λεπτό φιλμ στις επιφάνειες των πάνελ. Ένας απλός καθαρισμός με ιονισμένο νερό και μαλακή βούρτσα είναι επαρκής.

Αν και η βροχή καθαρίζει τα πάνελ σε κάποιο βαθμό, δεν είναι αρκετά καλή για να αφαιρέσει όλη τη βρωμιά της επιφάνειας. Ο τακτικός καθαρισμός πρέπει να αποτελεί μέρος της προγραμματισμένης συντήρησης.[2]

### 3.4 Οπτικές απώλειες σε συστοιχίες ηλιακών κυψελών

Τα ηλιακά κύτταρα παράγουν ηλεκτρισμό από την αλληλεπίδραση φωτονίων φωτός με τις ενώσεις PN της κρυσταλλικής δομής των ηλιακών κυψελών. Οπτικές απώλειες συμβαίνουν όταν το φως ανακλάται από την επιφάνεια του πάνελ αντί να απορροφηθεί στην επιφάνεια του πάνελ για να αλληλοεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια.

Αυτό είναι σίγουρα ένα χαρακτηριστικό σχεδιασμού πάνελ και αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας για τη βελτίωση της απόδοσης του πάνελ. Η πρόκληση είναι να μειωθεί η ανακλαστικότητα της επιφάνειας με παράλληλη μεγιστοποίηση της απορρόφησης φωτός.

Αυτό μπορεί να γίνει «τραχύνοντας» την επιφάνεια με πρόσθετα κοκκώδους βαφής ή προσθέτοντας άλλο μέσο μηχανισμού παγίδευσης φωτός.

### 3.5 Φασματική Απόκριση Ηλιακών Κυψελών

Τα ηλιακά κύτταρα δεν χρησιμοποιούν όλα τα μήκη κύματος που μεταδίδονται από τον ήλιο. Υπάρχουν πολλές συχνότητες, κυρίως 43% ορατό φως, 54% υπέρυθρο και 4% υπεριώδες.

Τα ηλιακά κύτταρα μπορούν να μετατρέψουν το μεγαλύτερο μέρος του ορατού φωτός και το ήμισυ του υπέρυθρου, με λίγο από το υπόλοιπο. Οι κατασκευαστές προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τα πάνελ για να παρέχουν μια γενική ευρεία απόκριση για μεγιστοποίηση της ηλεκτρικής απόδοσης.

### 3.6 Απώλεια ΦΒ λόγω επιπέδου ακτινοβολίας

Αυτός ο μέσος όρος υπολογίζεται για πρακτικούς σκοπούς στο 1,5% και αντιπροσωπεύει την υποβάθμιση της απόδοσης όταν η ακτινοβολία μειώνεται από την βαθμολογία STC των **1000 W/m<sup>2</sup>** σε χαμηλή ακτινοβολία **200 W/m<sup>2</sup>**.

Η παραγωγή ενέργειας δεν ακολουθεί μια γραμμική σχέση – η απόδοση μειώνεται και χρησιμοποιείται μια τιμή για την αντιστάθμιση της απώλειας ενέργειας στη φάση του σχεδιασμού και κατά τη διάρκεια ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος.

### 3.7 Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση των ηλιακών πάνελ

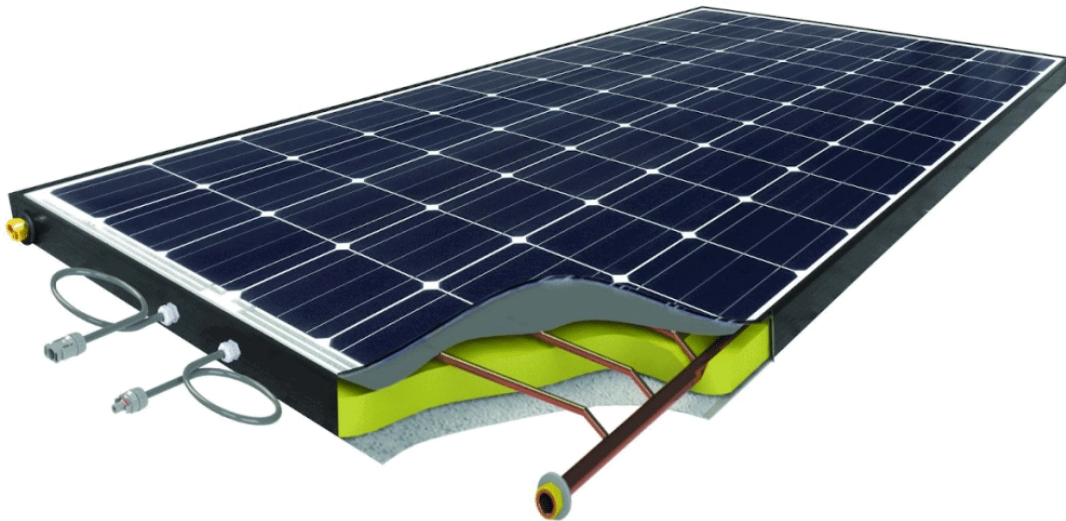
Η απώλεια ενέργειας λόγω υψηλής θερμοκρασίας είναι μία από τις μεγαλύτερες απώλειες, κυρίως επειδή πρόκειται για ένα εγγενές χαρακτηριστικό της δομής των ηλιακών κυψελών – για κάθε 1 °C πάνω από την ονομαστική θερμοκρασία STC των 25°C, ένα ηλιακό στοιχείο χάνει το 0,5% της παραγωγής του .

Αντικείμενο συνεχιζόμενης έρευνας, έχουν προταθεί ορισμένοι καινοτόμοι τρόποι μείωσης της θερμικής απώλειας. Πολλά περιλαμβάνουν διάνοιξη οπών ή μακριές σχισμές στο πλαίσιο αλουμινίου για να επιτρέπεται είτε η φυσική είτε η εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα.



Άλλοι κατασκευαστές θεωρούν ότι τα πολυκρυσταλλικά πάνελ με τη δομή πολλαπλών συνδέσμων δεν είναι τόσο ευαίσθητα σε θερμικές απώλειες.

Ίσως μια από τις πιο συναρπαστικές προτάσεις είναι το υβριδικό φωτοβολταϊκό-θερμικό ηλιακό πάνελ , το οποίο δροσίζει την όψη των ηλιακών κυψελών με νερό και ανακτά τη θερμότητα για χρήση στο κτίριο. Αρκετοί Ευρωπαίοι κατασκευαστές (solar2power.pt και dualsun.com) ισχυρίζονται αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά 15%, ενώ παράλληλα ανακτούν αρκετή θερμότητα για να μηδενίσουν τους λογαριασμούς θέρμανσης νερού οικιακής χρήσης.



Εικόνα 3.2 Υβριδικό φωτοβολταϊκό-θερμικό ηλιακό πάνελ

### 3.8 Ανακολουθία ηλιακών συλλεκτών – Απώλειες ανακολουθίας στη μονάδα ηλιακής φωτοβολταϊκής μονάδας

Η ανακολουθία εμφανίζεται μεταξύ των ηλιακών μονάδων όταν η ενέργεια που παράγεται από δύο ή περισσότερα πάνελ σε μια συστοιχία είναι διαφορετική. Αυτό μπορεί να συμβεί με δύο τρόπους, με μερική σκίαση ή λόγω διαφορών στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ηλιακών κυψελών.

Τα μεμονωμένα πάνελ σε μια συστοιχία απλά δεν έχουν το ίδιο αποτέλεσμα. Οι πλήρεις συμβολοσειρές ενδέχεται να μην ταιριάζουν λόγω κακού προσανατολισμού ή καταστάσεων όπου διαφορετικοί πίνακες αντιμετωπίζουν διαφορετικές κατευθύνσεις. Εκτός από αυτό, τα πάνελ δεν είναι πανομοιότυπα όταν κατασκευάζονται.

Όλα όσα παράγονται σε ένα εργοστάσιο, από ένα ανταλλακτικό αυτοκινήτου έως ένα ηλιακό στοιχείο, κατασκευάζονται με ανοχή. Στην περίπτωση της ηλιακών πάνελ, αυτό είναι μεταξύ +/-1,5% έως +/-5% . Βασικά αυτό σημαίνει ότι οι μονάδες

που δημιουργούνται από αυτές τις ηλιακές κυψέλες δεν πρόκειται να παράγουν ίδιες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας.

Επί του παρόντος, η καλύτερη λύση είναι η τοποθέτηση ηλεκτρονικών σε επίπεδο πίνακα, όπως βελτιστοποιητές DC ή η χρήση πάνελ με ενσωματωμένους μικρο-μετατροπείς [2]

### **3.9 Απώλειες καλωδίου DC σε Φ/Β συστήματα**

Δεν είναι δυνατό να εξαλειφθούν οι απώλειες στα καλώδια συνεχούς ρεύματος - εάν ρέει ρεύμα τότε υπάρχει απώλεια ενέργειας. Το μόνο που μπορεί να γίνει είναι να ελαχιστοποιήσουμε την απώλεια όσο το δυνατόν περισσότερο.

Οι σχεδιαστές προσπαθούν να διαμορφώσουν το μέγεθος των καλωδίων έτσι ώστε οι απώλειες καλωδίων συνεχούς ρεύματος να είναι μικρότερες από το 1% της μέγιστης παραγωγής ισχύος ολόκληρου του συστήματος ηλιακών πάνελ , αν και το 2% είναι αποδεκτό . Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Η ηλεκτρική αντίσταση των καλωδίων προκαλεί τόσο πτώση τάσης όταν ρέει ρεύμα όσο και απώλεια ισχύος με τη μορφή θέρμανσης. Το αποτέλεσμα θέρμανσης είναι μεγαλύτερο όσο υψηλότερο είναι το ρεύμα και είναι επίσης ένας παράγοντας στις συνδέσεις.

Μια σύνδεση υψηλής αντίστασης θα φθαρεί υπό συνεχές φορτίο. Ο σωστός σχεδιασμός και η τακτική ηλεκτρική συντήρηση είναι οι κύριοι τρόποι για την καταπολέμηση της απώλειας καλωδίου DC.

### **3.10 Απώλειες ηλιακού μετατροπέα**

Για την πιο κοινή μορφή μετατροπέα, τον μετατροπέα στοιχειοσειρών, η απόδοση είναι περίπου 97% , πράγμα που σημαίνει ότι χάνονται 3 kWh για κάθε 100 kWh.

Δύο από τα πιο σημαντικά πράγματα που επηρεάζουν την απόδοση του ηλιακού μετατροπέα είναι η θερμοκρασία και το φορτίο. Όπως οι περισσότερες συσκευές, οι μετατροπείς έχουν καμπύλη απόδοσης, με μέγιστη απόδοση κοντά στο μέγιστο φορτίο εργασίας και γενικά χαμηλότερα επίπεδα σε χαμηλότερα φορτία. Αυτό δεν είναι συνήθως πρόβλημα έως ότου το φορτίο του μετατροπέα πέσει κάτω από 25-30%, αλλά κάτω από αυτό πέφτει δραματικά.

### **3.11 Απώλειες καλωδίων AC σε ηλιακά συστήματα**

Οι κανονισμοί επιτρέπουν πτώση τάσης έως και 3% σε καλώδια DC και AC, αλλά οι σχεδιαστές στοχεύουν στο 1%. Στην πραγματικότητα, ο μόνος τρόπος με τον οποίο μπορούμε να επηρεάσουμε τις απώλειες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι επιλέγοντας τα σωστά εξαρτήματα και τοποθετώντας καλώδια με κατάλληλη επιφάνεια διατομής και όσο το δυνατόν μικρότερη.

### **3.12 Άλλες Απώλειες Φ/Β συστήματος**

Οι μηχανικοί περιλαμβάνουν επίσης απώλεια ενέργειας 2 έως 3% λόγω προβλημάτων χρόνου διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού, είτε λόγω βλαβών είτε λόγω διακοπής του δικτύου. Παρόλο που δεν σχετίζεται αυστηρά με την απόδοση του συστήματος, πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Οι ηλιακές κυψέλες μειώνουν την απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου και ενώ οι κατασκευαστές προσφέρουν εγγυήσεις έως και 25 ετών, η απόδοση ισχύος δεν είναι ομοιόμορφη κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, δημιουργώντας ίσως το 80% της μέγιστης απόδοσης στο τέλος της περιόδου εγγύησης.

Αν και οι ηλιακές μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν για έως και 50 χρόνια, η υποβάθμιση των πάνελ αντιπροσωπεύει περίπου 0,8% μείωση της ισχύος εξόδου κάθε χρόνο.

### **3.13 Προσέγγιση για τη μείωση των απωλειών σε ένα έργο ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας**

Μια γρήγορη ματιά στη λίστα ελέγχου των απωλειών ηλιακών φωτοβολταϊκών θα επιβεβαιώσει ότι οι περισσότερες σχετίζονται με ζητήματα σχεδιασμού ή χαρακτηριστικά εξαρτημάτων. Ο τεχνικός εγκατάστασης μπορεί να κάνει συνετές επιλογές στην καλωδίωση για να μεγιστοποιήσει την απόδοση και επίσης να δώσει ιδιαίτερη προσοχή στη σκίαση σε κοντινή και μεγάλη απόσταση.

Η εγκατάσταση των πιο πρόσφατων μικρο-μετατροπέων ή βελτιστοποιητών DC μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη μείωση της απώλειας αναντιστοιχίας ή παρόμοιων επιπτώσεων που προκαλούνται από τη μερική σκίαση.

Η τακτική συντήρηση διασφαλίζει ότι εξαλείφεται η σκίαση μέσω της ανάπτυξης των φυτών και ο τακτικός καθαρισμός διασφαλίζει ότι η μέγιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας φτάνει στις επιφάνειες του πάνελ.

## **3.14 Τρόποι βελτίωσης της απόδοσης των ηλιακών πάνελ**

### **3.14.1 Αυτόματοι Ηλιακοί Ιχνηλάτες**

Οι σταθερές συστοιχίες ηλιακών συλλεκτών εγκαθίστανται συνήθως σε μια κεκλιμένη οροφή που επιλέγεται για τον σωστό προσανατολισμό όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το νότο (αν βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο.)

Ο ήλιος κινείται στον ουρανό με δύο τρόπους – κάθετα, καθώς ανατέλλει και πέφτει, και οριζόντια, καθώς κινείται από την Ανατολή στη Δύση.

Καθώς ο ήλιος κινείται κατά μήκος της επιφάνειας του πίνακα, η γωνία πρόσπτωσης με την οποία οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν την επιφάνεια αλλάζει και γίνεται πιο λοξή. Μειώνει την ποσότητα της μετατροπής ενέργειας που λαμβάνει χώρα στους κρυστάλλους των ηλιακών κυψελών.

Ένας ηλιακός μηχανισμός παρακολούθησης ακολουθεί τον ήλιο σε όλο τον ουρανό, έτσι ώστε τα πάνελ να είναι κάθετα στις ακτίνες του ήλιου, μεγιστοποιώντας έτσι την απόδοση ισχύος. Οι ιχνηλάτες που ακολουθούν την οριζόντια κίνηση είναι γνωστοί ως ιχνηλάτες μονού άξονα και αυτοί που ακολουθούν και τους δύο ονομάζονται ιχνηλάτες διπλού άξονα.

Ο μεμονωμένος άξονας μπορεί να ανακτήσει έως και 45% περισσότερη ηλιακή ενέργεια, ενώ τα μοντέλα διπλού άξονα μπορούν να εξοικονομήσουν ένα τεράστιο 65%, επομένως λειτουργούν πολύ καλά.

Δυστυχώς είναι ακριβά και δεν είναι κατάλληλα για όλες τις καταστάσεις, αλλά αξίζει να τα εξετάσετε.

### **3.14.2 Ανακλαστικοί καθρέφτες για τη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ**

Οι καθρέφτες έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό για τη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ με ποικίλη επιτυχία. Τα τελευταία χρόνια το κόστος της ηλιακής ενέργειας έχει μειωθεί τόσο πολύ που η εστίαση στην απόδοση δεν ήταν τόσο μεγάλη, αλλά εξακολουθεί να λαμβάνεται υπόψη – εάν μια βιώσιμη μέθοδος αυξάνει την παραγωγή γιατί να μην τη χρησιμοποιήσετε;

Είναι πολύ λογικό να ανακτήσουμε κάποιες από τις απώλειες για τις οποίες έχουμε μιλήσει σε αυτήν την ανάρτηση και σε πολλές χώρες λύσεις χαμηλής τεχνολογίας όπως ηλιακοί ανακλαστήρες είναι οι μόνες διαθέσιμες.

Οι δοκιμές δείχνουν ότι είναι δυνατό να αποκτήσετε έως και 30% αύξηση στην ισχύ εξόδου χρησιμοποιώντας καθρέφτες, αλλά φυσικά υπάρχει ένα μειονέκτημα στην περισσότερη ηλιακή ενέργεια - τη θερμότητα!

Η απόδοση ενός ηλιακού πάνελ μειώνεται κατά 5% για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 βαθμούς Κελσίου, επομένως απαιτείται ξεχωριστό μέσο για την απομάκρυνση της περίσσειας θερμότητας, αυξάνοντας περαιτέρω το κόστος. [2]

## **4. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ**

### **4.1 Τα είδη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας**

Μερικά από τα είδη των απωλειών που παρουσιάζονται στις ΦΒ εγκαταστάσεις οφείλονται στον τρόπο που δέχονται τα πάνελ την ακτινοβολία. Παρακάτω αναλύονται τα είδη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα πάνελ.

#### **4.1.1 Άμεση κανονική ακτινοβολία (Direct Normal Irradiance DNI)**

Είναι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται ανά μονάδα επιφάνειας από μια επιφάνεια που διατηρείται πάντα κάθετη (ή κανονική) στις ακτίνες που έρχονται σε ευθεία γραμμή από την κατεύθυνση του ήλιου στην τρέχουσα θέση της στον ουρανό. Η ποσότητα ακτινοβολίας που λαμβάνεται ετησίως από μια επιφάνεια μεγιστοποιείται όταν διατηρείται κάθετη στην εισερχόμενη ακτινοβολία. Η ιδιότητα αυτή αξιοποιείται στους ΦΒ συλλέκτες με τη χρησιμοποίηση ιχνηλατών με κλίση που διατηρούν την επιφάνεια του συλλέκτη κάθετη στην ηλιακή ακτινοβολία προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό φαίνεται και από τις μελέτες που παρατίθενται στο 6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.

#### **4.1.2 Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία (Diffuse Horizontal Irradiance - DHI)**

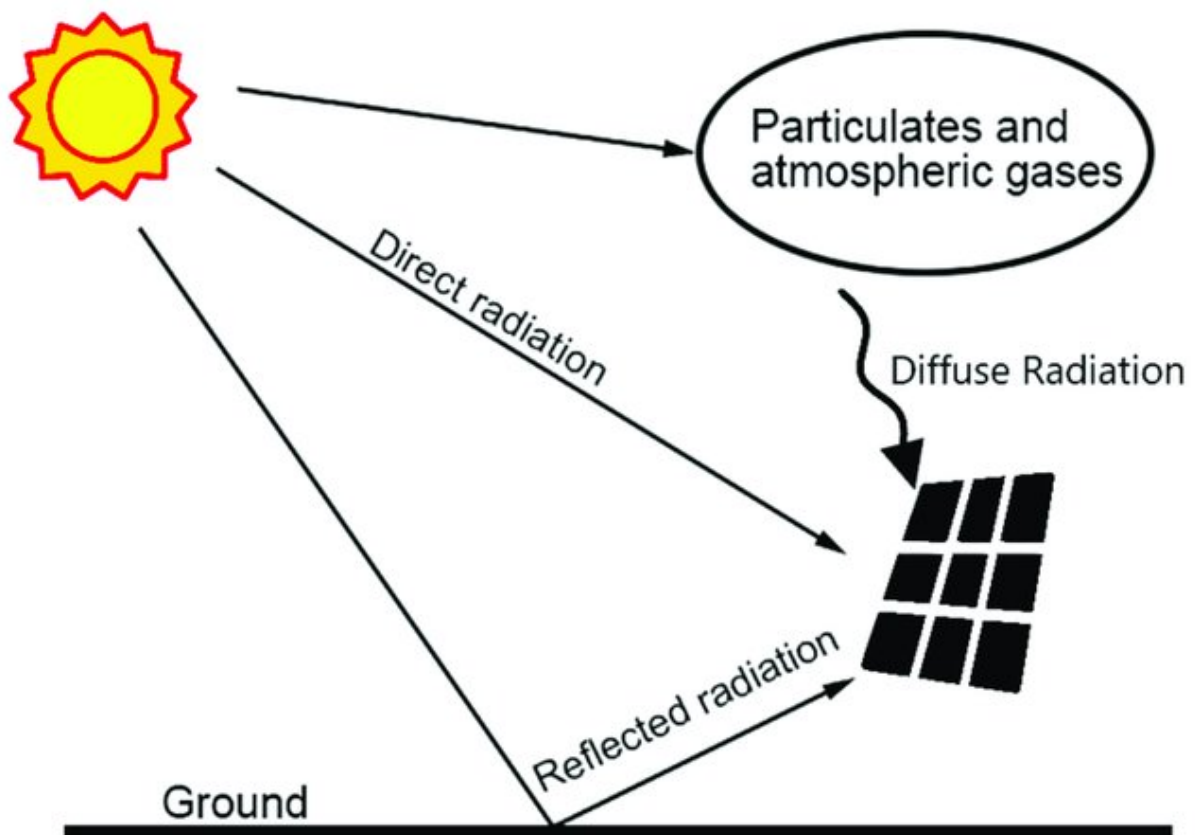
Είναι η ποσότητα ακτινοβολίας που δεν φτάνει απευθείας σε μια επιφάνεια από τον ήλιο αλλά έχει περάσει μέσα από μόρια και σωματίδια της ατμόσφαιρας (π.χ. σύννεφα) και λαμβάνεται από όλες τις κατευθύνσεις.

#### **4.1.3 Η Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία (GHI)**

Είναι η συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που λαμβάνεται από μια επιφάνεια οριζόντια προς το έδαφος. Η τιμή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις και περιλαμβάνει τόσο την Άμεση Κανονική Ακτινοβολία (DNI) όσο και την Διάχυτη Οριζόντια Ακτινοβολία (DHI). Ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$(GHI) = (DNI) \times \cos(\theta) + (DHI)$$

Το Σχήμα 4.1 Τα τρία είδη ακτινοβολίας πάνω στο ηλιακό πάνελ ([https://www.researchgate.net/publication/351752520\\_On\\_the\\_Optimal\\_Tilt\\_Angle\\_and\\_Orientation\\_of\\_an\\_On-Site\\_Solar\\_Photovoltaic\\_Energy\\_Generation\\_System\\_for\\_Sabah%27s\\_Rural\\_Electrification/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/351752520_On_the_Optimal_Tilt_Angle_and_Orientation_of_an_On-Site_Solar_Photovoltaic_Energy_Generation_System_for_Sabah%27s_Rural_Electrification/figures?lo=1)) δείχνει τον τρόπο με τον οποίο προσπίπτουν και τα τρία είδη ακτινοβολίας πάνω στο πάνελ



Σχήμα 4.1 Τα τρία είδη ακτινοβολίας πάνω στο ηλιακό πάνελ ([https://www.researchgate.net/publication/351752520\\_On\\_the\\_Optimal\\_Tilt\\_Angle\\_and\\_Orientation\\_of\\_an\\_On-Site\\_Solar\\_Photovoltaic\\_Energy\\_Generation\\_System\\_for\\_Sabah%27s\\_Rural\\_Electrification/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/351752520_On_the_Optimal_Tilt_Angle_and_Orientation_of_an_On-Site_Solar_Photovoltaic_Energy_Generation_System_for_Sabah%27s_Rural_Electrification/figures?lo=1))

## 4.2 Τα είδη απωλειών στα ΦΒ πάνελ

Οι απώλειες συστοιχίας επηρεάζουν αρνητικά την ενέργεια εξόδου της συστοιχίας σε σχέση με την ονομαστική ισχύ της μονάδας φωτοβολταϊκών όπως αναφέρεται από τον κατασκευαστή για συνθήκες STC. Πολλές από αυτές τις απώλειες δεν είναι άμεσα μετρήσιμες. Ιδανικά μια Φ/Β-συστοιχία θα πρέπει να αποδίδει ένα kW/kWp υπό ακτινοβολία ( $G_{inc}$ ) 1 kW. Δηλαδή, υποθέτοντας μια γραμμική απόκριση σύμφωνα με το  $G_{inc}$ , η ιδανική συστοιχία θα παράγει μία kWh ενέργεια κάτω από μία kWh ακτινοβολίας για κάθε εγκατεστημένο kWp (όπως ορίζεται στο STC). Αυτή η ιδανική απόδοση μειώνεται από τις ακόλουθες απώλειες:

- Απώλειες σκίασης . Σκίαση μέρους του πάνελ επηρεάζει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- Ο τροποποιητής γωνίας πρόσπτωσης (Incidence Angle Modifier IAM), είναι ένα οπτικό αποτέλεσμα (απώλεια ανάκλασης) που αντιστοιχεί στην εξασθένηση της ακτινοβολίας που φθάνει πραγματικά στην επιφάνεια των Φ/Β κυττάρων, σε σχέση με την ακτινοβολία υπό κανονική πρόσπτωση.
- Απώλεια ακτινοβολίας (irradiance loss): η ονομαστική απόδοση καθορίζεται για το STC ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), αλλά μειώνεται με την ακτινοβολία σύμφωνα με το τυπικό μοντέλο ΦΒ.
- Θερμική συμπεριφορά του Φ/Β πάνελ. Οι τυπικές συνθήκες δοκιμής καθορίζονται για θερμοκρασία κυψέλης  $25^\circ\text{C}$ , αλλά οι μονάδες λειτουργούν συνήθως σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες. Η θερμική απώλεια υπολογίζεται σύμφωνα με το μοντέλο μιας διόδου. Για τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου, η απώλεια είναι περίπου  $-0,4 \text{ \%}/^\circ\text{C}$  σε MPP. Για συνθήκες λειτουργίας σταθερής τάσης, η θερμοκρασία επηρεάζει κυρίως την τάση της καμπύλης  $I/V$  και οι αποτελεσματικές απώλειες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την υπέρταση της συστοιχίας σε σχέση με την τάση λειτουργίας.
- Πραγματικές επιδόσεις της μονάδας σε σχέση με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Υπάρχει ένας σχετικός παράγοντας απώλειας, ο οποίος σχετίζεται με τη μέση ενεργή ισχύ της μονάδας στις STC και λειτουργεί ως σταθερός συντελεστής μείωσης κατά τη διάρκεια όλων των συνθηκών προσομοίωσης.
- Απώλειες αναντιστοιχίας των φωτοβολταϊκών μονάδων (mismatch losses), οι οποίες μπορούν να αξιολογηθούν με ειδικό εργαλείο, αλλά λαμβάνονται υπόψη μόνο ως σταθερές απώλειες κατά την προσομοίωση.
- Η βρωμιά στις φωτοβολταϊκές μονάδες μπορεί να οριστεί σε % STC, σε ετήσια ή σε μηνιαίες τιμές.
- Απώλεια MPP (MPP losses), δηλαδή η διαφορά μεταξύ των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας και του μέγιστου διαθέσιμου σημείου ισχύος.

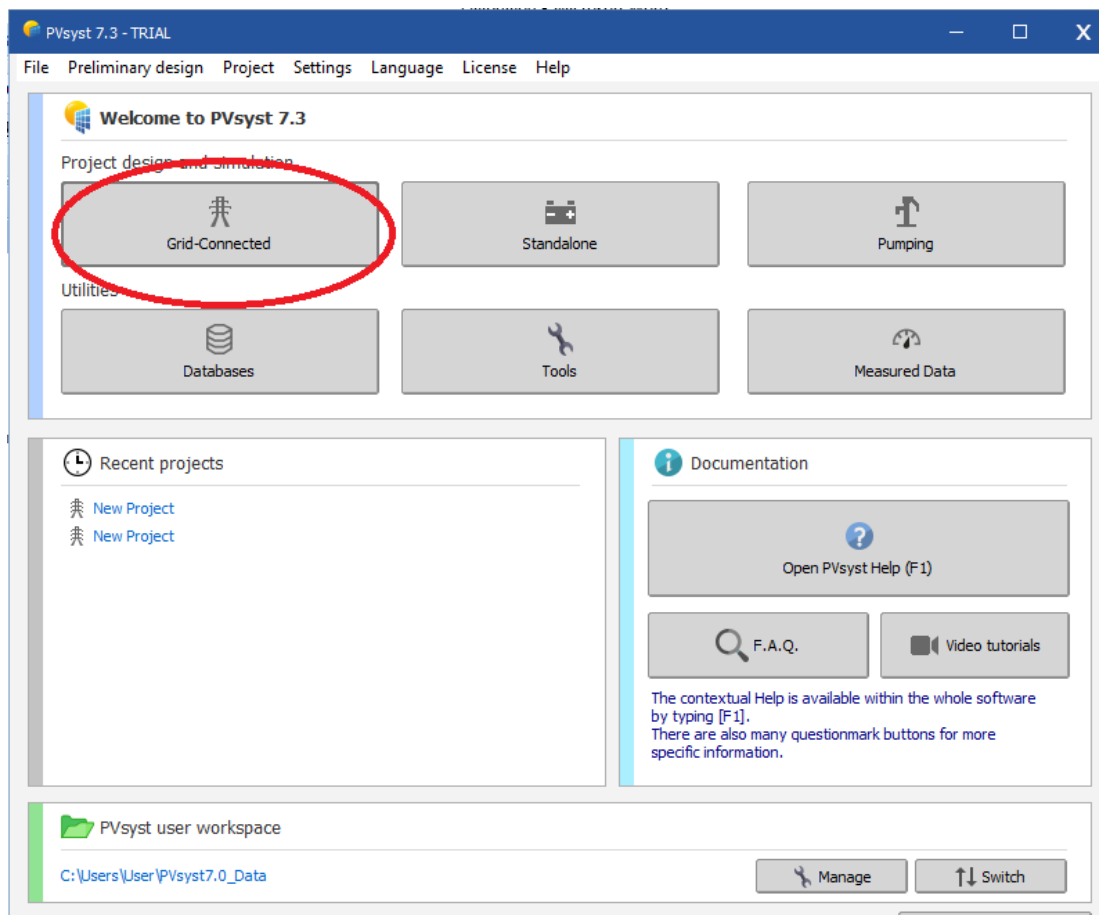


- Οι απώλειες ωμικής καλωδίωσης (ohmic wiring losses), ως θερμικά φαινόμενα, οδηγούν ουσιαστικά σε πτώση τάσης των χαρακτηριστικών της συστοιχίας I/V. Το πραγματικό αποτέλεσμα είναι διαφορετικό είτε η συστοιχία λειτουργεί σε MPP είτε σε σταθερή τάση.
- Απώλεια ρύθμισης είναι η δυνητικά διαθέσιμη ενέργεια από τη Φ/Β γεννήτρια, αλλά η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα.

