

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του φοιτητή του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του
Πολυτεχνείου Κρήτης

Μελετίου Γ. Ρεντούμη

A.M. 2008010095

Σχεδιασμός Ηλιακού Ιχνηλάτη με μηχανισμό κίνησης δύο αξόνων, με
την βοήθεια του προγράμματος τρισδιάστατης σχεδίασης CATIA.

Επιβλέπων Καθηγητής: Μπιλάλης Νικόλαος

Χανιά 2013

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας: Σχεδιασμός Ηλιακού Ιχνηλάτη με μηχανισμό κίνησης δύο αξόνων, με την βοήθεια του προγράμματος τρισδιάστατης σχεδίασης CATIA.

Φοιτητής: Ρεντούμης Μελέτιος

Εξεταστική επιτροπή:

Μπιλάλης Νικόλαος – Επιβλέπων Καθηγητής

Αντωνιάδης Αριστομένης

Μουστάκης Βασίλειος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Νικόλαο Μπιλάλη για την καθοδήγησή του και τις καίριες υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας καθώς και στην βοήθεια του για την επιλογή του θέματος. Επιπλέον, οφείλω ένα ευχαριστώ στο Χρήστο Αναστασόπουλο για την βοήθεια και τις παρατηρήσεις του.

Αφιερώνω την παρούσα εργασία στην οικογένειά μου και τους φίλους Ελίνα, Πάνο, Ηλία, Μιχαήλ και Γιώργο ως μία ελάχιστη αναγνώριση της στήριξης που μου παρείχαν και εξακολουθούν να μου παρέχουν ανελλιπώς.

Και προφανώς στη Γιάννα, που μάλλον δεν είχα αναγνωρίσει την συμβολή της όταν έπρεπε αλλά παρόλα αυτά δεν είπε τίποτα.

Μελέτης

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό και τη μελέτη Ηλιακού ιχνηλάτη με δυνατότητα κίνησης σε δύο άξονες με την χρήση της πλατφόρμας τρισδιάστατης σχεδίασης του CATIA.

Σκοπός πέρα από την σχεδίαση ενός ψηφιακού μοντέλου είναι η εμβάθυνση στη χρήση του σχεδιαστικού περιβάλλοντος του CATIA και των συστημάτων CAD/CAM προς την ανάδειξη της χρησιμότητάς τους σε όλα τα στάδια της παραγωγής.

Το ψηφιακό μοντέλο δύναται να πραγματοποιήσει κίνηση τόσο στον οριζόντιο όσο και στον κατακόρυφο άξονα. Σχεδιάστηκαν και συναρμολογήθηκαν η βαρυτική βάση, η πυραμίδα του ιχνηλάτη, οι σωληνωτές στηρίξεις, το κινητό πλαίσιο και τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Η συνολική ετήσια παραγόμενη ισχύς του συστήματος ανέρχεται στα 24.84 kW_p με το σύστημα να διαθέτει συνολικά 108 μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία και συνολική ωφέλιμη επιφάνεια 130 τετραγωνικών μέτρων.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εισαγωγή στα συστήματα CAD/CAM, στις μορφές μοντελοποίησης και τα πλεονεκτήματά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το περιβάλλον σχεδίασης του CATIA, οι βασικές εντολές και δυνατότητές του.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια και μετατροπή της σε ηλεκτρική και επεξηγούνται οι ημιαγωγοί και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Επιπλέον, αναλύονται τα δομικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών κελιών και πλαισίων, ενώ ακολουθεί εκτενής επεξήγηση των μηχανισμών στήριξής τους. Τέλος, παρουσιάζονται όλα τα σύγχρονα είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων και οι παράγοντες που επηρεάζουν την αναμενόμενη απόδοσή τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επεξηγούνται αναλυτικά τα τμήματα της συναρμολόγησης του ψηφιακού μοντέλου του ιχνηλάτη και η ακολουθία των εντολών που εφαρμόστηκε, καταλήγοντας στις δυνατότητες κίνησης του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα-αποτελέσματα της παρούσης διπλωματικής εργασίας και οι δυνατότητες για μελλοντική εργασία πάνω στο παρόν ψηφιακό μοντέλο ηλιακού ιχνηλάτη 2-αξόνων.

Abstract

The present thesis is concerned with the design and study of a 2-axis Solar Tracker using the three-dimensional design platform of CATIA.

The objective of this thesis apart from the design of the digital model, is the deepening of knowledge in the usage of the design environment of CATIA and the CAD/CAM systems highlighting their utility in all the stages of production.

The digital model is capable of rotating around the horizontal and vertical axis. The gravitational base, the tracker's pyramid, the tubular supports, the mobile frame and the photovoltaic panels have been designed and put together in the final assembly.

The total annual power the system produces is 24.84 kW_p supporting a total of 108 monocrystalline photovoltaic panels while covering a usable area of 130 square meters.

The first chapter is an introduction to CAD/CAM systems and their benefits focusing on methods of creating digital models.

The second chapter presents the Graphical User Interface (GUI) of CATIA and its potential focusing on solid model design commands.

The third chapter introduces solar energy and its conversion to electrical power while explaining the p-n junction and the photovoltaic phenomenon. Also the structural parts of P/V cells and panels are being analyzed along with the extensive explanation of their support mechanisms. At the end of the chapter all the modern alternatives of P/V systems are presented followed by the factors affecting the expected energy return.

The fourth chapter explains all the parts of the final assembly of the Solar Tracker's digital model. In addition, the sequence of commands applied is presented, leading to the capability of rotation around the 2-axis.

The fifth chapter is a reference to the conclusions and results of the current thesis and to the possibilities of future work on the current Solar Tracker's digital model.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract	5
1. Συστήματα CAD/CAM	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Η χρήση ενός συστήματος CAD	10
1.3 Μοντελοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων	11
1.3.1 Μοντέλα ακμών (Wireframe models)	11
1.3.2 Μοντέλα επιφανειών (Surface models)	12
1.3.3 Μοντέλα στερεών (Solid Models)	13
1.3.4 Παραμετρική μοντελοποίηση	14
1.4 Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων CAD	14
2. CATIA	15
2.1 Ιστορικά στοιχεία	15
2.2 Στόχος της εφαρμογής	16
2.3 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (Graphical User Interface - GUI)	17
2.3.1 Βασική γραμμή διαχείρισης αρχείων και ρυθμίσεων του CATIA	18
2.3.2 Σχεδίαση στο Sketch (Workbench)	20
2.3.3 Εργαλεία Τρισδιάστατης Σχεδίασης	21
2.3.4 Γραφικό Περιβάλλον Συναρμολόγησης	27
2.3.4.1 Διαχείριση περιορισμών Συναρμολόγησης	28
2.3.4.2 Εργαλεία Χειρισμού Συναρμολόγησης	29
2.3.5 Rendering	31
3. Φωτοβολταϊκά συστήματα και στηρίξεις	33
3.1.Εισαγωγή	33
3.1.1 Το ενεργειακό ζήτημα	33
3.1.2 Η ηλιακή ακτινοβολία	35
3.1.3 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας	36
3.1.4 Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια	36
3.1.5 Ημιαγωγοί (p-n junction)	37
3.1.6 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	41
3.2 Δομικά στοιχεία ηλιακών κελιών και φωτοβολταϊκών πλαισίων	43
3.2.1 Είδη ηλιακών κελιών	43
3.2.1.1 Μονοκρυσταλλικά κελιά πυριτίου	43
3.2.1.2 Πολυκρυσταλλικά κελιά πυριτίου	44
3.2.1.3 Λεπτού υμενίου ή λεπτής μεμβράνης	45
3.2.1.4 Υβριδικά κελιά	46
3.2.2 Δομή φωτοβολταϊκών κελιών	47

3.2.3 Δομή φωτοβολταϊκών πλαισίων	47
3.2.4 Φωτοβολταϊκές συστοιχίες.....	49
3.3 Στηρίξεις φωτοβολταϊκών πλαισίων	49
3.3.1 Στηρίξεις με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη	49
3.3.2 Στηρίξεις με εποχιακή ρύθμιση γωνίας κλίσης του συλλέκτη	51
3.3.3 Συστήματα στήριξης συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης (Trackers)	51
3.3.3.1 Ηλιοτρόπια με στροφή γύρω από έναν άξονα.....	52
3.3.3.2 Ηλιοτρόπια με στροφή γύρω από δύο άξονες.....	53
3.4 Δομή φωτοβολταϊκών συστημάτων	55
3.4.1 Αυτόνομα συστήματα	55
3.4.2 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα	56
3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων	57
4. Σχεδιασμός Ηλιακού Ιχνηλάτη δύο αξόνων με την βοήθεια του προγράμματος τρισδιάστατης σχεδίασης CATIA.....	60
4.1 Σχεδιασμός Βαρυτικής Βάσης	61
4.1.1 Ακολουθία εντολών για την Βαρυτική Βάση	62
4.2 Σχεδιασμός Πυραμίδας Ιχνηλάτη (Pyramid Tracker).....	63
4.2.1 Ακολουθία εντολών για την Πυραμίδα του Ιχνηλάτη	68
4.3 Σωληνωτές Στηρίξεις και Κινητό Πλαίσιο.....	68
4.3.1 Ακολουθία εντολών για τις Σωληνωτές Στηρίξεις και το Κινητό Πλαίσιο	75
4.4 Σχεδιασμός Φωτοβολταϊκών στοιχείων - Πλαισίων.....	76
4.5 Κίνηση σε δύο άξονες.....	78
4.6 Renderings	79
5.1 Συμπεράσματα	81
5.2 Μελλοντικές προοπτικές.....	81
6. Βιβλιογραφία	83
Παράρτημα-Drawings	84

1. Συστήματα CAD/CAM

1.1 Εισαγωγή

Οι ρίζες των συστημάτων CAD (Computer Aided Design) όπως τα γνωρίζουμε σήμερα τοποθετούνται στην αρχή του πολιτισμού όταν οι μηχανικοί στην αρχαία Αίγυπτο αναγνώρισαν την επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και σχεδιασμού. Η πραγματική ανάπτυξη όμως ξεκίνησε την δεκαετία του 50'. Τα συστήματα CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing) πέρασαν μέσα από πέντε κύριες φάσεις ανάπτυξης τον τελευταίο αιώνα.

Η δεκαετία του 50' θεωρείται η εποχή των διαδραστικών γραφικών με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Είναι η ίδια εποχή όπου παρουσιάζεται για πρώτη φορά η ιδέα του προγραμματισμού NC σε μία μηχανή κατεργασιών τριών αξόνων. Παρ' όλα αυτά η ανάπτυξη των συστημάτων CAD δεν έφτασε σε ικανοποιητικά επίπεδα λόγω της έλλειψης και του κόστους των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στα τέλη της δεκαετίας όμως, η General Motors χρησιμοποιώντας την ήδη ανεπτυγμένη γλώσσα προγραμματισμού APT (Automatically Programmed Tools) εξερευνά τις δυνατότητες των διαδραστικών γραφικών.

Τη δεκαετία του 60' η έρευνα που αφορά τη γραφική απεικόνιση στον υπολογιστή ολοκληρώνεται και ο τομέας αναπτύσσεται. Είναι η περίοδος του ο όρος CAD χρησιμοποιείται για πρώτη φορά ύστερα από την δημιουργία του Sketch Pad από τον Ivan Sutherland και την χρήση του Light Pen για την σχεδίαση σε αυτό. Παράλληλα, τα συστήματα CAD/CAM παρουσιάζονται και χρησιμοποιούνται στο εμπόριο από την Lockheed.

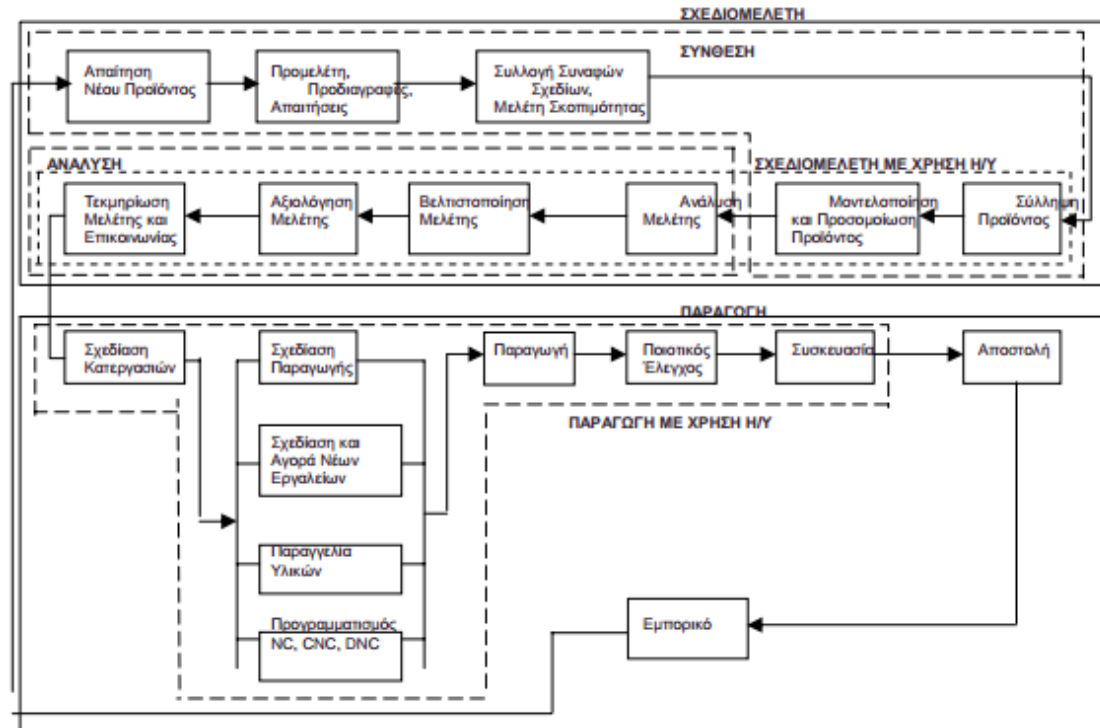
Την επόμενη δεκαετία τα συστήματα CAD/CAM κάνουν την εμφάνισή τους στους ακαδημαϊκούς κύκλους και στην κυβέρνηση οδηγώντας έτσι στην δημιουργία του εθνικού οργανισμού για την ανάπτυξη των εν λόγω συστημάτων. Ακόμη, γίνεται διαθέσιμη η παραγωγή προσχεδίων, ακμών, επιφανειών, η Finite Element Analysis, ο υπολογισμός μάζας, η ενσωμάτωση κυκλωμάτων και η παραγωγή NC κώδικα.

Η δεκαετία του 80' καθορίζεται από την ευρεία χρήση των συστημάτων CAD/CAM καθώς εφαρμόζεται στην έρευνα και ανάπτυξη μηχανολογικών εφαρμογών. Παρουσιάζονται νέες θεωρίες και αλγόριθμοι και γίνεται διαθέσιμη η γραφική απεικόνιση και δημιουργία στερεών.

Την δεκαετία που ακολουθεί η χρήση των συστημάτων εφαρμόζεται για την παρουσίαση και αξιολόγηση καινοτόμων μηχανολογικών ιδεών. Είναι εμφανής πλέον η ευρεία ανάπτυξη και εφαρμογή τους και επιβεβαιώνεται από την δημιουργία εξειδικευμένου λογισμικού και κατάλληλα προσαρμοσμένων υπολογιστικών μηχανών.

1.2 Η χρήση ενός συστήματος CAD

Οι χρήσεις των συστημάτων σχεδίασης με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή εφαρμόζονται σε όλα τα στάδια της παραγωγής ενός προϊόντος.



Εικόνα 0 Κύκλος ζωής προϊόντος

Από την σύλληψη της ιδέας, τον σχεδιασμό, τον έλεγχο έως και την κατασκευή. Κατά την σύλληψη της ιδέας, οφείλεται να πραγματοποιηθεί έρευνα στην αγορά που να καθορίζει τα επιθυμητά επίπεδα ενός παρόμοιου προϊόντος και τις ανάγκες που καλείται να καλύψει. Στη συνέχεια, το στάδιο της σχεδίασης υποδιαιρείται σε άλλες τρεις φάσεις: το προσχέδιο, το σχέδιο του μοντέλου και την δημιουργία βιβλιοθηκών. Κατά την δημιουργία του προσχεδίου, ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί μόνο ένα φύλλο χαρτί και ένα μολύβι ή απλά μπορεί να προσπεράσει αυτό το στάδιο και να χρησιμοποιήσει ένα λογισμικό σχεδίασης περνώντας στο δεύτερο στάδιο. Το σχέδιο του μοντέλου μπορεί να είναι είτε δύο, είτε τριών διαστάσεων ή και τα δύο. Το τελικό ψηφιακό μοντέλο αποτελεί πιστή απεικόνιση του τελικού προϊόντος και περιέχει όλες τις λεπτομέρειες για κάθε κομμάτι που θα χρησιμοποιηθεί (διαστάσεις, υλικά, χρώμα). Η διαδικασία της ανάπτυξης μιας ιδέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε από ένα άτομο ή μια ομάδα, είτε από ένα σύνολο ομάδων. Για την διευκόλυνση της συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των ατόμων δημιουργούνται βιβλιοθήκες στοιχείων που λειτουργούν ως κοινό σημείο αναφοράς στη σχεδίαση.

Ακολουθεί η μηχανική ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου με την βοήθεια υποστηριζόμενων προγραμμάτων (CAE-Computer Aided Engineering).

Αποτέλεσμα των προγραμμάτων είναι η γραφική απεικόνιση στο μοντέλο, των δυνάμεων, ροπών, πιέσεων κ.α.

Επιπλέον, δύναται να γίνει η προσομοίωση παραγωγής σε πραγματικό χρόνο όπως εκείνη θα γινόταν σε μια μηχανή κατεργασιών. Καθορίζονται τα κρίσιμα μονοπάτια επεξεργασίας, η ποιότητα επιφανείας και κατ' επέκταση τα κατάλληλα εργαλεία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν από τη μηχανή.

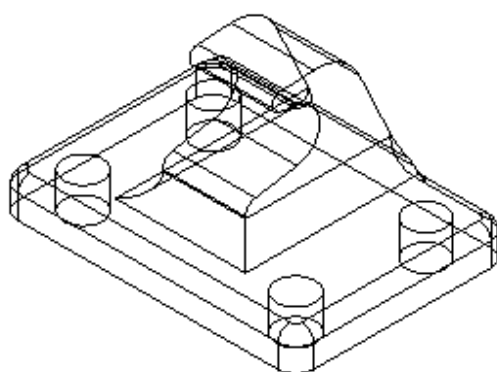
1.3 Μοντελοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων

Για την μοντελοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων έχουν εφαρμοστεί αρκετές μεθοδολογίες, με αρκετές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Οι βασικότερες είναι: τα μοντέλα ακμών, τα μοντέλα επιφανειών, τα μοντέλα στερεών και τα στερεά μοντέλα με μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Οι διαφορές μεταξύ των συγκεκριμένων μεθοδολογιών αφορούν την πληρότητα του ψηφιακού μοντέλου. Τα μοντέλα ακμών είναι τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν και θεωρούνται τα απλούστερα στη χρήση και τα λιγότερο απαιτητικά στην εφαρμογή από άποψη υπολογιστικής ισχύος. Σήμερα λόγω του περιορισμένου αριθμού εφαρμογών τους, χρησιμοποιούνται ως το ενδιάμεσο στάδιο για την δημιουργία των μοντέλου επιφανειών ή του στερεού μοντέλου. Τα μοντέλα επιφανειών μπορούν να εμφανίσουν με μεγάλη ακρίβεια την μορφή του τελικού αντικειμένου, χωρίς όμως να πλησιάζει την ακρίβεια του μοντέλου που δημιουργείται με την μεθοδολογία στερεού.

1.3.1 Μοντέλα ακμών (Wireframe models)

Τα βασικά στοιχεία των μοντέλων ακμών (wireframe models) είναι οι κορυφές

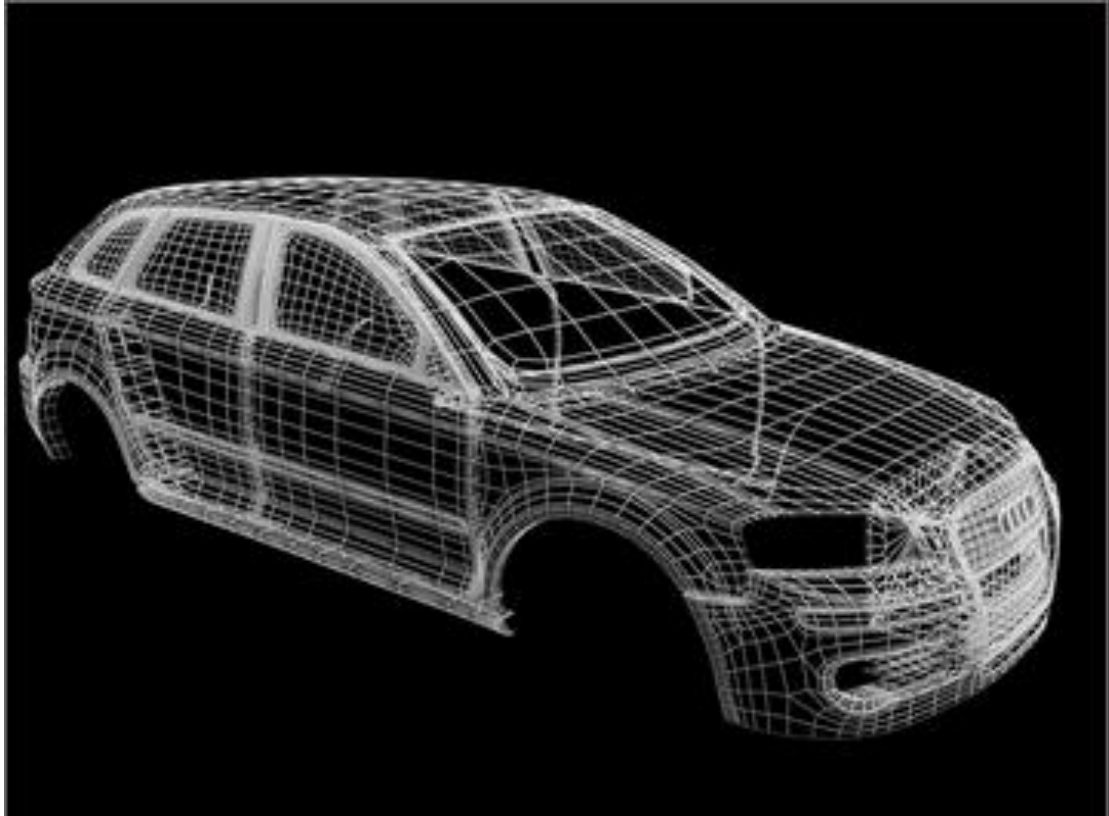


Εικόνα 1 Wireframe model

και οι ακμές. Πρακτικά πρόκειται για τις συντεταγμένες των σημείων που αντιστοιχούν στις κορυφές του χώρου και στις εξισώσεις του ενώνουν αυτά τα σημεία. Κάθε μοντέλο ακμών μπορεί να περιλαμβάνει μία λίστα που περιέχει κορυφές, μια που περιέχει τις ακμές που συνδέουν τις κορυφές και μία που περιγράφει τον τύπο εξίσωσης των ακμών ή μία λίστα

κορυφών, μια ακμών, τα είδη των εξισώσεων που τις περιγράφουν και

μία λίστα επιφανειών και ακμών που περιβάλλουν κάθε επιφάνεια. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου ακμών είναι η μικρή υπολογιστική ισχύς που απαιτείται, η ευκολία χρήσης της, καθώς ουσιαστικά αποτελεί μια επέκταση της σχεδίασης σε δύο διαστάσεις, ο μικρός χρόνος εκπαίδευσης, ο μικρός όγκος ορολογίας καθώς αποτελούν απαραίτητο στοιχείο στην σχεδίαση στερεών. Αντίθετα, απαιτείται μεγάλος χρόνος μοντελοποίησης, ορισμένα στοιχεία δεν είναι προφανή στην απεικόνισή τους,



Εικόνα 2 Wireframe model

η απόκρυψη μη ορατών ακμών είναι απαραίτητη για την κατανόηση του αντικειμένου και δεν είναι αυτόματη, η χρήση είναι μικρή και περιορισμένη σε λίγες εφαρμογές και τέλος η προβολή του αντικειμένου δεν είναι αντικειμενική αλλά εξαρτάται από την γωνία προβολής.

1.3.2 Μοντέλα επιφανειών (Surface models)

Με την βοήθεια ενός μοντέλου επιφανειών παρουσιάζεται η εξωτερική εμφάνιση του αντικειμένου χωρίς να του δίδεται πάχος.

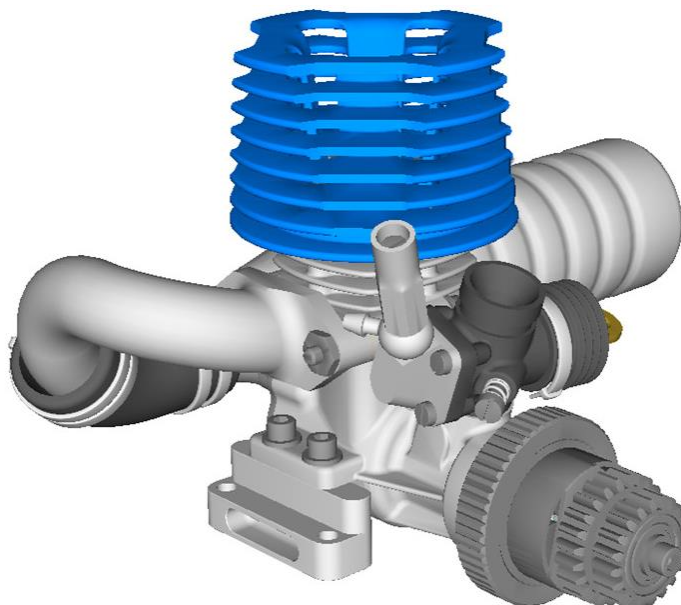


Εικόνα 3 Surface Model of a Dodge Challenger 1970

Αποτελεί μια από τις μεθόδους που συναντώνται κυρίως στην σύγχρονη βιομηχανία (ναυπηγία, αεροπορία, αυτοκινητοβιομηχανίες, κ.α.). Τα πλεονεκτήματά της έναντι των μοντέλων ακμών είναι: η ακριβέστερη αναπαράσταση της τελικής μορφής του αντικειμένου, η δυνατότητα αναπαράστασης οποιουδήποτε αντικειμένου, η δυνατότητα απόκρυψης μη ορατών ακμών αυτόματα, η σκίαση και ο ρεαλισμός για καλύτερη παρουσίαση, η δημιουργία πλέγματος για την μηχανική ανάλυση και η δημιουργία πορείας κοπτικού εργαλείου για προγραμματισμό αριθμητικού ελέγχου οποιασδήποτε εργαλειομηχανής. Αντίθετα, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται, συνοπτικά είναι: η δυσκολία στην παραγωγή σχεδίων λόγω του χρόνου που απαιτείται για τη δημιουργία όψεων, απαιτείται εξειδικευμένη γνώση μαθηματικής αναπαράστασης καμπυλών και επιφανειών για την σωστή επιλογή του είδους των επιφανειών και για την κατανόηση μεταβλητών που απαιτούνται από το σύστημα και τέλος βασίζονται σε μοντέλα ακμών.

1.3.3 Μοντέλα στερεών (Solid Models)

Τα στερεά μοντέλα είναι εκείνα που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα στην βιομηχανία λόγω της υψηλής ακρίβειας και της δυνατότητας προσομοίωσης της συναρμολόγησης που προσφέρουν. Τα ψηφιακά μοντέλα είναι πλέον κλειστοί όγκοι και όχι μόνο ένα σύνολο επιφανειών. Βασικά γεωμετρικά στοιχεία των στερεών είναι: τα σημεία, οι καμπύλες και οι επιφάνειες. Κατ' επέκταση τα στοιχεία τοπολογίας είναι: οι κορυφές, οι ακμές, οι βρόγχοι, τα κελύφη και τα στερεά.



Εικόνα 4 Solid model of a R/C engine

1.3.4 Παραμετρική μοντελοποίηση

Η παραμετρική μοντελοποίηση αλλάζει τον τρόπο σχεδίασης ενός μοντέλου θεωρώντας τις διαστάσεις του ως μεταβλητές και εμφανίζει απεριόριστες δυνατότητες δημιουργίας ομάδων αντικειμένων. Με την αλλαγή των διαστάσεων αλλάζει όλη η γεωμετρία του μοντέλου κατ'επιλογή του χρήστη. Η παραμετρική μοντελοποίηση βασίζεται σε ορισμένα βήματα τα οποία είναι:

- δημιουργία διατομής
- ορισμός παραμέτρων
- απόδοση διαστάσεων στις παραμέτρους
- καθορισμός και εφαρμογή των σχέσεων
- καθορισμός και εφαρμογή των περιορισμών
- δημιουργία μορφολογικών χαρακτηριστικών

Οι κύριες λειτουργίες δημιουργίας στερεών μοντέλων είναι τριών κατηγοριών:

- Λειτουργίες με τη χρήση υπαρχόντων στερεών και συνδυασμό αυτών με λειτουργίες συνόλων
- Ανωτέρου επιπέδου λειτουργίες, όπως σάρωση και περιστροφή διατομής, κίνηση κατά μήκος καμπύλης, προσαρμογή στερεού σε επιφάνειες στο χώρο κ.α.
- Λειτουργίες για τη μετατροπή ενός υπάρχοντος στερεού μοντέλου, όπως στρογγύλευση, μείξη κ.α.

1.4 Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων CAD

- Η οπτικοποίηση του τελικού προϊόντος και η ανάλυση της συναρμολόγησής του, μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση λογισμικού CAD. Εφόσον το ψηφιακό προϊόν έχει ολοκληρωθεί, ο σχεδιαστής μπορεί να συναρμολογήσει τα κομμάτια και να ελέγξει την επιθυμητή κίνηση του μοντέλου. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζει εάν το προϊόν χρειάζεται τροποποιήσεις και σε ποιο σημείο. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αύξηση της παραγωγικότητας με την ταχύτερη παραγωγή σχεδίων και η μείωση του κόστους και χρόνου ολοκλήρωσης του έργου.
- Με τη χρήση προτύπων στην δημιουργία σχεδίων ενισχύεται η επικοινωνία μεταξύ των σχεδιαστών και μειώνεται αισθητά ο χρόνος για την εύρεση λαθών.
- Προωθείται επιπλέον η δημιουργία ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων των σχεδίων, έτσι ώστε ο σχεδιαστής δεν χρειάζεται να τα δημιουργεί από την αρχή, δίνοντας έτσι την δυνατότητα παροχής θεωρητικά άπειρων αντιγράφων.
- Τα δεδομένα για την παρασκευή των προϊόντων σε εργαλειομηχανές αποθηκεύονται με τον ίδιο τρόπο για μελλοντική χρήση και πιθανές τροποποιήσεις.

