



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού
Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Αποτύπωση, σχεδίαση και ανάλυση λειτουργίας συσκευής
ένδειξης θερμοκρασίας ρευστού σε κλειστό αγωγό

Διπλωματική Εργασία
Γραμματικού Αικατερίνη

Ξάνθη, Οκτώβριος 2025

Στόχοι εργασίας

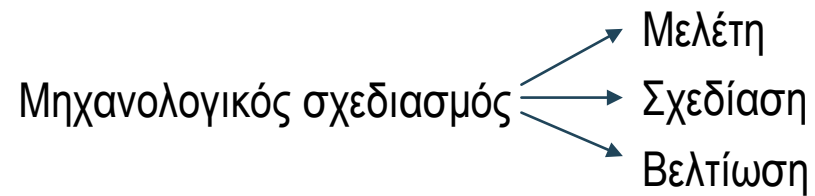
- Σχεδίαση και ανάλυση των εξαρτημάτων της συσκευής ένδειξης θερμοκρασίας ρευστού.
- Βελτίωση σχεδιαστικής λύσης με την χρήση διαγραμμάτων Liaison.
- Ρευστοδυναμική μοντελοποίηση των βασικότερων εξαρτημάτων της συσκευής.

Περιεχόμενα

- Μηχανολογικός σχεδιασμός
- Σχεδίαση μηχανολογικής κατασκευής
- Διάγραμμα Liaison συσκευής
- Ρευστοδυναμική ανάλυση μηχανολογικής κατασκευής

Μηχανολογικός σχεδιασμός

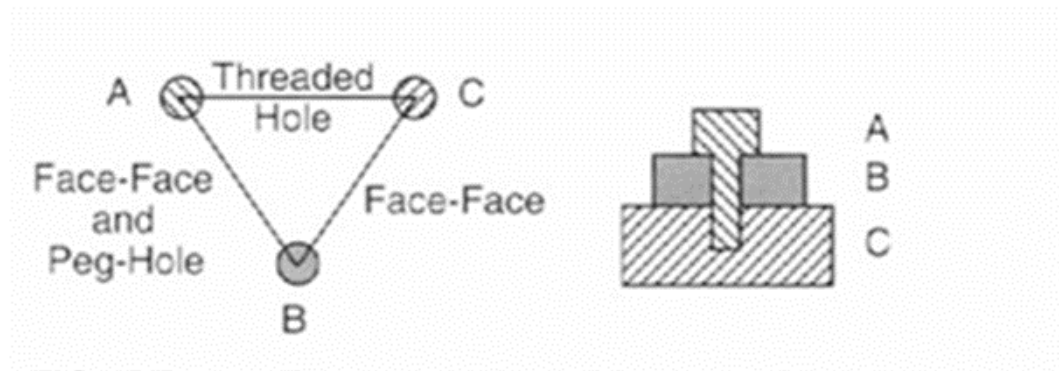
Αρχές μηχανολογικού σχεδιασμού



- Προσδιορισμός ανάγκης σχεδιασμού
- Καθορισμός περιορισμών και προδιαγραφών
- Συλλογή πληροφοριών
- Σύλληψη αρχικής σχεδιαστικής ιδέας
- Μοντελοποίηση
- Υπολογισμοί και επιλογή
- Βελτίωση
- Παραγωγή

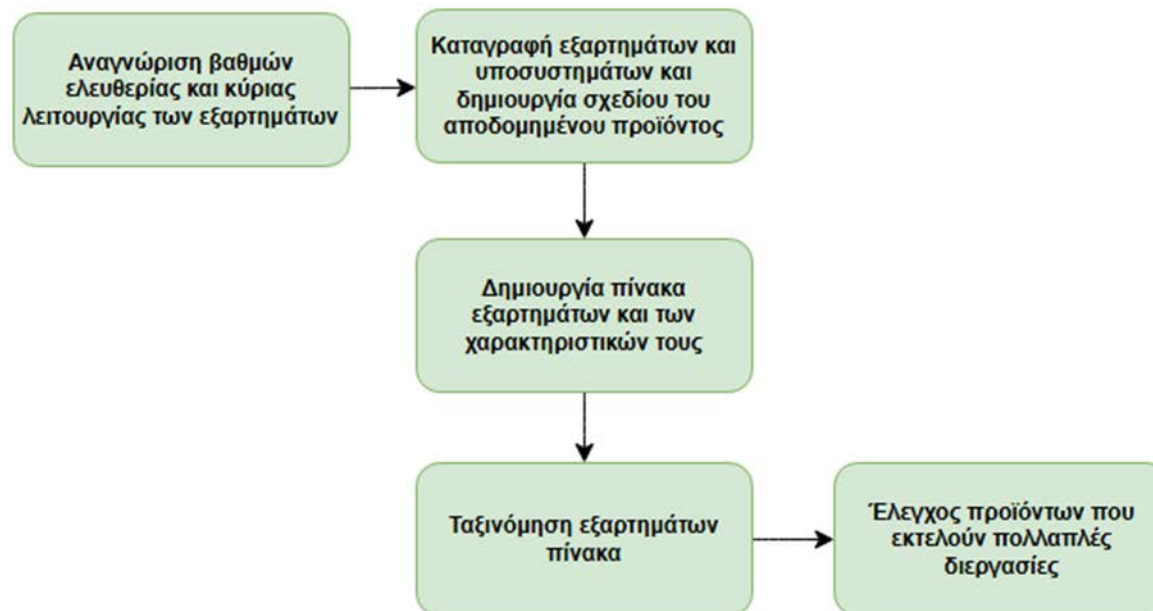
Διαγράμματα Liaison

- Τεχνικά διαγράμματα → συνδέσεις και σχέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων
- Αναπαράσταση και τύπος επαφών
- Βαθμοί ελευθερίας
- Απλοποίηση μηχανισμών
- Καθορισμός επαφής και μεταφοράς δυνάμεων
- Καθορισμός σχεδίασης και συναρμολόγησης μια μηχανολογικής κατασκευής



Αποσυναρμολόγηση

- Κατανόηση λειτουργίας
- Βελτίωση σχεδιασμού
- Διευκόλυνση συντήρησης και επισκευής
- Επαναχρησιμοποίηση λειτουργικών εξαρτημάτων και ανακύκλωση των ελαττωματικών
- Εξοικονόμηση πόρων και χρόνου



Σχεδίαση μηχανολογικής κατασκευής

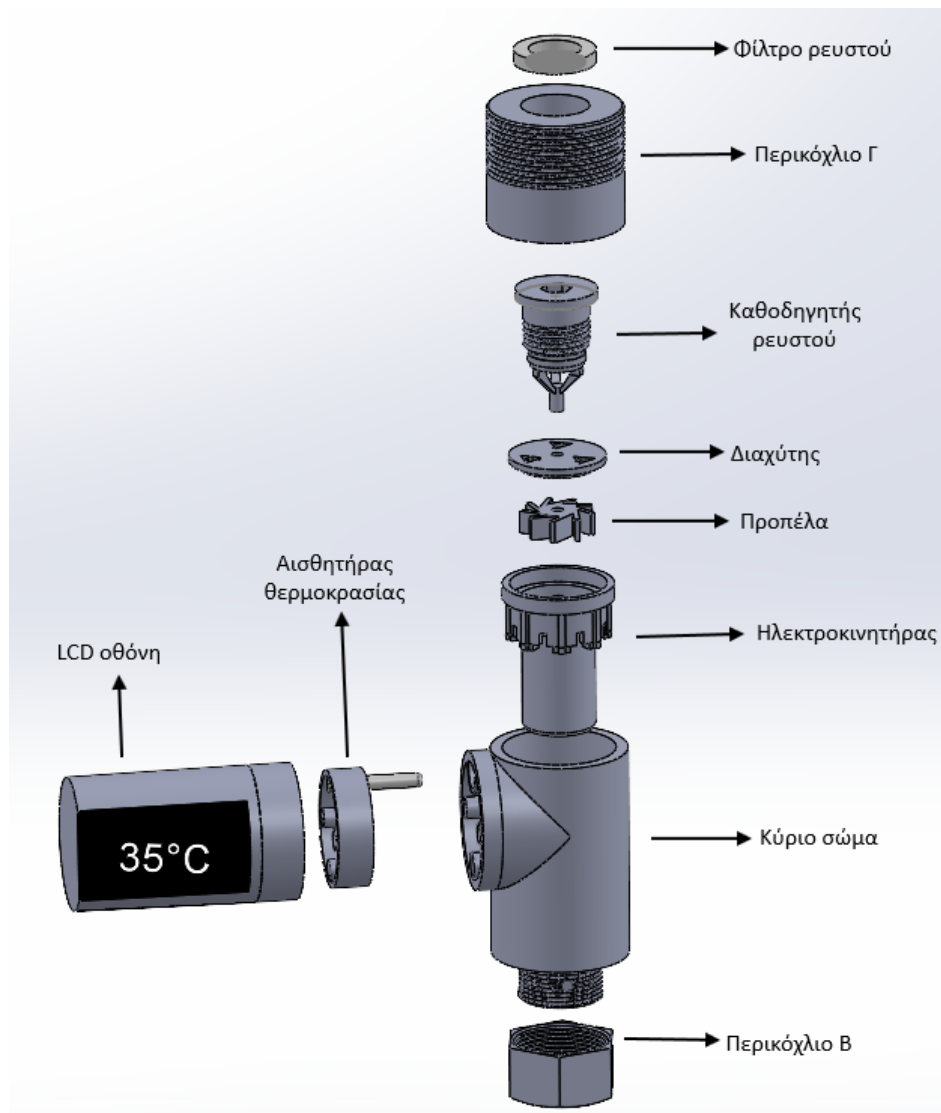
Συσκευή ένδειξης θερμοκρασίας ρευστού σε κλειστό αγωγό