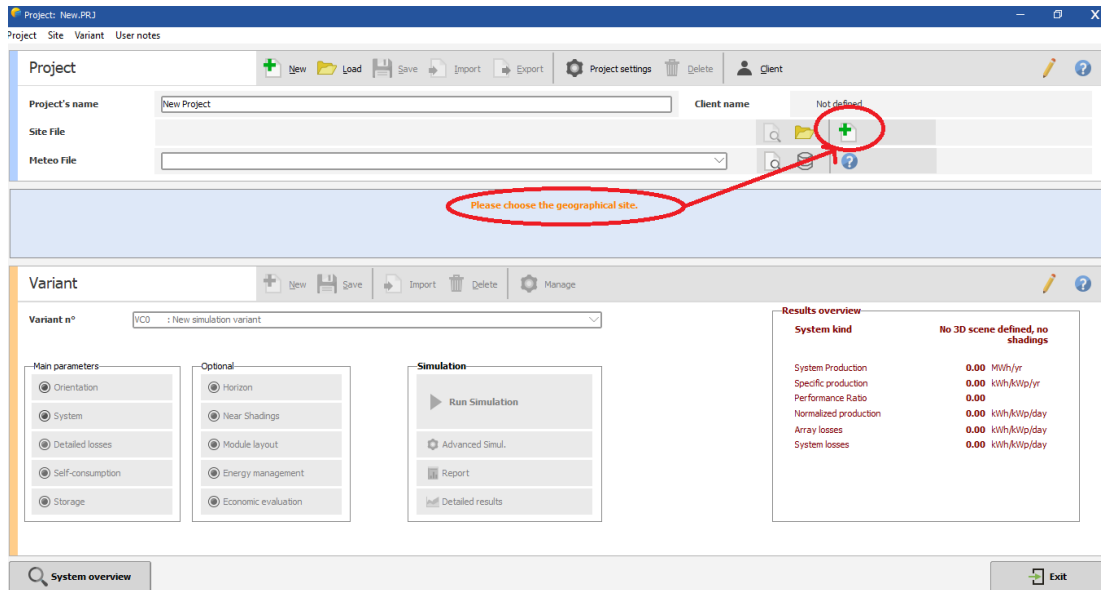
Οι περισσότερες από αυτές τις απώλειες φαίνονται και στις μελέτες που ακολουθούν στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

## 5. ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PVsyst

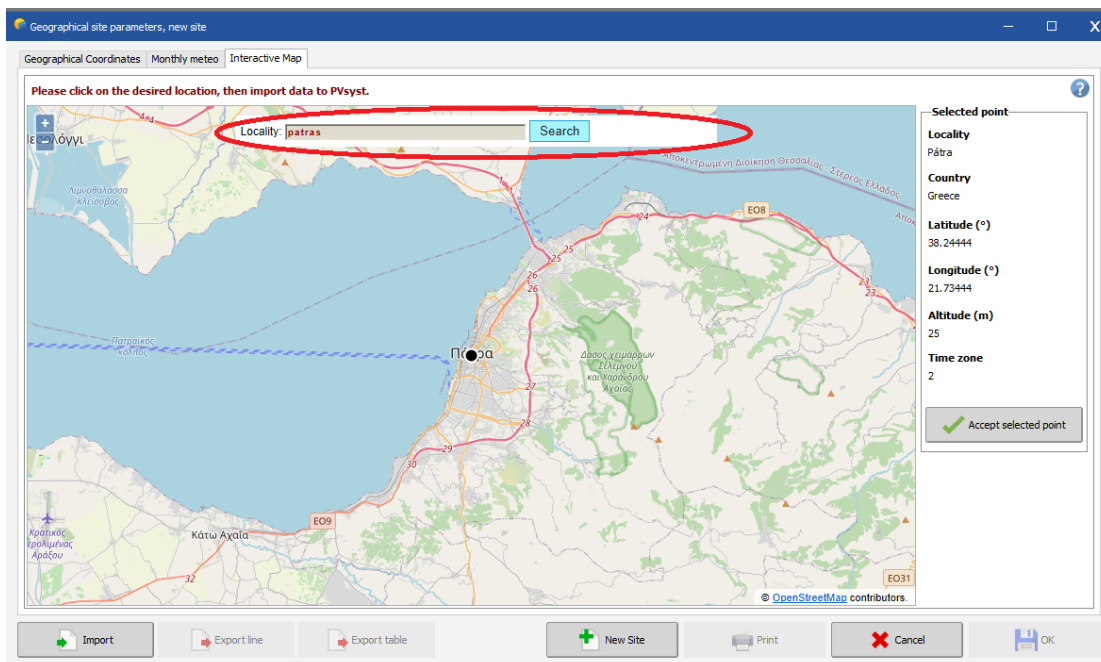
**Βήμα 1:** Επιλέγουμε το είδος του Project. Στην περίπτωση μας είναι Grid-Connected, δηλαδή το ΦΒ που θα μελετηθεί θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

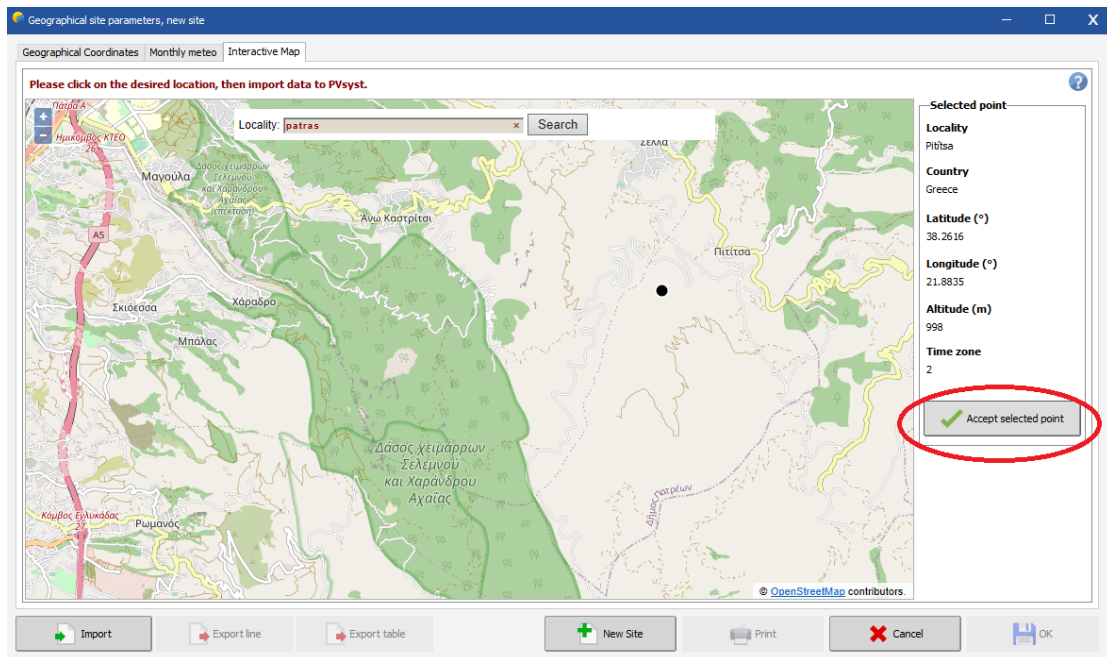


## Βήμα 2: Επιλέγουμε την έκταση που θα φιλοξενήσει το ΦΒ πάρκο

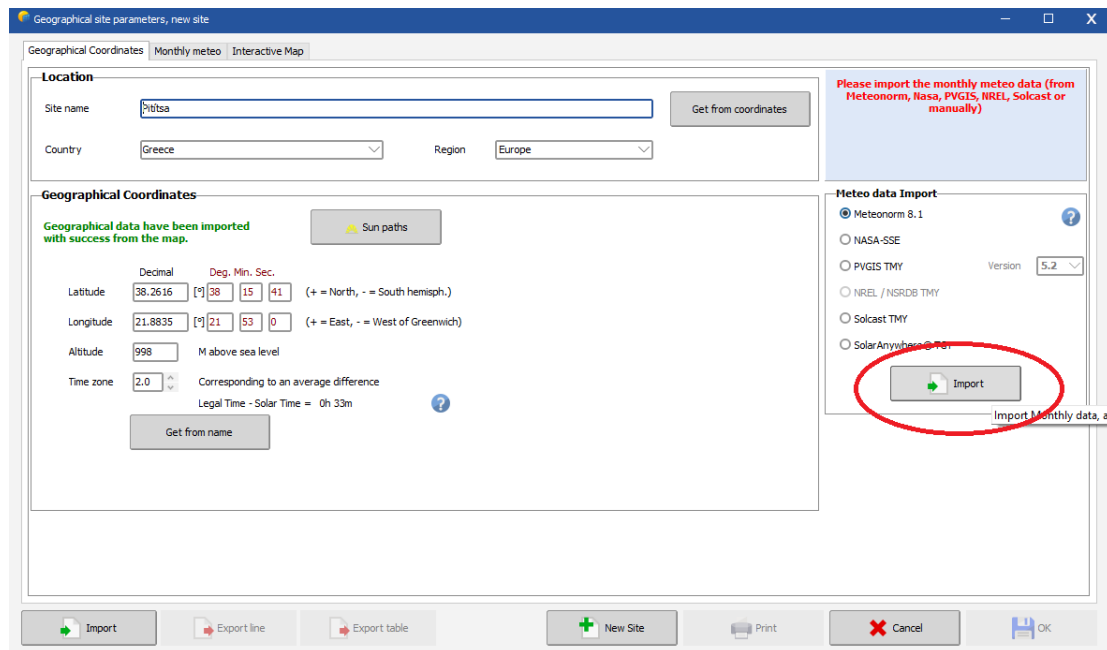


Η επιλογή της περιοχής μπορεί να γίνει μέσα από τον διαδραστικό χάρτη (interactive map) του προγράμματος.





Εναλλακτικά, ένα δεν ανοίγει ο διαδραστικός χάρτης (συχνό πρόβλημα που αναφέρεται από τους χρήστες), υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής απευθείας των συντεταγμένων του σημείου από την καρτέλα geographical coordinates.



Μετά τον καθορισμό του σημείου πατάμε Import.

Στην καρτέλα Monthly Meteo εμφανίζονται πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατά τη διάρκεια του έτους. Πατάμε OK.

Geographical site parameters, new site

Geographical Coordinates Monthly meteo Interactive Map

Site **Pititsa (Greece)**

Data source Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100%

	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [ ]	Relative humidity %
January	66.9	30.1	3.1	2.19	2.564	75.1
February	82.1	35.5	4.3	2.49	2.886	73.5
March	128.0	55.7	7.4	2.49	3.399	66.6
April	159.3	67.8	10.5	2.30	3.934	61.3
May	205.2	73.6	15.5	2.29	3.686	55.1
June	224.6	68.9	19.8	2.29	3.271	49.8
July	225.3	56.3	23.0	2.39	3.270	43.5
August	206.0	62.5	23.0	2.50	3.291	42.8
September	150.5	51.2	17.8	2.10	3.219	55.3
October	109.4	47.5	13.3	1.90	3.046	65.5
November	70.6	30.6	8.6	1.79	2.823	73.4
December	57.3	26.0	4.4	1.89	2.637	77.4
<b>Year</b>	<b>1685.1</b>	<b>605.6</b>	<b>12.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.169</b>	<b>61.6</b>

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.3%

Required Data  
 Global horizontal irradiation  
 Average Ext. Temperature

Extra data  
 Horizontal diffuse irradiation  
 Wind velocity  
 Linke turbidity  
 Relative humidity

Irradiation units  
 kWh/m<sup>2</sup>/day  
 kWh/m<sup>2</sup>/mth  
 MJ/m<sup>2</sup>/day  
 MJ/m<sup>2</sup>/mth  
 W/m<sup>2</sup>  
 Clearness Index Kt

Import Export line Export table New Site Print Cancel **OK**

**Βήμα 3:** Καθορίζουμε το folder αποθήκευσης του project και πατάμε save.

PVsyst

Save the geographical site file

Description  
Pititsa;Greece;Europe

File name  
Pititsa\_MN81

Directory C:\Users\User\PVsyst7.0\_Data\Sites  
Palioplátanos\_MN81.SIT

Cancel **Save**

**Βήμα 4:** Εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα, πατάμε save.

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Site: **Pitiisa (Greece)**  
Data source: Meteornorm 8.1 (2005-2013), Sat=100%

	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity []	Relative humidity %
January	66.9	30.1	3.1	2.19	2.564	75.1
February	82.1	35.5	4.3	2.49	2.886	73.5
March	128.0	55.7	7.4	2.49	3.399	66.6
April	159.3	67.8	10.5	2.30	3.934	61.3
May	205.2	73.6	15.5	2.29		
June	224.6	68.9	19.8	2.29		
July	225.3	56.3	23.0	2.39		
August	205.0	62.5	23.0	2.50		
September	150.5	51.2	17.8	2.10		
October	109.4	47.5	13.3	1.90		
November	70.6	30.6	8.6	1.79		
December	57.3	26.0	4.4	1.89		
<b>Year</b>	<b>1685.1</b>	<b>605.6</b>	<b>12.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.169</b>	<b>61.6</b>

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.3%

Required Data:  
 Global horizontal irradiation  
 Average Ext. Temperature

Extra data:  
 Horizontal diffuse irradiation  
 Wind velocity  
 Linke turbidity  
 Relative humidity

radiation units:  
 kWh/m<sup>2</sup>/day  
 kWh/m<sup>2</sup>/mth  
 MJ/m<sup>2</sup>/day  
 MJ/m<sup>2</sup>/mth  
 W/m<sup>2</sup>  
 Clearness Index Kt

Info dialog: A synthetic hourly meteo file has also been generated. Do you want to save it? (Save button circled in red)

Buttons: Import, Export line, Export table, New Site, Print, Cancel, OK

**Βήμα 5:** Εμφανίζεται η αρχική σελίδα του project και πατάμε save.

Project: New.PRJ

Project Site Variant User notes

Project toolbar: New, Load, Save (circled in red), Import, Export, Project settings, Delete, Client

Project's name: New Project | Client name: Not defined

Site File: Pitiisa\_MN81.SIT | Meteornorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% | Greece

Meteo File: Pitiisa\_MN81\_SYN.MET | Meteornorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% | Synthetic

Selected Meteo file: "Pitiisa\_MN81\_SYN.MET". Please save the project.

Variant: VCO : New simulation variant

Main parameters: Orientation, System, Detailed losses, Self-consumption, Storage

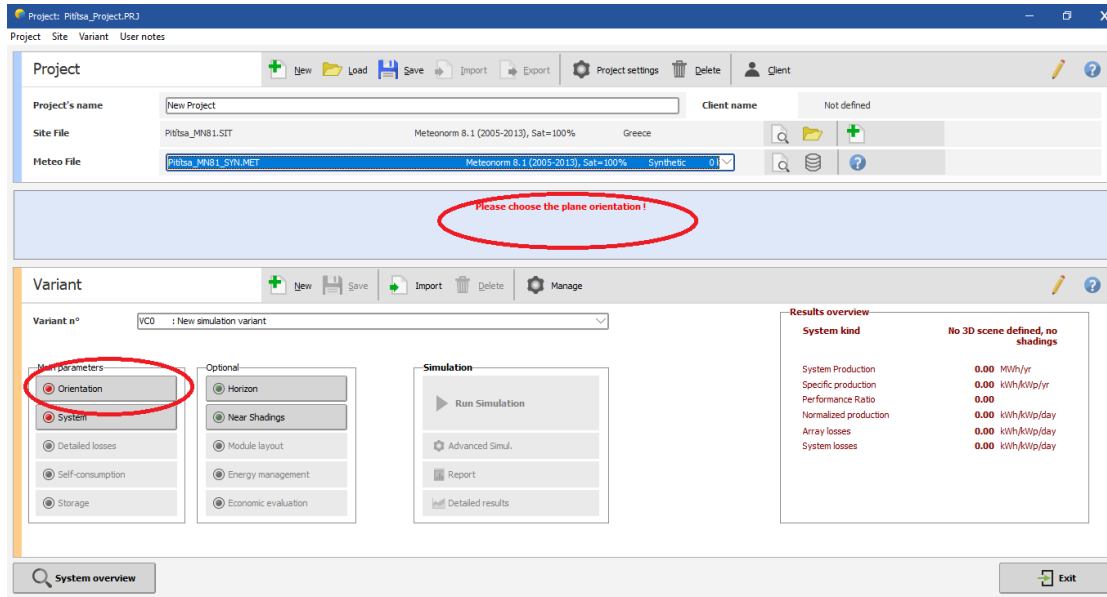
Optional: Horizon, Near Shadings, Module layout, Energy management, Economic evaluation

Simulation: Run Simulation, Advanced Simul., Report, Detailed results

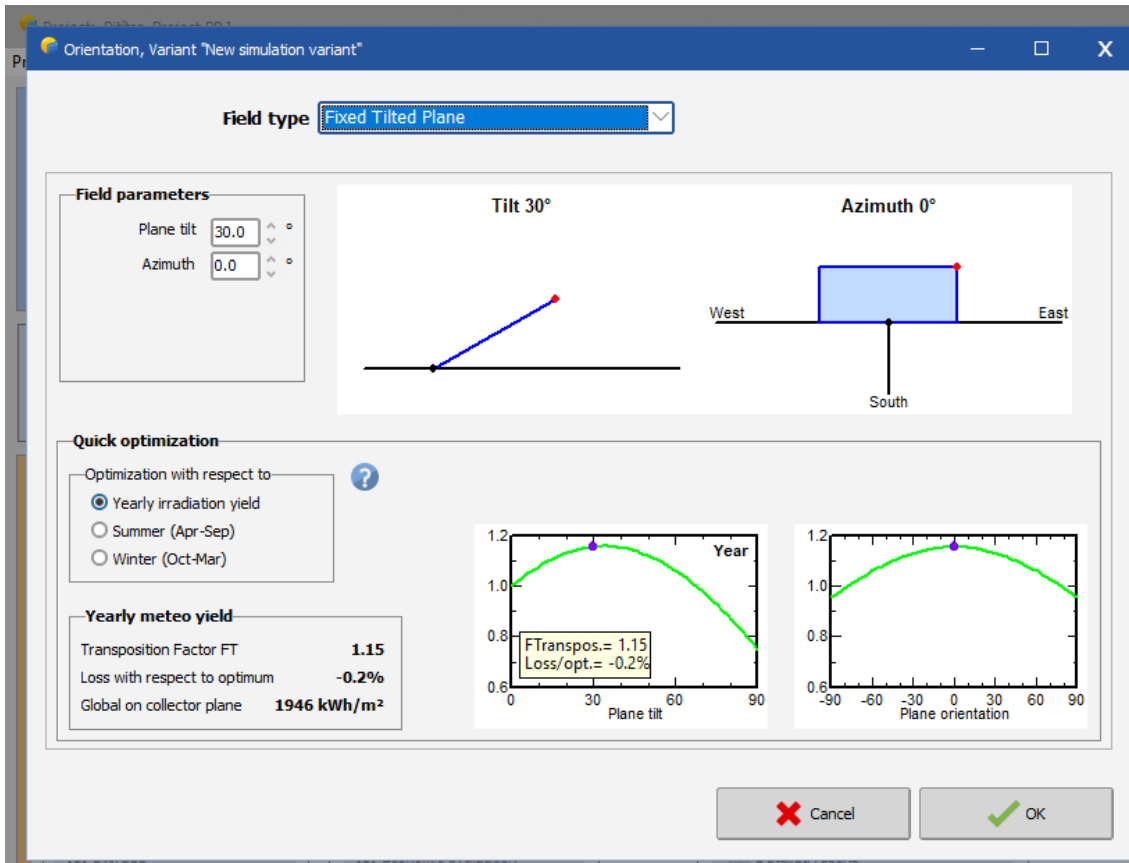
Results overview:  
**System kind: No 3D scene defined, no shadings**  
 System Production: 0.00 MWh/yr  
 Specific production: 0.00 kWh/kWp/yr  
 Performance Ratio: 0.00  
 Normalized production: 0.00 kWh/kWp/day  
 Array losses: 0.00 kWh/kWp/day  
 System losses: 0.00 kWh/kWp/day

System overview | Exit

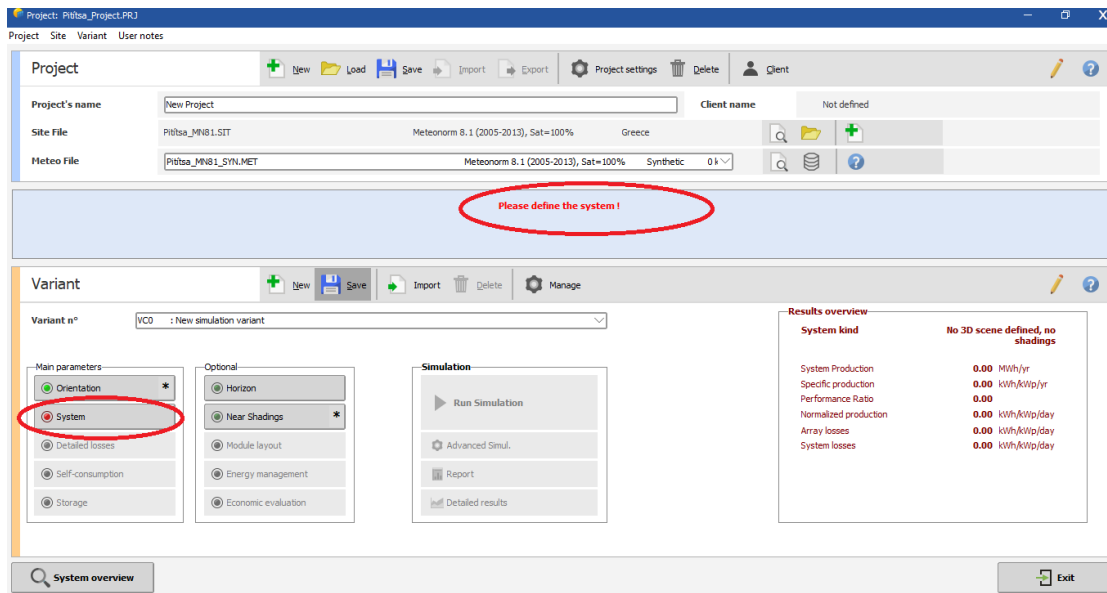
## Βήμα 6: Επιλέγουμε προσανατολισμό.



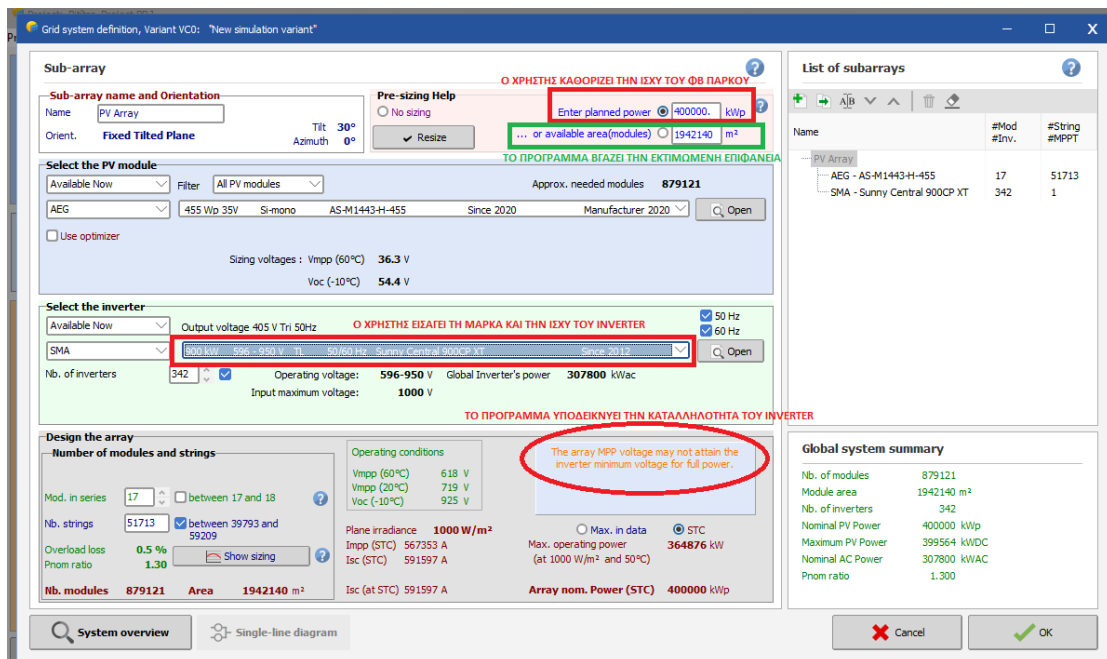
Σε αυτό το σημείο γίνεται η επιλογή του τύπου των βάσεων (σταθερές βάσεις, ιχνηλάτες κτλ.), του προσανατολισμού και της κλίσης.



**Βήμα 7:** Κατόπιν καθορίζονται τα δομικά και τα ηλεκτρικά στοιχεία του ΦΒ πάρκου με την επιλογή System.

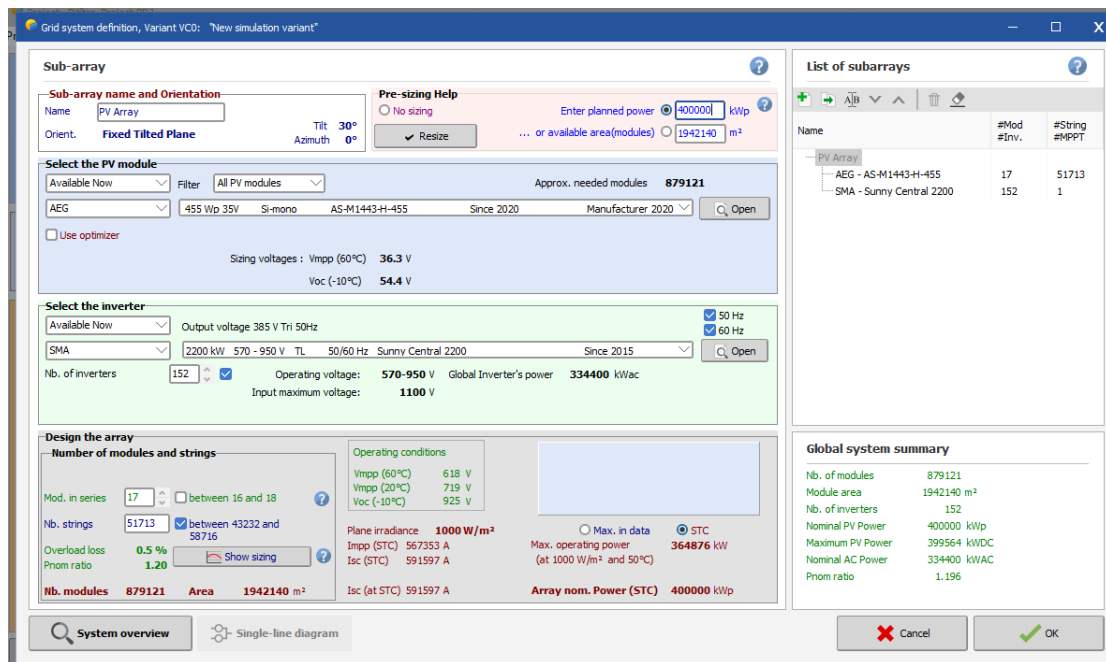


Καθορίζεται η ισχύς του ΦΒ πάρκου, τα χρησιμοποιούμενα πάνελ και επιλέγεται ο αντιστροφέας (inverter). Σε περίπτωση που ο αντιστροφέας δεν είναι συμβατός, το πρόγραμμα βγάζει μήνυμα, όπως φαίνεται παρακάτω:

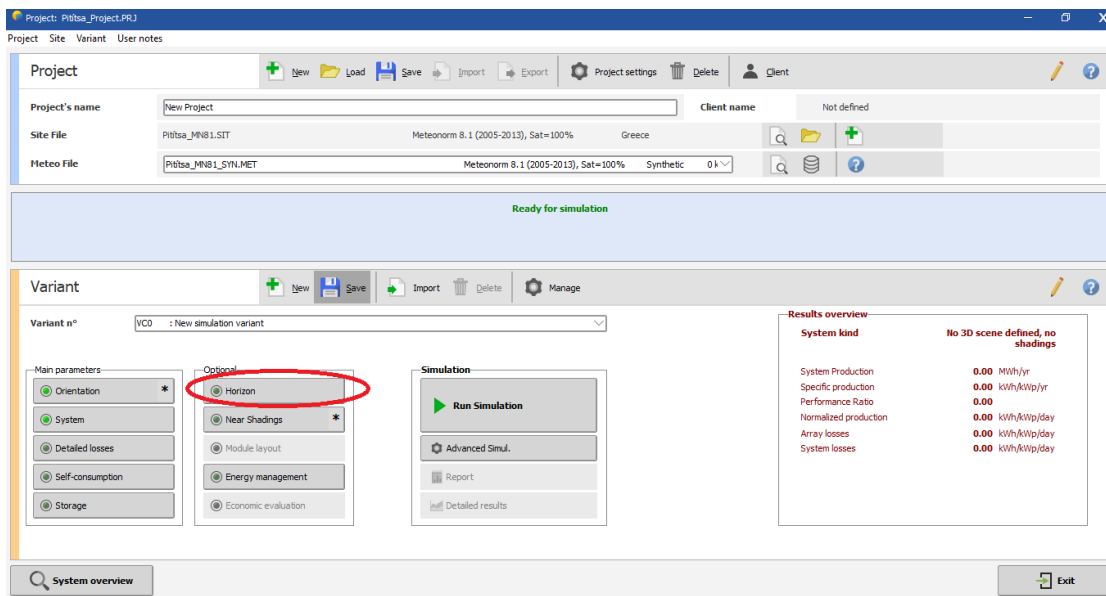


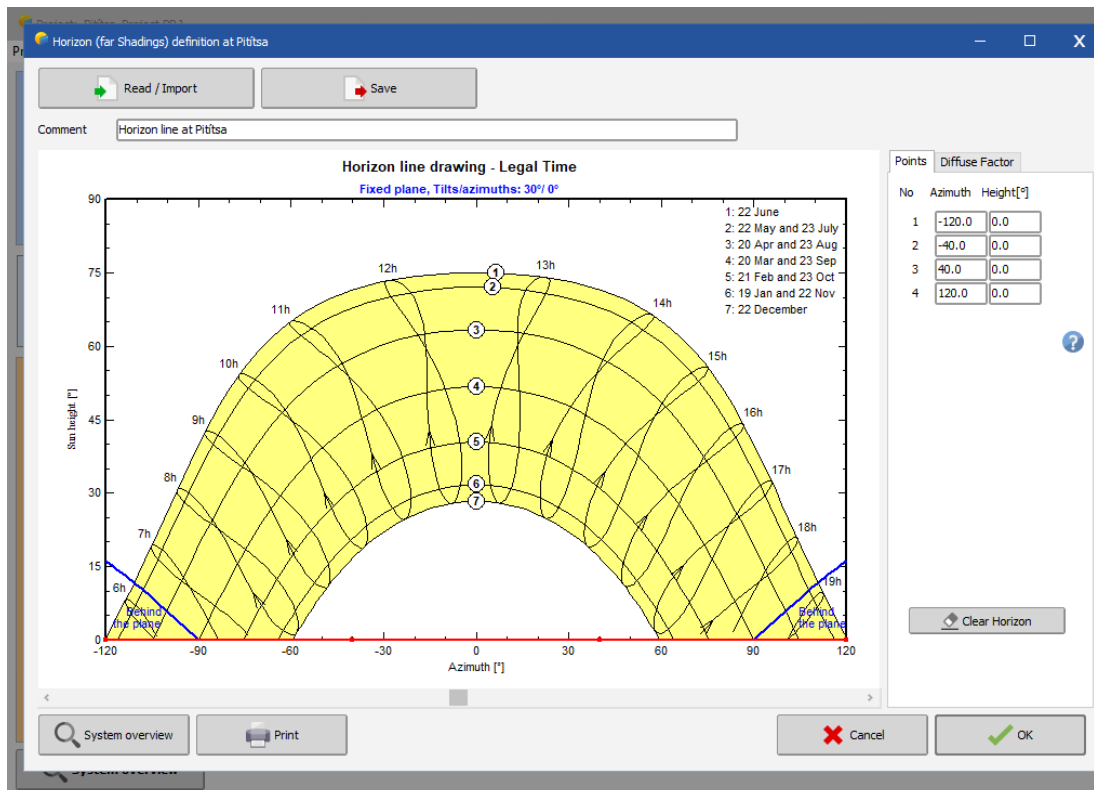


Επιλέγεται άλλος αντιστροφέας, μέχρι να βρεθεί ο κατάλληλος.



Στην επιλογή Horizon μπορούμε να δούμε την πορεία του ήλιου για τη συγκεκριμένη τοποθεσία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.





**Βήμα 8: Καθορίζουμε και την σκίαση. Πατάμε Near Shadings.**

Project: Pititsa\_Project.PRJ

Project Site Variant User notes

Project

Project's name: New Project Client name: Not defined

Site File: Pititsa\_MN81.SIT Meteorom 8.1 (2005-2013), Sat=100% Greece

Meteo File: Pititsa\_MN81\_SYN.MET Meteorom 8.1 (2005-2013), Sat=100% Synthetic 0

Ready for simulation

Variant

Variant n°: VCO : New simulation variant

Main parameters:

- Orientation \*
- System
- Detailed losses
- Self-consumption
- Storage

Optional:

- Horizon
- Near Shadings \***
- Module layout
- Energy management
- Economic evaluation

Simulation

Run Simulation

Advanced Simul.

Report

Detailed results

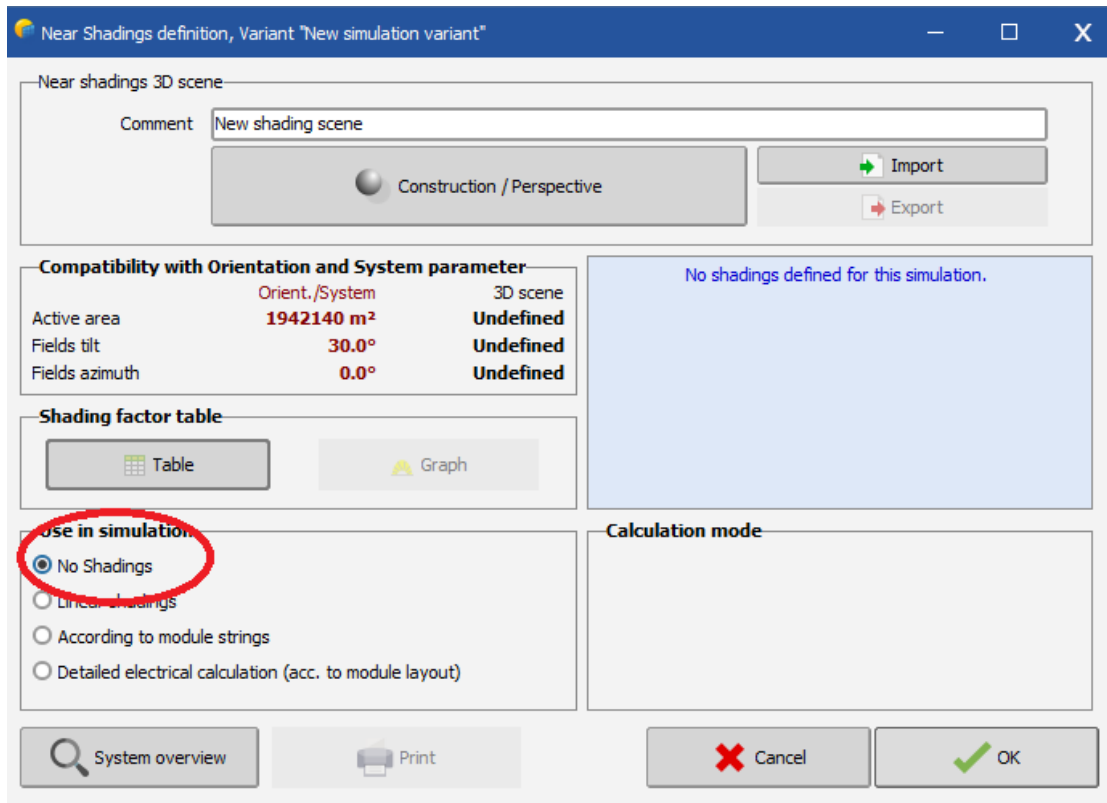
Results overview

System kind: No 3D scene defined, no shadings

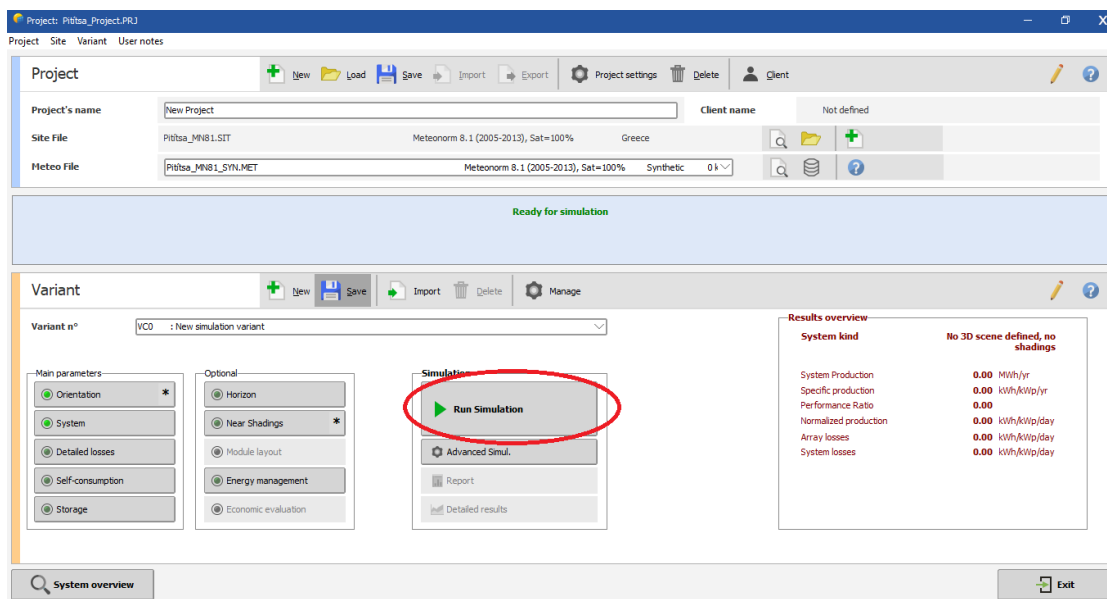
System Production	0.00	MWh/yr
Specific production	0.00	kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.00	
Normalized production	0.00	kWh/kWp/day
Array losses	0.00	kWh/kWp/day
System losses	0.00	kWh/kWp/day

System overview Exit

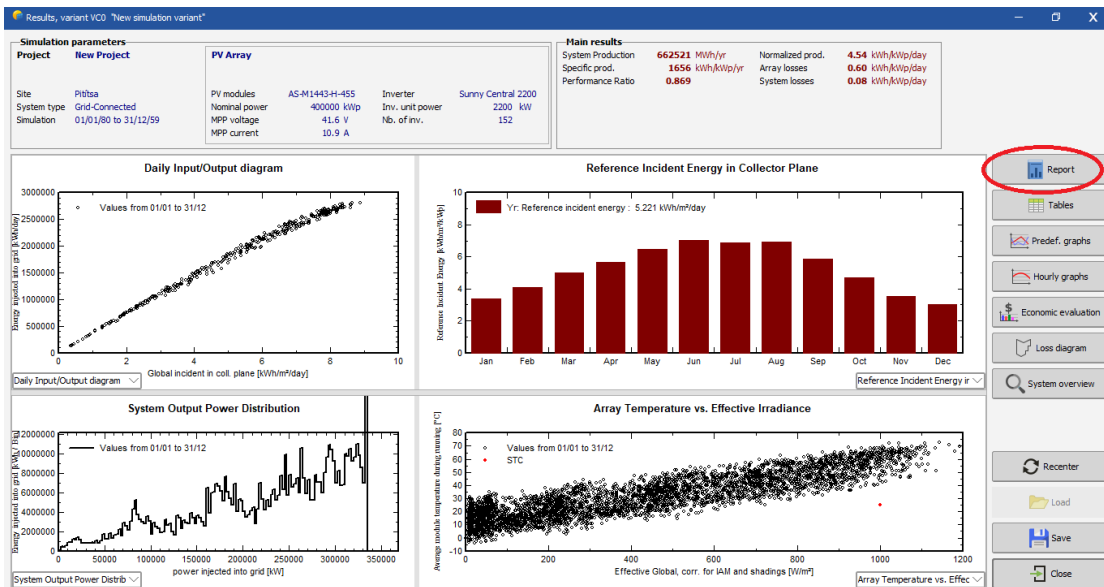
Και μετά No Shadings.



