



**ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ (ΤΡΑΚΣΕΡ)**



**ΦΟΙΤΗΤΕΣ : ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ ΛΟΥΚΑΣ (7168)
ΨΩΜΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (7237)**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρών τεύχος αποτελεί την διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην σχεδίαση και την μελέτη ενός διαξονικού φωτοβολταϊκού πλαισίου. Είναι γνωστό ότι η ενέργεια είναι απαραίτητο αγαθό για την ζωή μας, σε συνδυασμό λοιπόν με την ανάγκη για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βρέθηκε το κίνητρο να μελετηθεί ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο έχει την δυνατότητα να ακολουθεί τον ήλιο καθ' όλη διάρκεια της ημέρας.

Πιο συγκεκριμένα στην αρχή θα παρουσιαστούν τα φωτοβολταϊκά (Tracker) ή ιχνηλάτες, για να κατανοηθούν τα οφέλη ενός τέτοιου συστήματος. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το πρωτότυπο μοντέλο ενός διαξονικού Tracker με κάποια οφέλη που βοηθούν την τοποθέτηση του σε σημεία με περιορισμένο χώρο και μικρή αντοχή σε βάρος, σχεδιασμένο από την αρχή συλλέγοντας πληροφορίες από ήδη υπάρχουσες λύσεις. Και τέλος η στατική ανάλυση του συστήματος αυτού με την χρήση πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα (ANSYS).

Μαργαρίτης Λουκάς
Ψωμάς Δημήτριος
Φεβρουάριος 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια την Διπλωματικής αυτής Εργασίας σχεδιάστηκε και μελετήθηκε ένα πρωτότυπο σύστημα βάσεως στήριξης φωτοβολταϊκού πλαισίου καθώς και η καινοτομία του συστήματος αυτού. Η ιδέα θα αφορά ένα σύστημα κινούμενης διαξονικής βάσης φωτοβολταϊκού όπου θα ακολουθεί τον ήλιο καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, για την βέλτιστη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας.

Το πρωτότυπο κομμάτι της μελέτης αφορά τον συνδυασμό μίας ελαφριάς κατασκευής με μεγάλη αντοχή και την δυνατότητα κίνησης σε δύο άξονες. Πράγμα που το καθιστά ιδανικό για τοποθέτηση σε περιορισμένο χώρο στέγης αλλά και σε επιφάνειες που δεν υποστηρίζουν μεγάλο φορτίο.

Η ανάπτυξη της πτυχιακής γίνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται και αναφέρετε στις κατηγορίες των tracker, καθώς και τα οφέλη που έχουν σε σχέση με τις κλασικές σταθερές βάσεις φωτοβολταϊκών. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρετε στις υπάρχουσες λύσεις που βρίσκονται στην αγορά, αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και την αρχή λειτουργίας των μονοαξονικών και των διαξονικών συστημάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζετε η πρωτότυπη ιδέα η οποία δημιουργήθηκε από τις ανάγκες τις αγοράς και συνδυάζοντας διάφορες ιδέες που υπάρχουν ήδη στην αγορά. Στην συνέχεια παρουσιάζετε και αναλύετε βήμα-βήμα η συναρμολόγηση (Assembly) του μοντέλου όπου δημιουργήθηκε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks.

Κλείνοντας το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την στατική ανάλυση του συστήματος με την βοήθεια των πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα ANSYS. Εκεί αναλύετε το σύστημα σε διαφορετικές περιπτώσεις που δέχεται τον άνεμο και το φορτίο χιονιού στις δυσμενέστερες καταστάσεις φορτίσεων στην Ελλάδα με βάση τον Ευρωκώδικα .

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου για την μεταλαμπάδευση της γνώσης της Μηχανικής επιστήμης, καθώς και τον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Διαμαντάκο Ιωάννη, Δρ. Μηχανολόγο και Αεροναυπηγό Μηχανικό, για την βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.	8
1.2 Έννοια των Trackers	9
1.3 Κατηγορίες στηρίξεων βάσεων Φ/Β πλαισίων.	11
1.4 Οφέλη κινητής στήριξης (TRACKER).....	13
1.5 Βασικές Ηλιακές Παράμετροι.	15
1.5.1 Βασικές έννοιες και Ορισμοί.....	16
2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΛΥΣΕΙΣ	21
2.1 Υπάρχουσες Λύσεις Στην Αγορά.	21
2.2 Μονοαξονικά συστήματα κίνησης.	22
2.2.1 Οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα	22
2.2.2 Οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα με κεκλιμένες μονάδες.....	24
2.2.3 Κατακόρυφη παρακολούθηση μονού άξονα	25
2.2.4 Κλίση ενός άξονα	26
2.2.5 Πολικό σύστημα παρακολουθήσης	28
2.3 Διαξονικό σύστημα κίνησης.	29
2.3.1 Ιχνηλάτης διπλού άξονα SF	30
2.3.2 Solar tracker dual axis ST44M2V4P	32
2.3.3 Ιχνηλάτης διπλού άξονα σε ένα πλαίσιο (tracker in a frame)	34
2.3.4 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΑΞΟΝΑ (TTDAT)	36
2.3.5 Ιχνηλάτης διπλού άξονα All Earth L20	38
2.4 Συμπεράσματα.	40
3. Παρουσίαση πρωτότυπης ιδέας «Διαξονική περιστρεφόμενη φάση φωτοβολταϊκού πλαισίου (Tracker)».....	41
3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά.	41
3.2 Σχεδίαση του Μοντέλου.....	44
3.3 Παρουσίαση των μελών την κατασκευής καθώς και η διαστασιολόγηση αυτών.	45
3.4 Συναρμολόγηση Μοντέλου (Assembly).....	55
4. Στατική Ανάλυση	61
4.1 Στατική ανάλυση κατασκευών.	61
4.2 Διαδικασία ανάλυσης μοντέλου.	61
4.3 Ευρωκώδικας 1-3 (φορτία χιονιού).	65
4.4 Ανάλυση φορτίων χιονιού (ANSYS).....	69

4.4.1 Ανάλυση φορτίου χιονιού με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (ANSYS).	71
4.5 Υπολογισμός φορτίων Ανέμου.	75
4.6 Ανάλυση φορτία ανέμου με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (ANSYS).	83
Βιβλιογραφία	Error! Bookmark not defined.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

Ξεκινώντας είναι σημαντικό να διευκρινιστούν κάποιοι όροι για την καλύτερη κατανόηση και για την ουσία της ύπαρξης της εργασίας αυτής. Με τον γενικό όρο Φωτοβολταϊκό ονομάζεται η βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κελιών. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από Πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται “Φωτοβολταϊκό φαινόμενο”.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνειά του. Σε τέτοια συστήματα, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος συνεπάγεται υποχρεωτικά με την αύξηση της ωφέλιμης επιφάνειας με την προσθήκη περισσότερων πάνελ στο σύστημα.

Αξίζει να αναλυθεί η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος ώστε να κατανοηθεί καλύτερα η ανάγκη για εξέλιξη. Ο βαθμός απόδοσης λοιπόν εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1 με 2% βαθμό απόδοσης, ενώ το 1954 τα εργαστήρια (*Bell Laboratories*) δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και διευρύνεται η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών.

Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%, ο οποίος συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε έναν ηλιακό ιχνηλάτη. Δηλαδή η δυνατότητα παρακολούθησης του ηλίου από το φ/β σύστημα καθ’ όλη την διάρκεια της ημέρας, αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού.

Σημειώνετε ότι οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται

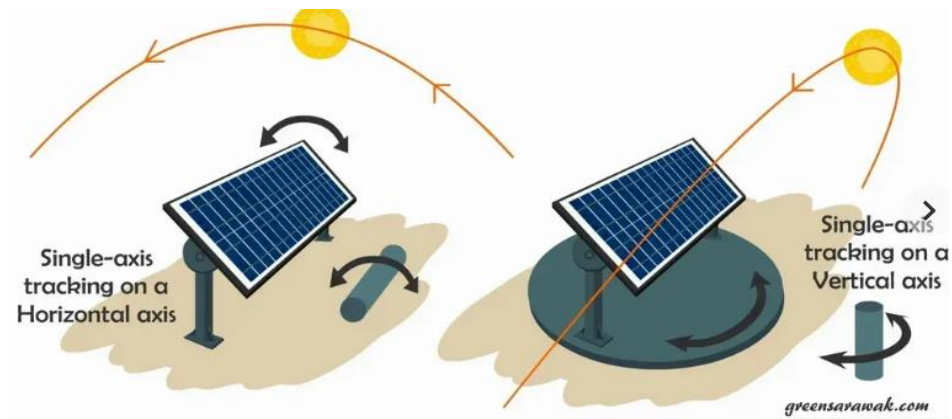
κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh. Η ανάγκη λοιπόν στην αγορά για ένα πιο αποδοτικό σύστημα στην ίδια έκταση εγκατάστασης δημιουργήθηκε η ιδέα του ηλιοστάτη ή ηλιακού ιχνηλάτη (Tracker).

1.2 Έννοια των Trackers

Ο Tracker ή ο φωτοβολταϊκός ιχνηλάτης είναι μια κινητή βάση πάνω στην οποία τοποθετείται το φωτοβολταϊκό πάνελ . Αυτή η μηχανολογική διάταξη δίνει την δυνατότητα στο φωτοβολταϊκό να αλλάζει συνεχώς θέσεις προσπαθώντας να απορροφήσει στο μέγιστο δυνατό τις ακτίνες του ήλιου.

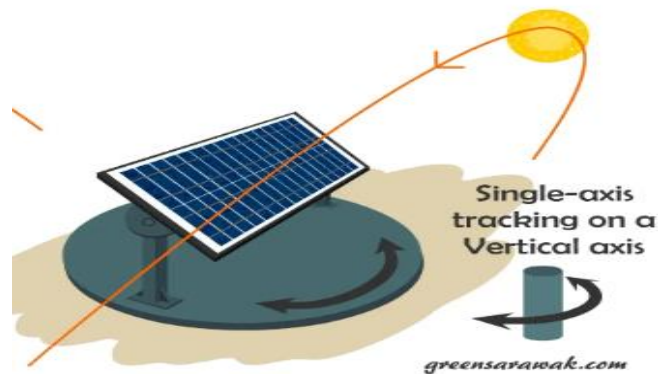
Οι μηχανισμοί των Trackers ποικίλουν στην αγορά με πολλές και διάφορες διατάξεις με σκοπό την αλλαγή κλίσης και περιστροφής του φωτοβολταϊκού πλαισίου, αλλά και τις χωροταξικές ανάγκες της κάθε εγκατάστασης. Αναφορικά οι βασικοί τύποι Tracker είναι οι εξής:

- Ιχνηλάτης ενός άξονα ο οποίος παρακολουθεί την ημερήσια(αζιμουθιακή) κίνηση του ήλιου ως προς τον κατακόρυφο άξονα, σε σταθερή κλίση, έχοντας όμως την ανάλογη κλίση ανάλογα με την θέση του ήλιου σε κάθε εποχή .
- Ιχνηλάτης ενός άξονα ο οποίος μεταβάλλει την γωνία ανύψωσης στον οριζόντιο άξονα προς το έδαφος, έχοντας όμως σταθερό τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής.



Εικόνα 1.1 Trackers ενός άξονα

- Ιχνηλάτης δυο αξόνων ο οποίος μεταβάλλει όχι μόνο την αζιμουθιακή αλλά και τη γωνία ανύψωσης, παρακολουθώντας με ακρίβεια την κίνηση του ήλιου και πραγματοποιώντας το καλύτερο αποτέλεσμα δέσμευσης ηλιακών ακτινών.



Εικόνα 1.2 Tracker δύο αξόνων

1.3 Κατηγορίες στηρίξεων βάσεων Φ/Β πλαισίων.

Όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση των στηρίξεων, χωρίζονται σε δύο, τις **σταθερές** στηρίξεις και τις **κινητές** στηρίξεις όπου αυτές χωρίζονται σε (μονοαξονικές και διαξονικές)

- **Σταθερές στηρίξεις με προκαθορισμένη γωνία:** Είναι η συμβατικές στηρίξεις που συναντάμε στα περισσότερα φωτοβολταϊκά πάρκα και στις στέγες καθώς και η πιο οικονομική λύση χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Σημαντική όμως είναι η χωροθέτηση των βάσεων καθώς χρειάζεται να βρίσκονται σε συγκεκριμένη κλίση για την μέγιστη απόδοση.

Επίσης ο σχεδιασμός αυτός είναι πιο ανθεκτικός και συνιστάται για μέρη με μεγάλο αιολικό φορτίο καθώς δεν έχει κινούμενα μέρη. Οι διατάξεις αυτές βρίσκονται κυρίως σε στέγες και ταράτσες κτιρίων , όπου εκεί αναπτύσσονται μεγαλύτερες τάσεις στην βάση .

- **Κινητές στηρίξεις:** Αφορούν τις στηρίξεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπου υπάρχει η ανίχνευση και την κίνηση τους σύμφωνα με τον ήλιο.

A) Οι **μονοαξονικές στηρίξεις** είναι αυτές που περιστρέφονται γύρω από έναν κάθετο ή παράλληλο άξονα κρατώντας σταθερή την κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, παρακολουθώντας την πορεία του ηλίου από την ανατολή μέχρι και την δύση του.

B) Οι **διαξονικές στηρίξεις** είναι αυτοί που περιστρέφονται γύρω και από τους δύο άξονες (κάθετα και οριζόντια). Καθημερινά μεταβάλλεται η κλίση τους ως προς τον οριζόντιο επίπεδο και ταυτόχρονα παρακολουθούν την πορεία του ηλίου 180° από την ανατολή μέχρι και την δύση του ώστε πάντα η επιφάνεια να είναι κάθετη στις ακτίνες του ήλιου. Τέλος η διάταξη αυτή για την δημιουργία απαιτεί παραμετρικό σχεδιασμό και ανάλυση δομής στα μεταλλικά μέρη μιας και η προσβολή του ανέμου αλλάζει συνεχώς διευθύνσεις πάνω στο πάνελ. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάστηκε και αναλύθηκε οι επιμέρους αυτές προσβολές για κάθε περίπτωση.

Οι αισθητήρες-ανιχνευτές που υπάρχουν πάνω στο κάθε πλαίσιο διαθέτουν 4 τύπους και μεθόδους παρακολούθησης του ήλιου , όπως:

A) Χειροκίνητη ιχνηλάτηση : Αυτή η μέθοδος ιχνηλάτησης απαιτεί από κάποιον να προσαρμόζει φυσικά τα πάνελ σε διαφορετικές ώρες ανά την ημέρα για να ακολουθεί τον ήλιο. Αυτό βέβαια δεν είναι πάντα εφικτό γιατί πρέπει σε όλη την διάρκεια της ημέρας να παρακολουθεί κάποιο άτομο την πορεία του ήλιου, και σε μεγάλες εκτάσεις Φ/Β πάρκων είναι κάτι που το καθιστά χρονοβόρο.

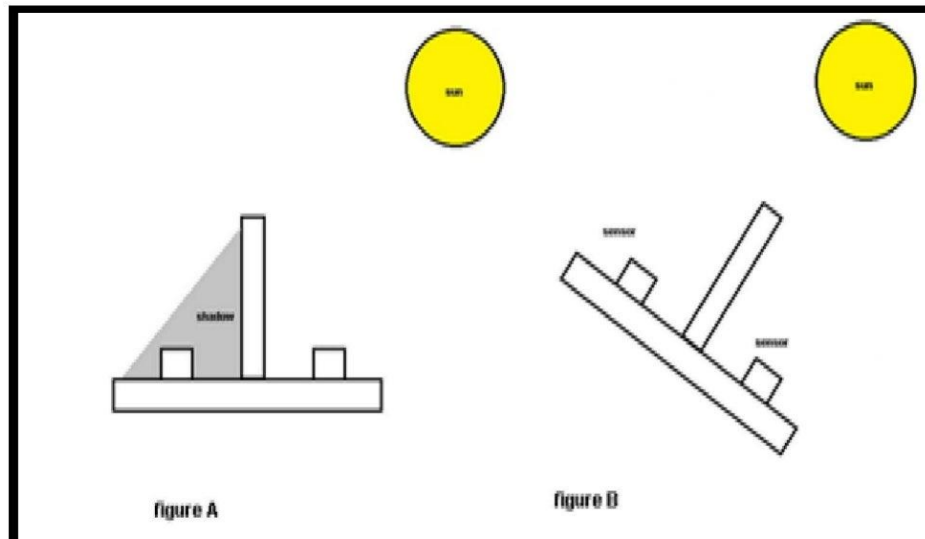
B) Παθητική ιχνηλάτηση : Οι παθητικοί ιχνηλάτες διαθέτουν μια κάψουλα που περιέχει ένα υγρό σε χαμηλό σημείο βρασμού το οποίο εξατμίζεται όταν εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία. Όταν το υγρό εξατμίζεται, στο σύστημα κλίσης δημιουργείται ανισορροπία. Αυτή η ανισορροπία αναγκάζει τα πάνελ να γέρνουν προς την κατεύθυνση των ακτινών του ήλιου όπου εξατμίστηκε το υγρό.

Γ) Ενεργητική ιχνηλάτηση : Οι ενεργητικοί ιχνηλάτες βασίζονται σε κινητήρες ή υδραυλικούς κυλίνδρους για να αλλάξουν την θέση των πάνελ. Εδώ συναντάμε 2 υποκατηγορίες ενεργητικής ιχνηλάτησης:

α) ιχνηλάτηση από φωτοαισθητήρες, όπου οι κινητήρες σε συνδυασμό με ανιχνευτές ηλιακού φωτός θα μετακινήσουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ έτσι ώστε να ακολουθούν τον ήλιο. Σε αυτή την κατηγορία μπορεί να υπάρχει ένας κοινός ηλιακός σταθμός παρακολούθησης για όλη την εγκατάσταση, *βλέπε Εικόνα 1.3* με αποτέλεσμα όλα τα φωτοβολταϊκά να έχουν μια κοινή κατεύθυνση. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα να παρέχονται φωτοαισθητήρες τοπικά ανά συστοιχία ώστε να υπάρχει η βέλτιστη δέσμευση ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 1.3 Ηλιακός σταθμός παρακολούθησης εμπορίου



Εικόνα 1.3.1 Μέθοδος λειτουργίας Φωταισθητήρα

β) Και η ιχνηλάτηση με την βοήθεια συστήματος αυτομάτου ελέγχου, όπου θα έχει προγραμματιστεί ένα λογισμικό με την κίνηση του ήλιου για κάθε μέρα ξεχωριστά και το λογισμικό θα δίνει την εντολή σε σερβοκινητήρα για να ακολουθεί την πορεία του ήλιου.

Αν και η ενεργητική ιχνηλάτηση είναι πιο “βολική” από τα χειροκίνητα trackers, τα κινούμενα μέρη εντός των κινητήρων θα μπορούσαν εύκολα να αστοχήσουν και να σπάσουν. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος συντήρησης κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

1.4 Οφέλη κινητής στήριξης (TRACKER)

Τα φωτοβολταϊκά tracker είναι σημαντικά για τη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ. Αντί να παραμένουν στατικά και να εκτίθενται σε μια σταθερή γωνία προς τον ήλιο, τα tracker μπορούν να ακολουθούν την πορεία του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι τα πάνελ θα εκτίθενται σε περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Οι tracker λόγω του ότι έχουν την δυνατότητα της κίνησης, μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με περιορισμένο χώρο ή περιορισμένο ηλιακό φωτισμό.

Εάν ένα πάνελ δεν κινηθεί σωστά και δεν εκτίθεται στην ακτινοβολία του ήλιου όπως θα έπρεπε, μπορεί να υπάρξει μια απότομη μείωση της παραγωγής ενέργειας με αποτέλεσμα την πτώση της τάσης σε κάποιο αυτόνομο σύστημα.

Τα οφέλη που έχει λοιπόν η κάθε κινητή στήριξη είναι αρκετά σε σχέση με τις σταθερές βάσεις πλαισίων που συνηθίζουμε να βλέπουμε συχνότερα, αλλά βέβαια και με το ανάλογο κόστος. Επίσης συμφέρει κάποιον να τοποθετήσει περισσότερα σταθερά πάνελ στην έκταση του αγροτεμαχίου που διαθέτει, σε σχέση με τις κινούμενες βάσεις που χρειάζεται κάποιο χώρο ελευθερίας μεταξύ των βάσεων, άρα και λιγότερα πάνελ στον ίδιο χώρο; Τα ερωτήματα αυτά λύνονται με μια οικονομική ανάλυση ώστε να αποδειχθεί ότι οι κινούμενες βάσεις είναι πιο αποτελεσματικές.

Τα οφέλη λοιπόν ανάλογα την κατηγορία των trackers είναι τα εξής:

- Με την χρήση των μονοαξονικών trackers επιτυγχάνουμε αύξηση κατά (10-20)% στην απόδοση του Φ/Β συστήματος, σε σχέση με την απόδοση των σταθερών βάσεων.
- Με την χρήση των διαξονικών trackers επιτυγχάνουμε αύξηση κατά (25-45)% στην απόδοση του Φ/Β συστήματος, σε σχέση με την απόδοση των σταθερών βάσεων.

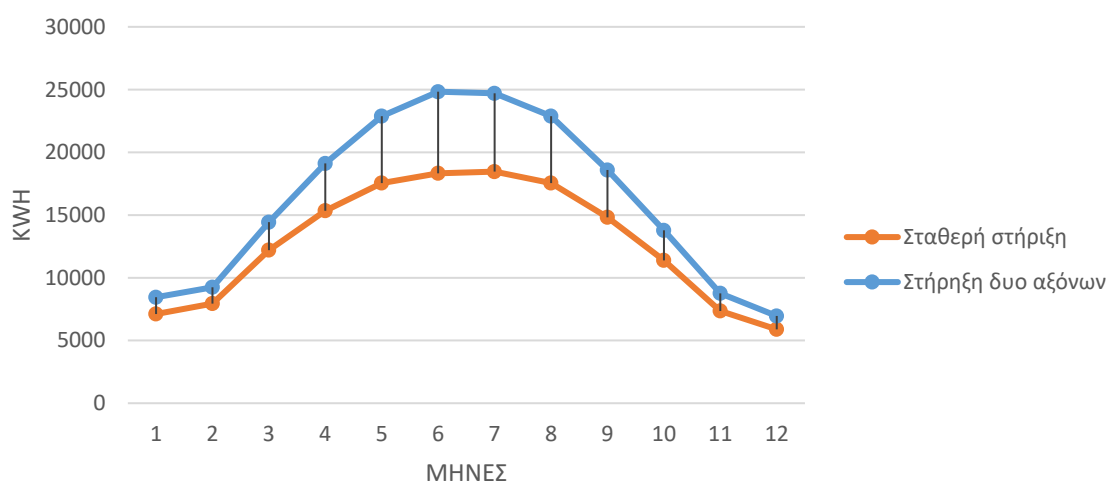
Βέβαια τα οφέλη της απόδοσης εξαρτώνται και από το ανάλογο κόστος καθώς ο διαξονικός tracker είναι πολύ πιο ακριβός σε σχέση με τον μονοαξονικό και το σταθερό πλαίσιο, για τον απλούστατο λόγο των πολύπλοκων μεταλλικών στοιχείων-άρθρωση καθώς και την μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων. Επομένως βρίσκετε η ανάγκη να γίνει μια ανάλυση σχετικά με το εάν συμφέρει μια τέτοια εγκατάσταση, δηλαδή αυτή των διαξονικών trackers και όχι των μονοαξονικών.

Επί του πρακτέου λοιπόν με ένα απλό παράδειγμα λύθηκε ο προβληματισμός. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα πάρκο Φ/Β συστημάτων με ισχύ 100 kw.

Για πάρκο με σταθερές βάσεις Φ/Β θα έχουμε ότι με ονομαστική ισχύ 100 kw θα παράγουμε ετησίως 153.946,0 kWh. Σύμφωνα με την ισχύουσα τιμή της κιλοβατώρας (0,329 €/kWh) θα έχουμε 50.586,6 ευρώ ετησίως. Για μία τέτοια εγκατάσταση η

κοστολόγηση κυμαίνεται από 150.000€ έως 180.000€. Πράγμα που σημαίνει ότι τα έτη απόσβεσης θα είναι από 3 έως 4 χρόνια.

Για μια εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων trackers με δύο άξονες. Το σύστημα αυτό θα έχει ισχύς 100 kw, και υπολογίζεται ότι ετησίως θα παράγει 1894.610,0 kwh. Σύμφωνα με την ισχύουσα τιμή της κιλοβατώρας (0,329 €/kwh) θα έχουμε 63.948,9€ ετησίως. Για μία τέτοια εγκατάσταση η τιμή κυμαίνεται από 220.000 ευρώ έως 250.000 ευρώ. Άρα τα έτη απόσβεσης του έργου είναι στα 3 με 4.5 χρόνια , μια πολύ καλή τιμή σε σχέση με πάρκα σταθερών βάσεων Φ/Β.



Διάγραμμα 1

Σημειώνετε ότι οι τιμές συγκρίσεως μεταξύ της σταθερής στήριξης και στήριξης δυο αξόνων βρέθηκαν από την πηγή που βρίσκετε στην βιβλιογραφία (βλέπε νούμερο 10).

1.5 Βασικές Ηλιακές Παράμετροι.

Για τον σχεδιασμό των ηλιακών συστημάτων και γενικά τον σωστό σχεδιασμό και την τοποθέτηση του ηλιακού ιχνηλάτη, είναι απαραίτητη η γνώση και η κατανόηση ορισμένων ηλιακών εννοιών που αφορούν την τροχιά του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά την διάρκεια του έτους.

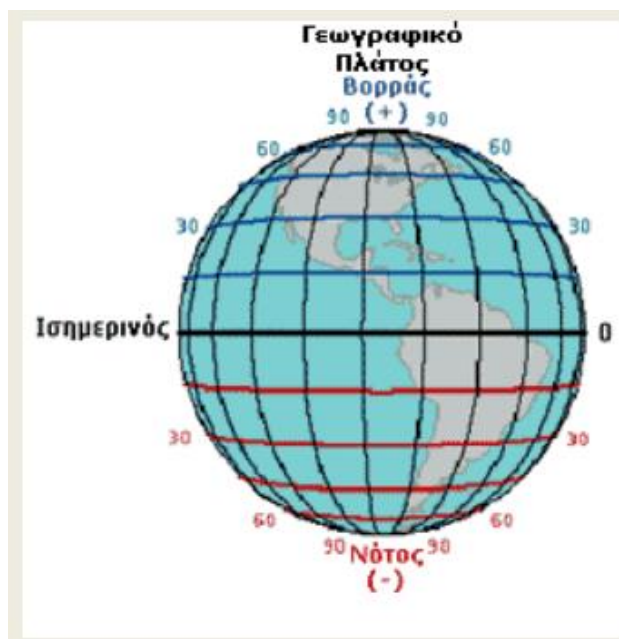
Για τον λόγο αυτό παρουσιάστηκαν παρακάτω οι βασικότερες παραμέτρους και τα στοιχεία που χρειάζονται για τον υπολογισμό της τροχιάς του ηλίου , και κατ'έπекταση την σωστή τοποθέτηση του ιχνηλάτη.