2. CATIA

Η πλατφόρμα του C.A.T.I.A., ακρωνύμιο για Computer Aided Three-dimensional Application, αποτελεί ένα πολυσχιδές εμπορικό σύστημα που υποστηρίζει εφαρμογές CAD/CAM/CAE και αναπτύσσεται από την Γαλλική



Εικόνα 5 CATIA logo

εταιρεία Dassault-Systemes. Είναι προγραμματισμένη σε γλώσσα C++ και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της διαχείρισης του κύκλου ζωής προϊόντων της εταιρικής σουίτας προγραμμάτων.

2.1 Ιστορικά στοιχεία

Η πλατφόρμα CATIA ξεκίνησε να αναπτύσσεται αρχικά από την Avions Marcel Dassault με στόχο την ανάπτυξη του πολεμικού αεροσκάφους τύπου Mirage το 1977. Μετά από αυτό το σημείο ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στην αεροπορική βιομηχανία, στην αυτοκινητοβιομηχανία και σε άλλες βαρέως τύπου βιομηχανίες.



Εικόνα 6 Mirage Aircraft

Αρχικά το όνομα του εμπορικού προϊόντος ήταν CATIA (Conception Assistee Tridimensionnelle Interactive) ώσπου αντικαταστάθηκε από το CATIA με στόχο την ευρύτερη αποδοχή όταν η εταιρεία ανάπτυξης σύναψε μη-αποκλειστικό συμφωνητικό με την IBM για την διανομή του το 1981.

Από το 1984, η εταιρεία Boeing γίνεται ο μεγαλύτερος πελάτης της Dassault και ακολουθούν και άλλοι κατασκευαστικοί κολοσσοί όπως η General Dynamics Electric Boat Corp, η οποία χρησιμοποίησε το CATIA V3 για τον σχεδιασμό του υποβρυχίου Virginia του πολεμικού ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών το 1990, η BMW, η Porsche, η Toyota κ.α.

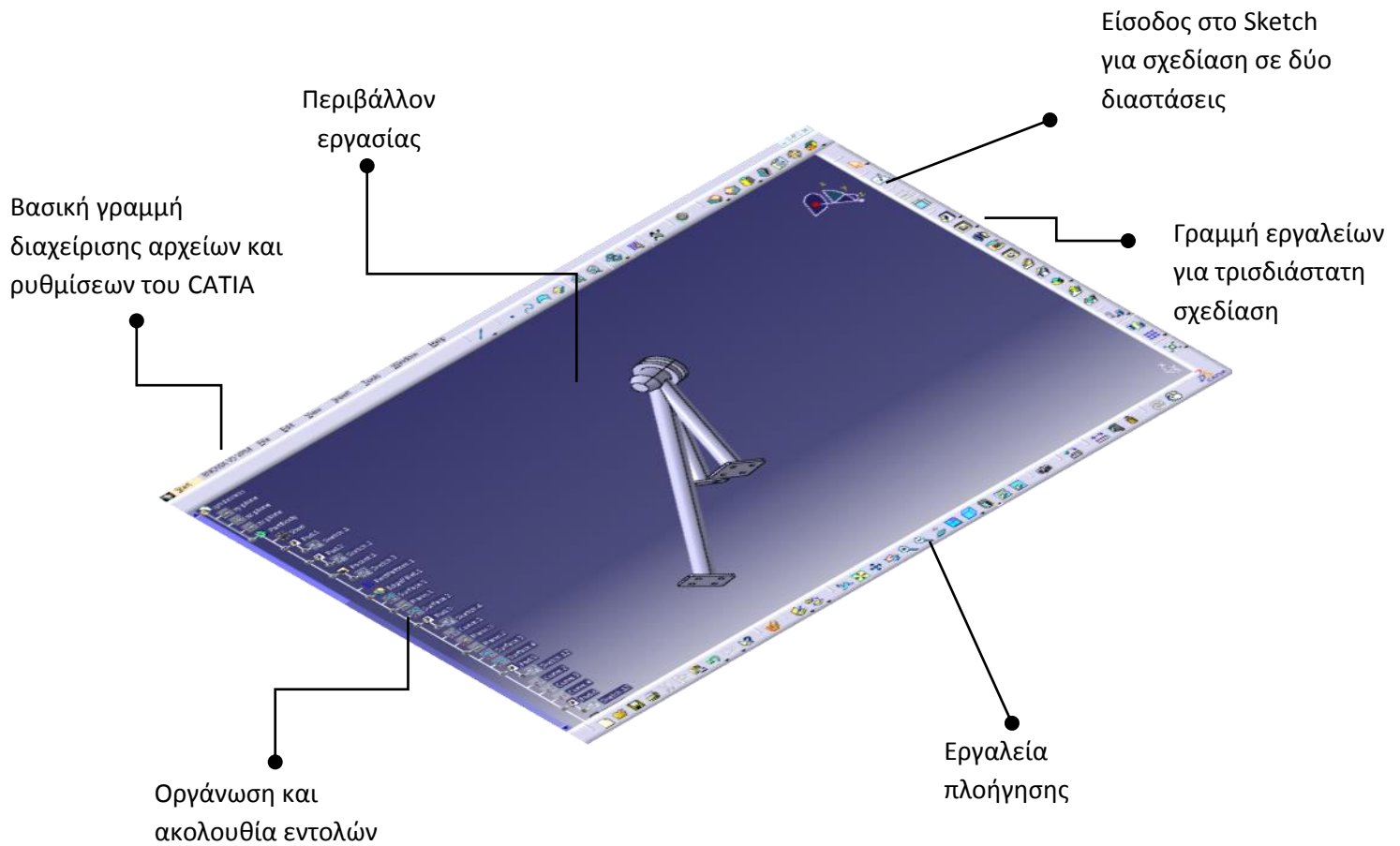
2.2 Στόχος της εφαρμογής

Η πλατφόρμα εφαρμογών του CATIA προσφέρει λύσεις για όλη την διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων. Σε αυτό περιλαμβάνονται η σύλληψη της ιδέας, ο σχεδιασμός (CAD), η κατεργασία του σε εργαλειομηχανές (CAM) και η μηχανική ανάλυση (CAE).

Η εφαρμογή παρέχει ένα πακέτο για διαχείριση επιφανειών, αντίστροφη μηχανική και οπτικοποίηση λύσεων για την δημιουργία, διαμόρφωση και έλεγχο επιφανειών που από απλή εικόνα μπορούν να εφαρμοστούν. Ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργεί τρισδιάστατα σχήματα, σχέδια (Drawings), φύλλα μετάλλων (sheet metal), να εφαρμόζει υλικά ελέγχοντας τις ιδιότητες που προσδίδουν στο σχεδιαζόμενο αντικείμενο φτάνοντας έτσι στο τελικό στάδιο της συναρμολόγησης όπου παρέχονται εργαλεία για τον προσδιορισμό κίνησης και ανοχών.

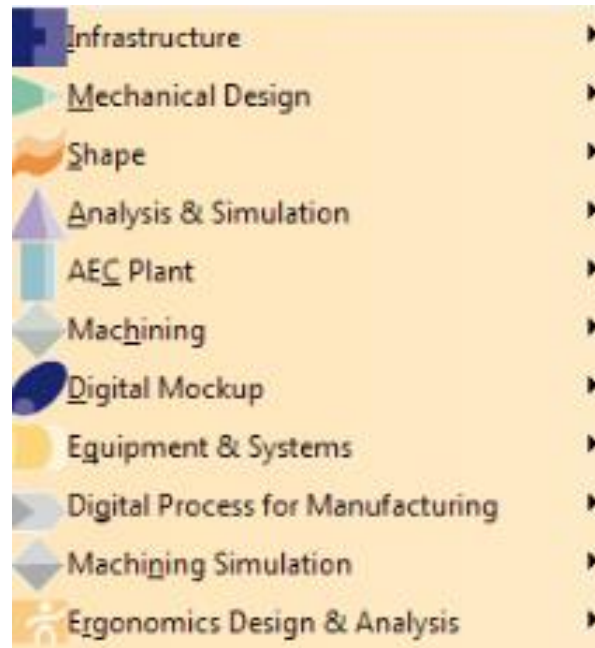
Ένας συνεχώς αναπτυσσόμενος τομέας παραμένει ο σχεδιασμός ηλεκτρονικών, ηλεκτρολογικών συστημάτων καθώς και εφαρμογών ρευστομηχανικής και HVAC (Heating, Ventilation, Air-Conditioning).

2.3 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (Graphical User Interface - GUI)



2.3.1 Βασική γραμμή διαχείρισης αρχείων και ρυθμίσεων του CATIA

Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής ο χρήστης καλείται να επιλέξει από την βασική γραμμή εργαλείων του προγράμματος το κατάλληλο πακέτο εργαλείων που θα ήθελε να χρησιμοποιήσει για την εργασία του. Το CATIA όπως έχει αναφερθεί και πρωτίτερα αποτελεί μια πλατφόρμα εφαρμογών και αναφέρεται σε αρκετούς τομείς της μηχανικής.



Εικόνα 8 Menu of applications

Στην επιλογή έναρξης, ο χρήστης βρίσκεται μπροστά σε μία σειρά εξειδικευμένων εφαρμογών, όπου καθεμία επιλέγεται ανάλογα με τον στόχο της εργασίας του χρήστη. Οι εφαρμογές αυτές ως επικεφαλίδες είναι: Infrastructure, Mechanical Design, Shape, Analysis and Simulation, AEC Plant, Machining, Digital Mockup, Equipment and Systems, Digital Process and Manufacturing, Machining Simulation και Ergonomics Design and Analysis .

Infrastructure: Περιλαμβάνει το σύνολο των υποδομών που απαρτίζουν την εφαρμογή, παλαιότερες εκδόσεις, καταλόγους έτοιμων αντικειμένων (κοχλίες, περικόχλια κ.α.), λίστα ήδη υπαρχόντων υλικών, καθώς και δομές για την δημιουργία νέων, συστήματα απόδοσης σε πραγματικό χρόνο (Real Time Rendering).

Mechanical Design: Αποτελεί τον κορμό της σχεδίασης του CATIA, περιλαμβάνοντας τρισδιάστατη σχεδίαση αντικειμένων, πραγματοποίηση συναρμολογήσεων, σχεδιασμό και χωροθέτηση υλικών, προσομοίωση συγκολλήσεων και χύτευσης, διαμόρφωση φύλλων μετάλλου κ.α.

Shape: Αναφέρεται στην διαμόρφωση σχημάτων δίνοντας έμφαση στην δημιουργικότητα καθώς περιλαμβάνονται εφαρμογές για ελεύθερο σχεδιασμό, σχεδίαση στο χέρι και ανοικοδόμηση επιφανειών. Χρησιμοποιείται σήμερα στην βιομηχανία της αεροπορίας, του αυτοκινήτου, της ιατρικής και προϊόντων υψηλής κατανάλωσης που ο σχεδιασμός τους είναι υψίστης σημασίας.

Analysis and Simulation: Στοχεύει στην προετοιμασία για μηχανική ανάλυση δομών και αντικειμένων πραγματοποιώντας μεθόδους τριγωνοποίησης.

AEC Plant: Αναφέρεται στην διαμόρφωση σχεδίου μίας βιομηχανίας επιτυγχάνοντας την ταχύτερη μετάβαση από την ιδέα στον έλεγχο και την τελική επικύρωση.

Machining: Η εφαρμογή αποτελείται από ένα αποτελεσματικό σύστημα NC προγραμματισμού που μειώνει τον συνολικό χρόνο κατεργασίας. Παρέχονται οι προσομοιώσεις σε 2, 2.5, 3 και 5 άξονες.

Digital Mockup: Αποτελεί μια ψηφιακή εκδοχή του προϊόντος που δύναται να υποστεί ένα μεγάλο εύρος προσομοιώσεων καλύπτοντας την ανάπτυξή του, την κατεργασία του και τέλος τις ανάγκες μετά την αγορά. Πρακτικά μειώνει την εξάρτηση των κατασκευαστών από φυσικά πρωτότυπα και ενισχύει την επίλυση προβλημάτων στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης του προϊόντος.

Equipment and Systems: Στοχεύει στον σχεδιασμό καλωδιώσεων, ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, σωληνώσεων, συστημάτων εξαερισμού, τουρμπινών καθώς και συνδυασμούς τους.

Digital Process and Manufacturing: Πρόσδοση ανοχών και σχολίων.

Machining Simulation: Βοηθά στην κατασκευή μηχανών κατεργασίας και προσομοίωσης της λειτουργίας τους.

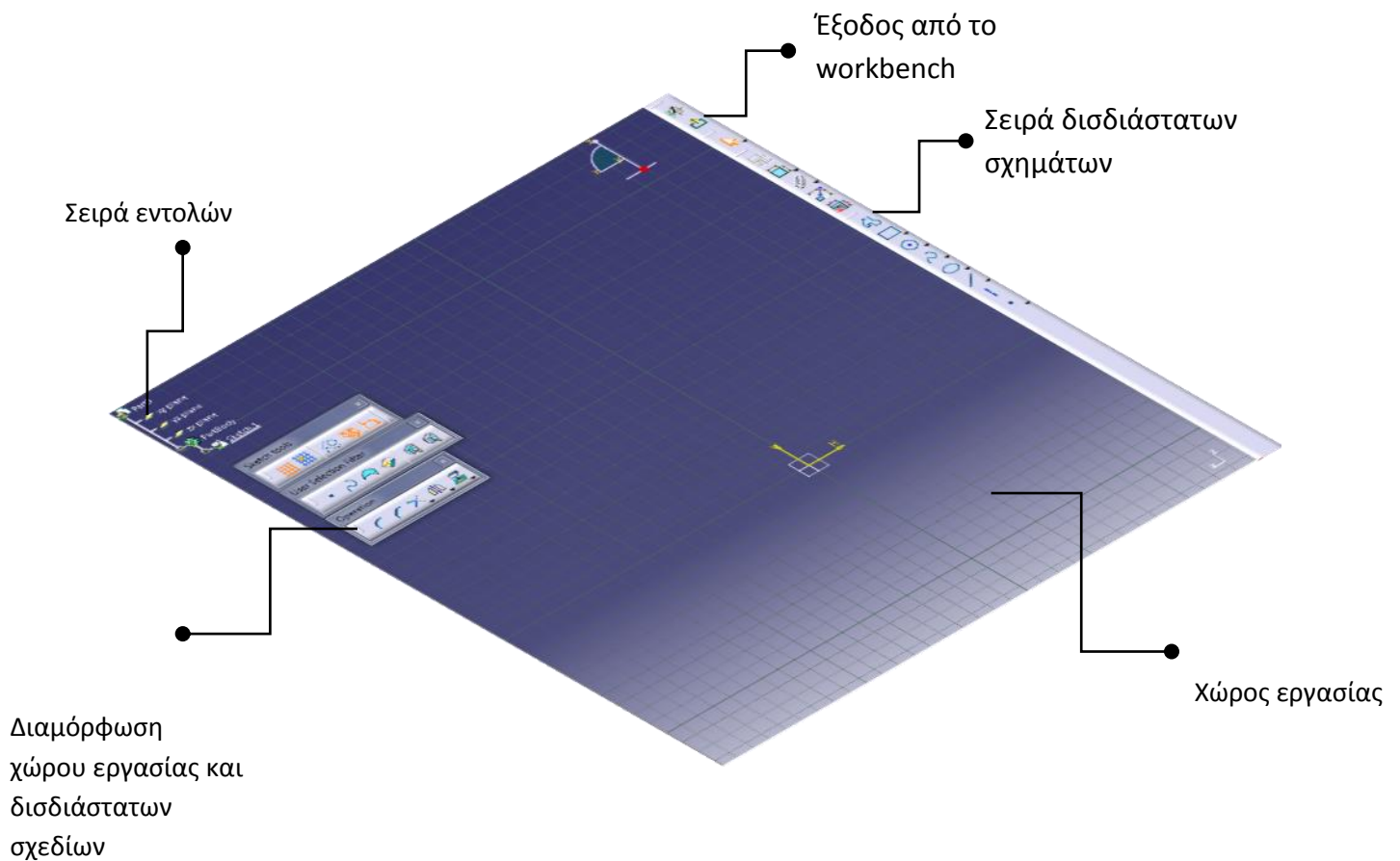
Ergonomics Design and Analysis: Ενισχύει τον έλεγχο της εργονομίας των κατασκευών μας, παρέχοντας τα ανθρώπινα μέτρα και θέσεις με την βοήθεια ψηφιακών ανθρώπινων μοντέλων.

Οι υπόλοιπες επιλογές στην γραμμή εργασιών είναι ταυτόσημες με εκείνες πολλών προγραμμάτων του εμπορίου και αφορούν την διαχείριση αρχείων και τις βασικές ρυθμίσεις εργαλείων και προσωπικών επιλογών του κάθε χρήστη (πάχος γραμμών, χρώμα βασικών επιπέδων σχεδίασης-datum planes, μακροεντολές, φίλτρα κ.α.).

Στην παρούσα εργασία δόθηκε έμφαση στην πλατφόρμα του Mechanical Design και για αυτό τον λόγο, ακολουθεί μια εκτενέστερη ανάλυση του τομέα αυτού της ευρύτερης πλατφόρμας του CATIA.

2.3.2 Σχεδίαση στο Sketch (Workbench)

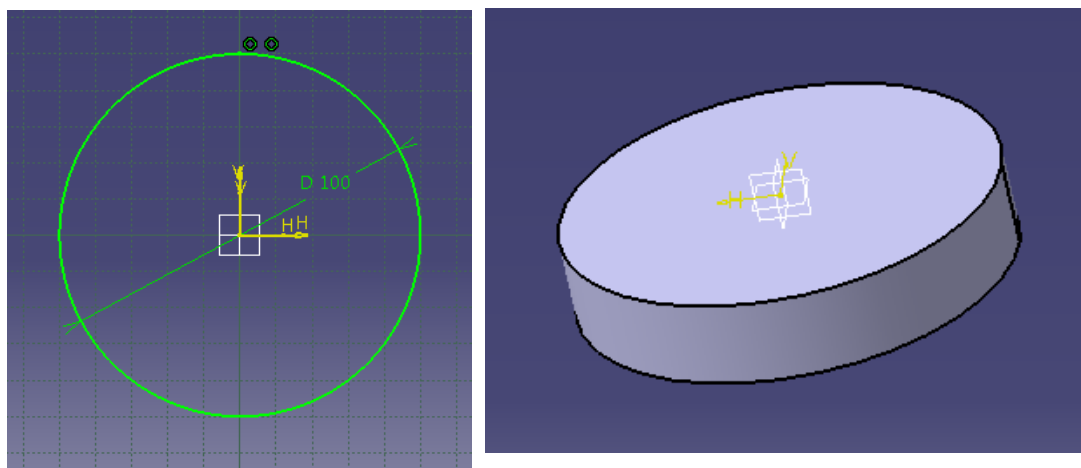
Η σχεδίαση στο Sketch pad αποτελεί βασική προϋπόθεση για την χρήση της τρισδιάστατης σχεδίασης. Οι γραμμές εργαλείων είναι πλήρως διαμορφώσιμες και αποτελούνται από σύνολα δισδιάστατων σχημάτων, φίλτρα συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και εργαλεία αντιγραφής (copy), αναπαραγωγής (mirror) και αποκοπής (trim).



2.3.3 Εργαλεία Τρισδιάστατης Σχεδίασης

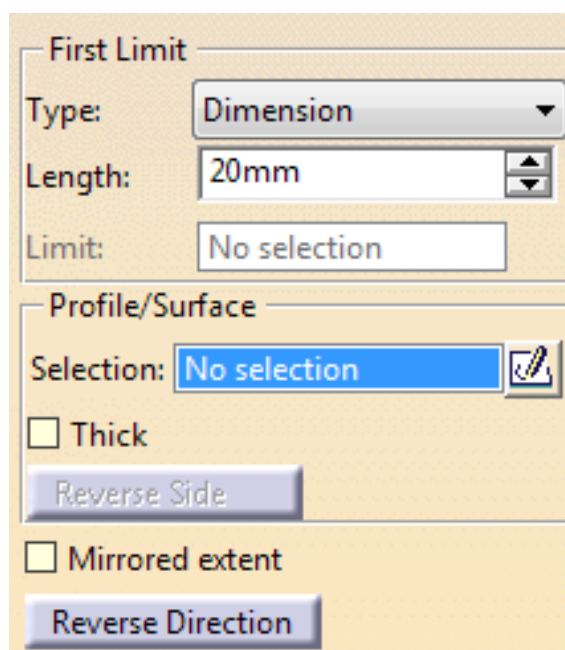


Pad: Αποτελεί την βασική εντολή για την πρόσδοση όγκου σε ένα σχέδιο που έχει δημιουργηθεί στο sketch. Υπάρχουν εναλλακτικές μορφές της εντολής όπως το Multi-Pad και το Drafted Filleted Pad.



Εικόνα 9 Sketch and Pad of a cylinder

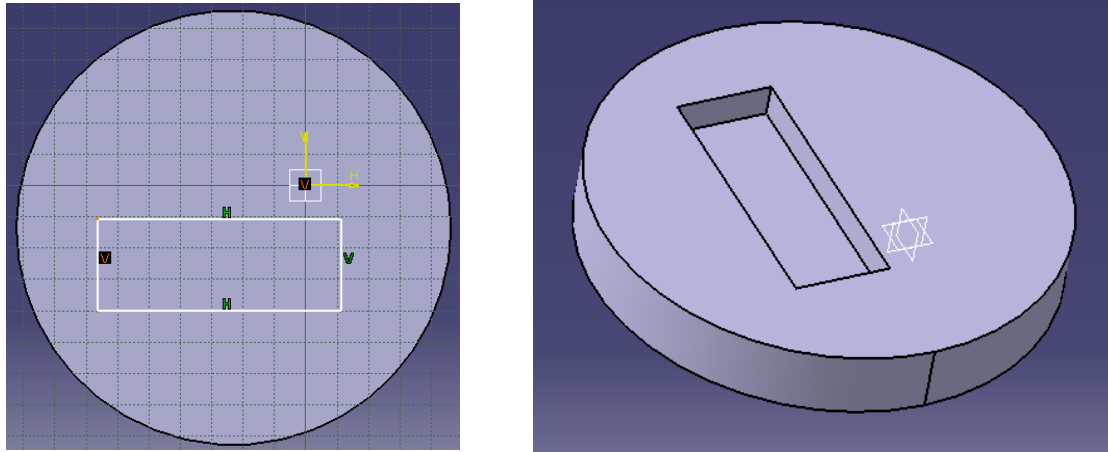
Βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της εντολής είναι ο ορισμός της διάστασης ή κατεύθυνσης κατά την οποία θα προσδοθεί ο όγκος και η επιφάνεια/επίπεδο πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί η εντολή. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα για την εφαρμογή της εντολής του κατοπτρισμού, όπου η εξώθηση πραγματοποιείται και από τις δύο πλευρές της επιλεγμένης επιφάνειας/επιπέδου αναφοράς.



Εικόνα 10 Pad definitions

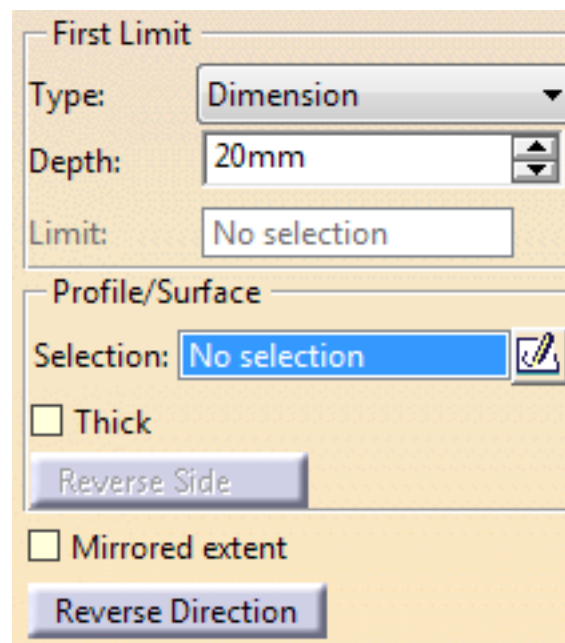


Pocket: Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαίρεση όγκου από ένα ήδη υπάρχον στερεό. Βασική προϋπόθεση είναι σχεδίαση στο sketch του αφαιρούμενου όγκου και στη συνέχεια η εφαρμογή της εντολής.



Εικόνα 11 Sketch and pocket

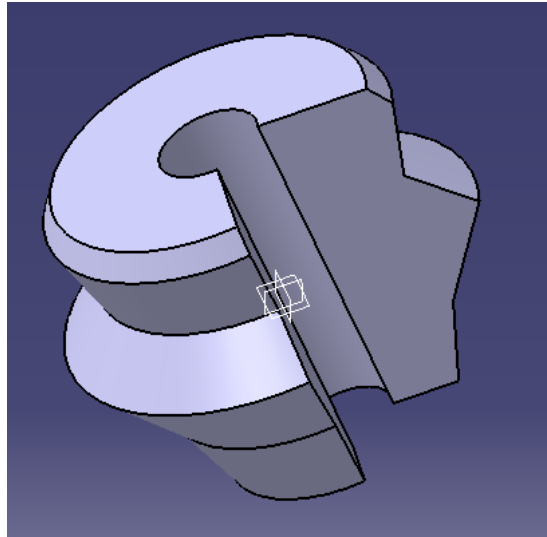
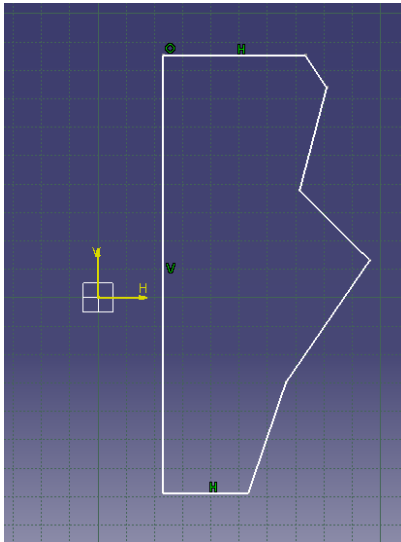
Βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της εντολής είναι ο ορισμός της διάστασης ή κατεύθυνσης κατά την οποία θα αφαιρεθεί ο όγκος και η επιφάνεια/επίπεδο πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί η εντολή. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα για την εφαρμογή της εντολής του κατοπτρισμού, όπου η αφαίρεση υλικού πραγματοποιείται και από τις δύο πλευρές της επιλεγμένης επιφάνειας/επιπέδου αναφοράς.



Εικόνα 12 Pocket definitions

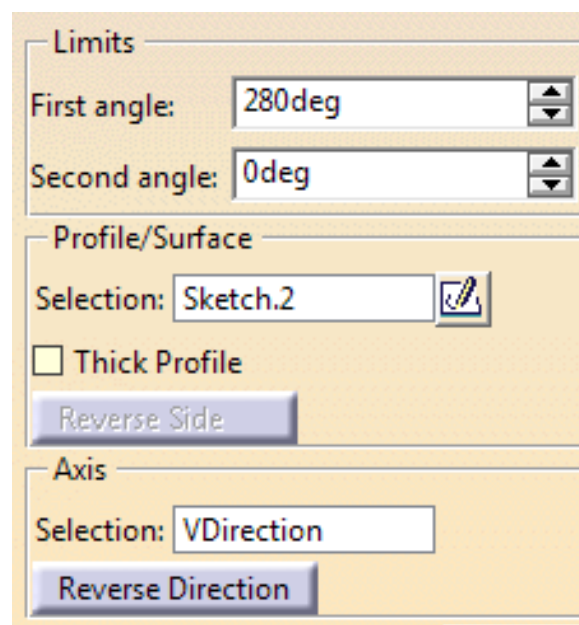


Revolve: Η εντολή της περιστροφής πραγματοποιείται με την δημιουργία στο sketch του προφίλ του αντικειμένου που θέλουμε να δημιουργήσουμε και στην συνέχεια την επιλογή του άξονα γύρω από τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η περιστροφή.



Εικόνα 13 Profile Sketching and Revolve

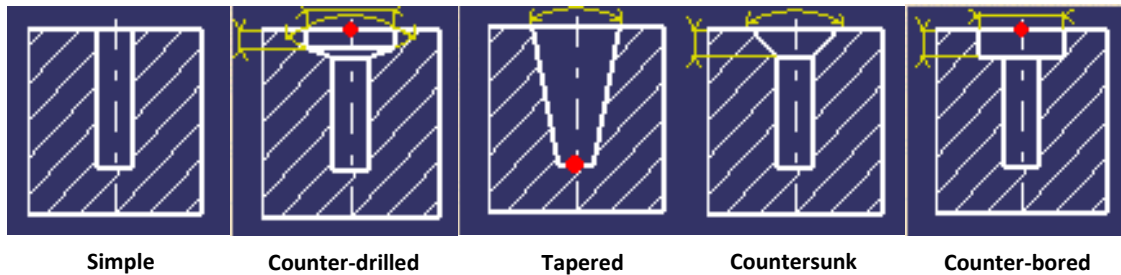
Για την εφαρμογή της εντολής απαραίτητη είναι η επιλογή του άξονα περιστροφής, γύρω από τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η ανάπτυξη του προφίλ καθώς και επιλογή των μοιρών περιστροφής.



Εικόνα 14 Revolve definitions



Hole: Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την δημιουργία οπών και σπειρωμάτων τεσσάρων τύπων.

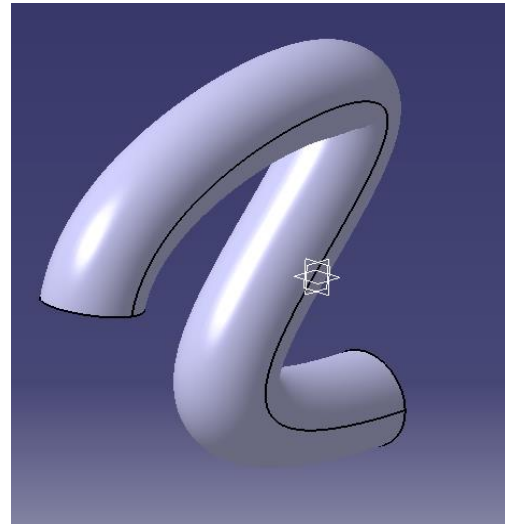
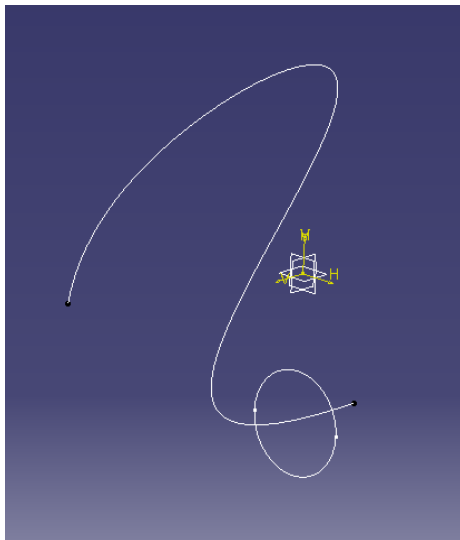


Σε κάθε περίπτωση ζητείται από τον χρήστη το βάθος εισόδου και η διάμετρος της οπής. Επιπλέον, στην tapered, στην counter-sunk και στην counter-drilled απαιτείται και η γωνία εισόδου ή κεφαλής.

