



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Σχεδιασμός καινοτόμου προϊόντος προστασίας
ηλιακού συστήματος παραγωγής ΖΝΧ
σε κτίρια με διακοπτόμενες περιόδους λειτουργίας**



Εμμανουήλ Ευσταθίου

ΑΜ: 272017094

Επιβλέποντες Καθηγητές

Δρ Ζωή Κανετάκη

Δρ Κωνσταντίνος Στεργίου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ 2024



ENGINEERING FACULTY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

**Design of an innovating product
for the protection of
solar water heating systems
installed in buildings during
periods of operational discontinuity**



Emmanouil Efstathiou

RN: 272017094

Supervising Professors

Dr Zoi Kanetaki

Dr Konstantinos Stergiou

UNIVERSITY OF WEST ATTICA 2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
ΠΡΟΕΣΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ του ΣΑΒΒΑ, με αριθμό μητρώου 272017094 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ημερομηνία

24/10/2023

Ο Δηλών



ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Copyright © ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ 2023 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν επιτρέπεται να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το πέρας της διπλωματικής σηματοδοτεί την αρχή της πορείας μου ως διπλωματούχος μηχανικός. Ένας αγώνας αντοχής, που στο πλευρό μου στάθηκαν οι άνθρωποι μου, τους ευχαριστώ θερμά. Τέλος, να ευχαριστήσω τον ακαδημαϊκό υπότροφο μηχανολόγο μηχανικό κ. Λουκίδη Λουκά για τη βοήθεια του στην οικονομική μελέτη της κατασκευής, και ιδιαιτέρως, την καθηγήτρια Δρ Κανετάκη Ζωή για την καθοδήγηση της προς την εκπόνηση της ιδέας.

Μηδέν τε έκ τοῦ μὴ ὄντος γίγνεσθαι μηδὲ εἰς τὸ μὴ ὄν φθείρεσθαι

Περίληψη

Στην Ελλάδα το σύνολο των ημερών ενός ημερολογιακού έτους, στην πλειοψηφία τους, πρόκειται για ημέρες με ηλιοφάνεια. Με τη συνθήκη αυτή λοιπόν, χρησιμοποιώντας του ηλιακούς θερμοσίφωνες εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε όλη την ελληνική επικράτεια. Η εγκατάσταση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα για ένα νοικοκυριό εξοικονομεί εκατοντάδες ευρώ το χρόνο αποτρέποντας τη λειτουργία αντιστάσεων για τη θέρμανση των δοχείων. Αυτή η χρήση φυσικής ενέργειας, μαζί με τη θερμομόνωση των κτιρίων (θερμοπρόσοψη, ενεργειακά κουφώματα), είναι τα κύρια σημεία για την ενεργειακή αναβάθμιση μιας κατοικίας. Παρατηρείται η συχνή αστοχία των παθητικών συστημάτων προστασίας του ηλιακού θερμοσίφωνα. Το αποτέλεσμα είναι η βλάβη του boiler και η περαιτέρω αδυναμία επισκευής του δοχείου με απαραίτητη την αντικατάσταση του για την επαναλειτουργία του ηλιακού. Ο μικρός κύκλος ζωής του συστήματος προκύπτει για λόγους που θα αναλύσουμε παρακάτω. Εν κατακλείδι ο λόγος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός ενεργητικού συστήματος με ένα μη αναλώσιμο μέσο που θα προσθέσει έτη χρήσης στον κύκλο ζωής του ηλιακού, θα ανατρέψει την μέχρι τώρα προσέγγιση και φιλοσοφία, όπως επίσης, ίσως θα μπορούσε να είναι η επόμενη καινοτομία στην παραγωγή ΖΝΧ.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακός θερμοσίφοντας, ζεστό νερό χρήσης, ΖΝΧ, ενεργητικό σύστημα, παθητικό σύστημα, φαινόμενο του θερμοκηπίου, κλιματική αλλαγή, καινοτομία.

Abstract

In Greece, the majority of days in a calendar year are sunny. Taking advantage of this condition, we harness solar energy for DHW production using solar water heaters across the entire Greek territory. Installing a solar water heater for a household can save hundreds of Euros annually by eliminating the need for electric or other heating elements in water tanks. Solar energy, in combination with thermal insulation (thermal facade, energy-efficient windows), constitutes the main points for the energy upgrade of a residence. There is frequent failure of passive protection systems for solar water heaters. As a result, the boiler gets damaged and the inability to repair the tank leads to its replacement for the solar system to function again. The short life cycle of the boiler is due to reasons that we will analyze below. In conclusion, the purpose of this work is to create an active system with a non-consumable medium that will add years to the life cycle of the solar system, potentially overturn the existing approach and philosophy, and may be the next innovation to dominate the DHW production market.

Keywords: solar water heater, domestic hot water, DHW, active system, passive system, greenhouse effect, climate change, innovation.

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή	i
Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας	ii
Δήλωση Copyright	iii
Ευχαριστίες	iv
Περίληψη	v
Abstract	vi

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	2
2.1 Τα υπάρχοντα συστήματα προστασίας για τον ηλιακό	2
2.1.1 Αυτόματο εξαεριστικό ηλιακών συστημάτων	2
2.1.2 Κάλυμμα ηλιακού θερμοσίφωνα	3
2.1.3 Δοχείο διαστολής	4
2.2 Τα υπάρχοντα συστήματα για τον χρήστη	6
2.2.1 Θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης	6
2.2.2 Θερμοστατική μπαταρία	6
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τον ηλιακό θερμοσίφωνα	7
2.3.1 Η ποιότητα του νερού χρήσης στην Ελλάδα	7
2.3.2 Προπυλενογλυκόλη	8
2.4 Η ανάγκη ενός νέου μηχανισμού προστασίας	10
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	11
3.1 Σχεδιασμός ηλιακού θερμοσίφωνα και σκελετού μηχανισμού	11
3.2 Σχεδιασμός των φύλλων σκίασης	21
3.3 Σχεδιασμός βάσεων πλαισίου	24
3.4 Σχεδιασμός συστήματος μετάδοσης κίνησης	27
3.5 Η τελική συναρμολόγηση των τμημάτων	29

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	31
4.1 Έλεγχος στατικότητας της κατασκευής	31
4.2 Έλεγχος αντοχής της κατασκευής σε χιονοκάλυψη	35
4.3 Έλεγχος αντοχής σε πλευρικούς ανέμους	38
5. Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	41
5.1 Προγραμματισμός κίνησης των φύλλων	41
5.2 Εντολή κίνησης με ανατροφοδότηση (feedback)	45
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	52
8.1 Εμπλουτισμός του αλγόριθμου με λειτουργίες ανατροφοδότησης	52
8.1.1 Επεξηγήσεις στην περιφραστική γλώσσα	52
8.1.2 Ο αλγόριθμος σε περιφραστική γλώσσα	53
8.2 Αποτελέσματα υπολογισμού μετατόπισης και πλήθους στοιχείων, συναρτήσει μεγέθους του στοιχείου	59

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1	Αυτόματο εξαεριστικό εταιρίας ICMA, με μέγιστη θερμοκρασία 130°C	2
Εικόνα 2.2	Τομή αυτόματου εξαεριστικού	2
Εικόνα 2.3	Κάλυμμα ηλιακού θερμοσίφωνα	3
Εικόνα 2.4	Ηλιακός θερμοσίφοντας τοποθετημένος σε δυσπρόσιτο σημείο	4
Εικόνα 2.5	Δοχείο διαστολής Reflex S 50, της εταιρίας Reflex	4
Εικόνα 2.6	Στοιχεία δοχείου διαστολής Reflex S 50	5
Εικόνα 2.7	Δοχείο διαστολής με εμφανή οξείδωση στην πλευρά του στομίου	5
Εικόνα 2.8	Θερμοστατική βαλβίδα εταιρίας ESBE	6
Εικόνα 2.9	Θερμοστατική μπαταρία λουτρού Grohe Grohtherm	7
Εικόνα 2.10	Χάρτης που απεικονίζει τη σκληρότητα του νερού στην Ελλάδα	7
Εικόνα 2.11	Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του ηλιακού συλλέκτη με διάφορες συγκεντρώσεις προπυλενογλυκόλης	9
Εικόνα 2.12	Συντήρηση του δευτερεύοντος κυκλώματος ηλιακού θερμοσίφωνα, το μαύρο ίζημα στο έδαφος αποτελείται από στερεά μάζα προπυλενογλυκόλης.	9
Εικόνα 3.1	Ηλιακός συλλέκτης ηλιακού θερμοσίφωνα 2m ²	11
Εικόνα 3.2	Θερμοδοχείο ηλιακού θερμοσίφωνα	12
Εικόνα 3.3	Βάση θερμοδοχείου	12
Εικόνα 3.4	Κάτω βάσεις ηλιακού συλλέκτη	13
Εικόνα 3.5	Ο ηλιακός θερμοσίφοντας	13
Εικόνα 3.6	Το πλαίσιο του μηχανισμού	14
Εικόνα 2.7	Προσχεδιασμός 2D για την τρισδιάστατη απεικόνιση των οπών	14

Εικόνα 3.8	Οπές στην άνω και κάτω πλευρά του πλαισίου για τοποθέτηση των αξόνων	14
Εικόνα 3.9	Η εξωτερική άνω πλευρά του πλαισίου, μετά την εντολή Fillet	15
Εικόνα 3.10	Νεύρα από τα οποία θα προκύψουν τα σημεία της θέσης ηρεμίας	15
Εικόνα 3.11	Σημεία αντίστασης για τη θέση ηρεμίας στη μια πλευρά	15
Εικόνα 3.12	Άποψη των σημείων αντίστασης	16
Εικόνα 3.13	Ανοιγματα ύψους 20 χιλιοστών και πλάτους 100 χιλιοστών	16
Εικόνα 3.14	Άποψη προεργασίας σημείων για τη θέση ηρεμίας	16
Εικόνα 3.15	Άποψη σημείου για τη θέση ηρεμίας	17
Εικόνα 3.16	Σχεδίαση 2D των ανοιγμάτων	18
Εικόνα 3.17	Απεικόνιση ανοιγμάτων κάτω από τα σημεία στήριξης	18
Εικόνα 3.18	Με την πρόοδο του σχεδίου μέχρι στιγμής προκύπτει εμπόδιο στην τοποθέτηση των φύλλων	18
Εικόνα 3.19	Προεργασία του καλύμματος των οπών των φύλλων	19
Εικόνα 3.20	Θέση καλύμματος των οπών των αξόνων	19
Εικόνα 3.21	Το κάλυμμα	20
Εικόνα 3.22	Το κάλυμμα μετά την αφαίρεση υλικού	20
Εικόνα 3.23	Το πλαίσιο μετά την αφαίρεση υλικού	21
Εικόνα 3.24	Αρχικό σχέδιο δεξιού και αριστερού φύλλου	22
Εικόνα 3.25	Άποψη φύλλου	22
Εικόνα 3.26	Προέκταση άξονα για τοποθέτηση του οδοντωτού	22
Εικόνα 3.27	Ο οδοντωτός ως λείος πριν τον υπολογισμό των οδόντων	23
Εικόνα 3.28	Αποτελέσματα υπολογισμών iProperties	23
Εικόνα 3.29	Άποψη δεξιού φύλλου μετά την αφαίρεση υλικού	24
Εικόνα 3.30	Άποψη δεξιού φύλλου μετά την αφαίρεση υλικού	24
Εικόνα 3.31	Χαλύβδινη ντίζα 500mm M20	25
Εικόνα 3.32	Αντικείμενο M20, ροδέλας πάχους 20 χιλιοστών διαμέτρου 60 χιλιοστών με επαπτόμενο κοχλία	25
Εικόνα 3.33	Εξάρτημα σύνδεσης ντίζας με πλαίσιο μηχανισμού	26
Εικόνα 3.34	Άποψη βάσης (δαγκάνα) στήριξης πλαισίου/σκελετού μηχανισμού	26
Εικόνα 3.35	Άξονας μετάδοσης κίνησης πριν τον υπολογισμό των οδόντων	27
Εικόνα 3.36	Εντολή υπολογισμού οδοντώσεων ατέρμονα κοχλία	27
Εικόνα 3.37	Σύνδεση ατέρμονα κοχλία	28
Εικόνα 3.38	Εξάρτημα σύνδεσης άξονα με τον σκελετό του μηχανισμού	28
Εικόνα 3.39	Η σύνδεση με τον σκελετό	29
Εικόνα 3.40	Άποψη μηχανισμού σε κλειστή θέση	29
Εικόνα 3.41	Άποψη μηχανισμού σε ανοιχτή θέση	29
Εικόνα 3.42	Δαγκάνα, στερέωση στον ηλιακό	30
Εικόνα 3.43	Η σύνδεση του άξονα με τον σκελετό και η σύνδεση με τα φύλλα σκίασης	30
Εικόνα 4.1	Διάγραμμα της μετατόπισης και του πλήθους των στοιχείων συναρτήσεως του μεγέθους του στοιχείου	32
Εικόνα 4.2	Άποψη πεπερασμένων στοιχείων	32
Εικόνα 4.3	Εντολή εφαρμογής βαρυτικής δύναμης	32
Εικόνα 4.4	Έλεγχος μετατόπισης του πλαισίου	33
Εικόνα 4.5	Άποψη τάσεων Von Mises	34
Εικόνα 4.6	Δείκτης ασφαλείας για τον έλεγχο στατικότητας της κατασκευής	34

Εικόνα 4.7	Έλεγχος μετατόπισης κατασκευής σε όλη την επιφάνεια του σκελετού, από χιονοκάλυψη ύψους 40 εκατοστών	36
Εικόνα 4.8	Υπολογισμός τάσεων Von Mises για την περίπτωση συγκέντρωσης χιονιού επί της κατασκευής.	36
Εικόνα 4.9	Δείκτης συντελεστή ασφαλείας από καταπόνηση κάθετη στον ορίζοντα	37
Εικόνα 4.10	Έλεγχος μετατόπισης της κατασκευής από πλευρικό άνεμο 12 μποφόρ	39
Εικόνα 4.11	Μεγέθυνση στο μέσο της έδρας που εφαρμόζεται η δύναμη	39
Εικόνα 4.12	Υπολογισμός τάσεων Von Mises από πλευρικό άνεμο 12 μποφόρ	40
Εικόνα 4.13	Δείκτης συντελεστή ασφαλείας από πλευρική καταπόνηση ανέμου	40
Εικόνα 5.1	Θερμοστοιχείο	42
Εικόνα 5.2	Κυάθιο εμβαπίσεως	42
Εικόνα 5.3	Παράδειγμα πίνακα θερμοζεύγους τύπου Β, με αντιστοιχίες τιμών °C και τάσης mV	42
Εικόνα 5.4	Διάγραμμα ροής	43
Εικόνα 5.5	Διάγραμμα ροής με εφαρμογή της ανατροφοδότησης (feedback)	45
Εικόνα 5.6	Άποψη του επίτοιχου χειριστηρίου όπου ειδοποιεί τον χρήστη πως υπάρχει σφάλμα στην κίνηση των φύλλων	46

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα το σύνολο των ημερών ενός ημερολογιακού έτους, στην πλειοψηφία τους, πρόκειται για ημέρες με ηλιοφάνεια, της οποίας την ενέργεια εκμεταλλευόμαστε με διάφορους τρόπους και για διάφορους σκοπούς. Με τους ηλιακούς θερμοσίφωνες εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ), των οποίων η εγκατάσταση σε ένα νοικοκυριό εξοικονομεί εκατοντάδες ευρώ το χρόνο αποτρέποντας τη λειτουργία αντιστάσεων ή άλλων διατάξεων για τη θέρμανση των δοχείων, ταυτόχρονα, μειώνοντας δραστικά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, και ειδικότερα στην εποχή της κλιματικής αλλαγής που βιώνουμε.

Αυτή η χρήση φυσικής ενέργειας, μαζί με τη θερμομόνωση των κτιρίων (θερμοπρόσοψη, ενεργειακά κουφώματα), είναι τα κύρια σημεία για την ενεργειακή αναβάθμιση μιας κατοικίας. Όμως παρατηρείται συχνή αστοχία στα παθητικά συστήματα προστασίας του ηλιακού θερμοσίφωνα, με αποτέλεσμα τη βλάβη του boiler και άλλων υποσυστημάτων, και την περαιτέρω αδυναμία επισκευών που οδηγεί σε αντικατάσταση όλου του συστήματος. Ο δε μικρότερος κύκλος ζωής του συστήματος μειώνει κατά υπολογίσιμο ποσοστό την οικονομική και περιβαλλοντική ωφέλεια που προκύπτει από τη βασική φιλοσοφία της χρήσης του.

Οι αστοχίες αυτές που τελικά οδηγούν, πιο σύντομα του αναμενόμενου, σε αντικατάσταση του συστήματος, οφείλονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους σε δύο παράγοντες, την ποιότητα του νερού χρήσης, και, το ψυκτικό μέσο στο κλειστό κύκλωμα επαγωγής της θερμότητας. Αυτοί οι δύο παράγοντες επιταχύνουν τη δυσμενή επιρροή τους ή την επιβραδύνουν δραστικά, κάτω από την επίδραση ενός κυρίαρχου τρίτου παράγοντα, το θερμικό σοκ στο σύστημα και τα υποσυστήματα του από την υπερβολική έκθεση στην ηλιακή ενέργεια.

Απαιτείται λοιπόν ένα πρόσθετο σύστημα που να κάνει ακριβώς αυτό, το να διαχειρίζεται σε επίπεδο ενεργητικής προστασίας την έκθεση του συστήματος στην ηλιακή ενέργεια. Ταυτόχρονα, το νέο αυτό σύστημα πρέπει να είναι σχεδιασμένο πάνω σε τρεις παράλληλους άξονες φιλοσοφίας, (1) την αυτόνομη και αυτοματική λειτουργία του, (2) τα μέρη που το αποτελούν να μην εμπίπτουν στην κατηγορία των αναλωσίμων, και, (3) με κατά νου κάθε πιθανό χρήστη του συστήματος στον γενικό πληθυσμό όπως και τα σημεία τοποθέτησης που μπορεί να είναι δυσπρόσιτα, ή τέλος πάντων, υπόκεινται σε διάφορους υποκειμενικούς ή αντικειμενικούς περιορισμούς στην καθημερινή πρόσβαση.

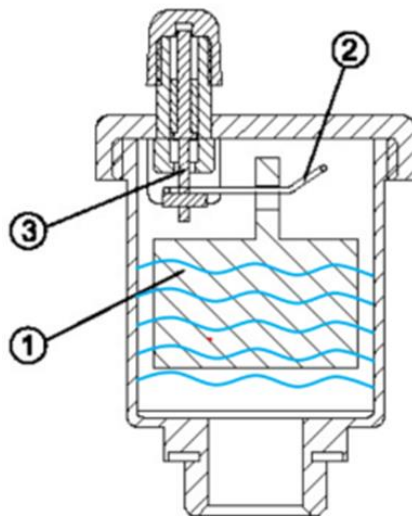
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΑ ΣΗΜΕΙΑ

2.1 Τα υπάρχοντα συστήματα προστασίας για τον ηλιακό

2.1.1 Αυτόματο εξαεριστικό ηλιακών συστημάτων



Εικόνα 2.1 Αυτόματο εξαεριστικό εταιρίας ICMA, με μέγιστη θερμοκρασία 130°C και πίεση 10 bar [ICMA S.P.A]



Εικόνα 2.2 Τομή αυτόματου εξαεριστικού [ICMA S.P.A]

Ο μηχανισμός ανακούφισης πίεσης προστατεύει το σύστημα του ηλιακού θερμοσίφωνα από υπερβολικές πιέσεις, προλαμβάνοντας πιθανές ζημιές στον εξοπλισμό. Αν η πίεση στο σύστημα αυξηθεί πέρα από τα ασφαλή όρια, η ανακουφιστική βαλβίδα εκτονώνει αέρα ή νερό, προσφέροντας έτσι ένα επιπρόσθετο επίπεδο ασφαλείας. Η προσθήκη του αυξάνει τον εξοπλισμό και το κόστος της εγκατάστασης. Τοποθετείται στο κλειστό κύκλωμα, δηλαδή το κύκλωμα που βρίσκεται εντός του ηλιακού συλλέκτη. Απαιτεί περιοδικό έλεγχο και συντήρηση για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος. Σε αρκετές περιπτώσεις είτε αμέλειας του χρήστη είτε μη εύρεσης τεχνικού προσωπικού ο μηχανισμός σφάλει.

2.1.2 Κάλυμμα ηλιακού θερμοσίφωνα



Εικόνα 2.3 Κάλυμμα ηλιακού θερμοσίφωνα [Calpak]

Το κάλυμμα του ηλιακού θερμοσίφωνα προστατεύει το σύστημα από καιρικές συνθήκες, όπως βροχή, χιόνι, ή παγετό, προσφέροντας μια επιπλέον στρώση προστασίας.

Αν εφαρμόζεται από τον χρήστη πριν από τις περιόδους μη χρήσης του ηλιακού συνεισφέρει στην αύξηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού.

Το κάλυμμα όμως δεν μπορεί να προστατεύσει τον συλλέκτη στη περίπτωση χαλαζιού καθώς η εκτόνωση της πτώσης θα καταλήγει στην επιφάνεια της υάλου.

Το κόστος του είναι σημαντικό με βάση τα τετραγωνικά μέτρα που απαιτείται να καλυφθούν.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το κάλυμμα δεν μπορεί να εφαρμοστεί είτε λόγω αδυναμίας του χρήστη (ΑμεΑ, ηλικιωμένοι) είτε ο ηλιακός είναι σε δυσπρόσιτο σημείο και κατά συνέπεια η πρόσβαση του εκθέτει τον χρήστη σε κίνδυνο.



Εικόνα 2.4 Ηλιακός θερμοσίφωνας τοποθετημένος σε δυσπρόσιτο σημείο

2.1.3 Δοχείο διαστολής



Εικόνα 2.5 Δοχείο διαστολής Reflex S 50 [Reflex Hellas]

Το δοχείο διαστολής έχει αρκετά υπολογίσιμο κόστος και είναι από τα πιο ακριβά δοχεία σε σχέση με αυτά της θέρμανσης ή για πόσιμο νερό.

Τα δοχεία διαστολής για ηλιακές εγκαταστάσεις επιτρέπουν στο νερό να διαστέλλεται και να συστέλλεται, αντισταθμίζοντας τις πιέσεις που προκύπτουν από τη θέρμανση του, προστατεύοντας έτσι το σύστημα από υπερβολική πίεση με αποτέλεσμα την αποφυγή ζημιών στο θερμοδοχείο, τις σωληνώσεις και διάφορα

εξαρτήματα. Όπως βλέπουμε στην εικόνα πιο κάτω, από τα δεδομένα του κατασκευαστή, μπορεί να αντέξει πιέσεις έως 10bar.