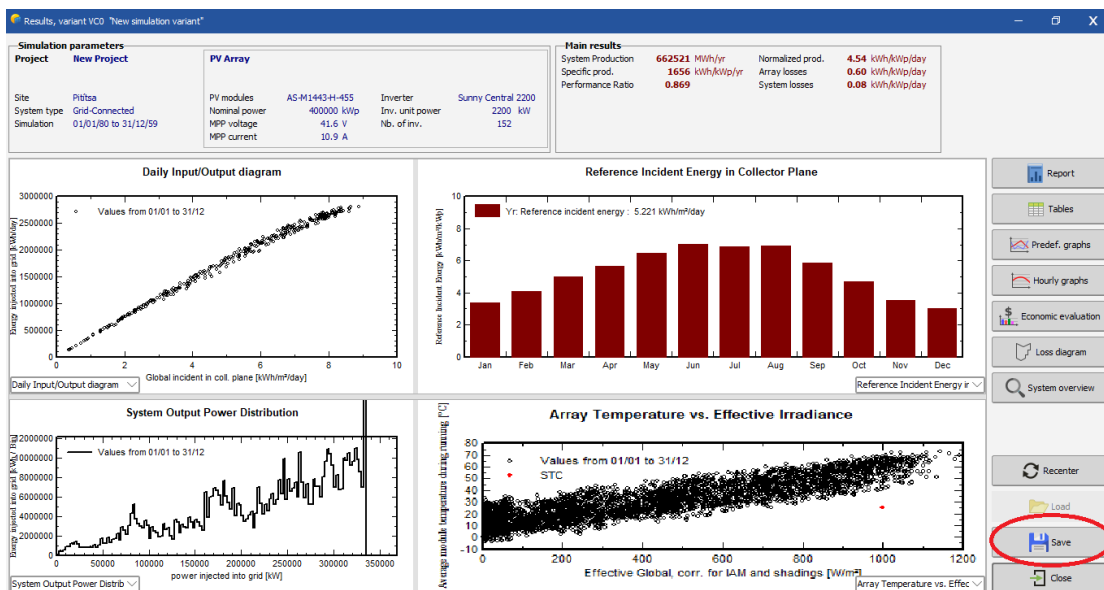
Βήμα 9: Ξεκινάμε την προσομοίωση πατώντας Run Simulation.



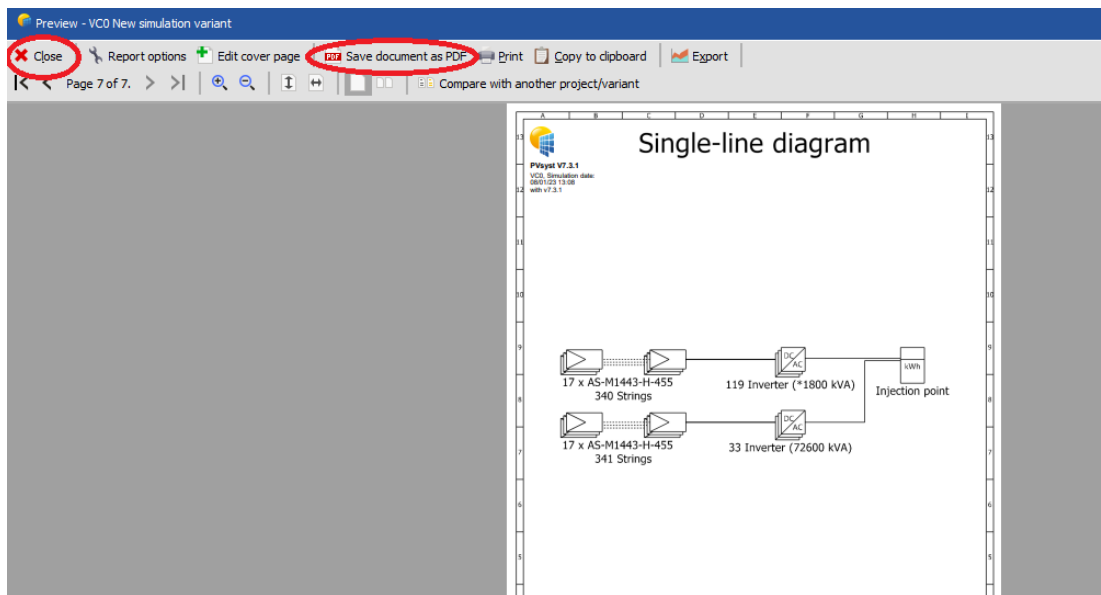
**Βήμα 10:** Πατώντας την επιλογή report εξάγεται η αναφορά με όλα τα στοιχεία του project.



**Βήμα 11:** Πατάμε save για να σωθεί το project με όλα τα στοιχεία του.



Υπάρχει και η επιλογή εξαγωγής της αναφοράς σε pdf.



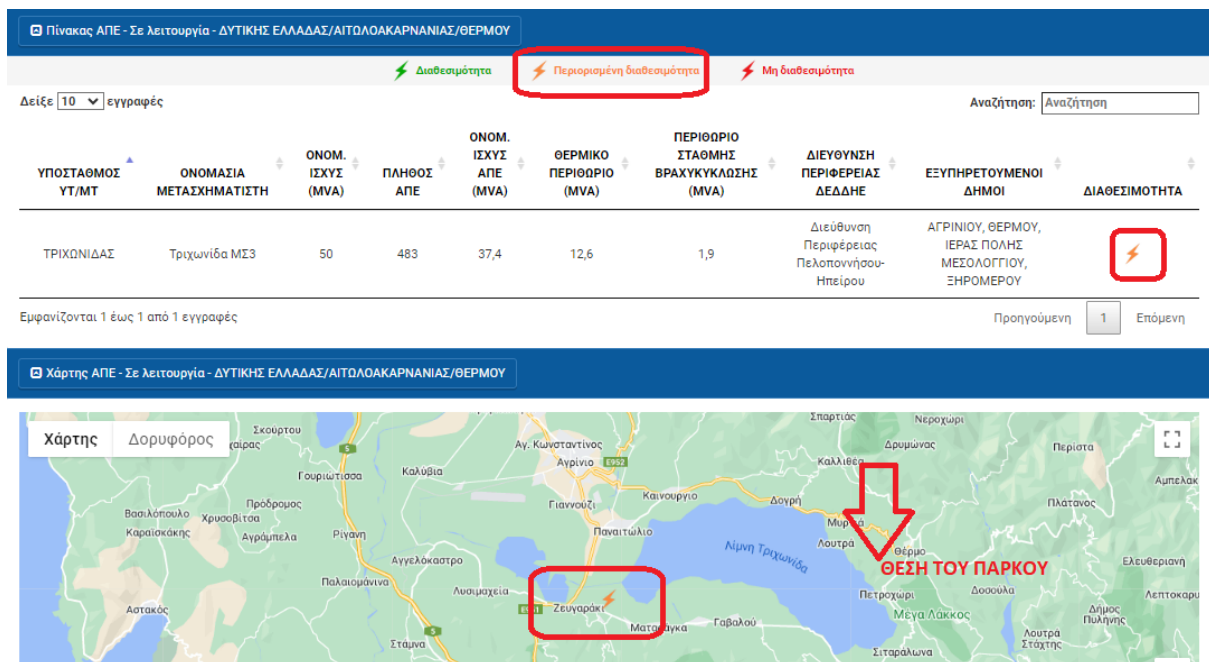
## 6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 6.1 Έλεγχος περιθωρίου απορρόφησης ισχύος διασυνδεδεμένου συστήματος στην περιοχή εγκατάστασης του ΦΒ πάρκου

Η δυνατότητα απορρόφησης ισχύος από το δίκτυο στην περιοχή που επιθυμούμε την εγκατάσταση του ΦΒ πάρκου αποτελεί πλέον τον πρώτο παράγοντα που πρέπει να ελεγχθεί. Ανάλογα με την περιοχή υπάρχει πλέον περιορισμός ή αδυναμία του ηλεκτρικού δικτύου να δεχθεί άλλη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ. Για το λόγο αυτό στην ιστοσελίδα <https://apps.deddie.gr/WebAPE/main.html> του ΔΕΔΔΗΕ είναι δυνατός ο έλεγχος διαθεσιμότητας περιθωρίου. Όπως φαίνεται και από τις παρακάτω εικόνες, στην περιοχή που θα γίνει η εγκατάσταση υπάρχει διαθεσιμότητα, αν και περιορισμένη

The screenshot shows the 'Αναζήτηση ΑΠΕ' (Search APE) interface on the ΔΕΔΔΗΕ website. The header includes the ΔΕΔΔΗΕ logo and the text 'Δυνατότητες απορρόφησης ισχύος σταθμών ΑΠΕ ανά γεωγραφική περιοχή στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο'. The main content area is divided into two columns. The left column is for selecting the administrative region, with dropdown menus for 'Περιφέρεια:' (set to ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ), 'Περιφερειακή Ενότητα:' (set to ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ), and 'Δήμος:' (set to ΘΕΡΜΟΥ). The right column is for selecting search criteria, with radio buttons for 'Σε λειτουργία, με σύμβαση και με οριστική προσφορά', 'Σε λειτουργία και με σύμβαση', and 'Σε λειτουργία' (which is selected). There are buttons for 'Εύρεση' (Search) and 'Καθαρισμός' (Clear). A map icon and text 'Συνολικός Χάρτης Περιθωρίων Διασυνδεδεμένου Συστήματος' are also visible.

Εικόνα 6.1 Αναζήτηση διαθεσιμότητας στον δήμο που ανήκει η έκταση της μελέτης



Εικόνα 6.2 Εμφάνιση αποτελεσμάτων αναζήτησης

Στην Εικόνα 6.2, στο χάρτη με παραλληλόγραμμο έχει σημειωθεί ο υποσταθμός στον οποίο θα κατευθύνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το πάρκο.

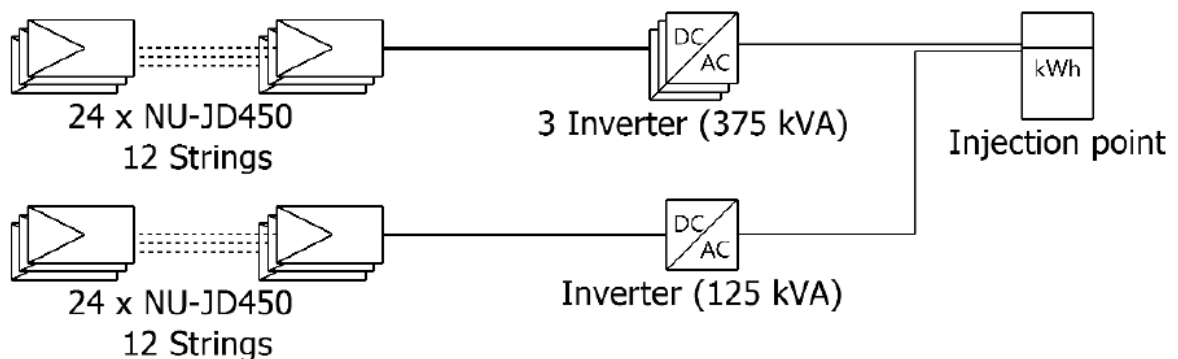
## 6.2 Οι παράμετροι της εγκατάστασης ισχύος 500kW

Ορίστηκαν οι παράμετροι της μελέτης, δηλαδή οι συντεταγμένες, η ισχύς, τα πάνελ και οι αντιστροφέις. Τα χαρακτηριστικά των πάνελ και των αντιστροφέων καθώς και η ισχύς του ΦΒ πάρκου φαίνονται στον Πίνακα 6-1

Πίνακας 6-1 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της μελέτης 500kW

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	NU-JD450	Model	Sunny Highpower SHP125-US-20-PEAK3
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	450 Wp	Unit Nom. Power	125 kWac
Number of PV modules	1152 units	Number of inverters	4 units
Nominal (STC)	518 kWp	Total power	500 kWac
Modules	48 Strings x 24 In series	Operating voltage	684-1450 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.04
Pmpp	474 kWp	<b>Total inverter power</b>	
U mpp	892 V	Total power	500 kWac
I mpp	532 A	Number of inverters	4 units
<b>Total PV power</b>		Pnom ratio	1.04
Nominal (STC)	518 kWp	<b>Total PV power</b>	
Total	1152 modules	Total power	518 kWp
Module area	2545 m <sup>2</sup>	Number of inverters	4 units
		Pnom ratio	1.04

Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται η διασύνδεση των αντιστροφέων με τα πάνελ και το δίκτυο.



Σχήμα 6.1 Διασύνδεση του πάρκου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας



## 6.3 Παρουσίαση των 5 διαφορετικών σεναρίων για την εγκατάσταση των 500kW


Για τις ίδιες παραμέτρους «έτρεξαν» πέντε διαφορετικές εκδοχές όσον αφορά τη μέθοδο υποστύλωσης των πάνελ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα πέντε αυτά διαφορετικά σενάρια.

### 6.3.1 Σενάριο 1: Σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30°

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30° σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πάρκου.

Πίνακας 6-2 Τα δεδομένα της μελέτης των 500kW για σταθερές βάσεις με κλίση 30°



Project: ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ  
Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.2  
VC0, Simulation date:  
29/03/23 01:33  
with v7.3.2

Project summary			
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b> Latitude 38.57 °N Longitude 21.63 °E Altitude 100 m Time zone UTC+3	<b>Project settings</b> Albedo 0.20	
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic			

System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings		
<b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 30 / 0 °	<b>Near Shadings</b> No Shadings	<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)	
<b>System information</b> PV Array		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules 1152 units		Nb. of units 4 units	
Pnom total 518 kWp		Pnom total 500 kWac	
		Pnom ratio 1.037	

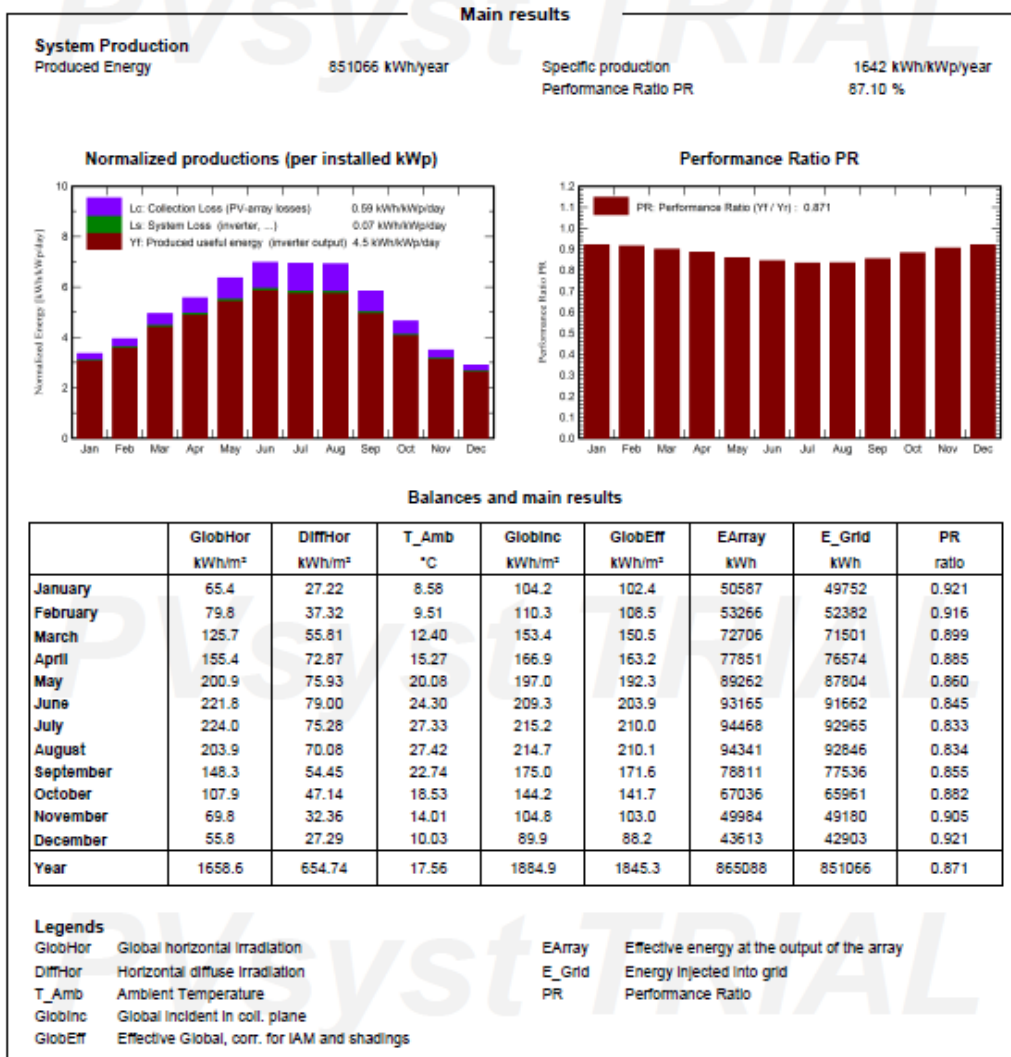
Στον Πίνακα 6-3 φαίνεται ο ορισμός της γωνίας κλίσης των πάνελ (30°)

Πίνακας 6-3 Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις (500kW)

General parameters		
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth 30 / 0 °		Circumsolar separate
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

Ο Πίνακας 6-4 δίνει την ετησίως παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, το βαθμό απόδοσης του συστήματος και λεπτομερή ανά μήνα καταγραφή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα διάφορα είδη ακτινοβολιών (βλέπε 4. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ) και της εγγεόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

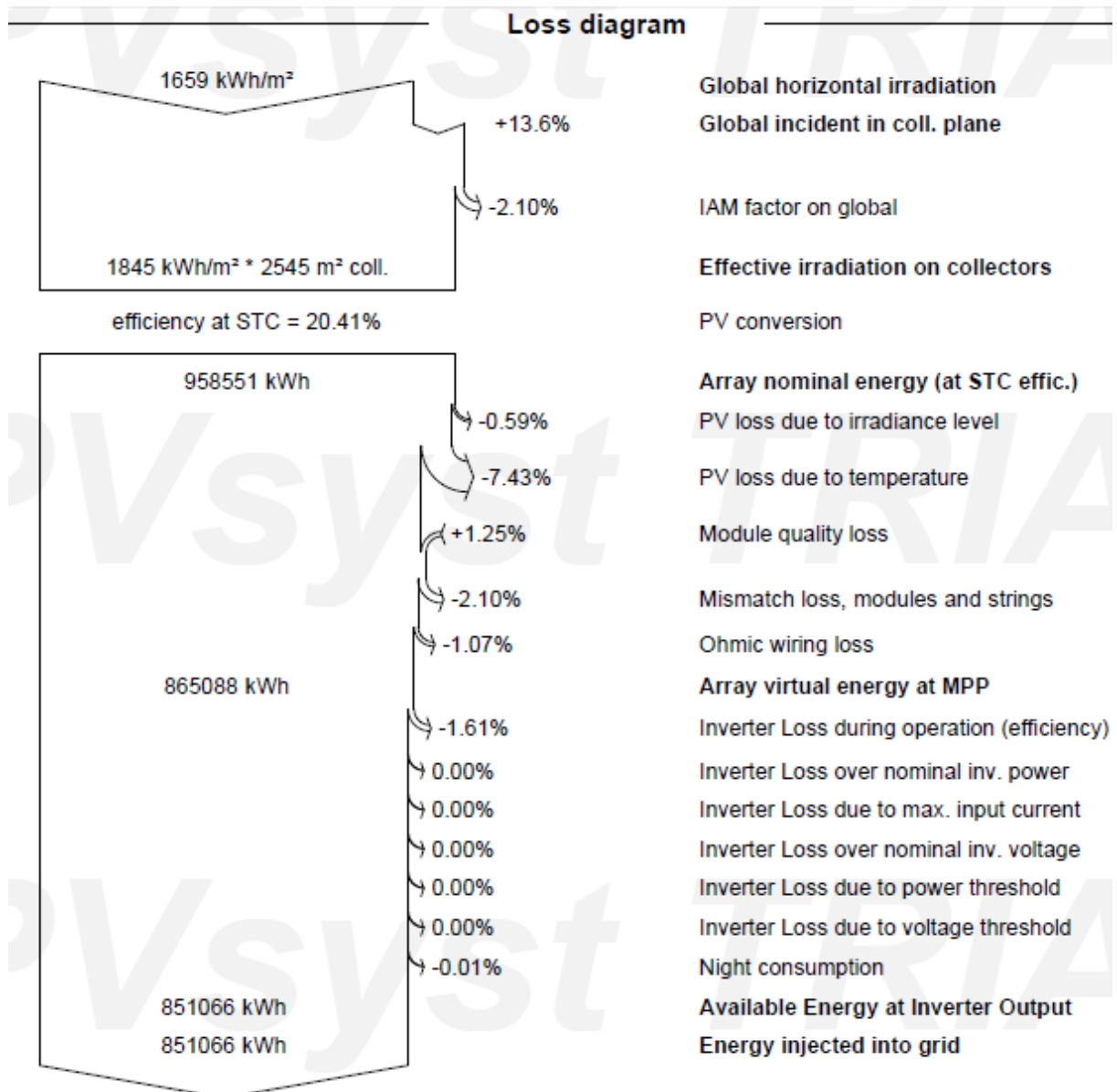
Πίνακας 6-4 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις και κλίση 30°(500kW)



Ακολουθεί επεξήγηση των συμβολισμών στον Πίνακας 6-4:

- GlobHor: Οριζόντια παγκόσμια ακτινοβολία
- DiffHor: Οριζόντια διάχυτη ακτινοβολία
- Tamb: Θερμοκρασία περιβάλλοντος,
- GlobInc: Παγκόσμια ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη
- GlobEff: Πραγματική ακτινοβολία , μετά από όλες τις οπτικές απώλειες (σκιάσεις, γωνία πρόσπτωσης, ρύπανση)
- Earray: Πραγματική ενέργεια στην έξοδο του πάνελ
- Egrid: Εγγεόμενη ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας
- PR: Βαθμός απόδοσης

Ακολουθεί το διάγραμμα απωλειών ισχύος



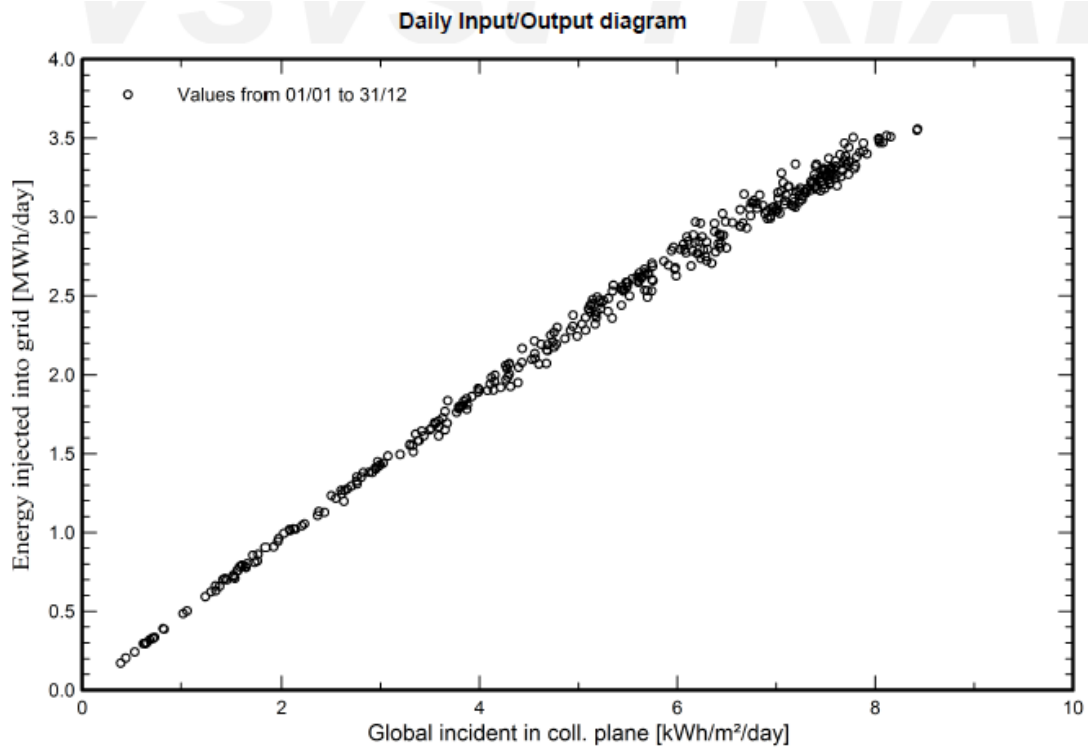
Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα απωλειών ισχύος με σταθερές βάσεις και κλίση 30° (500kW)

Ακολουθεί επεξήγηση των συμβολισμών στο Διάγραμμα 6.1

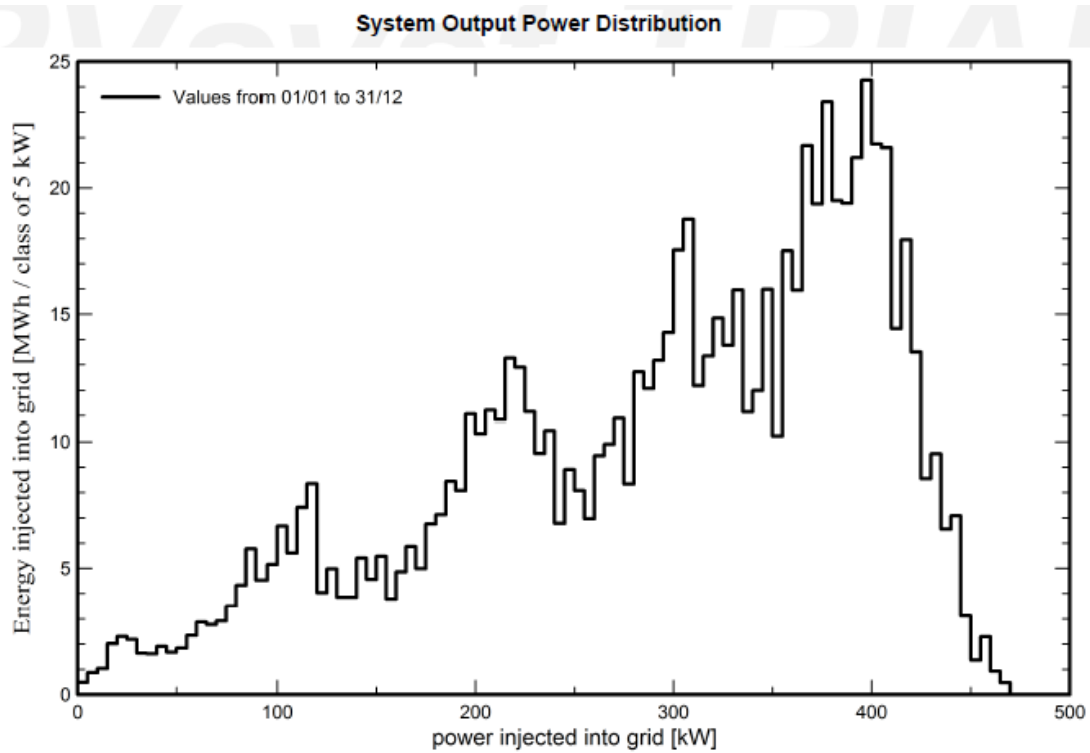
- Global Horizontal irradiation: Οριζόντια παγκόσμια ακτινοβολία
- Global Incident in coll. Plane: Παγκόσμια ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη
- IAM factor on global: Μείωση της ακτινοβολίας που φθάνει πραγματικά στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κυττάρων, σε σχέση με την ακτινοβολία υπό κανονική πρόσπτωση, λόγω των αντανάκλασεων που αυξάνονται με τη γωνία πρόσπτωσης.
- Effective irradiation on collectors: Ενεργή ακτινοβολία στο συλλέκτη
- Pv conversion: Μετατροπή του πάνελ

- Array nominal energy: Ονομαστική ενέργεια ΦΒ σειράς
- PV loss due to irradiance level: Απώλεια πάνελ λόγω επιπέδου ακτινοβολίας
- PV loss due to temperature Απώλεια πάνελ λόγω θερμοκρασίας
- Module quality loss: Απώλεια ποιότητας μονάδας: Αυτή η απώλεια αναφέρεται στις θετικές και αρνητικές ανοχές  $W_p$  των μονάδων
- Mismatch loss, modules and strings: Απώλεια μη ταιριάσματος συστοιχίας μονάδων: Οι απώλειες μη ταιριάσματος είναι συνάρτηση της ηλεκτρικής ομοιομορφίας παραγωγής και της δέσμευσης αυτής.
- Ohmic wiring loss Απώλεια ωμικής καλωδίωσης. Αυτή η απώλεια οφείλεται στην επιλογή καλωδίων, αντιπροσωπεύοντας την απώλεια στην πλευρά DC μεταξύ της μονάδας προς τον μετατροπέα μέσω καλωδίων DC.
- Inverter loss during operation: Απώλεια μετατροπέα κατά τη λειτουργία
- Inverter loss over nominal inv. Power: Απώλειες μετατροπέα στην ονομαστική ισχύ λειτουργίας
- Inverter loss due to max input current Απώλειες μετατροπέα από το μέγιστο ρεύμα εισόδου
- Inverter loss over nominal input current: Απώλειες μετατροπέα πάνω από το ονομαστικό ρεύμα εισόδου
- Inverter loss due to power threshold: Απώλειες μετατροπέα λόγω του κατωφλίου ισχύος
- Inverter loss due to voltage threshold: Απώλειες μετατροπέα λόγω του κατωφλίου τάσης
- Night consumption: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύκτας

Τέλος, παρατίθενται και δύο διαγράμματα (Διάγραμμα 6.2 και Διάγραμμα 6.3) όπου φαίνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με την ακτινοβολία και την ισχύ των πάνελ σε ετήσια βάση.



Διάγραμμα 6.2 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για σταθερές βάσεις και κλίση 30° (500kW)



Διάγραμμα 6.3 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°(500kW)

## 6.3.2 Σενάριο 2: Σταθερές βάσεις με αλλαγή γωνίας κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σταθερές βάσεις με διαφορετική γωνία κλίσης χειμώνα και καλοκαίρι.