Επιπροσθέτως, παρέχεται και η δυνατότητα δημιουργίας σπειρώματος στην δημιουργούμενη οπή επιλέγοντας το κατάλληλο βήμα, το βάθος σπειρώματος και το είδος (αριστερόστροφο/δεξιόστροφο).



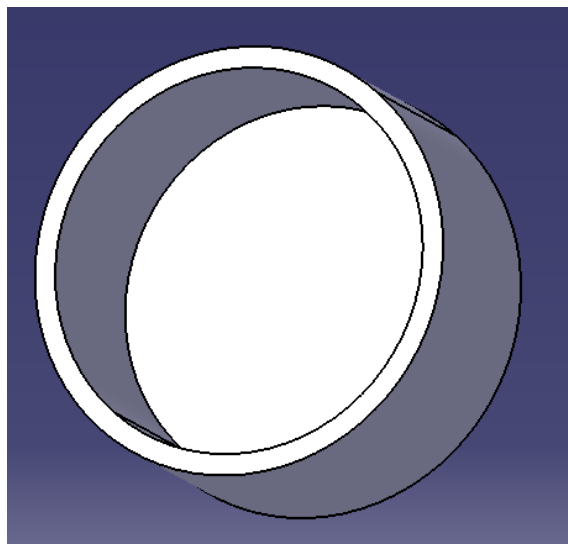
Rib/Slot: Η εντολή rib απαιτεί την σχεδίαση ενός προφίλ και μίας γραμμής οδηγού σε δύο ξεχωριστά επίπεδα κάθετα μεταξύ τους. Στην περίπτωση του Rib προστίθεται υλικό ενώ στην περίπτωση του Slot αφαιρείται.



Εικόνα 15 Profiles sketching and rib



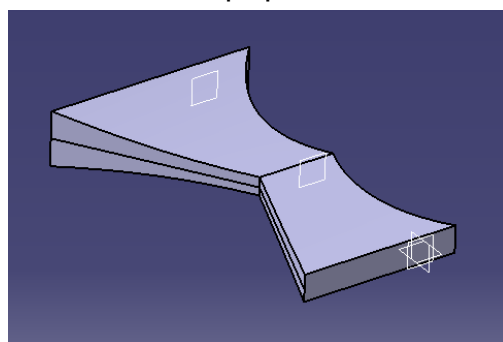
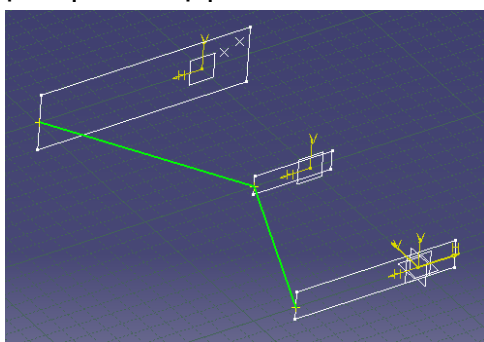
Shell: Με την εντολή αυτή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δώσει την μορφή κελύφους στο επιλεγμένο στερεό. Βασικές προϋποθέσεις είναι η επιλογή του εσωτερικού ή εξωτερικού πάχους ενώ μπορεί να αφαιρέσει κάποιες επιφάνειες εφόσον το επιθυμεί.



Εικόνα16 Shell application on a solid cylinder and face removal



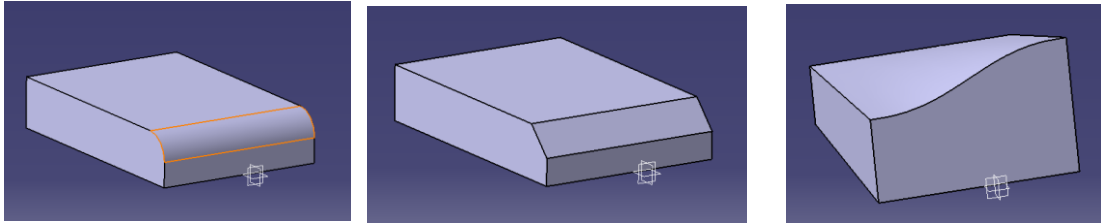
Multi-Section Solid/Removed Multi-Section Solid: Με την βοήθεια αυτής της εντολής δημιουργούνται προφίλ σε παράλληλα επίπεδα και με την βοήθεια μίας γραμμής οδηγού δημιουργείται το επιθυμητό στερεό. Αντίθετα, με την επιλογή του Removed Multi-Section Solid δεν θα αφαιρούνταν υλικό



Εικόνα 17 Multi-Section sketching and application



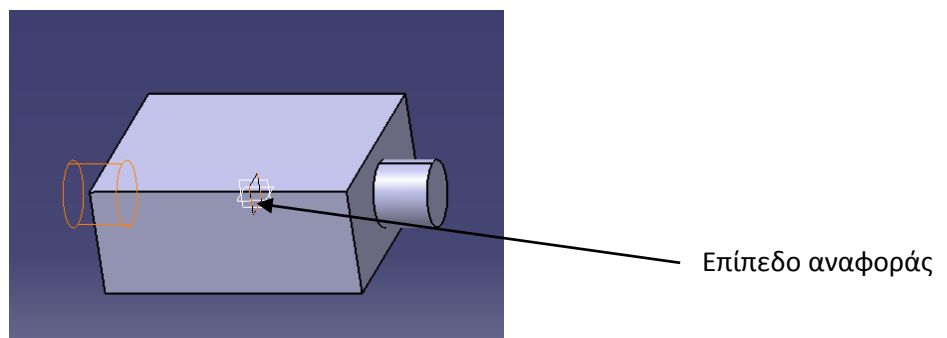
Edge-Fillet, Chamfer, Draft Angle: Με αυτό το πακέτο εντολών ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει ακμές στερεών. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να είναι στρογγύλεμα ακμής, κοπή υπό γωνία και διαμόρφωση όψεων είτε υπό σταθερή, είτε υπό μεταβλητή γωνία.



Εικόνα 18 Edge-fillet, chamfer and draft angle applications



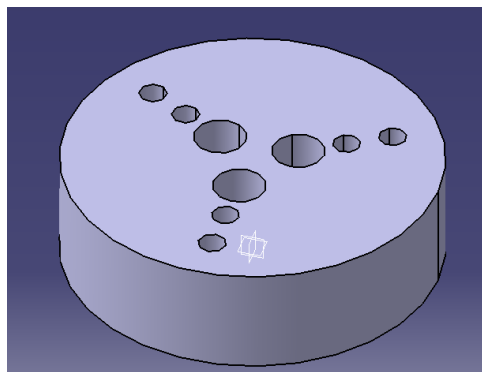
Mirror: Με την εντολή του κατοπτρισμού γίνεται αντιγραφή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών ως προς μια επιφάνεια ή επίπεδο.



Εικόνα 19 Mirror application



Pattern: Η εντολή αυτή επιτρέπει την πολυάριθμη αναπαραγωγή χαρακτηριστικών ως προς μια συγκεκριμένη διεύθυνση, ως προς άξονα ή ως προς οδηγό που θα ορίσει ο χρήστης.



Εικόνα 20 Axial pattern

2.3.4 Γραφικό Περιβάλλον Συναρμολόγησης

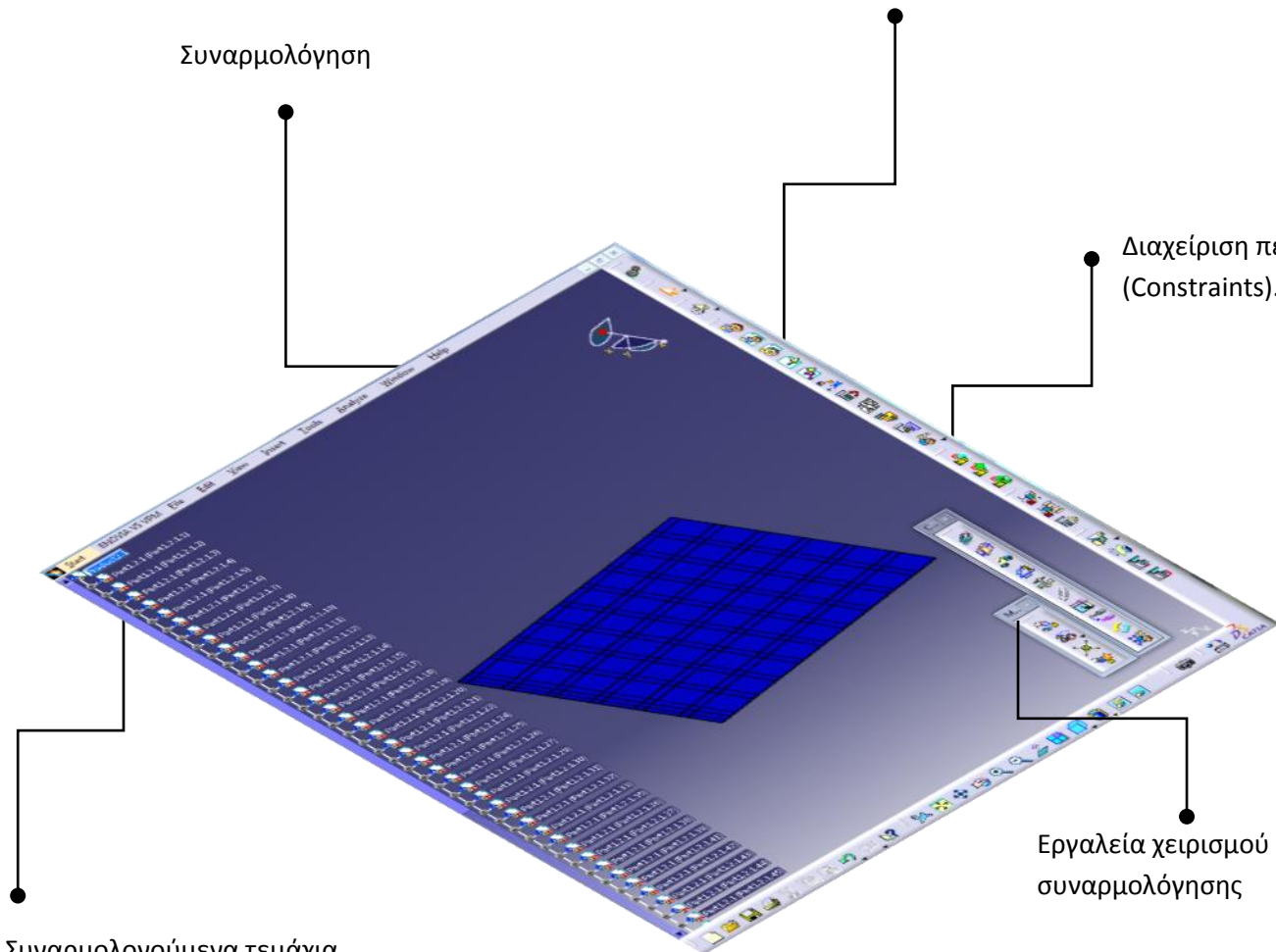
Διαχείριση συναρμολογούμενων
τεμαχίων (εισαγωγή, αντικατάσταση,
ταξινόμηση, πολλαπλή εισαγωγή).

Συναρμολόγηση

Διαχείριση περιορισμών
(Constraints).

Εργαλεία χειρισμού της
συναρμολόγησης

Συναρμολογούμενα τεμάχια



2.3.4.1 Διαχείριση περιορισμών Συναρμολόγησης



Coincidence constraint: Ο συγκεκριμένος τύπος περιορισμού χρησιμοποιείται για την ευθυγράμμιση στοιχείων. Ανάλογα με την φύση και θέση των στοιχείων μπορεί να επιτευχθεί ομοκεντρότητα, ομοαξονικότητα ή ομοεπιπεδότητα.



Contact constraint: Με τον περιορισμό αυτόν μεταξύ δύο επιπέδων/όψεων επιτυγχάνεται επαφή. Καθώς εκείνος δημιουργείται, ένα από τα δύο εμπλεκόμενα τεμάχια μετακινείται για να υιοθετήσει τη νέα του θέση.



Offset constraint: Ο περιορισμός αυτός χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του προσανατολισμού μεταξύ δύο επιφανειών/επιπέδων. Κατά την δημιουργία του, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει και την επιθυμητή μεταξύ τους απόσταση.



Angle constraint: Ο περιορισμός γωνίας υποδιαιρείται σε τρεις κατηγορίες. Ο πρώτος αφορά μια τυχαία γωνία, ο δεύτερος την καθετότητα (γωνία 90° μοιρών) και ο τρίτος την παραλληλία (γωνία 0° μοιρών). Τέλος, μετά την επιλογή της κατάλληλης γωνίας ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον τομέα στον οποίο εκείνη θα αναπτυχθεί.



Fixing constraint: Εφαρμόζοντας αυτόν τον περιορισμό αποτρέπεται η κίνηση ενός στοιχείου μακριά από τους "γονείς" του. Υπάρχουν δύο είδη αυτού του περιορισμού. Ο πρώτος αφορά τον καθορισμό της θέσης του σύμφωνα με την συνολική συναρμολόγηση αποκτώντας έτσι μία απόλυτη θέση. Αντίθετα ο δεύτερος αφορά τον καθορισμό της θέσης σύμφωνα με άλλα στοιχεία της συναρμολόγησης, αποδίδοντάς του έτσι μια σχετική θέση.



Fixing components together: Με την εντολή αυτή ομαδοποιούνται δύο ή περισσότερα στοιχεία μίας συναρμολόγησης αρκεί να ανήκουν στο ενεργό στοιχείο.



Quick constraint: Η εντολή αυτή δημιουργεί αυτόματα τον πρώτο περιορισμό που βρίσκεται στη λίστα προτεραιοτήτων (Surface contact>Coincidence>Offset>Angle>Parallelism).

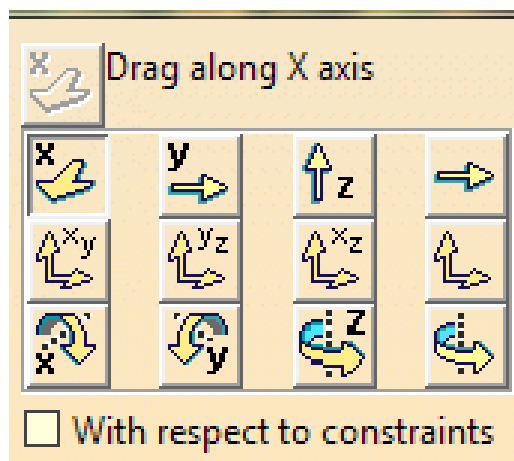


Changing constraints: Με την χρήση αυτής της εντολής πραγματοποιείται αλλαγή σε έναν ήδη υπάρχοντα περιορισμό αντικαθιστώντας τον με ένα νέο, σύμφωνα πάντα με την φύση των εμπλεκόμενων στοιχείων.

2.3.4.2 Εργαλεία Χειρισμού Συναρμολόγησης



Manipulating components: Επιτρέπουν την κίνηση κατά X, Y, Z κατεύθυνση, κατά XY, YZ, XZ επίπεδο και περιστροφή κατά X, Y, Z άξονα ή κατά κατεύθυνση, επίπεδο ή άξονα της επιλογής του χρήστη. Η κίνηση μπορεί να γίνει ελεύθερα ή λαμβάνοντας υπόψιν του περιορισμούς που έχουν ήδη εφαρμοστεί.



Εικόνα 21 Manipulation options



Snapping components: Με την εντολή αυτή πραγματοποιείται η προβολή ενός γεωμετρικού στοιχείου ενός τεμαχίου πάνω σε ένα γεωμετρικό στοιχείο που ανήκει στο ίδιο ή διαφορετικό τεμάχιο. Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την μετατόπιση ή περιστροφή στοιχείων. Ανάλογα με τα επιλεγμένα στοιχεία έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα:

Πίνακας 1 Snapping results

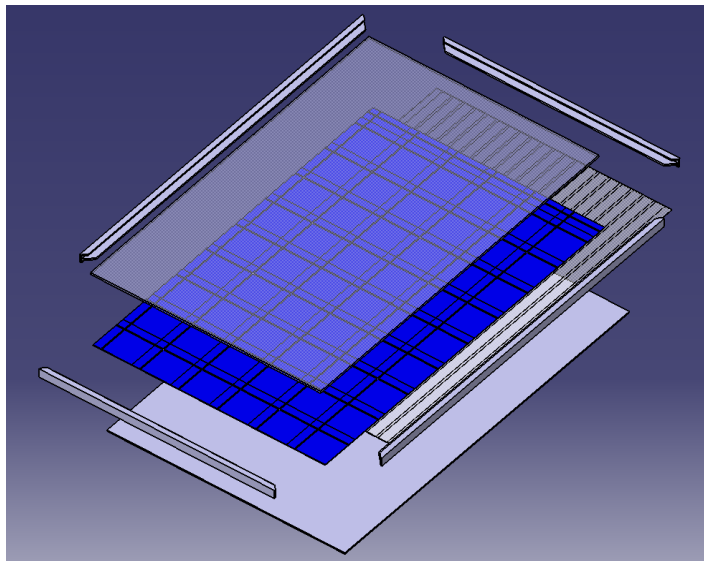
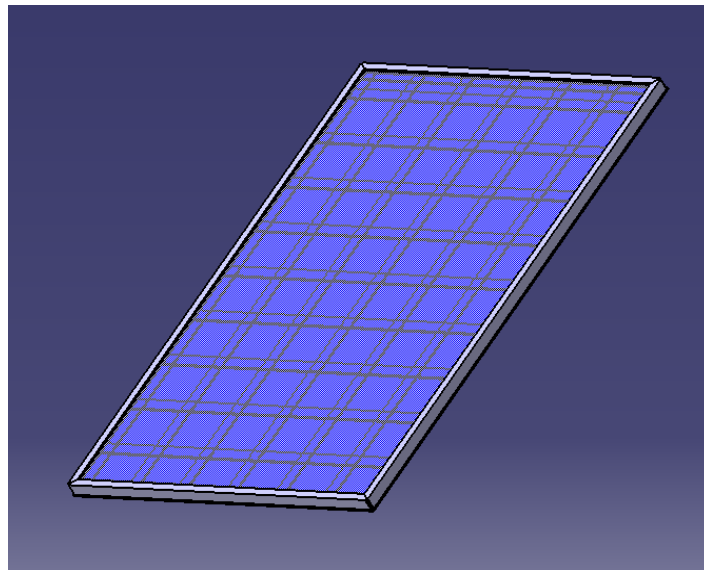
Πρώτο στοιχείο	Δεύτερο στοιχείο	Αποτέλεσμα
Σημείο	Σημείο	Ταυτόσημα σημεία
Σημείο	Γραμμή	Προβολή σημείου στη γραμμή
Σημείο	Επίπεδο	Προβολή σημείου στο επίπεδο
Γραμμή	Γραμμή	Οι γραμμές γίνονται συνευθειακές
Γραμμή	Επίπεδο	Η γραμμή προβάλλεται στο επίπεδο.
Επίπεδο	Γραμμή	Το επίπεδο περνά μέσα από την γραμμή

Smart move: Η εντολή χειρισμού αυτή ουσιαστικά αποτελεί τον συνδυασμό των δύο προηγούμενων εντολών και προαιρετικά επιτρέπει και την δημιουργία περιορισμών (constraints).



Explode: Με την συγκεκριμένη εντολή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρουσιάσει υπό μορφή έκρηξης την συναρμολόγηση.

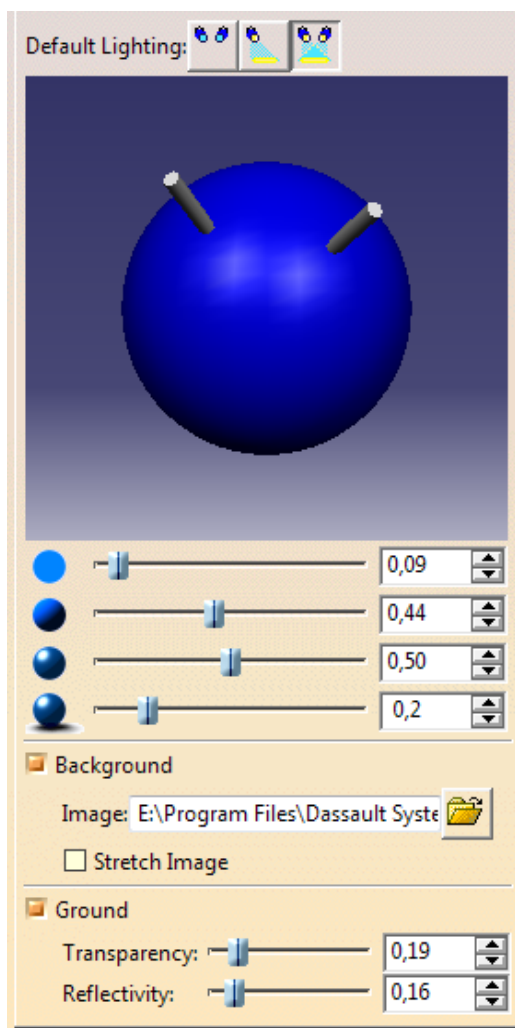
Αρχικά η εφαρμογή αυτόματα δημιουργεί ένα exploded view και στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να το διαμορφώσει αποδίδοντας έμφαση στα χαρακτηριστικά που επιθυμεί.



Εικόνα 22 Normal and exploded view of a solar panel

2.3.5 Rendering

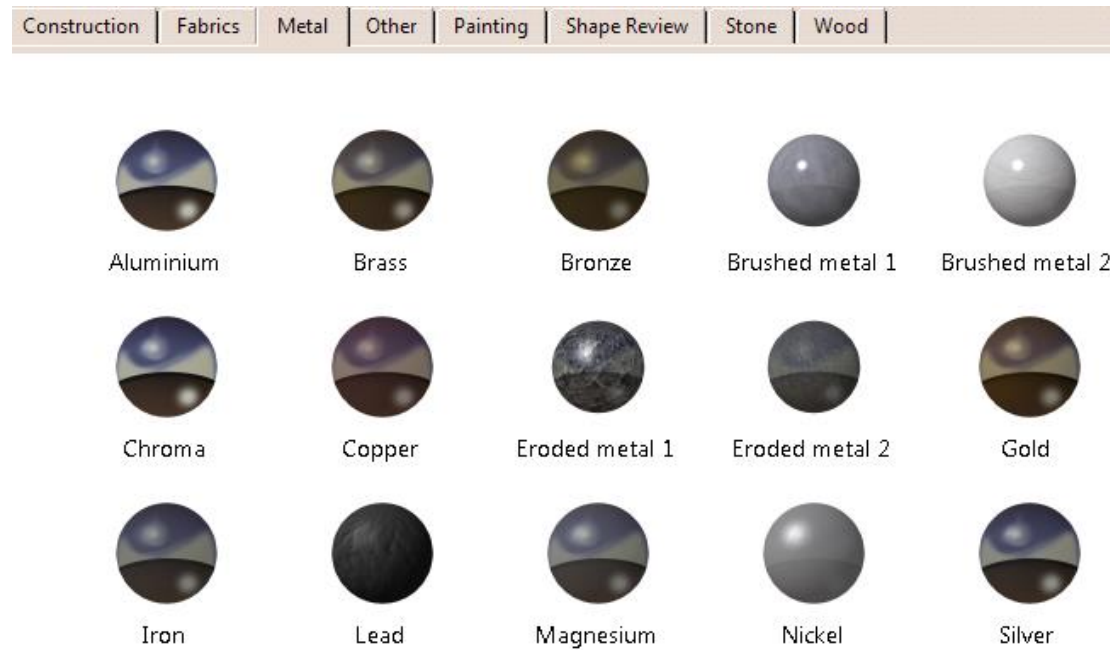
Με την χρήση της πλατφόρμας του render γίνεται δυνατή μια πιο ρεαλιστική απόδοση του προϊόντος και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην παρουσίασή του. Υπάρχουν τρεις βαθμίδες ανάλυσης (χαμηλή, υψηλή και μέτρια). Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την/τις εικόνες φόντου ενώ έχει και την δυνατότητα να διαμορφώσει τους φωτισμούς του χώρου. Τέλος, υπάρχει και η δυνατότητα αποθήκευσης πακέτων render που έχουν δημιουργηθεί από τον χρήστη για μελλοντική χρήση και εξοικονόμηση χρόνου.



Εικόνα 23 Render definitions

Βιβλιοθήκη υλικών: Μετά την δημιουργία κάθε τεμαχίου ο χρήστης μπορεί να του αποδώσει μηχανικές ιδιότητες δηλώνοντας το υλικό από το οποίο εκείνο αποτελείται. Το CATIA περιλαμβάνει μια πληθώρα κατηγοριών υλικών για

κάθε χρήση όπως: κατασκευαστικά υλικά (τσιμέντο, πλίνθοι), υφάσματα (δέρμα, canvas), μέταλλα (αλουμίνιο, ασάλι), χρώματα, πετρώματα (γρανίτης, μάρμαρο), ξύλινες επιφάνειες (κέδρος, τριανταφυλλιά) και άλλα όπως: φωτοβολταϊκά στοιχεία, πλαστικό και καθρέφτης.



Εικόνα 24 Material library

3. Φωτοβολταϊκά συστήματα και στηρίξεις

3.1.Εισαγωγή

3.1.1 Το ενεργειακό ζήτημα

Το ενεργειακό ζήτημα είναι ένα από τα σημαντικότερα και πολυπλοκότερα προβλήματα της σύγχρονης εποχής. Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, ύστερα από την αλλαγή του κύριου καταναλισκόμενου καυσίμου από άνθρακα σε πετρέλαιο, η παγκόσμια οικονομία γνώρισε αλματώδη πρόοδο που βασίστηκε κατά κύριο λόγο στην εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων (κυρίως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και κάρβουνο). Έναν αιώνα αργότερα και φτάνοντας πλέον στην σύγχρονη εποχή, οι συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας οδήγησαν σε αλόγιστη ενεργειακή παραγωγή προκειμένου να υπερκαλυφθεί η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση. Αθροιστικό αποτέλεσμα της παρατεταμένης χρήσης αυτών των ενεργειακών πηγών είναι η αποδυνάμωση και καταστροφή του περιβάλλοντος και του οικοσυστήματος σε παγκόσμιο επίπεδο. Το εντονότατο πλέον περιβαλλοντικό και οικολογικό αντίκτυπο των παραπάνω, όπου ενδεικτικά συγκαταλέγονται το φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω των συνεχών εκπομπών καυσαερίου στην ατμόσφαιρα, η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας των διαρροών πετρελαίου και της αποβολής εργοστασιακών λυμάτων, έχει καταστήσει επιτακτική την ανάγκη για την ανάπτυξη εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας με υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλή εκπομπή ρύπων. Το γεγονός αυτό ενισχύεται από την διαρκή αύξηση των τιμών των καυσίμων, λόγω της συνεχούς μείωσης των αποθεμάτων, τα οποία είναι πεπερασμένα και όχι ανεξάντλητα, ενώ τη διαχείριση τους κατέχει ένας συγκεκριμένος αριθμός χωρών και οικονομιών.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων της υπερκατανάλωσης ορυκτού καυσίμου οφείλουμε να στραφούμε σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας με υψηλή απόδοση και χαμηλές εκπομπές ρύπων. Η αξιοποίηση των **ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ)** κερδίζει στην εποχή μας συνεχώς έδαφος στον τομέα παραγωγής ενέργειας και αποτελεί την βασική στρατηγική αντιμετώπισης του ενεργειακού ζητήματος.

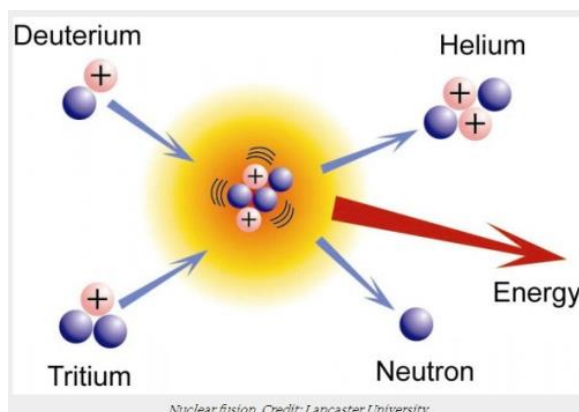
Οι ΑΠΕ είναι μορφές ενέργειας που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε και προέρχονται από φυσικές διαρροές, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, τα θαλάσσια ρεύματα κ.α. Ανάμεσά τους και η ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να θεωρηθεί από τις πιο ουσιώδεις εφόσον είναι καθαρή, άφθονη και ανεξάντλητη και ιδίως στη Μεσόγειο όπου βρίσκεται και η Ελλάδα.



Εικόνα 25 Clear energy forms: Solar power, Wind power, Geothermy

3.1.2 Η ηλιακή ακτινοβολία

Η συμβολή του ηλίου στην διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στη Γη είναι καταλυτική. Η ηλιακή ενέργεια παράγεται μέσω της διαδικασίας της πυρηνικής σύντηξης (fusion).



Εικόνα 26 Fusion process

Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται συνένωση πυρήνων υδρογόνου, συγκεκριμένα των ισοτόπων δεύτερο και τρίτιο, με αποτέλεσμα την δημιουργία ατόμων ηλίου (He) και την απελευθέρωση ενέργειας.

Κάθε δευτερόλεπτο 500 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι υδρογόνου από την μάζα του ήλιου μετατρέπονται σε εκατομμύρια τόνους ηλίου (He). Μέσω της διαδικασίας της σύντηξης περίπου 5 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι ηλίου μετατρέπονται σε ενέργεια ανά δευτερόλεπτο (η σύντηξη του υδρογόνου σε ήλιο απελευθερώνει περίπου το 0.7% της μάζας σε ενέργεια). Αυτό σε ετήσια βάση αντιστοιχεί στην μετατροπή 157.680.000.000.000 μετρικών τόνων ηλίου, ενώ αξίζει να σημειωθεί - ώστε να γίνει αντιληπτή η ενεργειακή τάξη μεγέθους -ότι κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του Ήλιου εκπέμπει διαρκώς 62000kWh ενέργειας κάθε χρόνο. Αυτό το πόσο ενέργειας αρκεί για την λειτουργία 100 κοινών λαμπτήρων φωτός για περίπου 5 εκατομμύρια έτη ή ισοδύναμα, η ενέργεια που παρέχεται από τον Ήλιο στη Γη αντιστοιχεί στην ενέργεια που θα παρήγαγαν περισσότεροι από 150 εκατομμύρια μεγάλοι σταθμοί παραγωγής.

Ως ηλιακή ενέργεια αναφέρονται το φως, ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια και οι διάφορες ακτινοβολίες. Η ενέργεια μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας μεταδίδεται με την μορφή πακέτων ενέργειας, τα φωτόνια τα οποία περιέχουν ένα ποσό ενέργειας το οποίο είναι ανάλογο προς την συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτός.