1.5.1 Βασικές έννοιες και Ορισμοί

Αρχικά για να γίνει κατανοητή η ανάλυση, αναλύθηκαν κάποιες βασικές έννοιες που σχετίζονται με την ακτινοβολία και την κίνηση του ήλιου.

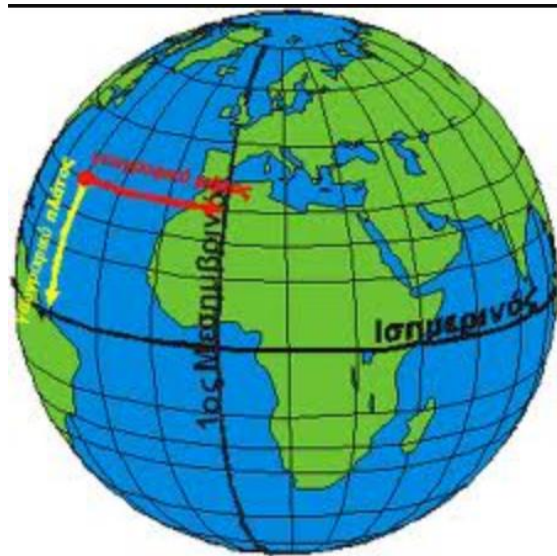
1) Η ηλιακή ακτινοβολία λοιπόν που φτάνει στην επιφάνεια της γης χωρίζεται στην **άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία**, η πρώτη είναι αυτή η οποία δεν έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα και η διάχυτη είναι αυτή που έχει αλλάξει διεύθυνση από σκέδαση(όπου ονομάζεται ο διασκορπισμός των φωτεινών ακτινών όταν πέσουν σε μικρά σωματίδια) στην ατμόσφαιρα. Το άθροισμα αυτών των δύο ονομάζεται ολική ηλιακή ακτινοβολία.

2) **Γεωγραφικό πλάτος** είναι ένα μέγεθος γεωγραφικών συντεταγμένων με το οποίο προσδιορίζεται η θέση των διαφορετικών τόπων στην επιφάνεια της γης. Ποιο συγκεκριμένα προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των διαφόρων τόπων από τον ισημερινό βόρεια η νότια από αυτόν ($-90^{\circ} \leq \varphi \leq 90^{\circ}$). Εξ ορισμού το γεωγραφικό πλάτος λαμβάνεται θετικό στο Βόρειο ημισφαίριο και αρνητικό στο Νότιο.



Εικόνα 1.4:Γεωγραφικό πλάτος (πηγή βιβλιογραφία v11)

3) Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης (δ). **Απόκλιση δ** ορίζεται η γωνιακή θέση του ηλίου κατά την ηλιακή μεσημβρία (είναι η στιγμή κατά την οποία ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του ορίζοντα) σε σχέση με το ισημερινό επίπεδο (είναι το κάθετο επίπεδο προς τον άξονα περιστροφής της σφαίρας), θετική προς τον βορρά και κυμαίνεται από $(-23.45^\circ$ έως $23.45^\circ)$.



Εικόνα 1.5:Ο πρώτος μεσημβρινός βρίσκει τον ισημερινό.(πηγή βιβλιογραφία v.12)

4) **Κλίση επιφανείας (β)** : Είναι η γωνία μεταξύ της εν λόγω επιφανείας και του οριζώντιου επιπέδου ($0 \leq \beta \leq 180^\circ$).

5) **Ωριαία γωνία (ω)** : Είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου δυτικά ή ανατολικά του μεσημβρινού(είναι οι περιφέρειες των μέγιστων κύκλων που περιέχουν τον άξονα της γης), εξ αιτίας της περιστροφής της γης στον άξονα της κατά 15 μοίρες ανά ώρα. Η ωριαία γωνία λαμβάνεται θετική για τις προ μεσημβρινές ώρες και αρνητική για τις επόμενες.

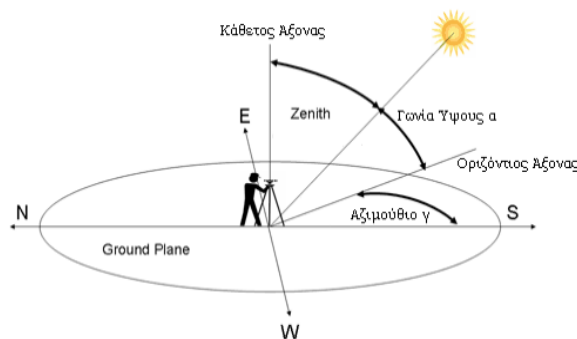
6) **Αξιμούθια γωνία επιφανείας (γ)** : Είναι η απόκλιση που παρουσιάζει η προβολή σημείου στο οριζόντιο επίπεδο της κάθετης σε επιφάνεια από τον μεσημβρινό $\gamma=0$ προς νότο, $\gamma<0$ για ανατολικά, $\gamma>0$ για δυτικά και $\gamma=180^\circ$ προς βορρά.

7) **Γωνία πρόσπτωσης (θ)** : Είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην άμεση ακτινοβολία σε ένα επίπεδο και την κάθετο ως προς το επίπεδο.

8) **Ζενίθια γωνία (θ_z):** Είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κάθετης στο οριζόντιο επίπεδο του παρατηρητή και της ευθείας που ενώνει τον παρατηρητή με τις ακτίνες του ήλιου.

9) **Αζιμουθιακή γωνία ήλιου (γ_s):** Είναι η γωνία που σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο με τον τοπικό μεσημβρινό βορρά -νότου. Η γωνία αζιμούθιου είναι 0 προς την κατεύθυνση του νότου, θετική προς την δύση και αρνητική προς την ανατολή.

10) Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής του ηλίου ω_{ss} και ω_{sr} αντίστοιχα καλείται η ωριαία γωνία ω όταν η ζενίθια γωνία είναι $\theta_Z = 90^\circ$.



Εικόνα 1.3: Απεικόνιση αζιμούθιου

Υπολογισμός ζενίθιας γωνίας θ_z :

Ο σκοπός της δημιουργίας του ιχνηλάτη, όπως αναφέρθηκε είναι να μπορεί να ακολουθεί τον ήλιο κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους με αποτέλεσμα την μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Για τον λόγο αυτό απαιτείται ο υπολογισμός της ζενίθιας γωνίας κατά την διάρκεια του έτους αλλά και της αζιμουθιακής γωνίας που αναλύθηκε στην επόμενη παράγραφο. Η ζενίθια γωνία είναι αυτή που απασχολεί την κίνηση και των δύο τύπων tracker (μονοαξονικό-διαξονικό). Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι για τον κανονικό υπολογισμό της ζενίθιας γωνίας για όλες της στιγμές μέσα σε μια μέρα ανά λεπτό και κατ' επέκταση για ένα έτος, θα χρειαστούν αρκετοί υπολογισμοί, για αυτό

χρησιμοποιούνται πρακτικές σχέσεις που μας δείχνουν τον υπολογισμό της μέσα στο έτος για να δούμε την πορεία των τιμών της.

Για την ζενίθια γωνία θ_Z ισχύει η σχέση :

$$\cos \theta_Z = \cos \varphi * \cos \delta * \cos \omega + \sin \varphi * \sin \delta \quad (\text{Σχέση 1.1})$$

Για ($\gamma=0$, $\omega=0$) και γεωγραφικό πλάτος $\varphi=38$ (ΠΑΤΡΑ)

Η απόκλιση δ μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση :

$$\delta = 23.45 * \sin (360 * (284 + n) / 365) \quad (\text{Σχέση 1.2})$$

Όπου $n =$ η μέρα του έτους.

Υπολογισμός αζιμούθιας γωνίας:

Για την κίνηση που πρέπει να ακολουθήσει ο διαξονικός ιχνηλάτης είναι απαραίτητη η αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, δηλαδή η περιστροφή του ιχνηλάτη γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του. Σε αυτή την παράγραφο μελετιούνται οι απαραίτητες σχέσεις για τον υπολογισμό την γωνίας αυτής.

Η ηλιακή αζιμουθιακή γωνία δίνεται από την παρακάτω σχέση (1.4 ή 1.5).

Στην αρχή η σχέση που δίνετε η ωριαία γωνία δύσης και ανατολής ω_s , όταν δηλαδή το $\theta_Z = 90^\circ$. Άρα η σχέση είναι:

$$\cos \omega_s = - \tan \varphi * \tan \delta \quad (\text{Σχέση 1.3})$$

Για αζιμουθιακή γωνία :

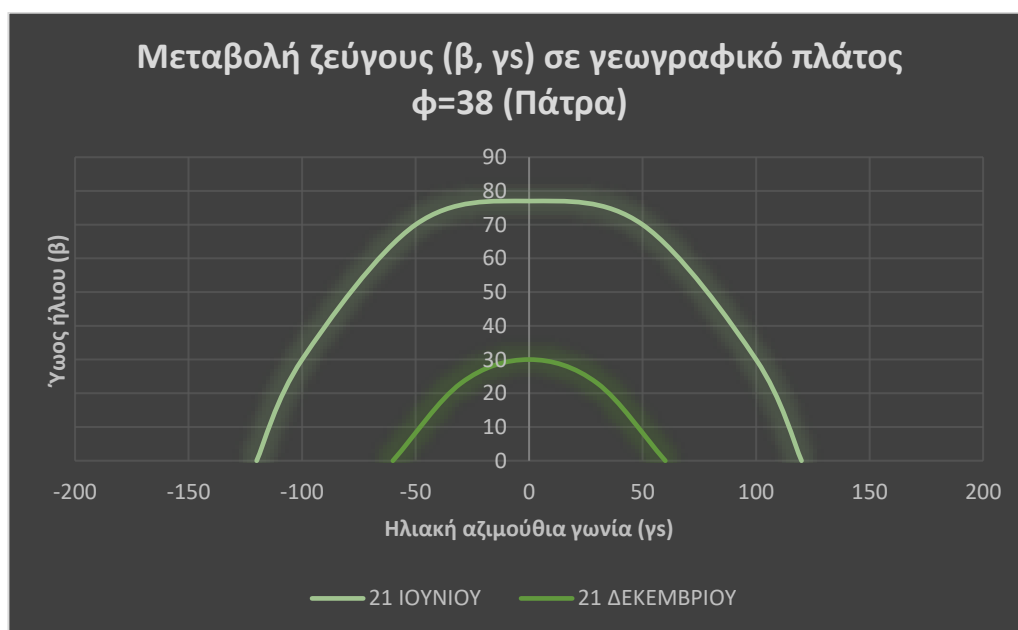
$$\sin \gamma_s = (\cos \delta * \sin \omega) / \sin \theta_Z \quad (\text{Σχέση 1.4})$$

ή

$$\cos \gamma_s = (\cos \theta_Z * \sin \varphi - \sin \delta) / (\sin \delta * \cos \varphi) \quad (\text{Σχέση 1.5})$$

Υπολογισμός του ζεύγους (β , γ_s):

Τέλος πρέπει να υπολογισθεί το ζεύγος β , γ_s ώστε να προσδιορίζονταν ακριβώς την θέση του ήλιου στην ουράνια σφαίρα για κάθε μέρα του έτους ξεχωριστά. Πρέπει να αναφερθεί ότι η γωνία β είναι η γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και της νοητής γραμμής που ενώνει τον παρατηρητή με τον ήλιο, όπου αυτή η γωνία ονομάζεται ύψος του ήλιου. Με βάση λοιπόν τις παραπάνω σχέσεις (1.3 και 1.5) μπορούν να υπολογιστούν και τις δύο συντεταγμένες μόνο που στην μία περίπτωση όπου είναι το συνημίτονο Θ_z θα βάλουμε το ημίτονο της συμπληρωματικής γωνίας β . Έτσι λοιπόν παρακάτω παρουσιάστηκε ένα διάγραμμα (β - γ_s) με γεωγραφικό πλάτος $\phi=38^\circ$, για θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουλίου) και για χειμερινό (21 Δεκεμβρίου). Αυτές τις μέρες τις παίρνουμε ως τις ακραίες τιμές της ηλιακής αζιμούθιας γωνίας καθώς και της ζενίθιας .



Γράφημα 1.3 :Ζεύγος β - γ_s για tracker σε $\phi=38^\circ$, Πάτρα.

Συνοψίζοντας, με τα παραπάνω γραφήματα κατανοήθηκε και εκτιμήθηκε η κατάλληλη κίνηση του ιχνηλάτη στην τοποθεσία της Πάτρας με γεωγραφικό πλάτος $\phi=38^\circ$ μέσα στο έτος. Βέβαια η παραπάνω διερεύνηση δεν δίνει την ακρίβεια των δύο γωνιών αλλά

προσεγγιστικά το εύρος των γωνιών , που θα βοηθήσει στην κατανόηση της κίνησης του συστήματος .

Άρα βρέθηκε ότι :

- Η **ζενίθια γωνία** κυμαίνεται από **15° έως 60°** κατά το έτος.
(Υπολογισμός για $\varphi=38^\circ$, ηλιακή μεσημβρία)
- Η **αζιμούθια γωνία** κυμαίνεται κατά την ανατολή στην δύση του ηλίου από **60° έως 120°** και **-60° έως -120°** αντίστοιχα κατά το έτος.
(Υπολογισμός για $\varphi=38^\circ$)

2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

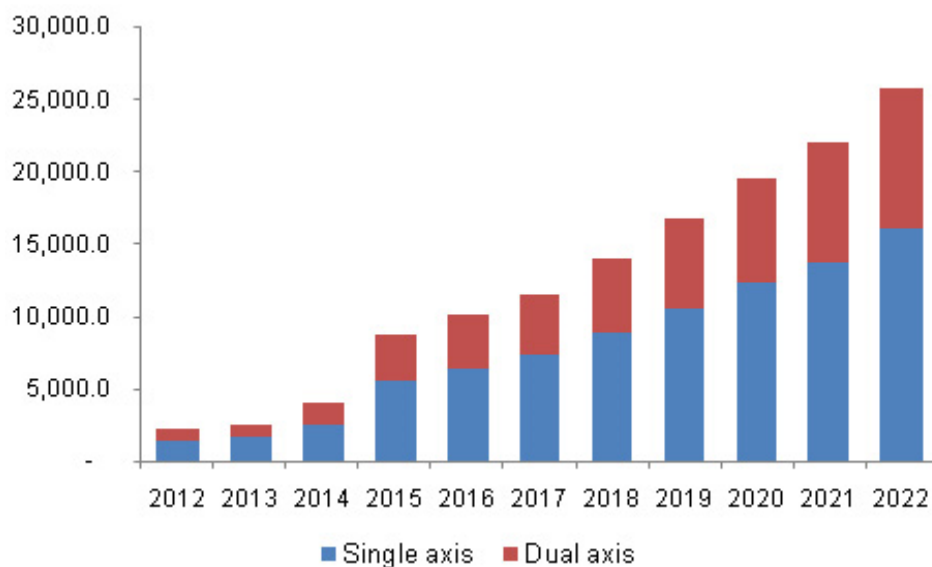
2.1 Υπάρχουσες Λύσεις Στην Αγορά.

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε και αναφέρθηκε τις ήδη υπάρχουσες λύσεις της αγοράς καθώς και την ανάλυση της δομής και τον τρόπο λειτουργίας τους. Οι διατάξεις που αναλύθηκαν θα είναι αυτές που αναφέρθηκαν εισαγωγικά στα προηγούμενα κεφάλαια.

A) Μονοαξονικό σύστημα κίνησης

B) Διαξονικό σύστημα κίνησης.

Προτού όμως ξεκινήσει την ανάλυση των υπαρχουσών συστημάτων στην αγορά θα ήταν ενδιαφέρον να αναφερθεί μια έρευνα σχετικά με το πλήθος των συστημάτων tracker , από την έρευνα του **Drand View** που παρουσιάστηκε το 2019 όπου αναφέρει πως καθώς περνούν τα χρόνια η ανάγκη για ιχνηλάτες στην αγορά αυξάνεται εκθετικά , σε τέτοιο βαθμό που διαπιστώνουμε την μελλοντική αντικατάσταση των σταθερών βάσεων , τουλάχιστον στις εγκαταστάσεις αγροτεμαχίων που υπάρχουν σήμερα.



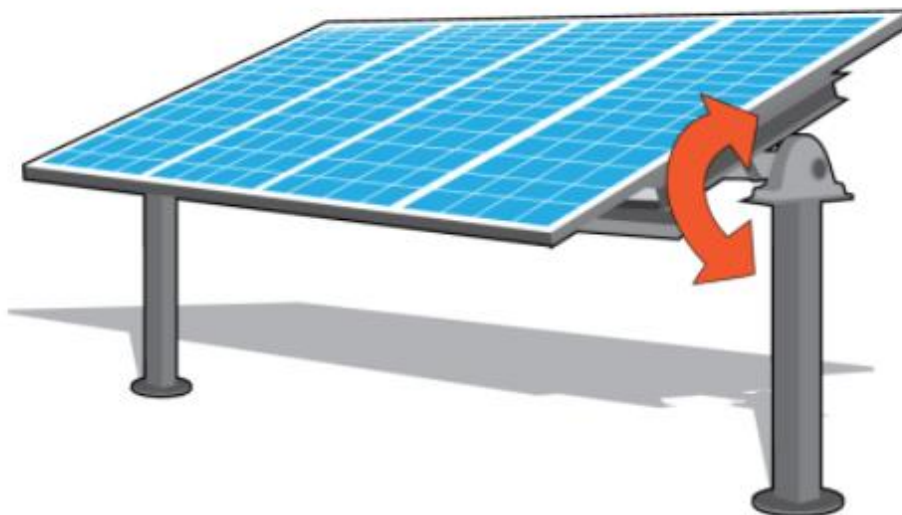
Διάγραμμα Drand View

2.2 Μονοαξονικά συστήματα κίνησης

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μονοαξονικών συστημάτων όπως αναφερθηκαν, ποιο συγκεκριμένα όμως είναι η οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα(HSAT), η οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα με κεκλιμένες μονάδες (HTSAT), η κατακόρυφη παρακολούθηση(VSAT), με κλίση ενός άξονα (TSAT), και το πολικό σύστημα παρακολούθησης (PSAT). Παρακάτω αναφέρθηκαν αναλυτικά όλοι οι τύποι μονοαξονικών trackers.

2.2.1 Οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα

Η οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα αχρησιμοποίητε για να αυξήσει την παραγωγή της ηλιακής ενέργειας με την βοήθεια ενός συστήματος παρακολούθησης. Η σχεδίαση αυτού του είδους ιχνηλάτη είναι μια από τις πιο επιτυχημένες στο εμπόριο και είναι μια από τις κύριες επιλογές στην αγορά των ηλιακών ιχνηλατών μονού άξονα , καθώς αποτελεί έναν απλό μηχανισμό περιστροφής με δυνατότητα τοποθέτησης πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων.



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση μονοαξονικού οριζοντίου άξονα.

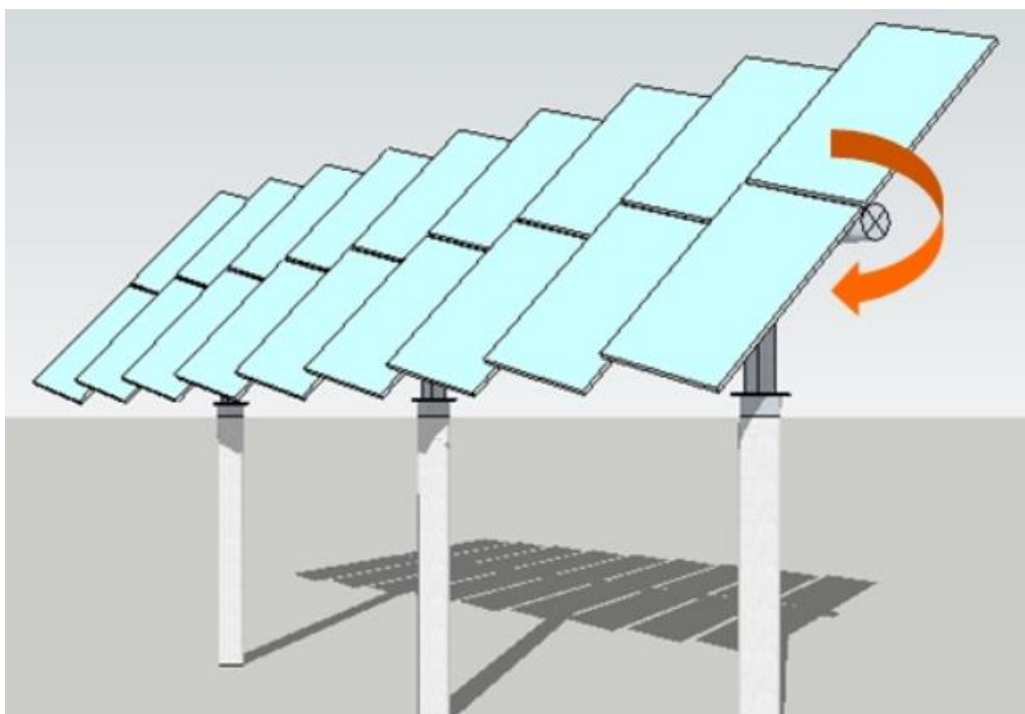
Η λειτουργία του γίνεται με την περιστροφή του από τα ανατολικά προς τα δυτικά πάνω σε ένα σταθερό άξονα, ο οποίος είναι παράλληλος με το έδαφος. Η διαδικασία της περιστροφής γίνεται με την βοήθεια ενός μικρού κινητήρα ο οποίος κινεί έναν σωλήνα από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Ο άξονας του σωλήνα είναι τοποθετημένος στην γραμμή του βορρά - νότου. Η βέλτιστη γωνία εγκατάστασης είναι οι 30 μοίρες νότια του γεωγραφικού πλάτους για την παραγωγή της μεγαλύτερης ισχύος.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τεχνολογία παρακολούθησης	Οριζόντιος μονός άξονας παρακολούθησης
Τάση συστήματος	1000V / 1500V
Εύρος παρακολούθησης (Ανατολή προς Δύση)	$\pm 45^\circ / \pm 60^\circ$
Ταχύτητα ανέμου εργασίας	18 m / s (προσαρμόσιμο)
Μέγιστη. Ταχύτητα ανέμου (σε θέση Stow)	35 m / s (ASCE 7-10)
Ενότητες ανά Tracker	≤ 60 σε κατακόρυφο (προσαρμόσιμο)
Κύρια υλικά	HDG Q235B / Q355B / ZAM
Μέσο πάχος επίστρωσης	$\geq 65\mu\text{m}$
Σύστημα κίνησης	Slewing Drive
Τύπος ιδρύματος	PHC Pile / Beton / Steel Pile

2.2.2 Οριζόντια παρακολούθηση ενός άξονα με κεκλιμένες μονάδες

Η εγκατάσταση αυτού του είδους τις συναντάμε σε περιοχές που βρίσκονται 35 μοίρες βόρεια του επιθυμητού πλάτους. Η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι 20 μοίρες ώστε να επιτυγχάνετε η απόλυτη απόδοση ανάλογα με την θέση του ήλιου. Έχει καλύτερη δομική σχεδίαση και γέρνει νότια για να αποφευχθεί η αντίσταση στον αέρα και την σκίαση. Ο μηχανισμός του είναι ίδιος με την προηγούμενη περίπτωση με την διαφορά ότι εδώ έχουμε κεκλιμένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία .



Εικόνα 2.2: Οριζόντια μονοαξονική παρακολούθηση με κεκλιμένες μονάδες

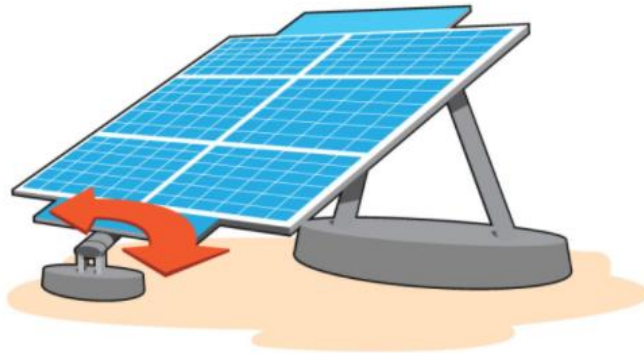
Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ακρίβεια παρακολούθησης(Έως 16m/s)	$\pm 5^\circ$
Εύρος θερμοκρασίας σχεδιασμού	- 40 ° C έως +70 ° C
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	- 30 ° C έως + 55 ° C
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου λειτουργίας	18m / s
Απόλυτη μέγιστη ταχύτητα ανέμου	37 m / s (σε οριζόντια θέση)

Περιοχή συστοιχίας	Έως 20 m ² / (μέγεθος πάνελ 1,65 m x 1 m)
Ωφέλιμο φορτίο	19 kg X 12 (μόνο ηλιακές μονάδες)
Περιοχή παρακολούθησης περιστροφής (EW)	45 ° από οριζόντια σε κατεύθυνση EW
Κλίση (γωνία προσανατολισμού N ή S)	20 °

2.2.3 Κατακόρυφη παρακολούθηση μονού άξονα

Οι συγκεκριμένοι ιχνηλάτες τοποθετούνται σε βορρά/νότο ή ανατολικό/δυτικό προσανατολισμό γιατί παρακολουθούν την πάνω-κάτω κίνηση του ήλιου στον ουρανό. Εγκαθίστανται κυρίως σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, ορεινές περιοχές ή σε περίεργα γεωγραφικά πλάτη.



Εικόνα 2.3: Μοναξονική κατακόρυφη παρακολούθηση.