- Μέτρηση θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο και εμφάνιση αποτελεσμάτων σε LCD οθόνη.
- Αποσυναρμολόγηση κατασκευής
- Διαστασιολόγηση εξαρτημάτων
- Σχεδίαση εξαρτημάτων
- Ανάλυση σχεδίων



Αποσυναρμολόγηση κατασκευής

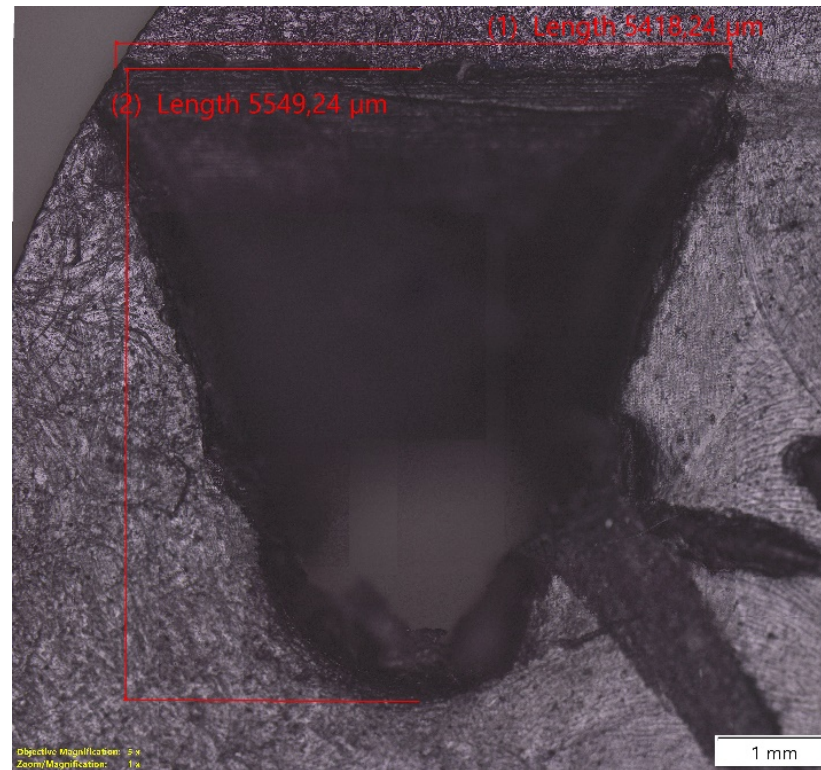
1. LCD οθόνη
2. Αισθητήρας θερμοκρασίας
3. Φίλτρο ρευστού
4. Περικόχλιο B&Γ
5. Καθοδηγητής ρευστού
6. Διαχύτης
7. Σύστημα Ηλεκτροκινητήρα-Προπέλας
8. Κύριο σώμα



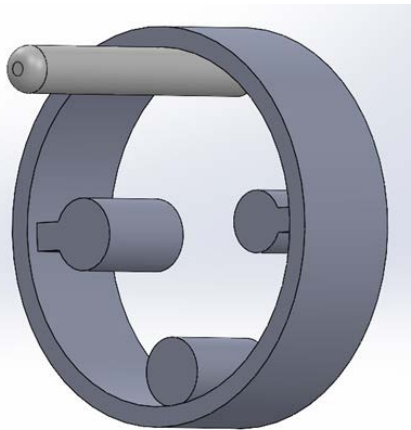
Διαστασιολόγηση

- Ψηφιακό παχύμετρο
 - Μικροσκόπιο μετάλλων
- Λεπτότητα κατασκευής
Φθορά εξαρτημάτων

Τοποθέτηση διαχύτη πάνω σε δοκίμιο αλουμινίου εγκιβωτισμένο σε ρητίνη για περιορισμό αντανάκλασης φωτός.



Σχεδίαση εξαρτημάτων

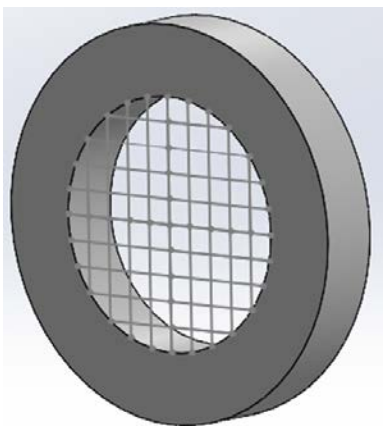
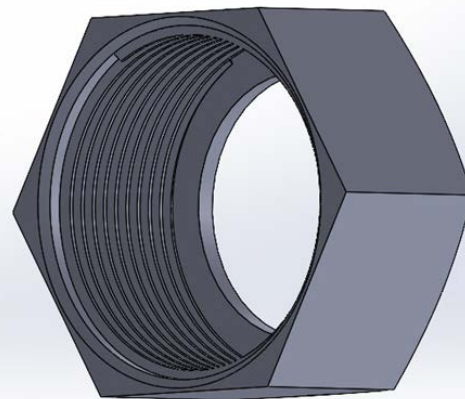


Αισθητήρας θερμοκρασίας

- **↑** Θερμοκρασίας **↓** Αντίστασης θερμίστορ
- Μέτρηση θερμοκρασίας και μετατροπή αυτής σε ηλεκτρικό σήμα

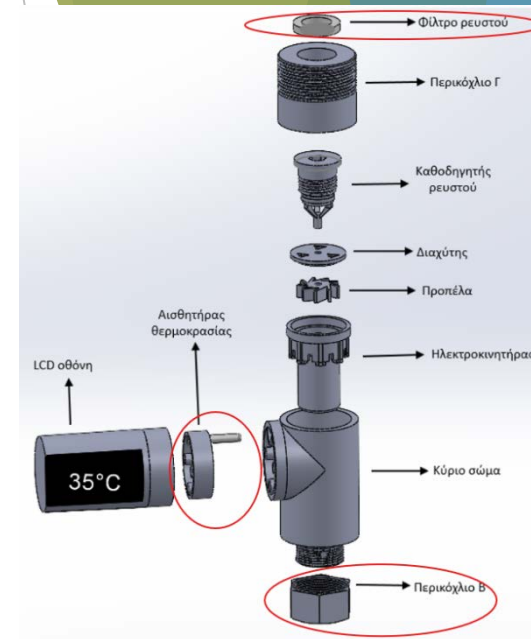
Περικόχλιο Β

- Διατηρεί την σύνδεση της συσκευής με μπαταρίες, αγωγούς ή άλλα υδραυλικά εξαρτήματα.