Reflex Reflex S 50

expansion vessel, grey, 10/2 bar

Technical data

Type	S 50	Min. perm. operating temperature	-10 °C	Diameter	415 mm
Colour	grey	max. perm. operating temperature	70 °C	Height	469 mm
Diaphragm material	SBR	Max. perm. operating pressure	10 bar	High water connection	158 mm
Nominal volume	50 l	Factory provided gas supply pressure	2 bar	Tilt dimension approx.	622 mm
Max. useful volume	45 l	Connection	R 3/4"	Weight	8.02 kg
Max. permissible system temperature	120 °C				

Εικόνα 2.6 Στοιχεία δοχείου διαστολής Reflex S 50 [Reflex Hellas]

Τα δοχεία διαστολής απαιτούν τακτικό έλεγχο και ενδεχομένως αντικατάσταση, ειδικά εάν παρατηρηθούν διαρροές ή άλλα προβλήματα.

Τα μεγαλύτερα δοχεία διαστολής μπορεί να απαιτούν επιπλέον χώρο για την εγκατάστασή τους, και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό του συστήματος, αν πρόκειται για συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας.

Η εγκατάσταση ενός δοχείου διαστολής απαιτεί πρόσθετα υλικά και εργασία, και προσθέτει στο συνολικό κόστος.



Εικόνα 2.7 Δοχείο διαστολής με εμφανή οξείδωση στην πλευρά του στομίου

2.2 Τα υπάρχοντα συστήματα για τον χρήστη

2.2.1 Θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης

Η θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης ρυθμίζει αυτόματα τη θερμοκρασία του νερού, προσφέροντας ένα σταθερό και επιθυμητό επίπεδο θερμοκρασίας για τα νερά που χρησιμοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Τη διαδικασία αυτή την επιτυγχάνει κάνοντας πρόσμειξη νερού από το δίκτυο.

Με τον αυτόματο έλεγχο της θερμοκρασίας, αποφεύγονται οι υπερβολικές θερμοκρασίες, έτσι ώστε να προστατεύει τους χρήστες από υπερβολικά ζεστά νερά, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο εγκαύματος.

Επίσης, ένας ακόμη ρόλος της βαλβίδας είναι να προστατεύει το δίκτυο σωληνώσεων από το θερμοδοχείο μέχρι τον χρήστη. Η συνεχή καταπόνηση του δικτύου σε υψηλές θερμοκρασίες εγκυμονεί την εμφάνιση διαρροών μέσα στους τοίχους.

Η αρχική εγκατάσταση μιας θερμοστατικής βαλβίδας ανάμειξης μπορεί να είναι σχετικά ακριβή σε σύγκριση με άλλους τύπους προστασίας. Όπως κάθε εξάρτημα, και η θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης απαιτεί τακτική συντήρηση για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της.



Εικόνα 2.8 Θερμοστατική βαλβίδα εταιρίας ESBE [Thermovent Hellas]

2.2.2 Θερμοστατική μπαταρία

Η θερμοστατική ή αναμεικτική βρύση μπάνιου επιτρέπει τον έλεγχο τόσο του κρύου όσο και του ζεστού νερού, με αποτέλεσμα άνεση, ασφάλεια, και οικονομικό όφελος. Η δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης της θερμοκρασίας βοηθά στο να μην σπαταλείται νερό για εύρεση της κατάλληλης θερμοκρασίας και μειώνεται η κατανάλωση νερού. Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει τη θερμοκρασία του νερού

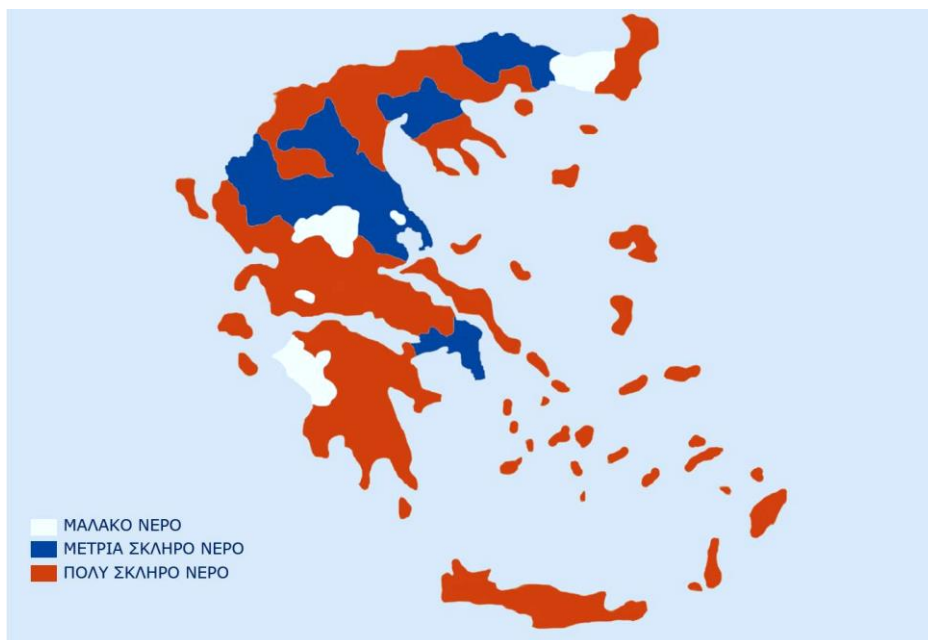
σύμφωνα με τις προσωπικές του προτιμήσεις, και επιπλέον, ορισμένα μοντέλα διαθέτουν συστήματα ασφαλείας για τον έλεγχο του μέγιστου θερμοκρασιακού επιπέδου, προστατεύοντας έτσι από ενδεχόμενα εγκαύματα. Το ζεστό νερό χρήσης είναι μια βασική κατανάλωση στον γενικό πληθυσμό, και έτσι κατά περίπτωση ανθρώπου, τα εγκαύματα μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρές καταστάσεις.



Εικόνα 2.9 Θερμοστατική μπαταρία λουτρού Grohe Grotherm [GROHE Ελλάς Ε.Π.Ε.]

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τον ηλιακό θερμοσίφωνα

2.3.1 Η ποιότητα του νερού χρήσης στην Ελλάδα



Εικόνα 2.10 Χάρτης που απεικονίζει τη σκληρότητα του νερού στην Ελλάδα

Η ποιότητα του νερού χρήσης στην Ελλάδα διαφέρει ανάλογα με την περιοχή. Συνήθως, το νερό στην Ελλάδα είναι γενικά ασφαλές για κατανάλωση. Ωστόσο, υπάρχουν περιοχές όπου η σκληρότητα του νερού είναι υψηλή. Η σκληρότητα του νερού καθορίζεται κυρίως από την περιεκτικότητα σε άλατα ασβεστίου και

μαγνησίου. Τις περισσότερες φορές, η σκληρότητα μετράται σε μονάδες Γερμανικών Βαθμών (German Degrees) ($^{\circ}\text{dH}$) ή Parts Per Million (ppm).

Στα νησιά και σε ορισμένες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας, μπορεί να υπάρχει υψηλή σκληρότητα νερού, ειδικά αν η περιοχή έχει πηγές με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει καθολικά και μπορεί εκεί να υπάρχουν και περιοχές με μαλακό νερό.

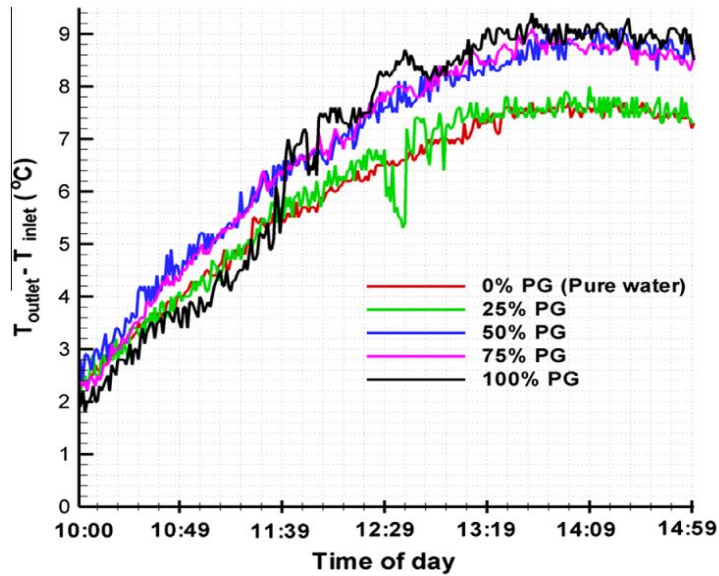
Η σκληρότητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στους αγωγούς νερού, καθώς οι αποθέσεις αλάτων μπορούν να εμποδίσουν τη ροή και να μειώσουν την πίεση. Είναι εύκολο λοιπόν τα εξαρτήματα να σφάλουν, όπως τα αυτόματα εξαεριστικά ή τα δοχεία διαστολής, όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις σε περιοχές με υψηλά επίπεδα σκληρότητας.

Χαρακτηριστικά Νερού	Γαλλικοί Βαθμοί	Γερμανικοί Βαθμοί	CaCO₃ mg/lit (ppm)
Πολύ μαλακό	0 – 5	0 – 2,8	0 – 50
Μαλακό	6 – 10	2,9 – 5,6	51 – 100
Ελαφρώς σκληρό	11 – 15	5,7 – 8,4	101 – 150
Μέτρια σκληρό	16 – 20	8,5 – 11,2	151 – 200
Σκληρό	21 – 30	11,3 – 16,8	201 – 300
Πολύ σκληρό	>30	>16,8	>300

Πίνακας 2.1 Κλίμακες κατηγοριοποίησης σκληρότητας του νερού

2.3.2 Προπυλενογλυκόλη

Η προπυλενογλυκόλη είναι ένας τύπος αντιψυκτικού υγρού που χρησιμοποιείται συχνά για την επαγωγή θερμότητας στους συλλέκτες των ηλιακών συστημάτων. Ταυτόχρονα, λειτουργεί ως ψυκτικό μέσο, βοηθώντας στη διατήρηση της θερμοκρασίας του ηλιακού συστήματος σε επίπεδα που είναι κατάλληλα για την αποτελεσματική λειτουργία του. Επίσης, η προπυλενογλυκόλη λειτουργεί ως αντιπηκτικό εμποδίζοντας τον παγετό και την υπερβολική ψύξη που θα μπορούσε να επηρεάσει την απόδοση του συστήματος. Συνολικά, βοηθά στη διατήρηση της αποτελεσματικής λειτουργίας των ηλιακών συστημάτων, και στην προστασία τους από ανεπιθύμητες θερμοκρασιακές επιπτώσεις. Η προπυλενογλυκόλη τοποθετείται στο κλειστό κύκλωμα του ηλιακού σε ποσοστιαία αναλογία με νερό, ανάλογα με τις μέσες θερμοκρασίες της περιοχής. Θεωρείται ουσία που είναι φιλική προς το δέρμα - χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά προϊόντα περιποίησης. Αυτή η ιδιότητα της, προσδίδει ένα πλεονέκτημα, σε περίπτωση που το νερό από το κλειστό κύκλωμα έρθει σε επαφή με το νερό χρήσης, παραδείγματος χάρη από μια ρωγμή στον εναλλάκτη εντός του θερμοδοχείου, ο χρήστης δεν θα υποστεί κάποια βλάβη στην επαφή του με αυτό το νερό.



Εικόνα 2.11 Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του ηλιακού συλλέκτη με διάφορες συγκεντρώσεις προπιλενογλυκόλης [Experimental Thermal and Fluid Science, vol.53 pp.218-226]

Εδώ εμφανίζεται το εξής πρόβλημα. Σε περιπτώσεις που τα αυτόματα εξαεριστικά σφάλουν λόγω διαφόρων αιτιών, και δεν επιτυγχάνεται σωστή εξαέρωση του συστήματος, τότε η πίεση και η θερμοκρασία εντός του ηλιακού συλλέκτη αυξάνονται σε βαθμό που μειώνουν τον κύκλο ζωής του ηλιακού θερμοσίφωνα. Επιπλέον, σε περίπτωση που δεν γίνει σωστή πλήρωση στο σύστημα, τότε η αναλογία στο μείγμα του νερού-αντιψυκτικού υγρού τείνει προς το αντιψυκτικό. Και στις δύο καταστάσεις, το αντιψυκτικό υγρό προκαλεί βλάβη στους χαλκοσωλήνες του ηλιακού συλλέκτη, καθώς σχηματίζονται στρώσεις αντιψυκτικού στα τοιχώματα. Οι στρώσεις αυτές προκαλούν δυο διεργασίες, διαβρώνουν τους χαλκοσωλήνες, και ταυτόχρονα, καλύπτοντας εσωτερικά τον εναλλάκτη, αυτός αποκτά μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμική αγωγιμότητα του και να αυξάνεται ο χρόνος θέρμανσης του νερού χρήσης.



Εικόνα 2.12 Συντήρηση του δευτερεύοντος κυκλώματος ηλιακού θερμοσίφωνα, το μαύρο ίζημα στο έδαφος αποτελείται από στερεά μάζα προπιλενογλυκόλης.

2.4 Η ανάγκη ενός νέου μηχανισμού προστασίας

Με βάση τους παραπάνω παράγοντες που κάνουν επιρρεπή τα συστήματα προστασίας του ηλιακού σε φθορές και βλάβες, θεωρούμε πως χρειάζεται να σχεδιαστεί ένας νέος μηχανισμός. Δηλαδή, ένας μηχανισμός αμετάβλητος από την ποιότητα του νερού, καθώς όλα σφάλουν σε μικρότερο χρονικό διάστημα λόγω και της σκληρότητας του νερού.

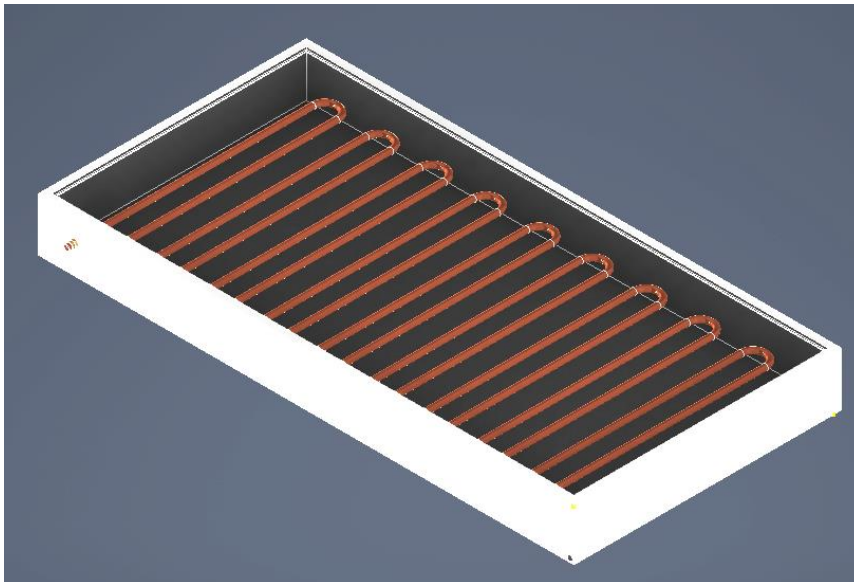
Επίσης, ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να αυτοματοποιεί τη διαδικασία κάλυψης του ηλιακού, ώστε ο συλλέκτης να εκτίθεται σε ελεγχόμενα χρονικά διαστήματα στην ηλιακή ακτινοβολία, άρα ούτε το αντιψυκτικό υγρό να φτάνει σε οριακές συνθήκες, ούτε κατ' επέκταση να επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, και έτσι να φθείρει με μικρότερο ρυθμό τους χαλκοσωλήνες εντός του συλλέκτη.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για τον σχεδιασμό της ιδέας, του μηχανισμού, θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα Inventor της εταιρίας Autodesk. Χρησιμοποιείται για τον μηχανικό σχεδιασμό 3D, την τεκμηρίωση και την προσομοίωση. Η εταιρεία παρέχει ετήσιες ενημερώσεις με νέα χαρακτηριστικά και βελτιώσεις που προστίθενται με κάθε νέα έκδοση. Τα αντικείμενα που σχεδιάζονται στο περιβάλλον αυτό μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν σε προσομοιώσεις για να δοκιμαστεί η απόδοσή τους, ή μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας εκτυπωτή 3D ή άλλες μεθόδους κατασκευής.

3.1 Σχεδιασμός ηλιακού θερμοσίφωνα και σκελετού μηχανισμού

Για αρχή θα σχεδιάσουμε τον ηλιακό θερμοσίφωνα στον οποίο θα εγκατασταθεί ο μηχανισμός προστασίας. Πρόκειται για έναν ηλιακό θερμοσίφωνα με συλλεκτική επιφάνεια 2m^2 , 2m μήκος και 1m πλάτος.

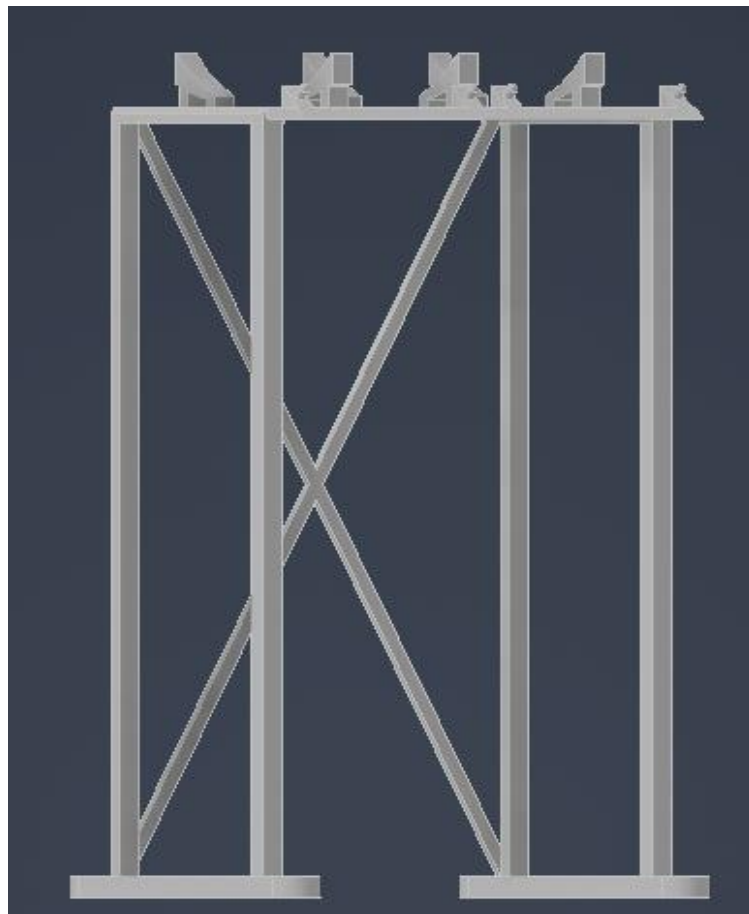


Εικόνα 3.1 Ηλιακός συλλέκτης ηλιακού θερμοσίφωνα 2m^2

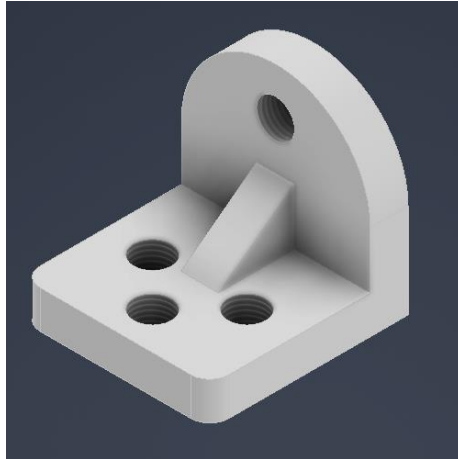
Εν συνεχεία, σχεδιάζουμε το θερμοδοχείο (boiler) και τις βάσεις του θερμοσίφωνα.