Η ευθυγράμμιση τους δεν είναι παράλληλη με το έδαφος με αποτέλεσμα οι ιχνηλάτες να συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια όταν ο ήλιος είναι χαμηλότερα στον ουρανό. Αυτό γίνεται στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη μεταξύ των γωνιών 40° με 55°. Οι

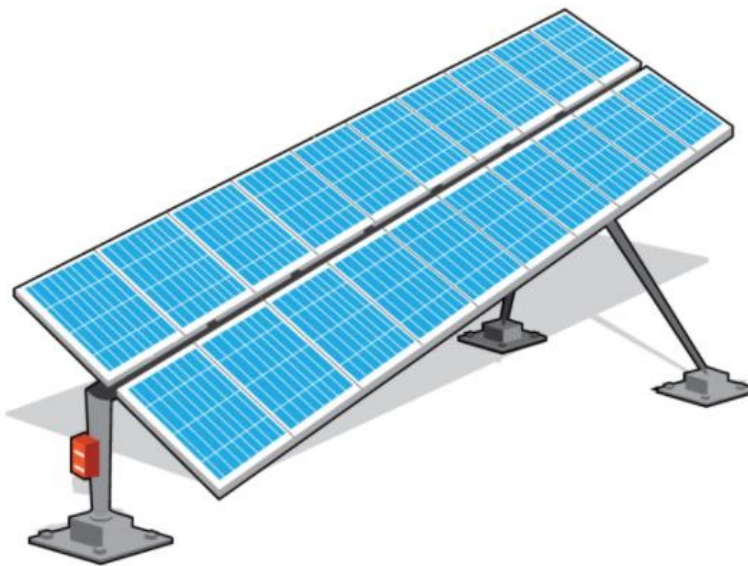
ιχνηλάτες αυτού του συστήματος περιστρέφονται από την ανατολή προς την δύση και μπορεί να αυξηθεί την παραγωγή ενέργειας κατά 30% σε σύγκριση με σταθερά συστήματα εγκατάστασης. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι έχουν μεγάλο όγκο και σε συστοιχία χρειάζονται μεγάλη απόσταση μεταξύ των συστημάτων ώστε να μην δημιουργείτε το πρόβλημα της σκίασης. Ο μηχανισμός αποτελείται από ηλεκτρικό κινητήρα συνδεδεμένο με κεντρικό άξονα περιστροφής στο κέντρο του συστήματος κάθετο στις βάσεις του.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Γωνία περιστροφής	-45° έως +45°
Υλικό κατασκευής	γαλβανικός χάλυβας
Αντίσταση ανέμου	40 m/s

2.2.4 Κλίση ενός άξονα

Οι ηλιακοί ιχνηλάτες που έχουν έναν άξονα περιστροφής ονομάζονται ανιχνευτές με κλίση ενός άξονα. Για να μειωθεί το προφίλ του ανέμου και να μειωθεί το ύψος του ανυψωμένου άκρου από το έδαφος περιορίζονται οι γωνίες κλίσης των ιχνηλατών. Συνήθως στους ιχνηλάτες με κλίση ενός άξονα έχουν το προσανατολισμό της μονάδας παράλληλα με τον άξονα περιστροφής.



Εικόνα 2.4: Κλίση ενός άξονα.

Οι ανιχνευτές με κλίση ενός άξονα στο μέλλον θα είναι όλο και πιο σημαντικοί διότι οι χρήστες ηλιακών συστημάτων ψάχνουν όλο και περισσότερους τρόπους ώστε να γίνουν πιο αποτελεσματικοί.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

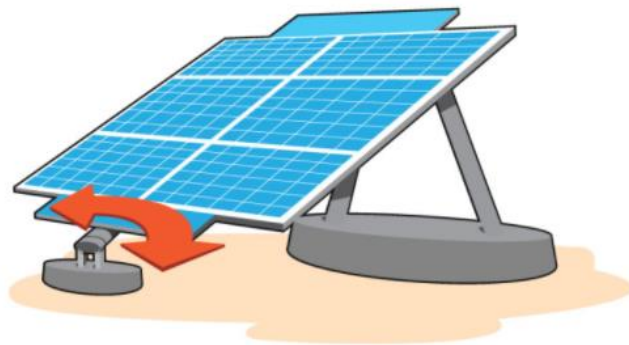
Τεχνικά δεδομένα του συστήματος	Τύπος	Μονός άξονας με κλίση (μη συνδεδεμένος)
	Χωρητικότητα μονής συστοιχίας (DC)	2KW ~ 7KW
	Αριθμός ενότητας (τεμ.)	10/12/14/16/18/20
	Μέγιστο σύστημα Τάση	1000V / 1500V
	Εύρος παρακολούθησης	$\pm 45^\circ$
	Αυξημένη ισχύς power σε σύγκριση με σταθερή κλίση)	10% ~ 25%
Μηχανικές παράμετροι	Τύπος κίνησης	Slew drive
	Υλικό κατασκευής	HDG
	Προσαρμογή κλίσης EW	$\leq 15^\circ$
	Δυνατότητα προσαρμογής κλίσης SN	$\leq 15^\circ$
	Διαστάσεις συστήματος (m ²)	20-44
	Τύπος ιδρύματος	Σκυρόδεμα στοίβας ή στοίβα

	Μέγιστη. Αντοχή στον άνεμο	40m / s (προσαρμόσιμο)
	Ασφαλές φορτίο ανέμου εργασίας	18μ / δ
Ηλεκτρικές παράμετροι	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος	110V / 220V / 380VAC
	Μοτέρ	29W 24VDC
	Συχνότητα	50 / 60Hz
	Οδήγηση ισχύος	100 ~ 200W
	Κατανάλωση ενέργειας	≤0.3kWh / ημέρα (≤3 ‰)
	Λειτουργία ελέγχου	Έλεγχος χρόνου κλειστού βρόχου
	Επιστροφή νύχτας	Ναι
	Πίσω παρακολούθηση	Ναι
	Θερμοκρασία εργασίας. εύρος	—25 °C ~ 65 °C
	Κατηγορία προστασίας	IP65
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	RS485 / Modbus	

2.2.5 Πολικό σύστημα παρακολούθησης

Το πολικό σύστημα έχει το άξονα περιστροφής τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Σε αυτόν τον τρόπο έχει παρατηρηθεί ότι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο κάθετο επίπεδο του συλλέκτη οι γωνίες επαφής κυμαίνονται από -23,5°εως +23,5°.

Η κύρια χρήση τους είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να φτάσει με και το 35% ανάλογα την εποχή του έτους. Η κατασκευή τους είναι πολύ απλή όπως και ο έλεγχος τους αλλά μειονεκτούν στους ισχυρούς ανέμους και για την προστασία τους χρησιμοποιούνται ισχυρά συστήματα πέδησης. Συνήθως η τοποθέτηση τους είναι σε τριγωνικό σχηματισμό ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος και το πρωί και το απόγευμα. Σε αρκετές περιπτώσεις για να αυξηθεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιούνται κάτοπτρα.



Εικόνα 2.4: Πολικό σύστημα παρακολούθησης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ακρίβεια παρακολούθησης (°)	$\leq 1^\circ$
δύναμη οδήγησης (W)	90W*2
Εύρος αζιμούθιου (°)	$-120^\circ \sim 120^\circ$
Υψηλό εύρος παρακολούθησης (°)	$30^\circ \sim 90^\circ$
Υλικό	hot dip zinc steel
Όριο αέρα	35 m/s
Κανονική ταχύτητα ανέμου	17 m/s
Μηχανική διάρκεια ζωής (Y)	> 25
Θερμοκρασία (°C)	$-25^\circ\text{C} \sim 65^\circ\text{C}$

2.3 Διαξονικό σύστημα κίνησης.

Σε αυτή την κατηγορία αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν όλες τις υπάρχουσες λύσεις για βάσεις Φωτοβολταϊκού δύο αξόνων (dual axis tracker). Η διαμόρφωση ενός ηλιακού ιχνηλάτη χαρακτηρίζεται κυρίως από τον τρόπο με τον οποίο τα εξαρτήματα είναι συναρμολογημένο καθώς και η διαφορετική τοποθέτηση κινητήρων πάνω στο

σύστημα. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα δούμε και θα αναλύσουμε μερικά από τα υπάρχοντα συστήματα της αγοράς.

2.3.1 Ιχνηλάτης διπλού άξονα SF

Μία από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές διπλού άξονα είναι και από τους πρώτους που κυκλοφόρησαν στην αγορά γνωστοί ως ιχνηλάτες διπλού άξονα SF, όπου αποτελείται από μία απλή κατασκευή με δύο κινητήρες και η εφαρμογή του χρησιμοποιείται σε αγροτεμάχιο μίας και πρόκειται για μία βαριά κατασκευή με το κέντρο βάρους να πέφτει στην κυλινδρική βάση του, πράγμα που στην στέγη η στην ταράτσα κτιρίου μια τέτοια κατασκευή θα επιφέρει μεγάλες τάσεις συγκεντρωμένες σε ένα σημείο.



Εικόνα 2.5: Ιχνηλάτης διπλού άξονα SF

Η μονάδα στήριξης αυτού του συστήματος αποτελείται από μία κυλινδρική βάση ύψους 1.8 m και διαμέτρου 30cm που είναι συνδεδεμένη στο έδαφος σε βάση από σκυρόδεμα με βέργες αγκύρωσης. Η σύνδεση μεταξύ των βάσεων γίνεται με μπουλόνια περιμετρικά την κυλινδρικής βάσης. Για την κίνηση χρησιμοποιείτε κινητήρας SO21 / 24 mini-stepper 5 V/ 0.625 A.

Για μικρό ελεγκτές όπου είναι απαραίτητοι για να ελέγχει την περιστροφή των κινητήρων DC χρησιμοποιούνται τύπου L293D. Για την περιστροφή του πάνελ

χρησιμοποιείται το σύστημα Tip-Tilt Dual Axis Trackers (TTDAT) , μία εφαρμογή που συναντάμε στις περισσότερες περιπτώσεις διαξονικών trackers , όπου αποτελείται από μία διάταξη τύπου (T) δηλαδή έναν κάθετο πόλο που είναι τοποθετημένο πάνω του ένα δεύτερο δοκάρι, η σύνδεση των δύο γίνεται με την μεσολάβηση ρουλεμάν όπου επιτρέπει να κινείται οριζόντια σε αζιμουθιακή γωνία γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Έπειτα για την αλλαγή την κλίσης υπάρχει ένας οριζόντιος άξονας ως προς το έδαφος.

Ο συνδυασμός αυτών των βαθμών ελευθερίας δίνει την δυνατότητα στον ιχνηλάτη να παρακολουθεί τον ήλιο καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Στην συνέχεια μετά το (TTDAT) ξεκινάει η επέκταση δύο αντηρίδων από χάλυβα υψηλής αντοχής με πάχος 3mm για την στήριξη του πλαισίου , όπου πάνω σε αυτό τοποθετείται το πάνελ . Στο μέσω του πλαισίου υπάρχει ο δεύτερος κινητήρας που αλλάζει την κλίσης του πάνελ με το σύστημα που αναφέραμε παραπάνω.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Εύρος Παρακολούθησης (E-W):	-120°, +120°
Εύρος Παρακολούθησης (S-N):	15° , 90°
Ακρίβεια Παρακολούθησης	≤ 0.5°
Μέγιστο ύψος συστήματος	5 m
Μήκος του πλαισίου του πάνελ	5.90m X 3.2m
Η χωρητικότητα πάνελ	12 Τεμ.
Μέγιστη αντοχή στον άνεμο	40 m/s
Ταχύτητα ανέμου εργασίας	50 km/h ή 14 m/s
Κατανάλωση ενέργειας	≈ 0,3 KWh /Day



Εικόνα 2.6: Ιχνηλάτης διπλού άξονα

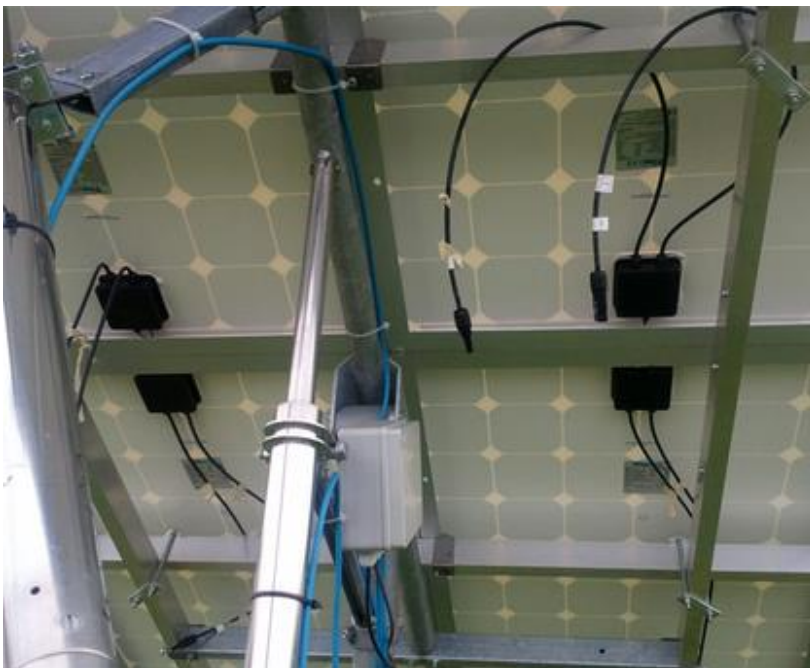
2.3.2 Solar tracker dual axis ST44M2V4P



Εικόνα 2.7: βάση δύο αξόνων

Η εταιρία **Sun Control** έχει φέρει στην αγορά μία βάση διπλού άξονα με οπίσθιο ηλεκτρικό σύστημα αλλαγής θέσης του πάνελ. Ποια συγκεκριμένα το σύστημα κίνησης αποτελείτε από την κεντρική κυλινδρική βάση με άρθρωση πάνω στον άξονα περιστροφής (X) ο οποίος αλλάζει θέση με την βοήθεια ενός γραμμικού ηλεκτρικού κινητήρα που. Για να καλύψει και την αλλαγή της κλίσης δηλαδή την ανύψωση του πάνελ χρησιμοποιεί το ίδιο σύστημα με μια ηλεκτρική μπουκάλα αυτή την φορά να είναι τοποθετημένη κάθετα στον άξονα περιστροφής (X), με αποτέλεσμα την αλλαγή την κλίσης στον άξονα (Y). Μετά την εξήγηση λειτουργίας θα αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά και κάποιες μηχανικές ικανότητες.

Το σύστημα αυτό διαθέτει σύστημα ηλιακής παρακολούθησης από δίκτυο καθώς υποστηρίζει σύνδεση με δορυφορικό σύστημα μέσω του “Helios analytics” για παρακολούθηση του ήλιου αυτόματα με βάση το γεωγραφικό πλάτος που είναι τοποθετημένο το σύστημα. Τέλος διαθέτει και ανιχνευτή σκίασης σε περίπτωση απόκλισης του δορυφορικού συστήματος.

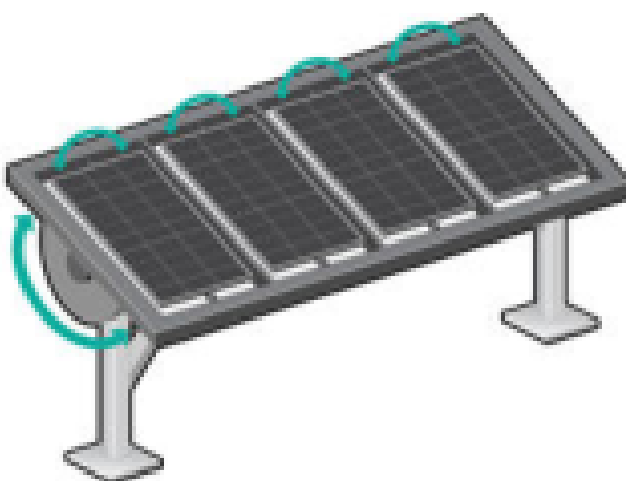


Εικόνα 2.8: Σύστημα κίνησης

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Εύρος Παρακολούθησης (E-W):	-100°, +100°
Εύρος Παρακολούθησης (S-N):	15°, 90°
Η χωρητικότητα πάνελ	4 Τεμ.
Μέγιστη αντοχή στον άνεμο	120 km / h.
Ταχύτητα ανέμου εργασίας	50 km/h
Ανοχή γραμμικών κινητήρων	510 mm

2.3.3 Ιχνηλάτης διπλού άξονα σε ένα πλαίσιο (tracker in a frame)



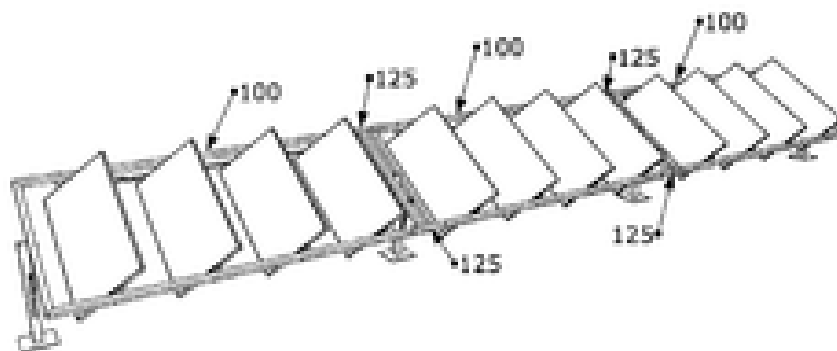
Εικόνα 2.9 :βάση δύο αξόνων σε ένα πλαίσιο

Αυτός ο τύπος tracker έχει ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό, δηλαδή είναι τοποθετημένα όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παράλληλα σε ένα πλαίσιο. Έχουμε μια συστοιχία από ένα πλήθος παράλληλων (PV πάνελ) . Τα πάνελ είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα εξωτερικό πλαίσιο που στηρίζεται όλο το πλήθος αυτών.

Ποιο συγκεκριμένα η μονάδα στήριξης του συστήματος αποτελείται από 2 δοκούς τύπου Η που συγκρατούν το εξωτερικό πλαίσιο με το οποίο είναι συνδεδεμένο με κεντρικό άξονα κάθετα στις βάσεις στήριξης , καθώς και με ηλεκτρικές μπουκάλες για αλλαγή κλίσης των πάνελ. Το σύστημα ηλιακής παρακολούθησης περιλαμβάνει ένα πρώτο πλήθος φωτοβολταϊκών ηλιακών συλλεκτών (Φ / Β πάνελ) διαμορφωμένων για λήψη ηλιακής ακτινοβολίας , μια άνω δοκό και μια άλλη κάτω δοκό που εκτείνονται

ουσιαστικά παράλληλα μεταξύ τους , και μεταξύ των οποίων η πρώτη συστοιχία των φωτοβολταϊκών πλαισίων συναρμολογούνται περιστροφικά γύρω από άξονες X που είναι ουσιαστικά παράλληλοι μεταξύ τους , και διαμορφωμένη έτσι ώστε να είναι κάθετη προς την ηλιακή ακτινοβολία.

Τα εσωτερικά πάνελ είναι πακτωμένα-σταθερά στην άνω δοκό του εξωτερικού πλαισίου που τα συγκρατεί , σε αντίθεση με την κάτω δοκό που οι άξονες των κάθε πάνελ είναι συνδεδεμένες με ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης (καδένας) και έναν κινητήρα ανά συστοιχία τεσσάρων πάνελ όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.5. Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει 2 τύπους κινητήρων έναν για την περιστροφή των κάθε πάνελ στον άξονα X μεταξύ μιας ανατολικής θέσης και μιας δυτικής θέσης ώστε να παρακολουθεί την θέση του ήλιου σε καθημερινή βάση. Και έναν δεύτερο κινητήρα διαμορφωμένο για την αλλαγή κλίσης του εξωτερικού πλαισίου στον άξονα Y αλλάζοντας θέση στην άνω και την κάτω δοκό , μεταξύ μιας βόρειας και μίας νότιας θέσης για εποχική παρακολούθηση του ήλιου. Η κίνηση αυτή γίνεται με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα που κινεί μπουκάλες και ο βαθμός ελευθερίας κυμαίνεται από 15°-90°.



Εικόνα 2.10: Διάταξη συστήματος

Περαιτέρω, κάθε φωτοβολταϊκός πίνακας στο πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να διαχωρίζεται σε απόσταση από γειτονικά φωτοβολταϊκά πάνελ επαρκή για να ελαχιστοποιείται η σκίαση από κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ από και πάνω στα γειτονικά φωτοβολταϊκά πάνελ. Οποιαδήποτε απομένουσα πιθανή σκίαση μεταξύ των πάνελ εξαλείφεται μέσω του μηχανισμού ελέγχου , περιστρέφοντας τα πάνελ προς

την αντίθετη κατεύθυνση που ο ήλιος κινείται το πρωί μετά την ανατολή και το βράδυ πριν από το δύση του ηλίου.

2.3.4 Ιχνηλάτης διπλού άξονα (TTDAT)



Εικόνα 2.11: Ιχνηλάτης διπλού άξονα.

Ο συγκεκριμένος τύπος ιχνηλάτη είναι βαρέως τύπου ιδανικό για αγροτεμάχια αφού αποτελεί μια βαριά κατασκευή. Ο σχεδιασμός του αποτελείται από μια κυλινδρική βάση από γαλβανισμένο χάλυβα με θερμική εμβάπτιση η οποία είναι συνδεδεμένη στο έδαφος με οπλισμένο σκυρόδεμα , η οποία στηρίζει δύο συναρμολογούμενα επίπεδα πλαίσια όπου πάνω στα πλαίσια υπάρχουν τα φ/β πάνελ. Διαθέτη τεχνολογία παρακολούθησης από προγραμματισμένο ελεγκτή (PLC) αστρονομικού προγράμματος καθώς και αισθητήρα φωτός για μεγαλύτερη ακρίβεια. Διαθέτει επίσης αισθητήρα ανέμου όπου για ριπές ανέμου μεγαλύτερες από 27 m/s το σύστημα έρχεται σε οριζόντια θέση για την ασφάλεια του. Η κίνηση του συστήματος γίνεται χάρη σε δύο ηλεκτροκινητήρες ισχύς 90W. Για την περιστροφή του συστήματος οφείλεται ένα μηχανικό ρουλεμάν για αξιμούθιο και κατακόρυφη παρακολούθηση που ενεργοποιείται

από μειωτήρα πλανητικών γραναζιών. Στην κορυφή του περιστρεφόμενου εδράνου υπάρχει ένας μηχανισμός σχήματος T ή H που παρέχει κάθετη περιστροφή των πλαισίων και παρέχει τα κύρια σημεία στήριξης για τη συστοιχία, για την αλλαγή κλίσης του συστήματος.



Εικόνα 2.12: Ιχνηλάτης διπλού άξονα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά :

Ισχύς ιχνηλάτη	20 kW
Σύνολο Φωτοβολταϊκών πάνελ	30+30 (σε κάθε πλευρά)
Διαστάσεις των πάνελ	Τυπικό πάνελ (1580*808 mm)
Αξιμουθιακή γωνία περιστροφής	-120° με 120°
Κατακόρυφη αλλαγή κλίσης	30° με 90°
Κατανάλωση συστήματος	0,5 kWh/ ημέρα
Θερμοκρασία εργασίας	-25 °C έως 65 °C.

2.3.5 Ιχνηλάτης διπλού άξονα All Earth L20



Εικόνα 2.13: Ιχνηλάτης διπλού άξονα all earth L20.

Η εταιρία **AllEarth Renewables** , ένας κατασκευαστής ηλιακών ανιχνευτών διπλού άξονα με έδρα τις ΗΠΑ , έχει εφαρμόσει έναν νέο ηλιακό ιχνηλάτη L20 σχεδιασμένο για 20 φωτοβολταϊκές μονάδες των 72 κυψελών υψηλότερης ισχύος δηλαδή (τα πάνελ 72 κυψελών αυξάνουν την παραγωγή με 10% περισσότερη ενέργεια watt ανά tracker) , αυξάνοντας το πλεονέκτημα του ιχνηλάτη , μειώνοντας παράλληλα το κόστος χρήσης υλικού για περισσότερα πάνελ.

Χρησιμοποιεί μικροεπεξεργαστή GPS και σύστημα αισθητήρων σκίασης για τον κατάλληλο προσανατολισμό. Επίσης αυξάνει το ύψος του πλαισίου από το έδαφος για μείωση σκιάσεων. Διαθέτει ακόμα λειτουργία χιονιού , δηλαδή το σύστημα θα κινηθεί τη νύχτα για να αποφευχθεί η έντονη συσσώρευση και να διασκορπιστεί τυχόν συσσώρευση χιονιού. Τα υλικά της κατασκευής είναι από γαλβανισμένο χάλυβα για μεγάλη αντοχή στις τάσεις που δέχεται αλλά και αντοχή στα καιρικά φαινόμενα. Η μέγιστη αντοχή του συστήματος στον άνεμο είναι 193 km/h , διαθέτει όμως αισθητήρα

αέρα και παραμένει σταθερό στα 48,3 km/h καθώς και σε θερμοκρασίες μικρότερες των (-18 °C).

Διάταξη και κίνηση: Το σύστημα αποτελείται από μια απλή διάταξη ξεκινώντας με την κυλινδρική βάση της δομής όπου είναι συνδεδεμένη στο έδαφος από σκυρόδεμα ύψους 1,5 μέτρα και η συνδεσμολογία γίνεται με μπουλόνια περιμετρικά της κυλινδρικής βάσης. Η βάση είναι συνδεδεμένη με την βοήθεια μίας κάθετης χαλύβδινης δοκού του συγκρατεί το πλαίσιο των πάνελ , στην δεξιά πλευρά και στην κορυφή του πλαισίου βρίσκονται οι ανιχνευτές σκίασης. Η κίνηση του συστήματος τροφοδοτείται με ηλεκτροκινητήρα DC και υδραυλική μονάδα ισχύος .Όλες οι κινήσεις γίνονται με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα και σύστημα γραναζιών για την μετάδοση κίνησης. Και για την αλλαγή κλίσης χρησιμοποιείται υδραυλικός κύλινδρος με μονάδας ισχύος 180 watt. Η ετήσια κατανάλωση ισχύος είναι μικρότερη από το 1% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας του συστήματος.



Εικόνα 2.14: Σύστημα κίνησης ιχνηλάτη διπλού άξονα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Εύρος παρακολούθησης (ανατολή-δύση)	(0°-360°)
Εύρος παρακολούθησης (βοράς – νότος)	(0°-60°)

Περιοχή κάλυψης συστήματος	127 m ² ανά tracker
Μέγιστο ύψος	5,1 m
Ύψος σε επίπεδη κλίση	3 m
Συνολικό μήκος	7,6 m
Συνολικό βάρος κατασκευής	1315 kg
Ταχύτητα ανέμου Λειτουργίας	48,3 km/h

2.4 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα βγήκαν με την ανάλυση που έγινε στην παγκόσμια αγορά των Tracker μεταξύ (μονό αξονικών – διαξονικών συστημάτων) είναι αρχικά ότι σε μια ορισμένη έκταση εγκατάστασης Tracker τα μονοαξονικά υποστηρίζουν μεγαλύτερο πλήθος Φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με τα διαξονικά συστήματα.

Αυτό μεταφράζεται ότι οι μονοαξονικοί Trackers έχουν μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ στον ίδιο χώρο, λόγω του απλούστερου μηχανισμού περιστροφής – αλλαγής κλίσης, φθηνότερη συντήρηση και τέλος φθηνότερη προμήθεια και εγκατάσταση σε σχέση με τους διαξονικούς Trackers.

Η ανάγκη όμως για διαξονικά συστήματα δημιουργήθηκε για εγκαταστάσεις με περιορισμένο χώρο και σκίαση από διπλανά κτίρια ή δέντρα. Χώροι όπως ταράτσες κτιρίων, βιομηχανικές στέγες, μικρά αγροτεμάχια είναι ιδανικοί για διαξονικά συστήματα, μιας και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στηρίζονται σε ένα σύστημα βάσης το οποίο καταλαμβάνει μικρή έκταση αλλά μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο πλήθος πανέλων.