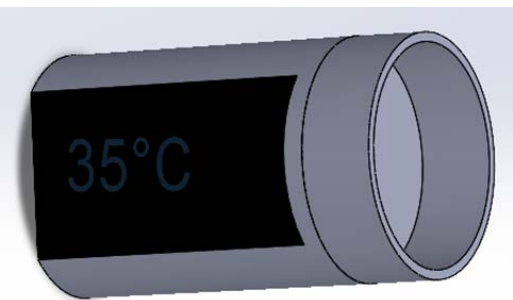


Φίλτρο ρευστού

- Τοποθετείται ανάμεσα στην βρύση και την συσκευή.
- Έλεγχος ρευστού για τυχόν ξένα μικρό-αντικείμενα.



Σχεδίαση εξαρτημάτων

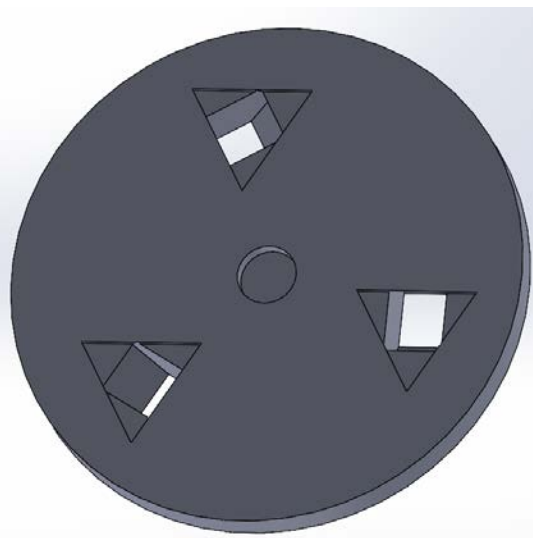
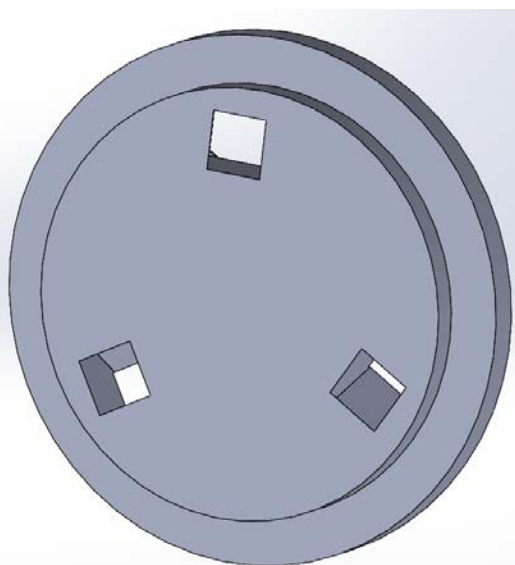


LCD οθόνη

- Εμφάνιση θερμοκρασίας
- Κατασκευασμένο από πολυκαρβονικό πλαστικό για υψηλή αντοχή στην υγρασία.

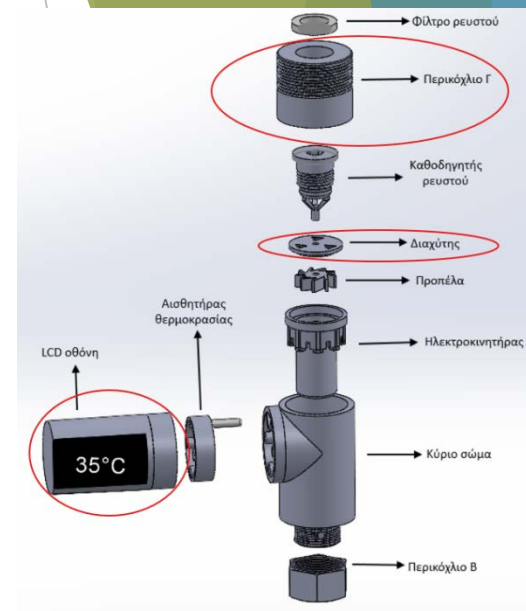
Περικόχλιο Γ

- Διατηρεί την σύνδεση της συσκευής με την μονάδα παροχής.

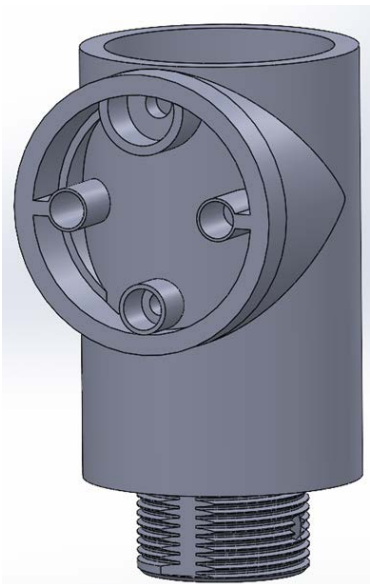


Διαχύτης

- Ομοιόμορφη κατανομή ρευστού στην προπέλα
- Διατήρηση θέσης του καθοδηγητή ρευστού



Σχεδίαση εξαρτημάτων

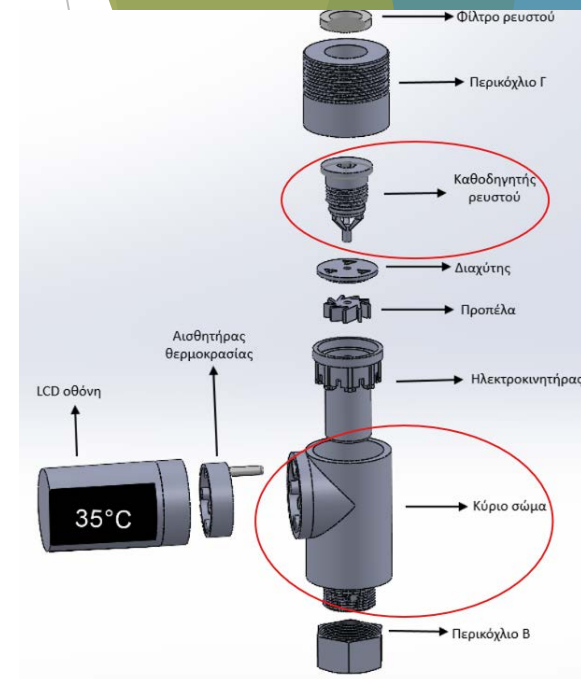
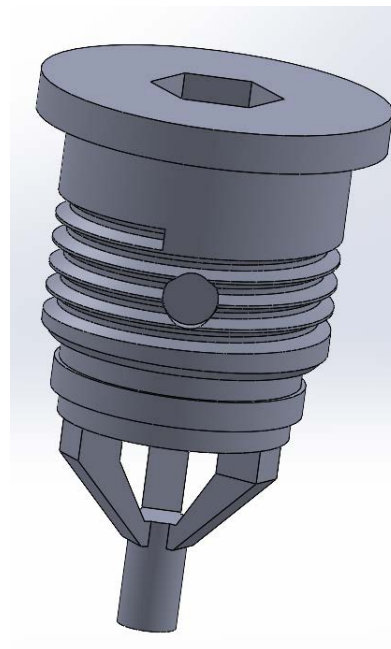


Κύριο σώμα

- Προστατεύει τα εξαρτήματα από εξωγενείς παράγοντες και τα συνδέει μεταξύ τους.
- Πολυμερές υψηλής αντοχής και μη τοξικό.