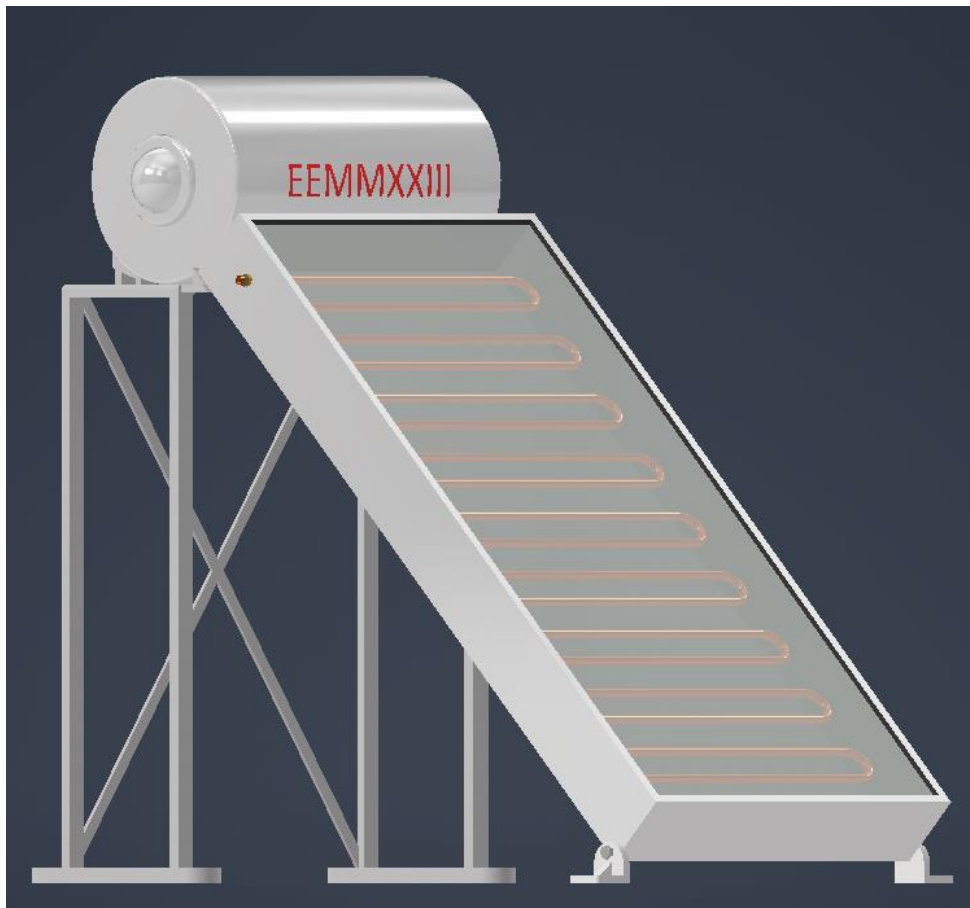
Εικόνα 3.2 Θερμοδοχείο ηλιακού θερμοσίφωνα



Εικόνα 3.3 Βάση θερμοδοχείου

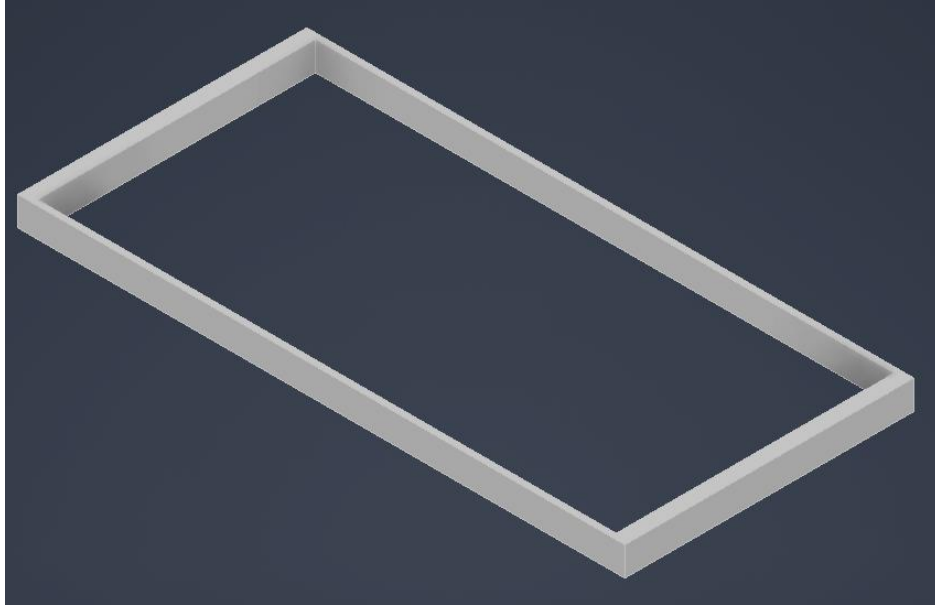


Εικόνα 3.4 Κάτω βάσεις ηλιακού συλλέκτη



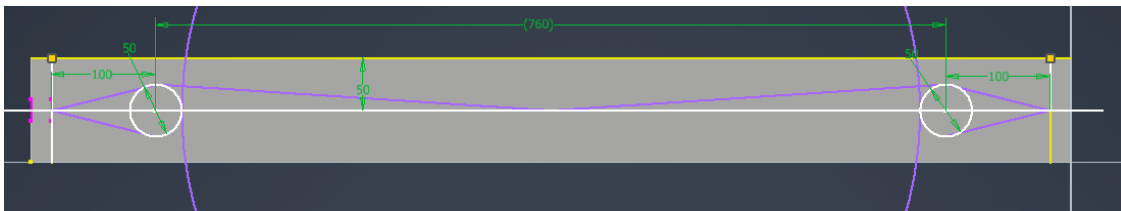
Εικόνα 3.5 Ο ηλιακός θερμοσίφωνας

Έχοντας έτοιμο τον σκελετό μπορούμε να αρχίσουμε πλέον τον σχεδιασμό του μηχανισμού προστασίας. Για αρχή θα σχεδιάσουμε το πλαίσιο, ύψους 2100 χιλιοστών και πλάτους 1000 χιλιοστών. Το οποίο θα έχει πάχος στις οριζόντιες πλευρές 50 χιλιοστά, ενώ στις κάθετες πλευρές 20 χιλιοστά. Το ύψος της κατασκευής είναι 100 χιλιοστά.

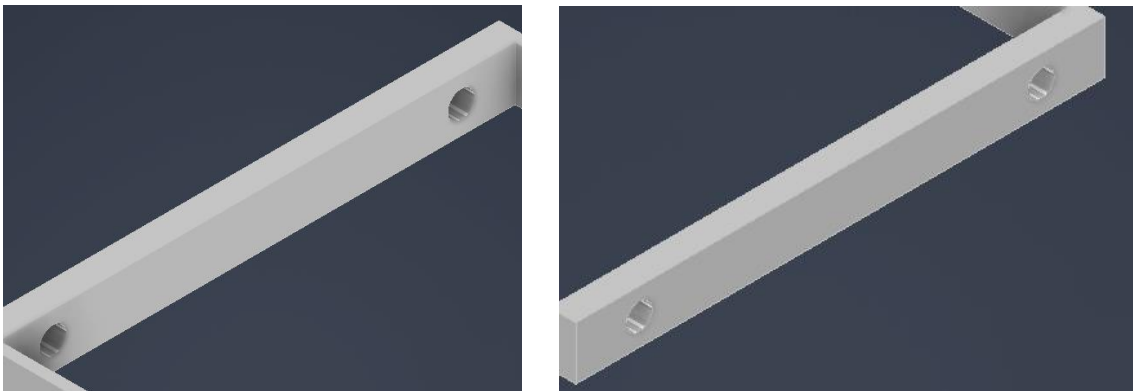


Εικόνα 3.6 Το πλαίσιο του μηχανισμού

Τώρα θα σχεδιάσουμε τις οπές στις οποίες θα τοποθετηθούν οι άξονες των καλυμμάτων (φύλλων) - δύο σε κάθε οριζόντια πλευρά - στο σύνολο τέσσερις.



Εικόνα 2.7 Προσχεδιασμός 2D για την τρισδιάστατη απεικόνιση των οπών



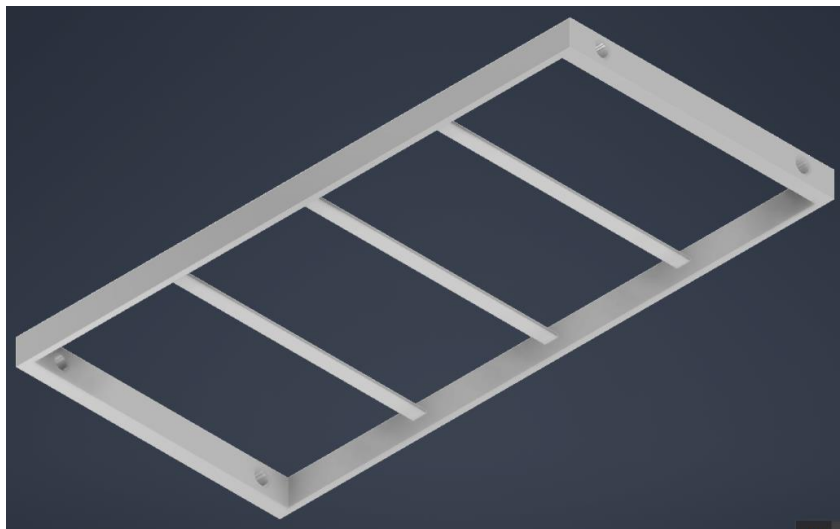
Εικόνα 3.8 Οπές στην άνω και κάτω πλευρά του πλαισίου για τοποθέτηση των αξόνων



Εικόνα 3.9 Η εξωτερική άνω πλευρά του πλαισίου, μετά την εντολή Fillet

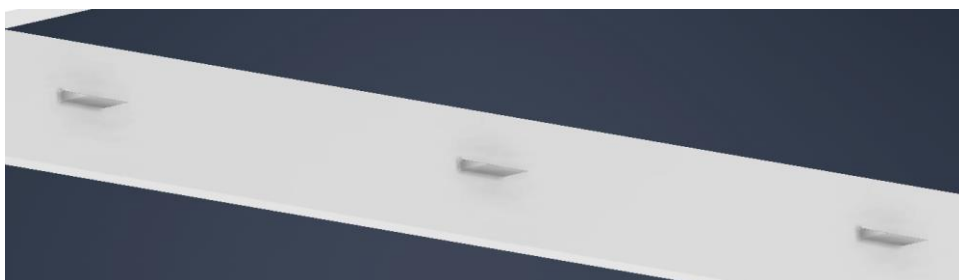
Προκειμένου να περιορίσουμε το εύρος μετατόπισης των φύλλων στη θέση ηρεμίας κατά τη διάρκεια σκίασης, θα σχεδιάσουμε κατά μήκος των εσωτερικών πλευρών των κάθετων τμημάτων, σημεία ορίων με διαδοχικές αποστάσεις πλάτους 50 χιλιοστών και ύψους 10 χιλιοστών, όπου θα μπορούν να συναντούν αντίσταση.

Δημιουργούμε πρώτα τα νεύρα, όπου στη συνέχεια θα αφαιρέσω υλικό.

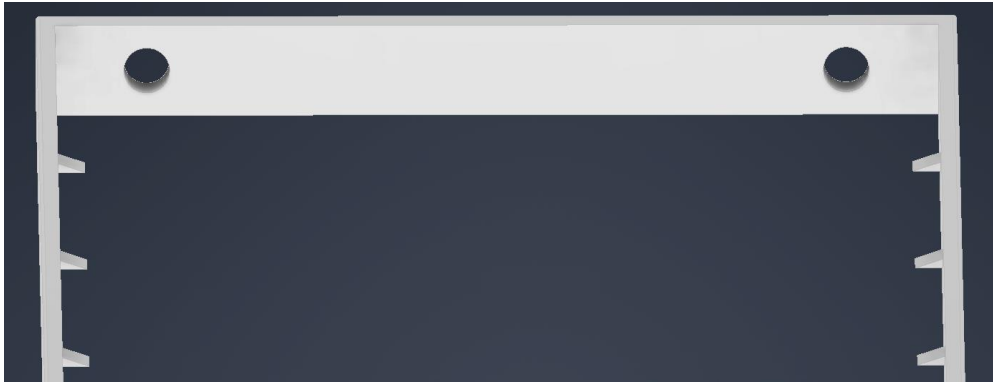


Εικόνα 3.10 Νεύρα από τα οποία θα προκύψουν τα σημεία της θέσης ηρεμίας

Με την εντολή Extrude αφαιρούμε το υλικό ώστε να δημιουργηθούν τα 6 σημεία.



Εικόνα 3.11 Σημεία αντίστασης για τη θέση ηρεμίας στη μια πλευρά



Εικόνα 3.12 Άποψη των σημείων αντίστασης

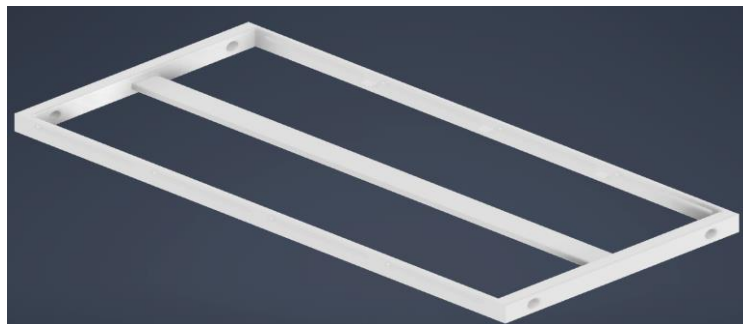
Θα δημιουργήσουμε ανοίγματα κατά το μήκος του σκελετού για να βιδωθούν οι βάσεις οι οποίες θα πατάνε στον ηλιακό θερμοσίφωνα που θα αναλύσουμε παρακάτω.

Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός δίνει ελευθερία στον εγκαταστάτη να βιδώσει σε όποιο σημείο επιθυμεί τις βάσεις στο πλαίσιο του μηχανισμού, όπως επίσης αφαιρεί κάποιο βάρος από το σύνολο.



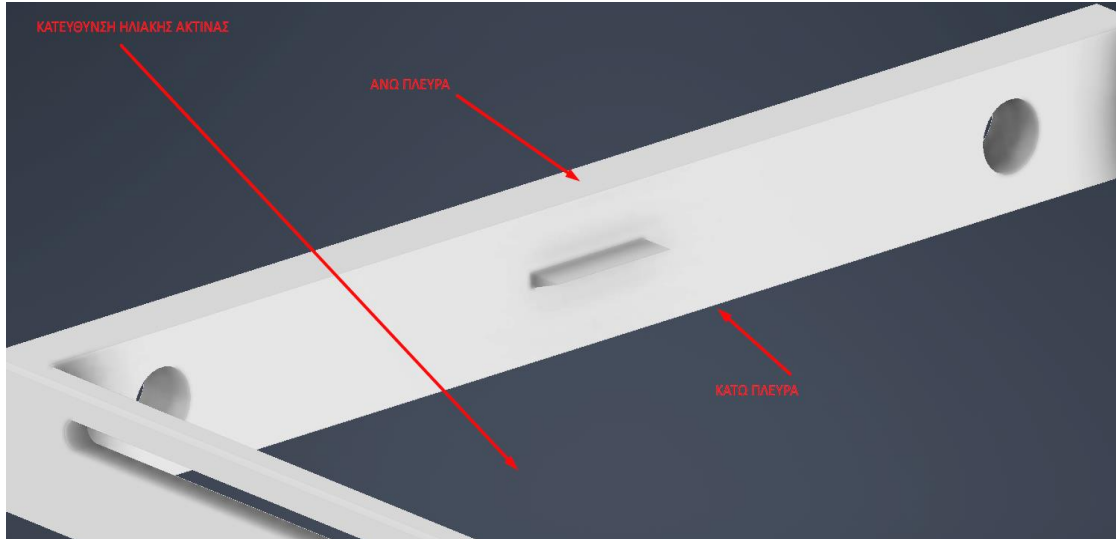
Εικόνα 3.13 Ανοίγματα ύψους 20 χιλιοστών και πλάτους 100 χιλιοστών

Προκειμένου τα φύλλα σκίασης να καλύπτουν σωστά τον ηλιακό θερμοσίφωνα, και να μην ασκούν ροπή στον άξονα στη θέση ηρεμίας, θα σχεδιάσουμε σε διαδοχικές αποστάσεις σημεία στήριξης πλάτους 100 χιλιοστών και ύψους 30 χιλιοστών κατά μήκος των εσωτερικών πλευρών των οριζόντιων τμημάτων, όπου θα μπορούν να πατάνε. Όπως και στα προηγούμενα σημεία, θα δημιουργήσουμε πρώτα τα νεύρα και στη συνέχεια θα αφαιρέσουμε υλικό.



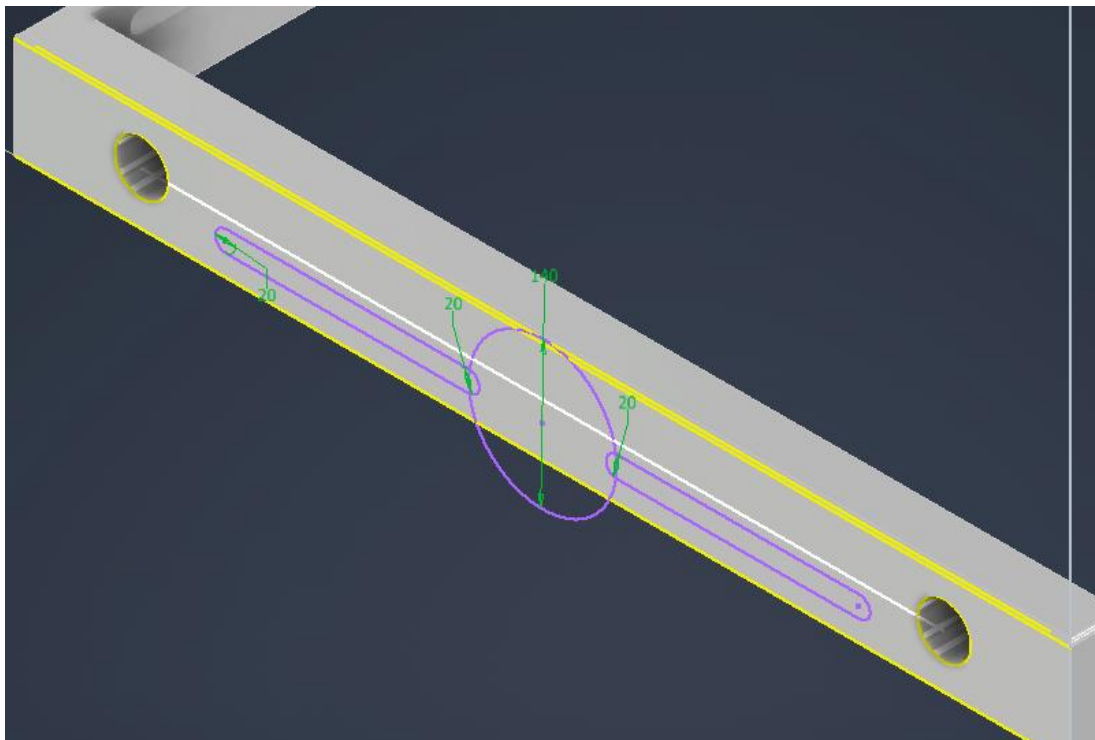
Εικόνα 3.14 Άποψη προεργασίας σημείων για τη θέση ηρεμίας

Με την εντολή Extrude αφαιρούμε το υλικό ώστε να δημιουργηθούν τα 2 σημεία τριγωνικών πλευρών.

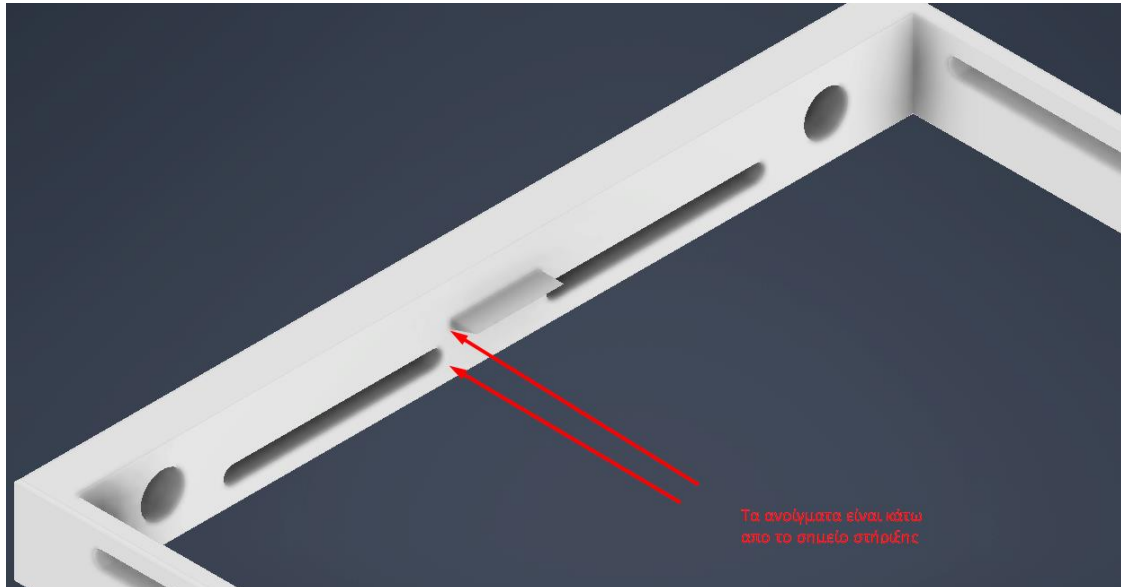


Εικόνα 3.15 Άποψη σημείου για τη θέση ηρεμίας

Για την τοποθέτηση του συστήματος κίνησης του μηχανισμού, θα δημιουργηθούν ανοίγματα στη κάτω πλευρά του πλαισίου για τη στήριξη του συστήματος μετάδοσης κίνησης, με αρχική υπόθεση των ατέρμονα κοχλία. Μια λεπτομέρεια εδώ είναι πως πρέπει τα ανοίγματα να είναι κάτω από τα σημεία στήριξης ώστε να μην έρχονται σε επαφή οι κοχλίες στήριξης με τα φύλλα σκίασης - έκαστος σε δύο ανοίγματα ύψους 20 χιλιοστών και πλάτους 250 χιλιοστών.

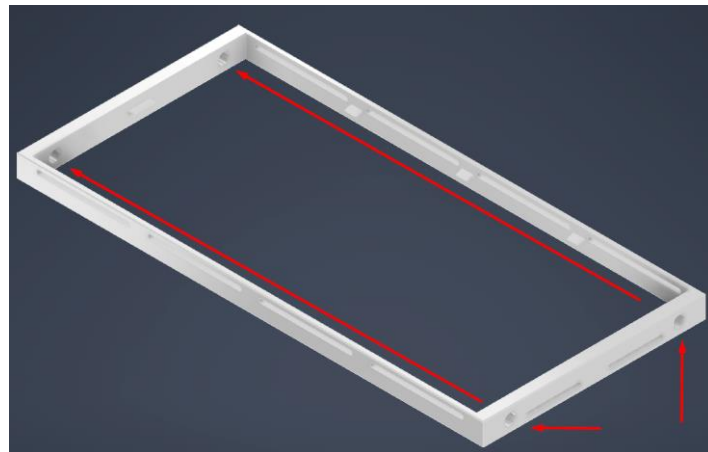


Εικόνα 3.16 Σχεδίαση 2D των ανοιγμάτων



Εικόνα 3.17 Απεικόνιση ανοιγμάτων κάτω από τα σημεία στήριξης

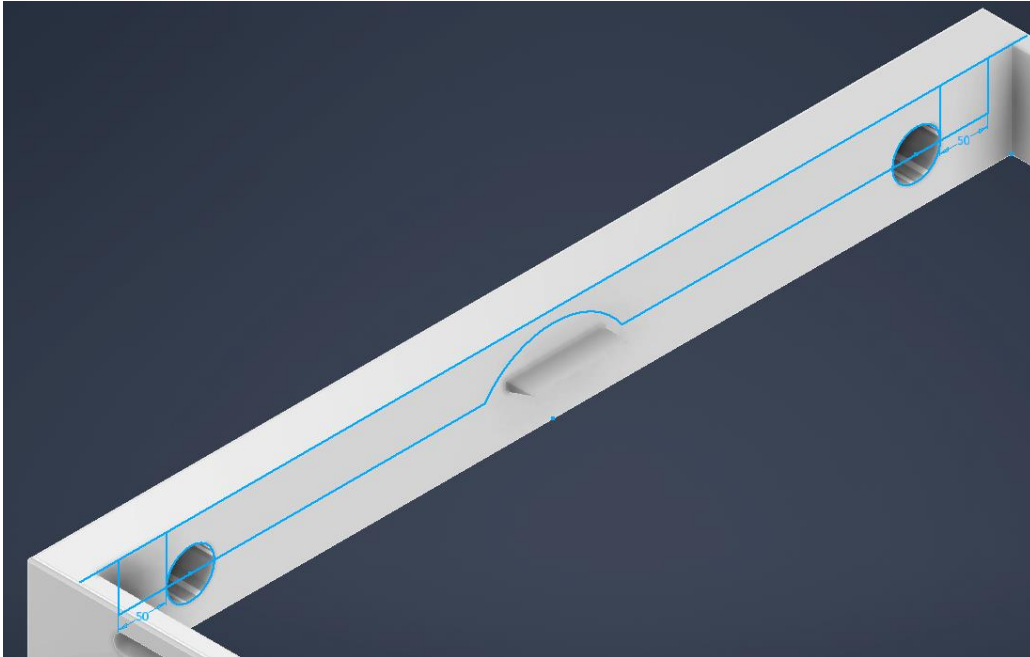
Εδώ προκύπτει το εξής ζήτημα. Για να τοποθετηθούν τα φύλλα σκίασης, κατά μήκος του σκελετού, δεν υπάρχουν οι κατάλληλες ανοχές καθώς πρόκειται για ένα άκαμπτο και μονομερές αντικείμενο. Για αυτό, προκειμένου να τοποθετηθούν τα φύλλα, θα χρειαστεί να χωρίσουμε την άνω οριζόντια πλευρά σε δυο τμήματα.