Τέλος για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θα χρειαστεί πέρα από τον χωροταξικό παράγοντα να ληφθεί υπόψιν και η εγκατεστημένη ισχύ που θα έχει ανάγκη ο ανάδοχος, μιας και το κάθε σύστημα που αναφέραμε αποδίδει διαφορετικά σε κάθε περίπτωση.

3. Παρουσίαση πρωτότυπης ιδέας «Διαξονική περιστρεφόμενη βάση φωτοβολταϊκού πλαισίου (Tracker)»



3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Στο κεφάλαιο αυτής της πτυχιακής εργασίας θα σχεδιαστεί ένας διαξονικός ιχνηλάτης επίπεδης οροφής ή αλλιώς (βιομηχανικής οροφής) , όπου θα περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο όσο και τον οριζόντιο άξονα, για την καλύτερη δέσμευση ηλιακής ενέργειας όπως αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Στο σύστημα τοποθετήθηκε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ τυπικών διαστάσεων (1710 X 998) σε χιλιοστά (mm) όπου οι βαθμοί ελευθερίας θα είναι, για αζιμούθια γωνία ($\pm 120^\circ$) (E/W) και (0° έως 83°) για ζενίθια γωνία (N/E).

Οι βασικές διαστάσεις του ιχνηλάτη μας παρουσιάστηκαν παρακάτω με τις κατάλληλες λεπτομέρειες, καθώς και τα βήματα που ακολουθήσαμε για τα δεδομένα και την κατασκευή.

Προτού παρουσιαστούν τις λεπτομέρειες και τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την μέτρηση, την διαστασιολόγηση και την σχεδίαση του ιχνηλάτη, παρουσιάστηκε η ιδέα μας καθώς και τις ικανότητες του συστήματος και τι το κάνει ξεχωριστό σε σχέση με τα προαναφερόμενα υπάρχοντα συστήματα φωτοβολταϊκών.

Αρχικά παρατηρήθηκε ότι οι ενεργειακές ανάγκες στοχεύουν όλο και περισσότερο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποβάλλοντας τα ορυκτά και υγρά καύσιμα. Η παγκόσμια αγορά ηλιακής ενέργειας φαίνεται να έχει δώσει το ενδιαφέρον

της σε σταθερά Φωτοβολταϊκά στέγης, καθώς έχουν χαμηλό βάρος, μικρή επιφάνεια που δέχονται φορτίσεις και μικρότερο κόστος σε σχέση με τις κινούμενες βάσεις.

Σε συσχέτιση όμως με την παραπάνω ερευνα «υπάρχουσες λύσεις», παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μεγάλη έλλειψη της αγοράς στους ιχνηλάτες διπλού άξονα που είναι τοποθετημένοι στον τελευταίο όροφο κτηρίων με εξαίρεση μια εταιρία ονόματος (PV BOOSTER) που εξειδικεύεται σε τέτοια συστήματα. Η κατάσταση δικαιολογείται καθώς σε μία τέτοια κατασκευή υπάρχουν αυξημένα φορτία λόγω βάρους, μεγάλο όγκο κατασκευής και μεγάλα φορτία από τις αυξημένες ριπές ανέμων, οπότε τα συστήματα αυτά έχουν περιοριστεί στην επίγεια τοποθέτηση.

Μεταξύ άλλων προβλημάτων, αυτό μειώνει σημαντικά τις ευκαιρίες ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων σε αστικές περιοχές. Για τον λόγο αυτό βρέθηκε το κίνητρο και την ανάγκη της δημιουργίας ενός διαξονικού ιχνηλάτη όπου θα τοποθετείται είτε μεμονωμένα είτε σε συστοιχία σε μεγάλες εκτάσεις βιομηχανικής στέγης ή ακόμα και σε ειδικές κατασκευές σε λεωφόρους για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων είτε σε στέγαστρα χώρου πάρκινγκ αυτοκινήτων και την κάλυψη ενεργειακών αναγκών.

Πριν ξεκινήσει η ανάλυση είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η κατασκευή είναι ένας συνδυασμός από διάφορα συστήματα στέγης ώστε να συνδυαστούν όλα τα θετικά χαρακτηριστικά των υπαρχουσών κατασκευών και να φτάσουν σε ένα ικανοποιητικό σύνολο.

Το πρωτότυπο στην συγκεκριμένη κατασκευή είναι το χαμηλό βάρος και η κατανομή του βάρους αυτού στην επιφάνεια τοποθέτησης, καθώς και η μικρή επιφάνεια για την πρόσπτωση του ανέμου σε αυτή. Όπως σε ένα σύστημα διαξονικού ιχνηλάτη στο έδαφος απαιτείται η στήριξη σε μια βάση που έχει ως αποτέλεσμα την φόρτιση όλου του βάρους σε ένα μόνο σημείο, δηλαδή κατακόρυφο άξονα, πράγμα που σημαίνει ότι σε μία στέγη, πόσο μάλλον όταν μιλάμε για βιομηχανική είναι ακατόρθωτο η καταστροφικό. Επομένως το σύστημα θα στηρίζεται σε 5 διαφορετικά σημεία ώστε να υπάρχει διαμοιρασμός της φόρτισης από το σύστημα προς την στέγη.

Επίσης το σύστημα θα βρίσκεται σε ελάχιστο ύψος από την οροφή, σε απόσταση σχεδόν αυτή των σταθερών Φ/Β. Επομένως θα αποτελεί ένα χαμηλού προφίλ ιχνηλάτη ακόμα και σε πλήρη έκταση του πάνελ το ύψος θα είναι χαμηλό, αλλά αρκετό ώστε να λαμβάνει την επιθυμητή ηλιακή ενέργεια αλλά και την ευελιξία στις κινήσεις του

ιχνηλάτη μας. Το χαμηλό προφίλ βοηθάει στην προστασία του συστήματος από δυνατούς ανέμους, αλλά και η στιβαρότητας της και τα 5 σημεία στήριξης αποδεικνύουν ότι πρόκειται για μια στιβαρή κατασκευή που αντέχει τους δυνατούς ανέμους. Ένα ακόμα θετικό χαρακτηριστικό του χαμηλού ύψους του συστήματος είναι η μικρή σκίασης σε διπλανά φωτοβολταϊκά, ένας σημαντικός παράγοντας για φωτοβολταϊκά σε συστοιχία.

Για την μέγιστη ασφάλεια του συστήματος, μελετήθηκε ότι με την τοποθέτηση ενός κεντρικού αισθητήρα ανέμου, μετά το επιτρεπτό όριο (πάνω από 50 km/h) το σύστημα θα πέφτει σε θέση αποθήκευσης για την ασφάλεια του. Την ίδια θέση θα παίρνει και μετά το πέρας του τελευταίου φωτός της ημέρας έως το πρώτο φως, για την ασφάλεια και για το καλιμπράρισμα του συστήματος κίνησης.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό της κατασκευής είναι το χαμηλό ποσοστό υλικών μειώνοντας έτσι και το βάρος αλλά και το κόστος της εγκατάστασης. Το μεγαλύτερο ποσοστό του σκελετού θα αποτελείται από αλουμίνιο και χάλυβα με κάποια βασικά κομμάτια ανοξείδωτο ατσάλι που χρειαζόμαστε υλικά μεγαλύτερης αντοχής. Ένα ακόμα ξεχωριστό χαρακτηριστικό του ιχνηλάτη σε σχέση με τα προαναφερόμενα συστήματα, είναι η κίνηση του καθώς ο μηχανισμός θα περιστρέφει το πάνελ από το πίσω άκρο σε αντίθεση με την περιστροφή από το κέντρο που έχουμε συνηθίσει, σχεδιάστηκε λοιπόν ένα στεφάνι στην διάμετρο του πλαισίου του πάνελ όπου το τοποθετούμε στο σύστημα και μας δίνει την περιστροφική κίνηση του πάνελ. Η στεφάνι θα περιστρέφεται όντας πακτωμένη στο κάτω μέρος του ιχνηλάτη με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα, που με την περιστροφή ράουλων που θα είναι σε επαφή με το στεφάνι θα παρασύρουν κατ' επέκταση και το σύστημα.

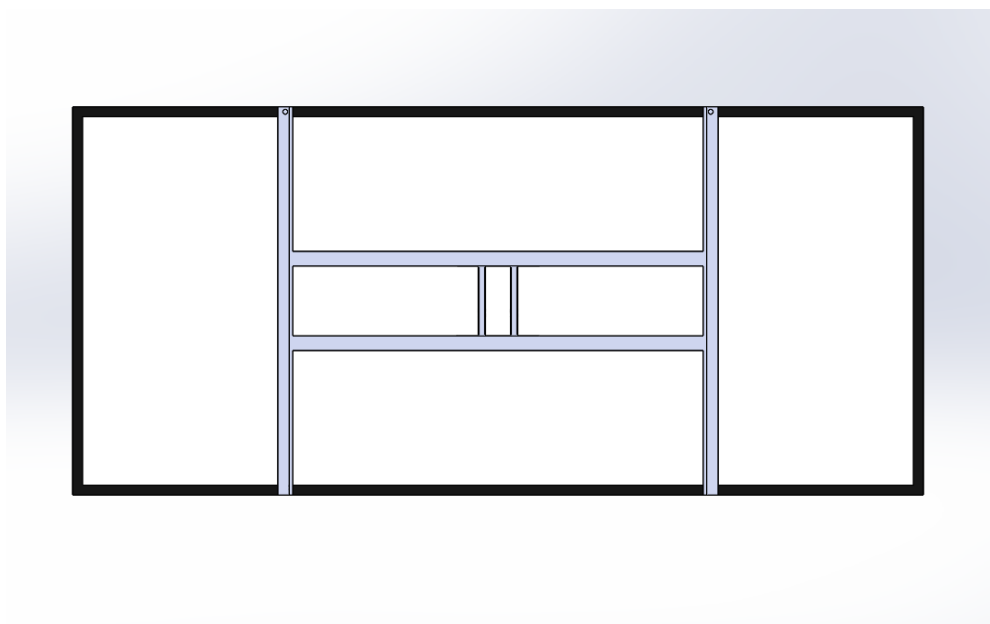
Ο προγραμματισμός για την περιστροφή αλλά και την αλλαγή κλίσης θα γίνεται ή με την χρήση αισθητήρα φωτός που θα δίνει εντολή στο εγκέφαλο του κινητήρα για την κατάλληλη κίνηση, είτε με τον προγραμματισμό του κινητήρα με την χρήση κώδικα όπου για κάθε λεπτό κάθε μέρα και μήνα το σύστημα θα ακολουθεί πλήρως τον ήλιο αυτόματα. Για την καλύτερη και πιο ακριβής παρακολούθηση του ήλιου στην περίπτωση που έχουμε διάταξη πολλών συστημάτων σε μία στέγη, θα ήταν σωστό το κάθε σύστημα μεμονωμένα να κινούταν ανεξάρτητα, έτσι ώστε το κάθε πάνελ να διατηρεί την βέλτιστη θέση για τη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αντί να ελέγχεται κεντρικά η κίνηση όλων των πάνελ.

3.2 Σχεδίαση του Μοντέλου

- Η σχεδίαση του συστήματος είναι ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα της παρούσας εργασίας καθώς όλες οι αναλύσεις είναι βασισμένες στον σχεδιασμό. Για αυτό λοιπόν σχεδιάστηκε με κάθε λεπτομέρεια και με όσων των δυνατών μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται προς την πραγματικότητα. Το να σχεδιάζεται ένας διαξονικός ιχνηλάτης οροφής από το μηδέν είναι πολύ δύσκολο και χρονοβόρο καθώς πρέπει να απεικονιστεί η γεωμετρία των κομματιών στην πραγματικότητα. Για αυτόν τον λόγο κρίθηκε αναγκαίο να ανατρέξουμε σε τεχνικά φυλλάδια για την λήψη πραγματικών διαστάσεων καθώς και στην αυτοψία ορισμένων ιχνηλατών με την χρήση παχύτερου και μετροταινίας λαμβάνοντας έτσι τα δεδομένα ώστε να προσχωρήσουμε στην διαστασιολόγηση των κομματιών.
- Έπειτα από επάλληλες μετρήσεις και συγκρίσεις κατασκευάστηκε ένα φυλλάδιο με τα γεωμετρικά στοιχεία της κατασκευής, όπου αναγράφονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα για τον σωστό σχεδιασμό του πρωτότυπου συστήματος οροφής.
- Στην συνέχεια λήφθηκαν υπόψιν τα δεδομένα και προχώρησε ο σχεδιασμός του κάθε κομματιού ξεχωριστά στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Solid Works. Όπου και κρατήθηκαν εικόνες κατά τον σχεδιασμό για την λεπτομερή παρουσίαση του κάθε κομματιού ξεχωριστά.
- Στο επόμενο βήμα συναρμολογήθηκαν ορισμένα κομμάτια με κοχλίες και πιθανές συνδέσεις – συγκολλήσεις. Έτσι ώστε να γίνουν πιο φανερά τα τμήματα της κατασκευής.
- Τέλος όλα τα τμήματα της κατασκευής συνδέονται με την βοήθεια συναρμολόγησης (Assembly) του σχεδιαστικού προγράμματος. Οι φωτογραφίες του ολοκληρωμένου σχεδίου παρουσιάζονται στο τέλος του κεφαλαίου.

3.3 Παρουσίαση των μελών την κατασκευής καθώς και η διαστασιολόγηση αυτών.

Σχέδιο (No 1) : Βάση Φωτοβολταϊκού πάνελ



Σχέδιο 3.1

Βάση του Φ/Β πάνελ κατασκευασμένη από κράμα αλουμινίου (AI 6005T6) , υψηλής αντοχής μετάλλου. Σε μία διάταξη τύπου (H) , όπου συνδέεται πάνω σε αυτή το φωτοβολταϊκό πάνελ με 4 συνδέσεις κοχλιών στα άκρα την βάσης , και στο κέντρο αυτής συνδέονται οι 2 αντηρίδες στήριξης του συστήματος , όπου βοηθούν το σύστημα να αλλάζει κλίση ανάλογα τις ανάγκες δέσμευσης ηλιακής ενέργειας.

Η βάση αυτή χάρη στο μικρό πάχος της καθιστάτε μία ελαφριά κατασκευή καθώς το φορτίο που αναπτύσσεται σε αυτή είναι μικρότερο σε σχέση με τα άλλα μέρη της κατασκευής μας. Οπότε εκμεταλλεύτηκε το γεγονός αυτό για την δημιουργία μιας λεπτής διατομής.

Το φωτοβολταϊκό πάνελ που στηρίζει το σύστημα είναι εμπορείου το οποίο μπορεί να έχει διαστάσεις από 1600 X 780 (mm) έως 1900 X 1000 (mm) στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι διαστάσεις (1710 X 998 X 35) mm για τις ανάγκες της στατικής ανάλυσης.

Διαστασιολόγηση:

Χαρακτηρισμός :

Βάση Φ/Β Πάνελ

Διαστάσεις:

825X780X30

Φ.10 (X4 Οπές)

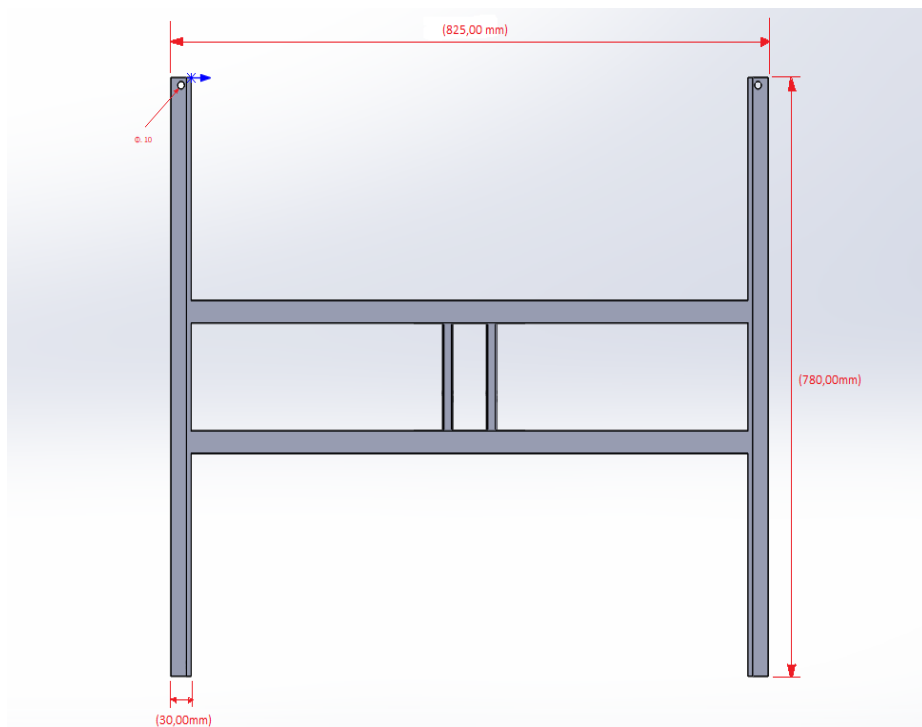
Τύπος Υλικού:

(ΑΙ6005Τ6)

Βάρος:

5,6 kg

Τεμάγια: (1)



Σχήμα 3.2

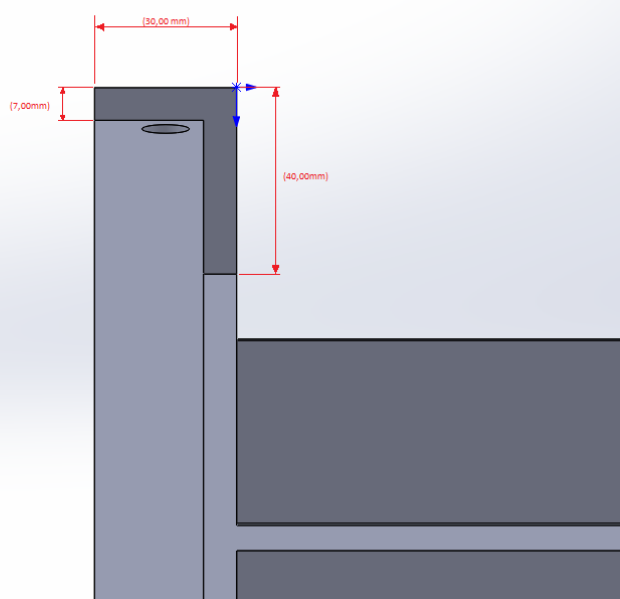
Χαρακτηρισμός:

Διατομή Βάσης

Φ/Β Πάνελ

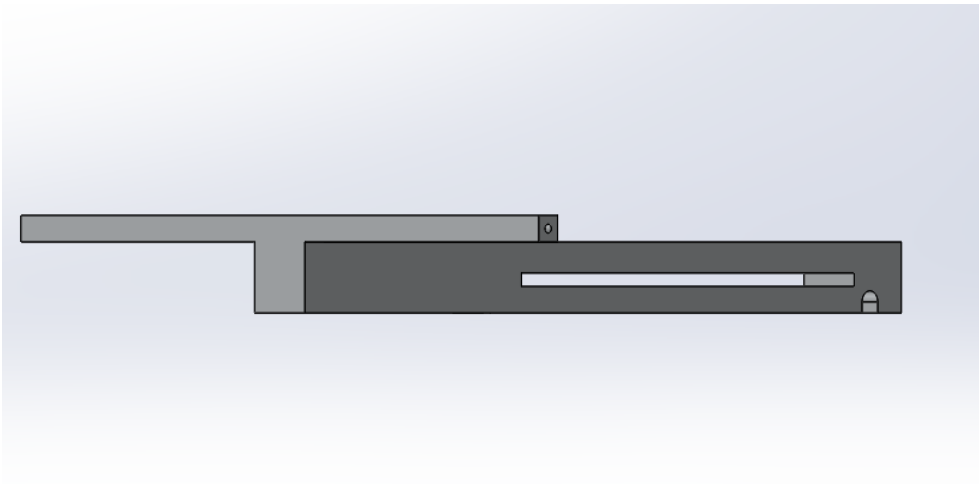
Διαστάσεις:

30X40 , t=7mm



Σχήμα 3.3

Σχέδιο (No 2) : Περιστρεφόμενη βάση διάταξης (T)



Σχέδιο 3.4

Η περιστρεφόμενη βάση διάταξης (T) αποτελεί την βασική στήριξη του Φ/Β πάνελ καθώς και την βάση του, από το μπροστά μέρος όπου γίνεται η συνδεσμολογία με κοχλίες στα δύο άκρα της, αλλά και με την βοήθεια των αντηρίδων στήριξης που γίνετε στο επόμενο σχέδιο. Όλες οι κινήσεις του συστήματος οφείλονται στο κομμάτι αυτό του σχεδίου που αναλύθηκε, πράγμα που το καθιστά ως το βασικότερο μέρος της κατασκευής αλλά ταυτόχρονα ο περιορισμός όλων των ηλεκτρικών συστημάτων κίνησης σε ένα μόνο κομμάτι.

Στην οριζόντια δοκό της βάσης υπάρχει μια τομή, δηλαδή ο οδηγός που βοηθάει στην αλλαγή κλίσης του συστήματος.

Η κίνηση αυτή θα οφείλεται στον ηλεκτρικό μηχανισμό που θα διαθέτει το σύστημα . Επίσης στη μέση της οριζόντιας δοκού υπάρχει μια οπή με την οποία γίνεται η σύνδεση με μία άλλη δοκό και έναν δεύτερο μηχανισμό ρουλεμάν που θα βοηθάει στην περιστροφή του συστήματος. Τέλος στο πίσω μέρος της οριζόντιας δοκού υπάρχει μια

τελευταία οπή από την οποία θα περνάει το στεφάνι περιστροφής για την σταθερή κύλιση πάνω σε αυτό.

Το υλικό της περιστρεφόμενης βάσης αποτελείται από ανοξείδωτο ατσάλι , ένα κράμα σιδήρου-άνθρακα-χρωμίου , για την καλύτερη αντοχή στην καταπόνηση αλλά και στην διάβρωση του.

Διαστασιολόγηση :

Χαρακτηρισμός:

Περιστρεφόμενη βάση διάταξης (T).

Διαστάσεις:

1028 X 825 ,t1=80mm

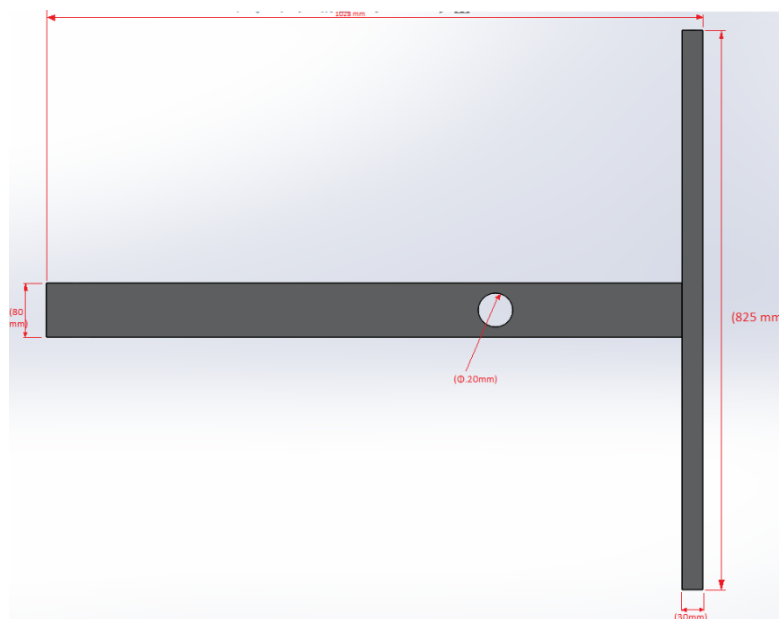
t2=30mm

Τύπος υλικού:

Ανοξείδωτος χάλυβας (steel)

Βάρος:

9.0 kg



Σχέδιο 3.5

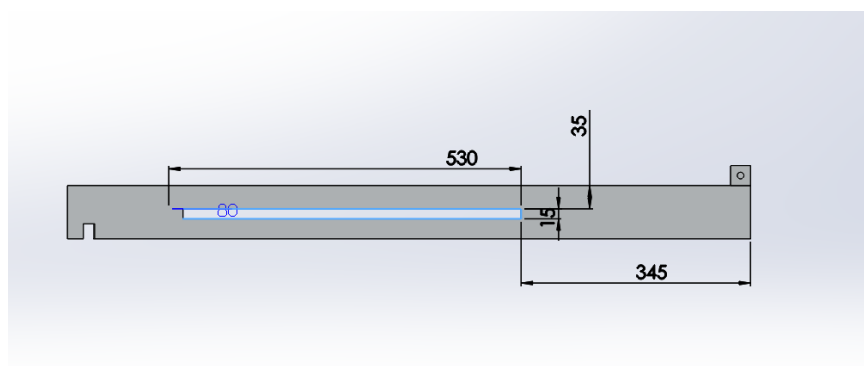
Διαστασιολόγηση:

Χαρακτηρισμός :

Περιστρεφόμενη βάση (πλάγια όψη)

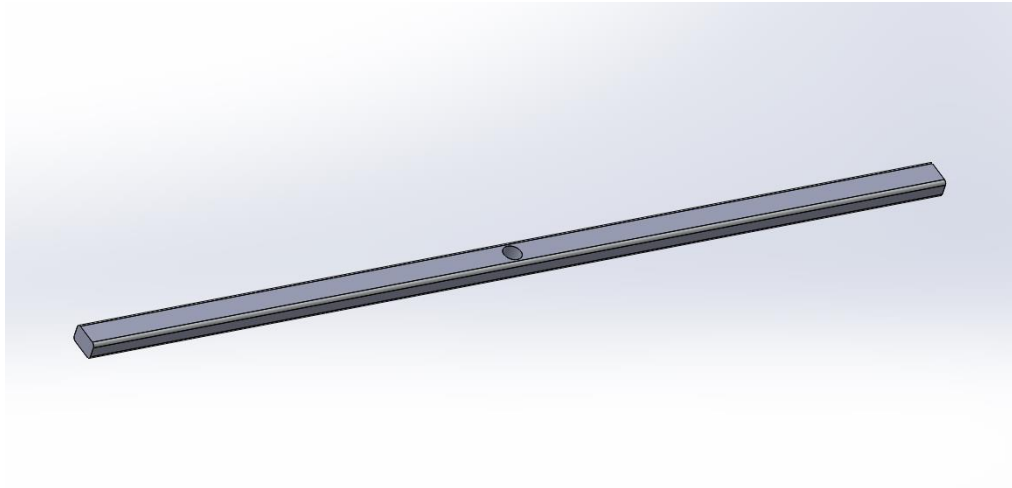
Διαστάσεις :

Οδηγός αλλαγής κλίσης (530X15)



Σχέδιο 3.6

Σχέδιο (No 03): Δοκός Βάσης



Σχέδιο 3.7

Η λειτουργία της δοκού αυτής είναι η βασική στήριξη του συστήματος σε κάθετη θέση με την περιστρεφόμενη βάση.