Καθοδηγητής ρευστού

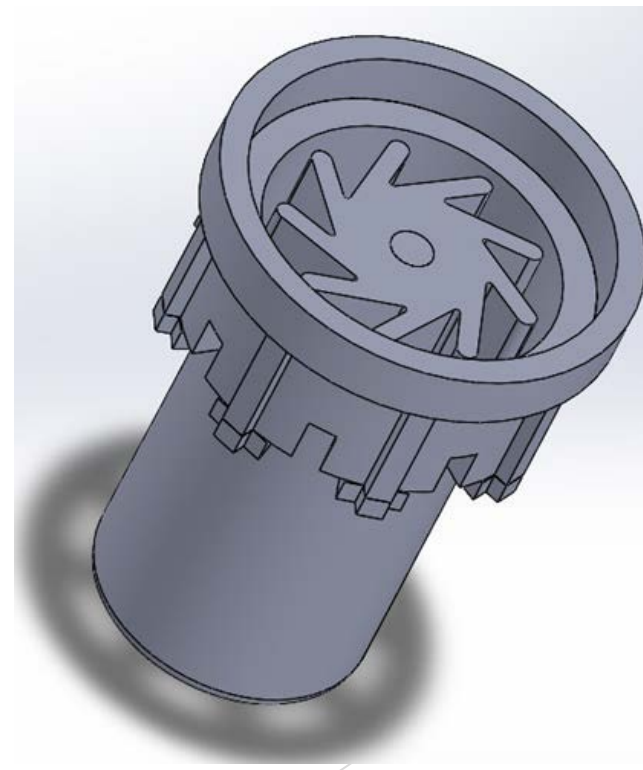
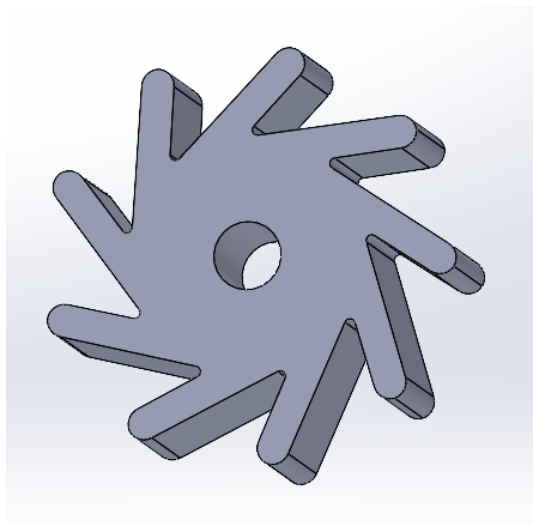
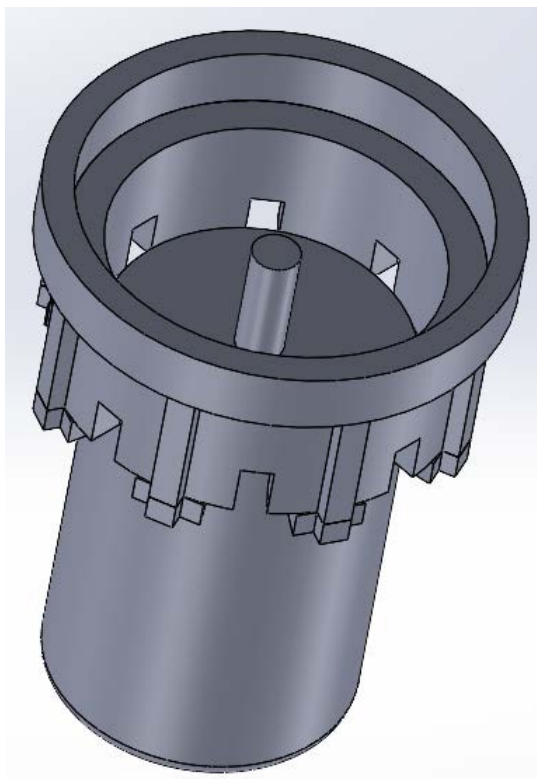
- Σκοπός είναι να ελέγχει την ροή του ρευστού και να την χωρίζει σε τρία ίσα μέρη.
- Περιορισμός έντασης ρευστού.



Σχεδίαση εξαρτημάτων

Ηλεκτροκινητήρας

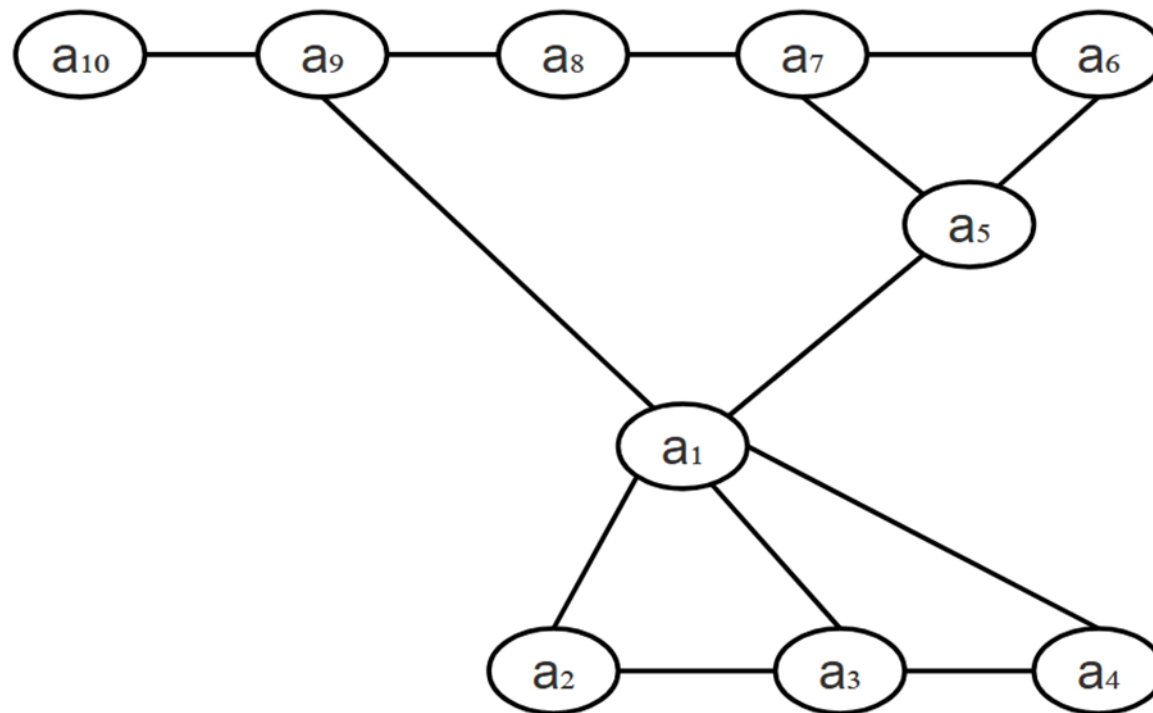
- Σύνδεση του άξονα της προπέλας με τον ρότορα.
- Δημιουργία μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου από τον ρότορα.
- Μετατροπή κινητικής ενέργειας σε περιστροφική.
- Περιστροφή ρότορα μέσα στον στάτη και δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.
- Τροφοδοσία οθόνης με ηλεκτρικό ρεύμα για απεικόνιση της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα Liaison συσκευής

- Κόμβοι: εξαρτήματα, Ακμές: σειρά τοποθέτησης
- Αποτύπωση σχέσεων εξάρτησης.
- Σειρά συναρμολόγησης/αποσυναρμολόγησης.
- Επανασχεδιασμός κατασκευής.
- Το κύριο σώμα αποτελεί τον συνδετικό κρίκο των περισσότερων εξαρτημάτων.

a ₁	Κύριο σώμα
a ₂	Περικόχλιο Β
a ₃	Αισθητήρας θερμοκρασίας
a ₄	LCD οθόνη
a ₅	Ηλεκτροκινητήρας
a ₆	Προπέλα
a ₇	Διαχύτης
a ₈	Καθοδηγητής ρευστού
a ₉	Περικόχλιο Γ
a ₁₀	Φίλτρο ρευστού



Ρευστοδυναμική ανάλυση μηχανολογικής κατασκευής

Λειτουργία λογισμικού

- Διακριτοποίηση: δημιουργία κελιών στην γεωμετρία, κάθε κελί αντιπροσωπεύει έναν πεπερασμένο όγκο
- Μαθηματικό μοντέλο:
 - 1.Εξίσωση συνέχειας (Conservation of Mass): $\partial\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho u) = 0$
 - 2.Εξισώσεις ορμής (Navier–Stokes): $\partial(\rho u)/\partial t + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + \rho g$
 - 3.Εξίσωση ενέργειας (Conservation of Energy): $\partial(\rho E)/\partial t + \nabla \cdot (u(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_h$
 - 4.Μοντέλα τυρβώδους ροής
- Αριθμητική επίλυση: Επίλυση αλγεβρικού συστήματος διακριτοποιημένων εξισώσεων.