Πίνακας 6-5 Τα δεδομένα της μελέτης για τη μελέτη για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα –καλοκαίρι (500kW)



PVsyst V7.3.2

VCO, Simulation date:  
29/03/23 01:36  
with v7.3.2

Project: ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΧΕΙΜΩΝΑ -  
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Variant: New simulation variant

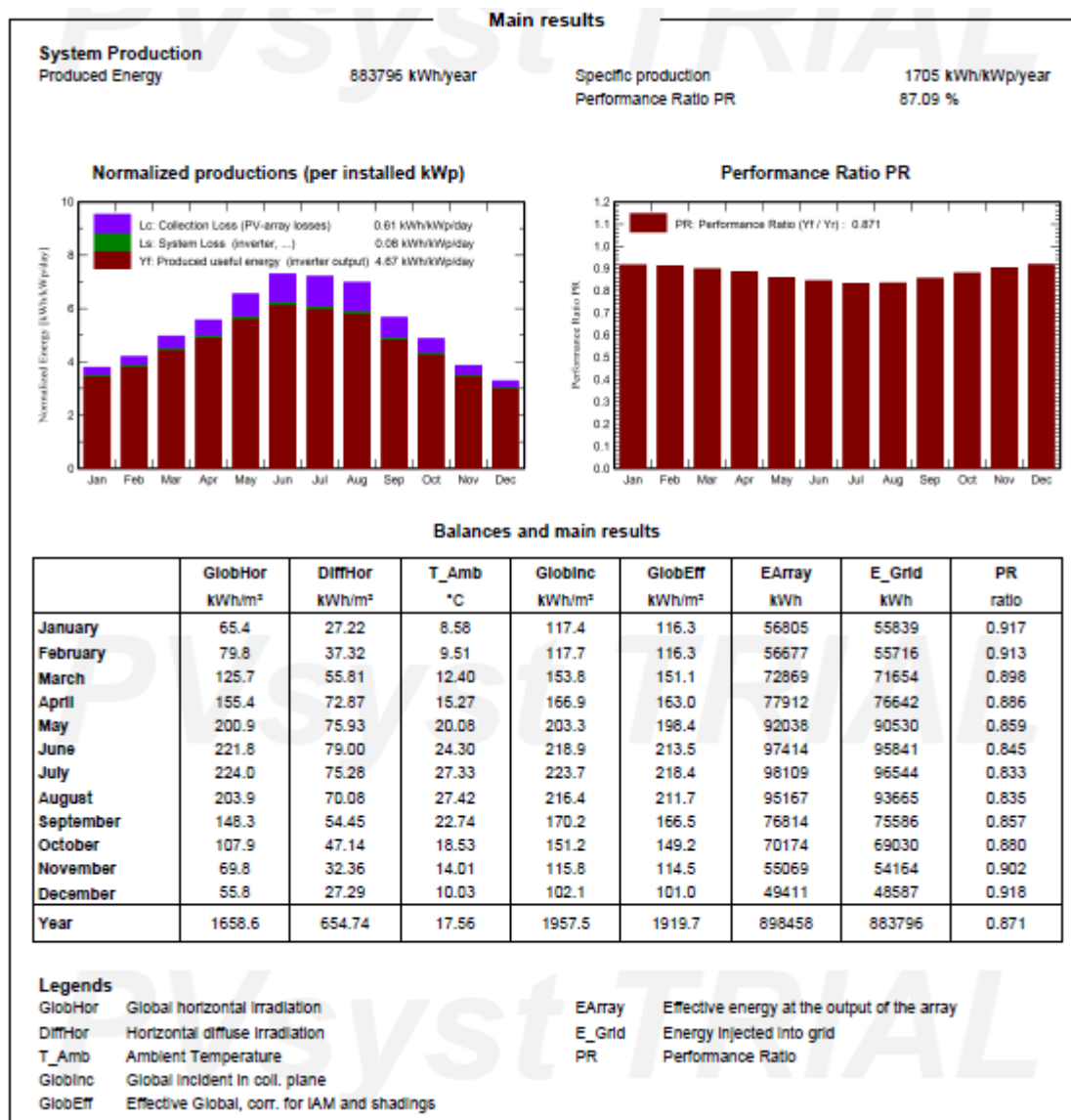
Project summary			
<b>Geographical Site</b>	<b>Situation</b>	<b>Project settings</b>	
PALIOPLATANOS	Latitude	38.57 °N	Albedo
Greece	Longitude	21.63 °E	0.20
	Altitude	100 m	
	Time zone	UTC+3	
<b>Meteo data</b>			
PALIOPLATANOS			
Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic			

System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Sheds system, seasonal tilt</b>		
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Near Shadings</b>		<b>User's needs</b>
Seasonal tilt adjustment	No Shadings		Unlimited load (grid)
azimuth	0 °		
Summer Tilt	20 °		
winter	50 °		
Oct.-Nov.-Dec.-Jan.-Feb.-Mar.-			
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules	1152 units	Nb. of units	4 units
Pnom total	518 kWp	Pnom total	500 kWac
		Pnom ratio	1.037

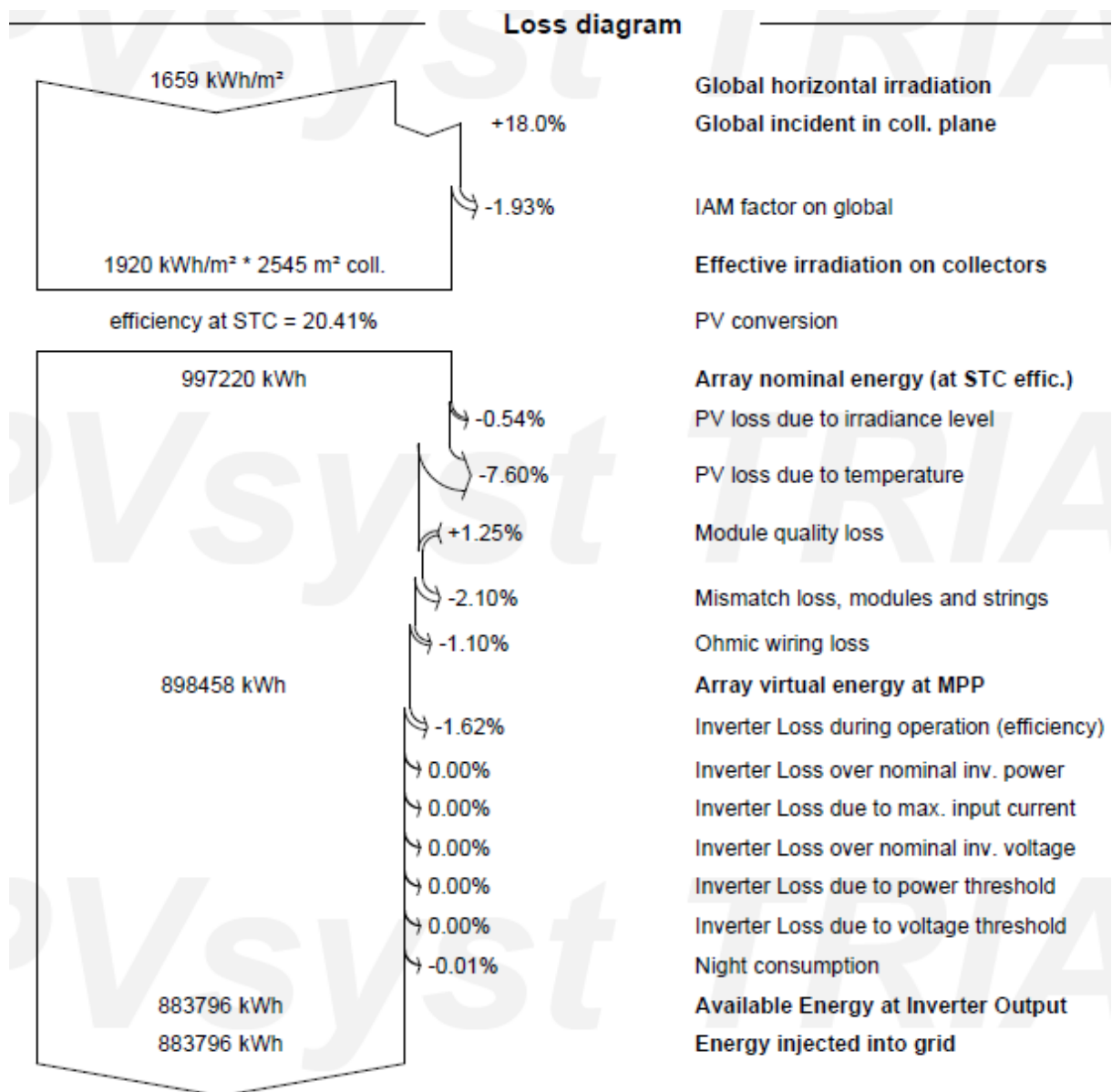
Πίνακας 6-6 Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι (500kW)

General parameters		
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Sheds system, seasonal tilt</b>	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Seasonal tilt adjustment		Diffuse Perez, Meteonorm
azimuth 0 °		Circumsolar separate
Summer Tilt 20 °		
winter 50 °		
Oct.-Nov.-Dec.-Jan.-Feb.-Mar.-		
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

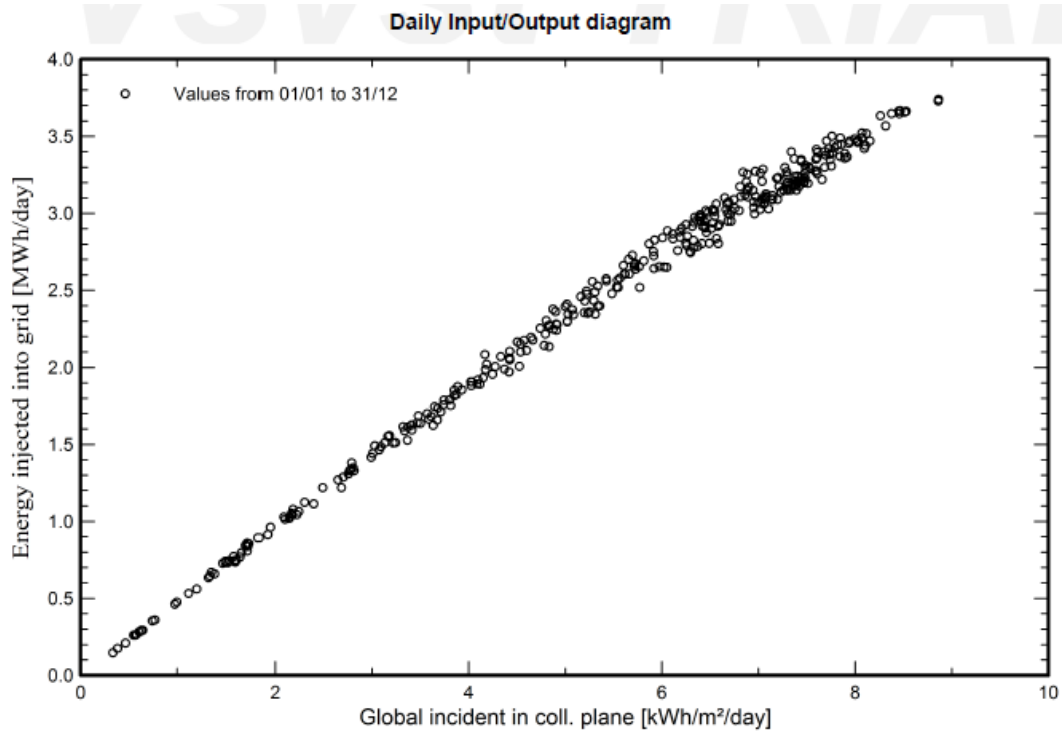
Πίνακας 6-7 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα –καλοκαίρι (500kW)



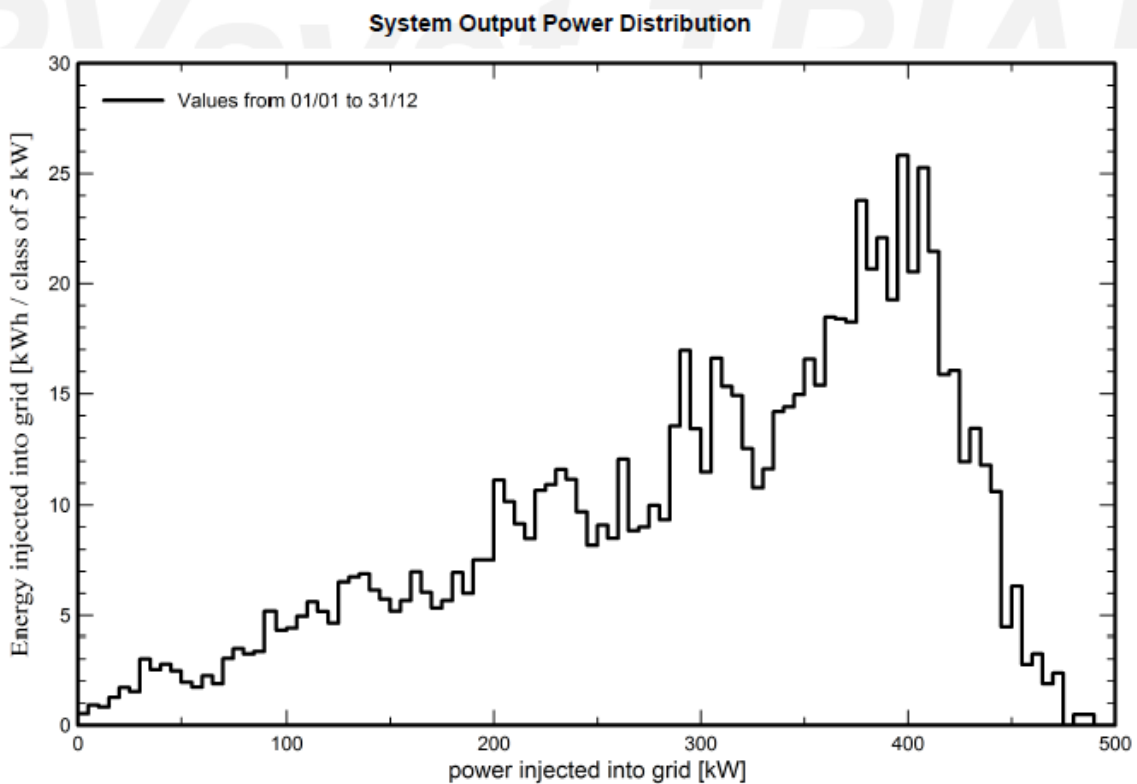




Διάγραμμα 6.4 Διάγραμμα απωλειών ισχύος για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι(500kW)



Διάγραμμα 6.5 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία στο πάνελ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(500kW)



Διάγραμμα 6.6 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(500kW)

### 6.3.3 Σενάριο 3: Κινητές βάσεις (ιχνηλάτες)

Πίνακας 6-8 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις (500kW)



PVsyst V7.3.2

VC0, Simulation date:  
29/03/23 01:40  
with v7.3.2

Project: ΚΙΝΗΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ

Variant: New simulation variant

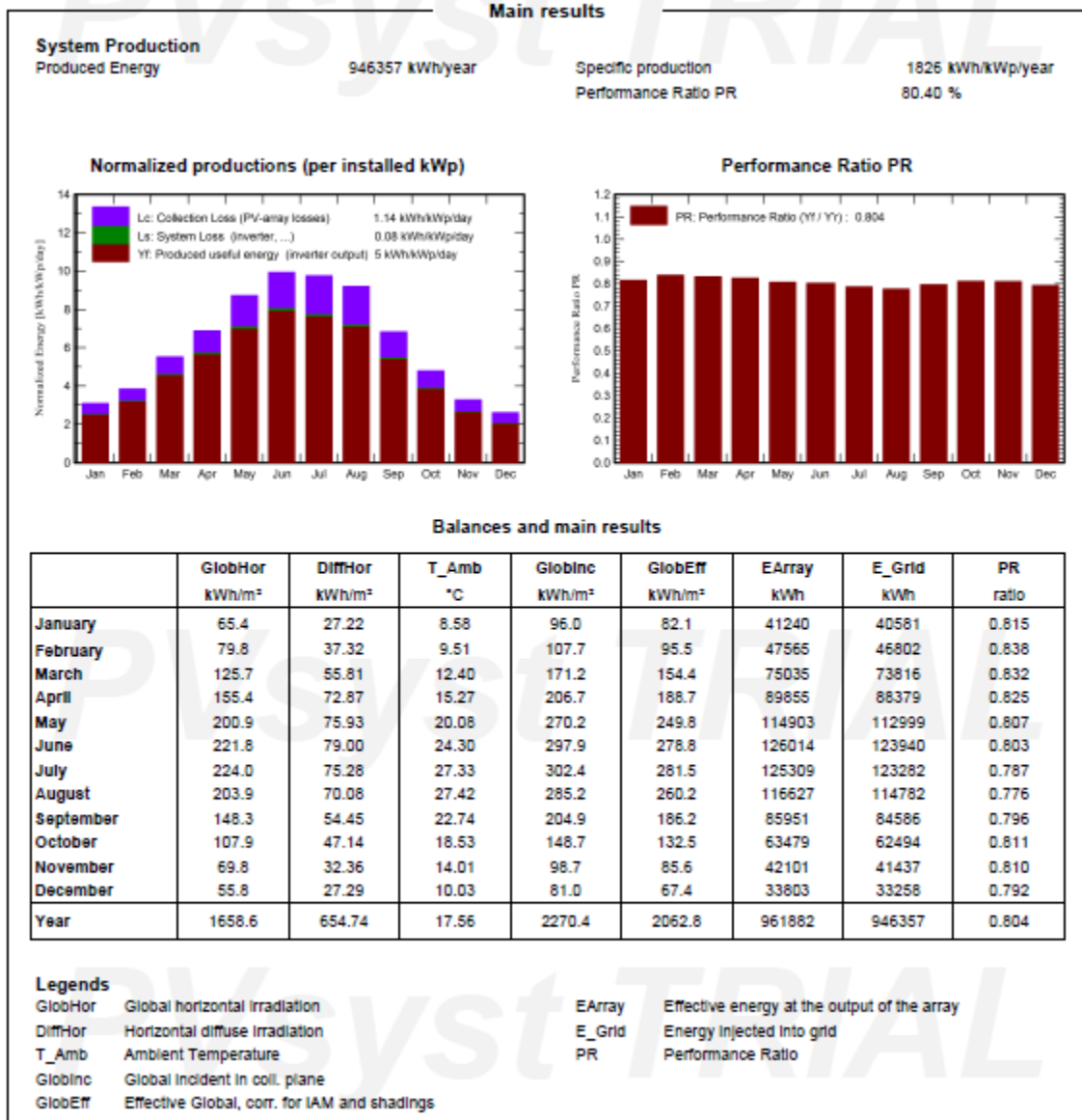
Project summary				
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b>		<b>Project settings</b>	
	Latitude	38.57 °N	Albedo	0.20
	Longitude	21.63 °E		
	Altitude	100 m		
	Time zone	UTC+3		
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic				

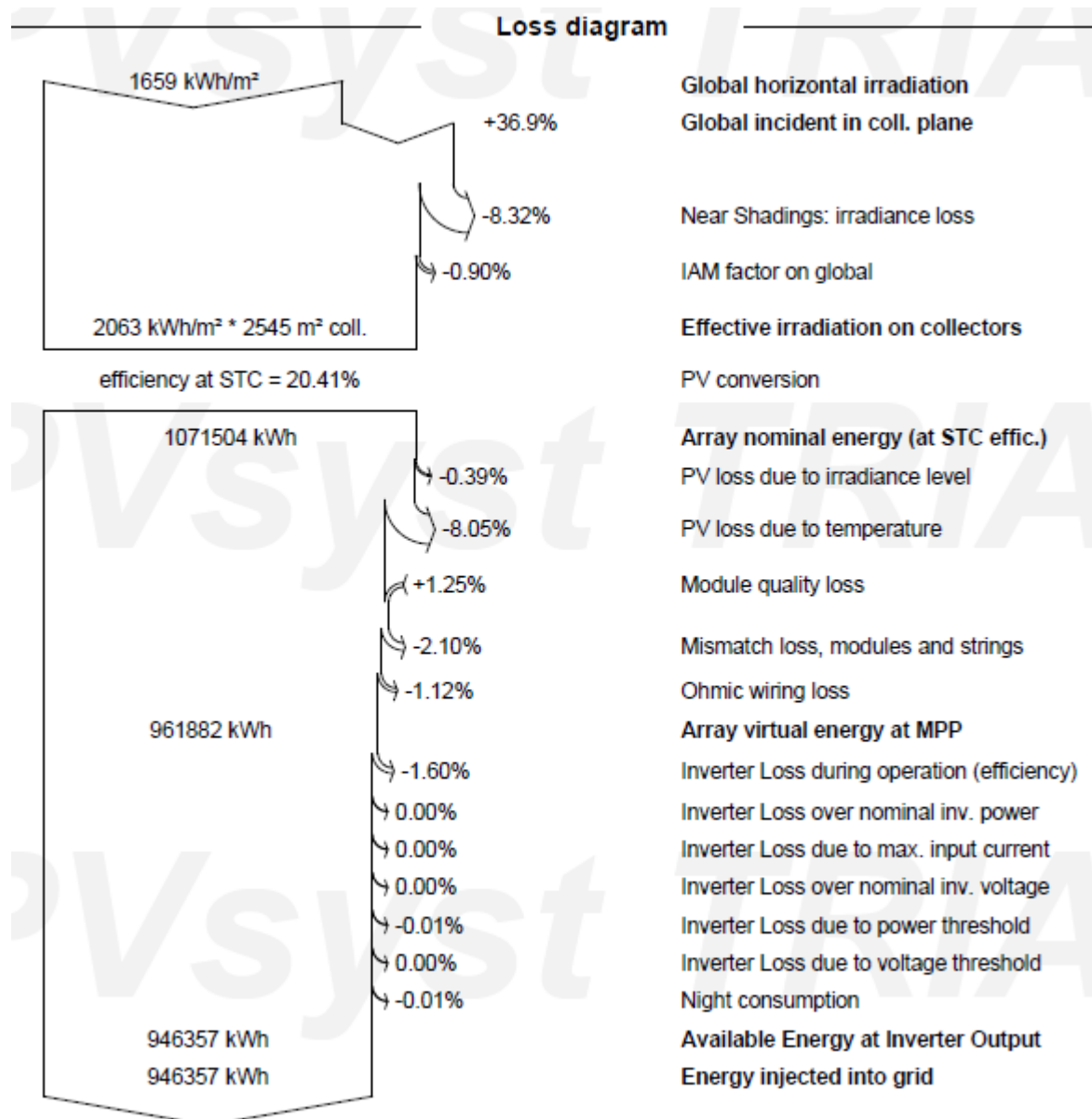
System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Unlimited trackers</b>		<b>Near Shadings</b>
<b>PV Field Orientation</b>			No Shadings
Orientation		<b>Tracking algorithm</b>	
Tracking horizontal axis		Astronomic calculation	
Axis azimuth	-180 °		
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules	1152 units	Nb. of units	4 units
Pnom total	518 kWp	Pnom total	500 kWac
		Pnom ratio	1.037
<b>User's needs</b>			
Unlimited load (grid)			

Πίνακας 6-9 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις(500kW)

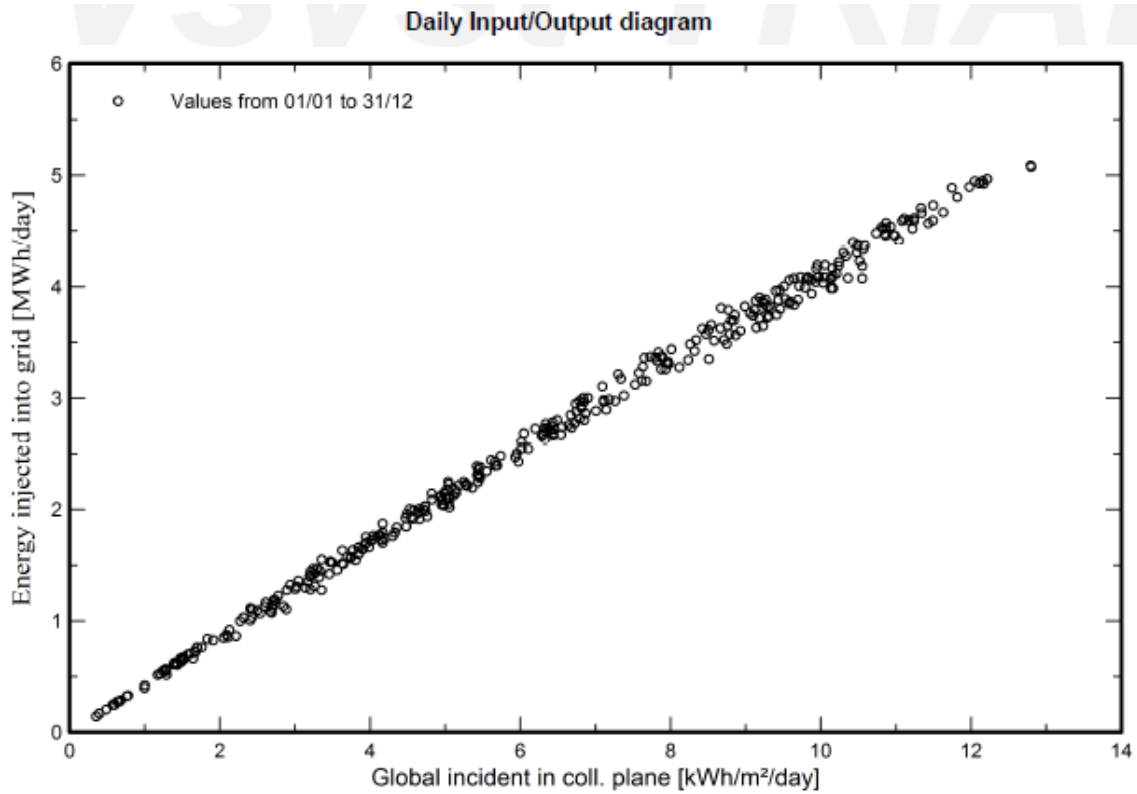
General parameters				
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Unlimited trackers</b>			
<b>PV Field Orientation</b>			<b>Trackers configuration</b>	
Orientation		<b>Tracking algorithm</b>	Nb. of trackers	10 units
Tracking horizontal axis		Astronomic calculation	<b>Unlimited trackers</b>	
Axis azimuth	-180 °		<b>Sizes</b>	
			Tracker Spacing	6.60 m
			Collector width	3.00 m
			Ground Cov. Ratio (GCR)	45.5 %
			Left inactive band	0.02 m
			Right inactive band	0.02 m
			Phi min / max.	-/+ 60.0 °
			<b>Shading limit angles</b>	
			Phi limits for BT	-/+ 62.4 °
<b>Models used</b>				
Transposition	Perez			
Diffuse	Perez, Meteonorm			
Circumsolar	separate			
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>	
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)	

Πίνακας 6-10 Παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις(500kW)

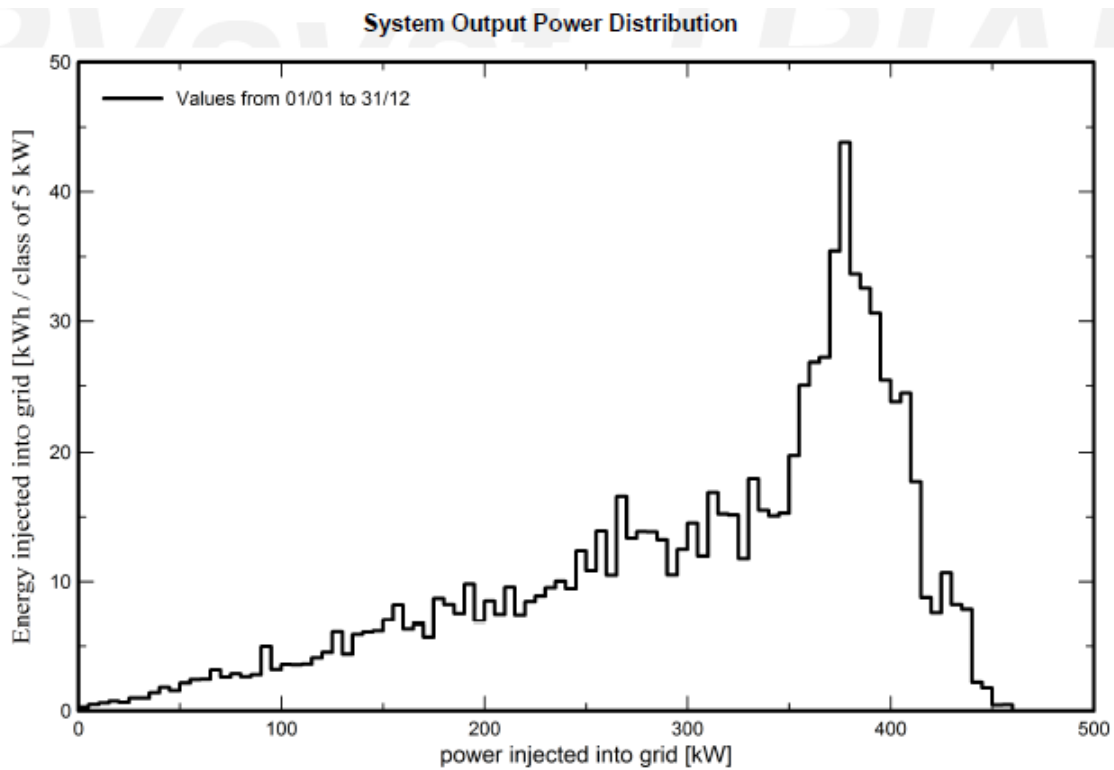




Διάγραμμα 6.7 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(500kW)



Διάγραμμα 6.8 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις(500kW)



Διάγραμμα 6.9 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(500kW)

## 6.3.4 Σενάριο 4: Ιχνηλάτες στον οριζόντιο άξονα κίνησης

Πίνακας 6-11 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα



PVsyst V7.3.2

VC0, Simulation date:  
29/03/23 01:43  
with v7.3.2

Project: ΚΙΝΗΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΤΗ  
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΒΟΡΡΑ - ΝΟΤΟΥ

Variant: New simulation variant

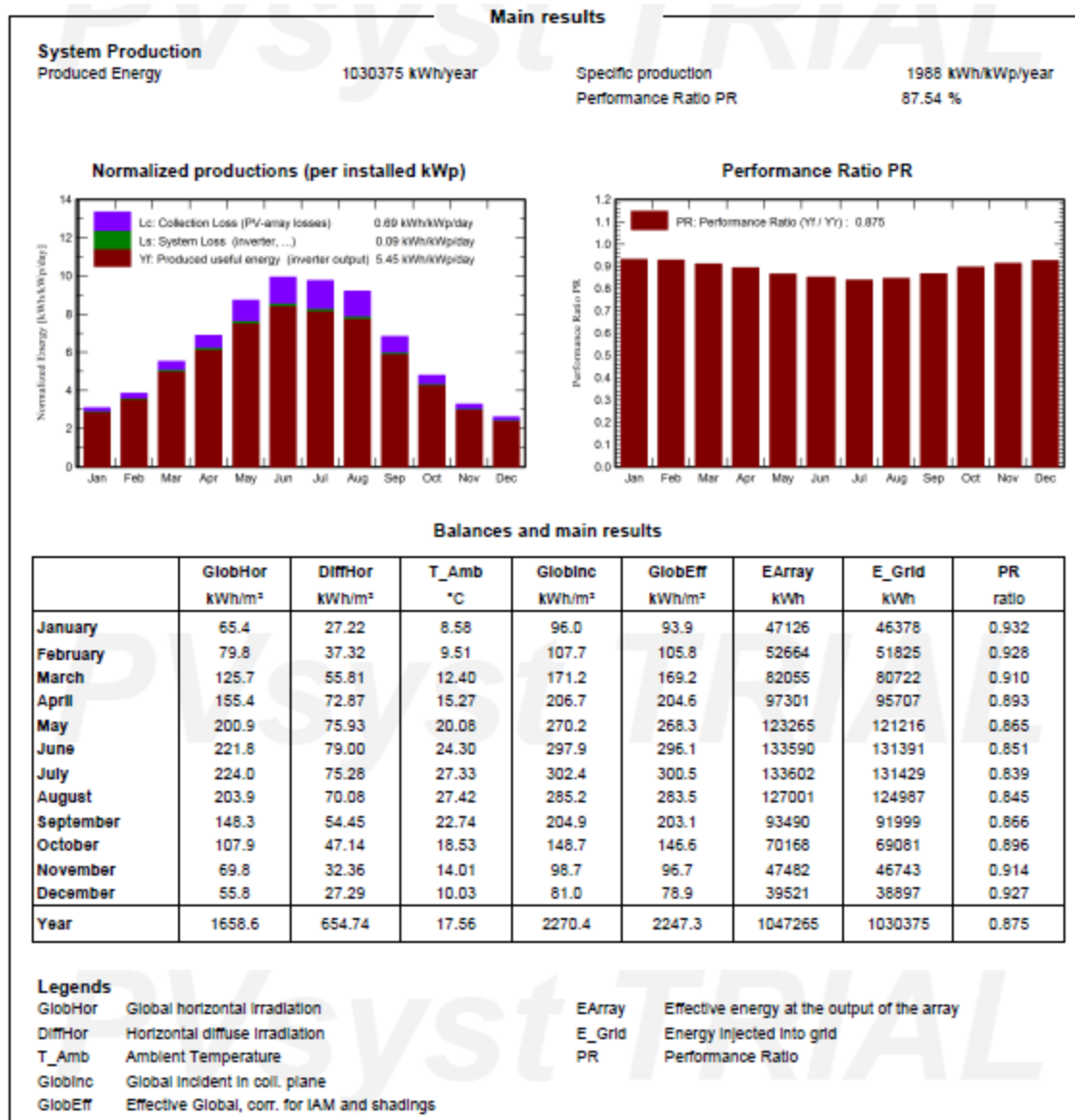
Project summary				
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b>		<b>Project settings</b>	
	Latitude	38.57 °N	Albedo	0.20
	Longitude	21.63 °E		
	Altitude	100 m		
	Time zone	UTC+3		
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic				

System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings		
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Near Shadings</b>	
Orientation	<b>Tracking algorithm</b>	No Shadings	
Tracking plane, horizontal N-S axis	Astronomic calculation		
Axis azimuth	-180 °		
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules	1152 units	Nb. of units	4 units
Pnom total	518 kWp	Pnom total	500 kWac
		Pnom ratio	1.037
<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)			