Η δοκός στο κέντρο της έχει μια οπή το μέγεθος της οποίας είναι ίδιο με την οπή της περιστρεφόμενης βάσης, όπου και συνδέονται με ένα μεταλλικό κυλινδρικό κομμάτι με ρουλεμάν για την περιστροφή του. Η δοκός είναι σταθερή στο έδαφος, όπου η στήριξη της βάσης γίνεται πάνω στην επιφάνεια της στέγης ή στην οποιαδήποτε επιφάνεια στήριξης του tracker, με την χρήση γωνιών και κοχλιών.

Η δοκός μπορεί να είναι κοινή σε περίπτωση που υπάρχει διάταξη από πολλά tracker στην σειρά, καθώς μπορούν να στηρίζονται όλα τα συστήματα στην ίδια δική της κάθε σειράς.

Το υλικό της δοκού είναι από ανοξείδωτο ατσάλι μιας και είναι εκτεθειμένο σε διαβρωτικά στοιχεία.

Διαστασιολόγηση:

Χαρακτηρισμός :

Δοκός Βάσης

Διαστάσεις:

2500X80X50

Φ.50mm (X1 Οπή)

Τύπος Υλικού:

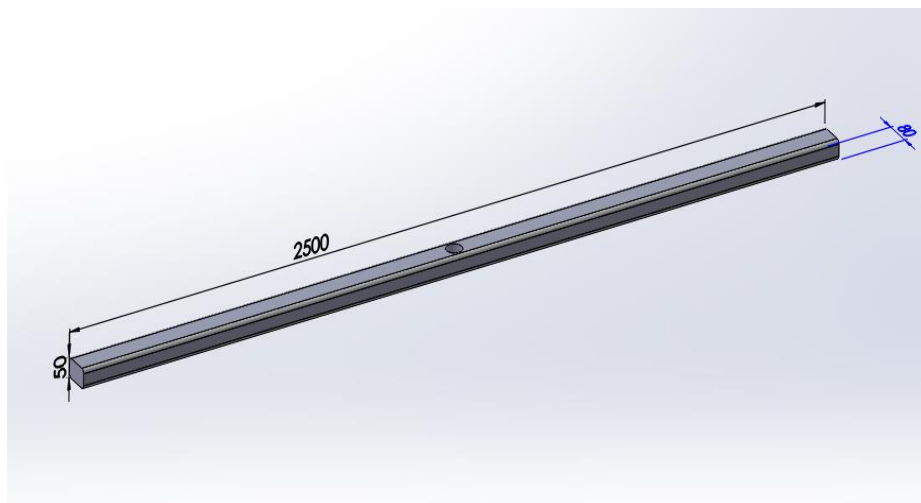
Ανοξείδωτος

χάλυβας (steel)

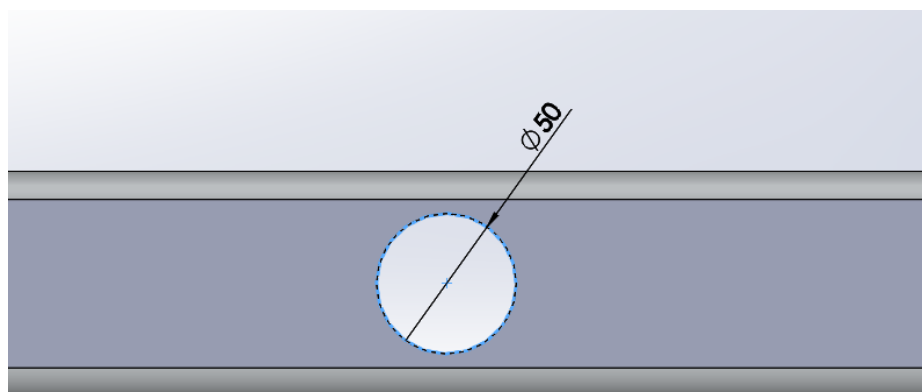
Βάρος:

5 kg

Τεμάγια: (1)



Σχέδιο 3.8



Σχέδιο 3.9

Σχέδιο (No 04): Αντηρίδα αλλαγής κλίσης



Σχέδιο 3.10

Η αντηρίδα αλλαγής κλίσης αλλά και στήριξης παράλληλα αποτελείται από δύο τεμάχια και είναι αυτά που συνδέουν την βάση του πάνελ με την περιστρεφόμενη βάση. Αυτές οφείλονται για την αλλαγή της κλίσης του πάνελ σε συνδυασμό με τον «οδηγό» που υπάρχει στην περιστρεφόμενη βάση. Η κίνηση γίνεται μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα συνδεδεμένου με την βάση περιστροφής.

Το υλικό της αντηρίδας είναι από χάλυβα υψηλής αντοχής καθώς στα κομμάτια αυτά αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις. Για την αποφυγή διάβρωσης επιλέχθηκε κατάλληλη αντιδιαβρωτική βαφή ανάλογα με την περιοχή C3 (Για αστικό και βιομηχανικό περιβάλλον με μέτρια επίπεδα διοξειδίου του θείου, και παράκτιες περιοχές με χαμηλά επίπεδα αλάτων) C4 (Βιομηχανικές και παραθαλάσσιες περιοχές με μέτρια επίπεδα υγρασίας και χημικά επιθετική ατμόσφαιρα).

Διαστασιολόγηση:

Χαρακτηρισμός :

Αντηρίδα Αλλαγής

Κλίσης

Διαστάσεις:

480X10

Φ.15mm (X2 Οπές)

Τύπος Υλικού:

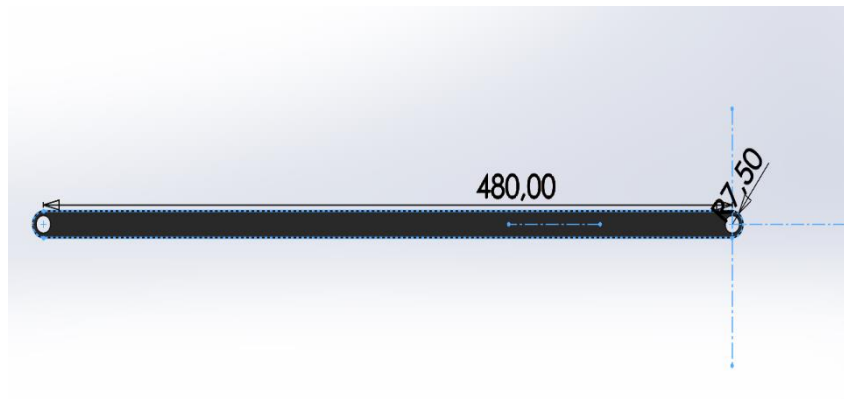
Ανοξείδωτος

χάλυβας (steel)

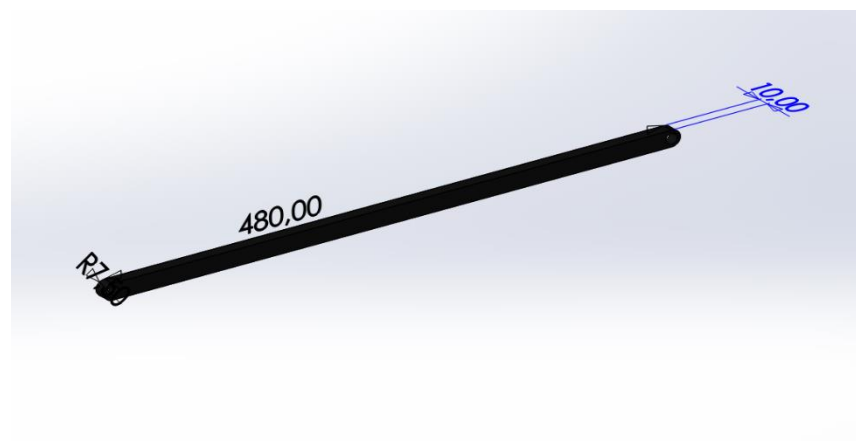
Βάρος ανά τεμ.:

1,8 kg

Τεμάγια: (2)

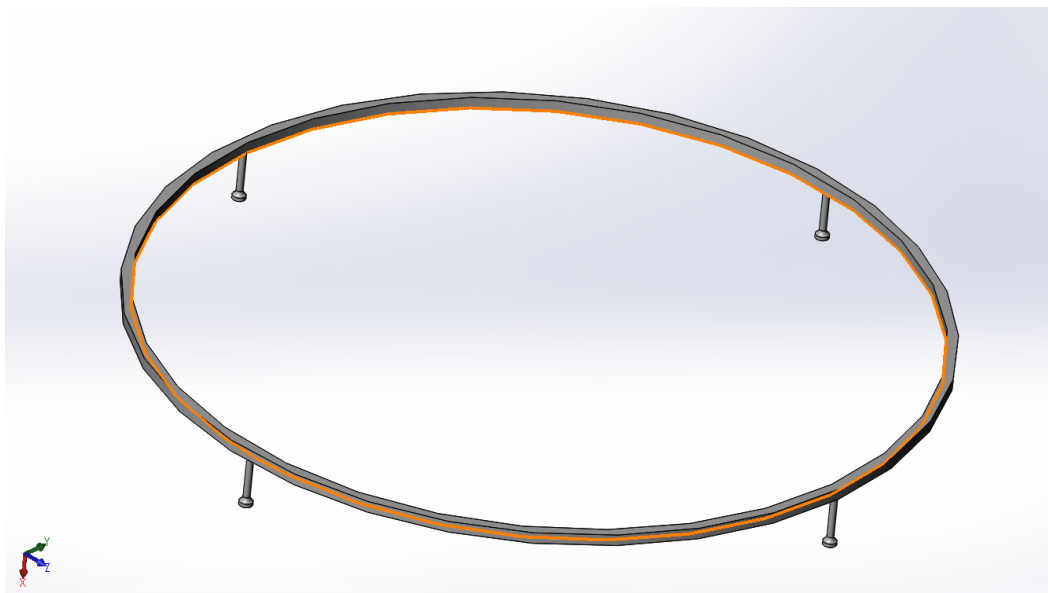


Σχέδιο 3.11



Σχέδιο 3.12

Σχέδιο (No 05) : Στεφάνι περιστροφής.



Σχέδιο 3.13

Το στεφάνι περιστροφής είναι αυτό που οφείλεται για την περιστροφική κίνηση του συστήματος μας. Είναι ορθογωνιακής διατομής και βρίσκεται στην βάση του tracker μεταξύ της δοκού βάσης και περνάει μέσα από την πίσω οπή της περιστρεφόμενης βάσης. Το στεφάνι είναι σταθερό – πακτωμένο στην επιφάνεια που βρίσκεται ο tracker με την βοήθεια τεσσάρων (4) βάσεων οι οποίες συνδέονται με την βοήθεια μπουλονιών και λαπάτσας (μεταλλικό έλασμα με οπές που ενώνει το έδαφος με την βάση).

Στην οπή όπου περνάει το στεφάνι υπάρχει ένα γρανάζι συνδεδεμένο με ηλεκτροκινητήρα. Το γρανάζι συνδέετε με τα «δόντια» του στεφανιού και έτσι παίρνει κίνηση η περιστρεφόμενη βάση από το σταθερό στεφάνι ώστε να έχουμε μία ομαλή περιστροφή του συστήματος.

Η κατασκευή του στεφανιού είναι από ανοξείδωτο ατσάλι , ένα κράμα σιδήρου-άνθρακα-χρωμίου , για την καλύτερη αντοχή στην καταπόνηση αλλά και στην διάβρωση του.

Διαστασιολόγηση:

Χαρακτηρισμός :

Στεφάνι Περιστροφής

Διαστάσεις:

R 571,45

(17 x 15)

Τύπος Υλικού:

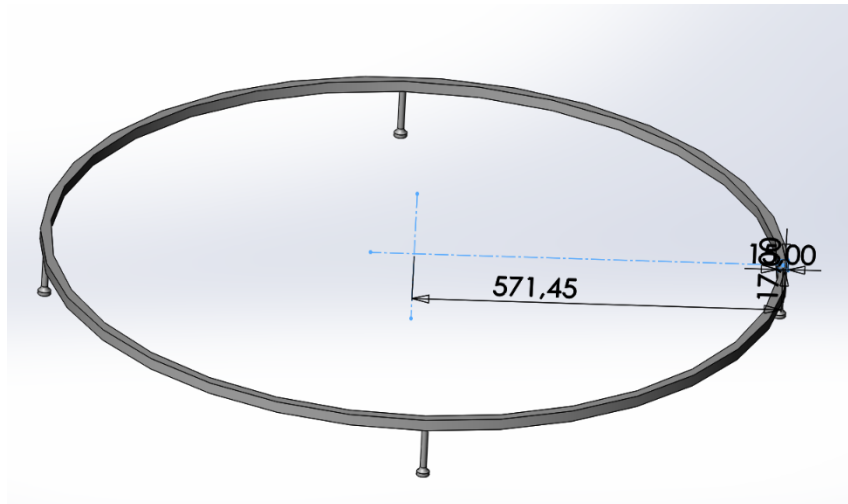
Ανοξείδωτος

χάλυβας (steel)

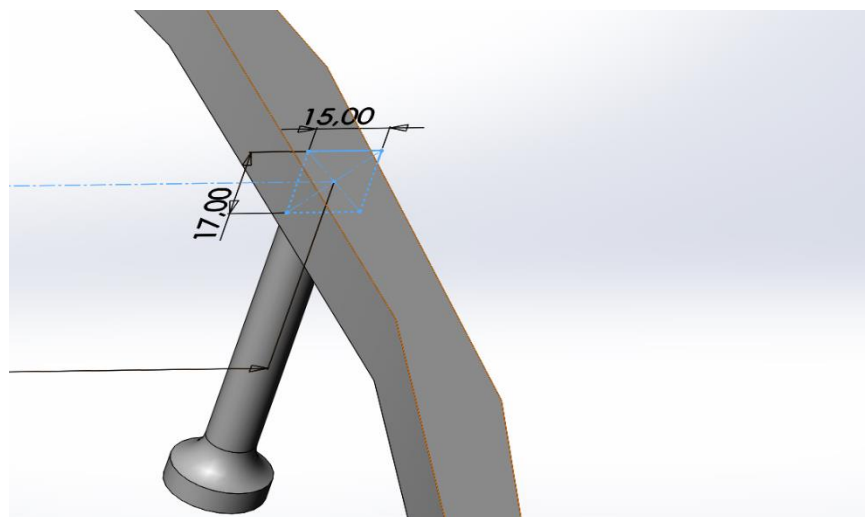
Βάρος:

10 kg

Τεμάγια: (1)



Σχέδιο 3.14



Σχέδιο 3.15

3.4 Συναρμολόγηση Μοντέλου (Assembly)

Για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος παραθέτουμε στην συνέχεια εικόνες από την συναρμολόγηση (Assembly) των εξαρτημάτων του Tracker.

- A) Συναρμολόγηση της Δοκού βάσης και της περιστρεφόμενης βάσης (Assembly 1).
- B) Συναρμολόγηση του Assembly 1 με το στεφάνη περιστροφής , (Assembly 2).
- C) Συναρμολόγηση του Assembly 2 με την Βάση του Φ/Β πάνελ με την χρήση κοχλιών , (Assembly 3).
- D) Συναρμολόγηση του Assembly 3 με την αντηρίδα αλλαγής κλίσης μέσω κοχλιών , (Assembly 4).

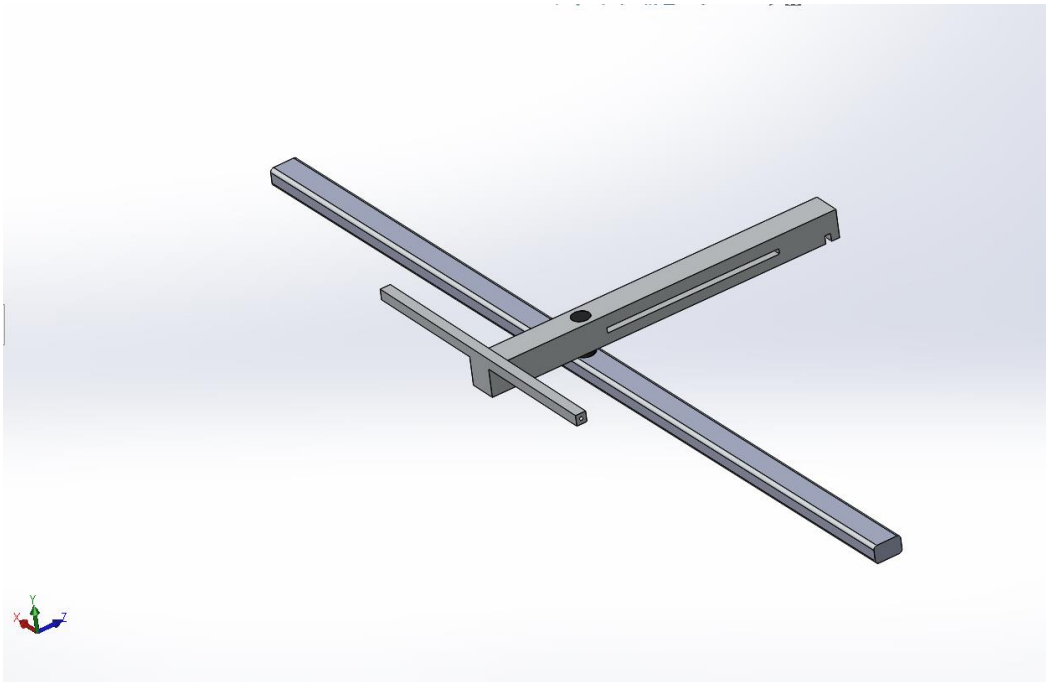
Τέλος τα εξαρτήματα και ο λοιπός εξοπλισμός του συστήματος όπως κοχλίες,συνδέσεις, έδρανα κύλισης κτλ. δεν χρίζουν λεπτομερής περιγραφής απλά θα γίνει μια απλή αναφορά στον παρακάτω πίνακα.

Υλικά και λοιπός εξοπλισμός Tracker			
	<i>Όνομα</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Τέμ.</i>
1.	Κοχλίες Σύνδεσης	Σύνδεση Βάσης Πάνελ - Φ/Β Πάνελ	4
2.	Ράουλα κύλισης	Κύλιση Περιστρεφόμενης Βάσης πάνω στο Στεφάνι	2
3.	Συνδέσεις	Σύνδεση Βάσης Πάνελ – Περιστρεφόμενη Βάση	2
4.	Συνδέσεις	Σύνδεση Αντηρίδων - Βάση Φ/Β Πάνελ	1
5.	Ρουλεμάν	Ρουλεμάν Περιστροφής	1
6.	Ηλεκτροκινητήρες	Αλλαγής κλίσης / Περιστροφής	2

Πίνακας 3.1

A) Συναρμολόγηση της Δοκού βάσης και της περιστρεφόμενης (Assembly 1).

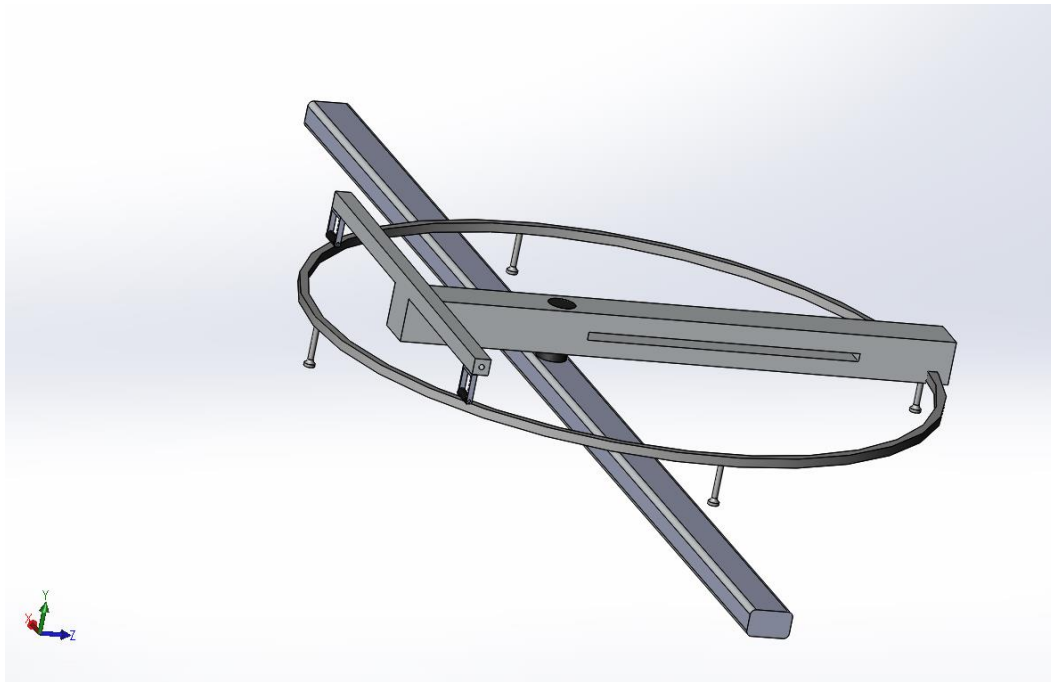
Η σύνδεση γίνεται με την βοήθεια ενός εδράνου κύλισης συνδεδεμένο στις οπές των δύο εξαρτημάτων , για την ομαλή περιστροφή του συστήματος.



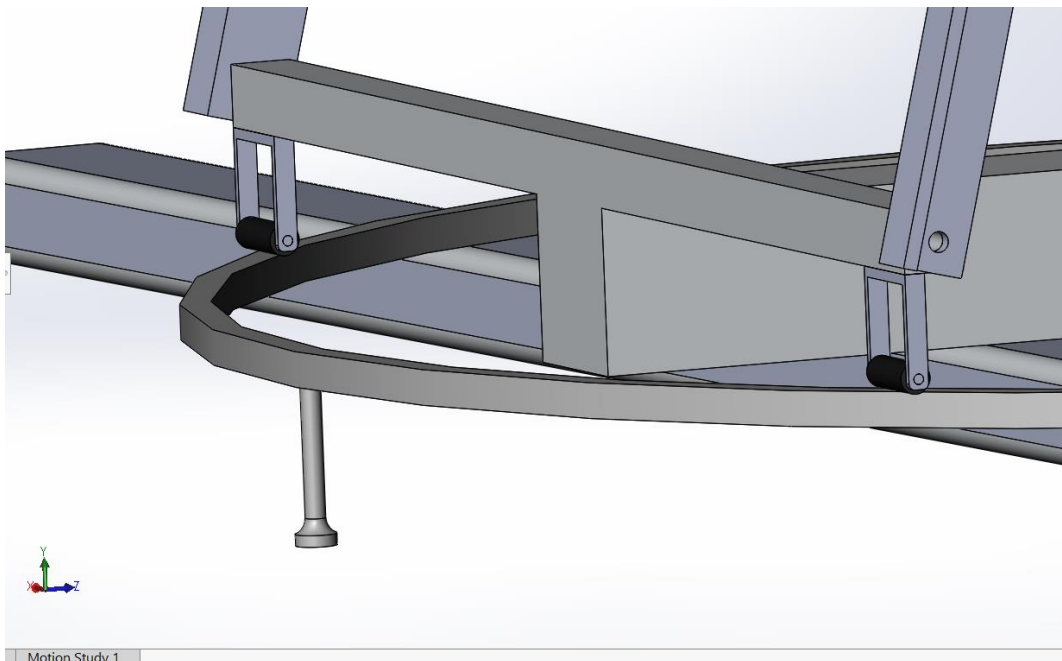
Εικόνα 3.16

B) Συναρμολόγηση του Assembly 1 με το στεφάνη περιστροφής (Assembly 2).

Το στεφάνι είναι πακτωμένο στο έδαφος στις τέσσερις (4) βάσεις του και στηρίζει την περιστρεφόμενη βάση με την προσθήκη των ράουλων κύλισης όπως φαίνεται στην Εικόνας 3.18 , καθώς και από την οπή στην πίσω πλευρά του συστήματος όπου και δίνεται η κίνηση για περιστροφή του συστήματος.



Εικόνα 3.17



Εικόνα 3.18

C) Συναρμολόγηση του Assembly 2 με την Βάση του Φ/Β πάνελ (Assembly 3).

Η συναρμολόγηση του Assembly 2 με την βάση του πάνελ θα γίνει με την χρήση κοχλιών εξαγωνικής εγκοπής.



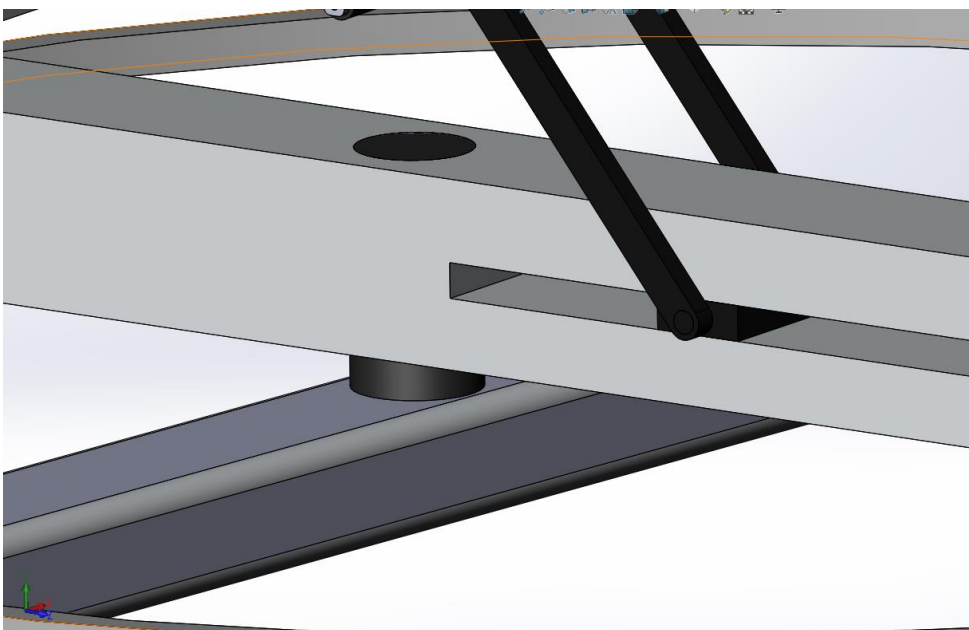
Εικόνα 3.19

D) Συναρμολόγηση του Assembly 3 με την αντηρίδα αλλαγής κλίσης (Assembly 4).