Εικόνα 3.18 Με την πρόοδο του σχεδίου μέχρι στιγμής προκύπτει εμπόδιο στην τοποθέτηση των φύλλων

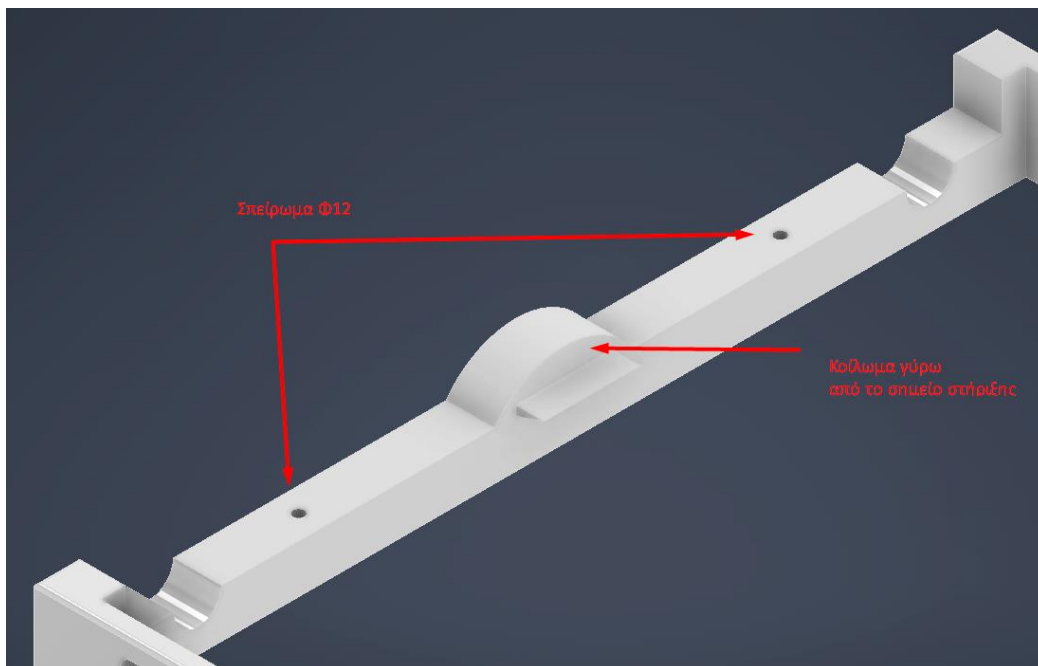
Το κούμπωμα των αξόνων των φύλλων σκίασης σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σταθερό και στους 3 άξονες (X,Y,Z). Από τις εξωτερικές πλευρές των οπών των αξόνων το κούμπωμα θα απέχει 50 χιλιοστά ενώ, εσωτερικά στα 250 χιλιοστά από τις δυο εξωτερικές κάθετες πλευρές της κατασκευής, θα υπάρχουν σπειρώματα 12 χιλιοστών για σταθεροποίηση με βίδες κατηγορίας Άλεν. Οι βίδες Άλεν θα σταθεροποιήσουν τη σύνδεση και στους 3 άξονες ενώ, το κοίλωμα που θα δημιουργηθεί γύρω από το σημείο στήριξης, θα προσθέσει μεγαλύτερη αντίσταση

στην κίνηση του οριζόντιου άξονα το οποίο συνάδει με τη γωνιακή κατεύθυνση των φύλλων σκίασης.

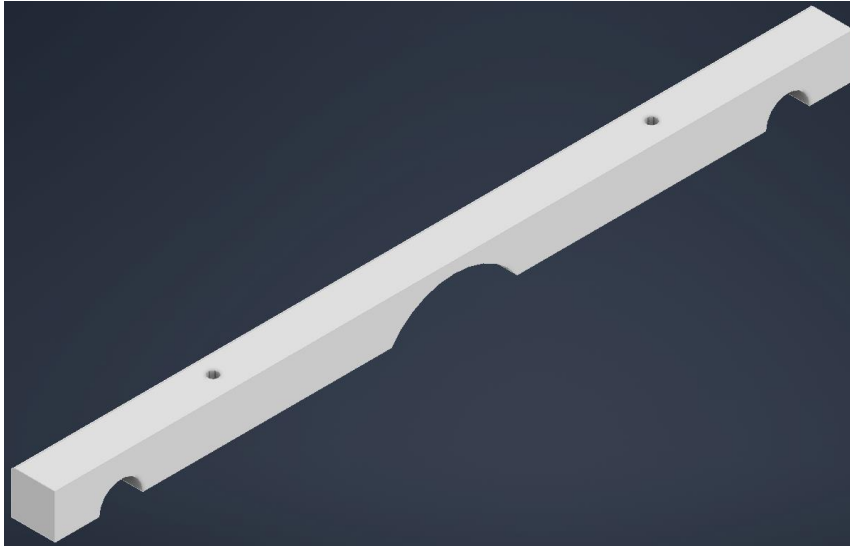


Εικόνα 3.19 Προεργασία του καλύμματος των οπών των φύλλων

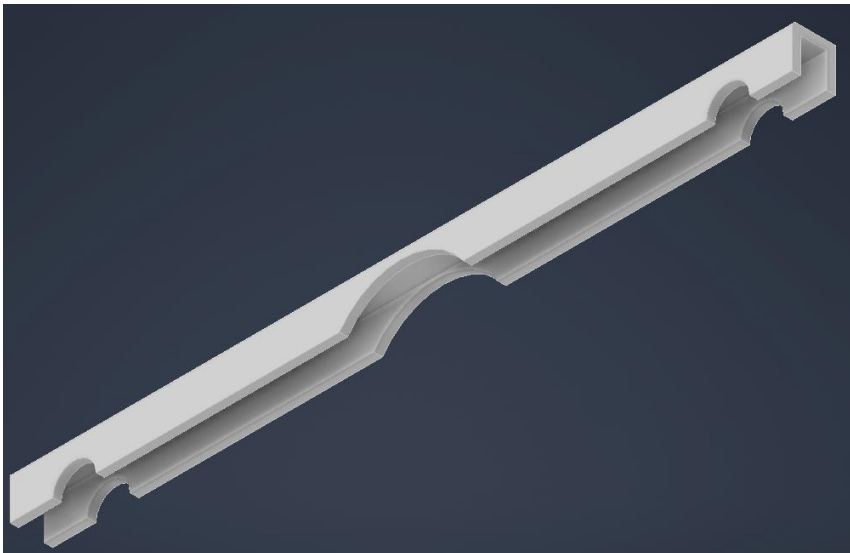
Σχεδιάζοντας και τα κέντρα των οπών για τις βίδες προκύπτει η τελική μορφή του σκελετού, όπου θα συνεχίσουμε με τα φύλλα σκίασης, το μηχανισμό μετάδοσης και τον τρόπο στήριξης.



Εικόνα 3.20 Θέση καλύμματος των οπών των αξόνων

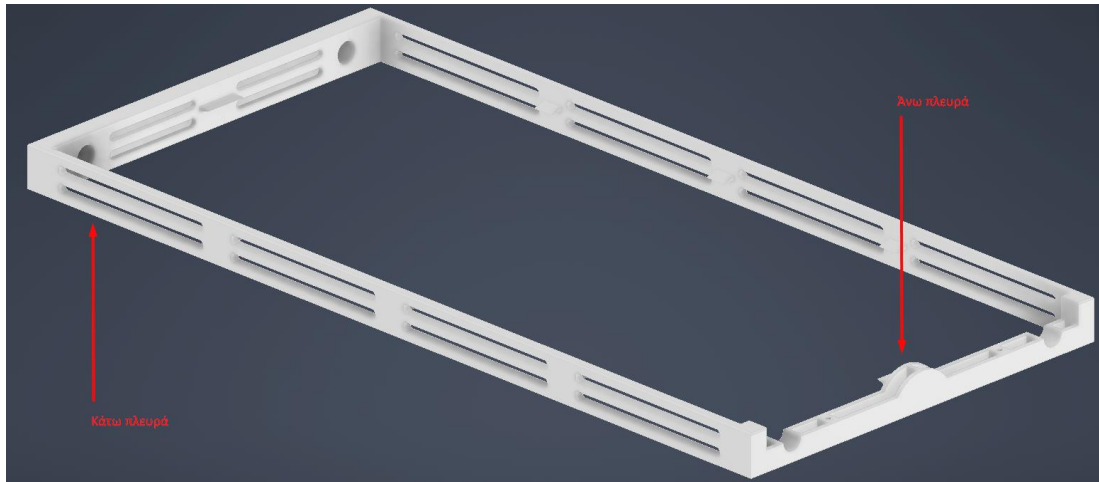


Εικόνα 3.21 Το κάλυμμα



Εικόνα 3.22 Το κάλυμμα μετά την αφαίρεση υλικού

Για αρχή θα επεξεργαστούμε το κάλυμμα, όπου θα αφαιρέσουμε υλικό μέχρι να προκύψει κέλυφος πάχους 10 χιλιοστών και στις 3 πλευρές.



Εικόνα 3.23 Το πλαίσιο μετά την αφαίρεση υλικού

Για την επεξεργασία του πλαισίου ήταν απαραίτητο να κρατήσουμε ακέραιες τις βάσεις στήριξης και τα όρια περιστροφής των φύλλων. Οπότε η μέθοδος που ακολουθήσαμε ήταν να αφαιρέσουμε κατά ύψος και κατά την κάτω πλευρά αντιγράφοντας τα είδη υπάρχοντα ανοίγματα.

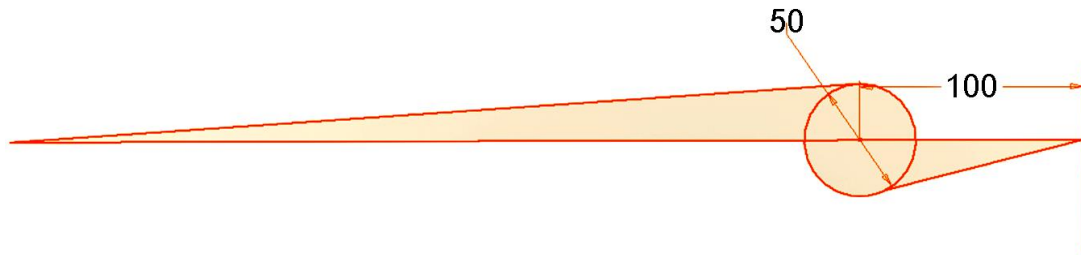
Αφαιρέσαμε υλικό από την άνω και κάτω πλευρά κρατώντας κάποια νεύρα για τη σωστή συμπεριφορά του πλαισίου υπό το βάρος των φύλλων. Μετά από την αφαίρεση προκύπτει ότι το νέο συνολικό βάρος είναι 27,8 kg, δηλαδή μείωση κατά 35% του αρχικού.

3.2 Σχεδιασμός των φύλλων σκίασης

Συνεχίζουμε με το σχεδιασμό των φύλλων σκίασης, όπου η βασική σκέψη είναι να αποτελούνται από 3 τμήματα: τον άξονα, ένα επίμηκες τμήμα σκίασης και ένα κοντό.

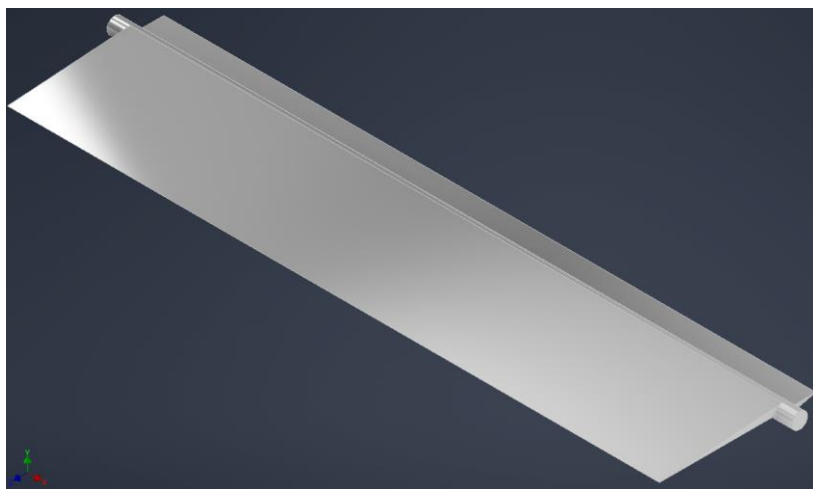
Το συνολικό άνοιγμα τους είναι 480 χιλιοστά, προκειμένου να είναι πιο εύκολη η περιστροφική τους κίνηση.

Πρέπει να επιλεγεί ένα μεταλλικό υλικό ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και καταλήγουμε στο αλουμίνιο 5052 το οποίο μπορεί να σχεδιαστεί ή να διαμορφωθεί σε περίπλοκα σχήματα, όπως επίσης έχει καλή αντοχή στη θαλάσσια ατμόσφαιρα και στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό. Άρα ο μηχανισμός θα μπορεί να εξυπηρετεί και περιοχές στα παράλια και στα νησιά. Η πυκνότητα του συγκεκριμένου κράματος είναι $2,68 \text{ gr/cm}^3$, συγκριτικά με άλλα μέταλλα όπου στον χάλυβα είναι $7,87 \text{ gr/cm}^3$ ή στον χαλκό είναι $8,96 \text{ gr/cm}^3$. Ακολουθεί ο βασικός σχεδιασμός.



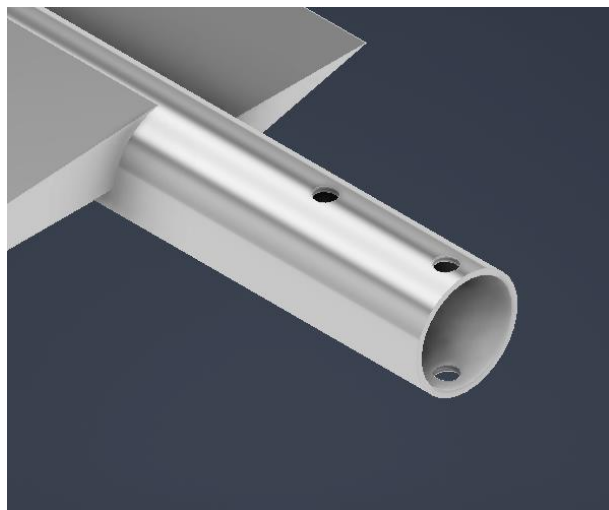
Εικόνα 3.24 Αρχικό σχέδιο δεξιού και αριστερού φύλλου

Τα φύλλα θα είναι 2000 χιλιοστά σε μήκος, ενώ οι άξονες τους 2200 χιλιοστά ώστε να εφάπτονται εντός των οπών.

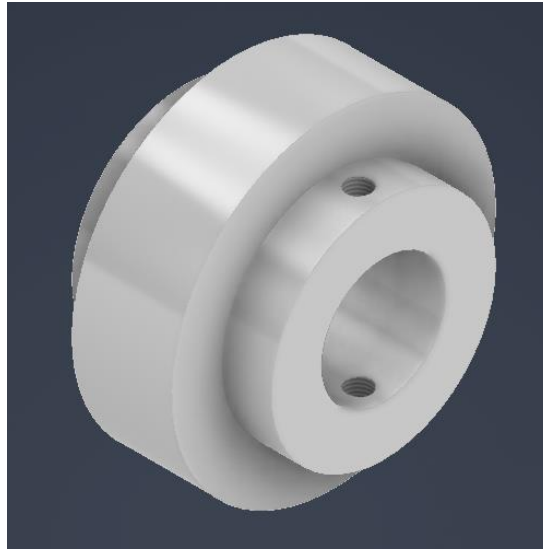


Εικόνα 3.25 Άποψη φύλλου

Θα χρειαστεί να δοθεί μια προέκταση στον άξονα, ώστε να τοποθετηθεί εκτός του πλαισίου ο οδοντωτός τροχός που θα μεταδίδει την κίνηση από τον ατέρμονα κοχλία. Για να μεταδίδεται η περιστροφή θα δημιουργηθούν 2 διαμπερείς οπές 10 χιλιοστών και στη συνέχεια θα τοποθετηθεί ο τροχός εξωτερικά.

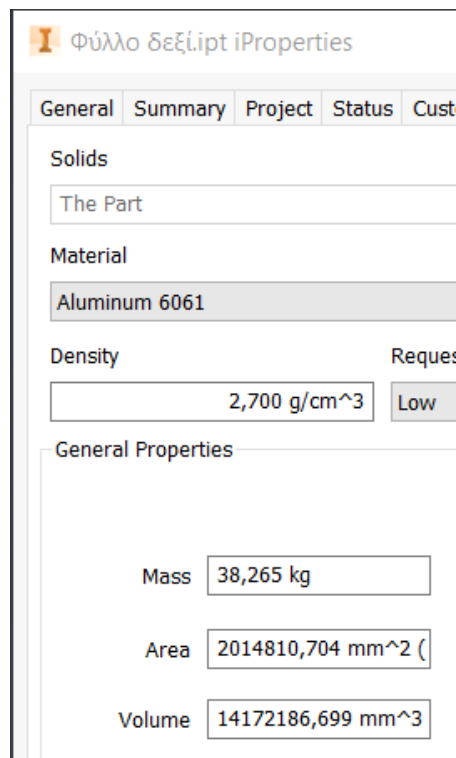


Εικόνα 3.26 Προέκταση άξονα για τοποθέτηση του οδοντωτού



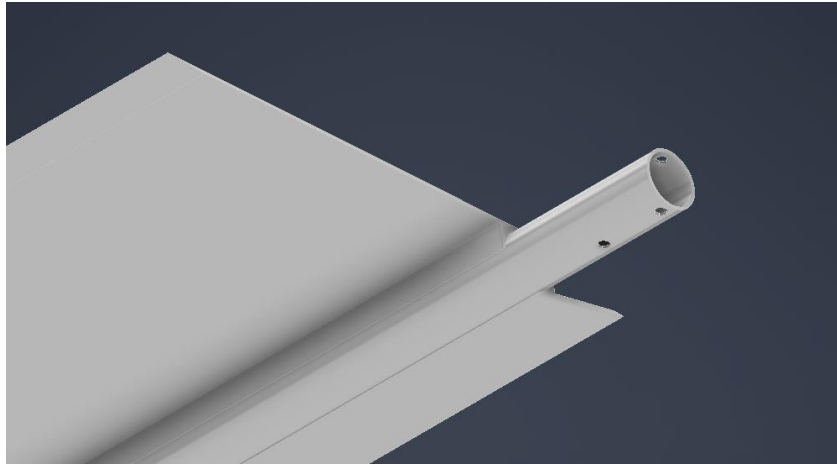
Εικόνα 3.27 Ο οδοντωτός ως λείος πριν τον υπολογισμό των οδόντων

Με βάση τους υπολογισμούς της επιλογής iProperties προκύπτει ότι με την πυκνότητα $2,70 \text{ gr/cm}^3$ του αλουμινίου 6061 ($2,68 \text{ gr/cm}^3$ του αλουμινίου 5052) και τον συνολικό όγκο των φύλλων, το φύλλο ζυγίζει 38 kg, δηλαδή 76 kg το ζεύγος. Το οποίο καθιστά τον μηχανισμό μη εργονομικό ως προς τον εγκαταστάτη, προσδίδει βάρος στην εγκατάσταση και ανεβάζει το κόστος αγοράς ως προς τον πελάτη.



Εικόνα 3.28 Αποτελέσματα υπολογισμών iProperties

Για αυτό θα χρειαστεί να γίνει αφαίρεση υλικού από τον άξονα ώστε να προκύψει πάχος κελύφους 2,5 χιλιοστά, και επίσης, να αφαιρεθεί υλικό από τα φύλλα.



Εικόνα 3.29 Άποψη δεξιού φύλλου μετά την αφαίρεση υλικού



Εικόνα 3.30 Άποψη δεξιού φύλλου μετά την αφαίρεση υλικού

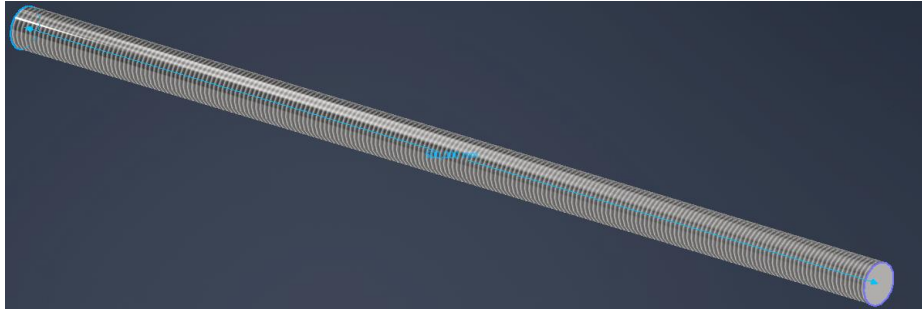
Με αυτό τον τρόπο η νέα μέτρηση που λαμβάνουμε, υπολογίζοντας τον νέο όγκο, είναι μόλις 9 kg ή 18 kg στο ζεύγος, δηλαδή μια μείωση βάρους κατά 75%. Πιο ελαφριά κατασκευή, πιο εύκολη ως προς τη μεταφορά και την εγκατάσταση. Πλέον το πάχος του φύλλου θα είναι 2,5 χιλιοστά.

3.3 Σχεδιασμός βάσεων πλαισίου

Συνεχίζουμε με τις βάσεις του πλαισίου οι οποίες θα το κρατάνε στη σωστή θέση και απόσταση από τον ηλιακό συλλέκτη. Η σκέψη είναι πως οι βάσεις δεν επιτρέπεται να βιδωθούν επάνω στον συλλέκτη, καθώς θα υπάρχει απώλεια της πίεσης και της θερμοκρασίας από τον χώρο που περιβάλλει το δευτερεύον κύκλωμα του νερού. Η λύση είναι οι βάσεις να πιάνουν με εξωτερική σύσφιξη το πλευρό του συλλέκτη, και θα σχεδιαστούν με όσο πιο απλό τρόπο γίνεται. Παρακάτω θα εξηγήσουμε τον τρόπο σκέψης.