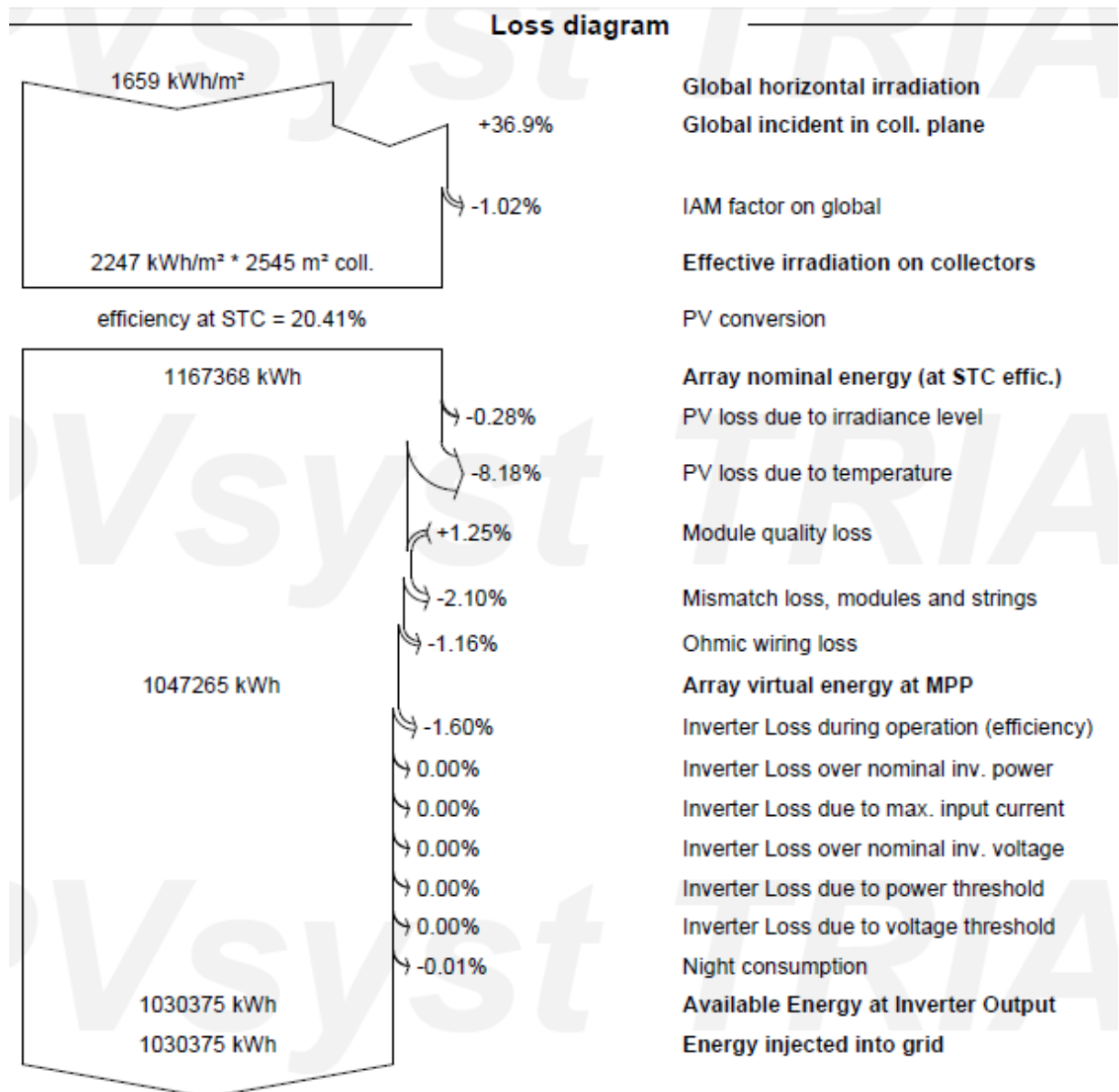
Πίνακας 6-12 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW)

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings		
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Trackers configuration</b>	
Orientation	<b>Tracking algorithm</b>	No 3D scene defined	
Tracking plane, horizontal N-S axis	Astronomic calculation		
Axis azimuth	-180 °		
<b>Models used</b>			
Transposition	Perez		
Diffuse	Perez, Meteonorm		
Circumsolar	separate		
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>	
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)	

Πίνακας 6-13 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW)

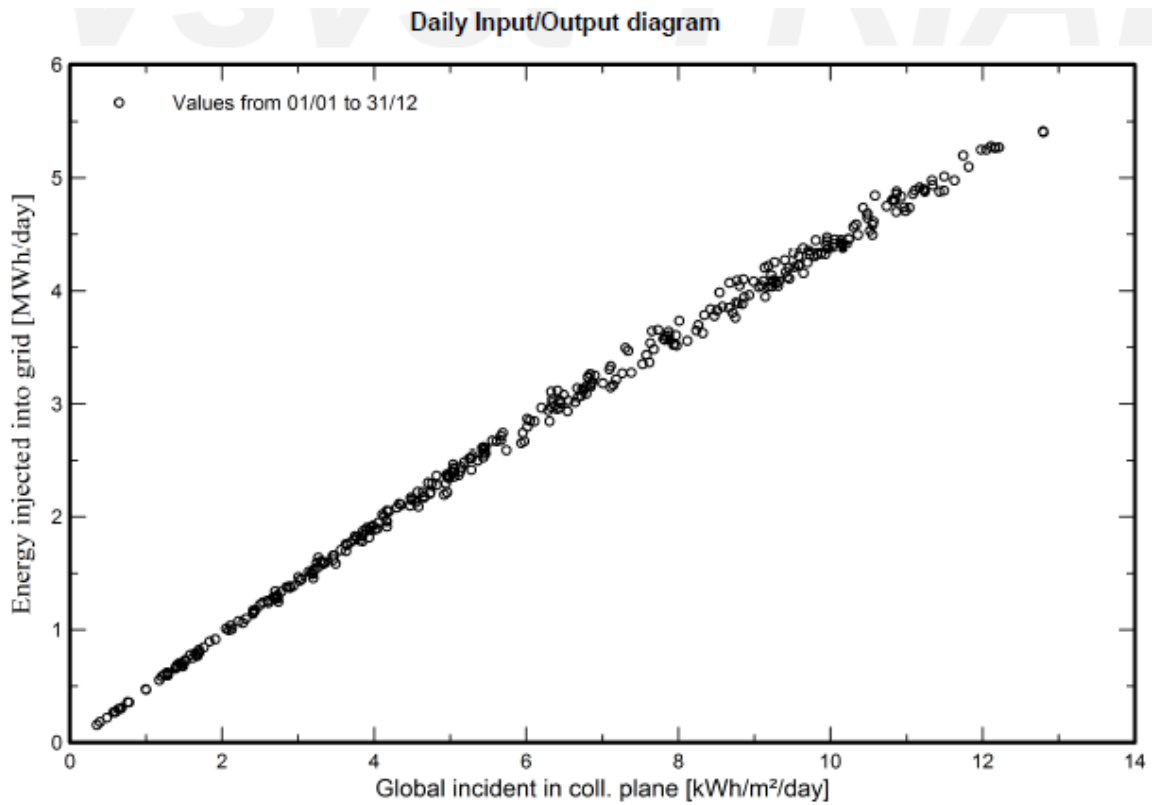




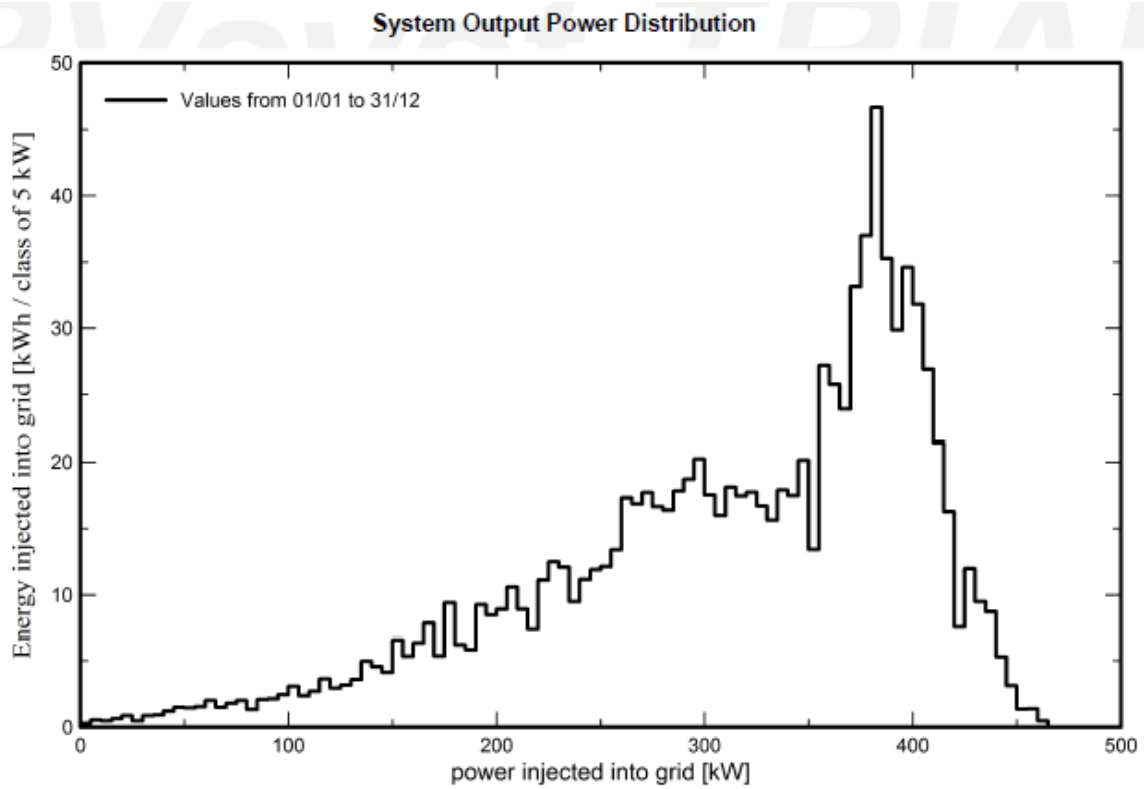


Διάγραμμα 6.10

Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW)



Διάγραμμα 6.11 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα (500kW)



Διάγραμμα 6.12 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(500kW)

## 6.3.5 Σενάριο 5:Ιχνηλάτες με κάθετο άξονα κίνησης

Πίνακας 6-14 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW)



Project: ΚΙΝΗΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.2

VCO, Simulation date:  
29/03/23 01:56  
with v7.3.2

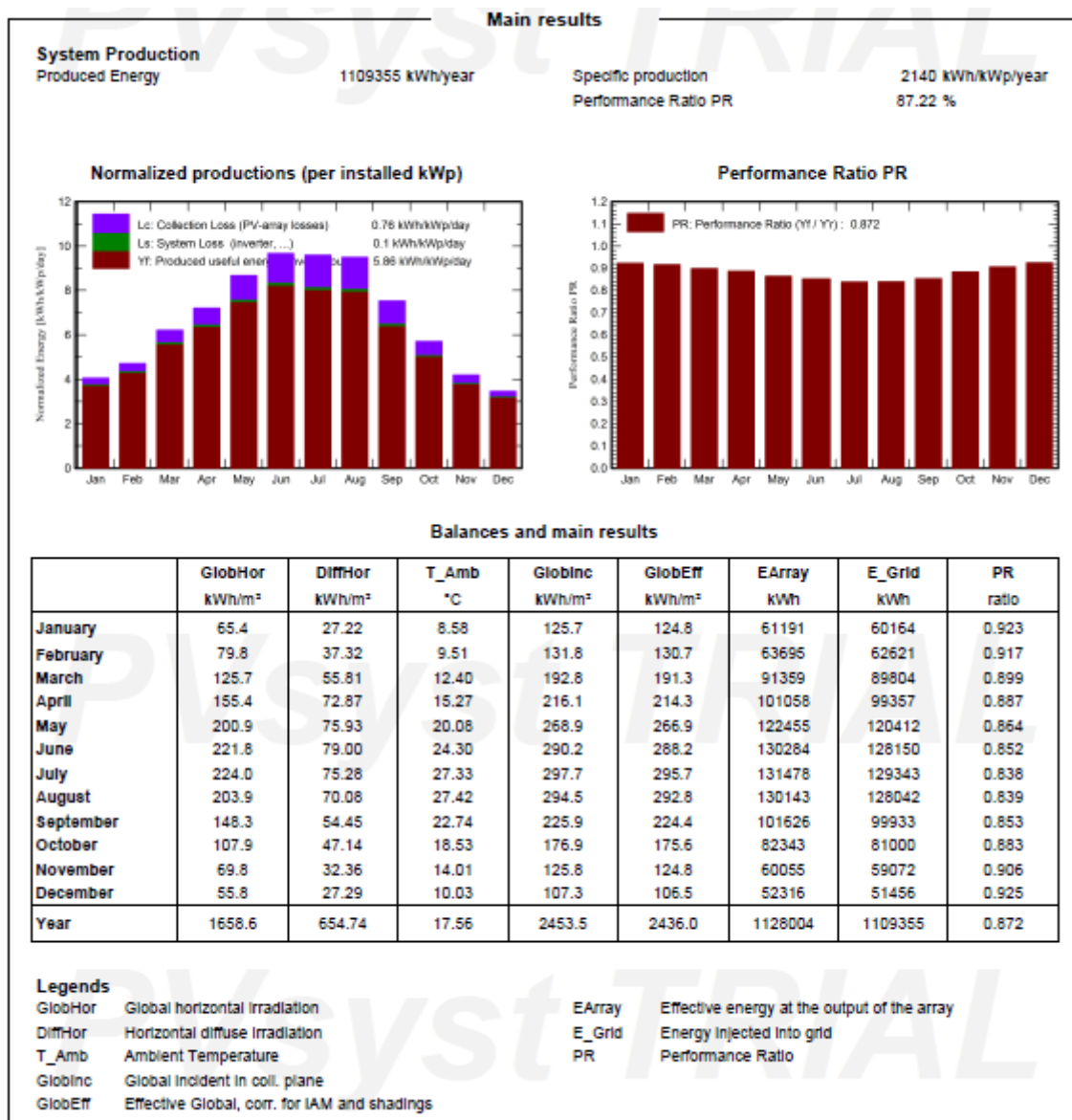
Project summary				
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b>		<b>Project settings</b>	
	Latitude	38.57 °N	Albedo	0.20
	Longitude	21.63 °E		
	Altitude	100 m		
	Time zone	UTC+3		
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic				

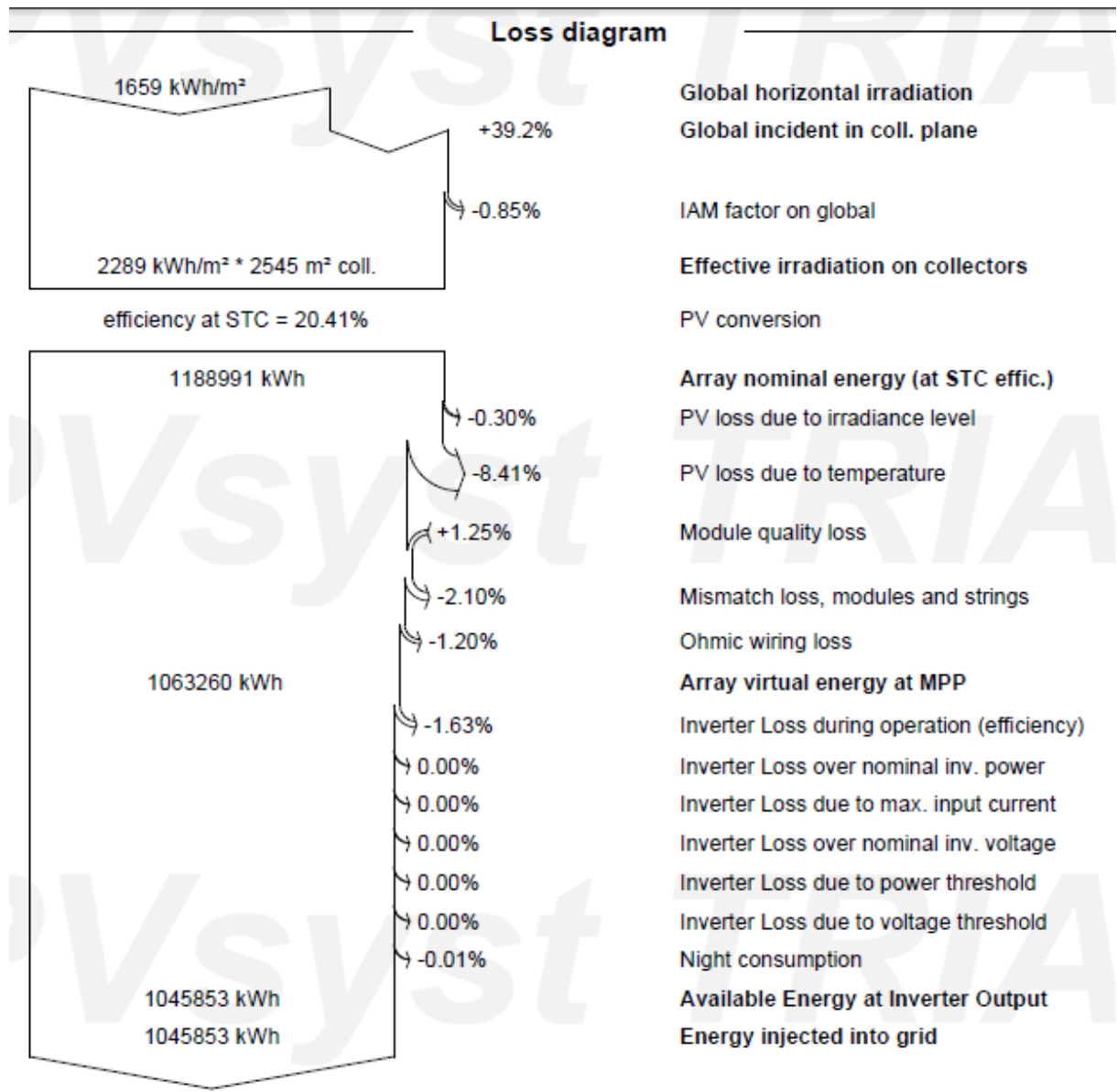
System summary			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Near Shadings</b>	
Orientation		No Shadings	
Tracking plane, tilted axis		<b>Tracking algorithm</b>	
		Astronomic calculation	
Axis Tilt	30 °		
Azimuth	0 °		
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules	1152 units	Nb. of units	4 units
Pnom total	518 kWp	Pnom total	500 kWac
		Pnom ratio	1.037
<b>User's needs</b>			
Unlimited load (grid)			

Πίνακας 6-15 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW)

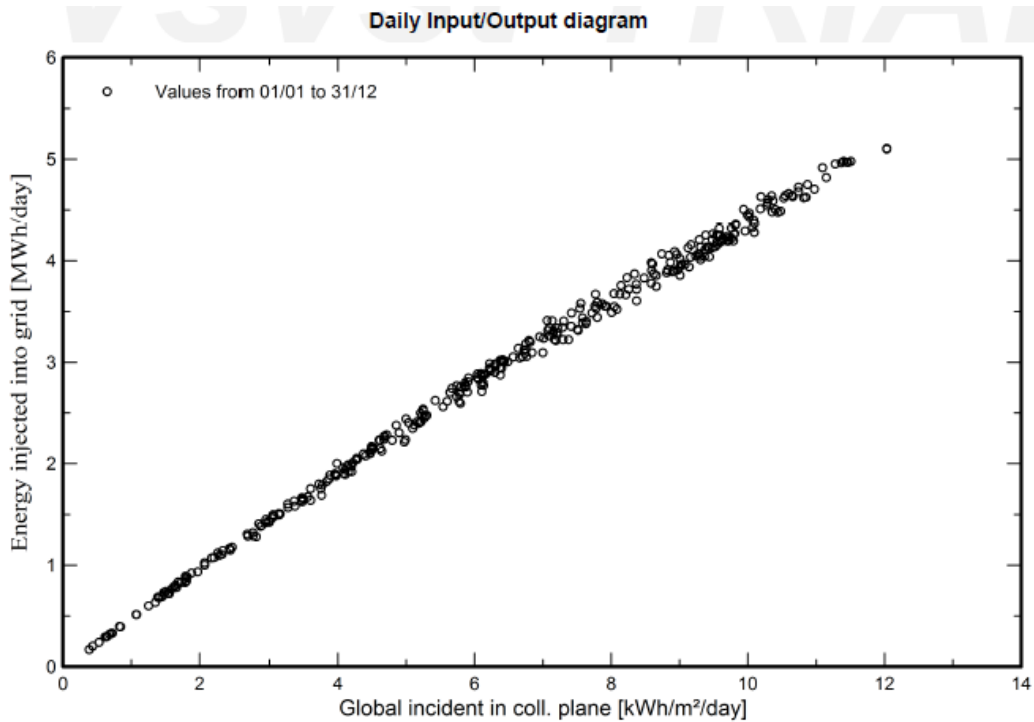
General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Trackers configuration</b>	
Orientation		No 3D scene defined	
Tracking plane, tilted axis		<b>Tracking algorithm</b>	
		Astronomic calculation	
Axis Tilt	30 °		
Azimuth	0 °		
<b>Models used</b>			
Transposition	Perez		
Diffuse	Perez, Meteonorm		
Circumsolar	separate		
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	
Free Horizon		No Shadings	
		<b>User's needs</b>	
		Unlimited load (grid)	

Πίνακας 6-16 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW)

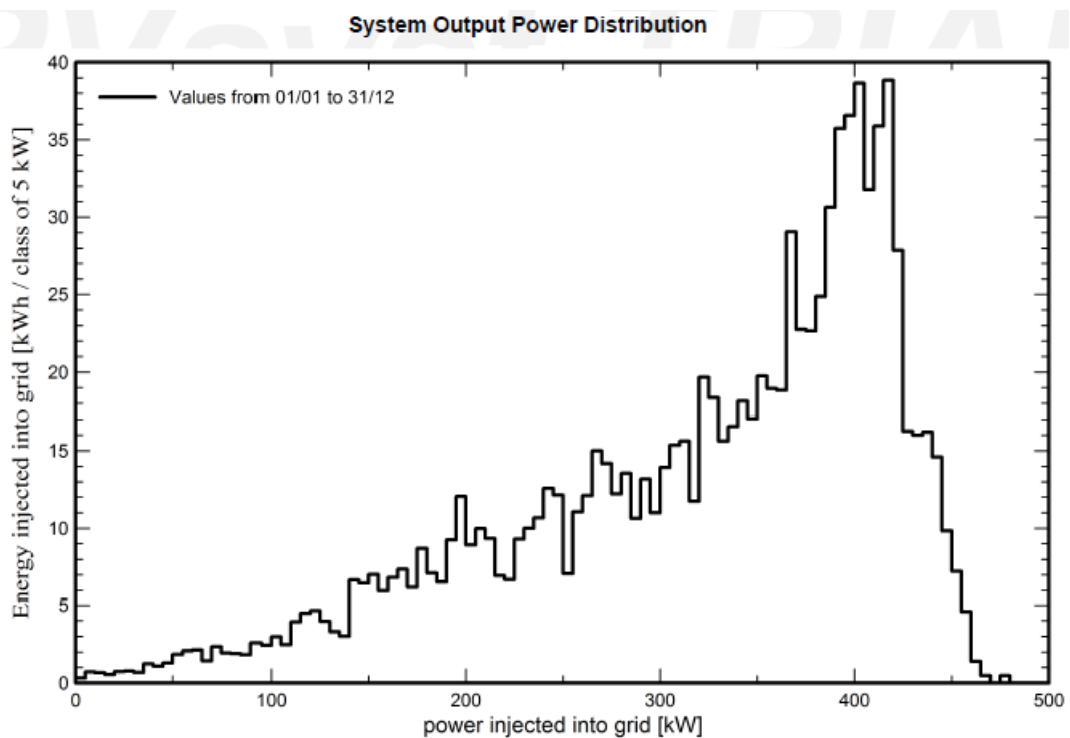




Διάγραμμα 6.13 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW)



Διάγραμμα 6.14 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW)



Διάγραμμα 6.15 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(500kW)

## 6.4 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	kWh/kW/year	Kwhr/year
Σταθερές βάσεις	87.1	1642	851066
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	87.09	1705	883796
Κινητές βάσεις	80.4	1826	946357
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	87.54	1988	1030375
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	87.39	2017	1045853

Παρατηρούμε ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται κάθε φορά που πραγματοποιείται μια αλλαγή/ βελτίωση στον σχεδιασμό. Αρχικά για σταθερές βάσεις, μια αλλαγή της κλίσης ( $20^{\circ}$  το καλοκαίρι που οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα στο πάνελ και  $50^{\circ}$  που οι ηλιακές ακτίνες είναι πλάγιες) προκαλεί την κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας κινητές βάσεις ιχνηλάτησης της ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρούμε μια περαιτέρω άνοδο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

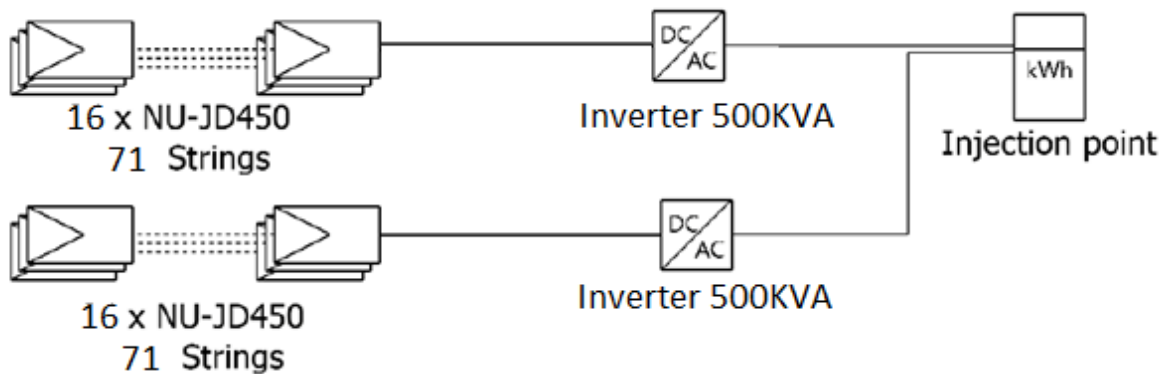
## 6.5 Οι παράμετροι της εγκατάστασης ισχύος 1MW

Ορίστηκαν οι παράμετροι της μελέτης, δηλαδή οι συντεταγμένες, η ισχύς, τα πάνελ και οι αντιστροφείς. Τα χαρακτηριστικά των πάνελ και των αντιστροφέων καθώς και η ισχύς του ΦΒ πάρκου φαίνονται στον Πίνακα 6-1

Πίνακας 6-17 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της μελέτης (1MW)

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	SMA
Model	NU-JD450	Model	Sunny Central 500CP XT
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	450 Wp	Unit Nom. Power	500 kWac
Number of PV modules	2272 units	Number of inverters	2 units
Nominal (STC)	1000 kWp	Total power	1000 kWac
Modules	142 Strings x 16 In series	Operating voltage	430-850 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Max. power (=>25°C)	550 kWac
P <sub>mpp</sub>	474 kWp	P <sub>nom</sub> ratio (DC:AC)	1.00
U <sub>mpp</sub>	892 V		
I <sub>mpp</sub>	532 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	1000 kWp	Total power	1000 kWac
Total	2272 modules	Number of inverters	2 units
Module area	5055 m <sup>2</sup>	P <sub>nom</sub> ratio	1.00
	4515 m <sup>2</sup>		

Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται η διασύνδεση των αντιστροφέων με τα πάνελ και το δίκτυο



Σχήμα 6.2 Διασύνδεση του πάρκου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας(1MW)



## 6.6 Παρουσίαση των 5 διαφορετικών σεναρίων για την εγκατάσταση του 1MW

Για τις ίδιες παραμέτρους «έτρεξαν» πέντε διαφορετικές εκδοχές όσον αφορά τη μέθοδο υποσύλωσης των πάνελ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα πέντε αυτά διαφορετικά σενάρια

### 6.6.1 Σενάριο 1: Σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30°

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30° σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ πάρκου.

Πίνακας 6-18 Τα δεδομένα της μελέτης για σταθερές βάσεις με κλίση 30°



The screenshot shows the PVsyst V7.3.2 interface. At the top left is the PVsyst logo and version information: "PVsyst V7.3.2", "VC0, Simulation date: 29/03/23 01:33", and "with v7.3.2". The project name is "Project: ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ" and the variant is "Variant: New simulation variant".

The "Project summary" section is divided into three columns:

- Geographical Site:** PALIOPLATANOS, Greece
- Situation:** Latitude 38.57 °N, Longitude 21.63 °E, Altitude 100 m, Time zone UTC+3
- Project settings:** Albedo 0.20

The "Meteo data" section shows: PALIOPLATANOS, Meteonom 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic

The "System summary" section is divided into three columns:

- Grid-Connected System:** No 3D scene defined, no shadings
- PV Field Orientation:** Fixed plane, Tilt/Azimuth 30 / 0 °
- Near Shadings:** No Shadings
- User's needs:** Unlimited load (grid)

The "System information" section is divided into two columns:

- PV Array:** Nb. of modules 2272 units, Pnom total 1000 kWp
- Inverters:** Nb. of units 2 units, Pnom total 1000 kWac, Pnom ratio 1.000

Στον Πίνακα 6-19 φαίνεται ο ορισμός της γωνίας κλίσης των πάνελ (30°)

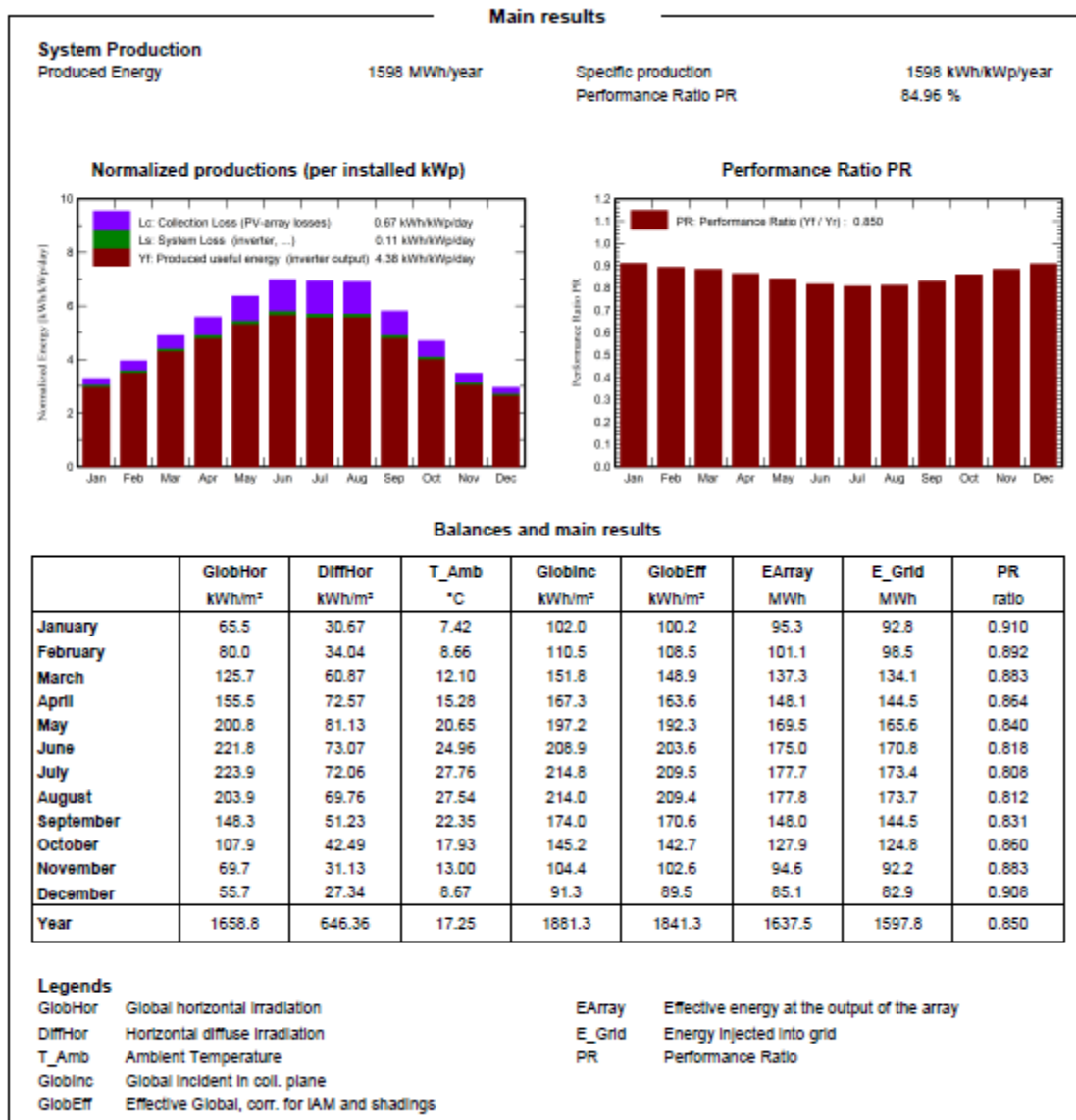
Πίνακας 6-19 Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις

General parameters		
<b>Grid-Connected System</b>	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteorom
Tilt/Azimuth		Circumsolar separate
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