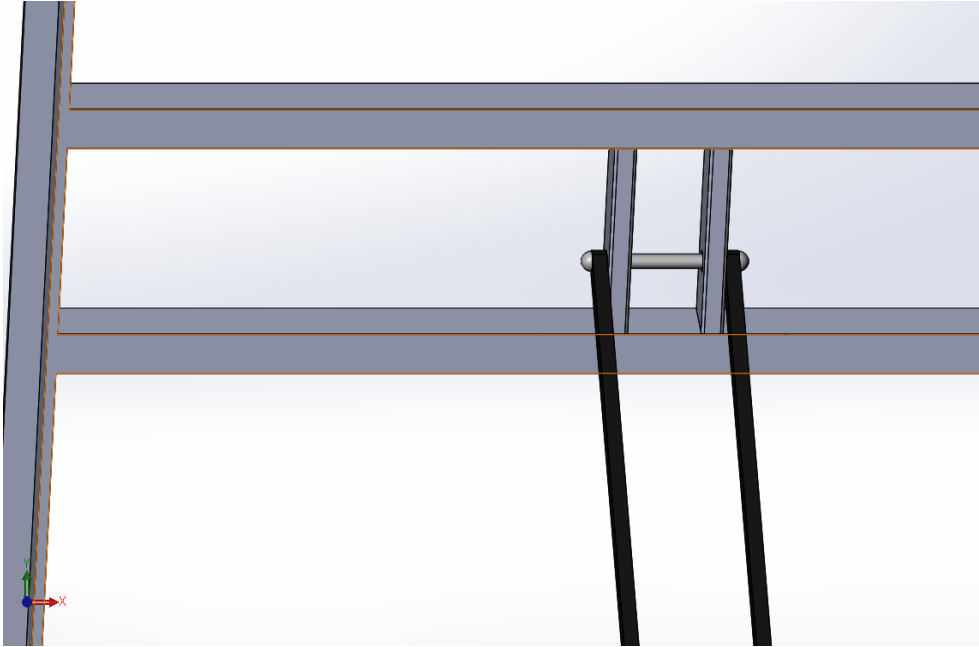
Η μία σύνδεση των αντηρίδων θα γίνει στο ύψος του οδηγού κλίσης της περιστρεφόμενης βάσης όπως φαίνεται στην εικόνα 3.21 , και η δεύτερη σύνδεση θα γίνει στην βάση του Φ/Β πλαισίου με την χρήση πύρου , όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.22.



Εικόνα 3.20



Εικόνα 3.21



Εικόνα 3.22

4. Στατική Ανάλυση

4.1 Στατική ανάλυση κατασκευών

Η στατική ανάλυση είναι μια μέθοδος υπολογισμού των δυνάμεων και των τάσεων που αναπτύσσονται σε μια κατασκευή κάτω από στατικές φορτίσεις, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα δυναμικά φαινόμενα όπως οι δονήσεις ή οι κρούσεις.

Στην περίπτωση του συστήματος του φωτοβολταϊκού δεν έχει νόημα να γίνει στατική ανάλυση διότι το βάρος που δέχεται η κατασκευή από το Φ/Β πάνελ είναι αμελητέα στα (μέχρι 17 κιλά, πάνελ εμπορίου), οπότε η ανάλυση θα γίνει σε δύο διαφορετικές φορτίσεις ξεχωριστά και όχι συνδυαστικά όπως θα δούμε παρακάτω. Ένα σημαντικό κομμάτι της εργασίας θα είναι η ανάλυση του συστήματος σε περιπτώσεις φορτίσεων Φωτοβολταϊκών που βρίσκονται στην στέγη και γενικότερα σε μεγάλο ύψος. Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι αρχικά η διαπίστωση ότι το σύστημα μας αντέχει στις συγκεκριμένες φορτίσεις αλλά και η βοήθεια μας ώστε να ενισχύσουμε κάποια σημεία του συστήματος με αποτέλεσμα την ομαλή και σωστή λειτουργία αυτού.

Πιο συγκεκριμένα οι περιπτώσεις που θα φορτιστεί ο Tracker θα είναι αρχικά η δυσμενέστερη κατάσταση σε περίπτωση χιονιού και δεύτερων την μέγιστη ταχύτητα αέρα σε διάφορες κλίσεις και επιφάνειες στο πάνελ. Όλα τα στοιχεία περί φορτίσεων θα ληφθούν με βάση τα πρότυπα του Ευρωκώδικα και τις προδιαγραφές που αναγράφονται.

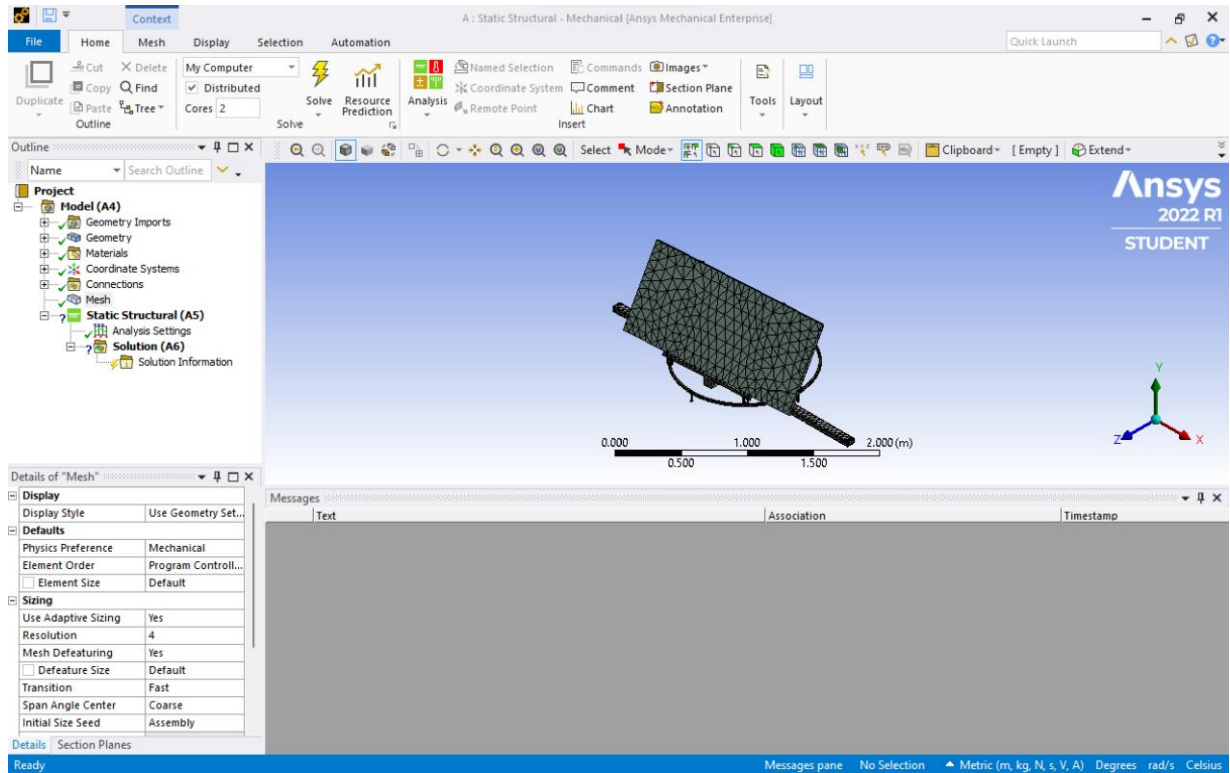
Τα στοιχεία των φορτίσεων θα ληφθούν από τον Ευρωκώδικα, συγκεκριμένα από τα παρακάτω παραρτήματα.

- Μέρος 1-3 (ΕΛΟΤ EN 1991-1-3:2003): Γενικές δράσεις – Φορτία χιονιού.
- Μέρος 1-4 (ΕΛΟΤ EN 1991-1-4:2005): Γενικές δράσεις - Δράσεις ανέμου.

4.2 Διαδικασία ανάλυσης μοντέλου.

Πριν φορτιστεί το μοντέλο με τις δυνάμεις θα πρέπει να γίνει η διατυπώση του μοντέλου που έγινε κάνει mesh, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1 το μοντέλο αποτελείται από 59230 κόμβους και 30662 πεπερασμένα στοιχεία, ικανοποιητικά για την ανάλυση μας.

Η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού δεν επιτρέπει παραπάνω πεπερασμένα στοιχεία , για αυτό επιλέξαμε αυτό το μοτίβο.



Εικόνα 4.1 : Διακριτοποίηση μοντέλου με τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία.

Για τα δεδομένα των υλικών της κατασκευής παρουσιάστηκαν και οι μηχανικές ιδιότητες αυτών για τις ανάγκες της ανάλυσης. Παρκάτω φαίνονται οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα και του αλουμινίου επιλέχτηκαν τα δεδομένα στα όρια των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή μας.

Density	7850 kg/m ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2e+11 Pa
Poisson's Ratio	0.3
Bulk Modulus	1.6667e+11 Pa
Shear Modulus	7.6923e+10 Pa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-05 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 Pa
Compressive Yield Strength	2.5e+08 Pa

Εικόνα 4.2 Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα (steel)

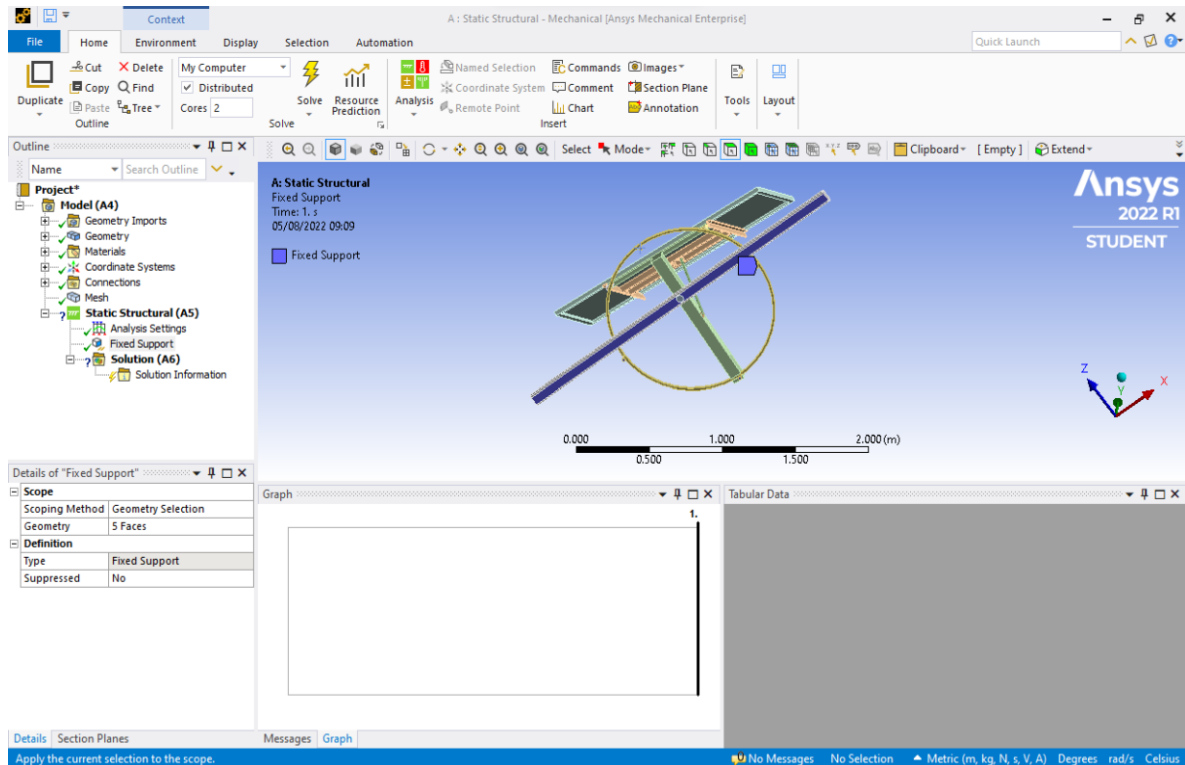
Density	2770 kg/m ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	7.1e+10 Pa
Poisson's Ratio	0.33
Bulk Modulus	6.9608e+10 Pa
Shear Modulus	2.6692e+10 Pa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2.3e-05 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 Pa
Compressive Yield Strength	2.8e+08 Pa

Εικόνα 4.3 Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου

(Οι Μηχανικές ιδιότητες των υλικών λήφθηκαν σύμφωνα με την πηγή :
<https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?bassnum=MS0001&ckck=1>)

Επόμενο βήμα τοποθέτηση της πάκτωσης στην βάση του πλαισίου όπως κανονικά θα είναι πακτωμένο και κατά την λειτουργία του. Τα σημεία αυτά θα είναι η κεντρική δοκός στην βάση καθώς και τα τέσσερα στηρίγματα, σύνολο 5 σταθερά σημεία του συστήματος.

Η διαδικασία στηρίξεων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 2.



Εικόνα 4.4 : Τοποθέτηση πάκτωση στην βάση του πλαισίου

Αφού ετοιμάστηκαν τα δεδομένα του μοντέλου είναι έτοιμα για την επιβολή των διαφόρων φορτίσεων που αναφέρθηκαν.

4.3 Ευρωκώδικας 1-3 (Φορτία χιονιού)

Στο μέρος του Ευρωκώδικα 1, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να υπολογιστούν τα φορτία λόγω χιονόπτωσης ή με ταυτόχρονη ύπαρξη δυνατών ανεμών τα οποία επιβάλλονται σε μια κατασκευή. Ο υπολογισμός αυτός αφορά κατασκευές που βρίσκονται σε περιοχές με υψόμετρο χαμηλότερο από 1500m.

Για περιοχές που υπάρχουν άνεμοι υψηλών ταχυτήτων και το χιόνι λιώνει κανονικά, χρησιμοποιούμε το Παράρτημα Β του Μέρους 1-3 του Ευρωκώδικα 1.

Σημειώνεται ότι σε αυτό το μέρος του Ευρωκώδικα 1 δεν περιλαμβάνονται οδηγίες για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Δυναμικές φορτίσεις που προέκυψαν από πτώση του χιονιού λόγω ολίσθησης από ψηλότερα σημεία της στέγης σε χαμηλότερα.
- Επιπλέον φορτία ανεμοπίεσης που προκαλούνται από την αλλαγή του σχήματος και του μεγέθους της κατασκευής λόγω της ύπαρξης χιονιού ή της δημιουργίας πάγου.
- Πρόσθετες φορτίσεις από το φράξιμο των αποχετεύσεων λόγω δημιουργίας πάγου.
- Φορτία χιονιού που επιβάλλονται στην κατασκευή καθ' όλη την διάρκεια του έτους.
- Φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή από την δημιουργία πάγου.
- Φορτία από πλευρική εναπόθεση του χιονιού στην κατασκευή.
- Πρόσθετη φόρτιση, στην ήδη υπάρχουσα λόγω του χιονιού, από δυνατή βροχόπτωση.
- Φορτία χιονιού σε γέφυρες.

Στην περίπτωση του χιονιού τα δεδομένα των συντελεστών θα τα λάβουμε από την κατηγορία για στέγες, μιας και το σύστημα μας ενδείκνυται για τοποθέτηση σε στέγη.

Πριν ξεκινήσει την διαδικασία δημιουργίας πεπερασμένων στοιχείων και κατ' επέκταση την στατική μελέτη στο ANSYS θα χρειαστεί να βρεθεί το φορτίο του χιονιού.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την τοποθεσία και το υψόμετρο της εκάστοτε περιοχής, όπου αυτά τα δεδομένα δίνονται στο Παράρτημα Α

του μέρους ENV 1991-2-3 του Ευρωκώδικα 1. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις ζώνες χιονιού, όπου αλλάζει ο συντελεστής Sk των φορτίων για το έδαφος.

(Το πλάγιο υπογραμμισμένο κείμενο υποδηλώνει παραπομπή στον παραπάνω Ευρωκώδικα.)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D

(EN 1991-1-3)

Σε αυτό το Παράρτημα του Ευρωκώδικα 1, παρουσιάζονται οι τιμές που μπορεί να πάρει το ειδικό βάρος του χιονιού ανάλογα με την θέση της κατασκευής, το κλίμα και το υψόμετρο της περιοχής και την χρονική διάρκεια της συσσώρευσης του. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται κάποιες ενδεικτικές τιμές του ειδικού βάρους του χιονιού στο έδαφος :

Είδος χιονιού	Ειδικό βάρος χιονιού KN/m²
Φρέσκο (λίγες ώρες μετά την χιονόπτωση)	1,00
Συμπιεσμένο (πολλές ώρες ή μέρες μετά την χιονόπτωση)	2,00
Παλαιό (εβδομάδες ή μήνες μετά την χιονόπτωση)	2,5 - 3,5
Υγρό (μετά από βροχή)	4,00

Πίνακας 4.3.1 Ειδικό βάρος χιονιού

Παράρτημα D (EN 1991-1-3)

Εθνική Ζώνη		Υψόμετρο	Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο Έδαφος $S_k(KN/m^2)$
Πελοπόννησος Δυτική Στερεά Ήπειρος Νησιά (Εκτός περιοχών με υψόμετρο > 600m σε Εύβοια και Κρήτη)	1	0-100	0,22
		100-200	0,27
		200-300	0,33
		300-400	0,39
		400-500	0,47
		500-600	0,57
		600-700	0,68
		700-800	0,82
		800-900	0,98
		900-1000	1,19
Θράκη Μακεδονία Θεσσαλία Ανατολική Στερεά Εύβοια (έως 600m) Κρήτη (έως 600m)	2	0-100	0,44
		100-200	0,52
		200-300	0,62
		300-400	0,73
		400-500	0,86
		500-600	1,01
		600-700	1,19
		700-800	1,41
		800-900	1,67
		900-1000	1,97

Πίνακας 4.3.2 Εθνικές ζώνες και χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος

Παράρτημα Α (ENV 1991-2-3)

Σημειώνεται ότι για περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από τα προαναφερόμενα, θα πρέπει να δοθούν οδηγίες από τις αρμόδιες αρχές.

Σύμφωνα με το Παράρτημα C του EN 1991-1-32003: του Ευρωκώδικα 1, η

χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού, για την Ελλάδα, δίνεται από την σχέση:

$$S_k = (0.420Z - 0.030) [1 + (A/917)^2]$$

Όπου :

S_k = χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος (KN/m²)

A = το υψόμετρο της περιοχής από την επιφάνεια της θάλασσας(m)

Z = ο αριθμός της ζώνης που δίνεται στον ακόλουθο χάρτη

Για τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού σε στέγες χρησιμοποιείται η εξής σχέση (4.1):

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad (4.1)$$

Όπου S = φορτίο χιονιού στη στέγη

μ_i = ο συντελεστής σχήματος του φορτίου

C_e = συντελεστής έκθεσης

C_t = θερμικός συντελεστής

S_k = χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος

Παράρτημα C (EN 1991-1-3:2003)

Σημειώνεται ότι το φορτίο χιονιού S θεωρείται ότι δρα κατακόρυφα στην επιφάνεια και ορίζεται στην οριζόντια προβολή της έκτασης αυτής. Ο συντελεστής έκθεσης C_e , ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίπτωση, μπορεί να πάρει τις εξής τιμές, εκτός από τις περιπτώσεις που παρατηρείται απώλεια θερμότητας από το σύστημα και μπορεί αυτός να μειωθεί.

Συνθήκες έκθεσης της κατασκευής	C_e
Κανονικές συνθήκες	1.00
Ισχυροί άνεμοι	0.80
Προστατευμένες κατασκευές	1.20

Πίνακας 4.3.3 Συντελεστές Έκθεσης.

Παράρτημα C (EN 1991-1-3:2003)

Στις μονοκλινείς στέγες, ανάλογα με την γωνία κλίσης τους έχουν και τον ανάλογο συντελεστή σχήματος που δίνονται στον πίνακα 4.3.4 :

Γωνία κλίσης της στέγης α (°)	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού μ_1
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0,80
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$0,8(60-\alpha)/30$
$\alpha \geq 60^\circ$	0,00

Πίνακας 4.3.4 Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για μονοκλινείς στέγες.

4.4 Υπολογισμός φορτίων χιονιού (ANSYS).

Στην πρώτη περίπτωση αναλύθηκαν τάσεις που αναπτύχθηκαν στο μοντέλο όταν θα φορτιστεί με το βάρος του χιονιού, στην δυσμενέστερη κατάσταση με βάση τα δεδομένα που λάβαμε από τον Ευρωκώδικα για την περιοχή στην Ελλάδα. Η κλίση του φωτοβολταϊκού συστήματος θα βρίσκεται στις 0° και στην μεγαλύτερη συγκέντρωση χιονιού επάνω στην επιφάνεια του αλλά (και μόνο υπολογίστηκε) σε 40° όπου είναι και η πιο συχνή κλίση του συστήματος κα' όλη την διάρκεια λειτουργίας.

Σημειώνετε ότι η συγκέντρωση χιονιού σε περίπτωση μεγαλύτερη κλίσης του πάνελ θα είναι μικρότερη επομένως δεν θα γίνουν περεταίρω αναλύσεις σε διαφορετικές κλίσεις μιας και η ανάλυση γίνεται για λόγους αντοχής του συστήματος. Με αποτέλεσμα να παίρνουμε πάντα την δυσμενέστερη κατάσταση, όπου στην περίπτωση είναι το πάνελ σε επίπεδη θέση.

Η φόρτιση λοιπόν για την περίπτωση μας και η εύρεση της δύναμης που θα ασκηθεί στο σύστημα θα γίνει με βάση την σχέση (4.1):

$$S = \mu_1 * C_e * C_t * S_k$$

Όπου θα πάρουμε όλες τις δυσμενέστερες καταστάσεις.

Στην 1^η περίπτωση το πάνελ στις 0° ως προς το έδαφος:

- Για $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ έχουμε $\mu_i = 0,8$ Πίνακα 4.3.4
- Για προστατευμένες περιοχές $C_e = 1,20$ Πίνακα 4.3.3
- Για θερμικό συντελεστή $C_t = 1,00$
- Και για χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος θα πάρουμε από την Ζώνη 1 για υψόμετρο 800-900 μέτρα $S_k = 1,19$

Πίνακας 4.3.1.

$$\text{Άρα, } S = 0,8 * 1,2 * 1 * 1,19 \quad \text{Σχέση 4.1}$$

$$\leftrightarrow \boxed{S = 1,14 \text{ kN/m}^2}$$

Αφού η επιφάνεια φόρτισης είναι 1710 X 998 mm:

$$(1,14 \text{ kN/m}^2 * 1,71 \text{ m}^2) = \underline{\underline{1,95 \text{ kN}}}$$

Στην 2^η περίπτωση το πάνελ στις 40° ως προς το έδαφος:

- Για $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ έχουμε $\mu_i = 0,8 * (60 - \alpha) / 30 = 0,53$ Πίνακα 4.3.4
- Για προστατευμένες περιοχές $C_e = 1,20$ Πίνακα 4.3.3
- Για θερμικό συντελεστή $C_t = 1,00$
- Και για χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος θα πάρουμε από την Ζώνη 1 για υψόμετρο 800-900 μέτρα $S_k = 0,82$,

Πίνακας 4.3.1.

Άρα από την ίδια σχέση για κλίση 40 ° προκύπτει ,

$$S = 0,53 * 1,2 * 1 * 0,82 \quad \text{Σχέση 4.1}$$

$$\leftrightarrow \boxed{S = 0,52 \text{ kN/m}^2}$$

Αφού η επιφάνεια φόρτισης είναι 1710 X 998 mm:

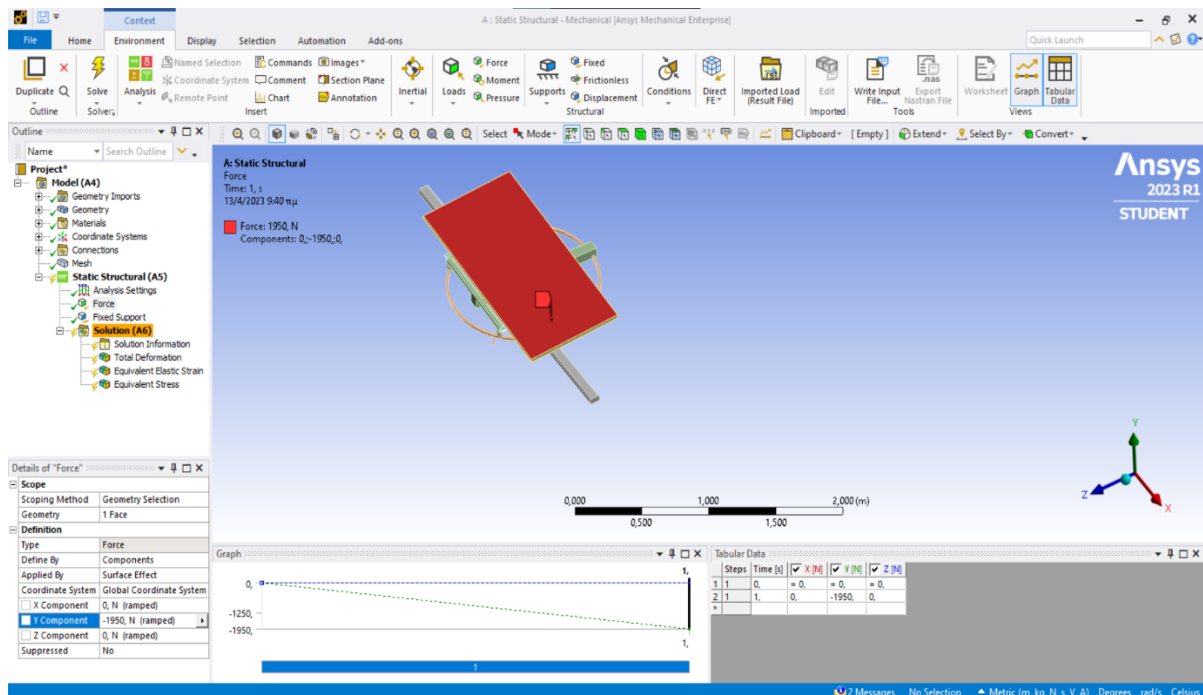
$$(0,52 \text{ kN/m}^2 * 1,71 \text{ m}^2) = \underline{\underline{0,88 \text{ kN}}}$$

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τους υπολογισμούς, είναι ότι εφόσον στην δεύτερη περίπτωση φόρτισης με κλίση του πάνελ 40° ως προς το έδαφος, έχουμε πολύ μικρότερη συγκέντρωση χιονιού δεν απαιτείται η ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, μιας και ο στόχος είναι η δυσμενέστερη κατάσταση.