Συνοπτικά, λαμβάνοντας υπόψιν μας και τις διαλείψεις -κατά τη διάρκεια της νύχτας- και τα μετεωρολογικά φαινόμενα που επηρεάζουν την μεταφορά ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια παραμένει διαθέσιμη, άφθονη ανεξάρτητη, προβλέψιμη, ασφαλής και απαλλαγμένη από κάθε κόστος.

3.1.3 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια διαιρείται σε τρεις υποκατηγορίες συστημάτων ανάλογα με τον σκοπό της χρήσης τους. Αναλυτικότερα, έχουμε τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β). Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποσκοπούν στον βέλτιστο τρόπο θέρμανσης και ψύξης όπως εκείνος εντάσσεται στον βιοκλιματικό σχεδιασμό κτιρίων. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αφορούν την θέρμανση (π.χ. ηλιακός θερμοσίφωνας) ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στοχεύουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χρήση φ/β συστημάτων παρέχει άμεση και αποδοτική μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις. Τα σύγχρονα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία και μεγάλη διάρκεια ζωής. Απαιτούν μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, παρέχοντας άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Παρέχουν υψηλή αξιοπιστία, η οποία ξεπερνά τα είκοσι έτη και μεγάλα ποσοστά ασφαλείας ενώ εξαιρετικής σημασίας είναι το γεγονός ότι δύνανται να εγκατασταθούν σε υπάρχουσες κτιριακές δομές, ευθυγραμμίζοντας την ημερήσια παραγωγή με τη δεδομένη ζήτηση.

Ωστόσο, οφείλεται να αναφερθεί το υψηλό κόστος εγκατάστασης και η έλλειψη οικονομικά αποδοτικής αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε συνδυασμό με το ότι ο ήλιος δεν παρέχει συνεχώς την ίδια ακτινοβολία.

Η σημερινή τάση από το μέρος των κατασκευαστών είναι η μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων και η συνεχής προσπάθεια επιπλέον κινήτρων για την εγκατάστασή τους. Στην κατεύθυνση αυτή συνηγορεί τόσο η όλο και αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου απέναντι στο περιβάλλον, όσο και οι δεσμεύσεις των αρχηγών κρατών για χρήση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

3.1.4 Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια

Η πρώτη παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου έγινε το 1893 από τον Γάλλο φυσικό Henri Becquerel. Ο Becquerel ανακάλυψε πως είναι δυνατόν να εμφανιστεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν μια φωτεινή πηγή εφαρμοστεί σε ορισμένα χημικά διαλύματα. Το 1883, η πρώτη ηλιακή κυψέλη κατασκευάστηκε από τον Charles Fritts, ο οποίος χρησιμοποίησε το σελήνιο με ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα χρυσού για την κατασκευή ενώσεων, δημιουργώντας μια συσκευή 1% αποτελεσματική. Στη συνέχεια, ο Ρώσος φυσικός Aleksandr Stoletov κατασκεύασε την πρώτη ηλιακή κυψέλη με βάση το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ενώ το 1946 ο Russel Ohl κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας την κατασκευή ενώσεων ηλιακών κυψελών. Τέλος, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος έγινε γνώστη ύστερα από

την κατασκευή της πρώτης ηλιακής κυψέλης πυριτίου (απόδοσης 6%) από τους Fuller, Pearson και Chapin το 1954 και το 1958 από την Hoffman electronics που κατάφερε να αυξήσει τον βαθμό απόδοσης σε 9%. Αξίζει να σημειωθεί πως στις 17 Μαρτίου της ίδιας χρονολογίας εκτοξεύεται και ο πρώτος δορυφόρος του οποίου η ισχύς προέρχεται από ηλιακές κυψέλες (Vanguard I).

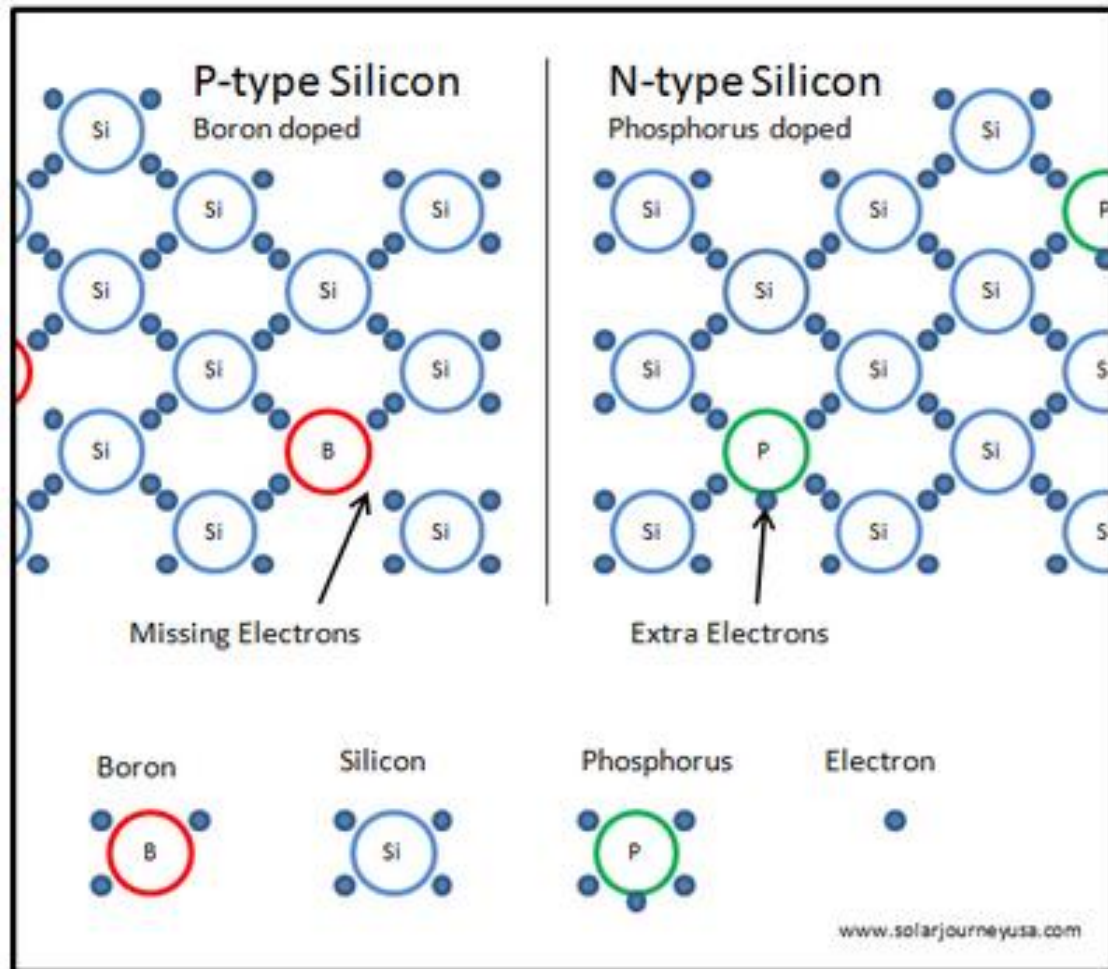
3.1.5 Ημιαγωγοί (p-n junction)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο. Στην θεωρητική υπόθεση όπου οι ημιαγωγοί αυτοί βρίσκονται σε κατάσταση ελάχιστης ενέργειας δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σε περίπτωση όμως απορρόφησης ενέργειας (με μορφή θερμότητας, ακτινοβολίας) τα πράγματα εξελίσσονται τελείως διαφορετικά.

Η ενέργεια την οποία δέχεται το κρυσταλλικό πλέγμα κατανέμεται ομοιόμορφα και προκαλεί την απελευθέρωση ενός αριθμού ηλεκτρονίων από τους δεσμούς τους. Η απορροφώσα ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια την οποία δέχονται τα ηλεκτρόνια και μετατρέπονται σε ευκίνητους φορείς ηλεκτρισμού δίδοντας έτσι στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό πως το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στην ζώνη αγωγιμότητας αποτελεί την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Στην περίπτωση που ο ημιαγωγός πυριτίου νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο όπως ο φώσφορος ή κάποιο τρισθενές στοιχείο όπως το βόριο, τότε παράγεται ημιαγωγός τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα.

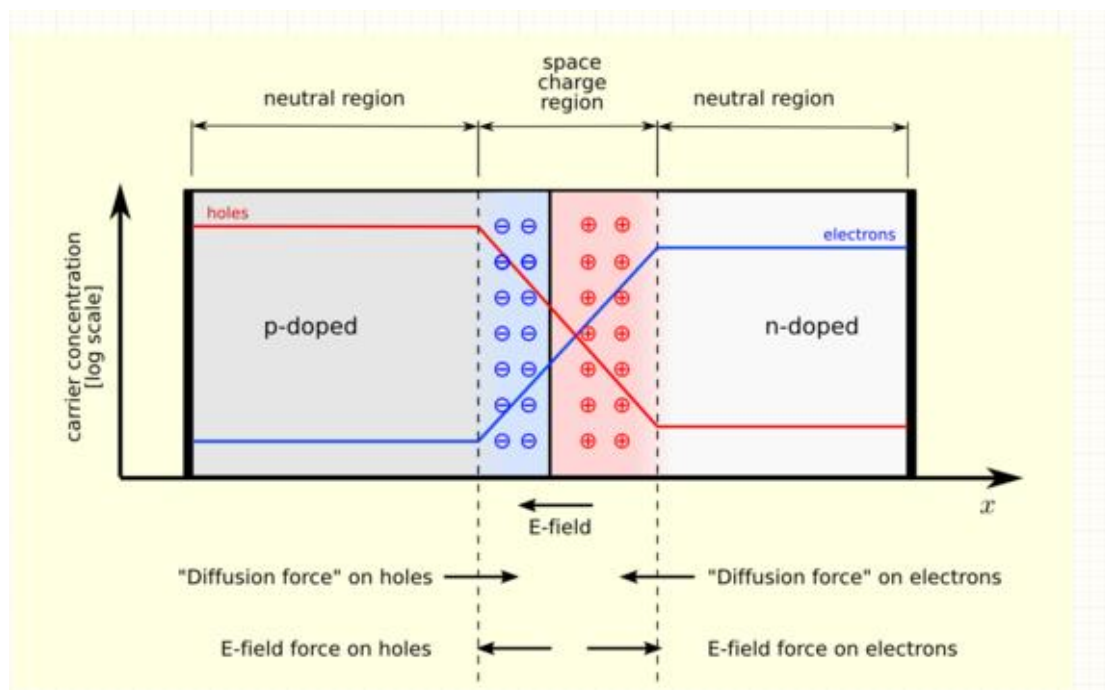
Σε κάθε άτομο φωσφόρου, τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων πυριτίου προς την δημιουργία ομοιοπολικών δεσμών. Το πέμπτο πλεονάζον ηλεκτρόνιο θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό φορτίο του πυρήνα του φωσφόρου. Με την πρόσδοση μικρού ποσού ενέργειας το ηλεκτρόνιο μπορεί να απομακρυνθεί κινούμενο πλέον ελεύθερα στο πλέγμα αφήνοντας πίσω του ένα κατιόν φωσφόρου. Αντίθετα με την απορρόφηση ενός μικρού ποσού ενέργειας στις



Εικόνα 27 P-type Silicon vs N-type Silicon

πλεγματικές των στοιχείων του πυριτίου με το βόριο, ένα γειτονικό ηλεκτρόνιο μπορεί να έρθει να καλύψει μια κενή θέση δημιουργώντας έτσι ένα ανιόν βορίου. Στην περίπτωση της δημιουργίας οπής έχουμε την δημιουργία τύπου-n ημιαγωγού ενώ στην δεύτερη με την δημιουργία πλεονάσματος ηλεκτρονίων τύπου-p ημιαγωγού.

Όταν σε μια περιοχή του ημιαγωγού υπάρχει δημιουργία ή έκχυση φορέων σε περίσσεια, αυτοί διαχέονται προς τις άλλες περιοχές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των αντίστοιχων φορέων είναι μικρότερη. Επίσης, όταν ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου-p έλθει σε στενή επαφή με ένα τεμάχιο τύπου-n, δηλαδή σχηματιστεί μία ένωση p-n (διάταξη διόδου ημιαγωγού), τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου-n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου-p όπου τα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα. Η ανάμειξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στην διαχωριστική επιφάνεια (περιοχή αραίωσης) των τεμαχίων τύπου p-n, ανατρέπουν την ισορροπία που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών.



Εικόνα 18 Holes and Electrons concentration and diffusion

Η συγκέντρωση των κατιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και n, παραμένουν αμετάβλητες αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι, το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή, αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η διάδος που περιέχει την ένωση p-n, παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά του.

Οι ελεύθεροι φορείς που δημιουργούνται πρέπει να τεθούν σε κίνηση με κάποιο μηχανισμό ο οποίος δεν θα απαιτεί εξωτερική ηλεκτρική πηγή. Αυτή η πηγή βρίσκεται μέσα στην ίδια ημιαγωγίμη διάταξη. Είναι η επαφή p-n. Το πεδίο που δημιουργείται με την επαφή δυο ημιαγωγικών υλικών είναι σε θέση να κινήσει τους ελεύθερους φορείς τους οποίους δημιούργησε το φως. Για να υφίσταται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, είναι απαραίτητη η δημιουργία επαφής δύο φωτοαγώγιμων υλικών. Τα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, δημιουργούνται σε όλο τον χώρο των ημιαγωγών με τον οποίο έρχονται σε επαφή με την βοήθεια θερμότητας ή με την επίδραση φωτισμού κατάλληλου μήκους κύματος.

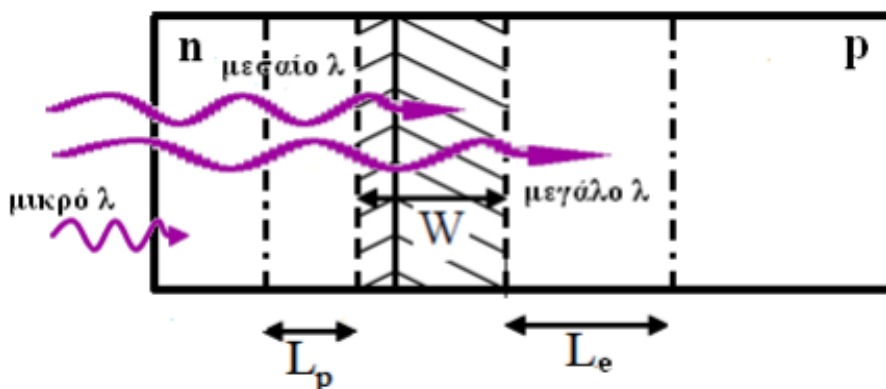
Ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών δημιουργούνται μέσα στην περιοχή επαφής, όπου υπάρχει το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, αλλά και έξω από αυτή την περιοχή, κοντά στις περιοχές p και n. Μερικοί από αυτούς τους φορείς, είναι πολύ πιθανό να φτάσουν στις περιοχές που υπερτερούν όμοιοι με αυτούς τους φορείς (φορείς πλειονότητας). Εκεί μπορούν να παραμείνουν ως ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς καθώς είναι πολύ μικρή η πιθανότητα να συναντήσουν φορέα μειονότητας και να επανασυνδεθούν. Οι υπόλοιποι θα συναντήσουν αντίθετο φορέα, με τον οποίο θα γίνει επανασύνδεση χωρίς να συμμετέχουν στην δημιουργία ρεύματος. Ατέλειες στη δομή του ημιαγωγού αυξάνουν την δημιουργία επανασύνδεσης. Γι' αυτό το ημιαγωγικό υλικό παρασκευής χαρακτηρίζεται από τον υψηλό βαθμό καθαρότητας.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η περιοχή τύπου n έχει ως φορείς πλειονότητας τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, και αντίστοιχα η περιοχή τύπου p έχει τις οπές όπου γίνεται θετικότερο. Κίνηση των φωτοδημιουργούμενων φορέων υπό την επίδραση του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου της επαφής αποτελεί ρεύμα με φορά αυτή του πεδίου. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται φωτορεύμα I_L .

Η τιμή του δημιουργούμενου φωτορεύματος είναι ανάλογη του πλήθους των φωτονίων που απορροφά η διάταξη, και το οποίο είναι ανάλογο με το πλήθος φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνεια της διάταξης. Η συνολική ενέργεια, των φωτονίων ανά μονάδα χρόνου και επιφανείας, είναι η πυκνότητα της ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Άρα, η τιμή του φωτορεύματος I_L είναι ευθέως ανάλογη της πυκνότητας ισχύος E (W/m^2), της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της διάταξης και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών.

3.1.6 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Όπως αναφέρθηκε πρωτίτερα, το ηλιακό φως αποτελείται από φωτόνια, τα οποία αντιστοιχούν σε πακέτα ενέργειας με διαφορετικά μήκη κύματος. Όταν αυτά προσπίπτουν σε μία επιφάνεια, ένα μέρος ανακλάται και ένα μέρος απορροφάται από την επιφάνεια αυτή. Όταν το φωτόνιο απορροφηθεί από μια επιφάνεια με υψηλή φωτοαγωγιμότητα (ημιαγωγός), η ενέργειά του μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια του υλικού. Με την βοήθεια του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στις επαφές των διαφορετικών υλικών, το ηλεκτρόνιο φεύγει από την κανονική του θέση και τίθεται σε κίνηση με σκοπό να διαπεράσουν την ένωση p-n και να κατευθυνθούν προς το στρώμα τύπου p, ώστε να ενωθούν με οπές, δημιουργώντας ζεύγη ελεύθερων οπών



Εικόνα 29 Photons' absorption

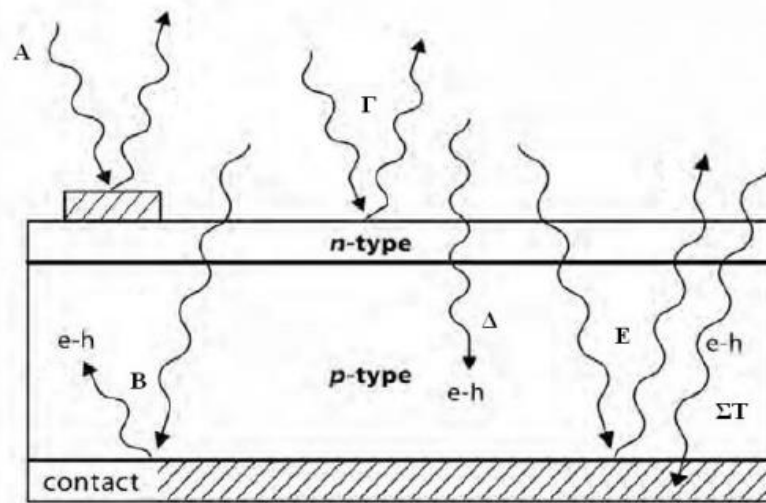
ηλεκτρονίων. Ένα μέρος από τα κινούμενα ελεύθερα στο ρευστό ηλεκτρόνια δεν επανασυνδυάζεται αλλά παραμένει εγκλωβισμένο, στην περιοχή επαφής p-n όπου διαχωρίζεται υπό την επιρροή του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου της διόδου. Τα υπόλοιπα ελεύθερα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται και εξαφανίζονται.

Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πλεονάσματος θετικού φορτίου στο τμήμα τύπου p (οπές) και πλεονάσματος αρνητικού φορτίου στο τμήμα τύπου n (περίσσεια ηλεκτρονίων). Αυτό μεταφράζεται σαν μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δύο τμήματα της διόδου. Έτσι, με το κλείσιμο του εξωτερικού κυκλώματος μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων της διόδου θα υπάρξει ροή συνεχούς ρεύματος (DC).

Η παραπάνω διάταξη όπως περιγράφηκε διαρκεί όσο και η πρόσπτωση ηλιακού φωτός. Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις της φωτιζόμενης επιφάνειας, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**.

Αξίζει να σημειωθεί πως δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δέχονται στην επιφάνειά τους. Ένα μέρος ανακλάται πίσω στο περιβάλλον.

Από το τόσο της ενέργειας που διεισδύει στον ημιαγωγό, ένα μέρος που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια χαμηλότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού διαπερνά άθικτο το ημιαγώγιμο υλικό και απορροφάται από το μεταλλικό ηλεκτρόδιο στην πίσω όψη με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Τέλος, από το σύνολο των φωτονίων που απορροφά τελικά ο ημιαγωγός, στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο συμβάλλουν μόνο εκείνα των οποίων η ενέργειά ισούται με εκείνη του ενεργειακού διακενου του ημιαγωγού. Το υπόλοιπο μεταφέρεται σαν κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο που απελευθερώθηκε από τον δεσμό και τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα.



Εικόνα 30: Ανάκλαση και απορρόφηση ακτινοβολίας **A**, **E**: Ανάκλαση στους μεταλλικούς ακροδέκτες **B**: Ανάκλαση στον μεταλλικό ακροδέκτη και μετέπειτα απορρόφηση της ακτινοβολίας **Γ**: Ανάκλαση στην επιφάνεια τύπου **n** **Δ**: Απευθείας απορρόφηση της ακτινοβολίας **ΣΤ**: Απορρόφηση ακτινοβολίας στον ακροδέκτη.

3.2 Δομικά στοιχεία ηλιακών κελιών και φωτοβολταϊκών πλαισίων

3.2.1 Είδη ηλιακών κελιών

Τα τελευταία χρόνια οι κατηγορίες κρυσταλλικού πυριτίου κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιγραμματικά τα είδη ηλιακών κελιών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Λεπτής μεμβράνης (αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), θειούχο κάδμιο (CdS), φωσφορούχο ίνδιο (InP), τελλουρίδιο του καδμίου (CdTe) και συνδυασμοί των τεσσάρων παραπάνω).
- Υβριδικά

3.2.1.1 Μονοκρυσταλλικά κελιά πυριτίου

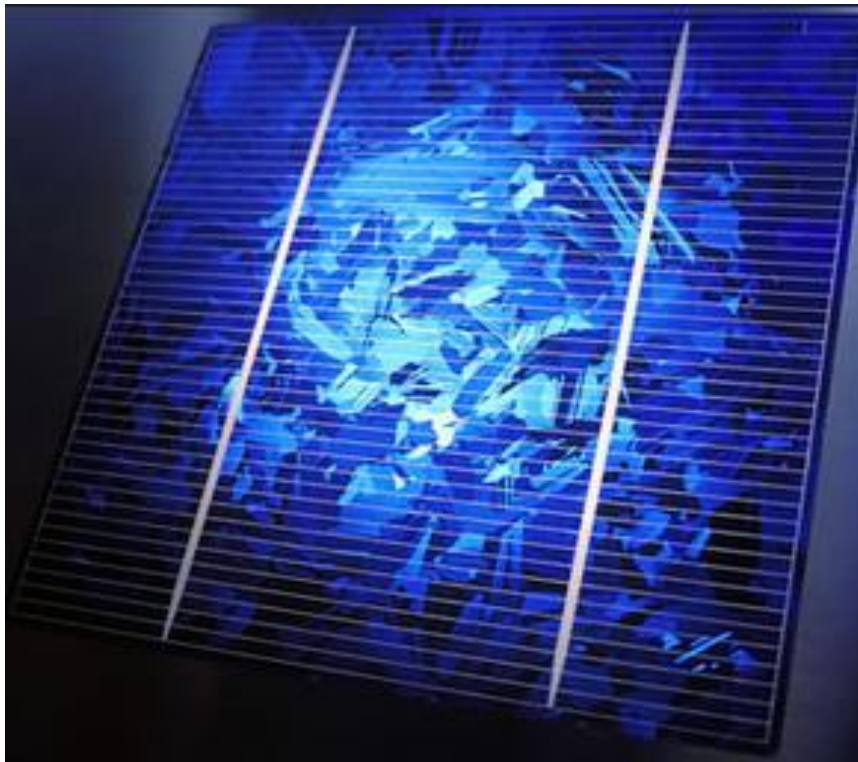
Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου παρασκευάζονται από κρυστάλλους πυριτίου με αφεγάδιαστη δομή και υψηλή καθαρότητα. Βασική ένωση για την παρασκευή τους αποτελεί το διοξείδιο του πυριτίου που ύστερα από μια σειρά διεργασιών, οι οποίες περιλαμβάνουν τήξη, αργή στερεοποίηση, προσθήκη προσμίξεων, καθαρισμό, κοπή και στίλβωση δημιουργεί πολύ λεπτές πλάκες. Βασικά μειονεκτήματα της διαδικασίας αυτής είναι το υψηλό κόστος παρασκευής πυριτίου υψηλής καθαρότητας και η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας πλέγματος. Ωστόσο, παράλληλα με το υψηλό κόστος παραγωγής εμφανίζεται και ο μεγαλύτερος βαθμός εμπορικής απόδοσης που αγγίζει το 15% με 18% και συνεπώς τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από όλες τις τεχνολογίες κατασκευής κελιών.



Εικόνα 21 Monocrystalline cell

3.2.1.2 Πολυκρυσταλλικά κελιά πυριτίου

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου παρασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Η διαδικασία παραγωγής τους περιλαμβάνει τήξη και μαζική στερεοποίησή τους, μειώνοντας έτσι το κόστος παραγωγής σε σχέση με αυτό των μονοκρυσταλλικών. Ύστερα από την ψύξη, το πολυκρυσταλλικό πλέγμα κόβεται στα λεπτά στοιχεία από τα οποία με την διαδικασία της χύτευσης κατασκευάζεται η κυψέλη του φ/β πλαισίου. Μειονέκτημα των πολυκρυσταλλικών κελιών είναι πως περιλαμβάνουν μονοκρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών με αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής αντίστασης στα σημεία σύνδεσής τους, γεγονός που οδηγεί στην μειωμένη απόδοσή τους στην τάξη του 14%.



Εικόνα 32 Polycrystalline cell

3.2.1.3 Λεπτού υμενίου ή λεπτής μεμβράνης

Η τεχνολογία των λεπτών βασίζεται στον συνδυασμό λεπτών στρωμάτων πάχους λίγων μm του ημιαγωγού μειώνοντας το προβλεπόμενο κόστος παραγωγής. Τα λεπτά αυτά στρώματα μπορεί να αποτελούνται από:

- Άμορφο πυρίτιο (τυχαίες αποστάσεις και γωνίες δεσμών)
- Copper indium diselenide
- Cadmium telluride
- Gallium arsenide

Βασικό στοιχείο των ηλιακών κελιών αυτής της κατηγορίας είναι ότι στην βάση τους τοποθετείται ομοιόμορφα ένα λεπτό στρώμα πυριτίου. Ως βάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μεγάλο εύρος υλικών καθώς και καμπύλες επιφάνειες.

Η διαδικασία παραγωγής του περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός λεπτού στρώματος άμορφου πυριτίου σε φύλλο γυαλιού, το οποίο έχει καλυφθεί από διάφανο οξείδιο του κασσιτέρου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στη συνέχεια όλη η διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων αλλά ξεχωριστών στοιχείων.

Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα στην απορρόφηση του ηλιακού φωτός, η απόδοσή του αγγίζει το 6%-8%. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιείται σε κατασκευές με μικρές απαιτήσεις απόδοσης και ιδιαίτερης γεωμετρίας.



Εικόνα 33 Thin film solar cell

3.2.1.4 Υβριδικά κελιά

Στην προσπάθεια βελτίωσης των φ/β κελιών, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες πάνω στην χρήση υβριδικών δομών στις οποίες στοιχεία με διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης συνδέονται μαζί.

Τα πλεονεκτήματα συνοψίζονται ως εξής:

- Απορρόφηση φωτός σε μεγαλύτερο φάσμα.
- Επίτευξη υψηλότερων τάσεων.
- Υποχώρηση μείωσης ρυθμού απόδοσης των κελιών που οφείλονται σε φαινόμενα οπτικής υποβάθμισης, τα οποία παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται υλικά άμορφου πυριτίου.

Πίνακας 2 Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

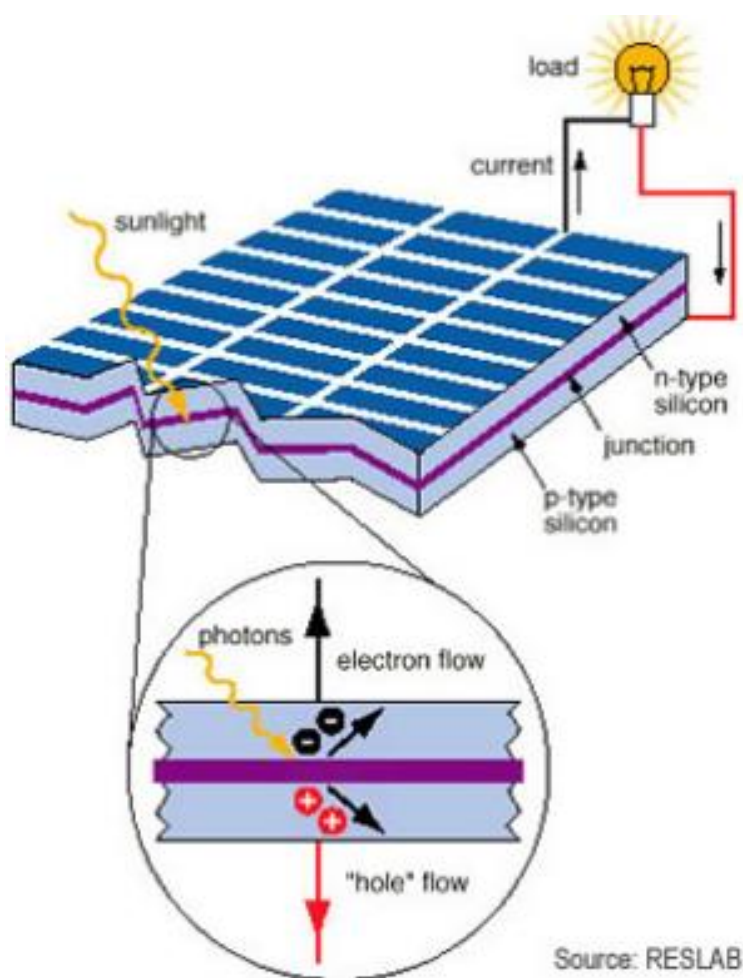
Τύπος	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά	Λεπτής μεμβράνης	Υβριδικά
Απόδοση	11-14%	15-18%	Άμορφα 5-7% CIS 7-10%	16-17%
Επιφάνεια ανά KWp	8-10m ²	7-8m ²	10-20m ²	6-7m ²
Κόστος(€/Wp)	4-4.5	4-5.5	3-4.7	3.8-5.4

3.2.2 Δομή φωτοβολταϊκών κελιών

Για λόγους αντοχής και ευχρηστίας, τα ηλιακά κελιά έχουν τοποθετημένα στην περίμετρό τους μεταλλικά ελάσματα αλουμινίου και για λόγους προστασίας είναι αεροστεγώς και υδατοστεγώς κλεισμένα μέσα σε ειδική μόνωση.