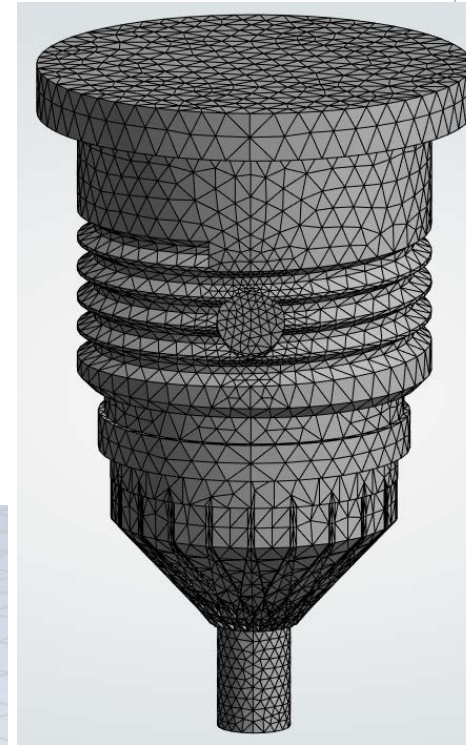
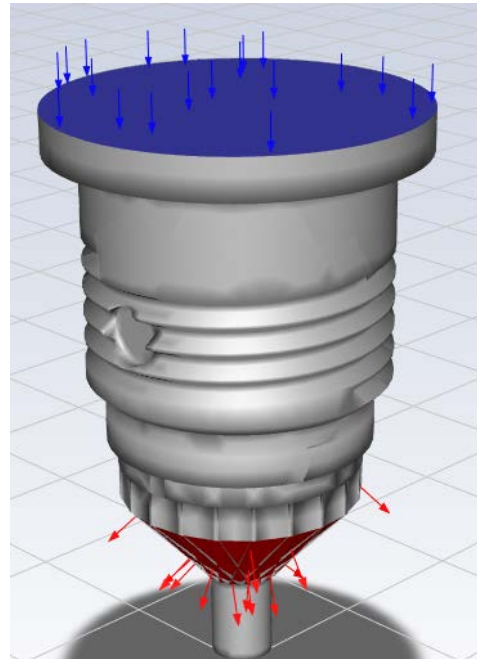
Ρευστοδυναμική ανάλυση καθοδηγητή ρευστού

Παραδοχές

- Τροποποίηση γεωμετρίας.
- Η ταχύτητα εισόδου υπολογίστηκε ότι είναι $0,94\text{m/s}$ από τον τύπο: $u=Q/A$, με γνώμονα ότι οι διατομές των βρυσών οικιακής χρήσης στην Ελλάδα είναι συνήθως 15mm, όπου δίνει παροχή 10L/min.
- Η θερμοκρασία θεωρήθηκε σταθερή στους 23°C .

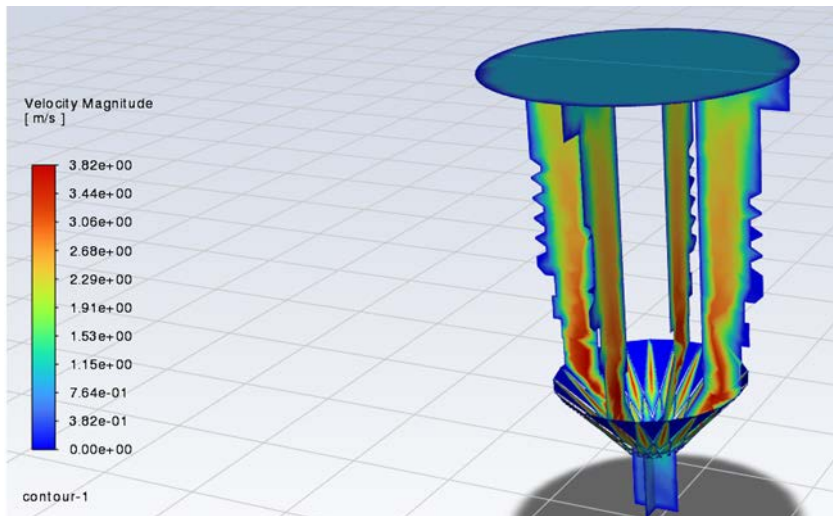
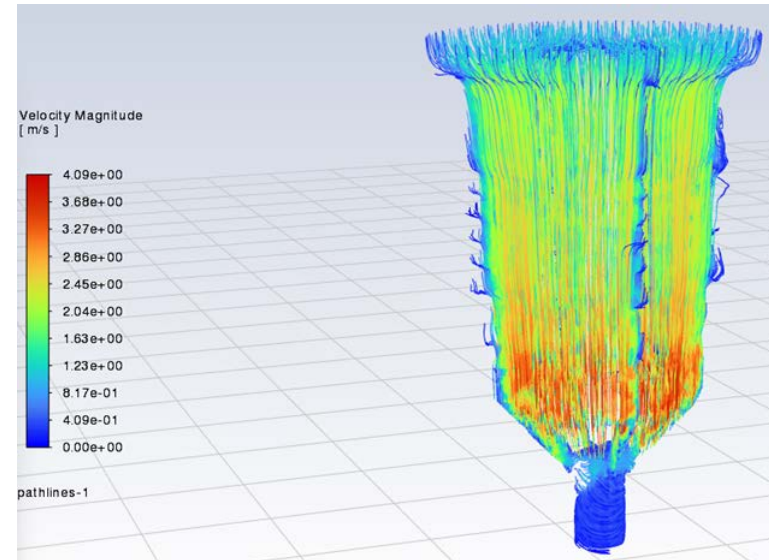
Βήματα

- Ορισμός εισόδου, εξόδου και τοιχωμάτων.
- Δημιουργία πλέγματος με element size 0,001m, 38.517 στοιχεία τριγωνικής διατομής.
- Ορισμός παραμέτρων: βαρύτητα, ταχύτητα, υλικά και τύπος εξαρτημάτων.
- Αρχικοποίηση.