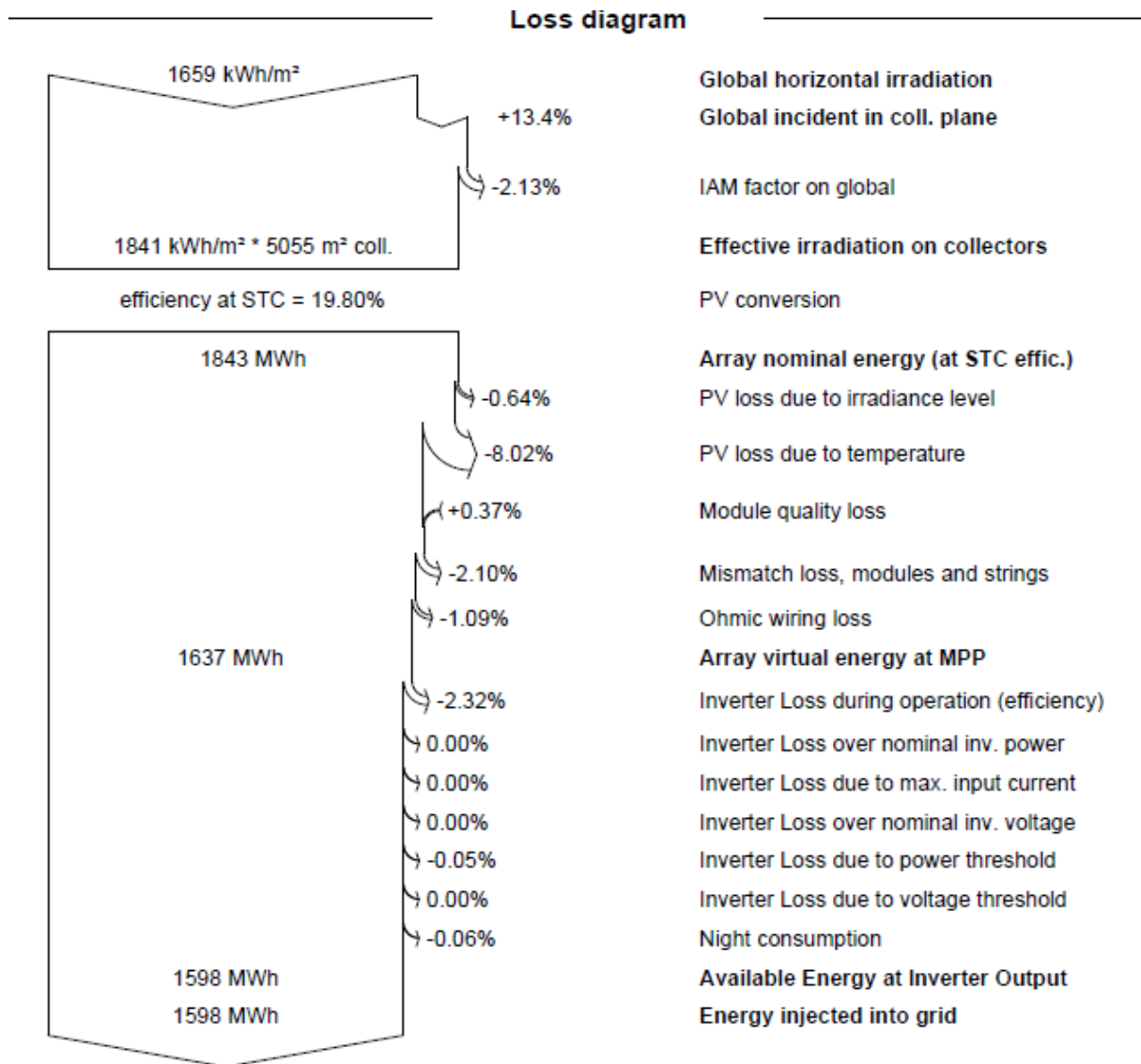
Ο Πίνακας 6-20 δίνει την ετησίως παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, το βαθμό απόδοσης του συστήματος και λεπτομερή ανά μήνα καταγραφή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα διάφορα είδη ακτινοβολιών (βλέπε 4. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ) και της εγγεόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

]

Πίνακας 6-20 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις και κλίση 30° (1MW)

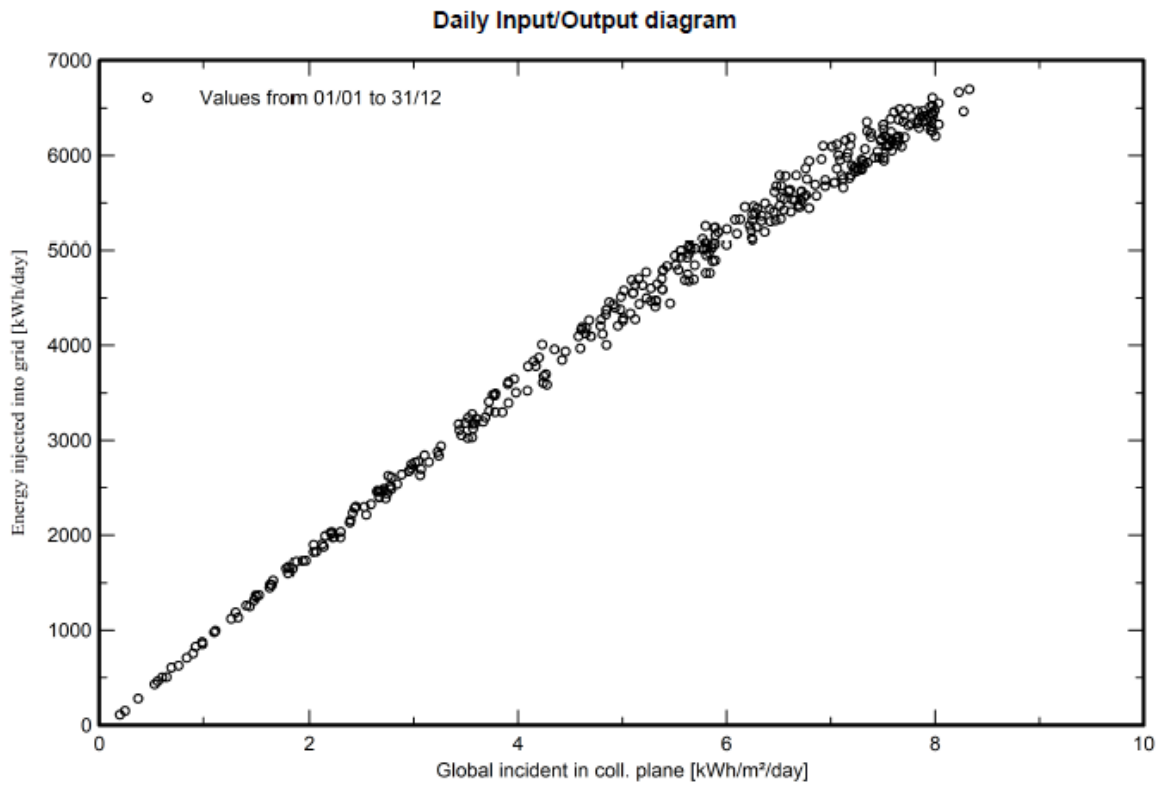


Ακολουθεί το διάγραμμα απωλειών ισχύος:

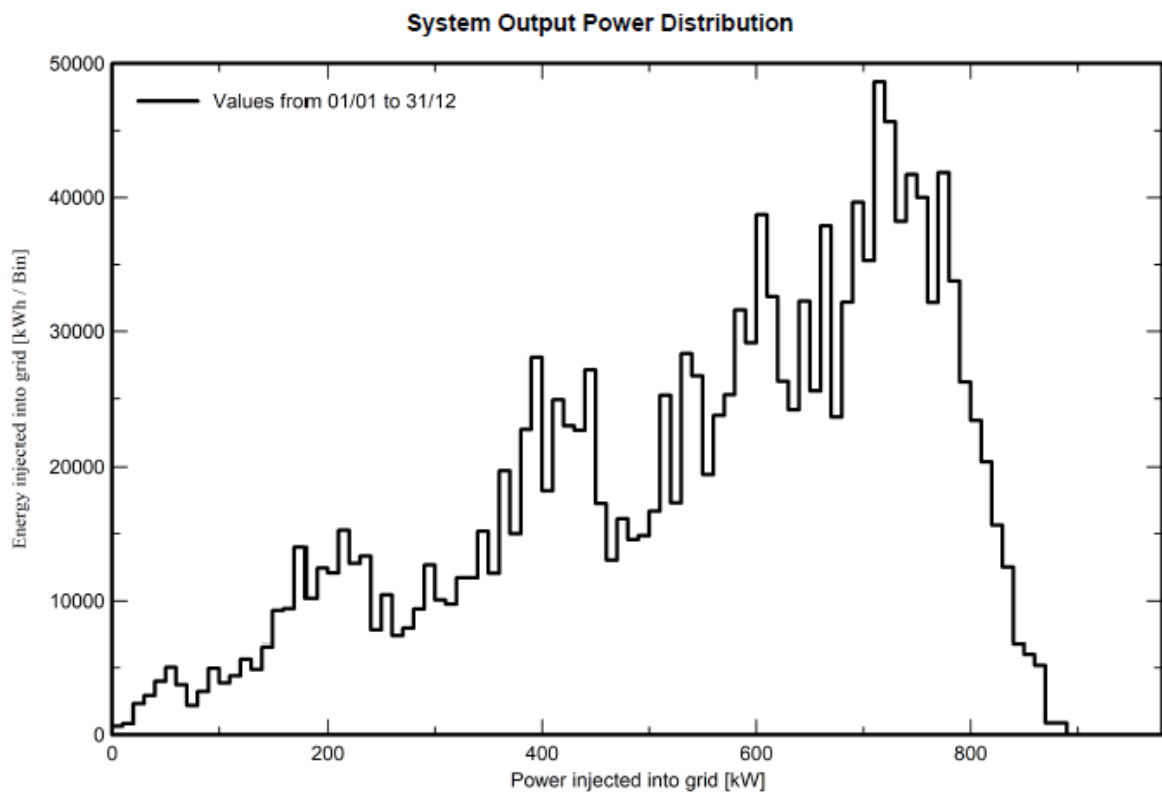


Διάγραμμα 6.16 Διάγραμμα απωλειών ισχύος με σταθερές βάσεις και κλίση 30° (1MW)

Τέλος, παρατίθενται και δύο διαγράμματα (Διάγραμμα 6.2 και Διάγραμμα 6.3) όπου φαίνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με την ακτινοβολία και την ισχύ των πάνελ σε ετήσια βάση.



Διάγραμμα 6.17 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για σταθερές βάσεις και κλίση 30° (1MW)




Διάγραμμα 6.18 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°(1MW)

## 6.6.2 Σενάριο 2: Σταθερές βάσεις με αλλαγή γωνίας κλίσης χειμώνα – καλοκαίρι

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σταθερές βάσεις με διαφορετική γωνία κλίσης χειμώνα και καλοκαίρι

Πίνακας 6-21 Τα δεδομένα της μελέτης για τη μελέτη για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW)



**Project: ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΧΕΙΜΩΝΑ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ**  
Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.2  
VC0, Simulation date:  
29/03/23 01:36  
with v7.3.2

Project summary			
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece		<b>Situation</b> Latitude 38.57 °N Longitude 21.63 °E Altitude 100 m Time zone UTC+3	
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic		<b>Project settings</b> Albedo 0.20	

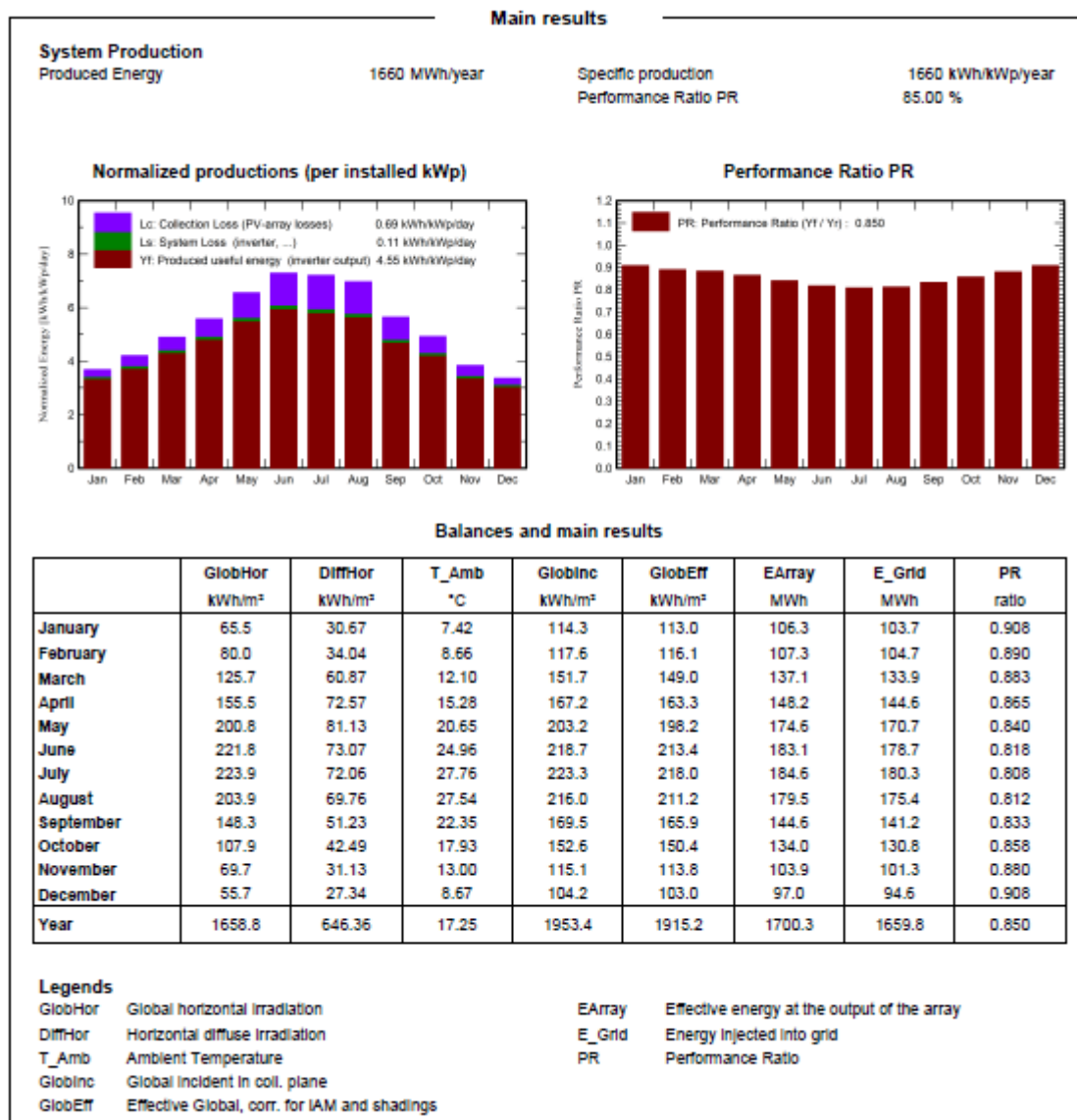
  

System summary			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>Sheds system, seasonal tilt</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Seasonal tilt adjustment azimuth 0 ° Summer Tilt 20 ° winter 50 ° Oct.-Nov.-Dec.-Jan.-Feb.-Mar.-		<b>Near Shadings</b> No Shadings	
<b>System information</b> <b>PV Array</b>		<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)	
Nb. of modules	2272 units	<b>Inverters</b> Nb. of units	2 units
Pnom total	1000 kWp	Pnom total	1000 kWac
		Pnom ratio	1.000

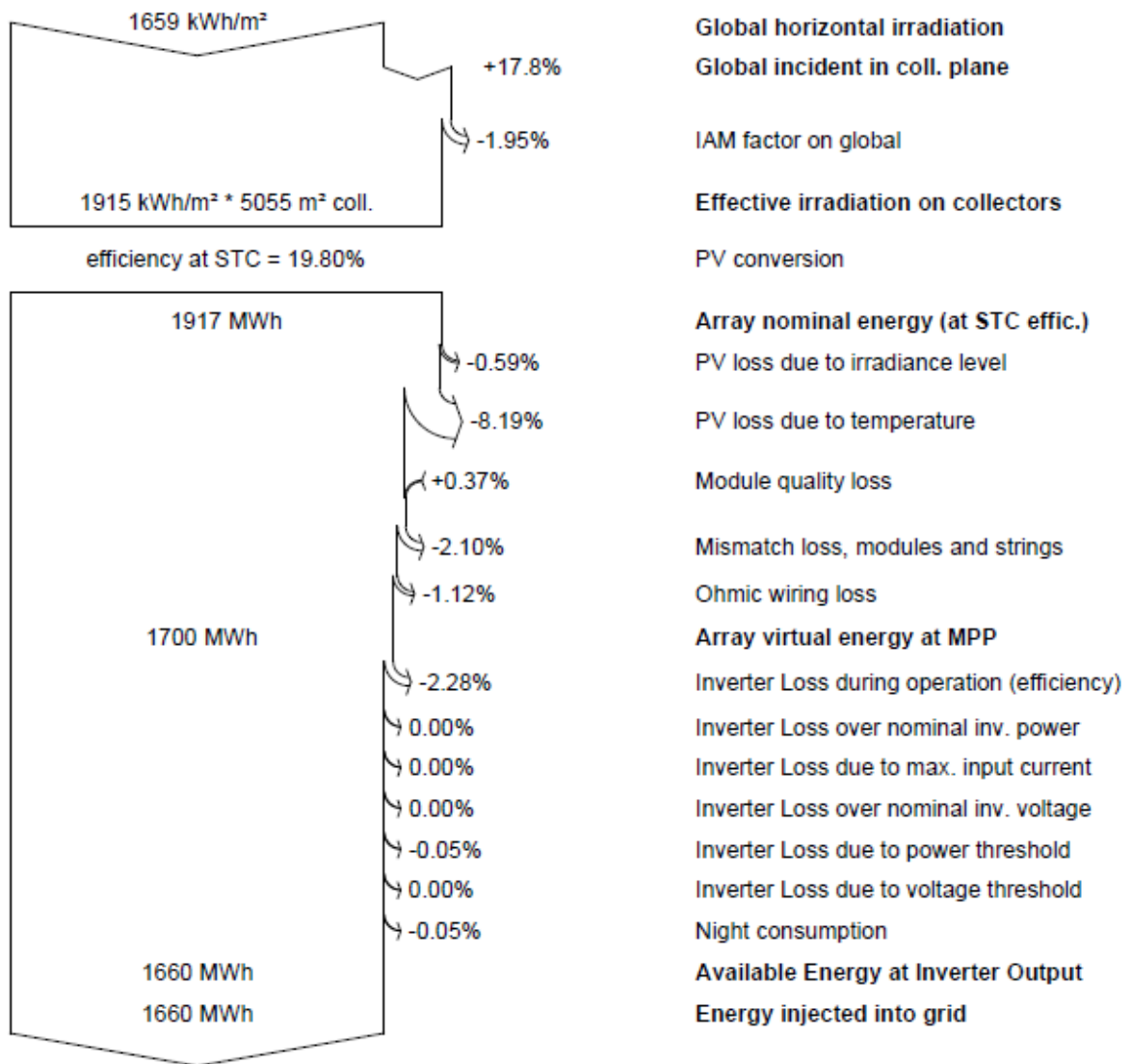
Πίνακας 6-22 Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι(1MW)

General parameters		
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Sheds system, seasonal tilt</b>	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Seasonal tilt adjustment		Diffuse Perez, Meteonom
azimuth 0 °		Circumsolar separate
Summer Tilt 20 °		
winter 50 °		
Oct.-Nov.-Dec.-Jan.-Feb.-Mar.-		
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

Πίνακας 6-23 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW)

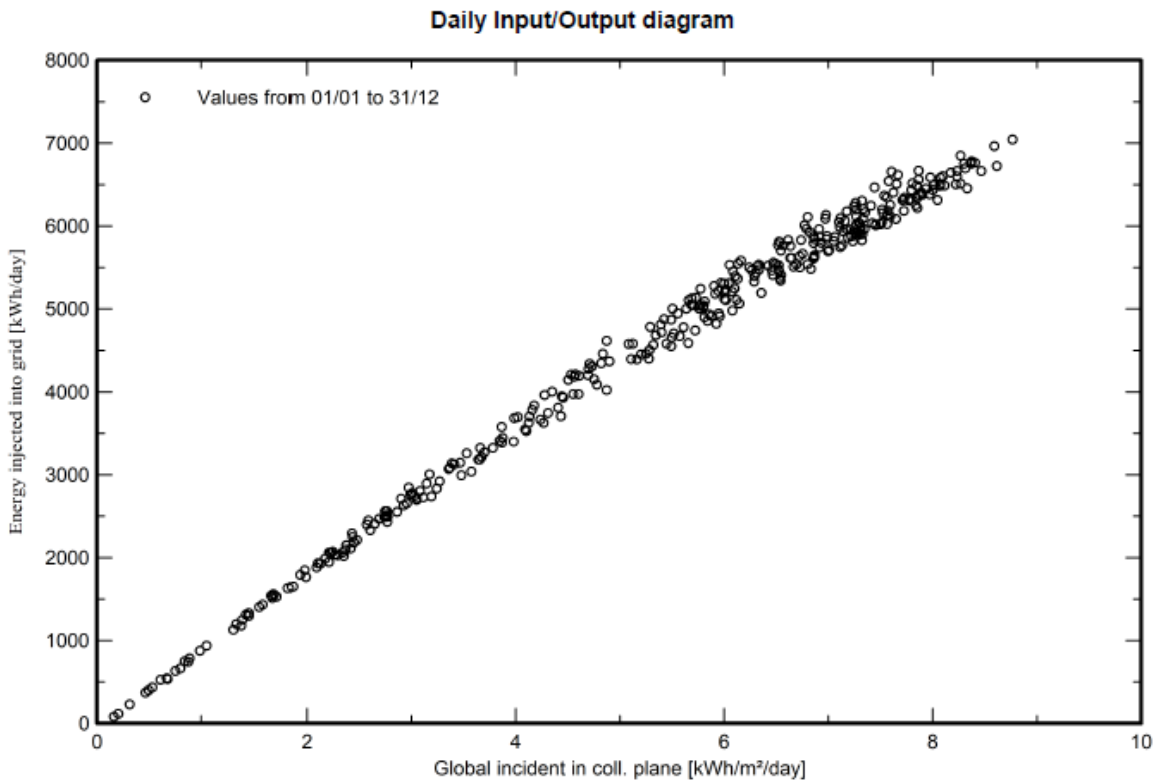


## Loss diagram

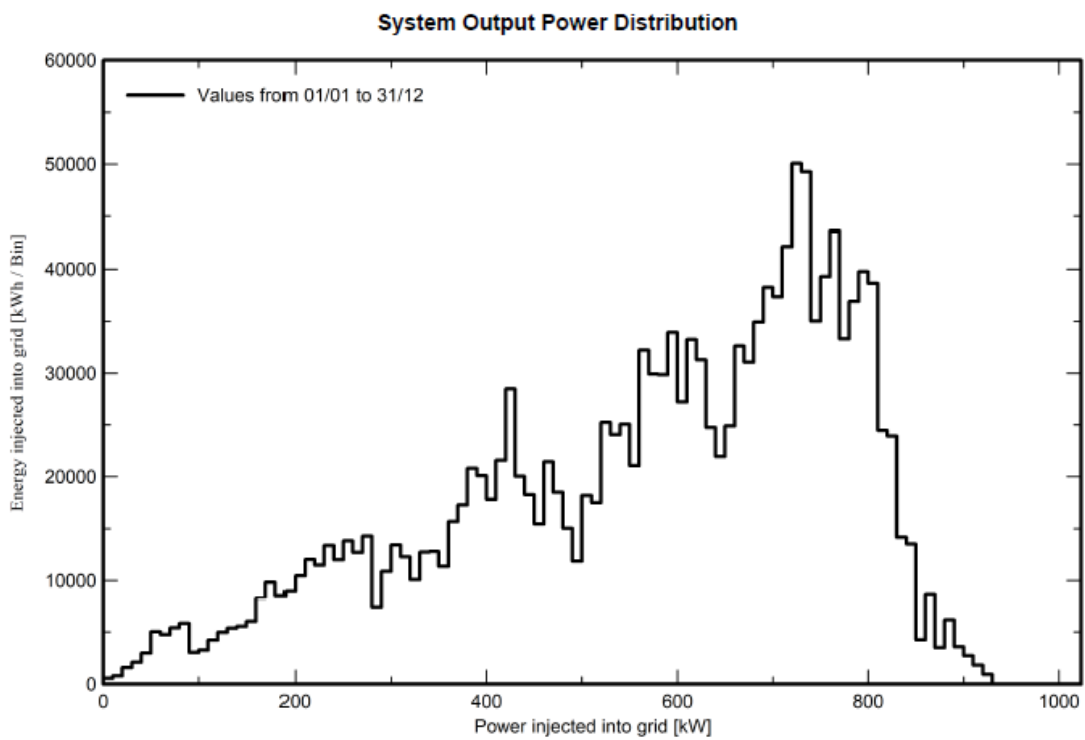


Διάγραμμα 6.19 Διάγραμμα απωλειών ισχύος για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι(1MW)





Διάγραμμα 6.20 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία στο πάνελ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW)



Διάγραμμα 6.21 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι(1MW)

### 6.6.3 Σενάριο 3: Κινητές βάσεις (ιχνηλάτες)

Πίνακας 6-24 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις(1MW)



PVsyst V7.3.2

VC0, Simulation date:  
29/03/23 01:40  
with v7.3.2

Project: ΚΙΝΗΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ

Variant: New simulation variant

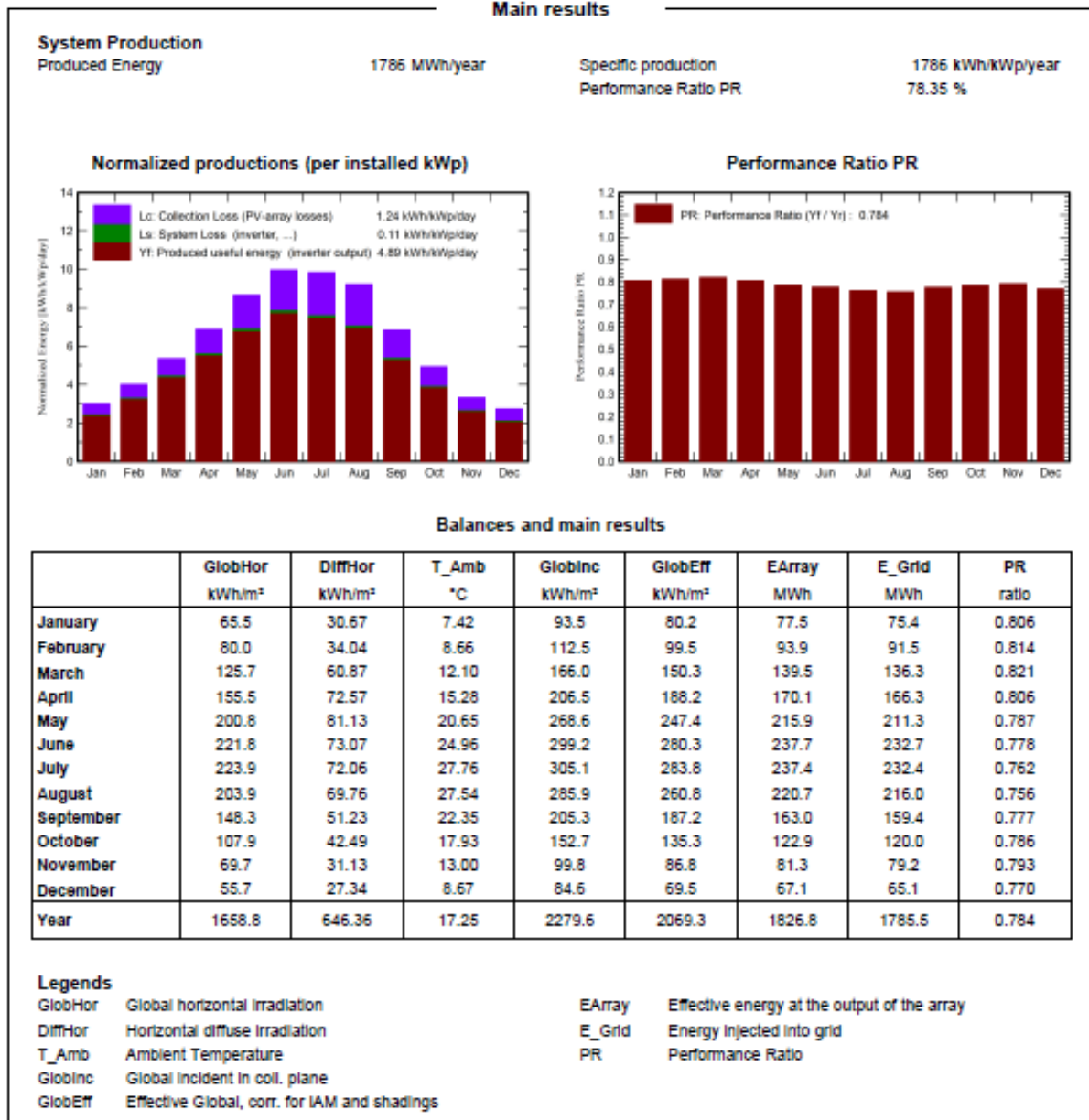
Project summary				
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b>		<b>Project settings</b>	
	Latitude	38.57 °N	Albedo	0.20
	Longitude	21.63 °E		
	Altitude	100 m		
	Time zone	UTC+3		
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic				

System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Unlimited trackers</b>		<b>Near Shadings</b>
<b>PV Field Orientation</b>	Tracking algorithm		No Shadings
Orientation	Astronomic calculation		
Tracking horizontal axis			
Axis azimuth	-180 °		
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules	2272 units	Nb. of units	2 units
Pnom total	1000 kWp	Pnom total	1000 kWac
		Pnom ratio	1.000
<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)			

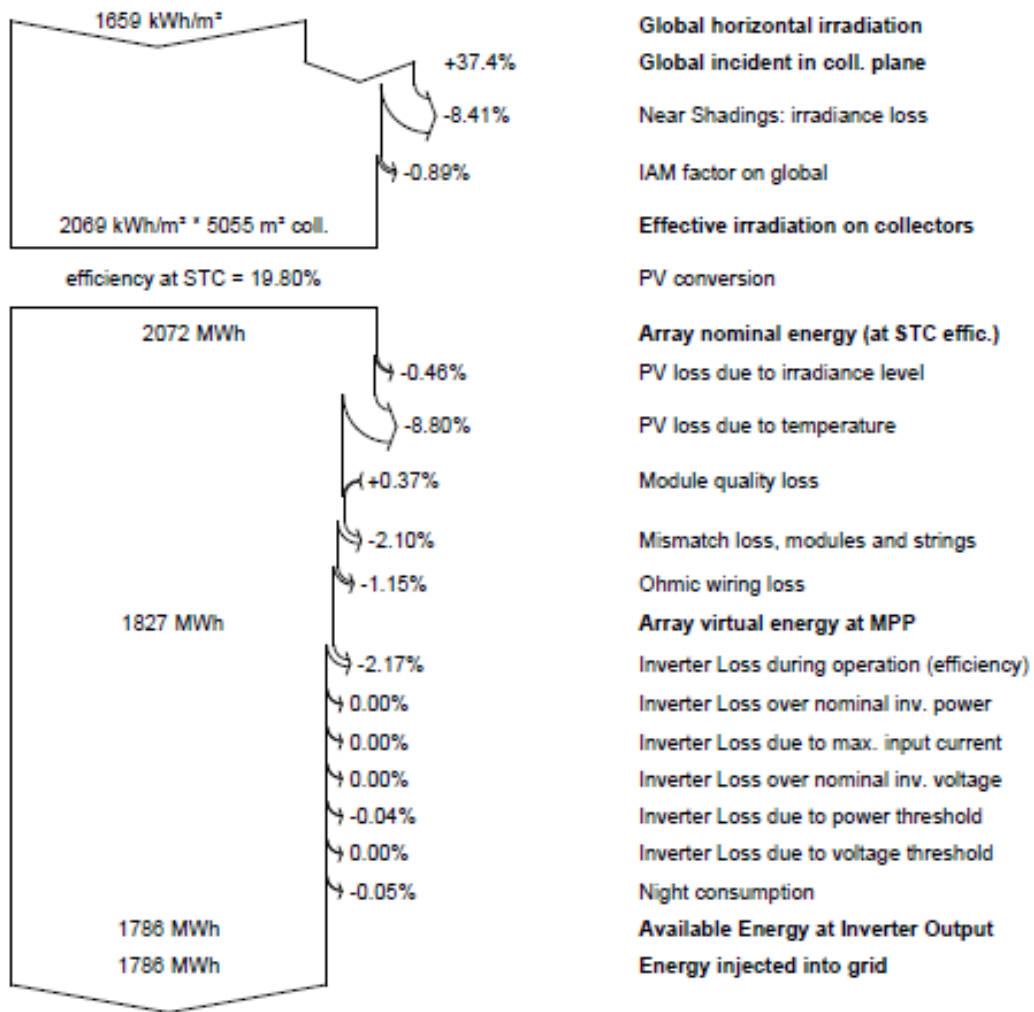
Πίνακας 6-25 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις(1MW)

General parameters				
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Unlimited trackers</b>			
<b>PV Field Orientation</b>	Tracking algorithm		<b>Trackers configuration</b>	
Orientation	Astronomic calculation		Nb. of trackers	10 units
Tracking horizontal axis			Unlimited trackers	
Axis azimuth	-180 °		<b>Sizes</b>	
			Tracker Spacing	6.60 m
			Collector width	3.00 m
			Ground Cov. Ratio (GCR)	45.5 %
			Left inactive band	0.02 m
			Right inactive band	0.02 m
			Phi min / max.	-/+ 60.0 °
			<b>Shading limit angles</b>	
			Phi limits for BT	-/+ 62.4 °
<b>Models used</b>				
Transposition	Perez			
Diffuse	Perez, Meteonorm			
Circumsolar	separate			
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>		<b>User's needs</b>	
Free Horizon	No Shadings		Unlimited load (grid)	