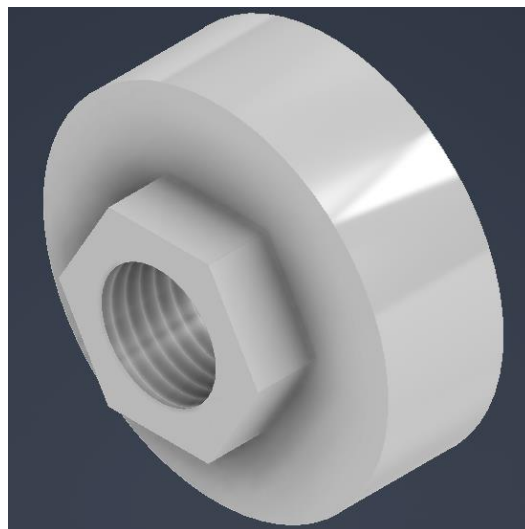
Ξεκινάμε με τις στήλες οι οποίες θα είναι χαλύβδινες ντίζες 500 χιλιοστών, κοινές στο εμπόριο ως "ντίζες γαλβανιζέ" διαμέτρου 20 χιλιοστών. Η χρήση γαλβανισμένων ντιζών προσφέρει πλεονεκτήματα ιδίως σε περιβάλλοντα με δυσμενείς συνθήκες, όπως υγρασία, διάβρωση και κακοκαιρία. Ο γαλβανισμός προσφέρει αποτελεσματική προστασία από τη διάβρωση, ενισχύοντας την αντοχή του χάλυβα (ατσαλιού) ακόμη

και σε υγρές και αντίξοες συνθήκες. Η μακροζωία των γαλβανισμένων ντιζών είναι επίσης υψηλή, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές με μακροπρόθεσμη βλέψη. Η ανθεκτικότητα που προσδίδει ο γαλβανισμός τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα. Οι ντιζες είναι συνήθεις στις εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται στην αγορά για τη στερέωση συσκευών από οροφές, έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, όπως επίσης στην προκειμένη περίπτωση, μια ντιζα τέτοιας διαμέτρου και μήκους έχει μηδαμινό κόστος.



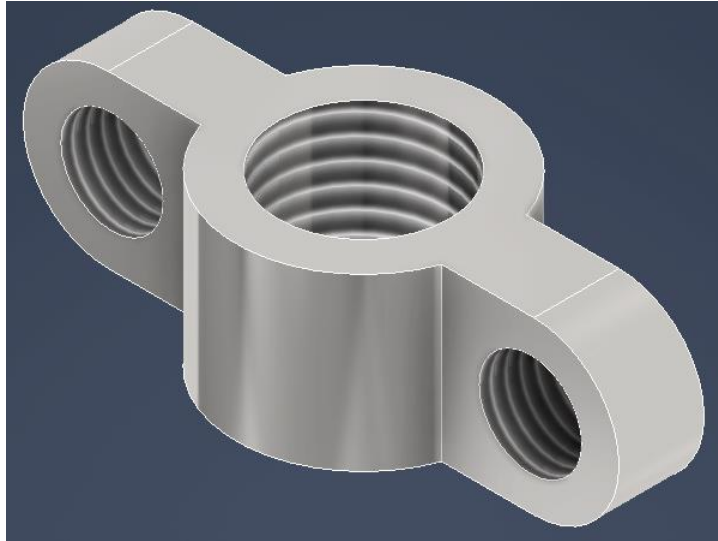
Εικόνα 3.31 Χαλύβδινη ντιζα 500mm M20

Στη συνέχεια θα σχεδιάσουμε τη δαγκάνα, για να σχηματιστεί μια σιαγόνα που θα συσφίγγεται στο κέλυφος του ηλιακού συλλέκτη - θα την σχηματίσουμε με 2 ροδέλες. Η κάθε ροδέλα θα είναι πάχους 20 χιλιοστών και διαμέτρου 60 χιλιοστών. Από την μια πλευρά θα εξέχει ένα εξάγωνο τμήμα πάχους 10 χιλιοστών. Είναι κατασκευή αλουμινίου, με βάρος 0,15kg. Το αντικείμενο αυτό θα έχει οπή 20 χιλιοστών ώστε να περαστεί στην ντιζα. Για να ασφαλιστεί η σύσφιξη τους θα περαστούν εξωτερικά από αυτές 2 κοχλίες M20.



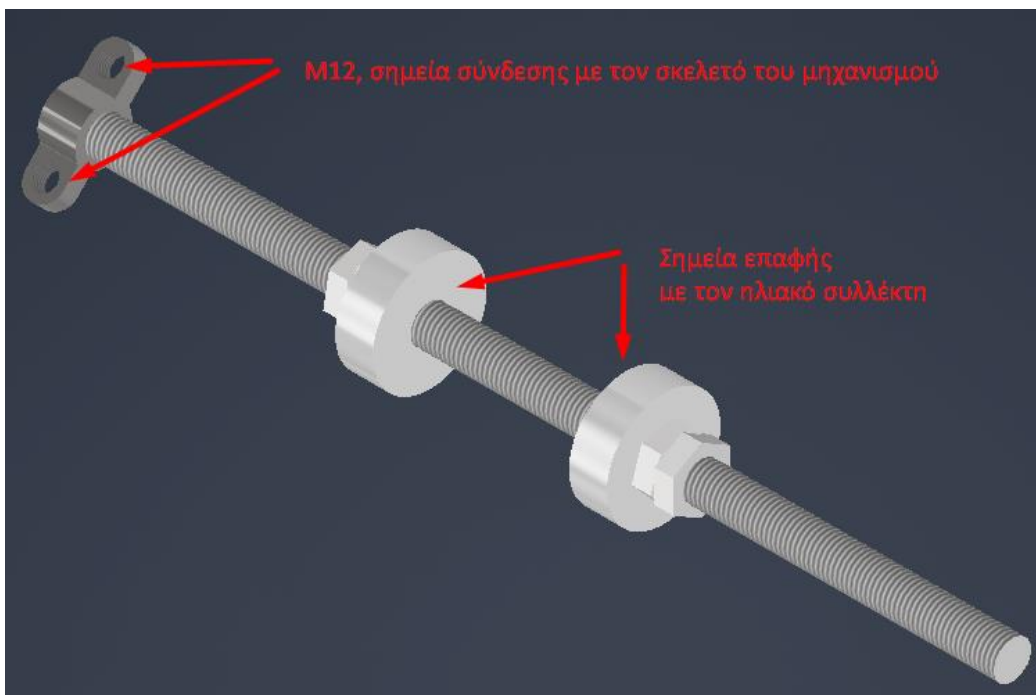
Εικόνα 3.32 Αντικείμενο M20, ροδέλας πάχους 20 χιλιοστών διαμέτρου 60 χιλιοστών με επαπτόμενο κοχλία

Τέλος αυτό που χρειάζεται είναι να σχεδιάσουμε το εξάρτημα που θα συνδέει την ντίζα με τον σκελετό του μηχανισμού. Πρόκειται για ένα αντικείμενο 3 οπών, η κεντρική οπή με εσωτερικό σπείρωμα θα είναι Μ20, ενώ οι εξωτερικές Μ12. Το ύψος του εξαρτήματος θα είναι 20 χιλιοστά. Θα είναι χαλύβδινο και το βάρος του με βάση τον όγκο και την πυκνότητα του χάλυβα ($7,850 \text{ g/cm}^3$) θα είναι 0,1 kg.



Εικόνα 3.33 Εξάρτημα σύνδεσης ντίζας με πλαίσιο μηχανισμού

Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι βάσεις πλαισίου, οι οποίες θα είναι 4. Η κάθε μια θα αποτελείται από μια ντίζα Μ20 μήκους 500 χιλιοστών, 2 εξαρτήματα συνδυασμού ροδέλας και κοχλία Μ20, 2 κοχλίες Μ20 και ένα εξάρτημα σύνδεσης. Το βάρος υπολογίζεται στα 1,7 kg οπότε για το σύνολο αυτών 6,8 kg.



Εικόνα 3.34 Αποψη βάσης (δαγκάνα) στήριξης πλαισίου/σκελετού μηχανισμού

3.4 Σχεδιασμός συστήματος μετάδοσης κίνησης

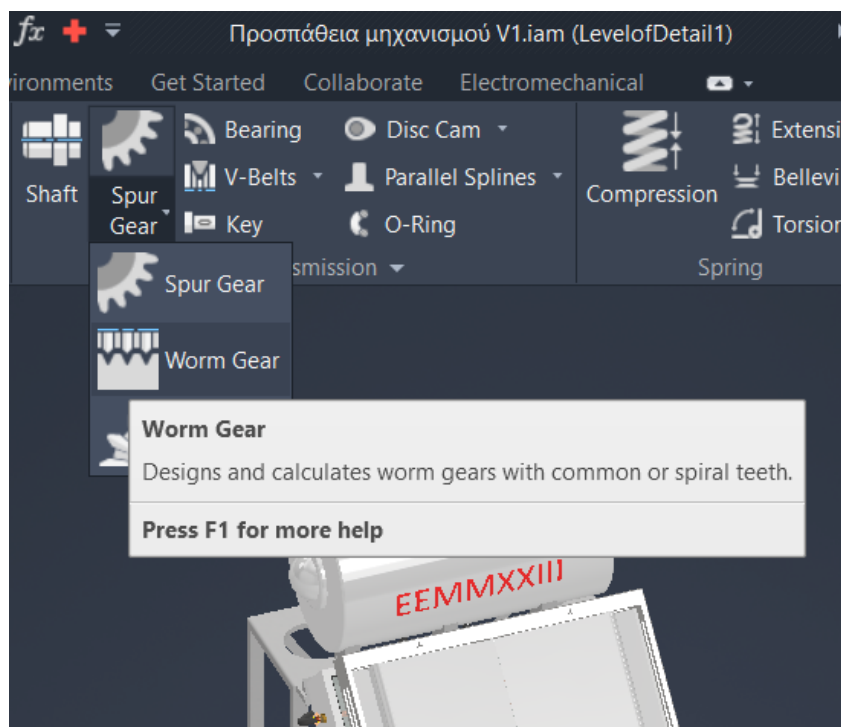
Για να δώσουμε κίνηση στον μηχανισμό θεωρούμε πως η πιο κατάλληλη λύση είναι η χρήση άξονα με ατέρμονες κοχλίες. Τα φύλλα σκίασης θα κινούνται πάντα με αντίθετες φορές δεξιόστροφα και αριστερόστροφα, αυτό λοιπόν, μπορώ να το επιτύχω με τον άξονα.

Για αρχή θα σχεδιάσουμε έναν άξονα ο οποίος θα είναι μήκους 820 χιλιοστών, δηλαδή η απόσταση που έχουν τα κέντρα των αξόνων των 2 φύλλων. Το πάχος του άξονα θα είναι 30 χιλιοστά. Για τον υπολογισμό του αριθμού της οδόντωσης, το πάχος και τη γωνία επαφής θα εξυπηρετήσει η εντολή "Worm Gear".

Ο οδοντωτός τροχός θα εφαρμοστεί στην εξωτερική περιφέρεια του λείου τροχού ([Εικόνα 3.27](#) Ο οδοντωτός ως λείος πριν τον υπολογισμό των οδόντων). Ενώ ο ατέρμων θα σχηματιστεί στις άκρες του άξονα. Μετά τον υπολογισμό μπορεί να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία των λείων αυτών τμημάτων. Το υλικό επιλογής για τον άξονα και όλο το σύστημα μετάδοσης κίνησης θα είναι ο χάλυβας, με βάση την πυκνότητα του (8.050 kg/m^3), προκύπτει πως ο άξονας θα ζυγίζει 3,9kg.

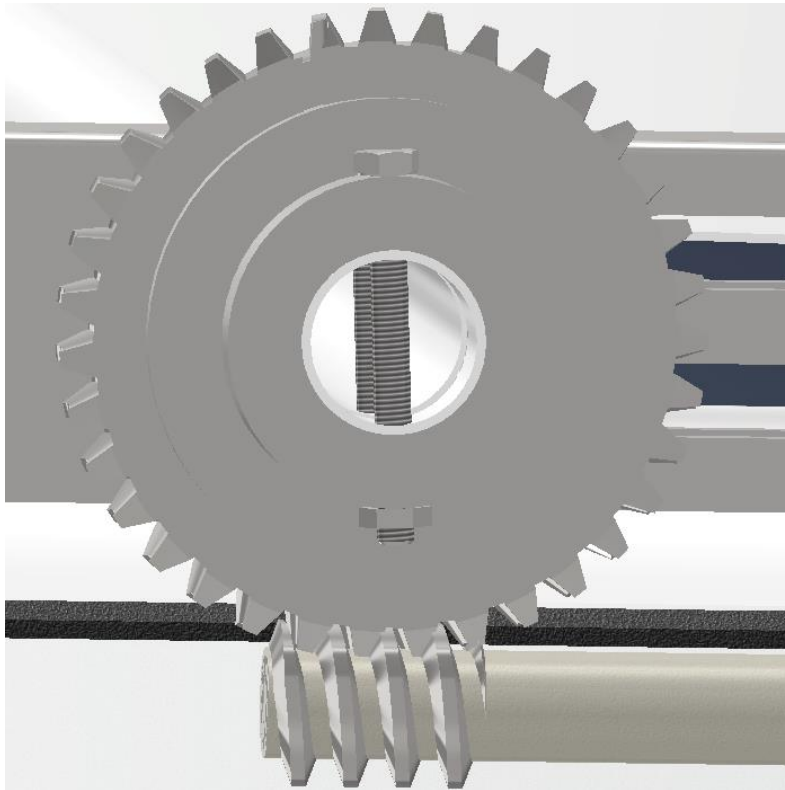


Εικόνα 3.35 Άξονας μετάδοσης κίνησης πριν τον υπολογισμό των οδόντων



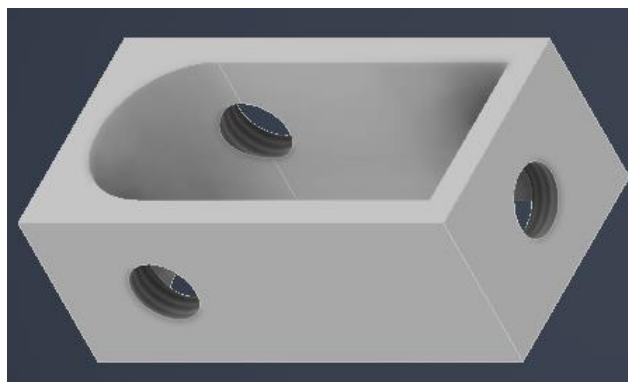
Εικόνα 3.36 Εντολή υπολογισμού οδοντώσεων ατέρμονα κοχλία

Μετά από τον υπολογισμό για τον ατέρμονα κοχλία, ο οδοντωτός τροχός πλέον περνάει κατά μήκος του άξονα του φύλλου σκίασης και τη θέση του την ασφαλίζουμε με 2 βίδες M10, μήκους 100 χιλιοστών.



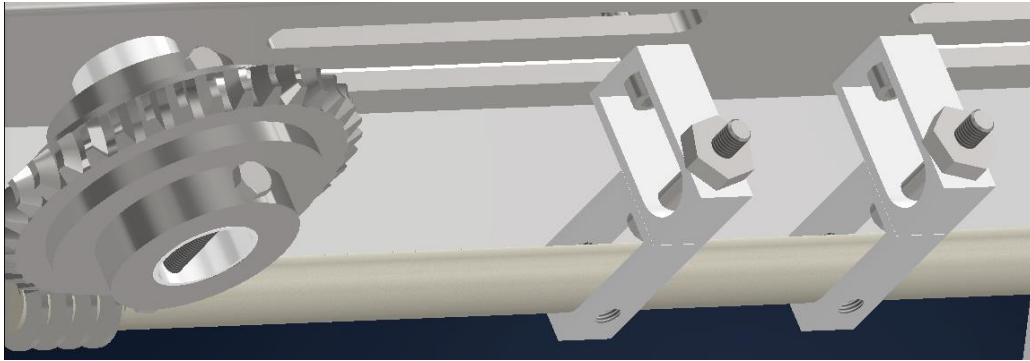
Εικόνα 3.37 Σύνδεση ατέρμονα κοχλία

Τέλος για να στηρίξουμε τον άξονα κίνησης, θα χρειαστεί να σχεδιάσουμε εξάρτημα που να τον στερεώνει στο σκελετό του μηχανισμού. Ένα εξάρτημα εύκολο στην καταργασία το οποίο μπορεί να επαναληφθεί όσες φορές χρειάζεται μέχρι να πετύχουμε τις ιδανικές αποστάσεις. Το εξάρτημα θα είναι πλάτους 40 χιλιοστών, βάθους 20 χιλιοστών και ύψους 80 χιλιοστών. Με 3 οπές M12 ώστε να γίνουν σωστά οι συνδέσεις με το σκελετό και με ίδια κομμάτια.



Εικόνα 3.38 Εξάρτημα σύνδεσης άξονα με τον σκελετό του μηχανισμού

Κάνοντας λοιπόν τις απαραίτητες συνδέσεις προκύπτει το παρακάτω.



Εικόνα 3.39 Η σύνδεση με τον σκελετό

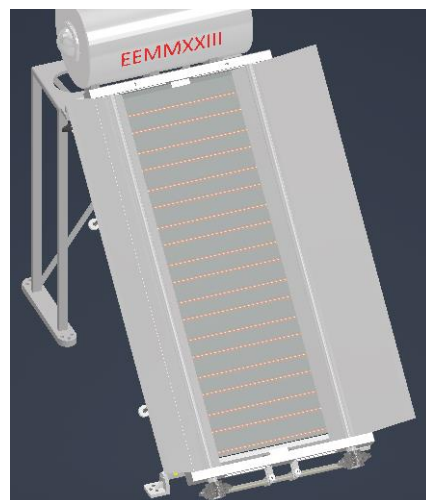
Θα ενωθούν μεταξύ τους 4 εξαρτήματα, με τη χρήση 4 βιδών τύπου Άλεν M12. Τα σημεία επαφής του κλειδιού Άλεν με τις βίδες είναι εντός των εξαρτημάτων (κρυφά) και με τρόπο ώστε να παρέχουν αντίσταση για τη σύσφιξη των κοχλιών στα εξαρτήματα.

3.5 Η τελική συναρμολόγηση των τμημάτων

Εδώ θα συνθέσουμε όλα τα εξαρτήματα και τους σχεδιασμούς στην τελική κατασκευή, ενώ σε επόμενες ενότητες θα δούμε τον αλγοριθμικό προγραμματισμό ώστε ο εγκέφαλος του συστήματος να αξιοποιεί πληροφορίες μετρήσεων, με την επεξεργασία των οποίων, θα δίνει εντολή στον μηχανισμό να ανοίγει ή να κλείνει τα φύλλα, όπως επίσης, θα ελέγξω τη στατικότητα του μηχανισμού και την αντοχή του σε ροπές.



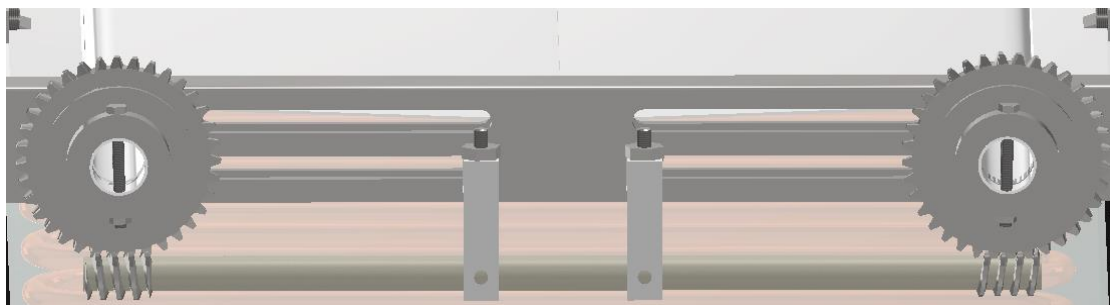
Εικόνα 3.40 Άποψη μηχανισμού σε κλειστή θέση



Εικόνα 3.41 Άποψη μηχανισμού σε ανοιχτή θέση



Εικόνα 3.42 Δαγκάνα, στερέωση στον ηλιακό



Εικόνα 3.43 Η σύνδεση του άξονα με τον σκελετό και η σύνδεση με τα φύλλα σκίασης

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Στη συνέχεια, απαιτείται να γίνει έλεγχος στη στατικότητα και την αντοχή της κατασκευής στις καιρικές συνθήκες. Θα χρησιμοποιήσουμε το περιβάλλον του Inventor ώστε να κάνουμε θεωρητικά πειράματα επάνω στις επιφάνειες. Οι έλεγχοι θα γίνουν με εφαρμογή δυνάμεων σε Newton (N). Καθώς ο υπολογισμός απαιτεί υψηλή υπολογιστική δύναμη θα αφαιρέσουμε τμήματα του ηλιακού θερμοσίφωνα και του σκελετού, ώστε το πρόγραμμα να μη χρειάζεται να υπολογίσει όλους τους περιορισμούς που συμβαίνουν μεταξύ των μερών (parts), τη δε θέση αυτών θα αντικαταστήσουμε με τις δυνάμεις που ασκούν τα βάρη τους στη κατασκευή.

4.1 Έλεγχος στατικότητας της κατασκευής

Πρώτα ερευνούμε το αν η κατασκευή μπορεί να στηρίξει το βάρος της. Για αυτή τη δοκιμή θα χρειαστεί να θέσουμε μια βαρυτική δύναμη που θα έλκει κάθε πεπερασμένο στοιχείο της κατασκευής.