Αποτελέσματα ταχύτητας καθοδηγητή ρευστού

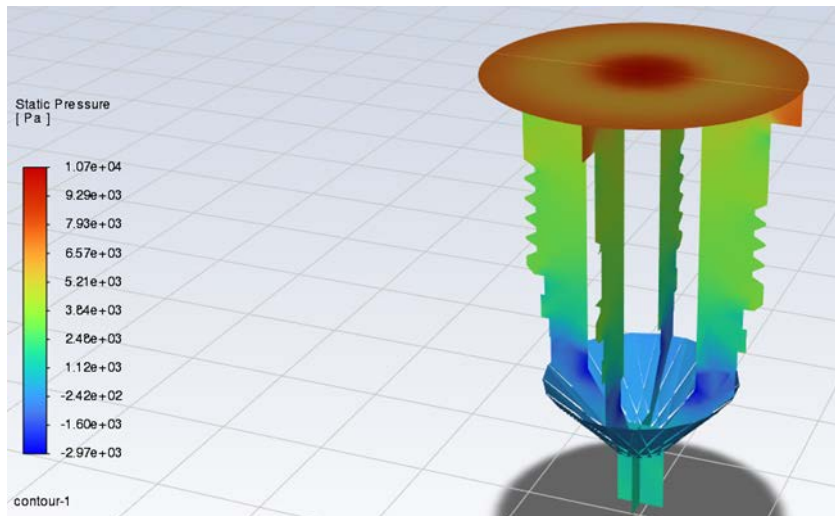
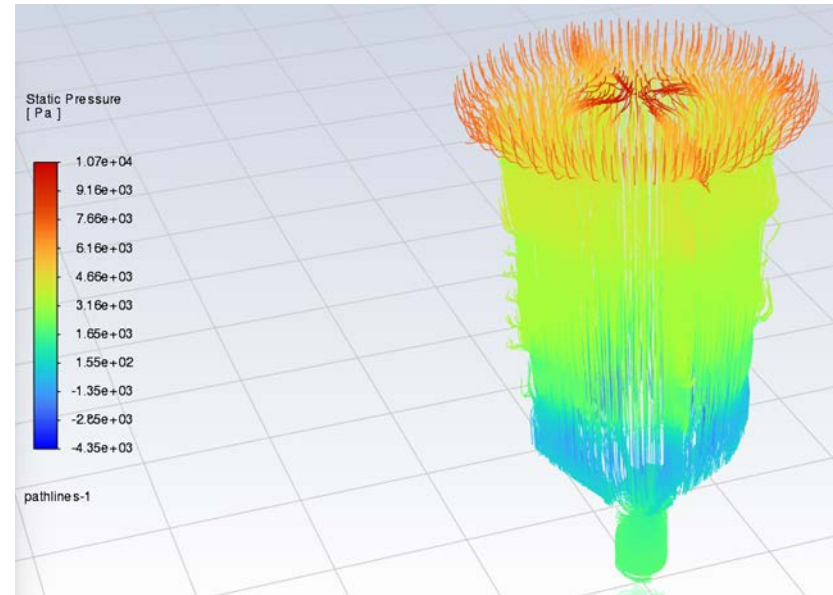
- Η μέγιστη ταχύτητα παρατηρείται στην έξοδο του καθοδηγητή και συγκεκριμένα στους διαχωριστές λαμβάνοντας τιμή $3,64\text{m/s}$.
- Κατά μήκος των πυλώνων η ταχύτητα του νερού αυξάνεται και αποκτά τιμές από $1,5 - 2,5\text{m/s}$.



- Στα εικονιζόμενα μπλε σημεία η ταχύτητα του ρευστού είναι αρκετά μικρή και η ροή θεωρείται οριακά στάσιμη.

Αποτελέσματα πίεσης καθοδηγητή ρευστού

- Η μέγιστη πίεση συναντάται στην είσοδο του εξαρτήματος και έχει την τιμή $10,6kPa$.
- Στα τοιχώματα η πίεση παραμένει υψηλή στα $6,8kPa$.



- Όσο το νερό κατευθύνεται προς την έξοδο τόσο η πίεση μειώνεται, κάτι που δικαιολογείται από το γεγονός ότι στην έξοδο υπάρχει αύξηση ταχύτητας.

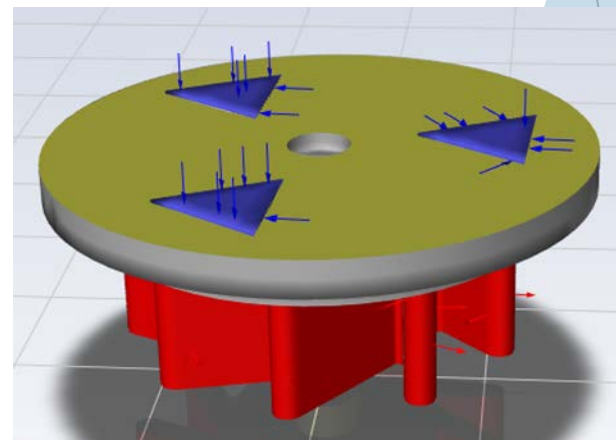
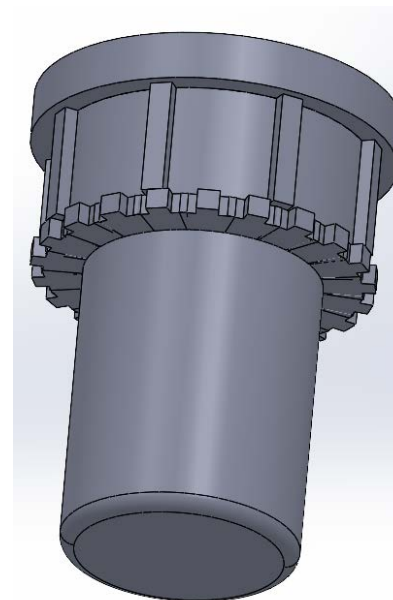
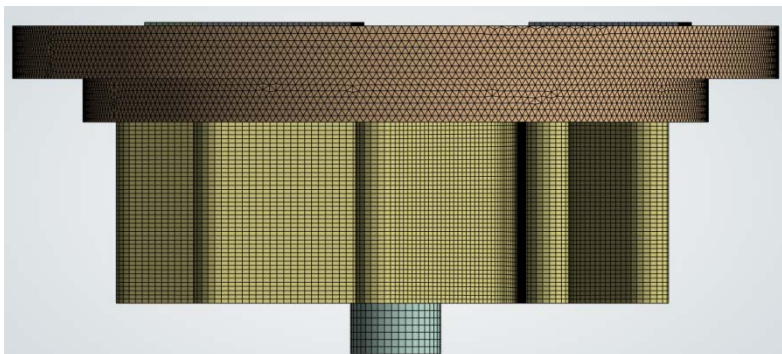
Ρευστοδυναμική ανάλυση συστήματος ηλεκτροκινητήρα-διαχύτη

Παραδοχές

- Τροποποίηση γεωμετρίας.
- Απλοποίηση γεωμετρίας με απόκρυψη των μερών που δεν επηρεάζουν την ροή του ρευστού.
- Η ταχύτητα εισόδου το διαχύτη είναι η ταχύτητα εξόδου του καθοδηγητή και για αυτό ορίστηκε $3,64\text{m/s}$.

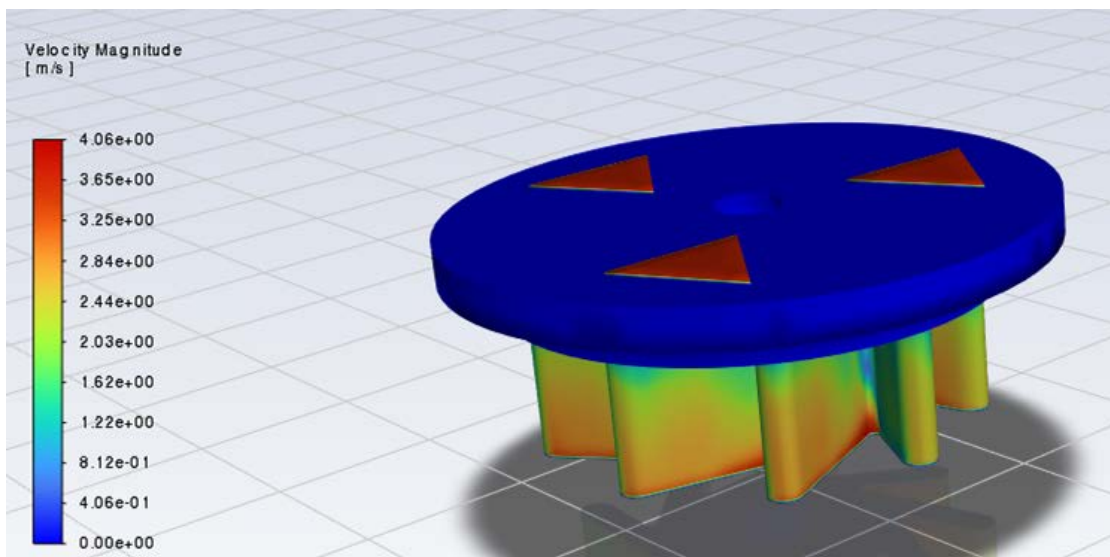
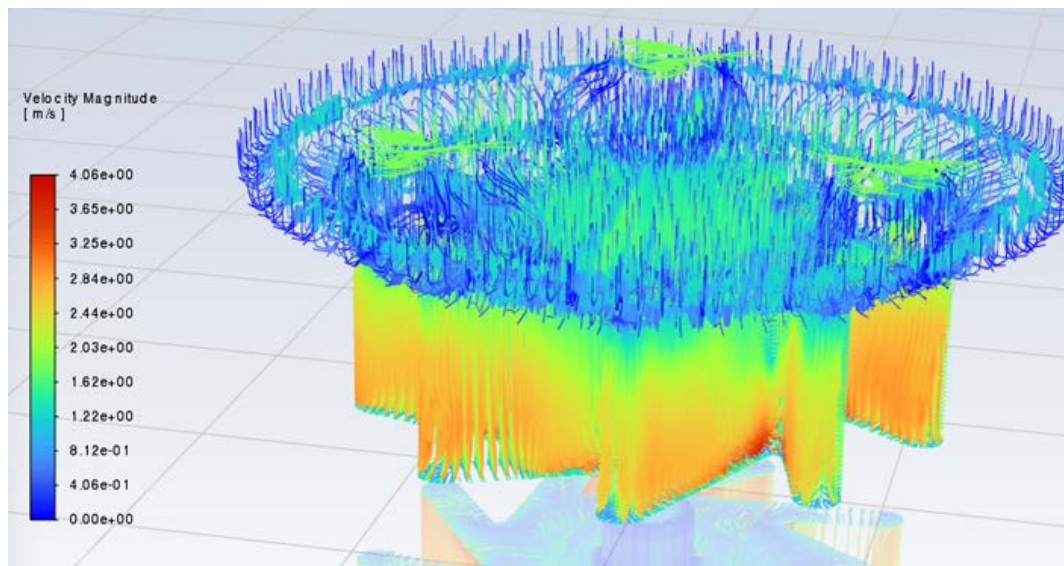
Βήματα

