



ΡΟΗ 2024 - 12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φαινόμενα Ροής Ρευστών

Θεσσαλονίκη, 15 – 16 Απριλίου, 2024

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΨΥΞΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΡΙΠΑΙΟ ΨΕΚΑΣΜΟ**

**Δ. Κωτσόπουλος, Π. Παρίσης, Α. Ρωμαίος, Α. Γιανναδάκης,
Κ. Περράκης, Θ. Πανίδης, Β. Chen, Σ. Κουτρουμπίνας**



**Εργαστήριο
Τεχνικής Θερμοδυναμικής**

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ &
ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Κίνητρο & Επιδιωκόμενοι Στόχοι

Η επέκταση της βιομηχανίας ηλεκτρονικών ισχύος σε τεχνολογικούς τομείς όπως οι **τεχνολογίες επικοινωνιών**, τα **συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**, η **ηλεκτροκίνηση**, η **διανομή ηλεκτρικής ενέργειας** κ.λπ.



ανάγκη ανάπτυξης **καινοτόμων τεχνικών ψύξης**, για την απαγωγή σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας

Τα ηλεκτρονικά ισχύος χαρακτηρίζονται από έντονη παραγωγή θερμικής ενέργειας, που οδηγεί σε διακυμάνσεις υψηλών θερμοκρασιών με αποτέλεσμα τη θερμική κόπωση των διατάξεων

Η θερμική διαχείριση των ηλεκτρονικών ισχύος απαιτεί συστήματα ψύξης:

- ✓ Ικανά να απάγουν τη παραγόμενη θερμική ενέργεια
- ✓ Ανταποκρίνονται στην Αύξηση Πυκνότητας Ισχύος
- ✓ Συμβάλουν στη Βελτίωση της Απόδοσης και Αξιοπιστίας
- ✓ Απαιτήσεις για Μείωση του Όγκου των Ηλεκτρονικών

Διατηρώντας τις θερμοκρασίες των εξαρτημάτων κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια που θέτουν τα υλικά κατασκευής

Κίνητρο & Επιδιωκόμενοι Στόχοι

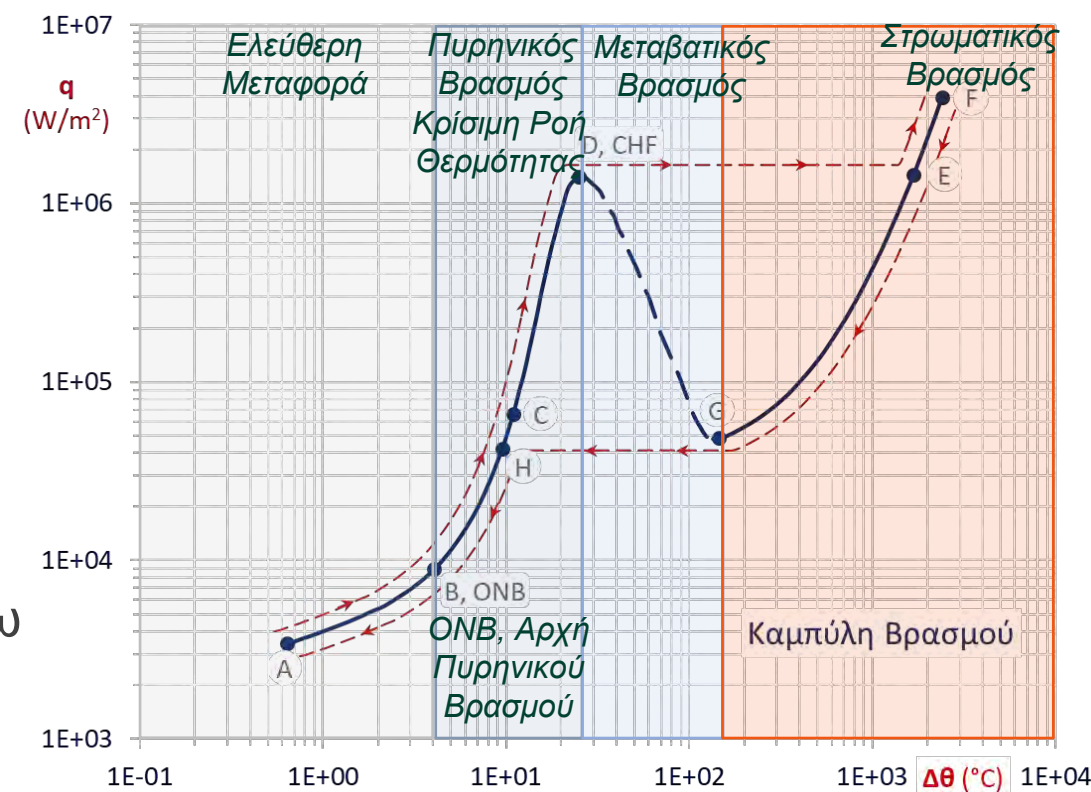
Η Ψύξη με Ψεκασμό (με χρήση ψυκτικών ρευστών) έχει αναδειχθεί ως μία πολλά υποσχόμενη λύση