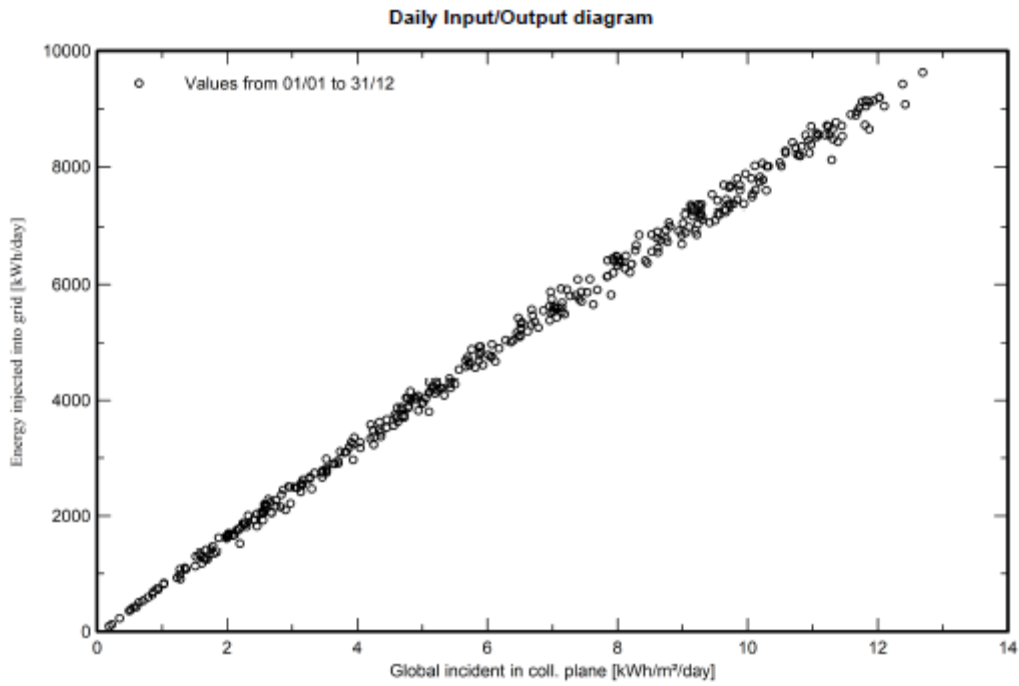
Πίνακας 6-26 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις(1MW)



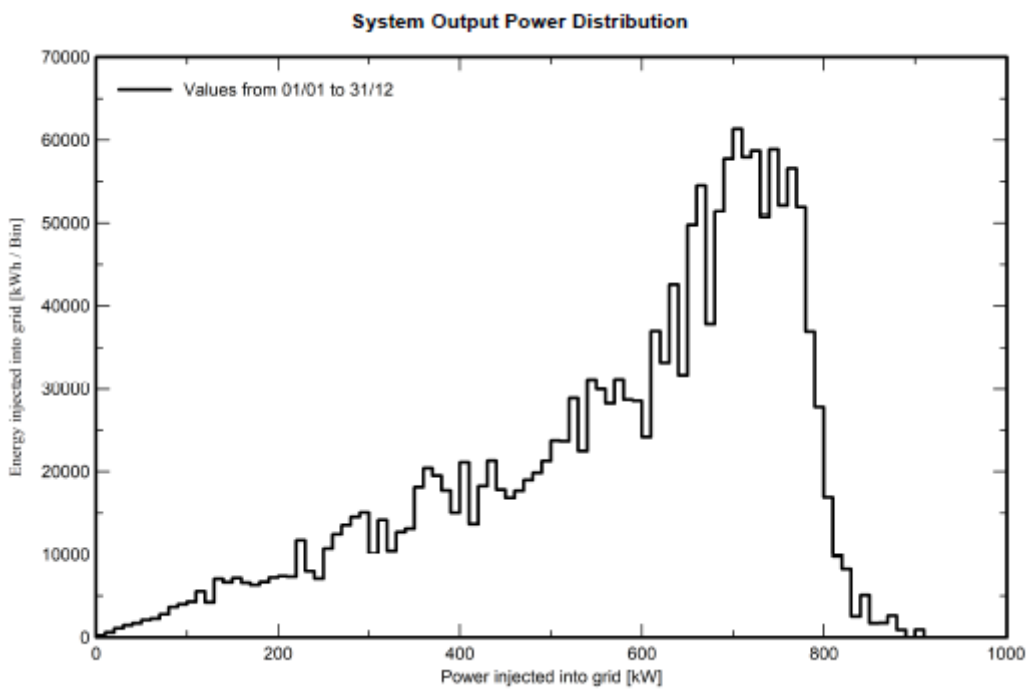
### Loss diagram



Διάγραμμα 6.22 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(1MW)




Διάγραμμα 6.23 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις(1MW)



Διάγραμμα 6.24 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις(1MW)

## 6.6.4 Σενάριο 4: Ιχνηλάτες στον οριζόντιο άξονα κίνησης

Πίνακας 6-27 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW)



Project: ΚΙΝΗΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΒΟΡΡΑ - ΝΟΤΟΥ  
Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.2  
VCO, Simulation date: 29/03/23 01:43 with v7.3.2

Project summary			
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b>		
	Latitude	38.57 °N	
	Longitude	21.63 °E	
	Altitude	100 m	
	Time zone	UTC+3	
	<b>Project settings</b>		
	Albedo		0.20
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic			

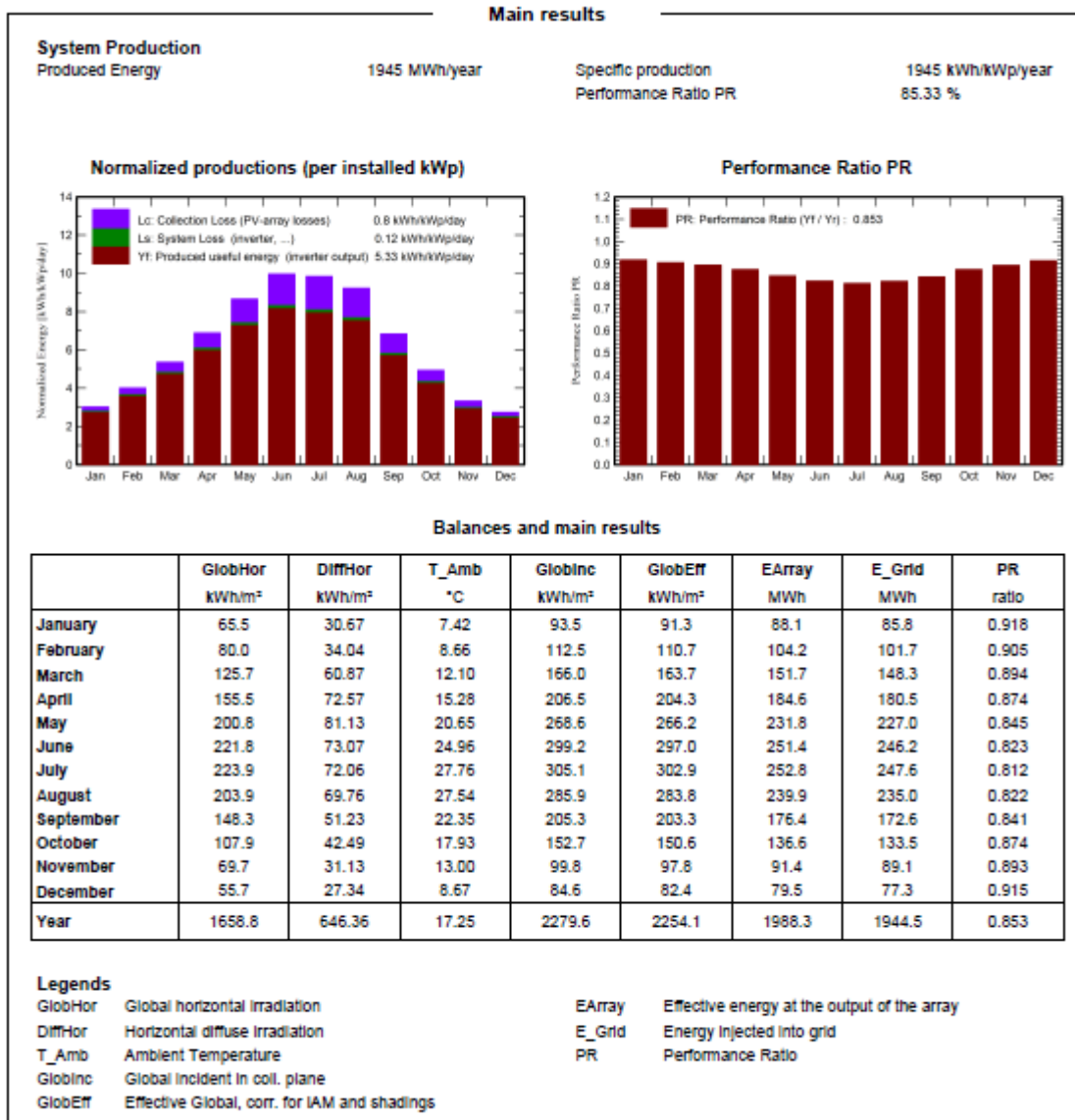
  

System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings		
<b>PV Field Orientation</b>			
Orientation		<b>Tracking algorithm</b>	<b>Near Shadings</b>
Tracking plane, horizontal N-S axis		Astronomic calculation	No Shadings
Axis azimuth	-180 °		
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>	
Nb. of modules	2272 units	Nb. of units	2 units
Pnom total	1000 kWp	Pnom total	1000 kWac
		Pnom ratio	1.000
<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)			

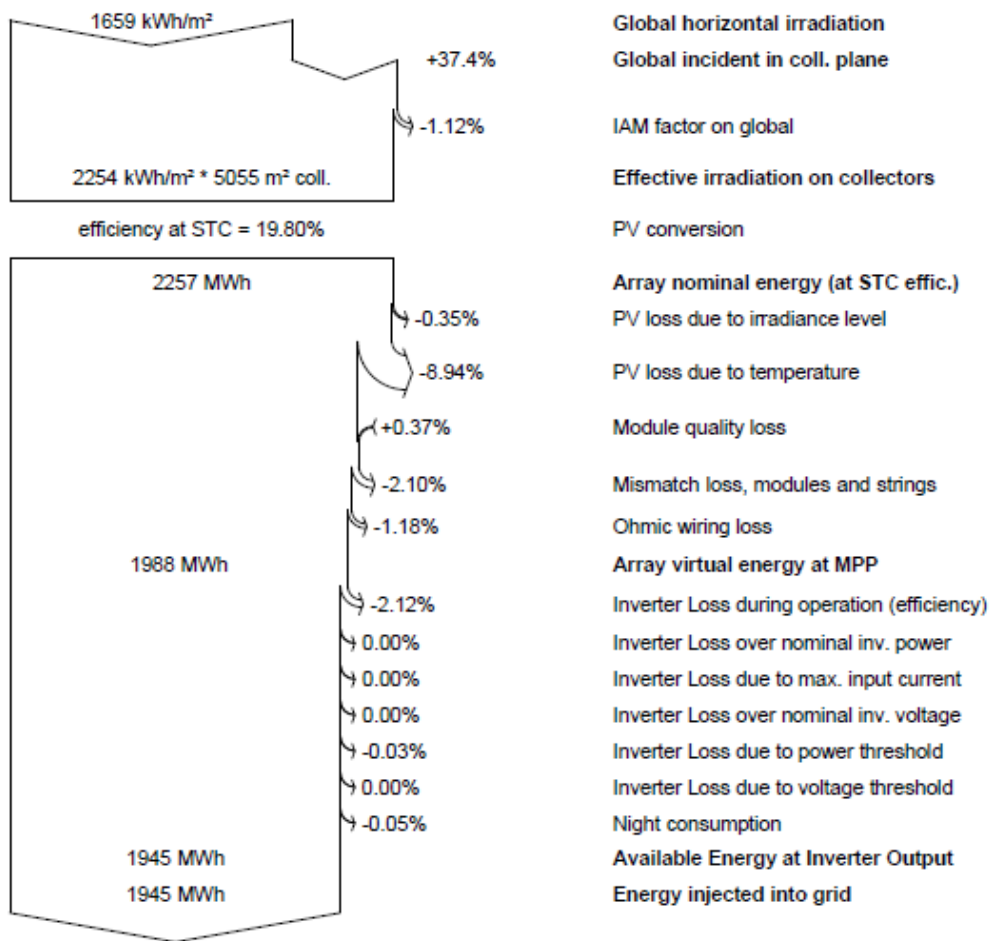
Πίνακας 6-28 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW)

General parameters		
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings	
<b>PV Field Orientation</b>		
Orientation	<b>Tracking algorithm</b>	<b>Trackers configuration</b>
Tracking plane, horizontal N-S axis	Astronomic calculation	No 3D scene defined
Axis azimuth	-180 °	
<b>Models used</b>		
Transposition	Perez	
Diffuse	Perez, Meteonorm	
Circumsolar	separate	
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

Πίνακας 6-29 Παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις οριζώντιου άξονα(1MW)

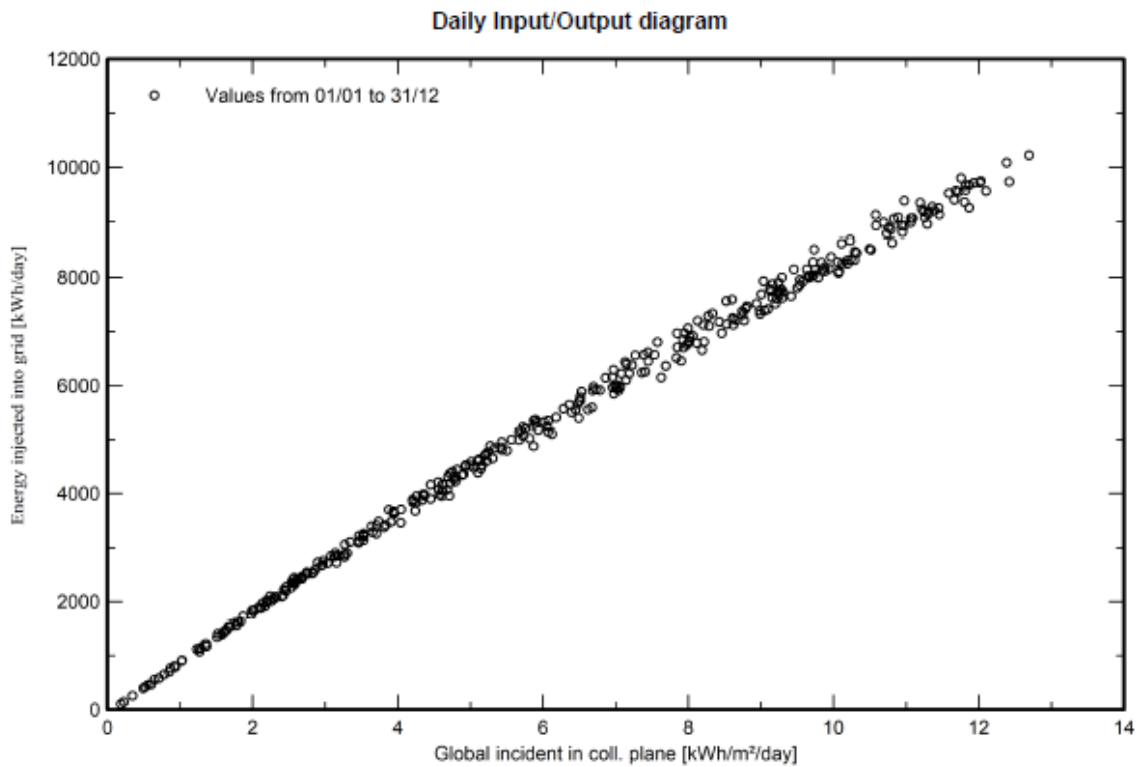


### Loss diagram

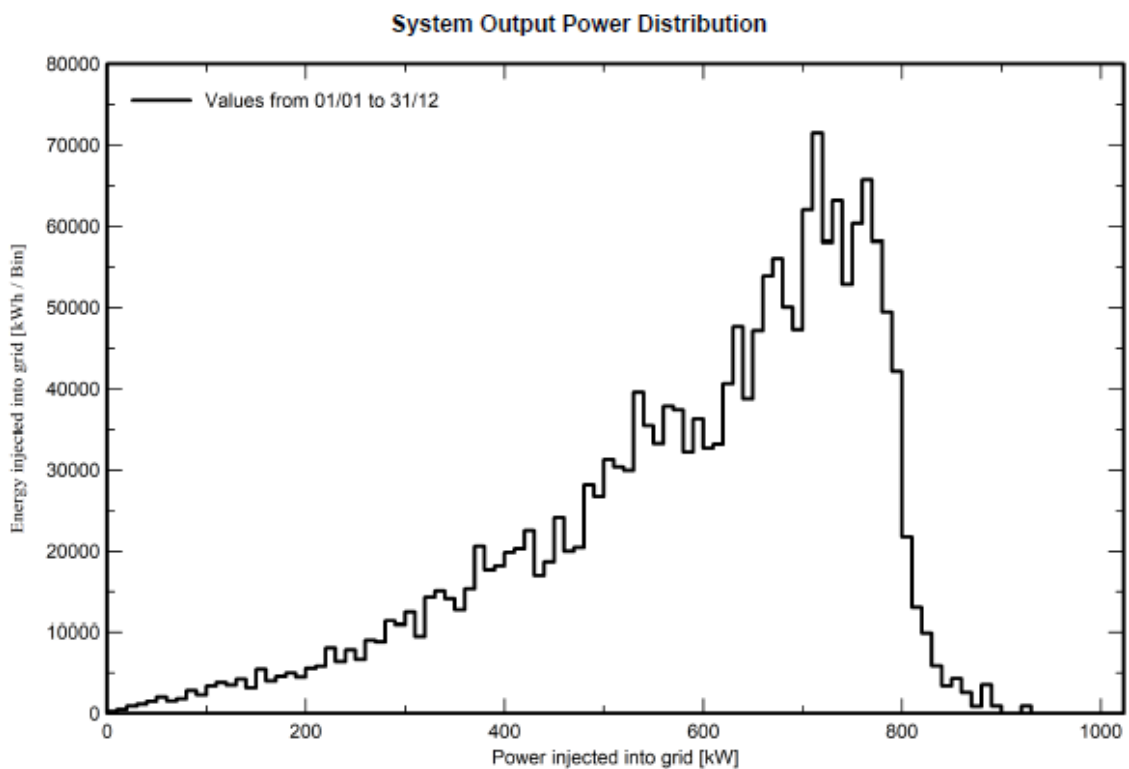


Διάγραμμα 6.25 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW)






Διάγραμμα 6.26 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW)



Διάγραμμα 6.27 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα(1MW)

## 6.6.5 Σενάριο 5: Ιχνηλάτες με κάθετο άξονα κίνησης

Πίνακας 6-30 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW)



Project: ΚΙΝΗΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ  
Variant: New simulation variant

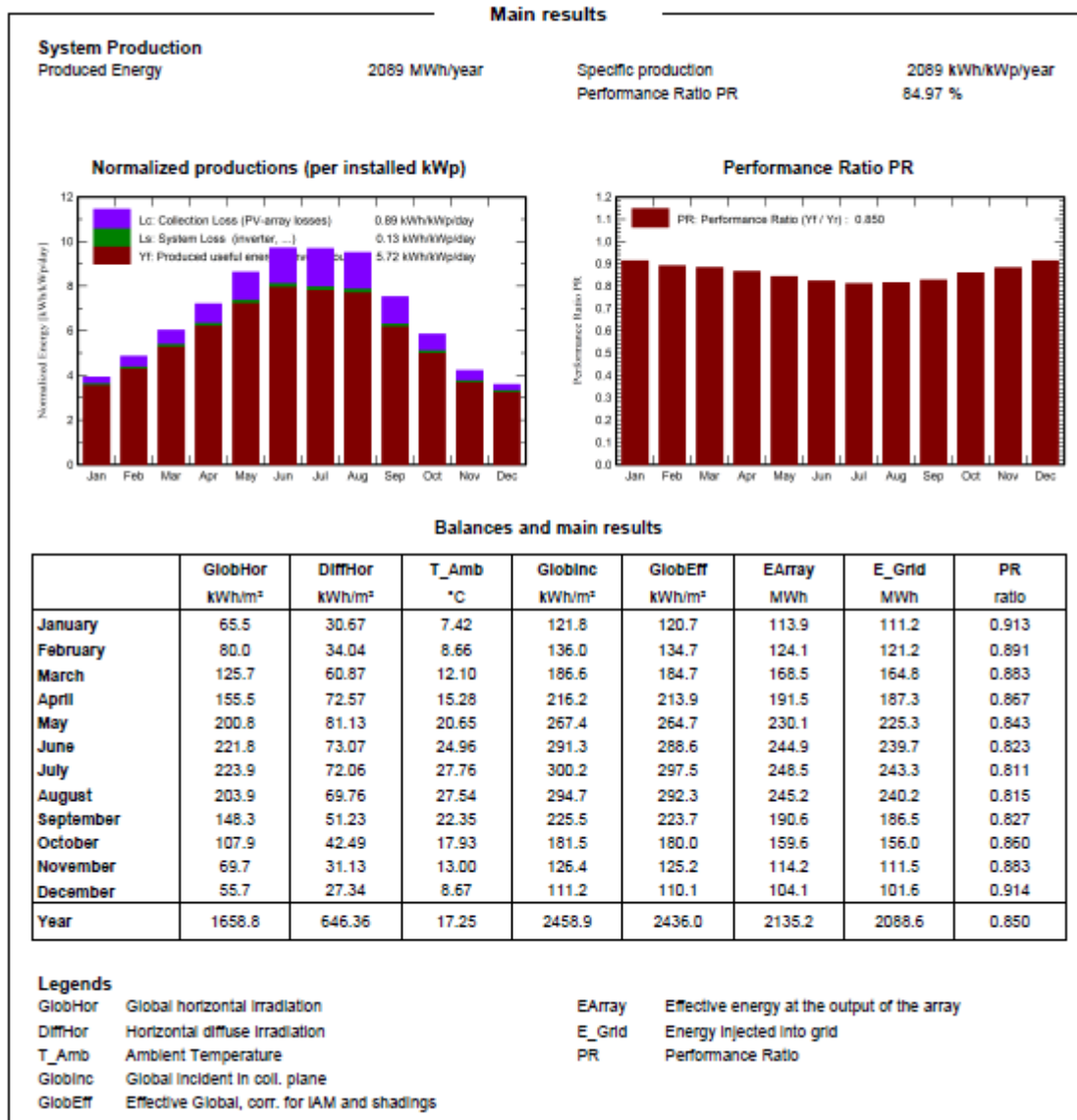
PVsyst V7.3.2  
VC0, Simulation date:  
29/03/23 01:56  
with v7.3.2

Project summary			
<b>Geographical Site</b> PALIOPLATANOS Greece	<b>Situation</b> Latitude Longitude Altitude Time zone	38.57 °N 21.63 °E 100 m UTC+3	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> PALIOPLATANOS Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic			
System summary			
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings		
<b>PV Field Orientation</b> Orientation Tracking plane, tilted axis Axis Tilt 30 ° Azimuth 0 °	<b>Tracking algorithm</b> Astronomic calculation	<b>Near Shadings</b> No Shadings	
<b>System information</b> <b>PV Array</b> Nb. of modules 2272 units Pnom total 1000 kWp	<b>Inverters</b> Nb. of units 2 units Pnom total 1000 kWac Pnom ratio 1.000		
<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)			

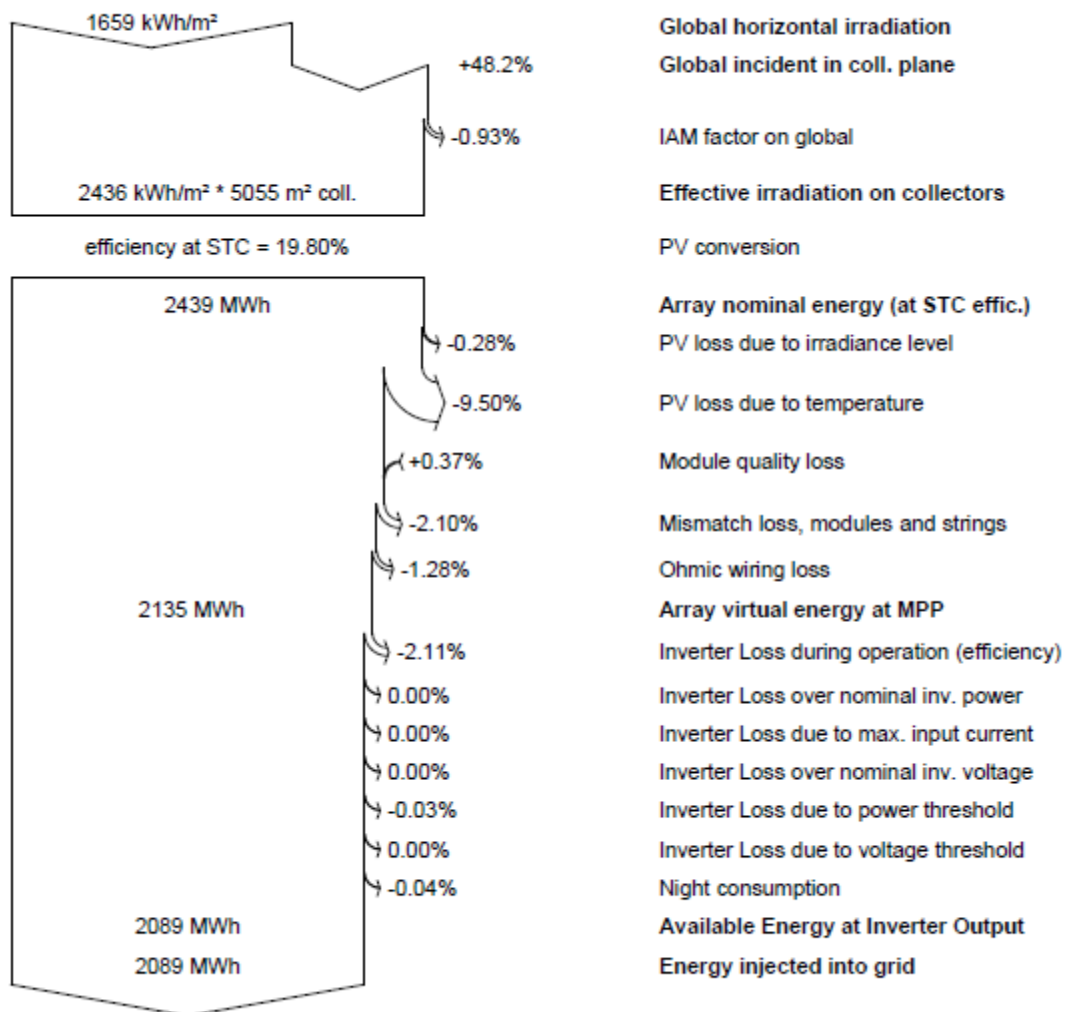
Πίνακας 6-31 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW)

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>	No 3D scene defined, no shadings		
<b>PV Field Orientation</b> Orientation Tracking plane, tilted axis Axis Tilt 30 ° Azimuth 0 °	<b>Tracking algorithm</b> Astronomic calculation	<b>Trackers configuration</b> No 3D scene defined	
<b>Models used</b> Transposition Perez Diffuse Perez, Meteonorm Circumsolar separate			
<b>Horizon</b> Free Horizon	<b>Near Shadings</b> No Shadings	<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)	

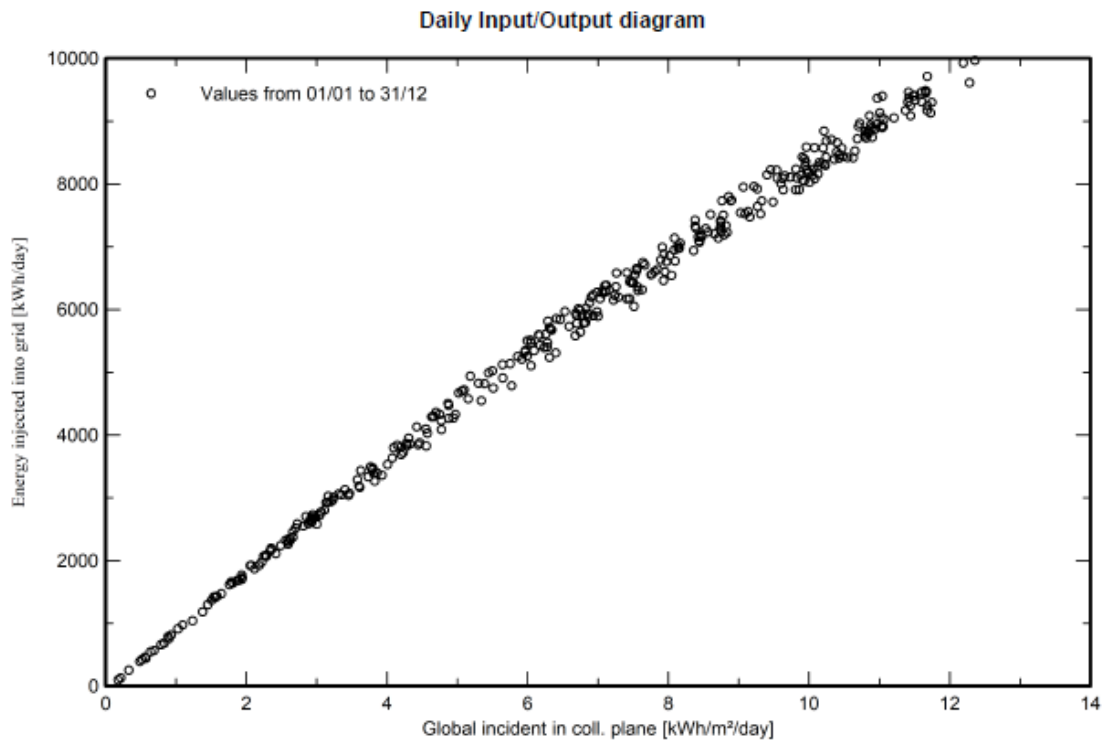
Πίνακας 6-32 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW)



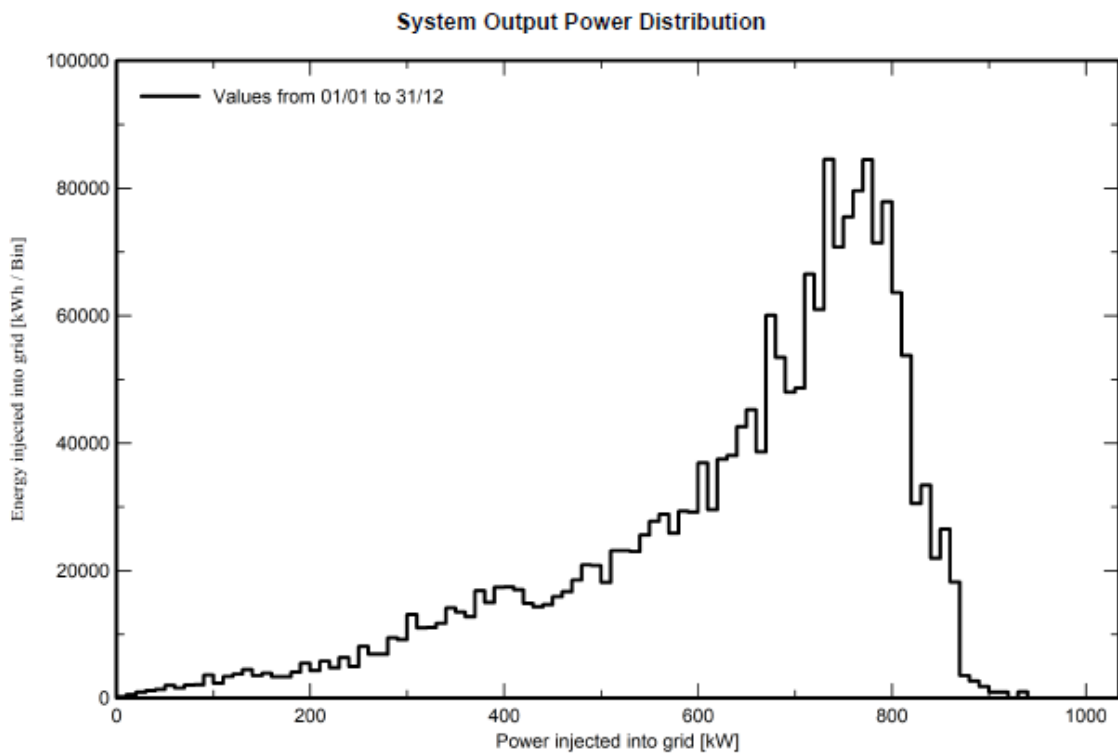
### Loss diagram



Διάγραμμα 6.28 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW)



Διάγραμμα 6.29 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα(1MW)



Διάγραμμα 6.30 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα (1MW)

## 6.7 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	kWh/kW/year	Mwhr/year
Σταθερές βάσεις	84.96	1598	1598
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	85	1660	1660
Κινητές βάσεις	78.35	1786	1786
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	85.33	1945	1945
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	84.39	2089	2089

Παρατηρούμε ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται κάθε φορά που πραγματοποιείται μια αλλαγή/ βελτίωση στον σχεδιασμό. Αρχικά για σταθερές βάσεις, μια αλλαγή της κλίσης ( $20^{\circ}$  το καλοκαίρι που οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα στο πάνελ και  $50^{\circ}$  που οι ηλιακές ακτίνες είναι πλάγιες) προκαλεί την κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας κινητές βάσεις ιχνηλάτησης της ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρούμε μια περαιτέρω άνοδο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

## 7. ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 7.1 Ετήσια έσοδα από τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο για την εγκατάσταση 500kW

Με τιμή πώλησης 0.0065/kWhr τα ετήσια έσοδα από κάθε ένα από τα πέντε διαφορετικά συστήματα φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 7-1 Ετήσια έσοδα των εγκαταστάσεων

ΣΥΣΤΗΜΑ	Kwhr/year	ΕΣΟΔΑ/year
Σταθερές βάσεις	851066	$851066 \times 0.065 = 55319.29\text{€}$
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	883796	$883796 \times 0.065 = 57446.74\text{€}$
Κινητές βάσεις	946357	$946357 \times 0.065 = 61513.205\text{€}$
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	1030375	$1030375 \times 0.065 = 66974.375\text{€}$
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	1045853	$1045853 \times 0.065 = 67980.445\text{€}$

## 7.2 Κόστος αρχικής εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης

Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης και για σταθερά πάνελ και για ιχνηλάτες προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα. Προκύπτουν δύο διαφορετικά κόστη με αρκετή διαφορά μεταξύ τους. Οι βάσεις στήριξης με ιχνηλάτες αυξάνουν το κόστος κατά 30%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7-2 . Διαφορές προκύπτουν και στα κόστη ετήσιας συντήρησης. Ως εκ τούτου πρέπει να διερευνηθεί αν τελικά είναι οικονομικά συμφέρουσα η επιλογή των ιχνηλατών.