- Δημιουργία πλέγματος με element size $0,0002\text{m}$, 105.171 στοιχεία τριγωνικής διατομής.



Αποτελέσματα ταχύτητας συστήματος ηλεκτροκινητήρα-διαχύτη

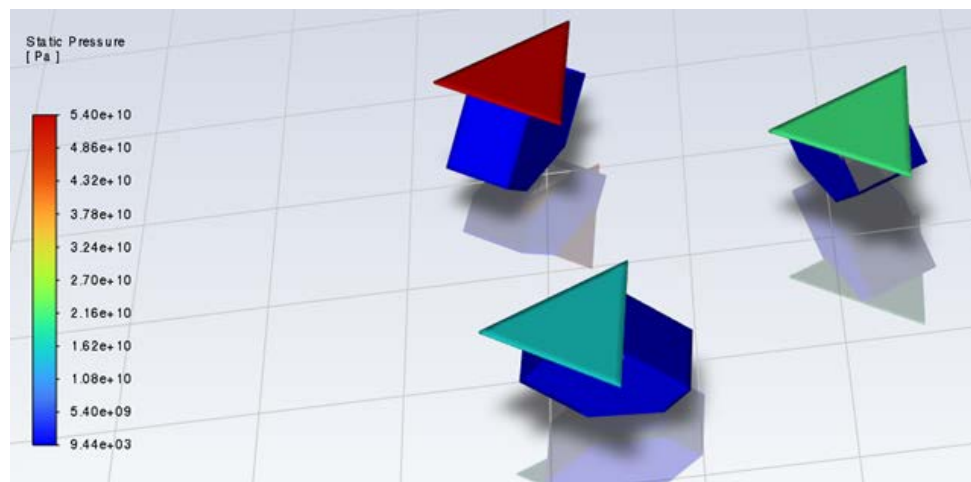
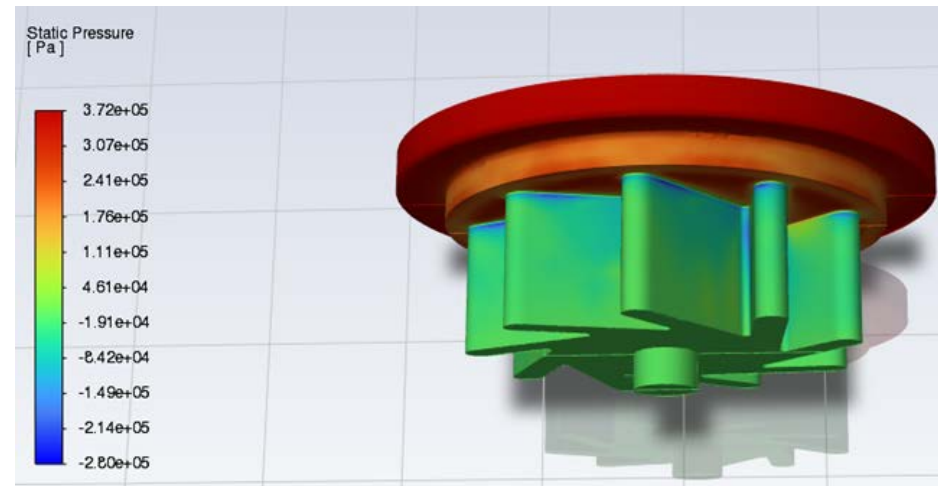
- Η μέγιστη ταχύτητα στο σύστημα συναντάται στην είσοδο του διαχύτη και στο κάτω μέρος των πτερυγίων με τιμή $4,05 \text{ m/s}$.
- Κατά μήκος των πτερυγίων με κατεύθυνση προς τον διαχύτη παρατηρείται ότι η ταχύτητα μικραίνει και παίρνει τιμές από $2,03 \text{ m/s}$ μέχρι $1,22 \text{ m/s}$.



- Το σημείο από το οποίο διαφεύγει ο περισσότερος όγκος νερού, όπου είναι το κέντρο των πτερυγίων, παρουσιάζει ταχύτητα ίση με $3,2 \text{ m/s}$.

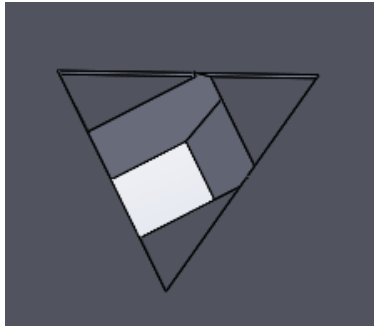
Αποτελέσματα πίεσης συστήματος ηλεκτροκινητήρα-διαχύτη

- Η υψηλότερη πίεση συναντάται στο άνω μέρος του κυκλικού δίσκου του διαχύτη με τιμή $0,372kPa$ και στην μια τριγωνική οπή εισόδου.
- Η πίεση που συναντάται στον κυκλικό δίσκο του διαχύτη που έρχεται σε επαφή με την προπέλα με τιμές από $0,307kPa$ έως $0,15kPa$.



- Στο άνω μέρος των πτερυγίων στο σημείο τομής μεταξύ του επόμενου και του προηγούμενου πτερυγίου η πίεση παίρνει τιμές από $-0,15kPa$ έως $-0,21kPa$.
- Στις κάθετες επιφάνειες των πτερυγίων της προπέλας υπάρχει ομοιομορφία στην κατανομή της πίεσης με τιμές που κυμαίνονται από $0,5kPa$ έως $0,11kPa$.

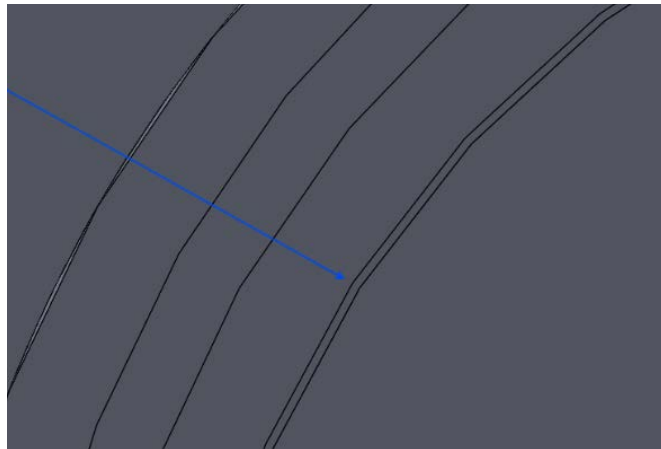
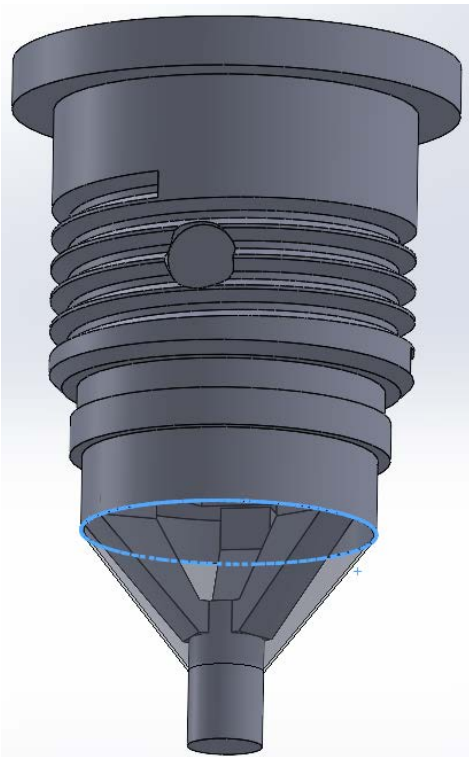
Δυσκολίες



- Λεπτότητα κατασκευής: αδυναμία μέτρησης της εσωτερικής κλίσης της οπής εισόδου του διαχύτη.