Τα ηλιακά στοιχεία αποτελούνται από:

- Μεταλλική βάση
- Πυρίτιο P-type
- Πυρίτιο N-type
- Μη-ανακλαστικό στρώμα επικάλυψης
- Μεταλλικά αγωγίμα ελάσματα



Εικόνα 34 Photovoltaic cell structure

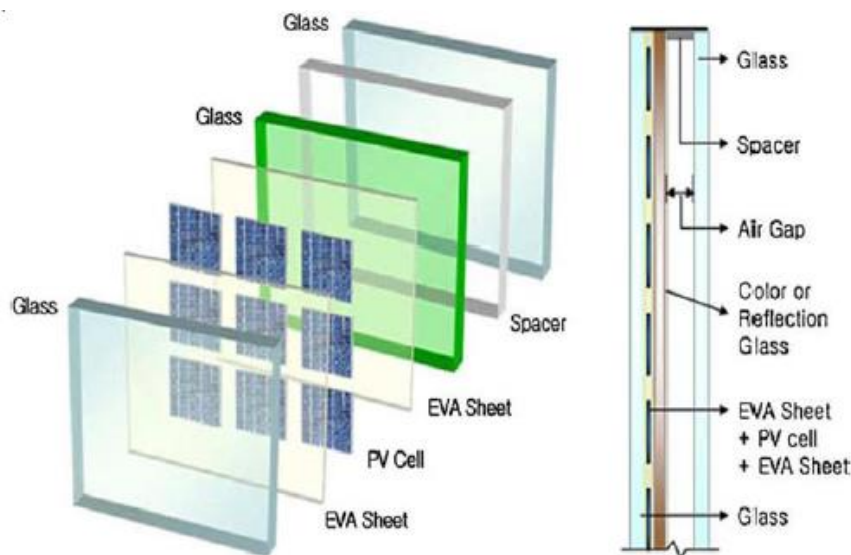
3.2.3 Δομή φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από ένα σύνολο ηλιακών κελιών. Αποτελεί το βασικότερο προϊόν της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών. Στην τυπικότερη περίπτωση το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από 36 ηλιακά κελιά σε σειρά ενώ έχει έξοδο με συνεχές ρεύμα. Συνήθως τροφοδοτεί συσσωρευτή τάσης 12V. Το μέγεθος του πλαισίου καθορίζεται βάσει της

ισχύος σε kW που μπορεί να αποδώσει μετρούμενο σε καθορισμένες ονομαστικές συνθήκες.

Κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από ορισμένα στρώματα υλικών τα οποία ονομαστικά είναι:

- Ειδικό γυαλί
- Συμπυκνωμένο υλικό (Ethylene vinyl acetate sheet - EVA) για την ενθυλάκωση των κυψελών
- Ηλιακές κυψέλες
- Συμπυκνωμένο υλικό EVA
- Ειδικό γυαλί
- Κενό αέρος
- Ειδικό γυαλί



Εικόνα 35 Solar panel structure

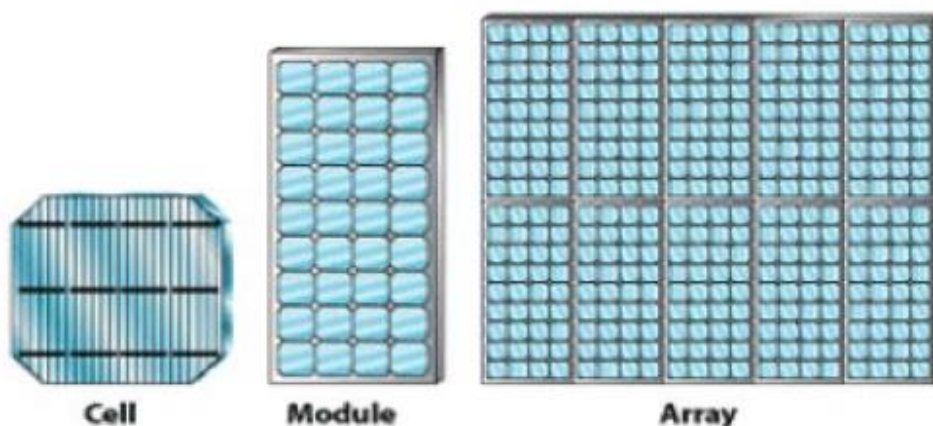
Τα ηλιακά κελιά περικλείονται συνήθως από δύο κομμάτια γυαλιού, πλαστικού ή και συνδυασμού. Τα είδη των γυάλινων καλυμμάτων που χρησιμοποιούνται είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία και χρωματισμένα ώστε να αντανακλούν την θερμότητα. Το κάλυμμα προφυλάσσει τα κελιά και τις ηλεκτρικές επαφές από τα καιρικά φαινόμενα που μπορούν να δημιουργήσουν διάβρωση. Κάτω από το γυάλινο κάλυμμα της επιφάνειας που είναι στραμμένη προς τον ήλιο υπάρχει μεμβράνη η οποία βοηθά στην μείωση του ποσοστού ανακλώμενης ακτινοβολίας. Πάνω και κάτω από τα στρώματα του πυριτίου υπάρχουν ηλεκτρικές επαφές κατασκευασμένες από υλικό μικρής θερμικής αντίστασης που συνδέουν το πλαίσιο με εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Το συμπυκνωμένο αυτό υλικό είναι συνήθως EVA, το οποίο εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη διαπερατότητα στο φως. Τα ηλιακά κελιά συνδέονται σε σειρά, παράλληλα

προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε τάση και ρεύμα. Επίσης, τα κελιά οφείλουν να παρουσιάζουν όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και να επιτυγχάνεται έτσι η ομαλή λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

3.2.4 Φωτοβολταϊκές συστοιχίες

Όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα ένα μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου χάνεται στο περιβάλλον λόγω ανάκλασης ή μετατροπής του σε θερμότητα. Προκειμένου λοιπόν η παραγόμενη ενέργεια να είναι αρκετή, τα φωτοβολταϊκά κελιά συνδέονται μεταξύ τους προς την δημιουργία πλαισίων (Modules). Αντίστοιχα η ένωση των πλαισίων αποτελεί μια συστοιχία.

Όταν οι απαιτήσεις ενέργειας είναι μεγάλες, οι συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων χωροθετούνται με κατάλληλο τρόπο σε ειδικά κατασκευασμένες στηρίξεις σχηματίζοντας ένα φωτοβολταϊκό πάρκο.



Εικόνα 36 Solar cell, module and array

3.3 Στηρίξεις φωτοβολταϊκών πλαισίων

Οι ενεργειακές απαιτήσεις από κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα, η οικονομική δυνατότητα, το περιβάλλον και οι τοπικές συνθήκες καθορίζουν τον τύπο και τρόπο στήριξης του.

Συνοπτικά, οι κύριοι τρόποι στήριξης των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τρεις:

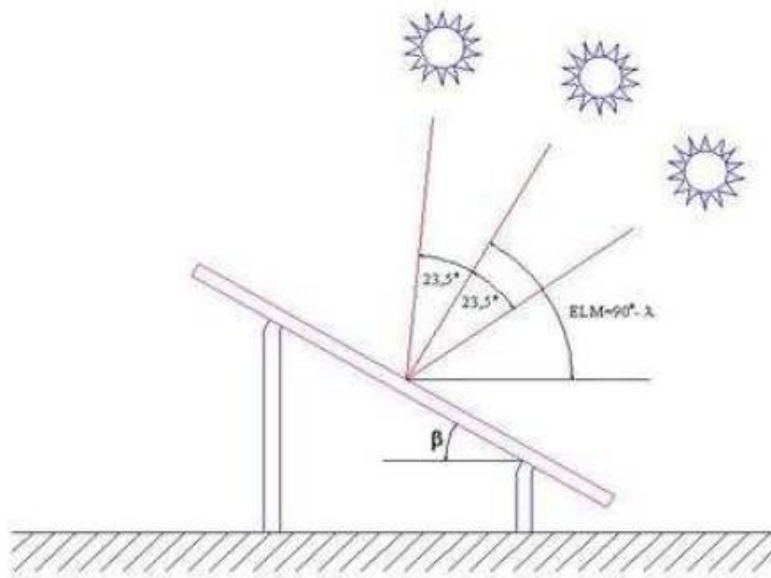
- Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη.
- Στήριξη με εποχιακά ρυθμιζόμενη γωνία κλίσης του συλλέκτη.
- Συστήματα με ημερήσια παρακολούθηση - Ιχνηλάτες (Trackers).

3.3.1 Στηρίξεις με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη

Θεωρείται ο οικονομικότερος και απλούστερος σε κατασκευή και ρύθμιση τρόπος στήριξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Βασική προϋπόθεση της εύρυθμης λειτουργίας του είναι η πρόσδοση κατάλληλης κλίσης και

προσανατολισμού. Βασικό πλεονέκτημά του, πάνω στο οποίο στηρίζεται η αξιοπιστία του, είναι η μη ύπαρξη κινητών μερών. Ο συγκεκριμένος τρόπος στήριξης προτείνεται για τοποθεσίες όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι.

Όπως αναφέρθηκε, βασική προϋπόθεση των στηρίξεων με σταθερή κλίση είναι η κλίση και ο προσανατολισμός. Στην απλούστερη περίπτωση, ο χώρος τοποθέτησης δέχεται ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και χρησιμοποιείται νότιος ή βόρειος αζιμουθιακός προσανατολισμός ανάλογα με το αν βρισκόμαστε στο βόρειο ή νότιο ημισφαίριο αντίστοιχα σε δεδομένη γωνία κλίσης που είναι ίση με το λ της τοποθεσίας. Οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες δύο φορές τον χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 37 Standard angle Solar collector

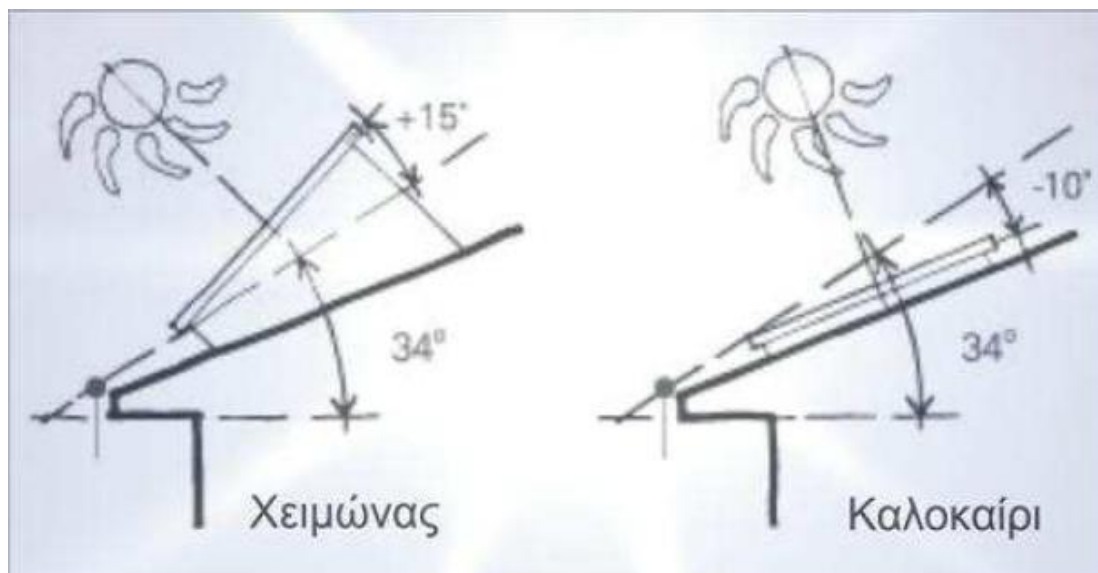
Το ύψος του ήλιου καθορίζει σε καθημερινή βάση την μέση ετήσια τιμή των ενεργειακών απολαβών μας. Το ύψος του μεταβάλλεται καθημερινά παίρνοντας τιμές $EY = (90^\circ - \lambda) - 23.5^\circ$, στις 22 Δεκεμβρίου μέχρι την τιμή $MY = (90^\circ - \lambda) + 23.5^\circ$ στις 21 Ιουνίου. Μετά από αυτή την ημερομηνία του Ιουνίου οι τιμές του ύψους μειώνονται μέχρι την τιμή εκείνης της 22^{ης} Δεκεμβρίου.

Είναι πολύ σημαντικό στον καθορισμό της βέλτιστης κλίσης του συλλέκτη να λάβουμε υπόψιν μας τις μετεωρολογικές συνθήκες και την ανακλαστικότητα του εδάφους. Προκειμένου όμως να εφαρμοστούν οι συγκεκριμένοι έλεγχοι απαιτούνται χρόνια μετρήσεων και υψηλό κόστος. Έτσι με την βοήθεια ενός αισθητήρα ακτινοβολίας όπως είναι το πυρανόμετρο, τοποθετημένο σε οριζόντια θέση σε αρκετό διάστημα, εξασφαλίζουμε αρκετά δεδομένα που με κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη.

3.3.2 Στηρίξεις με εποχιακή ρύθμιση γωνίας κλίσης του συλλέκτη

Σε αντίθεση με τις στηρίξεις σταθερής κλίσης της προηγούμενης παραγράφου, οι στηρίξεις με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης τους παρέχουν την δυνατότητα μεγαλύτερης απόδοσης ενέργειας. Το κόστος τους είναι σχετικά μικρό, εφόσον η κατασκευή τους είναι αρκετά απλή έτσι ώστε να είναι δυνατή η εποχιακή ρύθμιση από τον χρήστη. Η συγκεκριμένη ρύθμιση οφείλει πραγματοποιείται δύο φορές τον χρόνο. Η πρώτη, το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου) και η δεύτερη το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου). Στόχος της εποχιακής ρύθμισης είναι η γωνία πρόσπτωσης των ακτινών στον συλλέκτη να προσεγγίζει όσο το δυνατό περισσότερο τις 90 μοίρες.

Όπως και στον προηγούμενο τύπο στήριξης για τον ορθό προσδιορισμό του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα της τοποθεσίας καθώς και η αντανακλαστικότητα του εδάφους.



Εικόνα 38 Variable angle Solar collector

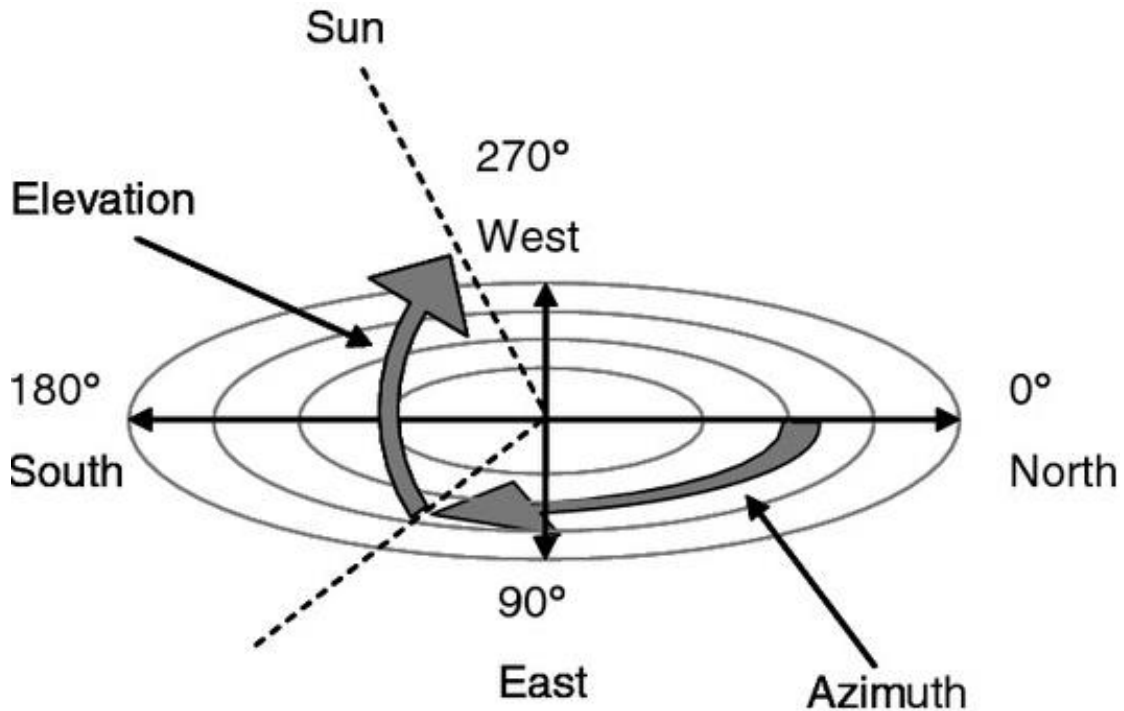
3.3.3 Συστήματα στήριξης συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης (Trackers)

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις ενέργειας ωθούν την παραγωγή σε κατασκευή ακόμα πιο αποδοτικών συστημάτων συλλογής της ηλιακής ενέργειας. Για την μεγαλύτερη αυτή απολαβή ενέργειας κατασκευάζονται συσκευές συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης του ήλιου. Τα ηλιοτρόπια όπως εναλλακτικά ονομάζονται δύνανται να αποδώσουν από 30% έως και 50% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης.

Τα ηλιοτρόπια ανάλογα με το είδος κίνησης που πραγματοποιούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους χωρίζονται σε εκείνα που εκτελούν στροφή γύρω από έναν άξονα και εκείνα που εκτελούν στροφή γύρω από δύο άξονες.

3.3.3.1 Ηλιοτρόπια με στροφή γύρω από έναν άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ' όλη την ημέρα καταλήγει στη δύση, χρησιμοποιώντας το αζιμουθιακό ή το πολικό ηλιοτρόπιο.



Εικόνα 39 Azimuth explanation

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο περιστρέφονται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες. Για την επιλογή της κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο λαμβάνονται υπόψιν όλες οι παράμετροι που αφορούσαν τα σταθερά συστήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Συστήματα αυτού του τύπου έχουν αύξηση ισχύος περίπου 25% με 35% με εκείνη να ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.

Παράλληλα, τα συστήματα που χρησιμοποιούν το πολικό ηλιοτρόπιο περιστρέφονται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της Γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς σε επίπεδο κάθετο με εκείνο των συλλεκτών. Κατά την διάρκεια του έτους, η γωνία μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται από -23.5° μοίρες έως και $+23.5^\circ$ μοίρες.

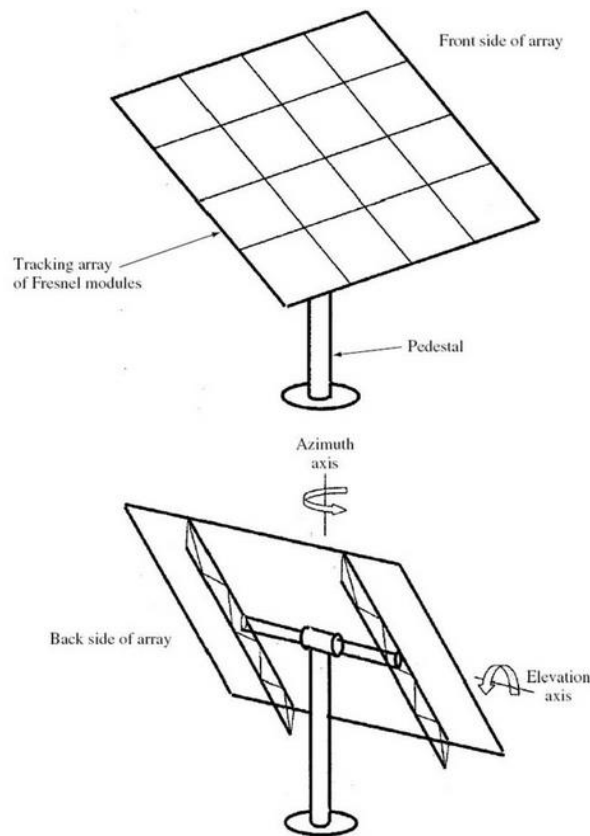


Εικόνα 40 1-axis Solar trackers

Η κατασκευή των πολικών ηλιοτροπίων είναι απλή, όπως και ο έλεγχός τους. Βασικό μειονέκτημά τους είναι η μικρή αντοχή τους σε ισχυρούς ανέμους. Για την προστασία τους χρειάζονται ισχυρά συστήματα πέδησης. Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια οφείλουν να τοποθετηθούν σε τριγωνικό σχηματισμό, έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Αν δεν εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος χωροθέτησης μένει αρκετός χώρος αναξιοποίητος. Ακόμη, όσον αφορά στην απόδοση αυτών των συστημάτων, η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα με την εποχή του έτους.

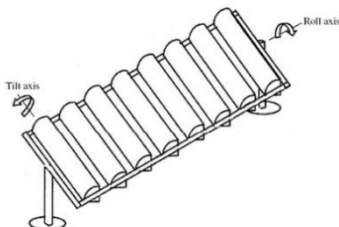
3.3.3.2 Ηλιοτρόπια με στροφή γύρω από δύο άξονες

Από μηχανικής πλευράς, η παρακολούθηση δύο αξόνων είναι πιο πολύπλοκη από εκείνη του ενός άξονα. Συνήθως στις διατάξεις αυτές η παρακολούθηση πραγματοποιείται με την βοήθεια ενός κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο κινεί τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά μήκος ενός κάθετου άξονα (κίνηση περί τον αζιμουθιακό άξονα) και κατά μήκος ενός οριζόντιου άξονα (άξονας ανύψωσης). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η απλότητα της κατασκευής, ενώ μειονεκτεί όσον αφορά στο γεγονός ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα μεταφράζονται σε ροπή για το κιβώτιο.

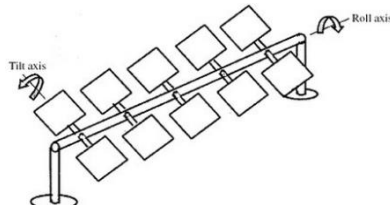


Εικόνα 41 2- Axis solar tracker

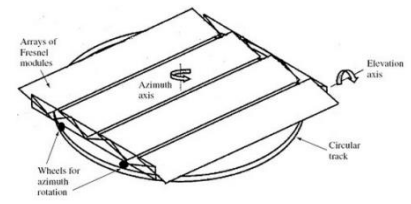
Υπάρχουν κάποιες παραλλαγές της κατασκευής με απλούστερη εκείνη της εικόνας 42, η οποία χρησιμοποιεί ένα κυλινδρικό στήριγμα, πάνω στο οποίο συνδέεται ένα σύνολο φ/β πλαισίων. Μια άλλη υλοποίηση φαίνεται στην εικόνα 43, στην οποία το φορτίο αέρα είναι σαφώς μειωμένο, όμως απαιτούνται περισσότερες συνδέσεις και έδρανα κύλισης, κάνοντας την κατασκευή πιο σύνθετη. Τέλος, υπάρχει και η διάταξη της εικόνας 44, στην οποία εμφανίζονται τα μικρότερα φορτία αέρα και κατέχει την πιο συμπαγή κατασκευή, όμως από την άλλη παρουσιάζει την πιο σύνθετη εγκατάσταση.



Εικόνα 42



Εικόνα 43



Εικόνα 44

3.4 Δομή φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και ο μηχανισμός στήριξης αποτελεί ένα κομμάτι των φωτοβολταϊκών συστημάτων με στόχο μέγιστη αποδοχή ηλιακής ακτινοβολίας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται ακόμη από τα εξής μέρη: συσκευές αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες, συσσωρευτές), τον μετατροπέα, καταναλωτές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και στοιχεία power conditioning. Οφείλεται να σημειωθεί πως δεν είναι απαραίτητο να συναντώνται όλα τα παραπάνω στοιχεία σε ένα σύστημα.

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί μια κατηγοριοποίηση των συστημάτων ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης του παραγόμενου ρεύματος.

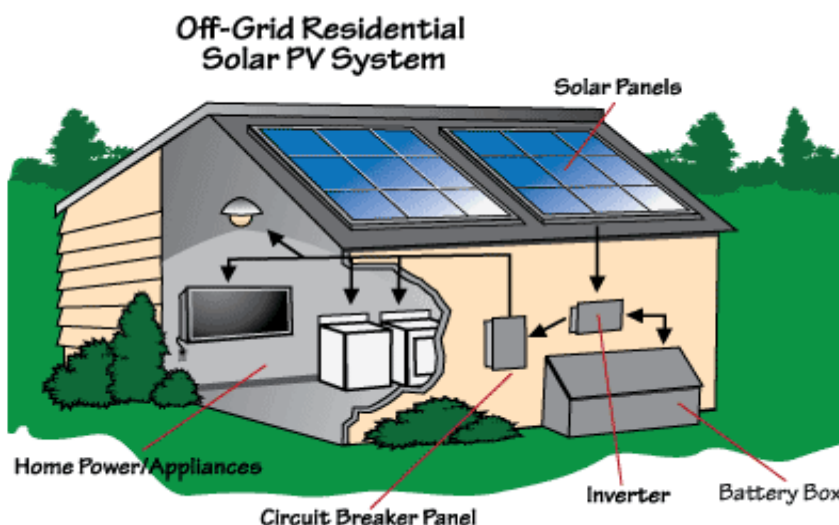
- Αυτόνομα συστήματα
- Διασυνδεδεμένα συστήματα
- Υβριδικά συστήματα

3.4.1 Αυτόνομα συστήματα

Τα αυτόνομα συστήματα είναι συνήθως απομονωμένα και δεν είναι συνδεδεμένα σε κάποιο δίκτυο είτε γιατί αυτό βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση είτε εξαιτίας του υψηλού κόστους για την εγκατάσταση γραμμής. Τα συστήματα αυτά είναι ενεργειακά αυτόνομα και η αποδιδόμενη ισχύς είναι περίπου στα 10kW_p.

Σήμερα, τέτοιου είδους συστήματα συναντώνται σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς και υπαίθρια φωτιστικά σώματα.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία παράγουν συνεχές ρεύμα και η ισχύς τους



Εικόνα 45 Off-grid System

εξαρτάται από τον αριθμό πλαισίων που χρησιμοποιούνται. Επίσης, υπάρχει

ο συσσωρευτής που βοηθά στην αποθήκευση περίσσειας ενέργειας και στην διάθεσή της, μόλις η κατανάλωση το απαιτήσει. Η χωρητικότητά του καθορίζει και την αυτονομία του συστήματος, η οποία κυμαίνεται από μερικές μέρες έως και δύο εβδομάδες. Οι συσσωρευτές προκαλούν μείωση της απόδοσης του συστήματος, ενώ χρειάζονται περιοδική συντήρηση και μεγάλο χώρο για να αποθηκευτούν. Επιπλέον, ένα αυτόνομα φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει έναν ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή. Όταν ο συσσωρευτής είναι τελείως γεμάτος δεν επιτρέπει σε επιπλέον ρεύμα να εισρεύσει σε αυτόν. Αντίθετα, όταν ο συσσωρευτής είναι σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης, ο ρυθμιστής φόρτισης, δεν επιτρέπει την παροχή επιπλέον ρεύματος μέχρις ότου επαναφορτιστεί. Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιεί έναν μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο για κάθε χρήση, ενώ πρέπει να δοθεί βάση στην ισχύ του, η οποία οφείλει να είναι μεγαλύτερη από την συνολική ισχύ όλων των συσκευών που συνδέονται μαζί του.

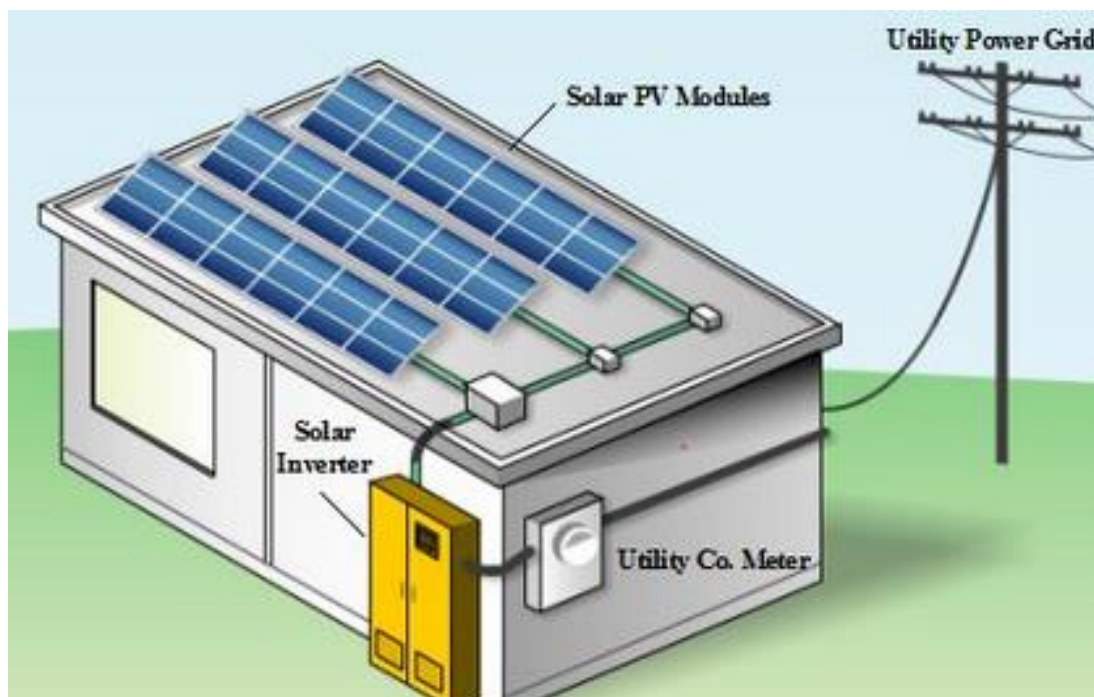
Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ανεμογεννήτριες, οι οποίες συνδέονται στο σύστημα. Τοποθετούνται για την παραγωγή ρεύματος από την ταχύτητα του ανέμου και συνεργάζεται με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για την φόρτιση του συσσωρευτή του συστήματος. Με την προσθήκη της ανεμογεννήτριας το σύστημα καθίσταται υβριδικό.

3.4.2 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται για την τροφοδοσία των ενεργειακών αναγκών του συστήματος, ενώ η περίσσεια παραγωγής διαβιβάζεται απευθείας και πωλείται στο δίκτυο. Στην περίπτωση που υπάρχει έλλειψη ενέργειας όμως, το δίκτυο καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος. Το δίκτυο δρα λοιπόν ως συσσωρευτής και το ύψος της ενέργειας που πωλείται ή αγοράζεται καταγράφεται με την χρήση δύο μετρητών ενέργειας.

Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη στοχεύει στην αυτοπαραγωγή και συναντάται σε οικιακά ή μικρά δίκτυα (2-4kW_p) και η δεύτερη στην παραγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση μεγάλων σταθμών που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο (100kW_p), κυρίως κοντά σε περιοχές με μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις.

Τα βασικά μέρη του διασυνδεδεμένου συστήματος είναι: τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, ο μετατροπέας δικτύου και οι απαραίτητες μηχανικές κατασκευές.