4.4.1 Ανάλυση φορτίου χιονιού με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (ANSYS)

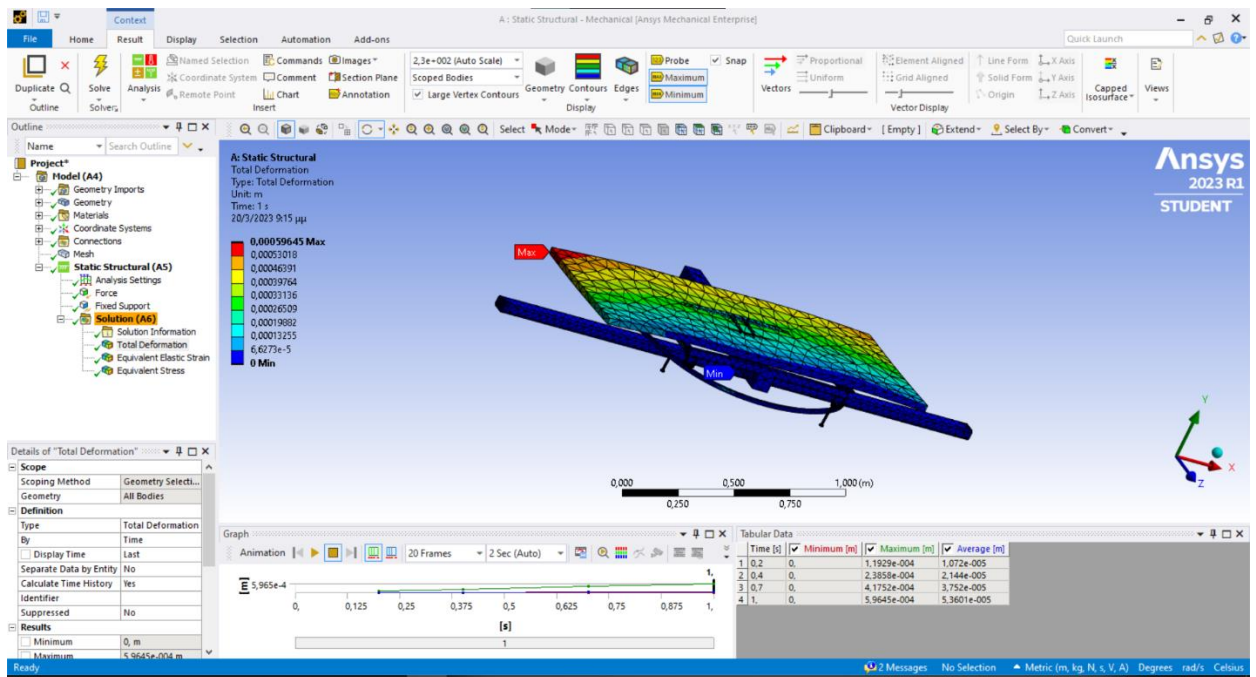
Αφού έγινε η διαδικασία του Meshing και διακριτοποίησης του μοντέλου ξεκίνησε η ανάλυση και στην εμφάνιση των αποτελεσμάτων.

Αρχικά επιβλήθηκε στο μοντέλο η κατανεμημένη δύναμη που βρέθηκε στην προηγούμενη σχέση, δηλαδή στα 1950 N.

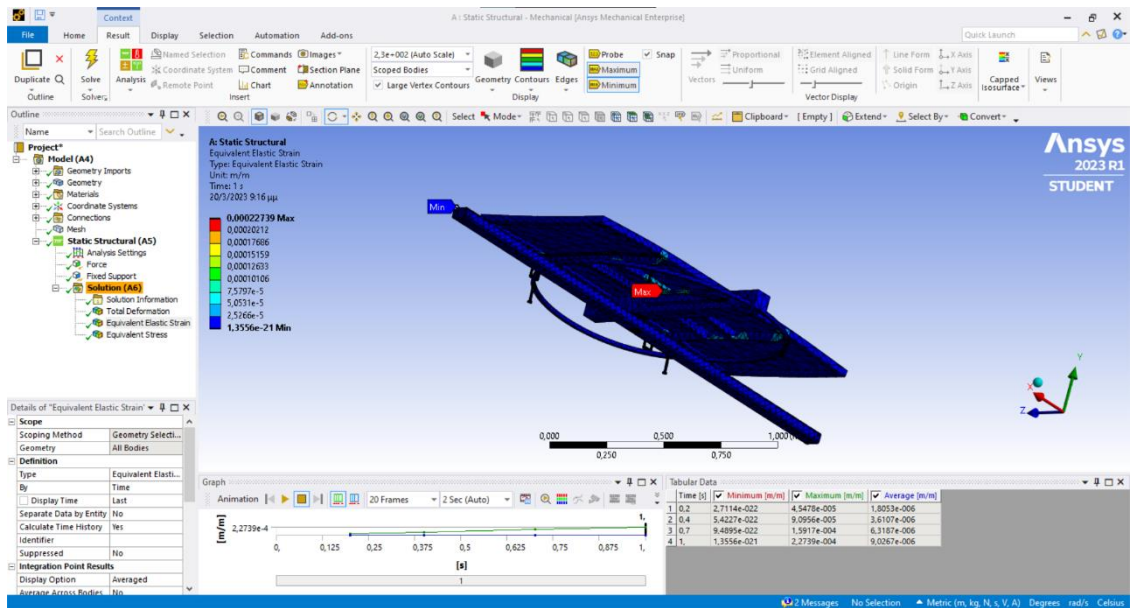


Εικόνα 4.4.1 Επιβολή δύναμης.

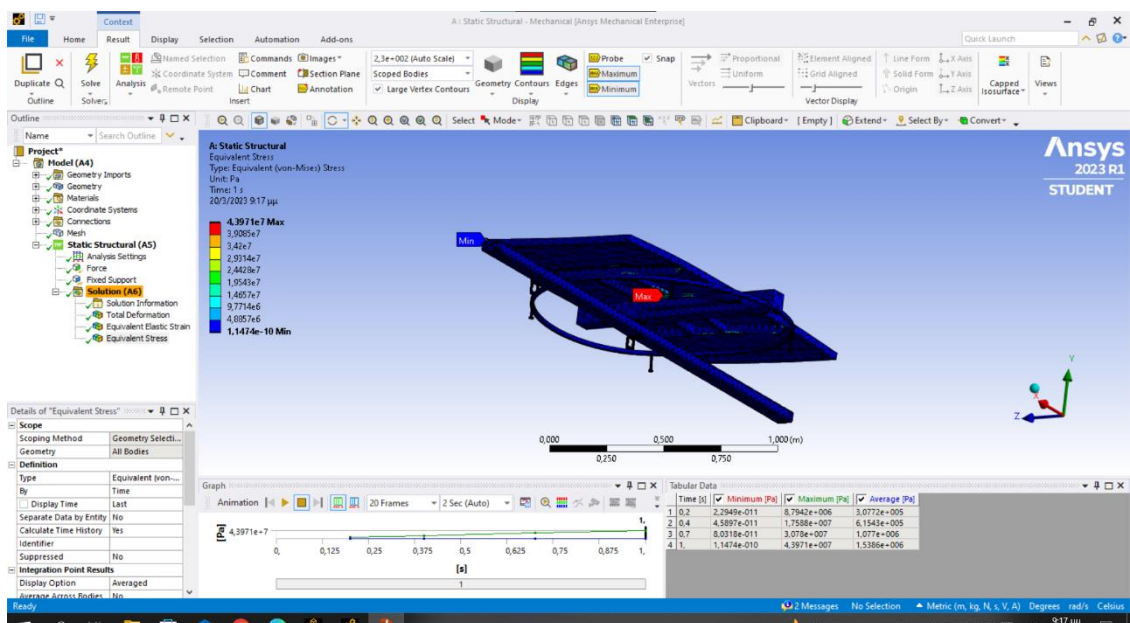
Έπειτα θα προχωρήσουμε στην ανάλυση και την προβολή των αποτελεσμάτων, ξεκινώντας με την ολική μετατόπιση σε μέτρα όπως φαίνεται στο παρακάτω στιγμιότυπο.



Εικόνα 4.4.2 Ολική μετατόπιση από φορτίο χιονιού.



Εικόνα 4.4.3 Ελαστική παραμόρφωση.

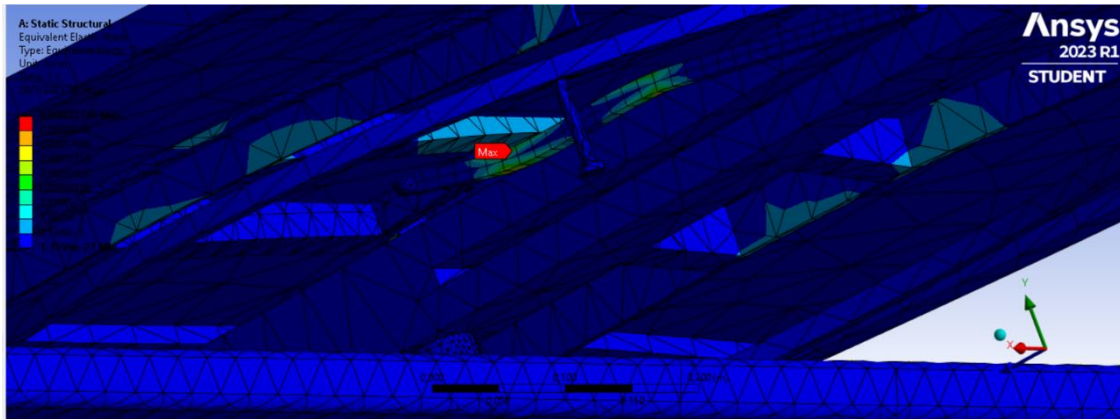


Εικόνα 4.4.4 Τάσεις Von Mises

Όπως φαίνεται και στα στιγμιότυπα η μέγιστη μετατόπιση γίνεται στις άνω γωνίες του πάνελ όπου υπάρχει σαν υλικό το αλουμίνιο. Είναι λογικό γιατί οι γωνίες δεν έχουν κάποια στήριξη με αποτέλεσμα να υπάρξει η μέγιστη μετατόπιση, πράγμα που δεν ανησυχεί μιας και οι μετατοπίσεις είναι τις τάξεως 0,59 mm.

Η ελαστική παραμόρφωση εμφανίζεται στην αντηρίδα στήριξης με μέγιστη παραμόρφωση (0,23 mm μετατόπιση), εντός της ελαστικής περιοχής του υλικού.

Στο επόμενο στιγμιότυπο φαίνεται το σημείο με την μέγιστη ελαστική παραμόρφωση.



Εικόνα 4.4.5 Μέγιστη Ελαστική παραμόρφωση.

Οι ισοδύναμες τάσεις Von Mises που εμφανίζονται με μέγιστη τιμή στην αντηρίδα στήριξης είναι ($4,3971e7$ Pa) τις τάξεως 10^7 Pa. Το υλικό της αντηρίδας είναι ο χάλυβας υψηλής αντοχής (StIII) με όριο διαρροής ($2,1e 8$) μεγαλύτερο από τις διατρητικές τάσεις που αναπτύσσονται στο υπό μελέτη μοντέλο. Επομένως το μοντέλο είναι εντός των ορίων του συντελεστή ασφαλείας και μπορεί να ανταπεξέλθει στην δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης χιονιού.

4.5 Ευρωκώδικας 1-4 (Φορτία ανέμου)

Οι υπολογισμοί για τις συνολικές δυνάμεις που δέχεται το σύστημα από τον άνεμο έγιναν με βάση τον *Ευρωκώδικα EN1991-1-4* στην κατηγορία μονόκλινα στέγαστρα, παράγραφος 7,3.

(Το πλάγιο υπογραμμισμένο κείμενο υποδηλώνει παραπομπή στον παραπάνω Ευρωκώδικα.)

Ως δράση του ανέμου επί των κατασκευών θεωρείται η πίεση που αναπτύσσεται από την ανάσχεση της ροής του ανέμου. Από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις προκύπτουν δυνάμεις κάθετες προς την προσβαλλόμενη επιφάνεια.

Επίσης, όταν μία κατασκευή σαρώνεται από άνεμο παράλληλο προς την επιφάνεια, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής οι οποίες σε περίπτωση που δεν υπάρχει λεία επιφάνεια σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να είναι σημαντικές. Στην περίπτωση μας που η κατασκευή αφορά μια λεία και μικρή επιφάνεια η δύναμεις τριβής είναι αμελητέες.

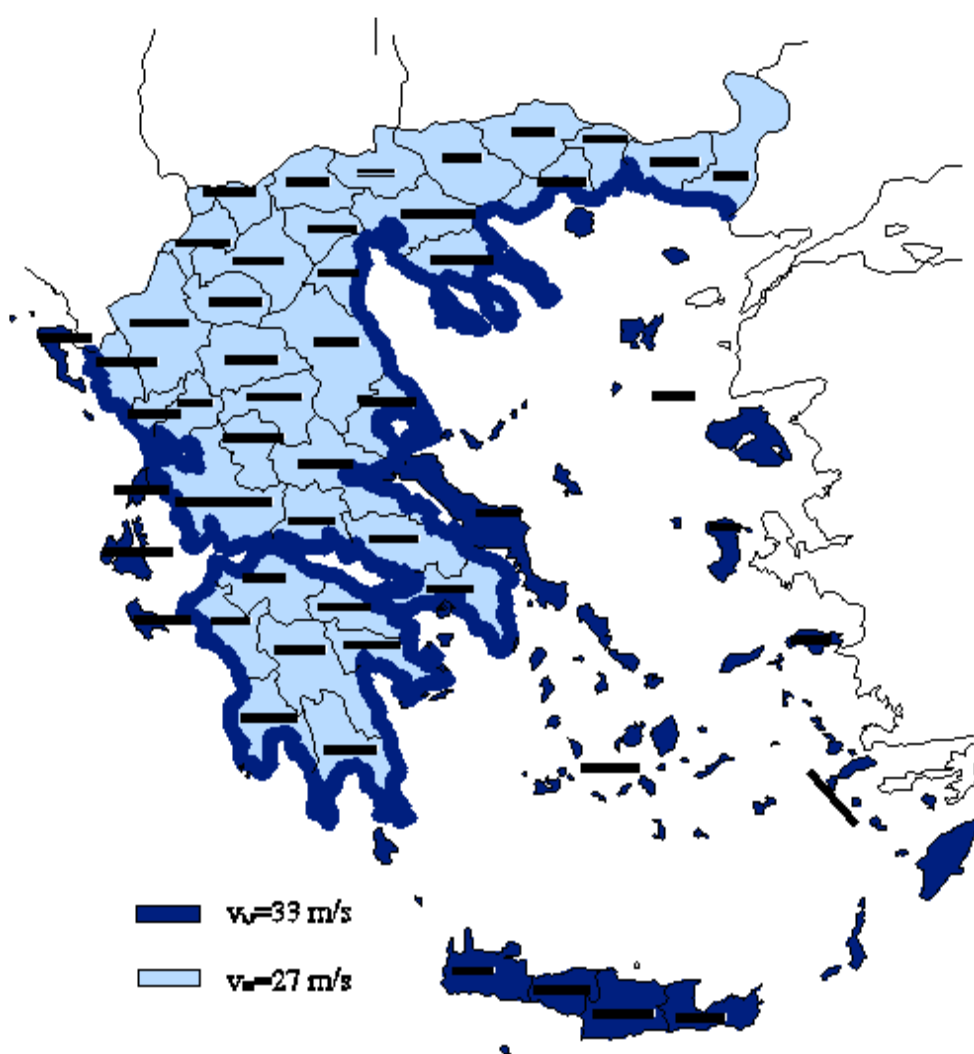
Η δράση του ανέμου σε μία κατασκευή προσδιορίζεται από την πίεση αιχμής και από τους κατάλληλους αεροδυναμικούς συντελεστές.

Η πίεση αιχμής, q_p προσδιορίζεται από:

- Την θεμελιώδη βασική ταχύτητα του ανέμου, $v_{b,0}$, η οποία δίνεται στο Εθνικό Προσάρτημα.
- Την διεύθυνση του θεωρούμενου ανέμου (επικρατούντες άνεμοι), συντελεστής διεύθυνσης, c_{dir} .
- Την εποχή του έτους (εποχικοί άνεμοι), εποχικός συντελεστής, c_{season}
- Την τραχύτητα του εδάφους, συντελεστής τραχύτητας $c_t(z)$.
- Την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής (φαινόμενα τύπου Venturi), συντελεστής ανάγλυφου, $c_o(z)$.
- Το ύψος, z της κατασκευής από το έδαφος.
- Την πυκνότητα του αέρα και την ένταση των στροβιλισμών.

Θεμελιώδης βασική ταχύτητα ανέμου, $v_{b,0}$

Η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, η οποία είναι η χαρακτηριστική μέση ταχύτητα του ανέμου 10 λεπτών, ανεξάρτητα από την διεύθυνση του και την εποχή του έτους, στα 10m πάνω από την επίπεδη ανοιχτή περιοχή εδάφους. Για την χώρα μας ορίζεται, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, σε 33m/s για τα νησιά και τα παράλια μέχρι 10km από την ακτή και σε 27m/s για την υπόλοιπη χώρα. Από τις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου υπολογίζεται εκείνη η χαρακτηριστική τιμή η οποία έχει ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 0,02.



Εικόνα 4.1 Χάρτης θεμελιώδους βασικής ταχύτητας του ανέμου στην Ελλάδα.

Εθνικό προσάρτημα Παράγρ. 4.2(1)P.

Τραχύτητα του εδάφους

Η τραχύτητα του εδάφους εξαρτάται κυρίως από το ύψος και την πυκνότητα των εμποδίων (κτίρια και δέντρα) γύρω από την εξαρτώμενη περιοχή. Επηρεάζει την κατατομή (profil) της ταχύτητας του ανέμου καθύψους. Προβλέπονται 5 κατηγορίες εδάφους (0, I, II, III, και IV).

	
Κατηγορία εδάφους 0: Θάλασσα, παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	Κατηγορία εδάφους I: Λίμνες ή περιοχή με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια
	
Κατηγορία εδάφους II: Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	Κατηγορία εδάφους III: Περιοχή με κανονική κάλυψη από βλάστηση ή από κτίρια ή από μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)
	
Κατηγορία εδάφους IV: Περιοχή στην οποία τουλάχιστον το 15 % της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15 m	

Πίνακας 4.1 Απεικονίσεις της ανώτερης τραχύτητας κάθε κατηγορίας εδάφους.

(Παράγρ. 4.3.3 και Παράρτημα A1 Και A2)

Για τον άνεμο θεωρείται ότι ισχύει πρακτικά η θεωρία του οριακού στρώματος και η ταχύτητα του θεωρείται ότι μεταβάλλεται καθύψος με λογαριθμικό τρόπο (ισχύει μέχρι ύψος $Z_{\max}=200\text{m}$). Η μεταβολή αυτή της ταχύτητας του ανέμου καθύψος, για τις διάφορες τραχύτητες του εδάφους δίνεται από τον συντελεστή τραχύτητας $c_r(z)$.

Για να υπολογιστεί της ο συντελεστής τραχύτητας, $c_r(z)$ χρησιμοποιείται η παρακάτω λογαριθμική κατανομή :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \text{ για } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (\text{Σχέση 4.1})$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ για } z \leq z_{\min}$$

όπου :

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$$

z_0 = το μήκος τραχύτητας σε m

$z_{0,II}$ = 0,003m για κατηγορία εδάφους 0

z_{\min} = το ελάχιστο ύψος (1)

z_{\max} = το μέγιστο ύψος ίσο της 200m

Οι παράμετροι $z_0(\text{m})$ και $z_{\min}(\text{m})$ δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί συναρτήσει της τραχύτητας του εδάφους.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		$z_0(\text{m})$	$z_{\min}(\text{m})$
0	Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III	Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (π.χ. χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV	Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος τους ξεπερνά τα 15m	1,0	10

Πίνακας 4.2 Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι

Υπολογισμός συντελεστή αναγλύφου $c_0(z)$

Ο συντελεστής αναγλύφου είναι μια παράμετρος που λαμβάνει υπόψη την αύξηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου που παρατηρείται σε κορυφές των λόφων ή σε κοιλάδες

και χαράδρες. Ορίζεται ως ο λόγος της μέσης ταχύτητας $v_m(z)$, στην πλαγιά ή την κορυφή του λόφου της την ταχύτητα στην βάση του λόφου $v_{mf}(z)$ σε επίπεδο έδαφος. Η μεγαλύτερη αύξηση των ταχυτήτων του ανέμου συμβαίνει κοντά στην κορυφή της πλαγιάς και εκφράζεται μέσω του συντελεστή αυτού, ο οποίος ισούται με:

$$C_o(z) = v_m(z) / v_{mf}(z) \text{ (Σχέση 4.2)}$$

Ο συντελεστής αναγλύφου προσδιορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$c_o = 1 \text{ για } \Phi < 0,05$$

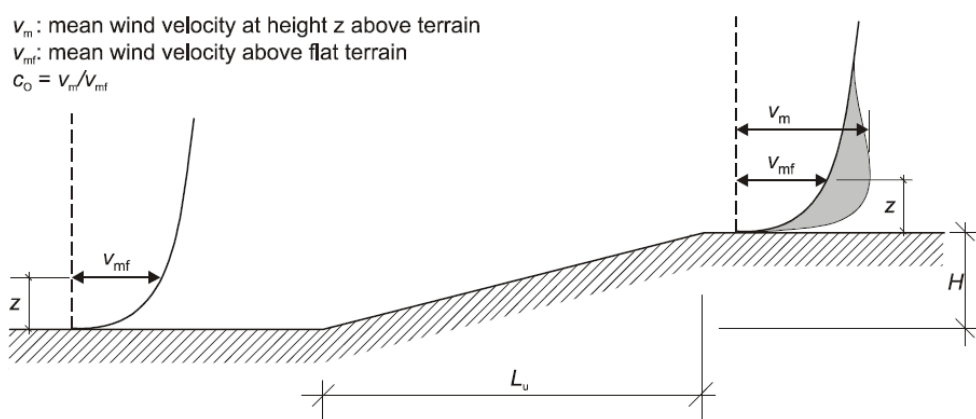
$$c_o = 1 + 2*s*\Phi \text{ για } 0,05 < \Phi < 0,3$$

$$c_o = 1 + 0,6*s \text{ για } \Phi > 0,3$$

Όπου :

$$\Phi = \eta \text{ κλίση προς την προσήνεμη πλευρά } (\Phi = H / L_u)$$

s = συντελεστής τοπογραφικής θέσης, που προκύπτει από τον Πίνακα 4.1



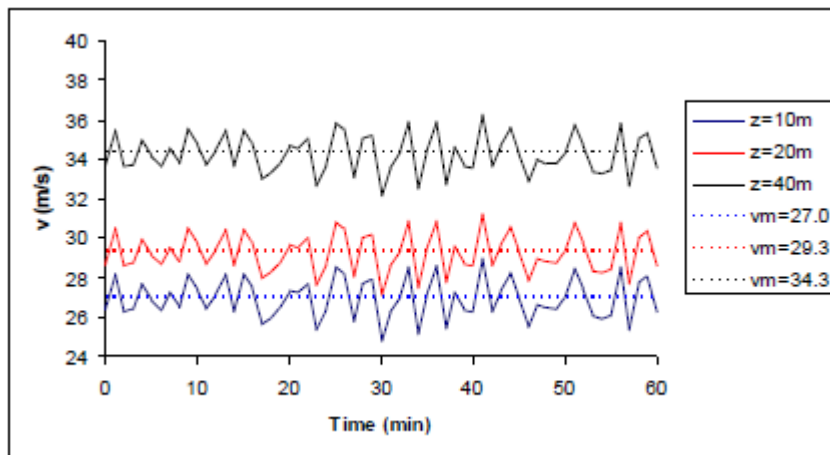
Σχήμα 4.1: Αύξηση της ταχύτητας του ανέμου λόγω ανάγλυφου του εδάφους.

(EN1991-1-4 Παράγρ. 4.3.3 και Παράρτημα A3)

Ταχύτητα αιχμής – Πίεση αιχμής

Η ταχύτητα του ανέμου γενικώς δεν είναι σταθερή. Η μέση ταχύτητα μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου ανάλογα με τα καιρικά φαινόμενα και τις μετεωρολογικές διαταραχές. Επομένως στο παρακάτω σχήμα 4.2 φαίνεται ενδεικτικά, υπό μορφή

παραδείγματος η διακύμανση της στιγμιαίας ταχύτητας γύρω από την μέση τιμή. Διακρίνονται 3 κατηγορίες με 3 διαφορετικά ύψη: $z=10,20$ και 40 m. Για τα 3 αυτά ύψη η ταχύτητα του ανέμου αντιστοίχως είναι : $27,0\text{m/s}$, $29,3\text{m/s}$ και $34,3\text{m/s}$. Η τυπική απόκλιση της ταχύτητας υπολογίσθηκε περίπου $\sigma_v=1,0\text{m/s}$.



Σχήμα 4.2 Διακύμανση της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου γύρω από την μέση τιμή.

Για τον προσδιορισμό της δράσεις του ανέμου σε κάθε ύψος z , δεν λαμβάνεται η μέση ταχύτητα αλλά μια μεγαλύτερη, προσαυξημένη κατά 3.5 φορές, την τυπική απόκλιση σ_v .

$$v = v_m + \Delta v = v_m + 3,5\sigma_v \text{ (Σχέση 4.3)}$$

Η ταχύτητα αυτή ονομάζεται **ταχύτητα αιχμής** και η πίεση που αντιστοιχεί στην πίεση αυτή ονομάζεται **πίεση αιχμής**.

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z , που περιλαμβάνει διακυμάνσεις ταχύτητας του ανέμου μικρής διάρκειας, υπολογίζεται από την σχέση :

$$q_b(z) = [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b \text{ (Σχέση 4.4)}$$

όπου:

ρ = η πυκνότητα του αέρα. Εξαρτάται από την θερμοκρασία, το υψόμετρο και την βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε κάποια περιοχή κατά την διάρκεια ανεμοθύελλας και ισούται με $1,25\text{kg/m}^3$.

$I_v(z)$ = η ένταση στροβιλισμού σε ύψος z , και υπολογίζεται από την σχέση
$$I_v = (\sigma/V_{m(z)}) = 1/(C_o(z) \cdot \ln(z/z_o))$$

$C_e(z)$ = ο συντελεστής έκθεσης που ισούται με $[q_p(z)/q_b]$

q_b = η βασική πίεση που ισούται με $[1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2]$

v_d = η βασική ταχύτητα του ανέμου και ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, σε κατηγορία εδάφους II και σε ύψος 10m, σύμφωνα με την σχέση:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} \quad (\text{Σχέση 4.5})$$

όπου:

C_{dir} = ο συντελεστής διεύθυνσης που ισούται με 1,00 C_{season} = ο συντελεστής εποχής που ισούται με 1,00.

$v_{b,0}$ = (Πίνακας 4.1)

4.6 Υπολογισμός πίεσης ανέμου στον Tracker

Παρακάτω έγινε ο υπολογισμός των πιέσεων και των συνολικών δυνάμεων λόγω ανέμου στο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Όλα τα δεδομένα έχουν ληφθεί με βάση την κύρια εγκατάσταση του συστήματος. Δηλαδή εφόσον μιλάμε για διαξόνιο φωτοβολταϊκό στέγης:

- Κατηγορία εδάφους : III (Πίνακας 4.1)
- Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33$ m/s (Εικόνα 4.1)
- Ύψος κατασκευής από το έδαφος $z_e = 30$ m

Για την ταχύτητα ανέμου λήφθηκε υπόψιν η βασική λειτουργία Tracking του συστήματος, όπου συνήθων είναι ο συντελεστής ασφαλείας των tracker μέχρι **50 km/h**. Σε περίπτωση ταχύτητας μεγαλύτερης της αναφερόμενης το σύστημα μας θα μπαίνει σε θέση ασφαλείας-αποθήκευσης.