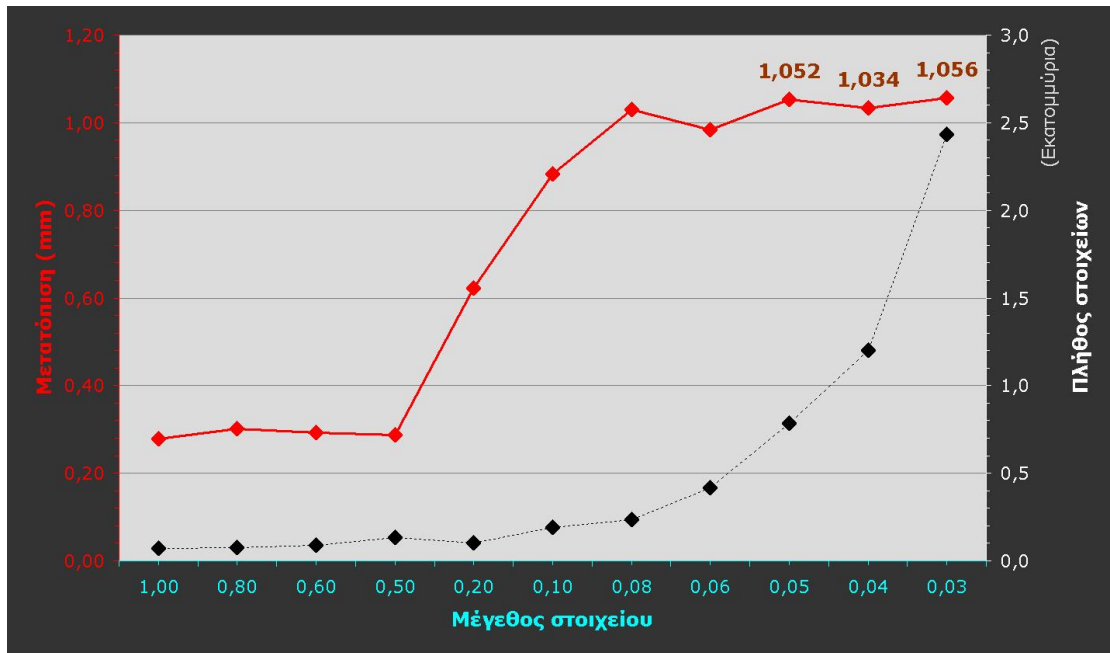
Προκειμένου να υλοποιηθεί η προσομοίωση, και με γνώμονα την μικρή υπολογιστική ισχύ που έχουμε στη διάθεση μας, θα ερευνήσουμε πρώτα σε τι μέγεθος στοιχείων (element size) και πλήθος κόμβων (nodes) θα χρειαστεί να τρέξουμε τα μοντέλα ώστε να προσεγγίσω τα πραγματικά στοιχεία. Έτσι, θα αφαιρέσουμε τον θερμοσίφωνα και τη βάση του και στις θέσεις τους θα εφαρμόσουμε δυνάμεις, ώστε να μην υπολογιστεί το πλέγμα (mesh) που τους αντιστοιχεί, επίσης, στις βάσεις του ηλιακού συλλέκτη θα εφαρμόσουμε πακτώσεις (fixed constraint).

Τις μετρήσεις θα τις ελέγξουμε με βάση τα αποτελέσματα της μετατόπισης της κατασκευής από το βάρος της.

Θα ξεκινήσουμε με μέγεθος στοιχείου (average element size) από 1,00 έως και 0,03.

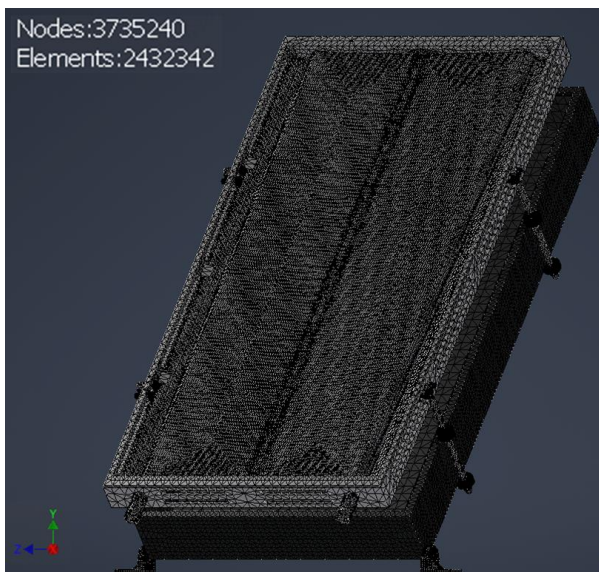
Το μέγεθος του ελάχιστου στοιχείου (minimum element size) να είναι από 10% έως 100% με σταθερό τον συντελεστή διαβάθμισης (grading factor) στο 1,5.

Η δε μέγιστη γωνία στοιχείου (maximum turn angle) να είναι στις 60 μοίρες.

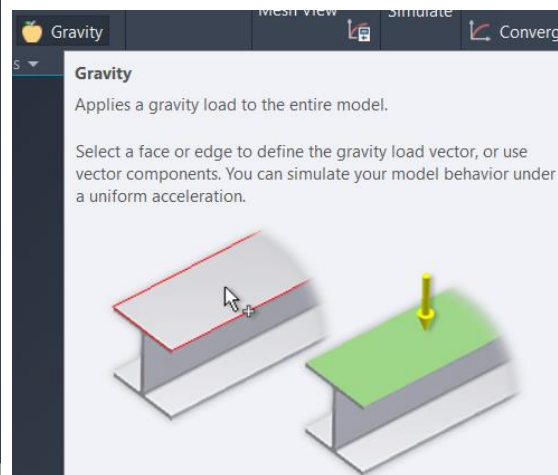


Εικόνα 4.1 Διάγραμμα της μετατόπισης και του πλήθους των στοιχείων συναρτήσει του μεγέθους του στοιχείου

Στη διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (βλ. τα αποτελέσματα στο [Παράρτημα 8.2](#)), παρατηρούμε ένα πλάτο στα μεγέθη στοιχείου 0,05, 0,04 και 0,03 στα οποία η μέγιστη μετατόπιση (displacement) παραμένει σταθερή, μεταβαλλόμενη πλέον κατά εκατοστά του χιλιοστού. Οπότε, για τα υπόλοιπα μοντέλα θα κρατήσουμε το μέγεθος στοιχείου στα 0,03 χιλιοστά.



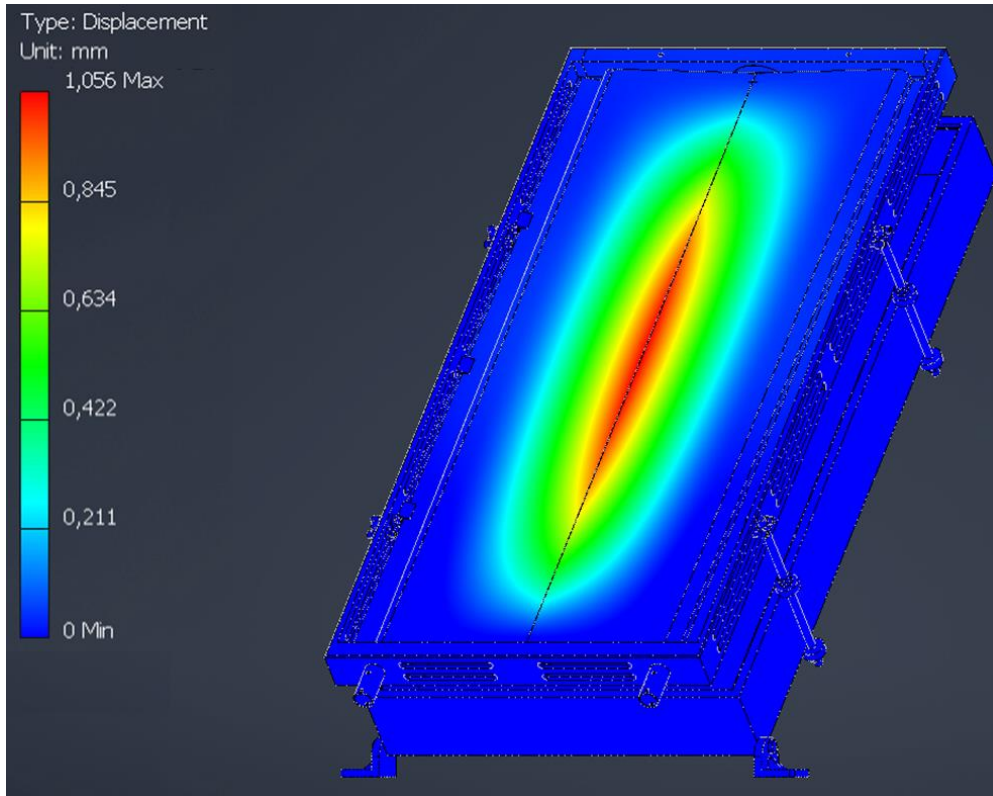
Εικόνα 4.2 Άποψη πεπερασμένων στοιχείων



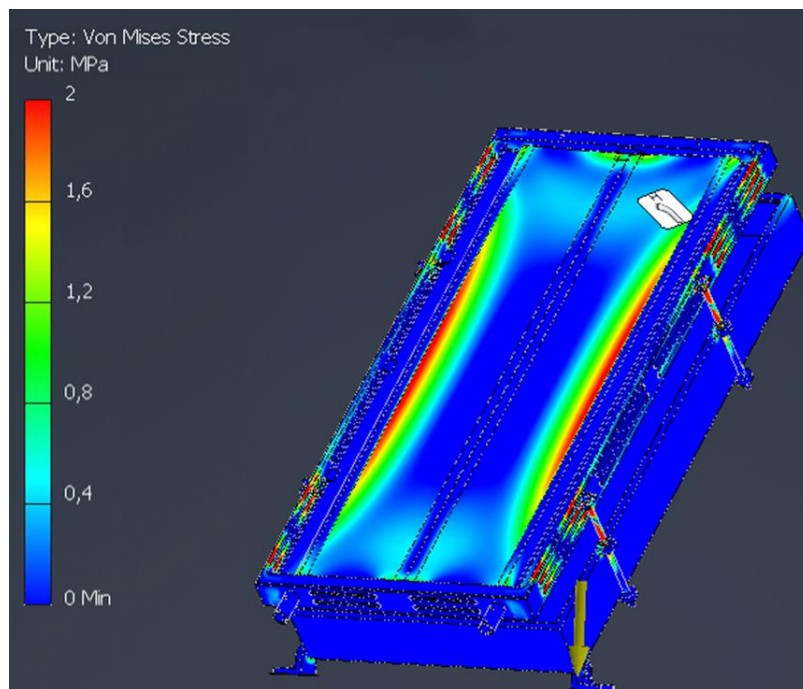
Εικόνα 4.3 Εντολή εφαρμογής βαρυτικής δύναμης

Δίνοντας την εντολή εφαρμόζεται επιτάχυνση $9,81 \text{ m/s}^2$ σε όλα τα πεπερασμένα στοιχεία της κατασκευής, έχοντας επιλέξει μια κάθετη ακμή ως οδηγό της φοράς για να προσομοιωθεί η βαρυτική έλξη.

Παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 4.4 Έλεγχος μετατόπισης του πλαισίου



Εικόνα 4.5 Αποψη τάσεων Von Mises

Από την ανάλυση τάσεων Von Mises λαμβάνουμε αναμενόμενα αποτελέσματα, άθροιση τάσεων στις βάσεις του πλαισίου και τόξο τάσεων στα φύλλα, τα οποία στηρίζονται από τους άξονες τους. Τέλος, παρατηρούμε μεγαλύτερες τάσεις στα τμήματα του πλαισίου που είναι εκτός των άνω και κάτω βάσεων.

Ο μηχανισμός μπορεί να τοποθετηθεί επί του ηλιακού συλλέκτη. Παρατηρούμε πως η μέγιστη μετατόπιση που μπορεί να συμβεί είναι στο κέντρο των φύλλων, στο σημείο δηλαδή που δεν υπάρχει κανένα σημείο στήριξης. Η δε παραμόρφωση αυτή είναι αμελητέα καθώς πρόκειται για 1 χιλιοστό.

Ο συντελεστής ασφαλείας βεβαιώνει πως η κατασκευή μπορεί να στηρίξει το βάρος της κατά 2,3 φορές.



Εικόνα 4.6 Δείκτης ασφαλείας για τον έλεγχο στατικότητας της κατασκευής

4.2 Έλεγχος αντοχής της κατασκευής σε χιονοκάλυψη

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι δυνατό να διατηρήσουν μια κάλυψη από χιόνι. Η δύναμη που ασκείται, από τη μάζα της χιονοκάλυψης πάνω στην κατασκευή, είναι ανάλογη της πυκνότητας του χιονιού. Έτσι θα υπολογίσουμε αν η κατασκευή, επιφάνειας 2 τετραγωνικών μέτρων, μπορεί να αντέξει το επιπρόσθετο βάρος. Η υπόθεση είναι πως το ύψος (πάχος) του στρώματος χιονοκάλυψης θα φτάσει τα 0,4 μέτρα, όπως επίσης θα επιλέξω από το εύρος πυκνότητας που κυμαίνεται από 50kg/m^3 (φρέσκο χιόνι) έως 800kg/m^3 (υγρό-συμπαγές χιόνι), μια πυκνότητα που να ανταποκρίνεται στις καιρικές συνθήκες στην Ελλάδα.

Οπότε από την εξίσωση της δύναμης $F = W_{\text{χιονιού}}$:

$$W = M * g[N]$$

Όπου

M είναι η μάζα του χιονιού [kg]

g είναι η επιτάχυνση βαρύτητας [m/s^2], η μέση επιτάχυνση βαρύτητας είναι $g=9,81 \text{ m/s}^2$

Για τον υπολογισμό της μάζας M

$$M = D * V [kg]$$

Όπου

D είναι η πυκνότητα του χιονιού [kg/m^3], στην προκειμένη $D=100 \text{ kg/m}^3$

V είναι ο όγκος [m^3]

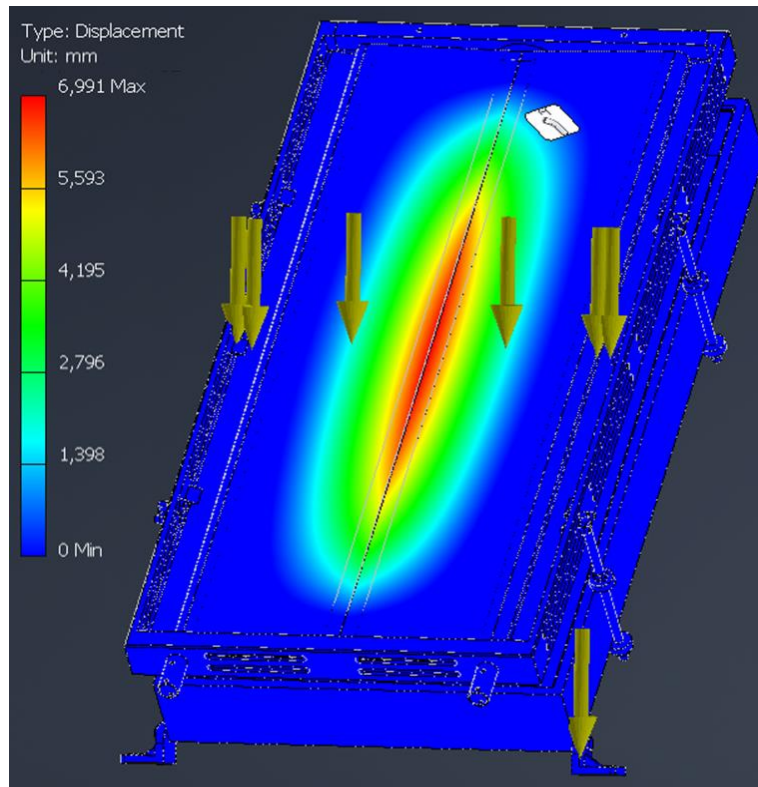
Υπολογίζουμε τη μάζα του χιονιού

$$M = 100 * (2.1 * 1 * 0.4) = 84\text{kg}$$

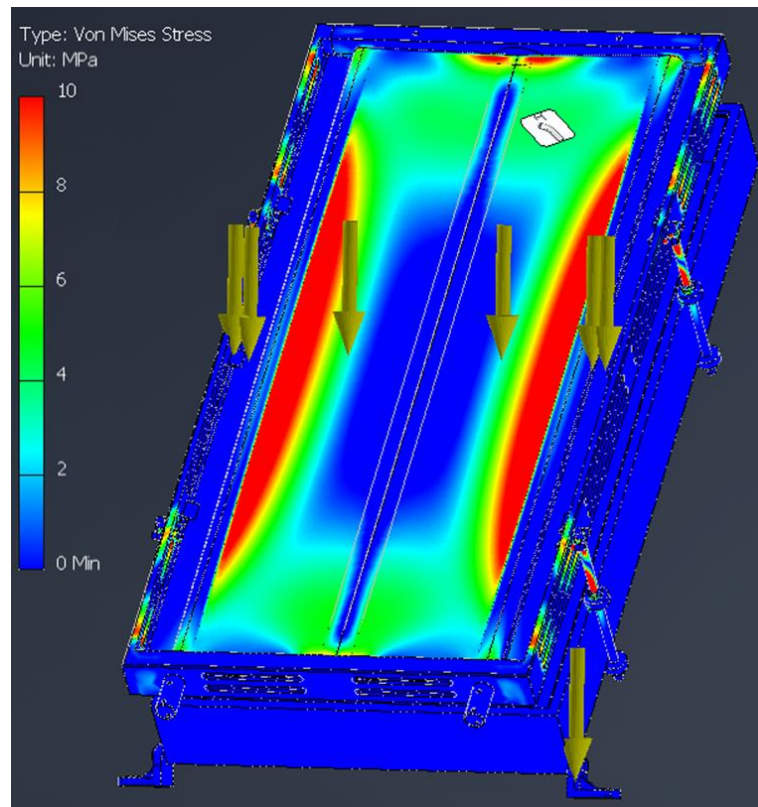
Προκύπτει

$$W = 84 * 9.81 = 824 \text{ N}$$

Άρα για συγκέντρωση χιονιού ύψους 40 εκατοστών θα ασκηθεί στην κατασκευή δύναμη $F=824 \text{ N}$, η οποία στη συνέχεια θα καταχωρηθεί στο πρόγραμμα προσομοίωσης.



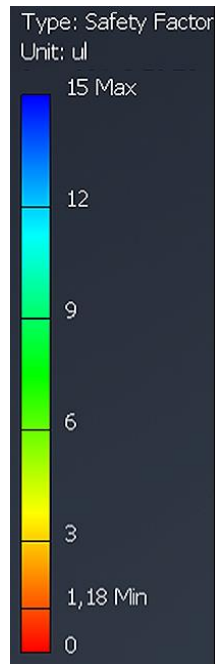
Εικόνα 4.7 Έλεγχος μετατόπισης κατασκευής σε όλη την επιφάνεια του σκελετού, από χιονοκάλυψη ύψους 40 εκατοστών



Εικόνα 4.8 Υπολογισμός τάσεων Von Mises για την περίπτωση συγκέντρωσης χιονιού επί της κατασκευής.

Τα αποτελέσματα είναι όπως περιμέναμε, λόγω του επιπρόσθετου βάρους αυξάνονται και οι συγκεντρώσεις τάσεων. Στα άνω και κάτω μεσαία σημεία, η κόκκινη περιοχή οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν οι βάσεις στήριξης.

Η κατασκευή παραμορφώνεται με μέγιστη τιμή τα 7/10 του χιλιοστού, δηλαδή εντός των ορίων της ελαστικής παραμόρφωσης. Ενώ ο συντελεστής ασφαλείας, μας δείχνει πως αντέχει αύξηση του βάρους έως 20%.



Εικόνα 4.9 Δείκτης συντελεστή ασφαλείας από καταπόνηση κάθετη στον ορίζοντα

4.3 Έλεγχος αντοχής σε πλευρικούς ανέμους

Εδώ θα υπολογίσουμε την ανθεκτικότητα του μηχανισμού σε ανέμους μεγάλης ταχύτητας. Η κλίμακα Μποφόρ (Beaufort), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό έντασης των ανέμων. Ο έλεγχος που θα γίνει, θα υπολογιστεί με ταχύτητα ανέμου που αντιστοιχεί σε χαρακτηρισμό κυκλώνα, δηλ στα 12 μποφόρ, και με την κατασκευή να είναι σε απενεργοποιημένη κατάσταση. Στους υπολογισμούς θα βρούμε τη δύναμη που ασκείται στην κατασκευή, για ροές ανέμου κάθετες στην πλάγια όψη.

Η εξίσωση της δύναμης F έχει τύπο :

$$F = A * P * Cd [N]$$

Όπου

A είναι το εμβαδόν της πλάγιας όψης [m^2]

P είναι η πίεση που ασκείται στην επιφάνεια [N/m^2]

Cd είναι ο συντελεστής οπισθέλκουσας, και θα θεωρηθεί $Cd=1,28$ καθώς η επιφάνεια είναι κάθετη της ροής του ανέμου.