Εικόνα 46 On-grid System

3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών, τα συστήματα παρουσιάζουν αναμενόμενη διάρκεια ζωής 30 χρόνια. Ωστόσο, στην πράξη αυτό το χρονικό διάστημα ζωής σχεδόν ποτέ δεν είναι εφικτό. Τα φ/β πλαίσια επηρεάζονται τόσο από τις κατασκευαστικές αστοχίες, όσο και από τις καιρικές συνθήκες. Αποτέλεσμα των παραπάνω δεν είναι μόνο η μείωση του προσδοκώμενου χρόνου ζωής αλλά και η μείωση της αναμενόμενης απόδοσης. Τα κατασκευαστικά αυτά λάθη οφείλονται κυρίως στην κακή ποιότητα των υλικών των πλαισίων και στις καταπονήσεις που αυτά δέχονται από ισχυρούς ανέμους. Ακόμη, η υγρασία αποτελεί βασικό εχθρό των φωτοβολταϊκών κελιών, εφόσον μπορεί να προκαλέσει πάνω από 1% μείωση στην απόδοση των φωτοβολταϊκών το χρόνο. Επιπλέον, η καταστροφή της μόνωσης και η δημιουργία ρωγμών στα φωτοβολταϊκά κελιά μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα και σίγουρη μείωση της αναμενόμενης απόδοσης.

Παρακάτω αναλύονται όλοι οι παράγοντες που δύνανται να επηρεάσουν την απόδοση και τον χρόνο ζωής των φωτοβολταϊκών.

-Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Οι 25°C θεωρούνται η ιδανική θερμοκρασία για την εύρυθμη λειτουργία τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας των κελιών επιδρά αρνητικά στο ποσό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική και προκαλεί μείωση στη διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται στο εσωτερικό τους. Συστήματα με αυξημένη θερμοκρασία στο εσωτερικό τους μπορούν να εμφανίσουν έως και 14% μειωμένη αποδοτικότητα.

-Η συνολική εκμεταλλεύσιμη ενέργεια που παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται από την συνολική ακτινοβολία που δέχτηκε το σύστημα. Η διαθέσιμη προσπίπτουσα ακτινοβολία εξαρτάται κυρίως από την γεωγραφική τοποθεσία και η αύξηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

-Η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου μπορεί να επηρεάσει την παραγόμενη ισχύ καθώς προωθεί την μείωση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των πλαισίων.

-Σε περιοχές με έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ενδέχεται να μειωθεί καθώς η επικάλυψη σκόνης, φύλλων και άλλων ακαθαρσιών στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών εμποδίζουν την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε περιοχές με έντονες χιονοπτώσεις ή αμμοθύελλες τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται με κλίση από 45° έως 90° μοίρες.

-Είναι εμπειρικά υπολογισμένο πως λόγω φυσικής φθοράς των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των υπόλοιπων μερών ενός συστήματος υπάρχει μια μείωση στην απόδοση κατά 1% ετησίως.

-Επιπλέον, υπάρχει μια μείωση της απόδοσης που αγγίζει το 3% ετησίως και αφορά την αυξημένη ανακλαστικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαιτίας της αυξημένης γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων και των χαμηλών τιμών της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας.

-Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα πλαίσια, στις συστοιχίες καθώς και τις συνδέσεις τους σε άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, μετατροπείς κ.λπ. Κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας ενός συστήματος πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, κατά περίπτωση και για την κάλυψη αυτών των απωλειών, που μπορεί να αποτελούν περισσότερο από το 30% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

-Ένας άλλος παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κ.λπ., είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης όπως για παράδειγμα στις στέγες κτηρίων όπου προκαλείται σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές και για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία ίδιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη ενός και μόνο φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Ένα σκιασμένο στοιχείο, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η απλή

δίοδος p-n η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τα υπόλοιπα υγιή φωτοβολταϊκά στοιχεία μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου αριθμού, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της. Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο HotSpot (κατάσταση “θερμής κηλίδας”). Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (δίοδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυττάρων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο φωτοβολταϊκό στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί.



Εικόνα 47 Photovoltaic panel damaged by shading

4. Σχεδιασμός Ηλιακού ιχνηλάτη δύο αξόνων με την βοήθεια του προγράμματος τρισδιάστατης σχεδίασης CATIA

Ύστερα από την ανάλυση των συστημάτων στήριξης και αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε ηλεκτρική, καταλήγει κάποιος στο γεγονός πως τα συστήματα συνεχούς παρακολούθησης της κίνησης του ήλιου έχουν την μεγαλύτερη απόδοση. Με την βοήθεια της ηλεκτρονικής πλατφόρμας σχεδίασης CATIA V5 R21 σχεδιάστηκε ένα τέτοιο σύστημα με κίνηση σε δύο άξονες, τον κατακόρυφο και τον οριζόντιο.

Το σύστημα αυτό απαρτίζεται από τέσσερα μικρότερα υποσυστήματα. Αρχικά σχεδιάζεται η βαρυτική βάση που βρίσκεται εν μέρει μέσα στο έδαφος και αποτελεί την κύρια στήριξη του συστήματος απέναντι στο συνολικό βάρος της κατασκευής καθώς και της δύναμης του ανέμου που της ασκείται. Αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω του βάρους και του χαμηλού κόστους.

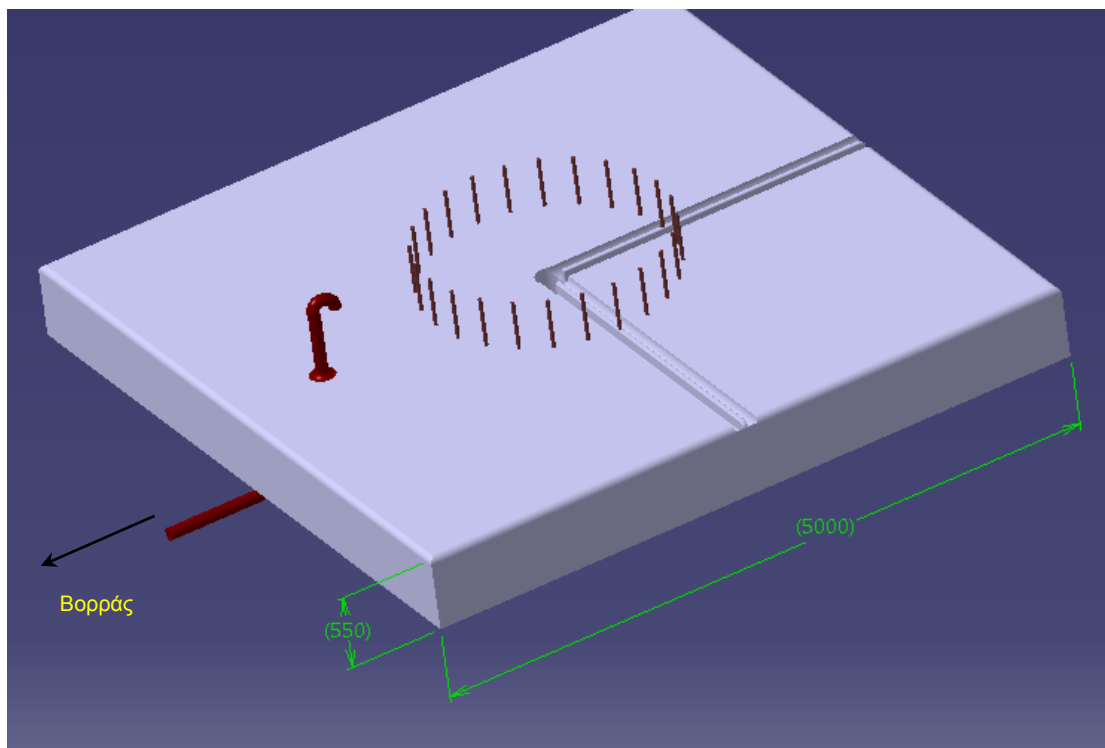
Ακολουθεί η πυραμίδα του ιχνηλάτη που εξασφαλίζει την κίνηση του συστήματος στους δύο άξονες με την βοήθεια κατάλληλου κιβωτίου ταχυτήτων και ενός υδραυλικού εμβόλου. Η υδραυλική αυτή κίνηση συνοδεύεται από μηδενική συντήρηση και η δυνατότητα υπερφόρτωσης είναι πολύ μεγαλύτερη από κάθε άλλη εναλλακτική.

Το επόμενο υποσύστημα είναι το κινητό πλαίσιο στήριξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αποτελείται από ένα σύνολο οριζόντιων και κάθετων σε αυτές τεγίδων αλουμινίου. Στο υποσύστημα αυτό ανήκουν και οι σωληνωτοί σύνδεσμοι που ενώνουν την πυραμίδα με το κινητό πλαίσιο.

Τέλος, σχεδιάστηκαν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές της παραγράφου 3.2.3.

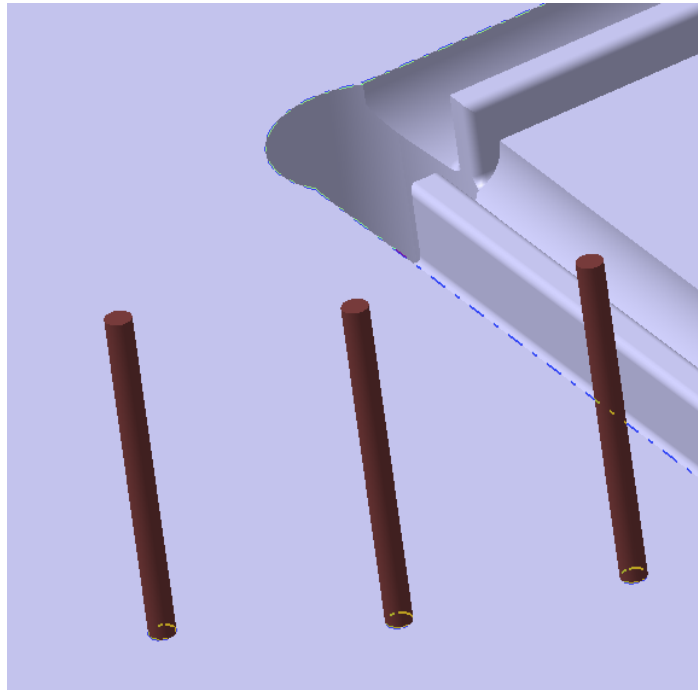
4.1 Σχεδιασμός Βαρυτικής Βάσης

Ύστερα από την μελέτη του εδάφους που θα εγκατασταθεί η βαρυτική βάση που έχει σχεδιαστεί, οφείλεται να δημιουργηθεί ένας σωλήνας όδευσης των καλωδίων με την διάμετρό του να εξαρτάται από τον όγκο της καλωδίωσης. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι ο προσανατολισμός της βάσης καθώς ο σωλήνας όδευσης θα πρέπει να τοποθετηθεί με κατεύθυνση προς τον Βορρά. Στο κέντρο της βαρυτικής βάσης



Εικόνα 48 Gravitational Base

τοποθετείται ένα σύνολο από κοχλιοτομημένα αγκύρια με στόχο την στήριξη της πυραμίδας. Τα αγκύρια αυτά βρίσκονται βυθισμένα στο σπλισμένο σκυρόδεμα και κρατούνται ως σύνολο με την τοποθέτηση μιας προστατευτικής στεφάνης. Τέλος, για την απομάκρυνση των ομβρίων δημιουργούνται αγωγοί αποστράγγισης τόσο στην επιφάνεια της βάσης, όσο και κατά βάθος.



Εικόνα 49 Αγκύρια και αγωγοί αποστράγγισης

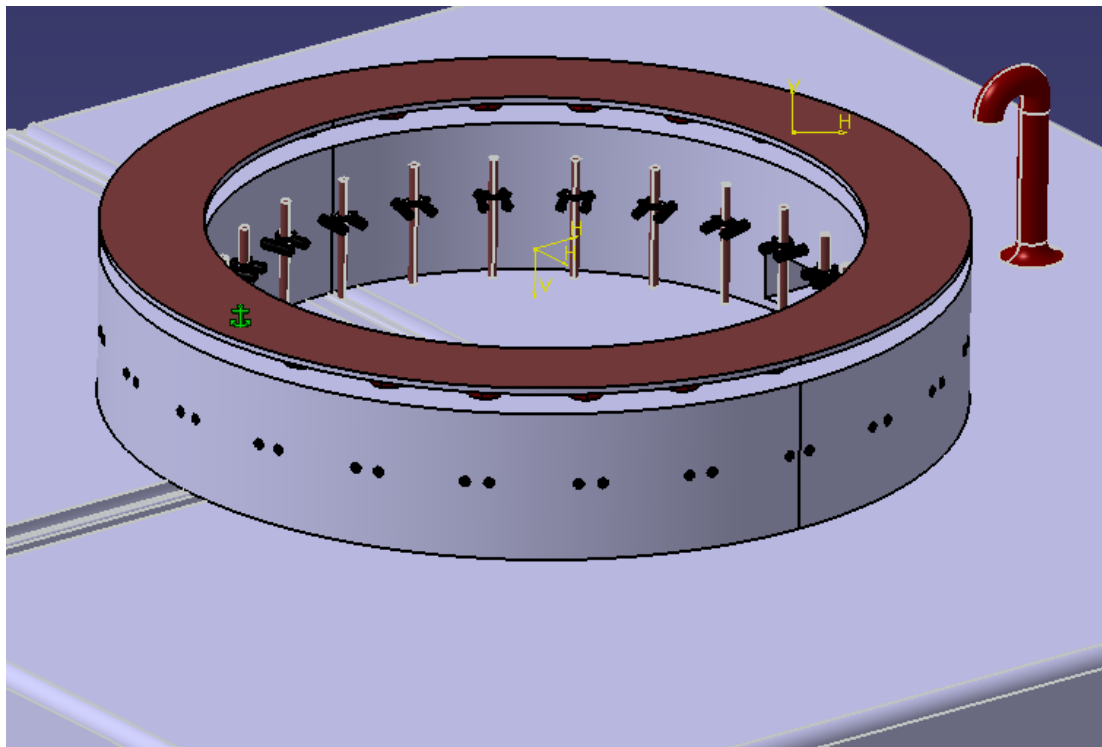
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα οι διαστάσεις της βάσης είναι 5000*5000*550mm αλλά το πάχος της ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και την επιτρεπόμενη τάση εδάφους.

4.1.1 Ακολουθία εντολών για την Βαρυτική Βάση

Για την δημιουργία του κύριου όγκου της βάσης χρησιμοποιήθηκε η εντολή Pad για την προσθήκη υλικού. Με τις εντολές Rib και Slot δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα προφίλ και οι γραμμές οδηγού για την κατασκευή του σωλήνα-αγωγού καλωδίων και του κύριου εμβυθισμένου αγωγού αποστράγγισης αντίστοιχα. Επιπλέον, με την εντολή εξώθησης υλικού δημιουργήθηκε το πρώτο αγκύριο και στην συνέχεια με την εντολή pattern ως προς άξονα ανά 15° μοίρες επαναλήφθηκε η εξώθηση 24 φορές.

4.2 Σχεδιασμός Πυραμίδας Ιχνηλάτη (Pyramid Tracker)

Η πυραμίδα βάσης, λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής της δεν μπορεί να συναρμολογηθεί στην τοποθεσία εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού

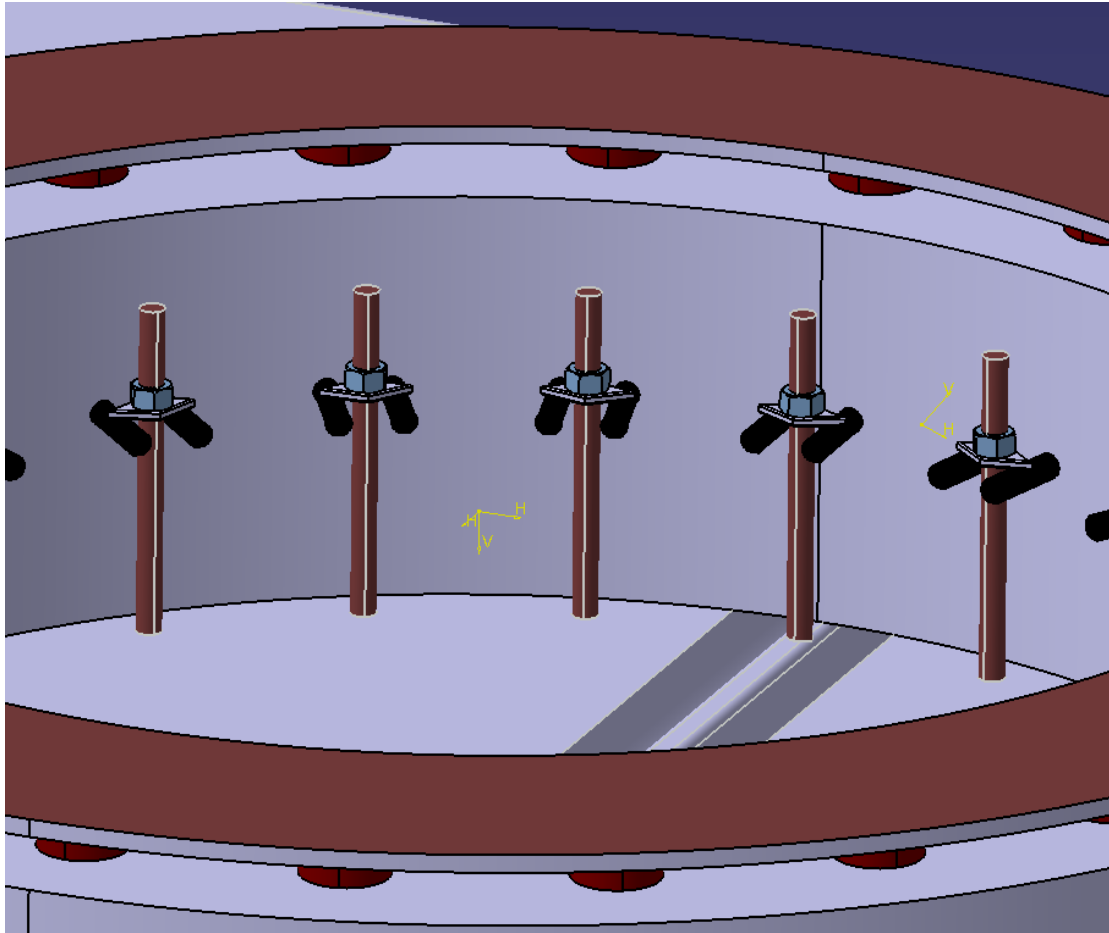


Εικόνα 30 Βάση πυραμίδας

συστήματος παρακολούθησης. Είναι προτιμότερο να συναρμολογηθεί νωρίτερα ώστε το μόνο που θα χρειαστεί στον τόπο εγκατάστασης να είναι η τοποθέτηση των πύρων συγκράτησης (μπετόβεργες) στις περιμετρικές οπές της βάσης της πυραμίδας και στη συνέχεια να τοποθετηθεί πάνω στη βαρυτική βάση. Η τελική και μόνιμη σύνδεση πραγματοποιείται με την χρήση ρομβοειδών ελασμάτων, τα οποία περνούν μέσα από κάθε αγκύριο και συγκρατούν ένα ζεύγος παράλληλων πύρων συγκράτησης. Στην συνέχεια τοποθετούνται ροδέλες και περικόχλια και σφίγγονται.

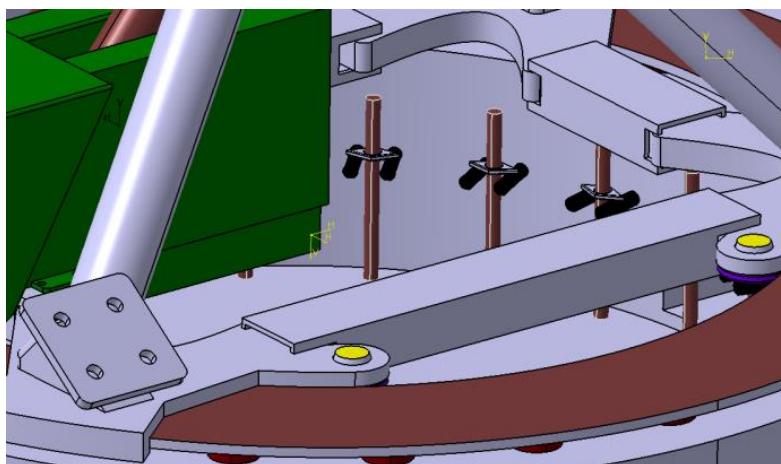
Σε ένα ορισμένο σημείο της βάσης τοποθετείται μία ισοδυναμική επιφάνεια (έλασμα γείωσης) προσανατολισμένη προς το Βορρά. Εκεί βρίσκονται και οι οπές όδευσης των καλωδίων στην πυραμίδα, που θα οδηγήσουν τα καλώδια μέσα στον αγωγό όδευσης των καλωδίων της βαρυτικής βάσης.

Ακριβώς πάνω από την βάση τοποθετούνται τα μεταλλικά σκέλη της πυραμίδας. Τα μεταλλικά σκέλη αυτά παρέχουν τις κατάλληλες υποδοχές για την τοποθέτηση των σωληνωτών κόμβων. Η βάση της μεταλλικής πυραμίδας



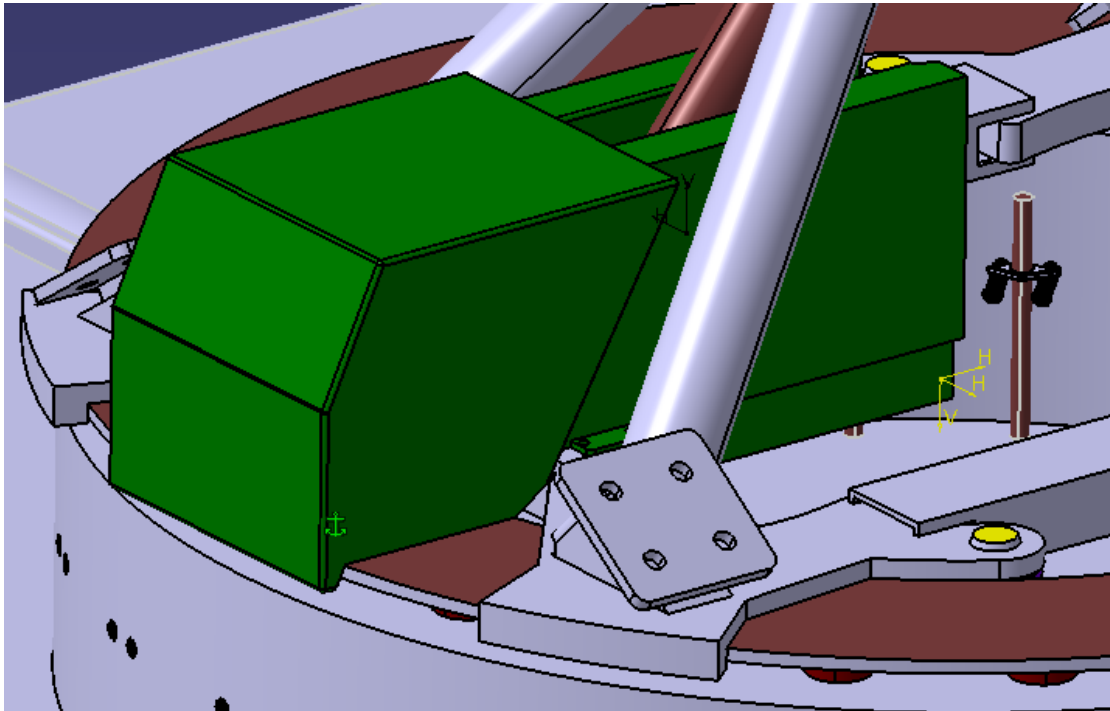
Εικόνα 51 τοποθέτηση περικοχλίων και σύσφιξη

στηρίζεται από παράλληλα ζεύγη ράβδων πάκτωσης. Οι ράβδοι αυτές βρίσκονται συγκολλημένες .



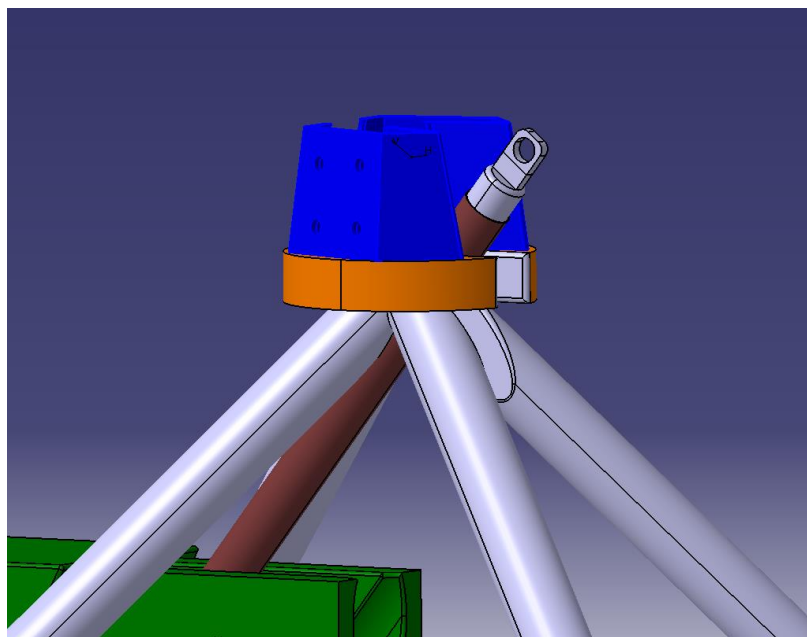
Εικόνα 52 Φλάντζα για τη τοποθέτηση των σωληνωτών στηρίξεων και παράλληλα ζεύγη ράβδων πάκτωσης.

Η πυραμίδα κινείται με την βοήθεια ενός κινητήρα γύρω από τον κατακόρυφο άξονα περιμετρικά της βάσης διαγράφοντας κυκλική τροχιά πάνω στην ράγα που βρίσκεται πακτωμένη στην βάση της πυραμίδας.



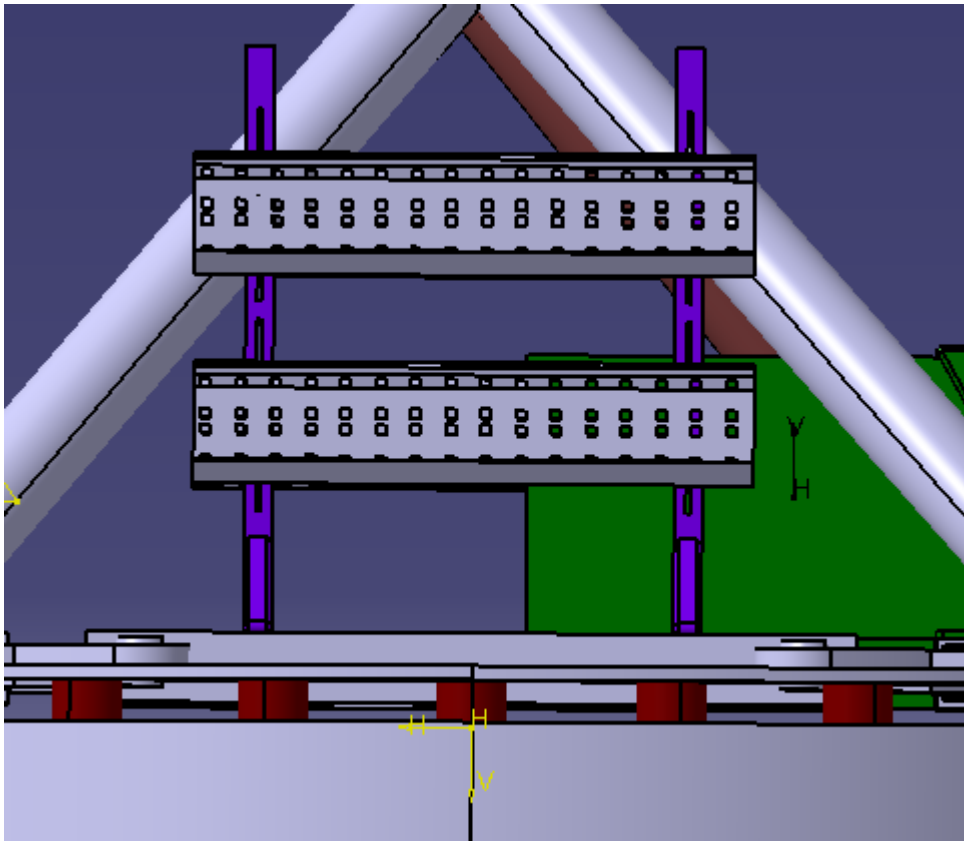
Εικόνα 53 Κινητήρας

Η κίνηση στον οριζόντιο άξονα εξασφαλίζονται με την βοήθεια ενός υδραυλικού εμβόλου.



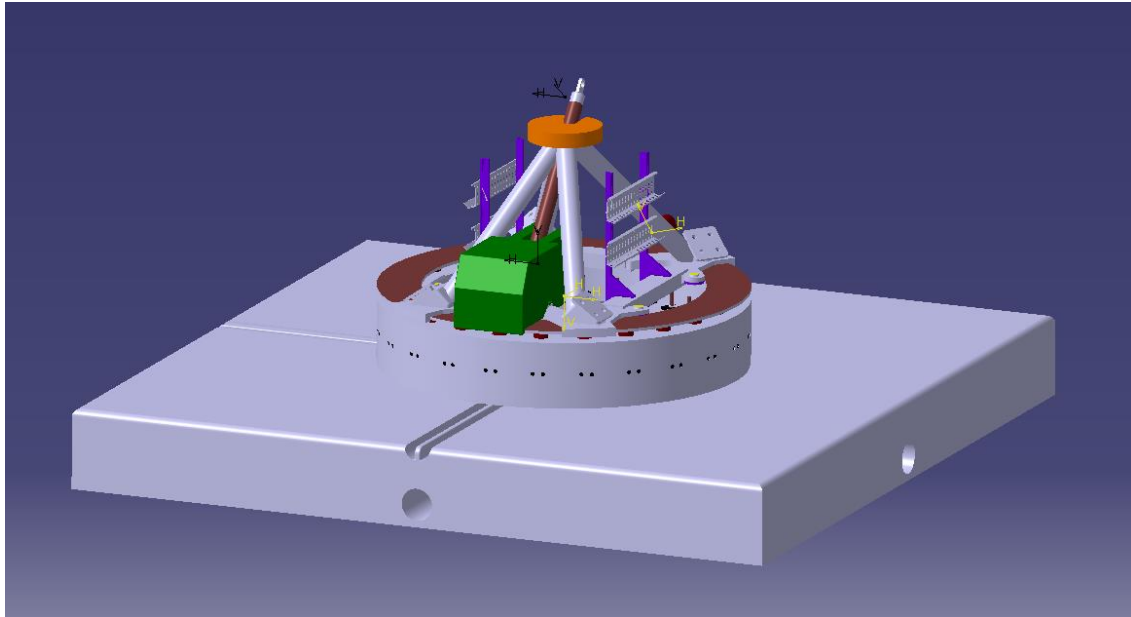
Εικόνα 54 Υδραυλικό έμβολο

Τέλος, στην πλαϊνή όψη της πυραμίδας τοποθετούνται ερείσματα για την τοποθέτηση των καλωδίων και άλλων συσκευών. Ανάμεσα τους βρίσκονται η κεντρική μονάδα απομακρυσμένου ελέγχου που συλλέγει τα μετεωρολογικά δεδομένα και επιτρέπει τον χειρισμό και έλεγχο από απόσταση.