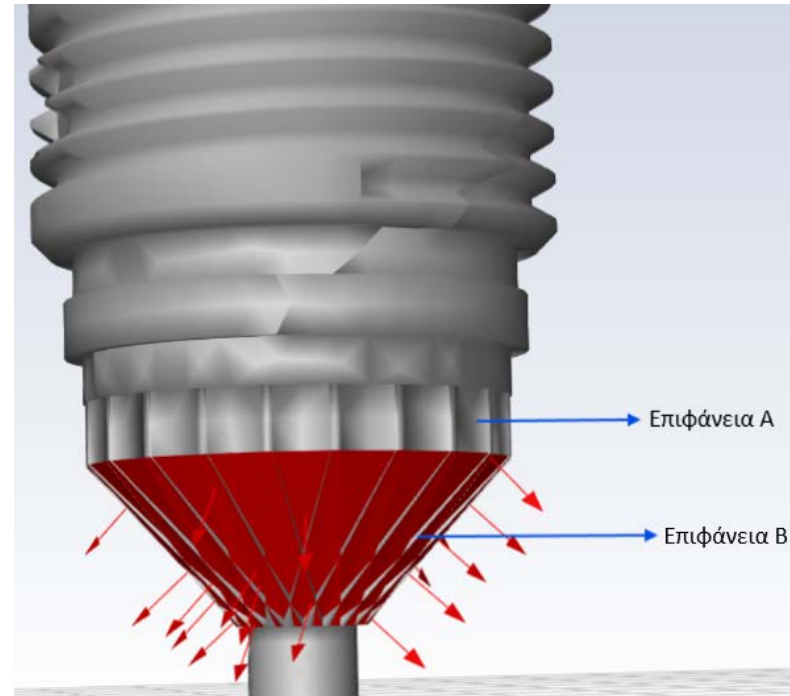
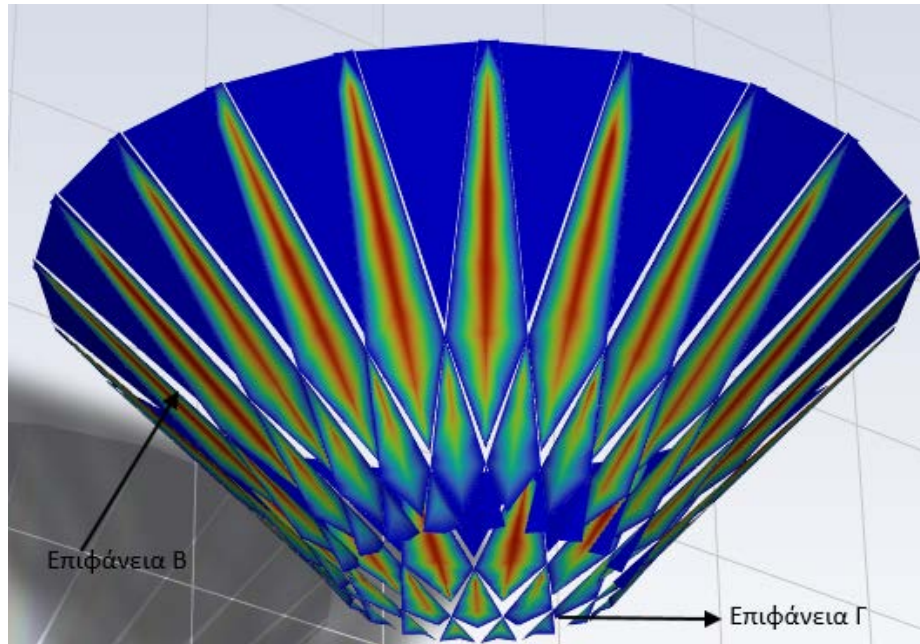
- Φθορές κατά την αποσυναρμολόγηση: μη πραγματικές διαστάσεις, έλλειψη λεπτομερειών, μη ακριβή αποτελέσματα στο σύστημα ηλεκτροκινητήρα-διαχύτη.

- Ανεπάρκεια λογισμικού Solidworks, δημιουργία γωνιών στους κύκλους: κενά στην γεωμετρία, διαφυγή νερού στην προσομοίωση.



Δυσκολίες τελικής γεωμετρίας

- Η επιφάνεια Β ενώνει την έξοδο με την επιφάνεια Α: η προέκταση της ακμής Β είναι μέρος και της Α, δεν διαχωρίζονται οι επιφάνειες → διαφυγή νερού.



Συμπεράσματα

- Κρίσιμα σημεία επαφής-συγκρούσεων:
 - 1. Κάτω κυκλικός δίσκος του διαχύτη με την άνω επιφάνεια της προπέλας → δημιουργία αντίστασης στην περιστροφή της προπέλας, μειωμένη απόδοση
 - 2. Βάση του καθοδηγητή ρευστού με την κυκλική οπή του άνω κυκλικού δίσκου του διαχύτη → σταθερότητα εξαρτήματος, έλλειψη έντονων αναταράξεων
- Οι σχεδιαστικές επιλογές επηρεάζουν την ευκολία συντήρησης της συσκευής αλλά και την αντικατάσταση ελαττωματικών εξαρτημάτων.
- Τα διαγράμματα Liaison προσφέρουν ξεκάθαρες κατευθυντήριες γραμμές για τον καθορισμό της ορθής ακολουθίας συναρμολόγησης των μηχανολογικών κατασκευών.
- Αύξηση ταχύτητας ρευστού στην έξοδο του καθοδηγητή για να εισέλθει στο σύστημα ηλεκτροκινητήρα-διαχύτη με μεγάλη ορμή και να παραχθεί επαρκής ποσότητα κινητικής ενέργειας με την περιστροφή της προπέλας.
- Τα αποτελέσματα της ταχύτητας και της πίεσης του συστήματος ηλεκτροκινητήρα-διαχύτη δεν ήταν ακριβή, επειδή οι οριακές συνθήκες που εισήχθησαν και προερχόντουσαν από τον καθοδηγητή δεν αντικατόπτριζαν πιθανές πραγματικές συνθήκες λόγω των κενών από όπου διέφευγε το νερό.

Μελλοντική έρευνα

- Διερεύνηση της σχεδιαστικής λύσης των διαγραμμάτων Liaison με αυτής που θα προέλθει από μια DSM (Design Structure Matrix) προσέγγιση.
- Μελέτη της μεταβολής της παραγόμενης ισχύος σε διαφορετικές παροχές με προσομοίωση σε CFD.
- Τροποποίηση γεωμετρίας διαχύτη, αφαιρώντας τις τρεις τριγωνικές οπές σε κλίση και δημιουργία νέων γεωμετριών εισόδου για την πραγματοποίηση της ρευστοδυναμικής ανάλυσης.
- Συνολική ρευστοδυναμική ανάλυση της συσκευής, αφού σχεδιαστεί η γεωμετρία στο Ansys DesignModeler.
- Μελέτη των επιπτώσεων της τυρβώδους ροής στην λειτουργία της συσκευής.

Ευχαριστώ για την
προσοχή σας!