Επίσης το φορτίο του ανέμου για μικρές επιφάνειες όπως η περίπτωση μας εφαρμόζεται ως κατανεμημένο.

Από τον Πίνακα 4.2 για κατηγορία III προκύπτει

$$z_o = 0.3 \text{ m} \ \& \ z_{\min} = 5 \text{ m},$$

$$z_{\min} = 0.5 \text{ m} < z_e = 30 \text{ m} < z_{\max} = 200 \text{ m}$$

Συντελεστής τραχύτητας δίνεται από την σχέση 4.1, $c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_o)$

$$\text{Και με συντελεστή εδάφους, } k_r = 0,19 \cdot (z_o/z_{oII})^{0,07} = 0,21$$

$$\text{Άρα } c_r(z) = 0,21 \cdot \ln(5,0/0,3) = 0,59$$

Ο συντελεστής αναγλύφου σύμφωνα με την παραγ. 4.3 είναι $c_o(z) = 1$ για $\phi < 0,05$

Ταχύτητα αιχμής ανέμου,

$$v = 50 \text{ km/h} = 13.8 \text{ m/sec}$$

Για την ένταση του στροβιλισμού $l_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος,

$$l_v(z) = 1 / [c_o(z) \cdot \ln(z_{\min}/z_o)] = 1 / [1 \cdot \ln(5/0,3)] = 0,35$$

Οπότε η **πίεση ταχύτητας αιχμής** σύμφωνα με την Σχέση 4.4 :

$$q_b(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot V^2(z)$$

$$q_b(z) = (1 + 7 \cdot 0,35) \cdot 0,5 \cdot 0,00125 \cdot 13,8^2 = \mathbf{0,67 \text{ Kn/m}^2}$$

Με βάση τις διαστάσεις του πάνελ της περίπτωσης μας, προκύπτει :

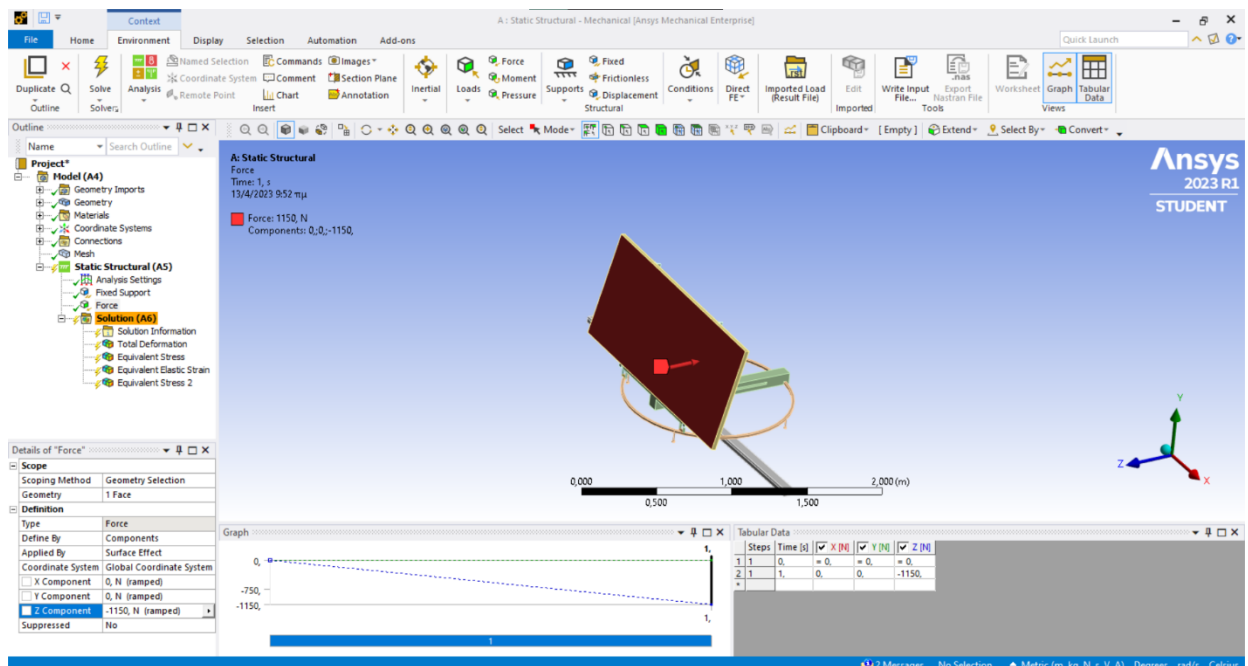
$$A_f = (1710 \text{ mm} \times 998 \text{ mm}) = 1,71 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα } 0,67 \cdot 1,71 = \mathbf{1,15 \text{ Kn}}$$

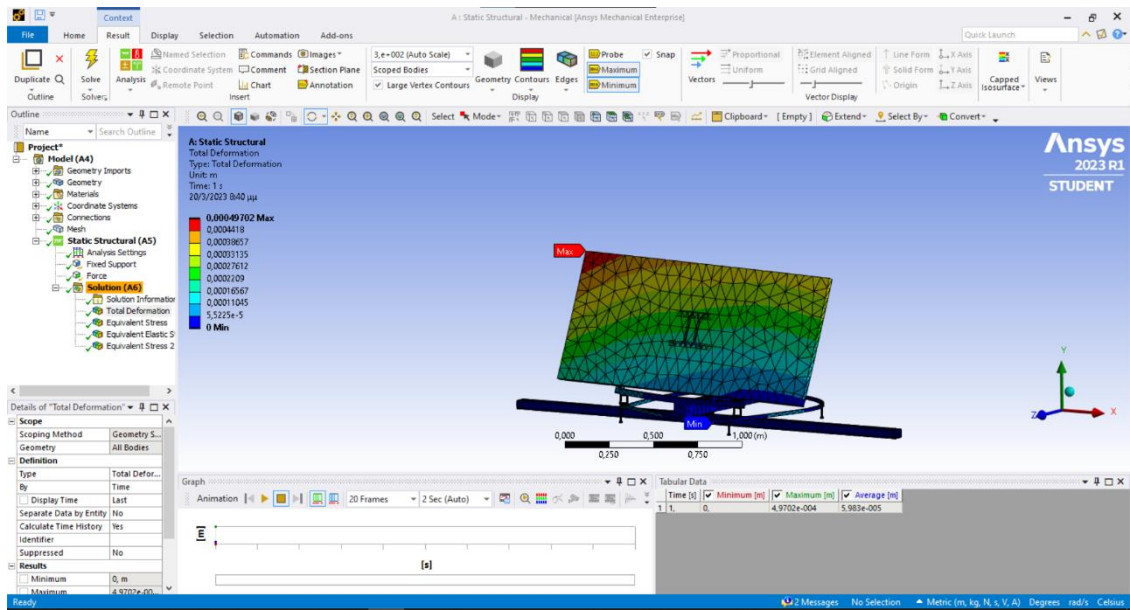
4.6 Ανάλυση φορτία ανέμου με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (ANSYS)

1^η Περίπτωση επιβολή φορτίου από την μπροστινή επιφάνεια :

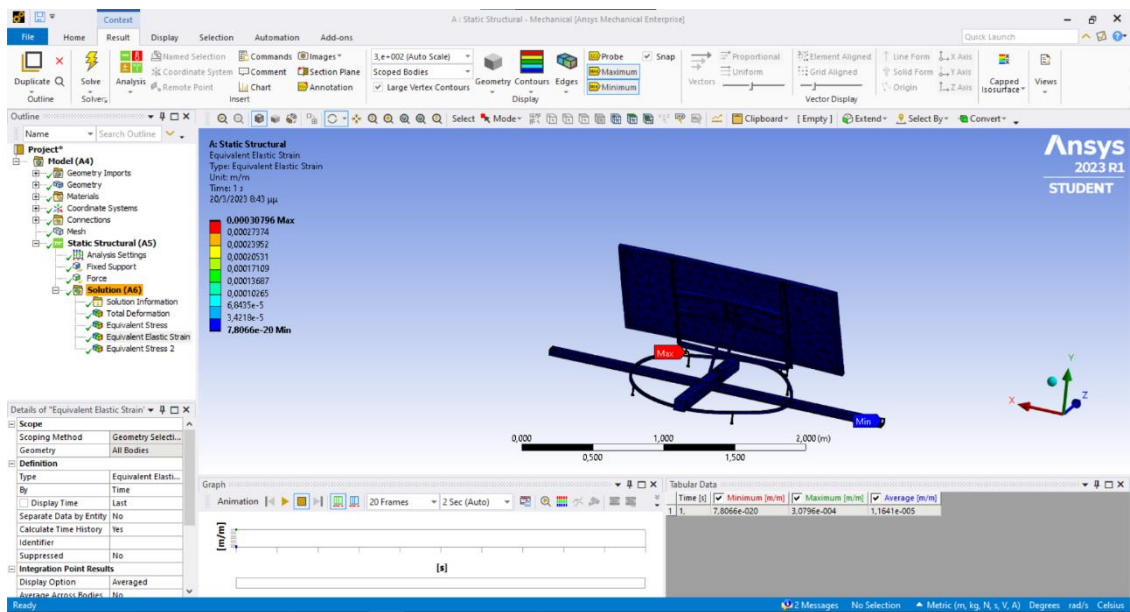
Όπως και στην περίπτωση του χιονιού ξεκίνησε η διαδικασία με την επιβολή φορτίου στο μοντέλο, στα 1150 N κατανεμημένη δύναμη.



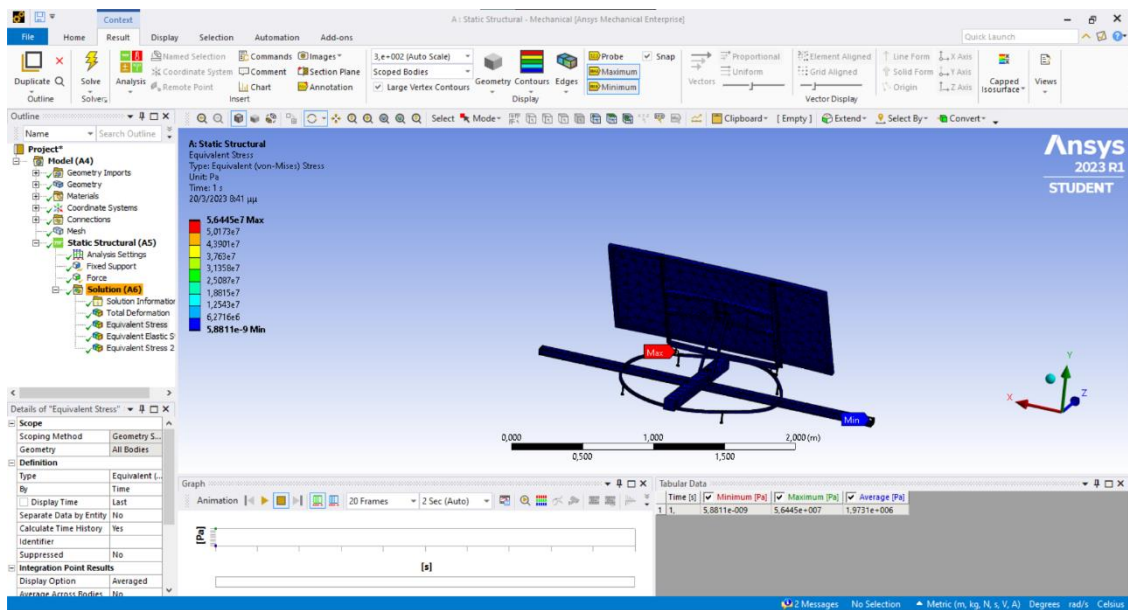
Εικόνα 4.5.1 Επιβολή Φορτίου.



Εικόνα 4.5.1 : Ολική μετατόπιση σε m , φορτίο ανέμου.



Εικόνα 4.5.2 Ελαστική παραμόρφωση.



Εικόνα 4.5.3 Τάσεις Von Mises.

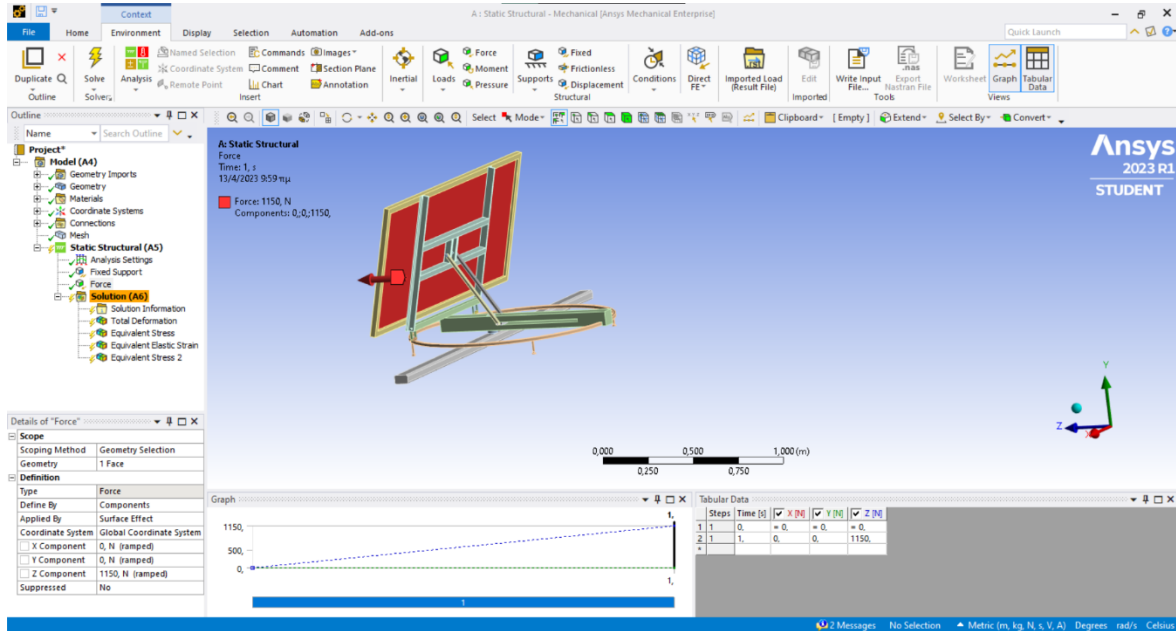
Στο στιγμιότυπο 4.5.2 την ανάλυσης αυτής παρατηρείται η ολική μετατόπιση σε μέτρα του μοντέλου, με μεγαλύτερη (0.49 mm) να αναπτύσσεται στις άνω γωνίες του πλαισίου όπως και στην περίπτωση του χιονιού. Εδώ ισχύει πάλι η ίδια ερμηνεία, μιας και το υλικό του πλαισίου είναι από αλουμίνιο και δεν υπάρχει στήριξη από χάλυβα στις γωνίες του πάνελ από την πίσω πλευρά.

Στο στιγμιότυπο 4.5.3 εμφανίζεται η ελαστική παραμόρφωση του μοντέλου με μεγαλύτερα να εμφανίζεται στο ράουλο κύλισης με (0,30 mm). Η παραμόρφωση σε αυτό το σημείο είναι λογική γιατί το εξάρτημα αυτό έχει την μικρότερη διατομή στο σύστημα.

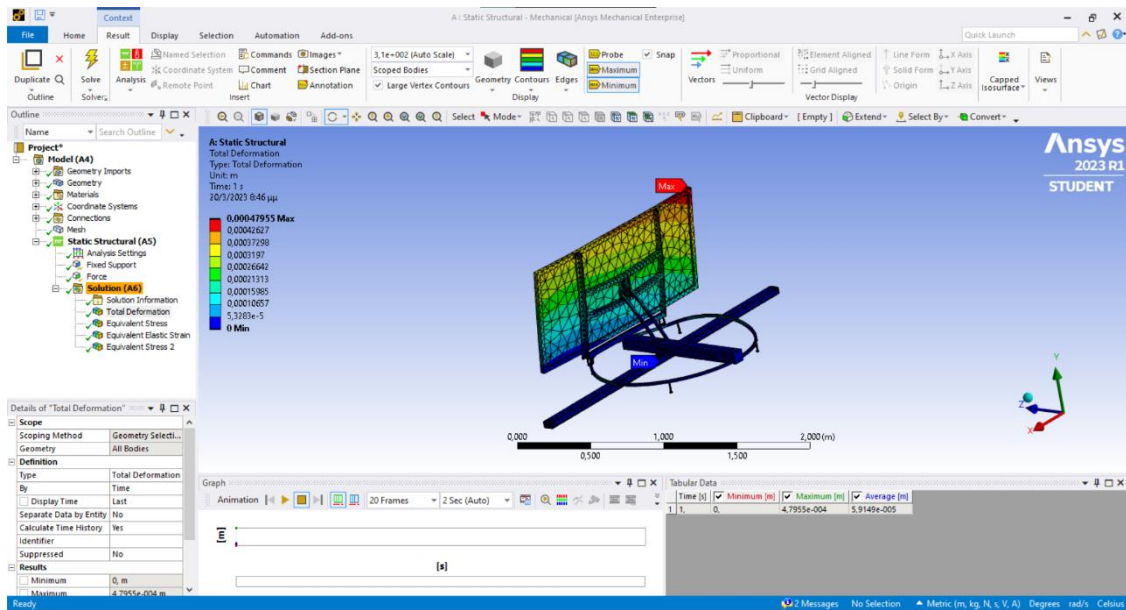
Τέλος στο στιγμιότυπο 4.5.4 φαίνονται οι ισοδύναμες τάσεις Von Mises με μεγαλύτερη να αναπτύσσεται στο ίδιο σημείο με την ελαστική παραμόρφωση, με (5,644e7 Pa) δηλαδή της τάξεως του 10^7 Pa. Και εδώ το υλικό είναι χάλυβας υψηλής αντοχής (StIII) με όριο διαρροής ($2,1e^8$), δηλαδή μεγαλύτερο από τις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στο υπό μελέτη μοντέλο μας.

2^η Περίπτωση επιβολή φορτίου από την πίσω επιφάνεια:

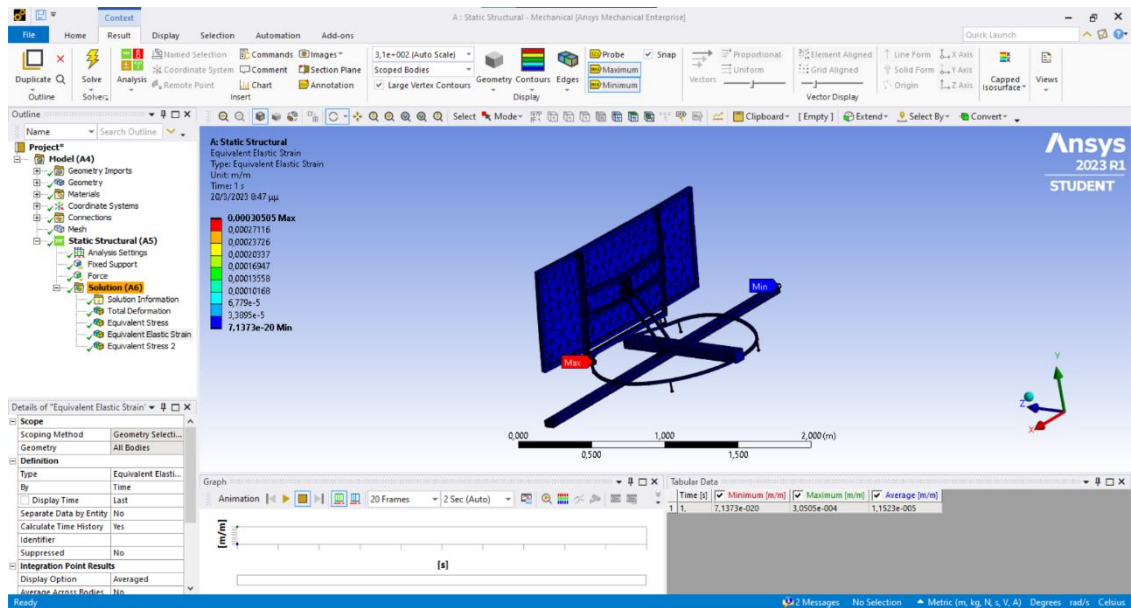
Επίσης αυτή τη περίπτωση πραγματοποιήθηκε η επιβολή της κατανεμημένης δύναμης στην πίσω επιφάνεια του πάνελ, στα 1150 N.



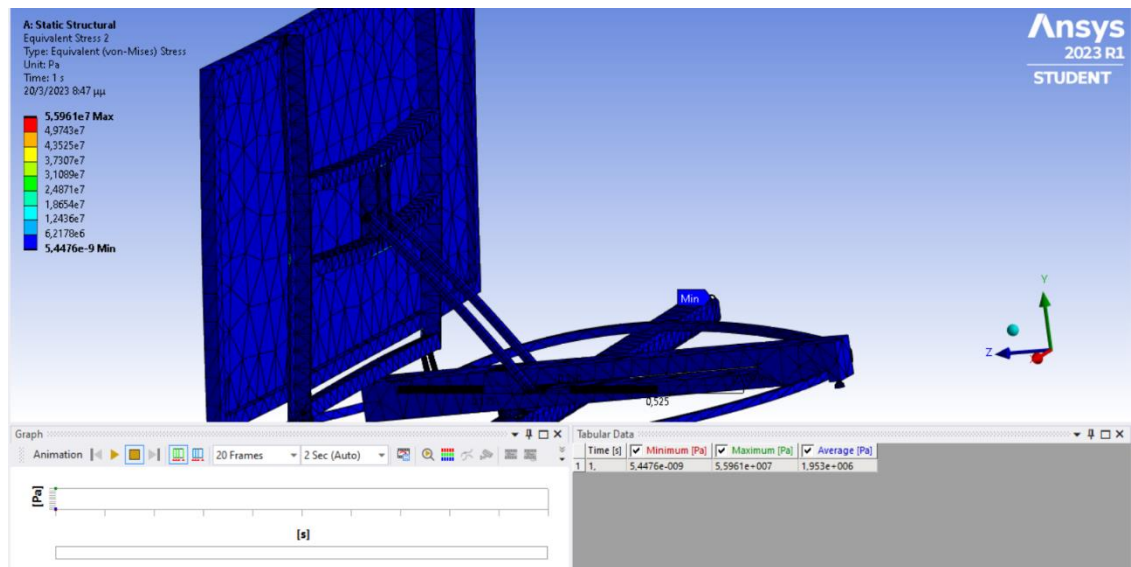
Εικόνα 4.5.4 Επιβολή φορτίου.



Εικόνα 4.5.5. Ολική μετατόπιση σε m.



Εικόνα 4.5.6 Ελαστική παραμόρφωση.



Εικόνα 4.5.7. Τάσεις Von Mises.

(Στην περίπτωση της φόρτισης στην πίσω επιφάνεια του πλαισίου οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις και παραμορφώσεις αναπτύσσονται στα ίδια σημεία με την προηγούμενη περίπτωση φόρτισης.)

Στο στιγμιότυπο 4.5.5 την ανάλυσης παρατηρήθηκε η ολική μετατόπιση σε μέτρα του μοντέλου, με μεγαλύτερη (0.47 mm) να αναπτύσσεται στις άνω γωνίες του πλαισίου όπως και στην περίπτωση της φόρτισης από την μπροστά επιφάνεια.

Στο στιγμιότυπο 4.5.6 εμφανίζεται η ελαστική παραμόρφωση του μοντέλου με μεγαλύτερα να εμφανίζεται στο ράουλο κύλισης με (0,30 mm).

Τέλος στο στιγμιότυπο 4.5.7 φαίνονται οι ισοδύναμες τάσεις Von Mises με μεγαλύτερη να είναι (5,569e7 Pa) δηλαδή της τάξεως του 10^7 Pa.

Και εδώ τα υλικά είναι χάλυβας υψηλής αντοχής (StIII) με όριο διαρροής ($2,1e8$) μεγαλύτερο από τις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στο υπό μελέτη μοντέλο μας.

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω στιγμιότυπα οι μετατοπίσεις είναι μικρές και οι αναπτυσσόμενες τάσεις που αναπτύσσονται πάνω στο μοντέλο με την μέγιστη να είναι 55.69MPa, είναι μικρότερες σε σχέσεις με τα όρια υλικών που χρησιμοποιήθηκαν από τα δεδομένα των εικόνων (4.2 & 4.3) και εντός του συντελεστή ασφαλείας.

Επίλογος

Μετά το πέρας της παρούσας πτυχιακής εργασίας διαπιστώθηκε ότι η δημιουργία μιας μηχανικής διάταξης από την αρχή είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία, καθώς απαιτεί πολλές δοκιμές και αποτυχίες στην σχεδίαση σε σχέση με την αρχική ιδέα. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία διαστασιολόγησης και γεωμετρίας του κάθε εξαρτήματος χρειάστηκε αρκετές δοκιμές για να επιτευχθεί η κατάλληλη διατομή και γεωμετρία του εξαρτήματος.

Έπειτα η ανάλυση φορτίσεων καθώς και η συλλογή πληροφοριών από τον Ευρωκώδικα για τις δύο περιπτώσεις μας (φορτία χιονιού-ανέμου), ήταν περίπλοκη γιατί πρέπει να προσαρμόσουμε τα δεδομένα που υπάρχουν στην δικιά μας περίπτωση.

Παρόλο τις δυσκολίες μας όμως συμπεραίνουμε ότι το σύστημα που δημιουργήσαμε αντέχει στις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα για αυτές τις δύο περιπτώσεις.

Βιβλιογραφία :

- 1) Βαδαλούκας Γ.,-Θεοδοπούλου Π., *Ευρωκώδικας 1 Κανονισμός Φόρτισης, Προγράμματα Πολιτικού Μηχανικού*, 4ΜVΚ ΕΠΕ, Αθήνα χ.χ.
- 2) Ερμόπουλος Χ. Ιωάννης, *Ευρωκώδικας 1*, β' εκδ., Κλειδάριθμος, Αθήνα 2008.
- 3) Μαλακάτας Ν.,-Τρέζος Κ., *EN 1991-1-4: Γενικές δράσεις-Δράσεις Ανέμου*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, εκδ. Τ.Ε.Ε., Αθήνα Νοέμβριος 2009.
- 4)<https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>
- 5) <http://chinagreenpowertech.blogspot.com/>
- 6) Υπολογισμός απόδοσης Φ/Β : <https://selasenergy.gr/solar-panel-monthly-results.php>
- 7) https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker
- 8) https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker
- 9) <http://phys-exp.physics.uoi.gr/?p=395>
- 10) <https://selasenergy.gr/solar-calculator-main.php>
- 11)[https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/GEO164/Intro to Carto lecture 3-4.pdf](https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/GEO164/Intro_to_Carto_lecture_3-4.pdf)
- 12) <https://sites.google.com/site/poloiisemerinosparallkykloi/>
- 13) <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/tilted-single-axis-tracker/>