Εικόνα 55 Ερείσματα τοποθέτησης καλωδίωσης και άλλων συσκευών.

Ακολουθεί μια γενική άποψη της πυραμίδας ιχνηλάτη:



Εικόνα 56 Βαρυτική βάση και πυραμίδα Ιχνηλάτη

4.2.1 Ακολουθία εντολών για την Πυραμίδα του Ιχνηλάτη

Ο κύριος όγκος της βάσης της πυραμίδας δημιουργήθηκε με εξώθηση υλικού. Η ένωση της βάσης της πυραμίδας με την βαρυτική βάση πραγματοποιήθηκε με την χρήση ελασμάτων που δημιουργήθηκαν με `rad` και τοποθετήθηκαν στις περιμετρικές οπές, ενώ τα παξιμάδια που είναι απαραίτητα για την ένωση με τα αγκύρια εισήχθησαν αφού διαμορφώθηκαν από την βιβλιοθήκη έτοιμων τεμαχίων του `CATIA`. Οι κυλινδρικές βάσεις της ράγας δημιουργήθηκαν με την εντολή `pattern` γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν με `rad` οι περιμετρικές βάσεις της πυραμίδας και οι δυο σωληνωτές στηρίξεις με την διαμόρφωση επιπέδων με κατάλληλη κλίση, ενώ με την εντολή του κατοπτρισμού ως προς το κατακόρυφο επίπεδο κατασκευάστηκαν στην απέναντι πλευρά. Στο σημείο επαφής των ήδη δημιουργημένων σωληνωτών κόμβων κατασκευάζεται ένα επίπεδο με εξώθηση υλικού πάνω στο οποίο θα τοποθετηθεί η ανώτερη στήριξη του κινητού πλαισίου που θα αναλυθεί αργότερα.

Με τις εντολές εξώθησης υλικού και δημιουργίας κελύφους δημιουργούνται οι ράβδοι πάκτωσης που στην συνέχεια αποκτούν παράλληλα ζευγάρια με την εντολή του κατοπτρισμού στην βάση της πυραμίδας. Ταυτόχρονα εγκαθίστανται και οι μικροί βοηθητικοί τροχοί και άξονες οι οποίοι είναι τέσσερις σε αριθμό και τοποθετημένοι περιμετρικά στην εσωτερική περιφέρεια της ράγας με την εφαρμογή της εντολής `revolve`.

Στην κορυφή της ατσάλινης πυραμίδας βρίσκεται η ανώτερη στήριξη του σωληνωτού πλαισίου. Η στήριξη αυτή κατασκευάστηκε με την εντολή `rib` λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας του τεμαχίου και οι λεπτομέρειές της ολοκληρώθηκαν με αφαίρεση υλικού και `pattern` για την τοποθέτηση κοχλιών σε τετραγωνική διάταξη.

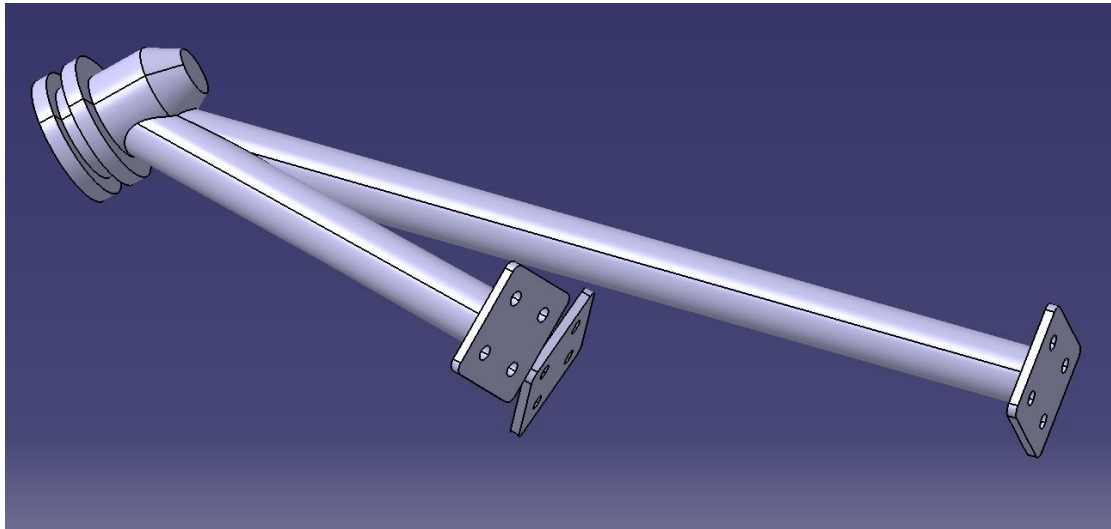
Για την δημιουργία του κιβωτίου του κινητήρα, του υδραυλικού εμβόλου και κυλίνδρου χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές της εξώθησης υλικού, `rocket` για την αφαίρεσή του και κελύφους για την επίτευξη κατάλληλων διαστάσεων κατά την εισαγωγή του εμβόλου στο κύλινδρο.

Για όλα τα παραπάνω τεμάχια εφαρμόστηκαν οι εντολές `edge-fillet`, `chamfer` και `draft-angle` για την περαίωση και περιορισμό των ακμών τους.

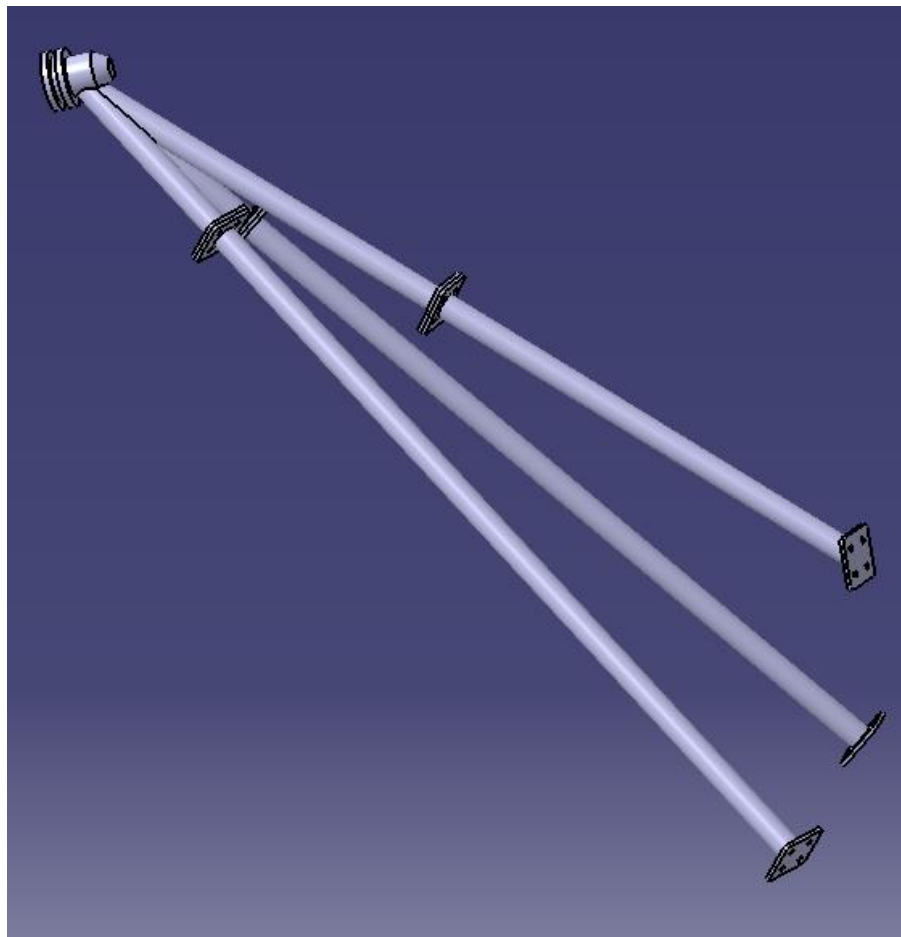
4.3 Σωληνωτές Στηρίξεις και Κινητό Πλαίσιο

Τα συγκροτήματα των σωληνωτών κόμβων, είναι τα στοιχεία με τα οποία ενώνεται η πυραμίδα με το κινητό πλαίσιο. Ως συγκρότημα σωληνωτών κόμβων αναφέρεται το συναρμολόγημα που αποτελείται από τον σωληνωτό κόμβο, τις τρεις γωνίες σύνδεσης και την απόληξη του συνδέσμου.

Κάθε σωληνωτός κόμβος αποτελείται από τρεις σωλήνες που τέμνονται μεταξύ τους και ο καθένας τους έχει διαφορετικό μήκος. Σε κάθε ιχνηλάτη υπάρχουν δύο σωληνωτοί κόμβοι που είναι διαφορετικοί μεταξύ τους.

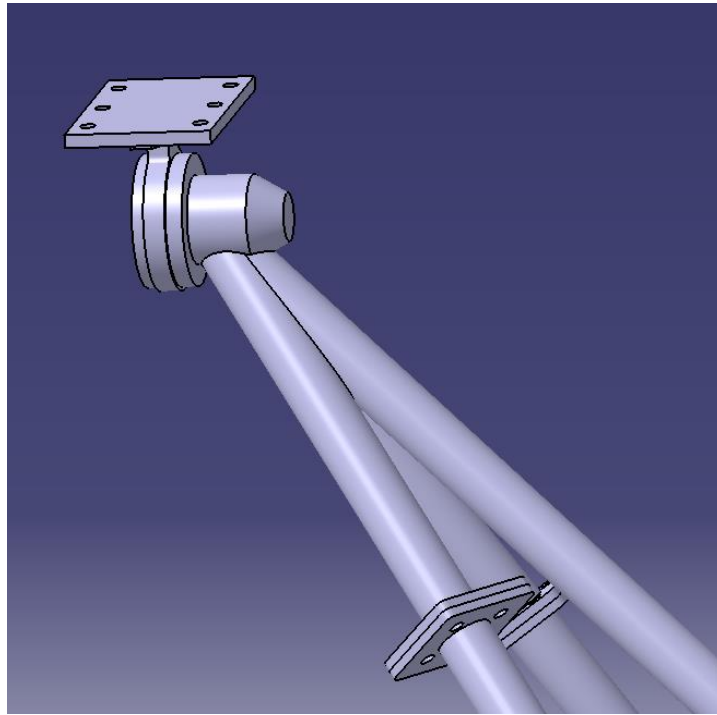


Εικόνα 57 Σωληνωτός κόμβος



Εικόνα 58 Σωληνωτές στηρίξεις

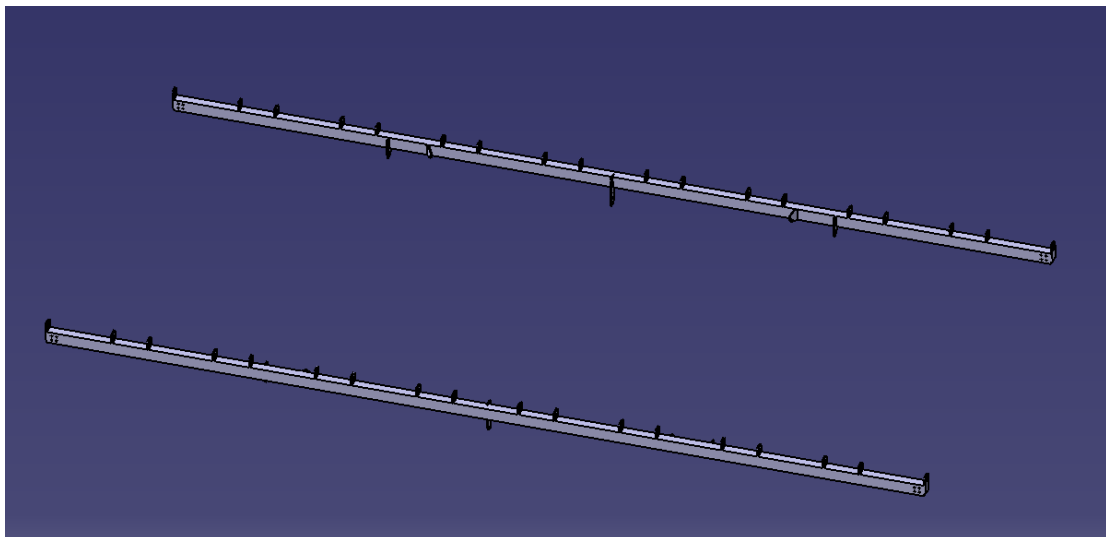
Κατά την εγκατάστασή τους, η σύνδεση μεταξύ των τριών στοιχείων πρέπει να γίνει στο έδαφος και στη συνέχεια θα ακολουθήσει την τοποθέτησή τους πάνω στην πυραμίδα ξεκινώντας με τον σωληνωτό κόμβο που ανήκει στην κορυφή της. Στη συνέχεια ακολουθούν και οι υπόλοιπες συνδέσεις.



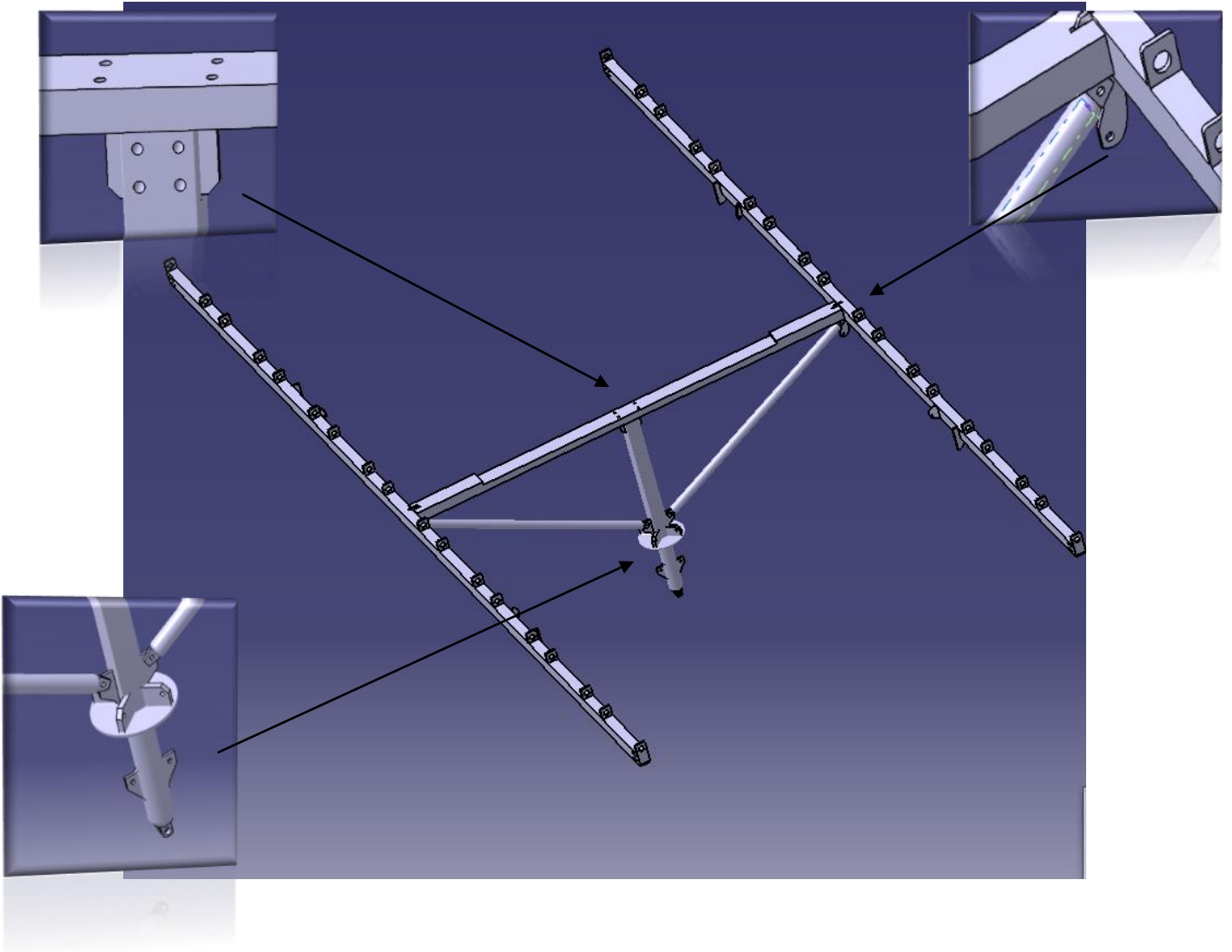
Εικόνα 59 Απόληξη σωληνωτού συνδέσμου

Όπως συναρμολογήθηκε το σύνολο των σωληνωτών στηρίξεων στο έδαφος, η ίδια διαδικασία θα ακολουθηθεί και κατά την συναρμολόγηση του κινητού πλαισίου. Η διαδικασία ξεκινά με την τοποθέτηση των δοκών στήριξης τεγίδων σε παράλληλη θέση και σε απόσταση περίπου 6.5 μέτρων.

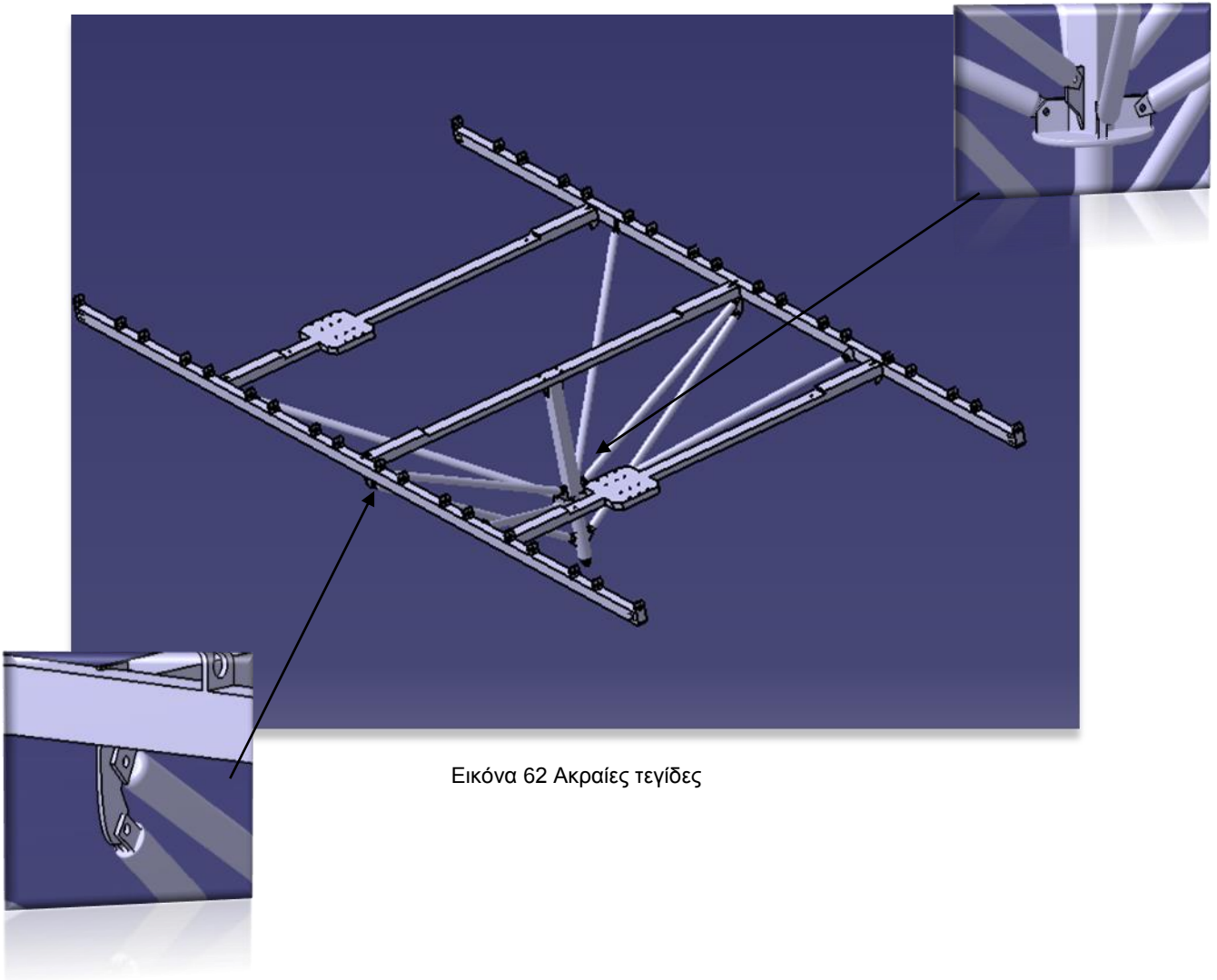
Ακολουθεί η τοποθέτηση του κεντρικού ζευκτού και η κάθετη δοκός κέντρου πλαισίου με τον κεντρικό κόμβο. Η σύνδεσή της με το κεντρικό ζευκτό, γίνεται με τέσσερεις κοχλιοσυνδέσεις.



Εικόνα 60 Δοκοί στήριξης τεγίδων



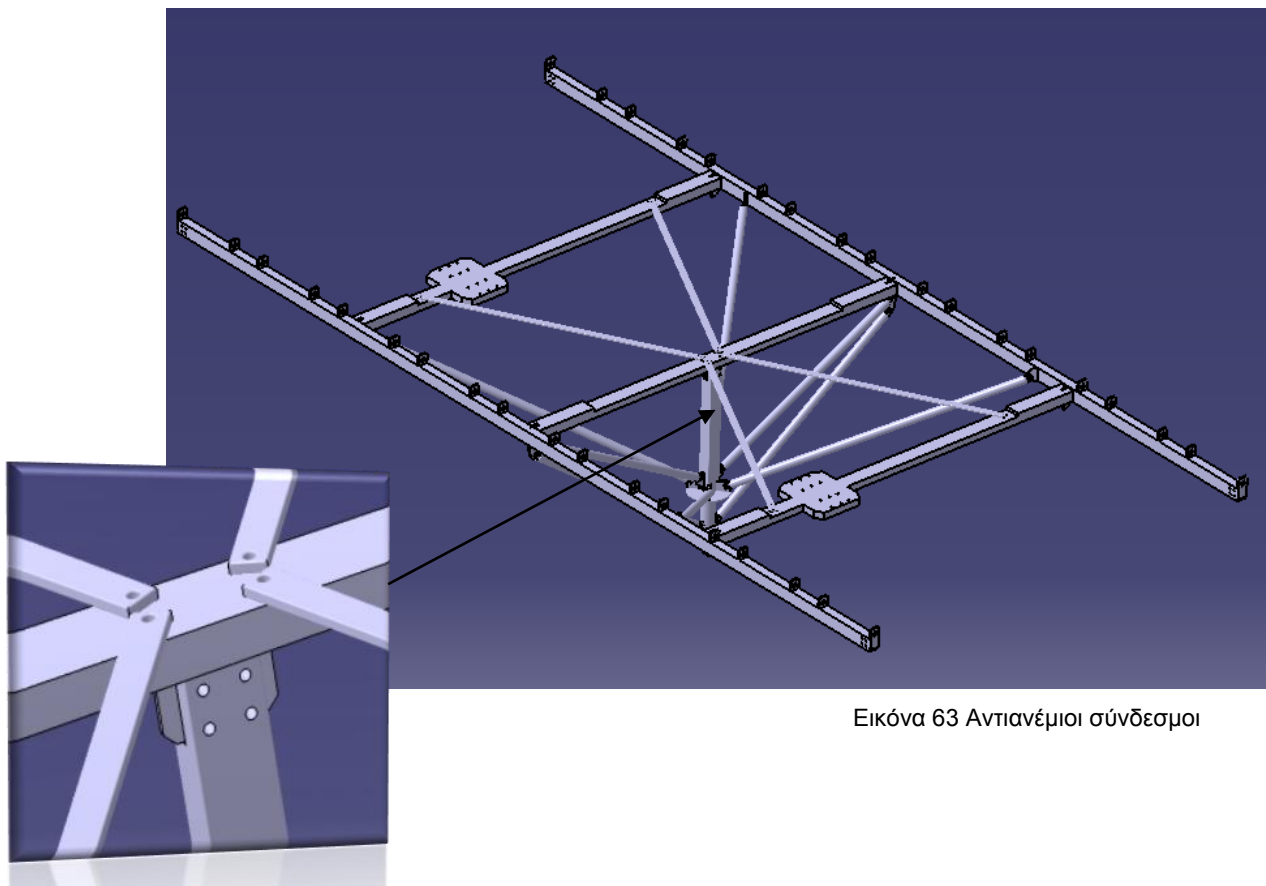
Εικόνα 61 Κεντρικό ζευκτό



Εικόνα 62 Ακραίες τεγίδες

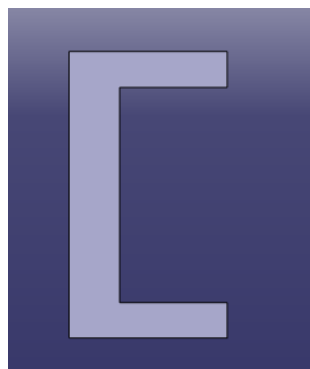
Απαραίτητη σε αυτό το σημείο είναι η τοποθέτηση διαγώνιων δοκών, που ενώνουν τα άκρα του μεσαίου ζευκτού με το κάτω μέρος του κεντρικού δοκού. Έπειτα, πρέπει να τοποθετηθούν οι ακραίες τεγίδες και οι σωληνωτοί σύνδεσμοι του πλαισίου. Οι σωλήνες αυτοί, ενώνουν τον κεντρικό κόμβο με τους κόμβους σύνδεσης των δοκών στήριξης των τεγίδων.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τοποθετηθούν οι αντιανέμιοι σύνδεσμοι. Οι αντιανέμιοι σύνδεσμοι, ενώνουν τους κόμβους ζεύξης με τα ελάσματα που βρίσκονται στο κέντρο του μεσαίου ζευκτού.

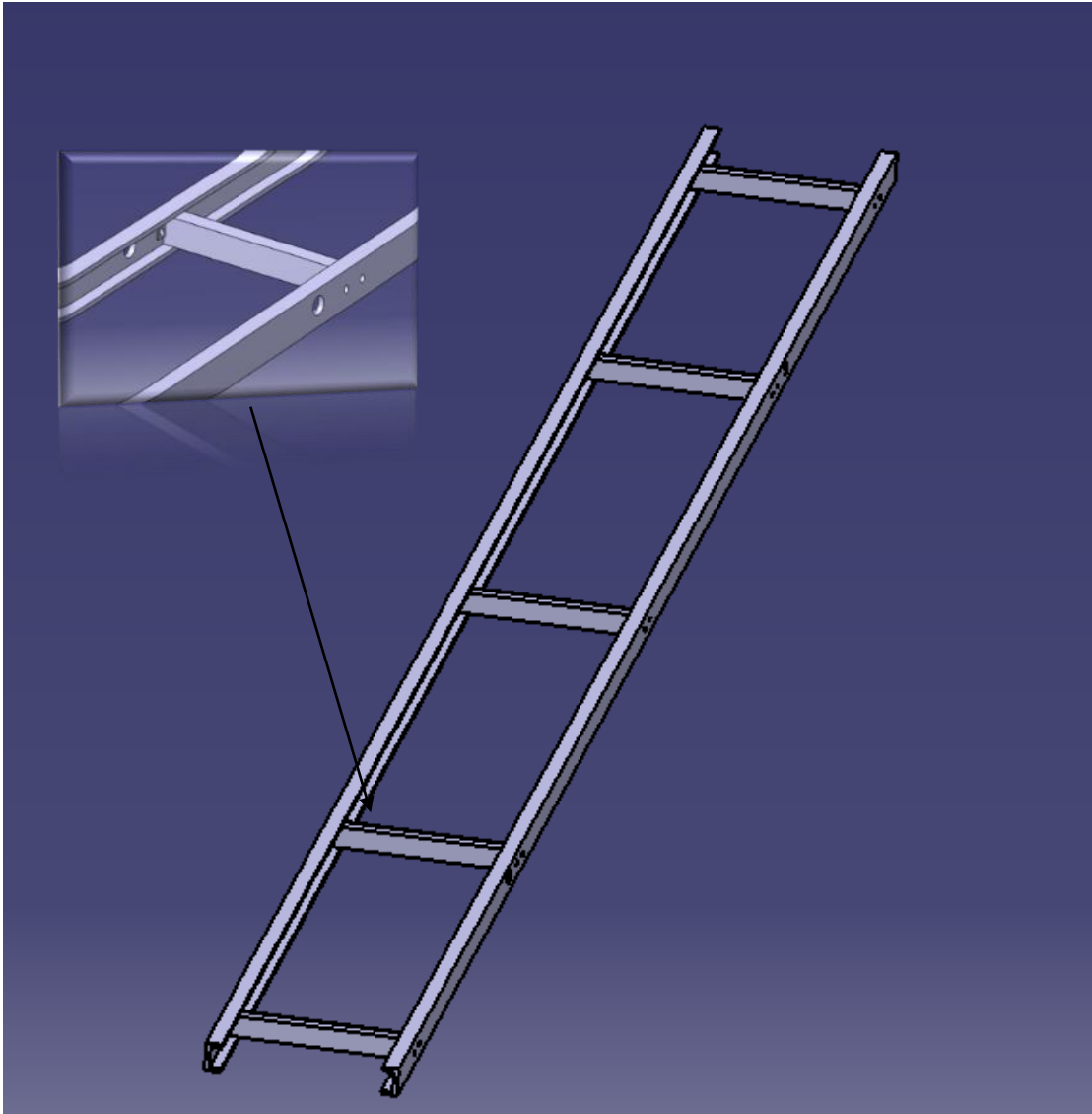


Εικόνα 63 Αντιανέμιοι σύνδεσμοι

Οι τεγίδες είναι τα στοιχεία που θα εδράσουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του κινητού πλαισίου. Οι τεγίδες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου "C". Για την τοποθέτηση των τεγίδων θα πρέπει να είναι γνωστός ο αριθμός των στηλών των φωτοβολταϊκών στοιχείων που πρόκειται να εγκατασταθούν. Ο αριθμός των στηλών θα καθορίσει τα σημεία που θα τοποθετηθούν τα ελάσματα στήριξης των τεγίδων.