Πίνακας 7-2 Κόστος αρχικής εγκατάστασης

ΦΒ πλαίσια	$1152 \times 315 = 362880\text{€}$
Αντιστροφείς	$4 \times 8000 = 32000\text{€}$
Βάσεις στήριξης	$72 \times 1500 = 108000\text{€}$
Βάσεις στήριξης με ιχνηλάτες	$108000 \times 1.3 = 140400\text{€}$
Διαμόρφωση οικοπέδου	2000€
Περίφραξη οικοπέδου	3000€
Κατασκευή γείωσης	2500€
Αντικεραυνική προστασία	7000€
Σύστημα παρακολούθησης	5000€
<b>Συνολικό κόστος σταθερών βάσεων</b>	<b>522380</b>
<b>Συνολικό κόστος με ιχνηλάτες</b>	<b>554780</b>

\



**Πίνακας 7-3 Κόστος ετήσιας συντήρησης**

Ασφάλιση εξοπλισμού – φύλαξη πάρκου	5000€ με σταθερές βάσεις 7000€ με ιχνηλάτες
Ετήσια συντήρηση εξοπλισμού	2000€ με σταθερές βάσεις 4000€ με ιχνηλάτες
Ασφαλιστικές εισφορές	3000€ με σταθερές βάσεις 5000€ με ιχνηλάτες
Έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών	1000€
<b>Συνολικό κόστος σταθερών βάσεων</b>	<b>11000€</b>
<b>Συνολικό κόστος με ιχνηλάτες</b>	<b>17000€</b>

### 7.3 Χρόνος απόσβεσης αρχικής επένδυσης

Παρακάτω υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης για τις βάσεις με ιχνηλάτες με κατακόρυφο άξονα, δηλαδή για τα συστήματα με την μεγαλύτερη απόδοση ανά κατηγορία.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7-2 το κόστος της εγκατάστασης με ιχνηλάτες ανέρχεται στις 554780€. Από το ποσό αυτό, 154780€ προέρχεται από ίδια κεφάλαια (27,9%) και το υπόλοιπο ποσό, δηλαδή 400000€ (72.1%) θα καλυφθεί από τραπεζικό δάνειο.

Τα Δάνεια, είναι πιστωτικά προϊόντα στα οποία η αποπληρωμή γίνεται με τη καταβολή δόσεων. Το βασικό σημείο στην ανάλυση τέτοιων δανείων είναι ο σχεδιασμός του Πίνακα Εξόφλησης όπως φαίνεται στη συνέχεια (Πίνακας 7-4). Θεωρούμε ετήσια δόση 30769.23 € για 13 χρόνια, έτσι ώστε τα έσοδα του

φωτοβολταϊκού πάρκου να μπορούν να καλύψουν τη δόση και τα λειτουργικά του έξοδα που είναι 17000€ ετησίως.

Ακολουθεί η επεξήγηση της βασικής τραπεζικής ορολογίας που χρησιμοποιείται στον Πίνακα 7-4 [7][8][9]

- Αρχικό Ποσό είναι το ποσό του δανείου (του αρχικού κεφαλαίου δανεισμού) που οφείλεται στο τέλος κάθε περιόδου (χωρίς αυτό να περιλαμβάνει τους αναλογούντες τόκους)
- Δόση, είναι το ύψος της καταβολής η οποία αποτελείται από Τόκους και Χρεολύσια
- Οι τόκοι υπολογίζονται επί του συνολικού κεφαλαίου που έχουν δεσμευθεί μεταξύ δύο περιόδων καταβολής των δόσεων (επί του αρχικού ποσού).
- Χρεολύσιο, είναι το ποσό το οποίο αφορά στην τμηματική εξόφληση του κεφαλαίου.
- Υπόλοιπο Κεφαλαίου είναι το ποσό του δανείου το οποίο οφείλεται μετά την καταβολή της δόσης και προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ του αρχικού ποσού και της δόσης. Είναι προφανές ότι το υπόλοιπο κεφαλαίου στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου ισούται με το αρχικό ποσό της επόμενης περιόδου.

### **7.3.1 Δάνεια Σταθερού Χρεολυσίου.**

Στα δάνεια αυτής της κατηγορίας, η κατάρτιση του Πίνακα Εξόφλησης Δανείου, στο οποίο οι δόσεις καταβάλλονται στο τέλος κάθε έτους, ακολουθεί τα εξής βήματα: [7][8][9]

1. Διαιρώ το αρχικό ποσό του Δανείου με τον αριθμό των ετών που απαιτούνται για την εξόφληση. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζω το σταθερό ύψος του τοκοχρεωλυσίου (της δόσης).
2. Υπολογίζω την ετήσια καταβολή τόκων ως το γινόμενο του αρχικού ποσού με το επιτόκιο εκτοκιστικής περιόδου.
3. Υπολογίζω το ύψος του χρεολυσίου, δηλαδή τη διαφορά του αρχικού ποσού από τους τόκους.
4. Ακολουθώ τα ίδια βήματα για τα επόμενα έτη (Πίνακας 1).

Πίνακας 7-4 Πίνακας εξόφλησης δανείου

Περίοδος	Αρχικό Ποσό A	Δόση Δ=	Τόκοι $T = A \times 0,04$	Χρεολύσιο X=A-T	Υπόλοιπο κεφαλαίου E=A-Δ
1	400000	30769.23	16000	384000	369230.77
2	369230.77	30769.23	14769.2308	355200	338461.54
3	338461.54	30769.23	13538.4616	324923.0784	307692.31
4	307692.31	30769.23	12307.69	295384.62	276923.08
5	276923.08	30769.23	11076.9232	265846.1568	246153.85
6	246153.85	30769.23	9846.154	236307,696	215384,62
7	215384,62	30769.23	8615.3848	206769.2352	184615.09
8	184615.09	30769.23	7384.6036	177230.4864	153845.86
9	153845.86	30769.23	6153.8344	147692.0256	123076.63
10	123076.63	30769.23	4923.0652	118153.5648	92307.4
11	92307.4	30769.23	3692.296	88615.104	61538.17
12	61538.17	30769.23	2461.5268	59076.6432	30768.94
13	30768.94	30768.94	1230.7576	0	0

### 7.3.2 Αποσβέσεις

Τα πάγια περιουσιακά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε παραγωγική διαδικασία χάνουν προοδευτικά την αξία τους με τη χρήση και το χρόνο. Η βαθμιαία μείωση της αξίας ενός παγίου περιουσιακού στοιχείου μιας επιχείρησης είναι γνωστή ως απόσβεση ή υποτίμηση (depreciation).

Αιτίες μείωσης αξίας παγίων στοιχείων:[7][8][9]

- Λειτουργική φθορά: Η χρήση ενός ενσώματου στοιχείου, πχ. μιας μηχανής, οδηγεί αναπόφευκτα σε προοδευτική φθορά του. Ειδικά σε μηχανήματα παραγωγής, όπου η χρήση τους μπορεί να είναι σε 24ωρη βάση όλο το χρόνο, ο ρυθμός φθοράς μπορεί να είναι υψηλός.
- Χρονική φθορά: Η πάροδος του χρόνου, ανεξάρτητα χρήσης, μπορεί να δημιουργήσει από μόνη της φθορά σε ενσώματα στοιχεία, π.χ., φθορά λόγω πολυμερισμού των πλαστικών δομικών στοιχείων μιας μηχανής ή ενός μεταφορικού μέσου.
- Οικονομική απαξίωση: Οι τεχνολογικές εξελίξεις ενσωματώνονται στην αγορά με την κατασκευή νέων προηγμένων και πιο αποδοτικών μηχανημάτων που επιφέρουν την απαξίωση των παλιού εξοπλισμού. Επίσης, η εισαγωγή νέων πιο ελκυστικών προϊόντων από τον ανταγωνισμό συνεπάγεται μείωση των πωλήσεων των παλιών και κατά συνέπεια απαξίωση της παραγωγικής υποδομής που τα παράγουν. Ανεξάρτητα από τους λόγους, η μείωση της αξίας είναι πραγματική και ξεχωριστή για κάθε πάγιο (ακόμα και του ίδιου είδους), μπορεί δε να καθοριστεί αντικειμενικά από την εκάστοτε τιμή μεταπώλησης του παγίου στην αγορά.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των αποσβέσεων. Στην παρούσα επένδυση ύψους 554780€ χρησιμοποιούμε τη σταθερή μέθοδο με συντελεστή απόσβεσης 5% για 13 έτη. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το δεδομένο οι αποσβέσεις προσδιορίζονται σε 27739 € ανά έτος.

### 7.3.3 Ετήσια έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Στις κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια τον πρώτο χρόνο της λειτουργίας της εγκατάστασης θα είναι 1045853kWh και με τιμή 0.065€/kWh τα έσοδα τον πρώτο χρόνο θα είναι 67980€. Κάθε χρόνο η απόδοση των πάνελ μειώνεται κατά 0.5%, οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος έχει συμπληρωθεί για 25 έτη, όσος και ο χρόνος ζωής των εγκαταστάσεων αυτού του τύπου.

Έτος	Παραγώμενη Ηλεκτρική Ενέργεια (KWhr)	Έσοδα (€)
1	1045853	67980.4
2	1040623.735	67640.5
3	1035420.616	67302.34
4	1030243.513	66965.8
5	1025092.296	66631
6	1019966.834	66297.8
7	1014867	65966.355
8	1009792.665	65636.5
9	1004743.702	65308.34
10	999719.9832	64981.8
11	994721.3833	64656.9
12	989747.7764	64333.6
13	984799	64012
14	979875	63691.875
15	974975.63	63373.42
16	970100.7518	63056.55
17	965250.2481	62741.266
18	960423.9968	62427.56
19	955621.8768	62115.42
20	950843.7675	61805
21	946089.5486	61495.82
22	941359.1	61188.34
23	936652.3054	60882.4
24	931969	60577.985
25	927309	60275

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω στοιχεία προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

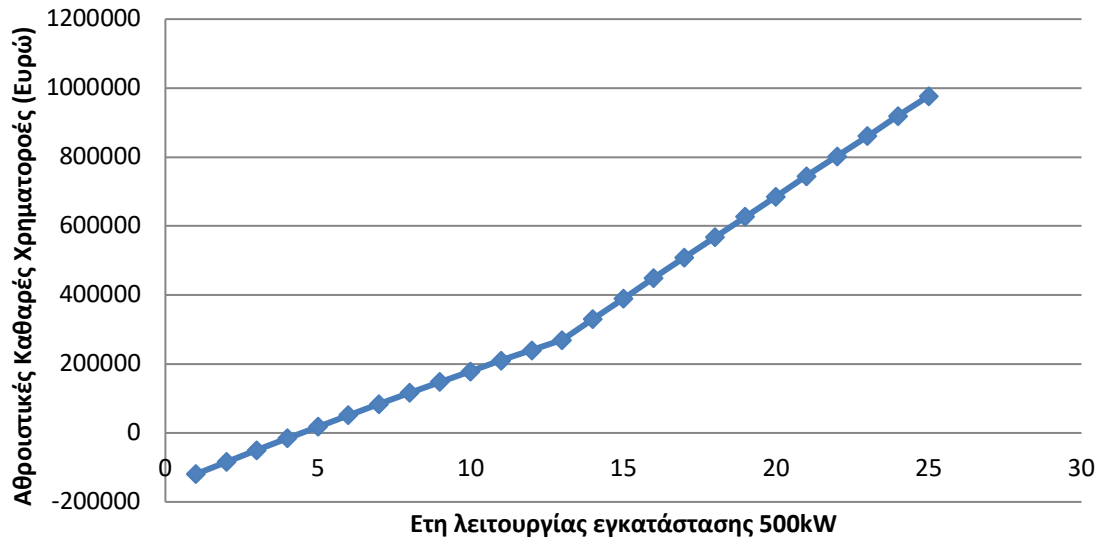
Πίνακας 7-6 Οικονομικές απολαβές για την εγκατάσταση των 500kW

Έτος	Έσοδα	Λειτουργικά Έξοδα	Λειτουργικά Κέρδη	Απόσβεση	Δόση	Υπόλοιπο Δανείου	Τόκος	Κέρδη προ φόρων	Φόρος	Καθαρές χρηματοροές	Αθροιστικές Καθαρές χρηματοροές
	A	B	C=A-B	D	E	F=	G	H=C-D-G	Hx0.22	I=A-E-H	ίδια κεφάλαια+καθαρές χρηματοροές
											-154780
1	67980	17000	50980	27739	30769	369231	16000	7241	1593,02	35617,98	-119162
2	67641	17170	50471	27739	30769	338462	14769	7963	1751,86	35120,14	-84042
3	67302	17342	49960	27739	30769	307692	13538	8683	1910,26	34622,74	-49419
4	66966	17515	49451	27739	30769	276923	12308	9404	2068,88	34128,12	-15291
5	66631	17690	48941	27739	30769	246154	11077	10125	2227,5	33634,5	18344
6	66298	17867	48431	27739	30769	215385	9846	10846	2386,12	33142,88	51486
7	65966	18046	47920	27739	30769	184615	8615	11566	2544,52	32652,48	84138
8	65637	18226	47411	27739	30769	153846	7385	12287	2703,14	32164,86	116303
9	65308	18409	46899	27739	30769	123077	6154	13006	2861,32	31677,68	147981
10	64982	18593	46389	27739	30769	92307	4923	13727	3019,94	31193,06	179174
11	64657	18779	45878	27739	30769	61538	3692	14447	3178,34	30709,66	209884
12	64334	18966	45368	27739	30769	30769	2462	15167	3336,74	30228,26	240112
13	64012	19156	44856	27739	30769		1231	15886	3494,92	29748,08	269860
14	63691	19348	44343	27739				16604	3652,88	60038,12	329898
15	63373	19541	43832	27739				16093	3540,46	59832,54	389731
16	63057	19736	43321	27739				15582	3428,04	59628,96	449360
17	62741	19934	42807	27739				15068	3314,96	59426,04	508786
18	62428	20133	42295	27739				14556	3202,32	59225,68	568012

19	62115	20334	41781	27739				14042	3089,24	59025,76	627038
20	61805	20538	41267	27739				13528	2976,16	58828,84	685867
21	61496	20743	40753	27739				13014	2863,08	58632,92	744500
22	61188	20950	40238	27739				12499	2749,78	58438,22	802938
23	60882	21160	39722	27739				11983	2636,26	58245,74	861184
24	60578	21372	39206	27739				11467	2522,74	58055,26	919239
25	60275	21586	38689	27739				10950	2409	57866	977105

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα από το 5<sup>ο</sup> έτος, κάτι που φαίνεται και από το επόμενο γράφημα.

## ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 500kW





## 7.4 Ετήσια έσοδα από τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο για την εγκατάσταση του 1MW

Με τιμή πώλησης 0.0065/kWhr τα ετήσια έσοδα από κάθε ένα από τα πέντε διαφορετικά συστήματα φαίνεται παρακάτω

Πίνακας 7-7 Ετήσια έσοδα των εγκαταστάσεων(1MW)

ΣΥΣΤΗΜΑ	Kwhr/year	ΕΣΟΔΑ/year
Σταθερές βάσεις	1598000	$1598000 \times 0.065 = 103870\text{€}$
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	1660000	$1660000 \times 0.065 = 107900\text{€}$
Κινητές βάσεις	1786000	$1786000 \times 0.065 = 116090\text{€}$
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	1945000	$1945000 \times 0.065 = 126425\text{€}$
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	2089000	$2089000 \times 0.065 = 135785\text{€}$

## 7.5 Κόστος αρχικής εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης

Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης και για σταθερά πάνελ και για ιχνηλάτες προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα. Προκύπτουν δύο διαφορετικά κόστη με αρκετή διαφορά μεταξύ τους. Οι βάσεις στήριξης με ιχνηλάτες αυξάνουν το κόστος κατά 30%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7-2ακα 7.8. Διαφορές προκύπτουν και στα κόστη ετήσιας συντήρησης. Ως εκ τούτου πρέπει να διερευνηθεί αν τελικά είναι οικονομικά συμφέρουσα η επιλογή των ιχνηλατών.

Πίνακας 7-8 Κόστος αρχικής εγκατάστασης

ΦΒ πλαίσια	$2272 \times 315 = 715680\text{€}$
Αντιστροφείς	$2 \times 15000 = 30000\text{€}$
Βάσεις στήριξης	$142 \times 1500 = 213000$

Βάσεις στήριξης με ιχνηλάτες	213000 × 1.3 = 276900€
Διαμόρφωση οικοπέδου	4000€
Περίφραξη οικοπέδου	6000€
Κατασκευή γείωσης	5000€
Αντικεραυνική προστασία	14000€
Σύστημα παρακολούθησης	10000€
<b>Συνολικό κόστος σταθερών βάσεων</b>	<b>997680</b>
<b>Συνολικό κόστος με ιχνηλάτες</b>	<b>1061580</b>

**Πίνακας 7-9 Κόστος ετήσιας συντήρησης**

Ασφάλιση εξοπλισμού – φύλαξη πάρκου	10000€ με σταθερές βάσεις 14000€ με ιχνηλάτες
Ετήσια συντήρηση εξοπλισμού	4000€ με σταθερές βάσεις 8000€ με ιχνηλάτες
Ασφαλιστικές εισφορές	3000€ με σταθερές βάσεις 5000€ με ιχνηλάτες
Έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών	1000€

Συνολικό κόστος σταθερών βάσεων	18000€
Συνολικό κόστος με ιχνηλάτες	28000€

## 7.6 Χρόνος απόσβεσης αρχικής επένδυσης

Παρακάτω υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης για τις βάσεις με ιχνηλάτες με κατακόρυφο άξονα, δηλαδή για τα συστήματα με την μεγαλύτερη απόδοση ανά κατηγορία.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7-8 το κόστος της εγκατάστασης με ιχνηλάτες ανέρχεται στις 1061580€. Από το ποσό αυτό, 307860€ (29%) προέρχεται από ίδια κεφάλαια και το υπόλοιπο ποσό, δηλαδή 753720€ (71%) θα καλυφθεί από τραπεζικό δάνειο.

Θεωρούμε ετήσια δόση 53837 € για 13 χρόνια, έτσι ώστε τα έσοδα του φωτοβολταϊκού πάρκου να μπορούν να καλύψουν τη δόση και τα λειτουργικά του έξοδα που είναι 28000€ ετησίως.

Πίνακας 7-10 Πίνακας εξόφλησης δανείου

Περίοδος	Αρχικό Ποσό A	Δόση Δ=	Τόκοι $T = A \times 0,04$	Χρεολύσιο X=A-T	Υπόλοιπο κεφαλαίου E=A-Δ
1	753720	57978	30148,8	723571,2	695742
2	695742	57978	27829,68	667912,3	637764
3	637764	57978	25510,56	612253,4	579786
4	579786	57978	23191,44	556594,6	521808
5	521808	57978	20872,32	500935,7	463830
6	463830	57978	18553,2	445276,8	405852
7	405852	57978	16234,08	389617,9	347874
8	347874	57978	13914,96	333959	289896

9	289896	57978	11595,84	278300,2	231918
10	231918	57978	9276,72	222641,3	173940
11	173940	57978	6957,6	166982,4	115962
12	115962	57978	4638,48	111323,5	57984
13	57984	57984	2319,36	55664,64	0

### 7.6.1 Αποσβέσεις

Στην παρούσα επένδυση ύψους **1061580€** χρησιμοποιούμε τη σταθερή μέθοδο με συντελεστή απόσβεσης 5% για 13 έτη. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το δεδομένο οι αποσβέσεις προσδιορίζονται σε 53079 ανά έτος.

### 7.6.2 Ετήσια έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Στις κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια τον πρώτο χρόνο της λειτουργίας της εγκατάστασης θα είναι 2089000 kWh και με τιμή 0.065€/kWh τα έσοδα τον πρώτο χρόνο θα είναι  $2089000 \times 0.065 = 135785€$ . Κάθε χρόνο η απόδοση των πάνελ μειώνεται κατά 0.5%, οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

Πίνακας 7-11 Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Έτος	Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια (KWhr)	Έσοδα (€)
1	2089000	135785
2	2078555	135106,075
3	2.068.162	134430,53
4	2.057.821	133758,3919

5	2.047.532	133089,6
6	2.037.295	132424,1519
7	2.027.108	131762,0312
8	2.016.973	131103,221
9	2.006.887	130447,655
10	1.996.853	129795,445
11	1.986.869	129146,485
12	1.976.935	128500,775
13	1.967.050	127858,25
14	1.957.215	127218,975
15	1.947.429	126582,885
16	1.937.692	125949,98
17	1.928.003	125320,195
18	1.918.363	124693,595
19	1.908.771	124070,115
20	1.899.227	123449,755
21	1.889.731	122832,515

22	1.880.282	122218,33
23	1.870.881	121607,265
24	1.861.527	120999,255
25	1.852.219	120394,235

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω στοιχεία προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 7-12 Οικονομικές απολαβές

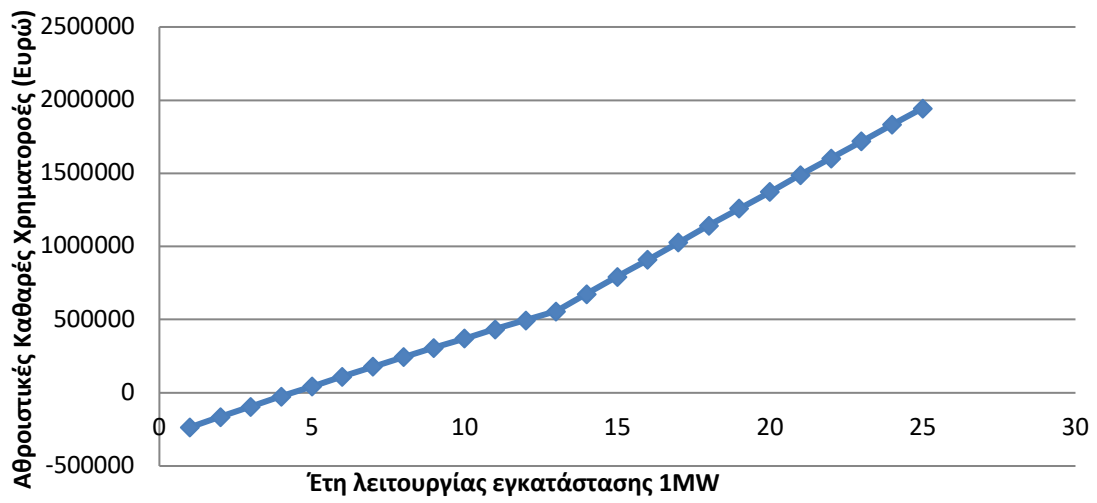
Έτος	Έσοδα	Λειτουργικά Έξοδα	Λειτουργικά Κέρδη	Απόσβεση	Δόση	Υπόλοιπο Δανείου	Τόκος	Κέρδη προ φόρων	Φόρος	Καθαρές χρηματοροές	Αθροιστικές Καθαρές χρηματοροές
	A	B	C=A-B	D	E	F	G	H=C-D-G	Hx0.22	I=A-E-H	ίδια κεφάλαια+καθαρές χρηματοροές
											-307860
1	135785	28000	107785	53079	57978	695742	30148,8	24557,2	5402,584	72404,416	-235455,584
2	135106,075	28280	106826,075	53079	57978	637764	27829,68	25917,395	5701,827	71426,2481	-164029,3359
3	134430,53	28562,8	105867,73	53079	57978	579786	25510,56	27278,17	6001,197	70451,3326	-93578,0033
4	133758,3919	28848,428	104909,9639	53079	57978	521808	23191,44	28639,52391	6300,695	69479,69665	-24098,30665
5	133089,6	29136,9123	103952,6877	53079	57978	463830	20872,32	30001,36768	6600,301	68511,29907	44412,99242
6	132424,1519	29428,2814	102995,8705	53079	57978	405852	18553,2	31363,67052	6900,008	67546,14441	111959,1368
7	131762,0312	29722,5642	102039,467	53079	57978	347874	16234,08	32726,38696	7199,805	66584,22605	178543,3629
8	131103,221	30019,7899	101083,4312	53079	57978	289896	13914,96	34089,47116	7499,684	65625,53736	244168,9002
9	130447,655	30319,9878	100127,6672	53079	57978	231918	11595,84	35452,82724	7799,622	64670,03301	308838,9332
10	129795,445	30623,1876	99172,25736	53079	57978	173940	9276,72	36816,53736	8099,638	63717,80678	372556,74
11	129146,485	30929,4195	98217,06549	53079	57978	115962	6957,6	38180,46549	8399,702	62768,78259	435325,5226
12	128500,775	31238,7137	97262,06129	53079	57978	57984	4638,48	39544,58129	8699,808	61822,96712	497148,4897
13	127858,25	31551,1008	96307,14916	53079	57978	0	2319,36	40908,78916	8999,934	60880,31639	558028,8061
14	127218,975	31866,6119	95352,36315	53079				42273,36315	9300,14	117918,8351	675947,6412
15	126582,885	32185,278	94397,60703	53079				41318,60703	9090,094	117492,7915	793440,4327
16	125949,98	32507,1308	93442,84925	53079				40363,84925	8880,047	117069,9332	910510,3658
17	125320,195	32832,2021	92487,99294	53079				39408,99294	8669,978	116650,2166	1027160,582
18	124693,595	33160,5241	91533,07092	53079				38454,07092	8459,896	116233,6994	1143394,282

19	124070,115	33492,1293	90577,98568	53079				37498,98568	8249,777	115820,3382	1259214,62
20	123449,755	33827,0506	89622,70439	53079				36543,70439	8039,615	115410,14	1374624,76
21	122832,515	34165,3211	88667,19388	53079				35588,19388	7829,403	115003,1123	1489627,872
22	122218,33	34506,9743	87711,35567	53079				34632,35567	7619,118	114599,2118	1604227,084
23	121607,265	34852,0441	86755,22093	53079				33676,22093	7408,769	114198,4964	1718425,58
24	120999,255	35200,5645	85798,69049	53079				32719,69049	7198,332	113800,9231	1832226,504
25	120394,235	35552,5702	84841,66484	53079				31762,66484	6987,786	113406,4487	1945632,952

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα από το 5<sup>ο</sup> έτος, όπως φαίνεται και στο επόμενο γράφημα.



## ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 1MW



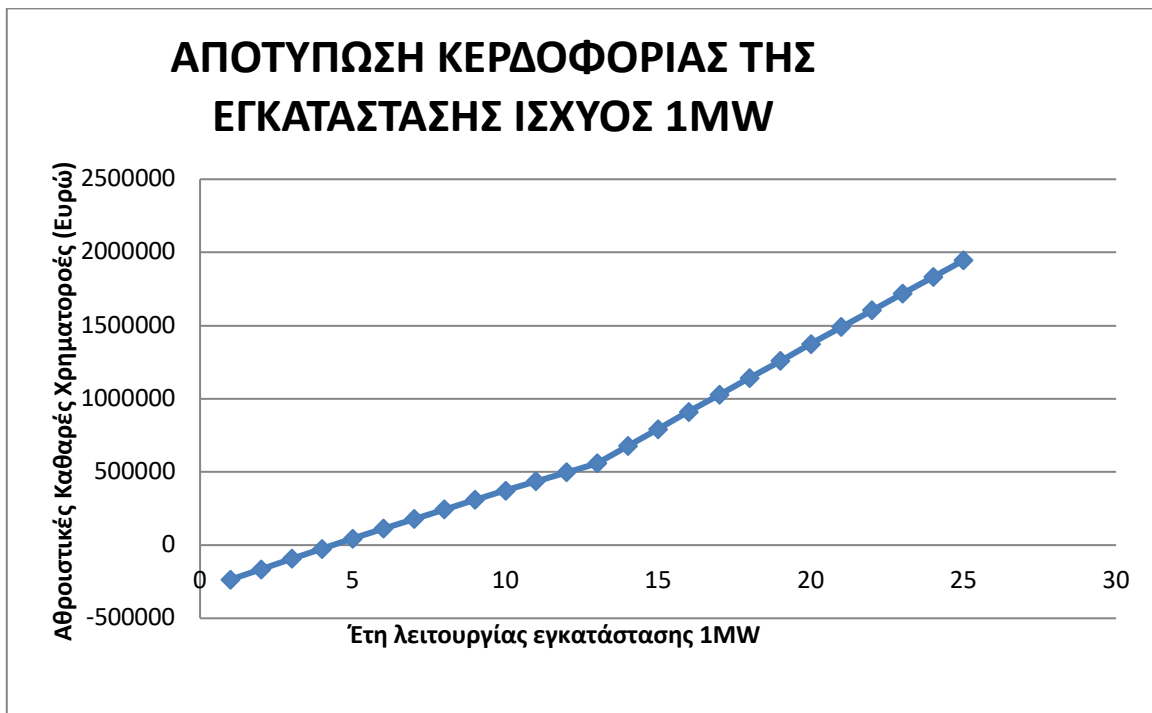
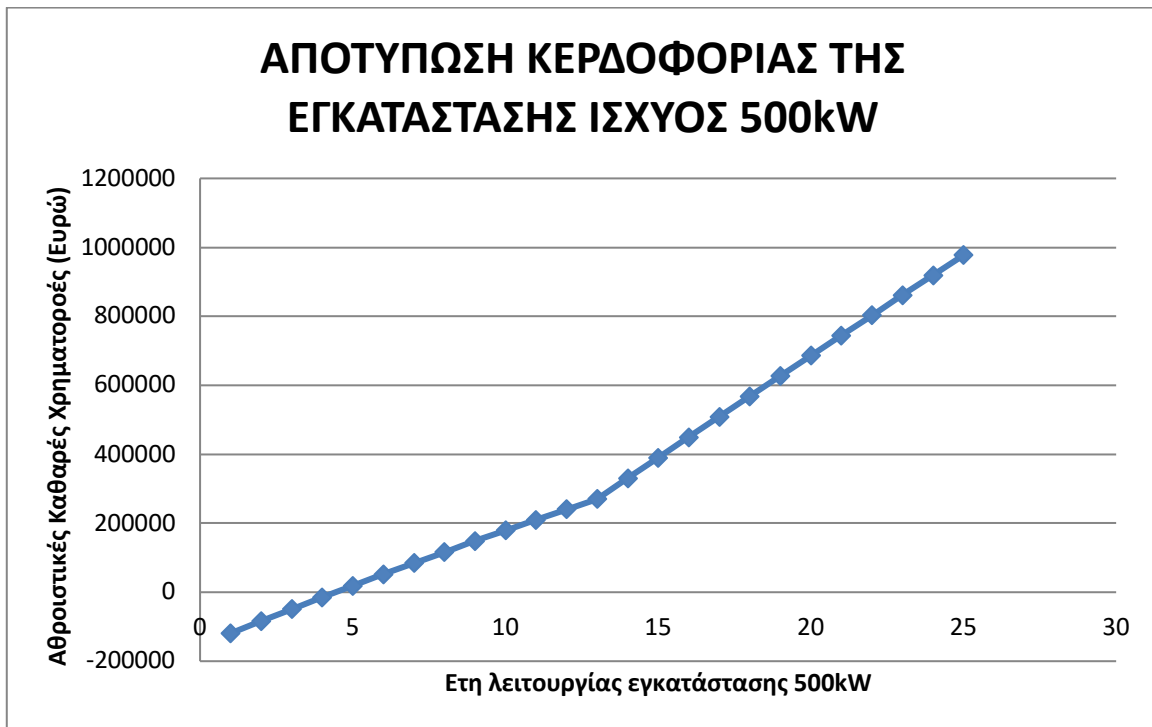
## 8. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ισχύος 500kW και 1MW. Χρησιμοποιήθηκαν πάνελ πανομοιότυπα ώστε τα αποτελέσματα να είναι απολύτως συγκρίσιμα.

Στην ουσία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διπλασιάζεται με τον διπλασιασμό της ισχύος όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

<b>ΣΥΣΤΗΜΑ</b>	<b>Kwhr/year(500kW)</b>	<b>Mwhr/year(1MW)</b>
Σταθερές βάσεις	851066	1598
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	883796	1660
Κινητές βάσεις	946357	1786
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	1030375	1945
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	1045853	2089

Αποδείχθηκε η βιωσιμότητα των επενδύσεων με κερδοφορία και στις δύο περιπτώσεις από τον πέμπτο χρόνο και ρυθμό αύξησης χρηματοροών ακριβώς ίδιο, όπως αποτυπώνεται και στα παρακάτω γραφήματα:



Γενικά αποκτήθηκε πολύτιμη γνώση όσον αφορά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και των ποικίλων παραγόντων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση τους. Κατανοήθηκε επίσης η έννοια της ιχνηλάτησης και της σημασίας της στη βελτίωση της απόδοσης της εγκατάστασης. Επίσης η οικονομική ανάλυση, αντικείμενο εντελώς νέο και άγνωστο μέχρι τώρα σε εμάς, αποτέλεσε μια εντελώς καινούρια γνώση που αποκτήθηκε μέσα από προσπάθεια κατανόησης χρηματοοικονομικών μεγεθών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://ae-solar.com/history-of-solar-module/>
- [2] <https://www.solarempower.com/blog/10-solar-pv-system-losses-their-impact-on-solar-panel-output/>
- [3] <https://ratedpower.com/blog/choosing-pv-structures/>
- [4] <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/>
- [5] <https://sunshine-energy.gr/%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD/%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%AC-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%89%CE%BD-%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%AF%CF%89%CE%BD>
- [6] <https://firstgreenconsulting.wordpress.com/2012/04/26/differentiate-between-the-dni-dhi-and-ghi/>

[7] Αθανάσιος Χασιακός. Διαχείριση Τεχνικών Έργων. Σημειώσεις μαθήματος. Πανεπιστήμιο Πατρών , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1529/2.2%20%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7%20II%20-%20%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%28%CE%95%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%BF%20%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%AF%CE%BF%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D%29.pdf>)

[8] <https://eclass.aueb.gr/modules/document/file.php/ODE202/%CE%A0%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%95%CE%A3%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/1o%20%CE%A4%CE%A1%CE%91%CE%A0%CE%95%CE%96%CE%99%CE%9A%CE%91%20%CE%94%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%99%CE%91.pdf>

[9] <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/ECON1363/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7%2010.pdf>