Για τον υπολογισμό της πίεσης P :

$$P = 0.613 * V^2 [N/m^2]$$

Όπου

V είναι η ταχύτητα του ανέμου [m/s], η δε βαθμίδα 12 μποφόρ αντιστοιχεί σε ταχύτητα $V=33 m/s$

Με βάση αυτά υπολογίζουμε το εμβαδό και την πίεση

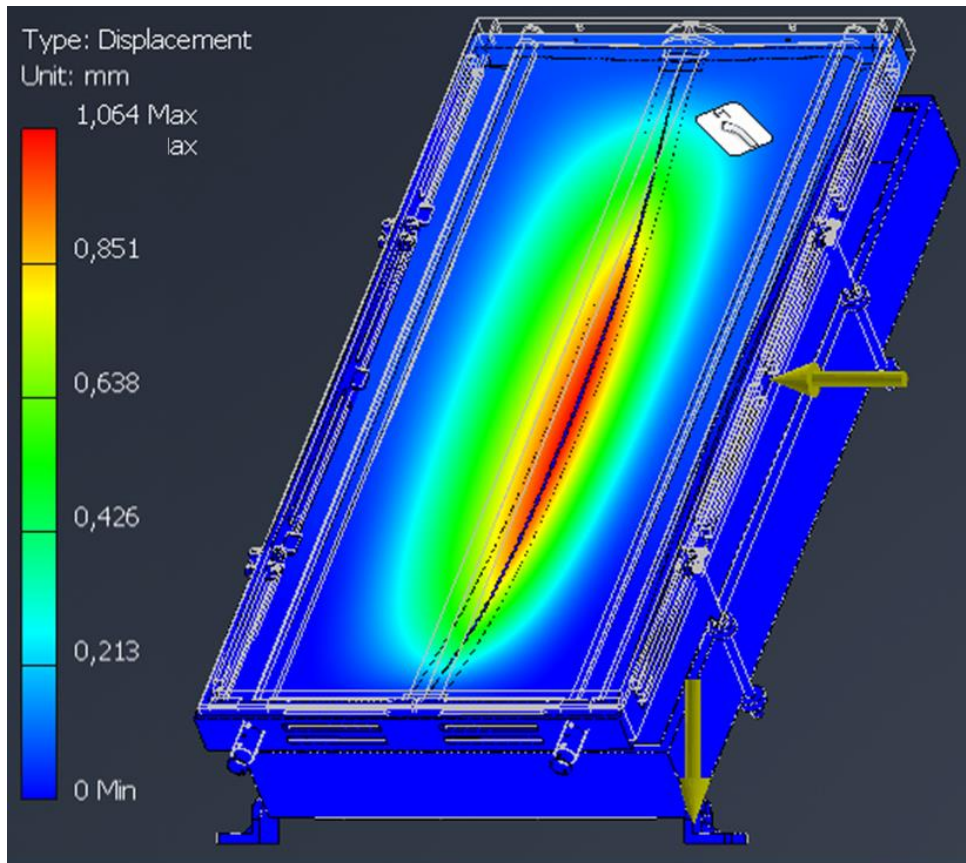
$$A = Μήκος * Ύψος = 2.1 * 0,1 = 0,21 m^2$$

$$P = 0.613 * 33^2 = 667.6 N/m^2$$

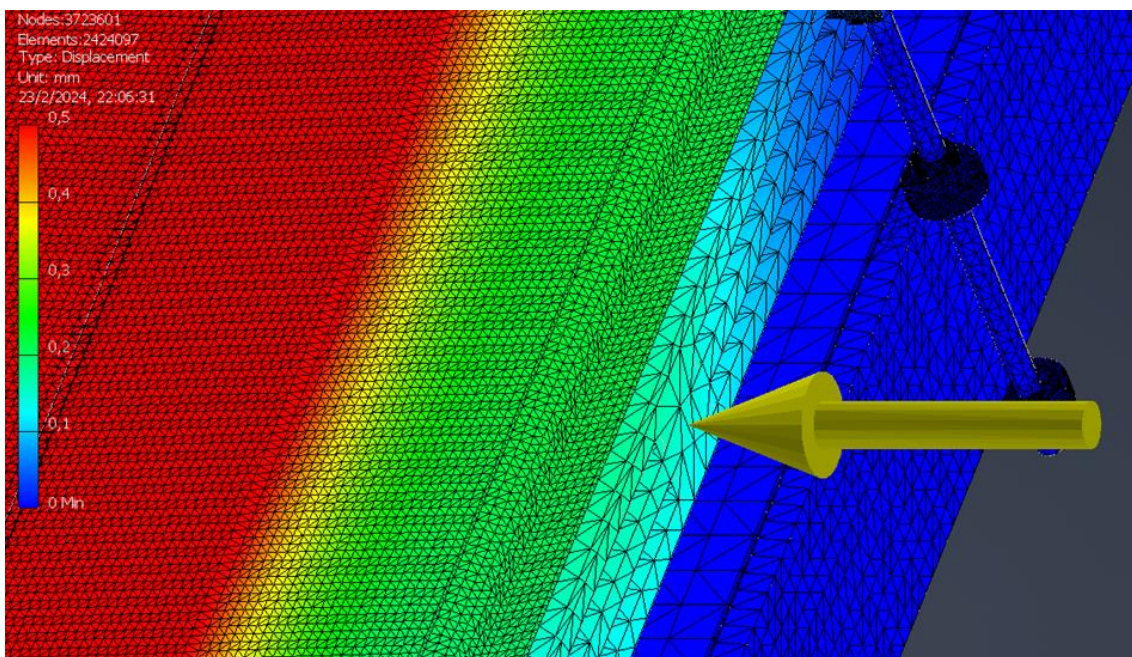
Προκύπτει

$$F = 0.21 * 667.6 * 1.28 = 178 N$$

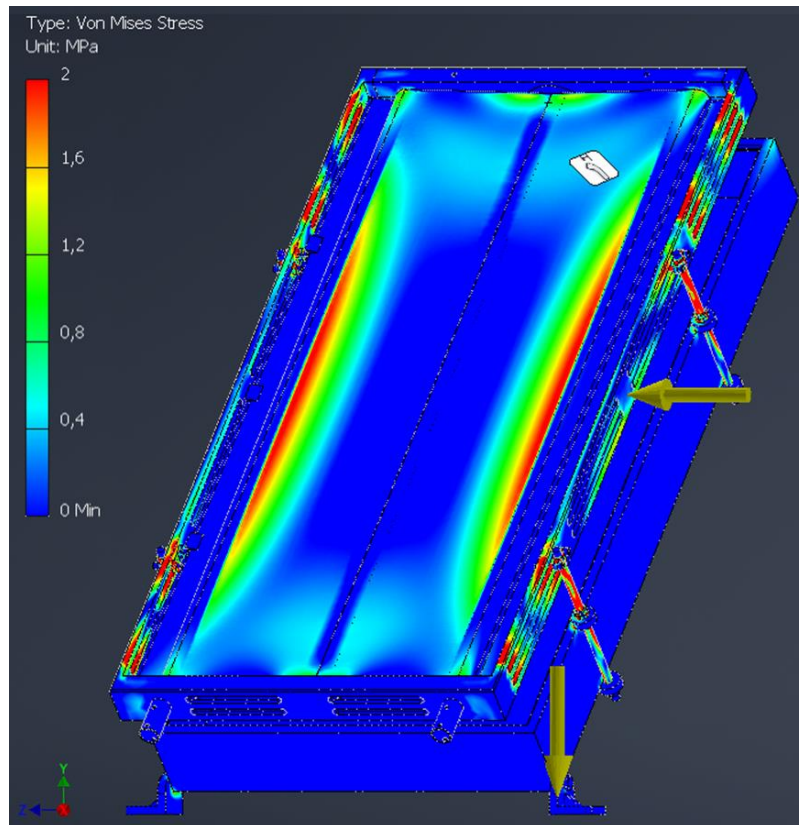
Άρα για ταχύτητα ανέμου 12 μποφόρ θα ασκηθεί δύναμη **F=178 N**, την οποία τώρα εφαρμόζουμε στην πλάγια όψη της κατασκευής, και προκύπτουν τα παρακάτω.



Εικόνα 4.10 Έλεγχος μετατόπισης της κατασκευής από πλευρικό άνεμο 12 μποφόρ



Εικόνα 4.11 Μεγέθυνση στο μέσο της έδρας που εφαρμόζεται η δύναμη



Εικόνα 4.12 Υπολογισμός τάσεων Von Mises από πλευρικό άνεμο 12 μποφόρ

Παρατηρούμε μια συγκέντρωση τάσεων (<0,8MPa) στο μέσο της πλευράς του πλαισίου που δέχεται τη δύναμη. Το οποίο είναι λογικό καθώς πρόκειται για το μέσον, όπως προαναφέραμε, οπότε η ελαστικότητα του υλικού σε εκείνο το σημείο είναι μεγαλύτερη.

Η κατασκευή παραμορφώνεται ελάχιστα με μέγιστη τιμή 1 εκατοστό, δηλ εντός ορίων της ελαστικής παραμόρφωσης. Ενώ ο συντελεστής ασφαλείας, μας δείχνει πως αντέχει την ταχύτητα αυτή κατά 2,4 φορές.



Εικόνα 4.13 Δείκτης συντελεστή ασφαλείας από πλευρική καταπόνηση ανέμου

5. Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός της κατασκευής, πρέπει να δοθεί στο σύστημα κίνηση, αντίστοιχα όπως το ανθρώπινο σώμα χρειάζεται το νευρικό του σύστημα για να λειτουργήσει τον σκελετό και τους μύες.

5.1 Προγραμματισμός κίνησης των φύλλων

Ο χειρισμός του μηχανισμού θα γίνεται με δύο τρόπους, ο πρώτος τρόπος θα είναι αυτόματα και ο δεύτερος χειροκίνητα από τον χρήστη.

Τον έλεγχο του συστήματος θα αναλάβει ένας εγκέφαλος, ο οποίος θα λαμβάνει δεδομένα από το θερμοδοχείο του ηλιακού και με βάση αυτά θα κρίνει αν πρέπει τα φύλλα να παραμένουν ανοιχτά ή κλειστά.

Για να γίνεται η λήψη των δεδομένων θερμοκρασίας θα χρειαστεί ένα σήμα που θα προέρχεται από ένα θερμοστοιχείο το οποίο θα μετατρέπει τη θερμοκρασία σε τάση. Τα θερμοστοιχεία είναι τυποποιημένα οπότε γνωρίζουμε, με βάση την τάση που δίνουν σε mV, ποια είναι η θερμοκρασία με την οποία έρχονται σε επαφή. Το θερμοστοιχείο θα εφαρμοστεί σε ένα κυάθιο του οποίου το σπείρωμα εφαρμόζεται απόλυτα σε αυτά του ηλιακού.

Αφού γίνει λήψη του σήματος, ο εγκέφαλος θα τροφοδοτεί ή όχι τον κινητήρα ώστε να αλλάξει τη θέση των φύλλων. Ο κινητήρας θα συνδέεται με τον ατέρμονα κοχλία.

Η όλη τροφοδοσία του συστήματος μπορεί να γίνει είτε από την ηλεκτρική παροχή της οικίας είτε με κάποιο εγκατεστημένο ηλιακό πάνελ ώστε το σύστημα να είναι ενεργειακά αυτόνομο.



Εικόνα 5.1 Θερμοστοιχείο
[VEMER S.P.A]



Εικόνα 5.2 Κυάθιο εμβαπτίσεως
[IMIT]

Reference Table for Type B Thermocouples
Thermoelectric Voltage in mV
Temperature in °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003
20	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
30	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
50	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006
60	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011
70	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.014	0.015	0.015	0.016	0.017	0.017
80	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023	0.024	0.025
90	0.025	0.026	0.026	0.027	0.028	0.029	0.030	0.031	0.031	0.032	0.033

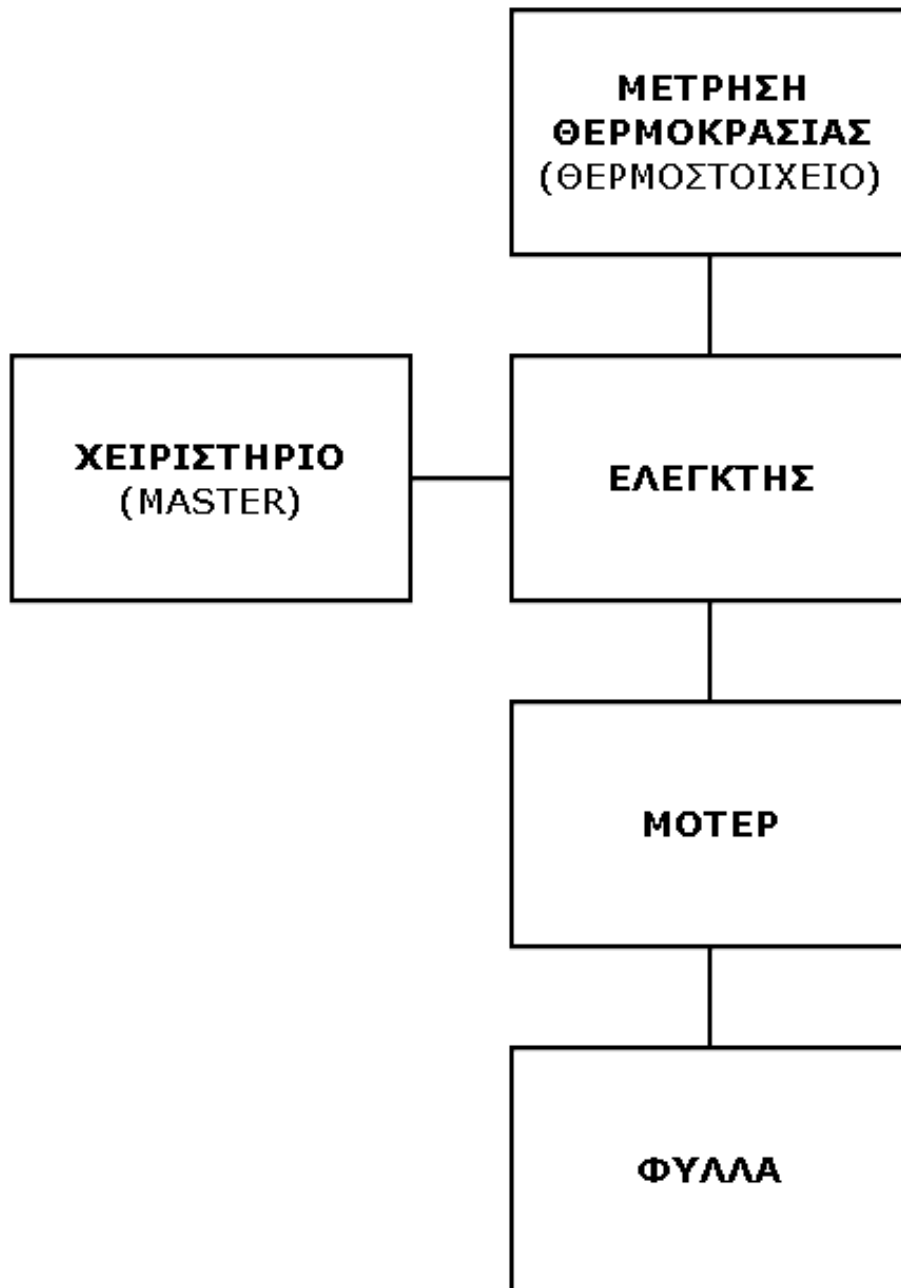
Εικόνα 5.3 Παράδειγμα πίνακα θερμοζεύγους τύπου B, με αντιστοιχίες τιμών °C και τάσης mV [Delta Controls Corporation]

Η χειροκίνητη λειτουργία θα επιτυγχάνεται με ένα χειριστήριο, το οποίο θα έχει μόνο μια επιλογή, τη θέση αυτόματης λειτουργίας ή τη θέση απενεργοποίησης του συστήματος.

Ο χρήστης θα αποφασίζει αν θέλει τα φύλλα να παραμένουν κλειστά, έως ότου αυτός θελήσει να ενεργοποιήσει ξανά την αυτόματη λειτουργία.

Η χρήση ενδεχομένως να είναι σε δεύτερη κατοικία, οπότε ο χρήστης θα απουσιάζει για μεγάλα διαστήματα, είτε θα είναι σε μόνιμη κατοικία αλλά ο χρήστης θα γνωρίζει πως θα ακολουθήσουν καιρικά φαινόμενα, οπότε, με την απενεργοποίηση του συστήματος τα φύλλα κάλυψης θα έρχονται στη θέση στην οποία θα προστατεύουν τον ηλιακό συλλέκτη. Εκτός από οικιακή χρήση μπορεί να εγκατασταθεί και σε ξενοδοχειακή μονάδα, όπου η χρήση του νερού θα είναι εποχιακή με μεγάλα διαστήματα αδράνειας του συστήματος.

Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σύστημα που αντικαθιστά τα καλύμματα του ηλιακού θερμοσίφωνα (βλ. [Εικόνα 2.3](#) Κάλυμμα ηλιακού θερμοσίφωνα), η δε κάλυψη του συλλέκτη θα μπορεί να γίνεται χωρίς ο χρήστης να είναι επί του σημείου.



Εικόνα 5.4 Διάγραμμα ροής

Ακολουθεί ο αλγοριθμικός προγραμματισμός του εγκεφάλου, σε ανοιχτή γλώσσα (περιφραστική).

- - - - - **ΑΡΧΗ** αλγόριθμου

ΓΕΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

[Καθοριζόμενες εξωτερικά]

μτβλ Μέγιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία [°C] = 70

μτβλ Ελάχιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία [°C] = 50

[Καθοριζόμενες στο σύστημα]

μτβλ Χρονοκαθυστέρηση [λεπτά] = 10

μτβλ Μέγιστη_Τάση [mV]

μτβλ Ελάχιστη_Τάση [mV]

- - -

ΕΚΚΙΝΗΣΗ_ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ()

Μέγιστη_Τάση =

ΤΑΣΗmV_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(Μέγιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία)

Ελάχιστη_Τάση =

ΤΑΣΗmV_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(Ελάχιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία)

- - -

ΚΥΚΛΟΣ_ΕΛΕΓΧΟΥ()

μτβλ Τάση_Θερμοστοιχείου [mV] = εισερχόμενη τάση από το θερμοστοιχείο

Αν φύλλα σε ανοιχτή θέση

Αν Τάση_Θερμοστοιχείου > Μέγιστη_Τάση, τότε : κλείσε φύλλα

Αν φύλλα σε κλειστή θέση

Αν Τάση_Θερμοστοιχείου < Ελάχιστη_Τάση, τότε : άνοιξε φύλλα

Περίμενε για χρόνο = Χρονοκαθυστέρηση

επιστροφή

- - -

ΤΑΣΗmV_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(μτβλ Θερμοκρασία)

Αντιστοίχιση τιμής θερμοκρασίας με τιμή τάσης [mV]

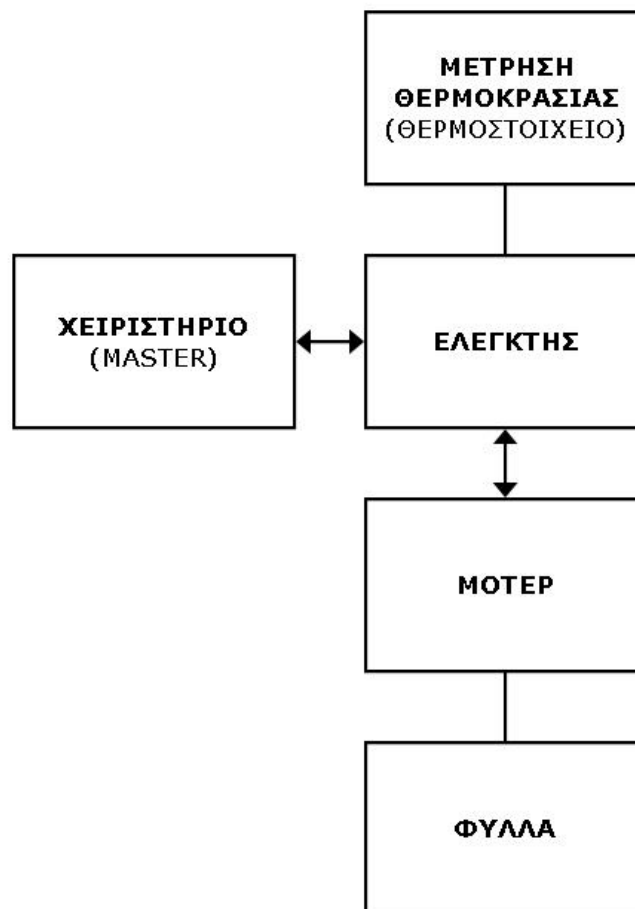
Επιστροφή τιμής τάσης [mV]

- - - - - **ΤΕΛΟΣ** αλγόριθμου

5.2 Εντολή κίνησης με ανατροφοδότηση (feedback)

Η αυτόματη λειτουργία μπορεί να μην επιτυγχάνει πάντα το αποτέλεσμα για το οποίο έχει προγραμματιστεί. Όπως τα ανθρώπινα άκρα, όταν έχουν πληγωθεί και χρειάζονται φροντίδα, στέλνουν σήμα στο κέντρο ελέγχου (εγκέφαλος), έτσι θα χρειαστεί να λαμβάνονται μηνύματα από τυχόν επιπλοκές.

Για να αυξήσω τον χρόνο ζωής του μηχανισμού είναι απαραίτητη μια εντολή που θα εξυπηρετεί την ανατροφοδότηση και την ειδοποίηση ταυτόχρονα, δηλ μια εντολή που θα καλύπτει τις αναρτημένες συνθήκες του παραρτήματος του προηγούμενου υποκεφαλαίου. Ο κινητήρας με ένα αισθητήρα θα μπορεί να ελέγχει το αν συναντά αντίσταση κατά την κίνηση των φύλλων. Αυτό μπορεί να συμβαίνει για διάφορους λόγους, όπως χιόνι πάνω στα φύλλα κάλυψης ή κάποιο εμπόδιο που έχει τοποθετηθεί επάνω σε αυτά. Για να μην προσπαθεί επανειλημμένα να εκτελέσει την εντολή προκαλώντας τυχόν βλάβη, θα επανέρχεται στην προηγούμενη θέση (ανατροφοδότηση) και θα ειδοποιεί τον χρήστη να προσεγγίσει τον ηλιακό ώστε να ελέγξει την κατασκευή.



Εικόνα 5.5 Διάγραμμα ροής με εφαρμογή της ανατροφοδότησης (feedback)

Η ειδοποίηση μπορεί να εμφανίζεται σε μια οθόνη που θα είναι επί του χειριστηρίου, και μπορεί να συνοδεύεται από ένα ηχητικό σήμα ώστε να τραβήξει πιο εύκολα την προσοχή του χρήστη. Οι επιλογές που θα έχει μετά ο χρήστης είναι είτε να κλείσει το σύστημα - εδώ υπάρχουν διάφορες δυνατότητες εξ αποστάσεως - είτε να πάει στο σημείο του ηλιακού θερμοσίφωνα.



Εικόνα 5.6 Άποψη του επίτοιχου χειριστηρίου όπου ειδοποιεί τον χρήστη πως υπάρχει σφάλμα στην κίνηση των φύλλων

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος εμπλουτίζεται ανάλογα, με τις λειτουργίες ανατροφοδοτήσεων. Για ευκολία στην ανάγνωση του, παραθέτω τον αλγόριθμο σε περιφραστική γλώσσα (βλ. [8. Παράρτημα, 8.1](#)).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Φτάνοντας στο τέλος της εργασίας, παρατηρήσαμε πως προκύπτουν ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω επεξεργασίας. Ο μηχανισμός προστασίας δεν είναι έτοιμος ακόμη να ενταχθεί στην αγορά καθώς με τον τρέχοντα σχεδιασμό του είναι υψηλό το απαιτούμενο κόστος υλικών και ανθρωποωρών εργασίας. Με βάση τους υπολογισμούς που διεξήγαμε το κόστος της πρώτης ύλης υπερβαίνει τα 470€, τα δε πάγια έξοδα για τη μίσθωση κατάλληλου εργατικού δυναμικού με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς είναι πολλαπλάσια των 470€, με εύρος 940€ έως 1410€. Το συνολικό κόστος είναι μεγαλύτερο από την αγορά και εγκατάσταση ενός καινούργιου ηλιακού θερμοσίφωνα.