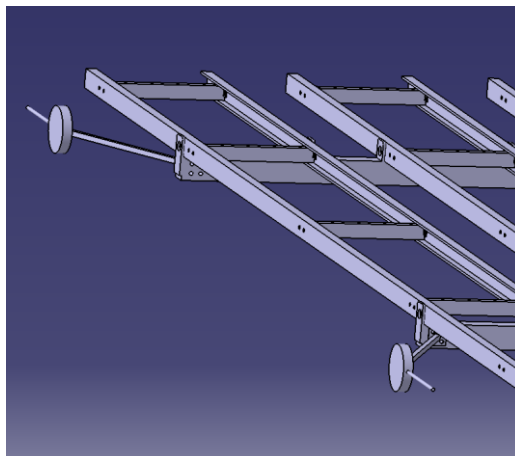


Εικόνα 64 Τεγίδα τύπου "C"



Εικόνα 65 Τεγίδες στήριξης φωτοβολταϊκών

Έχοντας τοποθετήσει το πρώτο ζεύγος τεγίδων, θα πρέπει να τοποθετηθούν οι συνδετήριες τεγίδες. Ο αριθμός τους πρέπει να είναι πέντε ώστε να υποστηρίξουν το βάρος των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Για την αντικεραυνική προστασία του ιχνηλάτη τοποθετούνται 4 αλεξικέραυνα τύπου Franklin στο

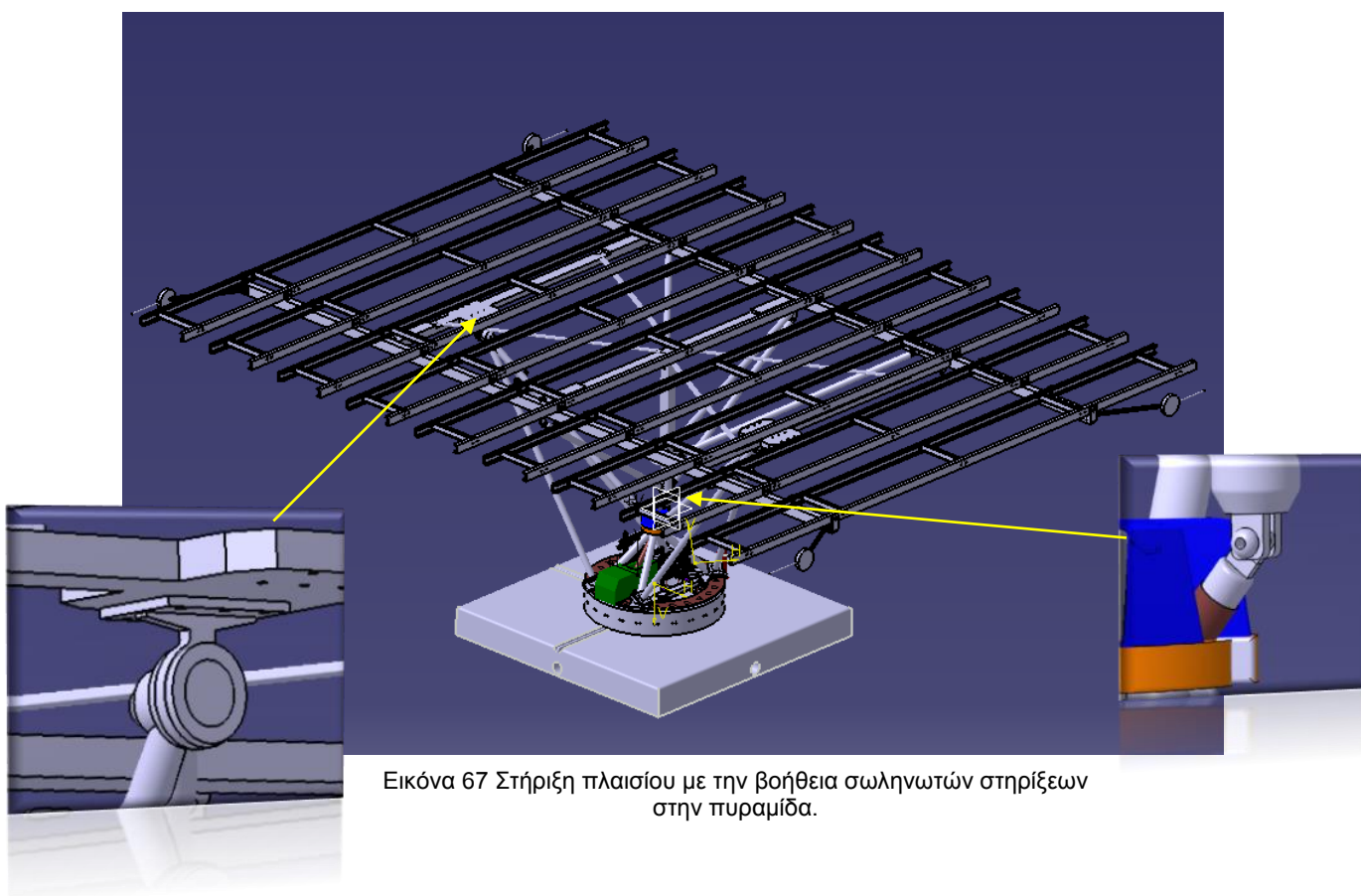


Εικόνα 66 Αλεξικέραυνα

πλαίσιο, ένα σε κάθε γωνία του. Όλα τα αλεξικέραυνα έχουν το ίδιο μήκος.

Για την τοποθέτηση των αλεξικέραυνων, αρχικά πρέπει να τοποθετηθεί η δοκός στήριξης των αλεξικέραυνων στη δοκό συγκράτησης τεγίδων. Η δοκός αυτή, θα πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε το ελεύθερο άκρο της να είναι προς έξω από το πλαίσιο.

Ακολουθεί μια συνολική απεικόνιση του κινητού πλαισίου για την καλύτερη απόδοση της συναρμολόγησής του και τον τρόπο σύνδεσής του με την πυραμίδα και την βαρυτική βάση.



Εικόνα 67 Στήριξη πλαισίου με την βοήθεια σωληνωτών στηρίξεων στην πυραμίδα.

4.3.1 Ακολουθία εντολών για τις Σωληνωτές Στηρίξεις και το Κινητό Πλαίσιο

Κατά τη σχεδίαση του κινητού πλαισίου, η παραγωγή των τεμαχίων της συναρμολόγησης ήταν σχετικά απλή σε σύγκριση με τα προβλήματα ευκλείδειας φύσης που συναντήθηκαν, ιδιαίτερα κατά την παραγωγή των σωληνωτών στηρίξεων.

Για την δημιουργία των παράλληλων δοκών στήριξης τεγίδων, του κεντρικού ζευκτού, των ακραίων δοκών, του κεντρικού κόμβου, των ακραίων ζευκτών, των σωληνωτών συνδέσμων και των τεγίδων εφαρμόστηκε η εντολή *rad* σε κατάλληλα επίπεδα για την παραγωγή του κύριου όγκου των τεμαχίων.

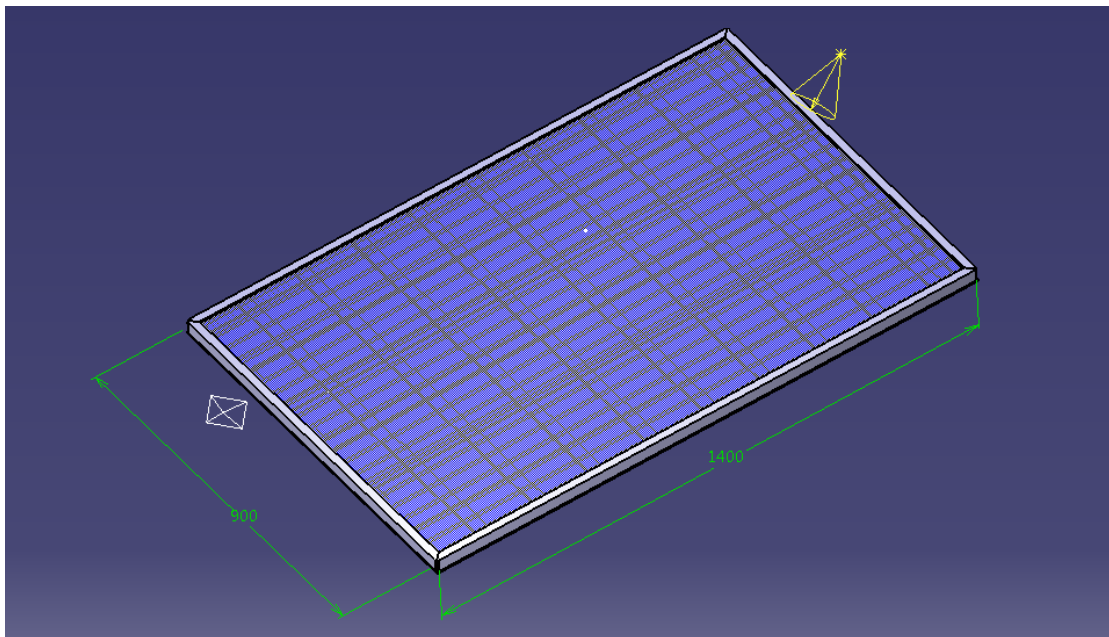
Σε περιπτώσεις όπως εκείνες των επιφανειών της στήριξης των τεγίδων με εξώθηση υλικού δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα ελάσματα για την τοποθέτηση των τεγίδων. Τα ελάσματα αυτά είναι κατασκευασμένα ανά ζεύγη σε κατάλληλες αποστάσεις και αναπαρήχθησαν με την βοήθεια της εντολής pattern κατά μήκος της επιφάνειας των στηρίξεων. Οι οπές για την τοποθέτηση κοχλιών ή πύρων συγκράτησης τοποθετήθηκαν με την εντολή rocket και την χρήση pattern.

Για την κατασκευή των σωληνωτών στηρίξεων του πλαισίου απαιτήθηκε η δημιουργία εκ νέου επιπέδων τα οποία έπρεπε να βρίσκονται υπό συγκεκριμένες γωνίες τοποθετημένα σε ήδη υπάρχουσες επιφάνειες. Αυτό επιτεύχθηκε με την χωροθέτηση σημείων σε κατάλληλες θέσεις αρχής και τέλους δημιουργώντας ευθύγραμμα τμήματα με τρισδιάστατες συντεταγμένες έτσι ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις της εξώθησης γνωρίζοντας τις διαστάσεις της στήριξης. Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε κατά την κατασκευή των αλεξικέραυνων.

Όλες οι στηρίξεις και το κινητό πλαίσιο είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο.

4.4 Σχεδιασμός Φωτοβολταϊκών στοιχείων - Πλαισίων

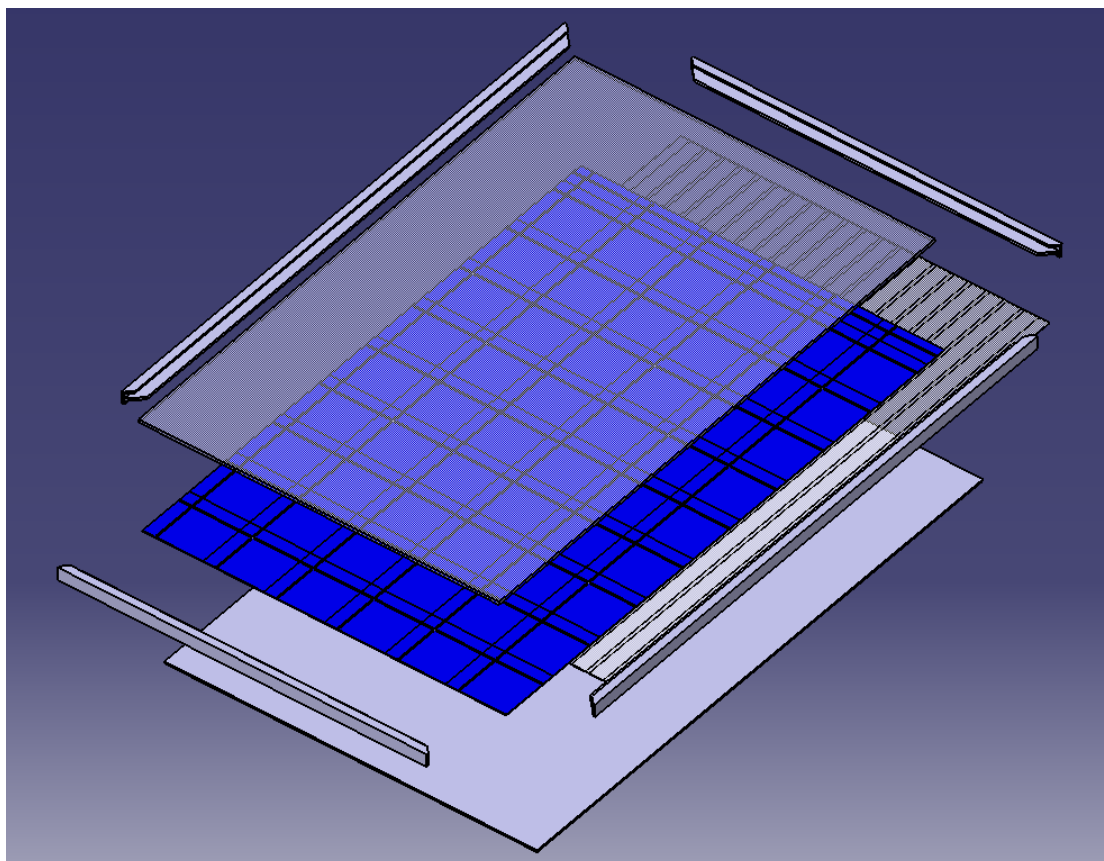
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία της κατασκευής έχουν ενδεικτική απόδοση 215-245W_p/μονάδα με μέση τιμή 230W_p, που αντιστοιχούν σε συνολική ισχύ 24.8 kW_p. Οι διαστάσεις κάθε πάνελ είναι 900mm*1400mm*37mm και ο συνολικός αριθμός τους είναι 108 κατανεμημένα σε 9 στήλες και 12 γραμμές. Οι αποστάσεις κατά μήκος της στήριξης είναι 283.9mm (0.28 μέτρα) και κατά πλάτος 90.0mm (0.09 μέτρα).



Εικόνα 68 Φωτοβολταϊκό πάνελ

Ο συνολικός αριθμός κελιών ανά φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι 60 και η συνολική ωφέλιμη επιφάνεια είναι περίπου 130m^2 και ανάλογα με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών μπορεί να φτάσει τα 175m^2 .

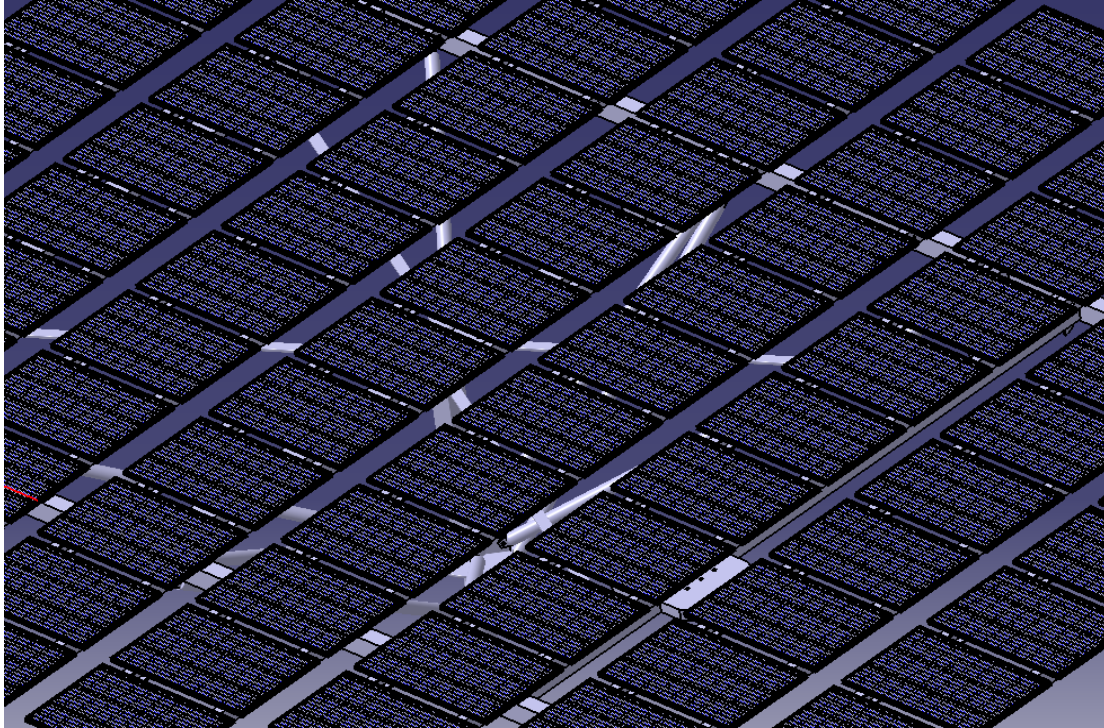
Για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάνελ χρησιμοποιήθηκαν οι προδιαγραφές της παραγράφου 3.2.3. Το πλαίσιο κατασκευάζεται από αλουμίνιο και η συναρμολόγησή του συνίσταται από επτά εξαρτήματα.



Εικόνα 69 Συναρμολόγηση φωτοβολταϊκού πάνελ σε exploded-view

Όσον αφορά στην δομή του, εσωτερικά χρησιμοποιήθηκε ειδικό γυαλί, δύο στρώματα από ειδικό συμπυκνωμένο υλικό και οι 60 ηλιακές κυψέλες.

Το φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελεί και αυτό μια ξεχωριστή συναρμολόγηση. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές της εξώθησης, της πολλαπλής αναπαραγωγής χαρακτηριστικών (pattern) και ο κατοπτρισμός ειδικά για την δημιουργία του πλαισίου αλουμινίου.



Εικόνα 70 Σύνολο φωτοβολταϊκών πάνελ

4.5 Κίνηση σε δύο άξονες

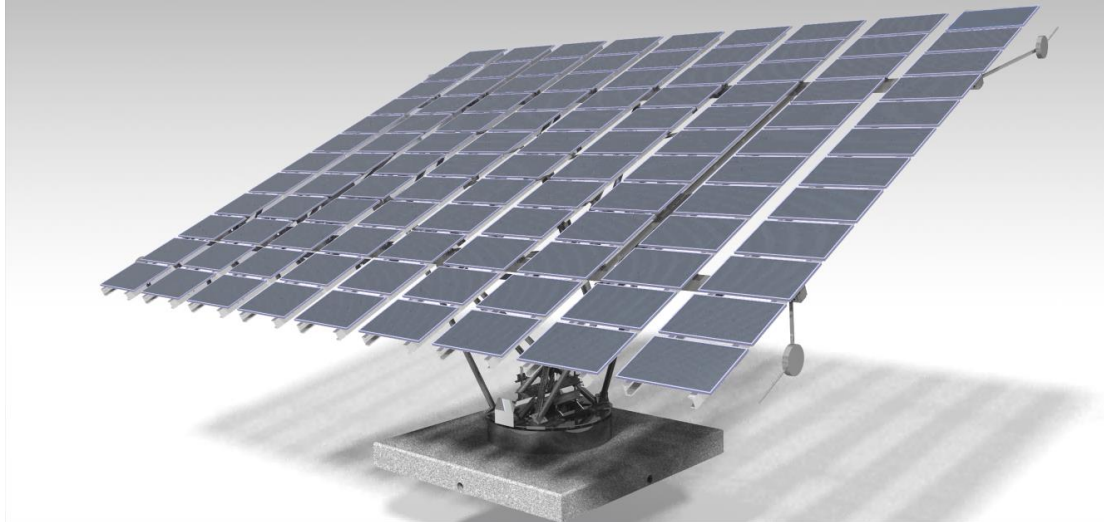
Η κίνηση της κατασκευής επιτρέπεται στους δύο άξονες. Κατά τον κατακόρυφο η περιστροφή πραγματοποιείται από τις -130° έως τις $+130^\circ$ καλύπτοντας έτσι συνολική γωνία περιστροφής 260° . Παρόλα αυτά υπάρχει δυνατότητα πλήρους περιστροφής.

Όσον αφορά την ανύψωση του συστήματος εκείνη φτάνει τις 22.3° .

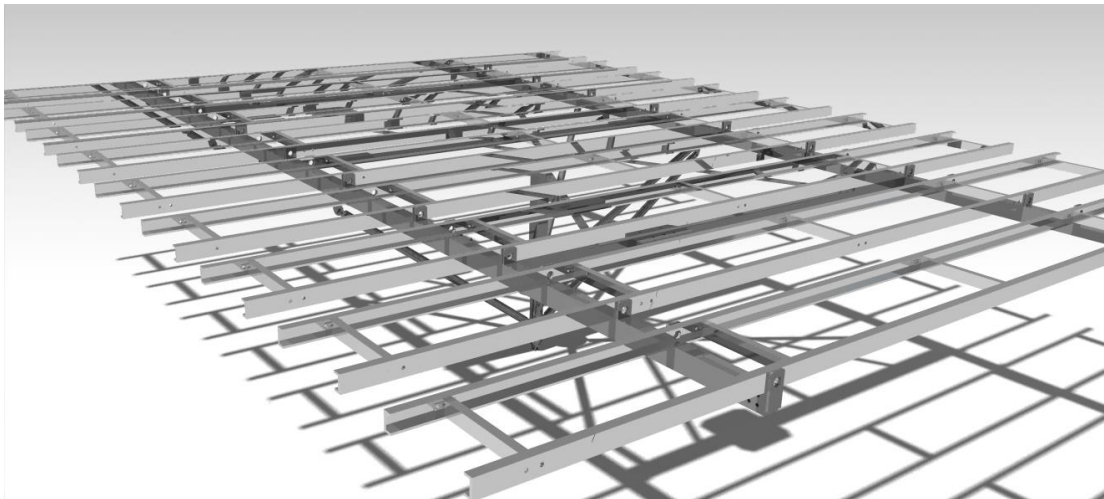
Αξίζει να σημειωθεί, πως η κίνηση του συστήματος δεν πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του Kinematics της πλατφόρμας του CATIA αλλά μόνο με την χρήση κατάλληλων ελευθεριών κίνησης που επέτρεπαν οι περιορισμοί (constraints) που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης.

4.6 Renderings

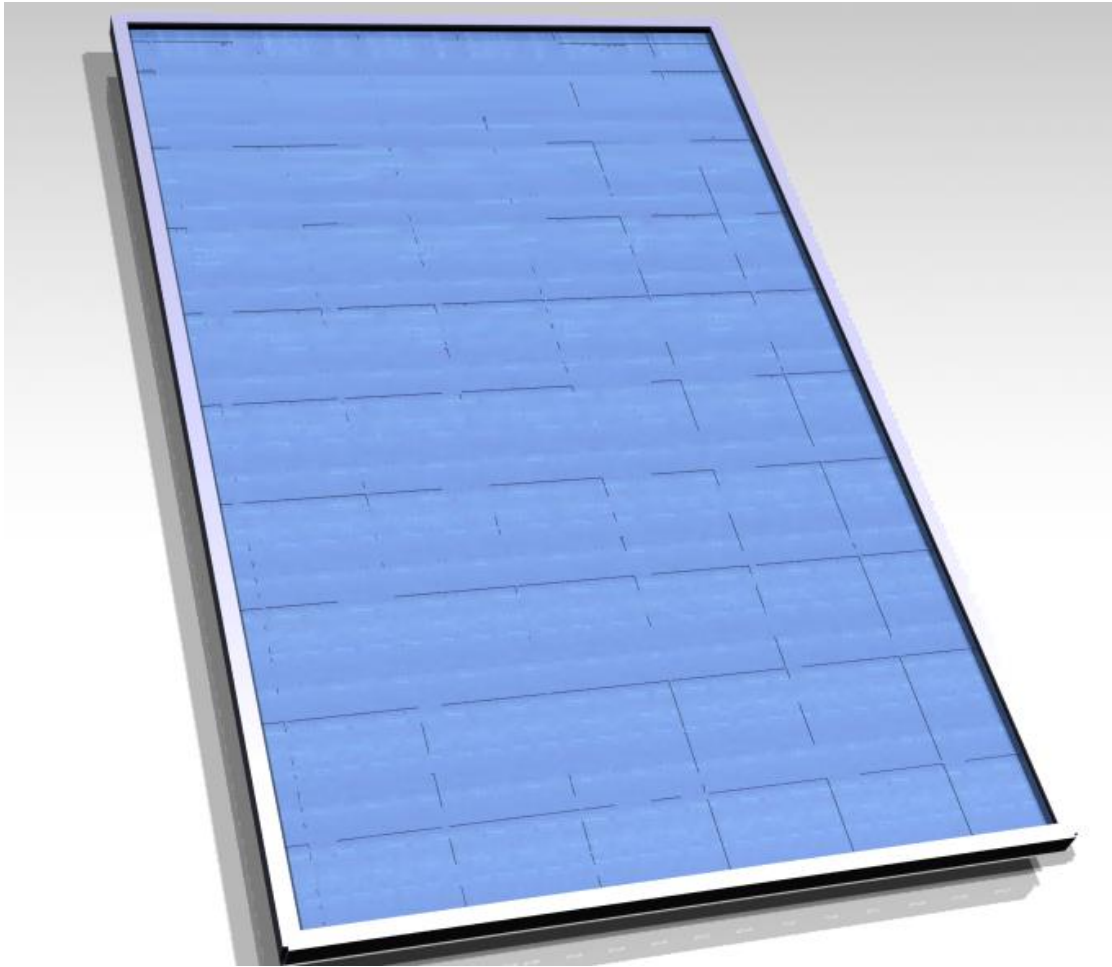
Για την καλύτερη απόδοση του προϊόντος χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία του rendering. Με την χρήση κατάλληλων φωτισμών, ανακλάσεων και φόντου δημιουργήθηκαν οι παρακάτω απόψεις του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 71 Άποψη ηλιακού ιχνηλάτη



Εικόνα 72 Άποψη συνολικής στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ



Εικόνα 73 Άποψη φωτοβολταϊκού πάνελ

5.1 Συμπεράσματα

Σχεδιάζοντας στη πλατφόρμα του CATIA η τελική συναρμολόγηση του ιχνηλάτη έδωσε δυνατότητα ανύψωσης του κινητού πλαισίου 22.3°. Αναζητώντας στο διαδίκτυο για διάφορες παρόμοιες συναρμολογήσεις, η συνολική ανύψωση που προσφέρεται είναι από 20° έως και 45° μοίρες ανάλογα με την κατασκευή και τις ανάγκες παραγωγής ισχύος. Κάποιος λοιπόν, καταλήγει στο συμπέρασμα πως σχεδιάζοντας την συναρμολόγηση σε ένα πρόγραμμα όπως το CATIA, πριν φτάσει στη φάση της παραγωγής έχει εξασφαλίσει τις απαραίτητες προδιαγραφές ενός νεοεισαγόμενου ανταγωνιστικού προϊόντος.

Αναλυτικότερα, η δυνατότητα χρήσης έτοιμων εξαρτημάτων από την βιβλιοθήκη (π.χ. περικόχλια) βοήθησε στην εξοικονόμηση χρόνου σχεδίασης. Η αναπαραγωγή πολλαπλών συναρμολογήσεων και ενσωμάτωσή τους στην τελική συναρμολόγηση βοήθησε ιδιαίτερα στην συνολική οργάνωση του σχεδίου που απαίτησε 120 ξεχωριστά κομμάτια, υποσύνολο των 7.492 κομματιών που απαιτήθηκαν στο άθροισμα.

5.2 Μελλοντικές προοπτικές

Με το τέλος της σχεδίασης ενός ψηφιακού μοντέλου κανείς θα προσπαθούσε να κάνει ορισμένες προτάσεις για μελλοντική εργασία και μελέτη.

Με την χρήση του ψηφιακού μοντέλου, θα μπορούσε κάποιος να προχωρήσει σε τριγωνοποίηση επιφάνειας με εργαλεία meshing και θεωρώντας γνωστά τα υλικά από τα οποία θα αποτελείται η συναρμολόγηση και επομένως των ιδιοτήτων τους, δύναται να κάνει μηχανική ανάλυση (CAE). Με την χρήση αυτών των εφαρμογών ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει όλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συναρμολόγησης (ροπές, δυνάμεις, τριβές κ.α.). Μία πρόταση για το μοντέλο του ηλιακού ιχνηλάτη είναι προσομοίωση του συστήματος για διάφορες δυνάμεις και κατευθύνσεις ανέμων στην επιφάνεια του.

Μία ακόμα εναλλακτική θα ήταν η ηλεκτρολογική προσομοίωση του συστήματος διαμορφώνοντας τις καλωδιώσεις των φωτοβολταϊκών, τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών κ.α. με στόχο των υπολογισμό των απαιτούμενων υλικών στα πλαίσια μιας μελέτης εγκατάστασης.

Επιπλέον, θα ήταν δυνατή η διαμόρφωση των μεταλλικών τεμαχίων της συναρμολόγησης με την σχεδίαση κατάλληλα διαμορφωμένων τύπων βελτιστοποιώντας την ποιότητα της συναρμολόγησης.

Επιπροσθέτως, με τη χρήση μεταλλικών φύλλων θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή των μεταλλικών τεμαχίων που είναι απαραίτητα για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και εκ των πραγμάτων μείωση του κόστους παραγωγής τους.

Τέλος, μία πρόταση ακόμη θα ήταν η επικέντρωση στη διαμόρφωση των γωνιών της συναρμολόγησης με στόχο τα διαμορφωμένα τεμάχια να συγκολληθούν επιτυχώς.

6. Βιβλιογραφία

- [1] Product Design and Development, Karl T. Ulrich-Steven D.Eppinger
Εκδόσεις McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION.
 - [2] Βασική ηλεκτρονική, Albert Malvino, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
 - [3] Catia V6 essentials, Kogent Learning Solutions inc.
 - [4] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων
πηγών ενέργειας για δυνητικούς χρήστες, Κ.Α.Π.Ε, 2006.
 - [5] Ι.Ε Φραγκιαδάκη, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2006.
 - [6] M.Buresh, Photovoltaic Energy System Design and Information, Mc
Graw Hill Book COMPANY, 1983.
 - [7] Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Antonio Luque
and Steven Hegedus.
 - [8] Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Νικόλαος
Μπιλάλης-Εμμανουήλ Μαραβελάκης, Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ, 2009.
 - [9] Νεοκλέους Ανδρέας (1999), Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε
Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά συστήματα. Βασικές έννοιες, Οδηγίες
σχεδιασμού, Οικονομική βιωσιμότητα, Εκδόσεις ΙΩΝ.
 - [10] <http://academy.3ds.com/>
 - [11] <http://www.eng-tips.com>
 - [12] <http://catiatutor.com/Basic/CATIA-Handbook/assembly-design.html>
 - [13] <http://www.3ds.com/>
 - [14] <http://www.boeing.com/boeing/>
 - [15] <http://www.mechatron.gr/>
 - [16] [http://www.saga-
network.eu/phocadownload/userupload/c154a5420d/Dokken_SAGA%20Histo-
ry%20of%20CAD_October_5_Corrected.pdf](http://www.saga-network.eu/phocadownload/userupload/c154a5420d/Dokken_SAGA%20History%20of%20CAD_October_5_Corrected.pdf)
 - [17] <https://www.google.gr/>
 - [18] http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- <http://www.eng-tips.com/faqs.cfm?fid=1319>

Παράρτημα-Drawings