Όσον αφορά, λοιπόν, την κοστολόγηση της κατασκευής, στον πίνακα 6.2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές, τα είδη, τα απαραίτητα τεμάχια από κάθε είδος, οι διαστάσεις και το βάρος ανά τεμάχιο.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Πλαίσιο ρολού	
2	1	Φύλλο δεξί	
3	1	Φύλλο αριστερό	
4	2	Κοχλίας φύλλου	
5	4	AS 1110 - M10 x 100	ISO metric hexagon precision bolts and screws
6	4	AS 1474 - M10	Hex Nut
7	4	Στήριγμα κοχλία	
8	1	Ατέρμονας κοχλίας	
9	2	Οδοντωτός τρόχος 35 οδόντων	
10	2	Ατέρμονας κοχλίας	
11	1	Κούμπωμα Άξονα	
12	4	Ντίζα 500mm	
13	8	Στήριγμα	
14	4	Βίδωμα ντίζας	
15	12	Παξιμάδι M12 για εσωτερικού πλαισίου	
16	8	BS EN ISO 4762 - M12 x 60	Hexagon Socket Head Cap Screw
17	2	AS 1420 - 1973 - M12 x 100	ISO metric hexagon socket head cap screws
18	4	BS EN ISO 4762 - M12 x 70	Hexagon Socket Head Cap Screw

πίνακας 6.1 Λίστα υλικών

Τμήμα	Είδος	Διάσταση			Υλικό	Τεμ.	kg/τεμ.	Σkg	€/kg	Σ€
		1	2	3						
1.1	Λάμα	100	20	2100	Al 6063	2	11,34	22,68	5,70	129,28
1.2	Λάμα	100	50	960	Al 6063	2	12,96	25,92	5,70	147,74
2.0	Λάμα	50	50	910	Al 6063	1	6,14	6,14	5,70	35,01
3.1	Σωλήνας	50	2,5	2200	Al 6063	2	2,22	4,43	12,00	53,20
3.2	Φύλλο	3	380	2000	Al 5754	2	6,16	12,31	5,40	66,48
3.3	Φύλλο	3	90	2000	Al 5754	2	1,46	2,92	5,40	15,75
4.0	Άξονας	60	-	20	Al 6082	8	0,15	1,22	6,50	7,94
5.0	Λάμα	70	20	30	S235JR	4	0,34	1,34	1,10	1,48
6.0	Λάμα	40	30	80	S235JR	4	0,77	3,07	1,10	3,38
8.0	Άξονας	180	-	80	S355JR	2	16,29	32,57	1,70	55,37
8.1	Άξονας	45	-	820	S235JR	1	10,43	10,43	1,00	10,43
Σύνολο								123,05		526,06

πίνακας 6.2 Κοστολόγηση υλικών

Από τα συγκεντρωτικά στοιχεία του πίνακα προκύπτει πως το κόστος υλικών της κατασκευής υπολογίζεται στα 526€ προ ΦΠΑ με βάση τις τρέχουσες τιμές της αγοράς. Δεν έχει συμπεριληφθεί το κόστος για υλικά που είναι κοινά στο εμπόριο όπως βίδες, κοχλίες και ντίζες, επειδή είναι αμελητέο. Λόγω της ιδιαιτερότητας των διεργασιών που απαιτούνται για την παραγωγή του μηχανισμού, καθώς χρειάζεται υψηλή τεχνογνωσία και εξειδίκευση, η αμοιβή του ανθρώπινου δυναμικού κυμαίνεται σε δύο έως τρεις φορές το κόστος των υλικών, δηλ από 1050€ έως 1580€. Έτσι, συνολικά το κόστος των υλικών και τα πάγια κόστη για το ανθρώπινο δυναμικό υπερβαίνουν τα 1500€ ανά τεμάχιο. Συνεπώς, καταλαβαίνουμε πως είναι ασύμφορη πρόταση μια τέτοια κατασκευή, δεδομένου ότι η αγορά ενός νέου ηλιακού θερμοσίφωνα ο οποίος κατηγοριοποιείται στα προϊόντα υψηλής ποιότητας (high-end) είναι πιο οικονομική. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε ενδεικτικά τις αξίες τριών ηλιακών θερμοσίφωνων διαφορετικής κλίμακας (χαμηλής, μεσαίας, και υψηλής).

Maltezos Sunp Glass 160Lt 1.95m ² II	815 €
CALPAK MARK 5 125Lt 2,1m ² II	745 €
RIVO ST Glass 120Lt 2m ² II	660 €

πίνακας 6.3 Μάρτιος 2024

Καθαρή αξία ηλιακών θερμοσίφωνων, χαμηλής, μεσαίας και υψηλής κλίμακας

Επιπροσθέτως ένα άλλο ζήτημα που παρατηρείται είναι ότι η ιδέα δεν μπορεί να εφαρμοστεί από την πλειοψηφία των εργοστασίων ή μηχανουργείων παραγωγής ειδών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Η κατασκευή χρειάζεται υψηλό επίπεδο τεχνογνωσίας, το οποίο στην Ελλάδα είναι περιορισμένο σε μικρό κομμάτι του ανταγωνισμού και είναι απαραίτητη η ύπαρξη υποδομών ειδικών εφαρμογών που να

μπορούν να την στηρίξουν. Στην περίπτωση που κάποιος διαθέτει τα κεφάλαια, η ιδέα θα δημιουργούσε μια αγορά δυο ταχυτήτων στο σύνολο των ηλιακών θερμοσιφώνων. Μια αγορά που θα στηριζόταν σε εργοστάσια μικρής κλίμακας αφενός και αφετέρου εργοστάσια που θα είχαν πλεονέκτημα με τη διάθεση της ιδέας ως καινοτόμο σύστημα ασφαλείας, με αποτέλεσμα ότι στην ελληνική αγορά θα ήταν αδύνατο να αναπτυχθεί υγιής ανταγωνισμός ώστε να μειωθεί το κόστος περαιτέρω.

Συμπληρωματικά διεξάγοντας μια διπλωματική εργασία τέτοιου είδους, θεωρούμε πως είναι απαραίτητη η ανταλλαγή ιδεών μεταξύ ειδημόνων στο πεδίο (brainstorming). Η ιδέα μπορεί να είναι εφαρμόσιμη δομικά και στατικά, προς το παρόν ωστόσο είναι μη συμφέρουσα οικονομικά, γεγονός που φανερώνει την ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία της ώστε να μπορέσει να απορροφηθεί από την αγορά.

Φαίνεται από τα παραπάνω ότι υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω μελέτη της εργασίας. Καταρχήν δεν έχει γίνει η ηλεκτρολογική μελέτη του έργου. Επιπλέον χρειάζεται επανεξέταση και αναζήτηση εναλλακτικών υλικών και τρόπου σχεδιασμού για μείωση του κόστους παραγωγής. Τέλος πρέπει να διερευνηθεί αν η κατασκευή μπορεί να αξιοποιηθεί ως βάση για άλλες μελέτες τόσο στον τομέα της ηλιακής ενέργειας όσο και σε άλλους τομείς.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ιωάννης Κ Στεργίου, Κωνσταντίνος Ι Στεργίου (2003). *Στοιχεία μηχανών Ι*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική. ISBN 9789608165465

Στεργίου Κωνσταντίνος Ι (2004). *Σχεδιασμός των κατασκευών*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική. ISBN 9789608165809

Kenneth McMartin (2014). *Propylene Glycol*. In: Philip Wexler (ed) *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)*, pp. 1113–1116. London: Academic Press. ISBN 9780123864550

Shojaeizadeh E, Veysi F, Yousefi T, F Davodi (2014). *An experimental investigation on the efficiency of a Flat-plate solar collector with binary working fluid: A case study of propylene glycol (PG)-water*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol.53 pp.218-226. Amsterdam: Elsevier.

Monticelli C, Brunoro G, Trabanelli F G, Frignani A (1986). *Corrosion in solar heating systems. I Copper behaviour in water/glycol solutions*. Article. Vol.37, pp.479-484. New Jersey: Wiley.

Yanjun Li, José Fernández-Seara, Kai Du, Ángel Álvarez Pardiñas, Luis Lugo Latas, Weixue Jiang (2016). *Experimental investigation on heat transfer and pressure drop of ZnO/ethylene glycol-water nanofluids in transition flow*. *Applied Thermal Engineering*, vol.93 pp.537-548. Amsterdam: Elsevier.

Paterson W S B (1994). *The Physics of Glaciers*. Oxford: Elsevier Science.

Reginald R Muskett (2012). *Remote Sensing, Model-Derived and Ground Measurements of Snow Water Equivalent and Snow Density in Alaska*. Table 1. *International Journal of Geosciences* 3(05):1127-1136 DOI: 10.4236/ijg.2012.35114

Chris Laughton (2010). *Solar Domestic Water Heating*. Oxford: Routledge. ISBN 9781844077366

Garg H P (1985). *Solar Water Heating Systems*. Proceedings of the Workshop on Solar Water Heating Systems New Delhi, India 6–10 May, 1985. Conference Papers: Anna Mani. *Solar Radiation*, pp.15-35. H P Garg. *Components of Solar Water Heaters*, pp.37-59. H. P. Garg. *Absorber Plate Configuration and Optimization*, pp.93-111. S P Sukhatme. *Hot Water Storage Systems*, pp.113-123. M. Ramakrishna Rao. *Instrumentation and Controls for Solar Water Heating*

System, pp.179-198. R S Soin. *Galvanised Steel Solar Absorber - Its Choice, Corrosion Rate and Expected Life*, pp.199-230. N K Bansal, Jugal Kishor. *Heat Exchanger Optimization for Hot Water Heating System*, Fig.1 p.257. Ashok Malhotra. *Flow and Heat Transfer of Water in Pipes*, pp.291-298. Dordrecht: Springer. ISBN 9789027721365

Bob Ramlow (2006). *Solar Water Heating*. Gabriola, BC: New Society Publishers.

Khalil Kassmi (2021). *Solar Water Heating - Fundamentals and Applications*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers. ISBN 9781536193206

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). *Κλίμακα Beaufort*. URL: [emy.gr](http://www.emy.gr)
http://www.emy.gr/emyl/el/navigation/naftilia_beaufort

Glenn Research Center. *Shape Effects on Drag*. The National Aeronautics and Space Administration (NASA). URL: grc.nasa.gov
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/shaped.html>

Sofias, K.; Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Jacques, S. Combining CAD Modeling and Simulation of Energy Performance Data for the Retrofit of Public Buildings. *Sustainability* 2023, 15, 2211, DOI:10.3390/su15032211.

Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Troussas, C.; Sgouropoulou, C. Development of an Innovative Learning Methodology Aiming to Optimise Learners' Spatial Conception in an Online Mechanical CAD Module During COVID-19 Pandemic. *Nov. Intell. Digit. Syst.* 2021, pp.31–39, DOI:10.3233/FAIA210072.

Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Bekas, G.; Troussas, C.; Sgouropoulou, C. Data Mining for Improving Online Higher Education Amidst COVID-19 Pandemic: A Case Study in the Assessment of Engineering Students. *Nov. Intell. Digit. Syst.* 2021, pp.157–165, DOI:10.3233/FAIA210088.

Jacques, Sebastien. (2022). Smart Control Strategies for AC Switches Used in Electric Vehicle Battery Chargers. 10.1201/9781003293989-7.

S. Jacques, "Smart Control Strategies for AC Switches Used in Electric Vehicle Battery Chargers," 2022, pp. 165–182, DOI: 10.1201/9781003293989-7.

I. Aouichak, S. Jacques, S. Bissey, C. Reymond, T. Besson, and J.-C. Le Bunetel, "A Bidirectional Grid-Connected DC–AC Converter for Autonomous and Intelligent Electricity Storage in the Residential Sector," *Energies*, vol. 15, no. 3, Art. no. 3, Jan. 2022, DOI: 10.3390/en15031194.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8.1 Εμπλουτισμός του αλγόριθμου με λειτουργίες ανατροφοδότησης

8.1.1 Επεξηγήσεις στην περιφραστική γλώσσα

Όπου <code>μτβλ</code>	→ μεταβλητή (διαφόρων κατηγοριών)
Όπου <code>Κείμενο_Κείμενο</code>	→ όνομα μεταβλητής
Όπου <code>Κείμενο_Κείμενο()</code>	→ παραπομπή σε αλγ. διαδικασία χωρίς παραμέτρους
Όπου <code>Κείμενο_Κείμενο()</code>	→ αλγ. διαδικασία χωρίς παραμέτρους
Όπου <code>Κείμενο_Κείμενο(Κείμενο)</code>	→ παραπομπή σε αλγ. διαδικασία η οποία υποδέχεται παραμέτρους
Όπου <code>Κείμενο_Κείμενο(μτβλ Κείμενο)</code>	→ αλγ. διαδικασία με υποδοχή παραμέτρων
.	
Όπου <code>=</code>	→ καθορισμός τιμής (να ισούται με)
Όπου <code>==</code>	→ (έλεγχος) ταύτιση τιμής (ισούται με), αληθές ή ψευδές
Όπου <code>!=</code>	→ (έλεγχος) μη ταύτιση τιμής (δεν ισούται με), αληθές ή ψευδές
Όπου <code> </code>	→ ή (ή αντί αυτού γράφεται απλά «ή»)
Όπου <code>&&</code>	→ και (ή αντί αυτού γράφεται απλά «και»)
Όπου <code>NULL</code>	→ Ανυπαρξία τιμής/δεδομένων
.	
Όπου :	
Αν <code>Κείμενο 1</code>	
<code>(tab) Αν Κείμενο 2</code>	
<code>(tab) Κείμενο 3</code>	→ Μια γραμμή περιφραστικού κώδικα που αρχίζει με κενό αριστερά ίσο με την από πάνω της, θεωρείται ισότιμου επιπέδου με την από πάνω της, ενώ αν είναι

μεγαλύτερο (όπως στο παράδειγμα) τότε θεωρείται υποκείμενου επιπέδου στην από πάνω της.

Στο παράδειγμα:

Αν ισχύει το Κείμενο 1 τότε δεξ αν ισχύει το Κείμενο 2, και αν ναι, τότε εκτέλεσε το Κείμενο 3 αλλιώς πήδα μετά το Κείμενο 3 σε ενότητα ισότιμου επιπέδου με το Κείμενο 1 ή ανώτερου.

.

Όπου :

{

Κείμενο

Κείμενο

Κείμενο

}

→ Όλο το περιεχόμενο ανάμεσα στις αγκύλες, να διαβαστεί σαν μια ενότητα. Για παράδειγμα, μπορεί όλη η ενότητα με τις αγκύλες να αποτελεί το Κείμενο 3 στο παραπάνω.

.

Όπου // *Κείμενο*

→ Μη εκτελέσιμο σχόλιο σε μια γραμμή

Όπου /* *Κείμενο* */

→ Μη εκτελέσιμο σχόλιο που καταλαμβάνει περισσότερες από μια γραμμές

8.1.2 Ο αλγόριθμος σε περιφραστική γλώσσα

———— **ΑΡΧΗ** αλγόριθμου

ΓΕΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

[Καθοριζόμενες εξωτερικά]

 μτβλ Μέγιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία [0] = 70 °C

 μτβλ Ελάχιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία [0] = 50 °C

[Καθοριζόμενες στο σύστημα]

μτβλ Χρονοκαθυστέρηση [0] = 10 λεπτά
 μτβλ Μέγιστη_Τάση [mV]
 μτβλ Ελάχιστη_Τάση [mV]
 μτβλ Κανονικό_Έργο_Μοτέρ [W] = 5
 μτβλ Συντελεστής_Έργου_Μοτέρ [0.0] = 0.1
 μτβλ Τάση_Μοτέρ [V]
 μτβλ Θέση_Φύλλων [Ανοιχτά|Κλειστά|NULL]
 μτβλ Θέση_Μοτέρ [Ανοιχτά|Κλειστά|NULL]
 μτβλ Τάση_Θερμοστοιχείου [mV]
 μτβλ Κατάσταση_Χειριστηρίου [ON|OFF]
 μτβλ Υπάρχει_Βλάβη [OXI|NAI] = OXI

— — —

ΕΚΚΙΝΗΣΗ_ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ() [ή επανεκκίνηση]

Μέγιστη_Τάση =
 ΤΑΣΗmV_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(Μέγιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία)
 Ελάχιστη_Τάση =
 ΤΑΣΗmV_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(Ελάχιστη_Επιτρεπτή_Θερμοκρασία)
 Αν Συντελεστής_Έργου_Μοτέρ < 0
 Συντελεστής_Έργου_Μοτέρ = 0
 Χρονοκαθυστέρηση = Χρονοκαθυστέρηση * 60

≡ ≡ ≡

ΚΥΚΛΟΣ_ΕΛΕΓΧΟΥ()

Κατάσταση_Χειριστηρίου = τιμή εισαγωγής από το χειριστήριο [ON|OFF]
 Θέση_Φύλλων = αισθητήρας θέσης φύλλων [Ανοιχτά|Κλειστά|NULL]
 Τάση_Θερμοστοιχείου = εισερχόμενη τάση από το θερμοστοιχείο [mV]

- - - - -

Αν Υπάρχει_Βλάβη == NAI
 επιστροφή [ή πλήρης απενεργοποίηση]
 Αν Κατάσταση_Χειριστηρίου == OFF {
 Χειριστήριο_OFF()
 επιστροφή [κατάσταση stand by]
 }

```

An Τάση_Θερμοστοιχείου == 0 {
    Διαδικασία_Βλάβης(3, «Θερμοστοιχείο εκτός λειτουργίας»)
    επιστροφή
}

```

```

┌ An Θέση_Φύλλων == ON
|   An Τάση_Θερμοστοιχείου > Μέγιστη_Τάση
|       An Κλείσε_Φύλλα() == ΟΧΙ
|           επιστροφή
└ Αλλιώς an Θέση_Φύλλων == OFF
|   An Τάση_Θερμοστοιχείου < Ελάχιστη_Τάση
|       An Άνοιξε_Φύλλα() == ΟΧΙ
|           επιστροφή
└ Αλλιώς Διαδικασία_Βλάβης(5, «Φύλλα σε άγνωστη θέση»)

```

Καταχώρησε αρχείο : Ώρα + Θέση_Φύλλων

Ενημέρωσε χειριστήριο : Ώρα + Θέση_Φύλλων

Περίμενε για χρόνο [s] = Χρονοκαθυστέρηση

επιστροφή

≡ ≡ ≡ [τέλος Κύκλος_Ελέγχου()]

ΤΑΣΗmV_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(*μτβλ* **Θερμοκρασία)**

Αντιστοίχιση τιμής θερμοκρασίας με τιμή τάσης [mV]

Επίστρεψε τιμή τάσης [mV]

— — —

Άνοιξε_Φύλλα()

Τάση_Μοτέρ = τάση στο μοτέρ [V]

// Έλεγχος ύπαρξης ηλεκτρικού ρεύματος

```

An Τάση_Μοτέρ == 0 {

```

```

    Θέση_Μοτέρ = NULL

```

```

    Διαδικασία_Βλάβης(4, «Μοτέρ χωρίς ρεύμα, φύλλα:»+Θέση_Φύλλων)

```

```

    Επίστρεψε ΟΧΙ

```

```

}

```

Στροφή_Μοτέρ()

Περίμενε για χρόνο [s] = 3

Αν Υπέρβαση_Έργου_Μοτέρ(1, «Αδυναμία ανοίγματος φύλλων») == ΝΑΙ
Επίστρεψε ΟΧΙ

Περίμενε για χρόνο [s] = 30

Θέση_Φύλλων = αισθητήρας θέσης φύλλων [Ανοιχτά|Κλειστά|NULL]

Θέση_Μοτέρ = Ανοιχτά

Αν Συγχρονισμός_Μοτέρ(Θέση_Φύλλων, Θέση_Μοτέρ) == ΟΧΙ

Επίστρεψε ΟΧΙ

Επίστρεψε ΝΑΙ

— — —

Κλείσε_Φύλλα()

Τάση_Μοτέρ = τάση στο μοτέρ [V]

Αν Τάση_Μοτέρ == 0 {

Θέση_Μοτέρ = NULL

Διαδικασία_Βλάβης(5, «Μοτέρ χωρίς ρεύμα, φύλλα:»+Θέση_Φύλλων)

Επίστρεψε ΟΧΙ

}

Αναστροφή_Μοτέρ()

Περίμενε για χρόνο [s] = 3

Αν Υπέρβαση_Έργου_Μοτέρ(2, «Αδυναμία κλεισίματος φύλλων») == ΝΑΙ

Επίστρεψε ΟΧΙ

Περίμενε για χρόνο [s] = 30

Θέση_Φύλλων = αισθητήρας θέσης φύλλων [Ανοιχτά|Κλειστά|NULL]

Θέση_Μοτέρ = Κλειστά

Αν Συγχρονισμός_Μοτέρ(Θέση_Φύλλων, Θέση_Μοτέρ) == ΟΧΙ

Επίστρεψε ΟΧΙ

Επίστρεψε ΝΑΙ

— — —

Στροφή_Μοτέρ()

Κλείσε το κύκλωμα ρεύματος για στροφή στο μοτέρ

— — —

Αναστροφή_Μοτέρ()

Κλείσε το κύκλωμα ρεύματος για αναστροφή στο μοτέρ

— — —

Κόψε_παροχή_Μοτέρ()

Άνοιξε το κύκλωμα ρεύματος στο μοτέρ

— — —

/ Ο έλεγχος έργου του μοτέρ αντικαθιστά την ανάγκη
για επιπλέον αισθητήρες προβλημάτων στην κίνηση */*

Υπέρβαση_Έργου_Μοτέρ(*μτβλ Αριθμός, μτβλ Περιγραφή* **)**

μτβλ Έργο_Μοτέρ [W] = κατανάλωση μοτέρ

Αν Έργο_Μοτέρ >

Κανονικό_Έργο_Μοτέρ * (1 + Συντελεστής_Έργου_Μοτέρ) {

 Κόψε_παροχή_Μοτέρ()

 Θέση_Μοτέρ = NULL

 Διαδικασία_Βλάβης(Αριθμός, Περιγραφή)

 Επίστρεψε NAI

 }

αλλιώς Επίστρεψε OXI

— — —

Συγχρονισμός_Μοτέρ(*μτβλ ΘέσηΦύλλων, μτβλ ΘέσηΜοτέρ* **)**

Αν ΘέσηΦύλλων != ΘέσηΜοτέρ

 ή ΘέσηΦύλλων == NULL {

 Κόψε_παροχή_Μοτέρ()

 Θέση_Μοτέρ = NULL

 Διαδικασία_Βλάβης(6, «Σφάλμα συνδεσμολογίας κίνησης»)

 Επίστρεψε OXI

 }

— — —

// Με υπόψη την ιεράρχηση χαρακτηρισμού των βλαβών

Διαδικασία_Βλάβης(*μτβλ Αριθμός_Βλάβης, μτβλ Περιγραφή_Βλάβης* **)**

Υπάρχει_Βλάβη = NAI

Καταχώρησε αρχείο : Ώρα + Αριθμός_Βλάβης + Περιγραφή_Βλάβης

Ενημέρωσε χειριστήριο : Περιγραφή_Βλάβης

Αν Αριθμός_Βλάβης == 4

Κάνε διακοπή τροφοδοσίας μοτέρ

Αν Αριθμός_Βλάβης == 3 || 5

Κλείσε_Φύλλα()

— — —

Χειριστήριο_OFF()

Καταχώρησε αρχείο : «Εντολή:»+Κατάσταση_Χειριστηρίου

Ενημέρωσε χειριστήριο : «Εντολή:»+Κατάσταση_Χειριστηρίου

Κλείσε_Φύλλα()

———— **ΤΕΛΟΣ** αλγόριθμου

8.2 Αποτελέσματα υπολογισμού μετατόπισης και πλήθους στοιχείων, συναρτήσει μεγέθους του στοιχείου

Μέγεθος στοιχείου (average element size) 1.00 έως και 0.03.

Μέγεθος ελάχιστου στοιχείου (minimum element size), από 10% έως 100%

Συντελεστής διαβάθμισης (grading factor) 1.5

Μέγιστη γωνία στοιχείου (maximum turn angle), 60 μοίρες

Μέγεθος στοιχείου	Μετατόπιση (mm)	Πλήθος στοιχείων
1,00	0,279	72.000
0,80	0,301	74.025
0,60	0,293	88.243
0,50	0,288	134.983
0,20	0,623	101.034
0,10	0,883	190.347
0,08	1,030	235.447
0,06	0,984	414.867
0,05	1,052	783.374
0,04	1,034	1.203.011
0,03	1,056	2.432.342