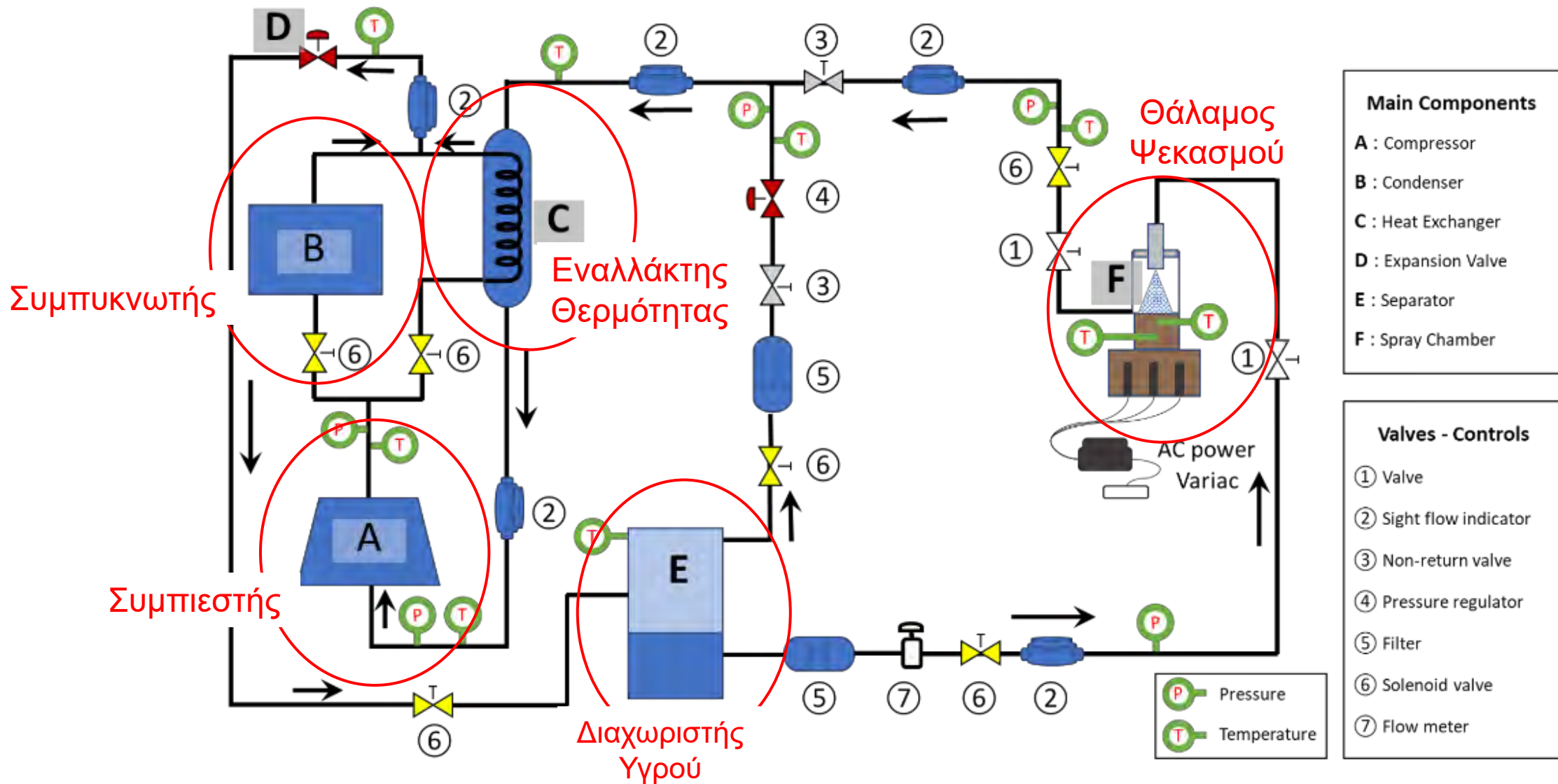
- ✓ Απαγωγή Μεγάλων Ποσών Αισθητής και Λανθάνουσας Θερμότητας
- ✓ Λειτουργία σε Κατάλληλο Εύρος Θερμοκρασιών

Κυρίαρχοι Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας

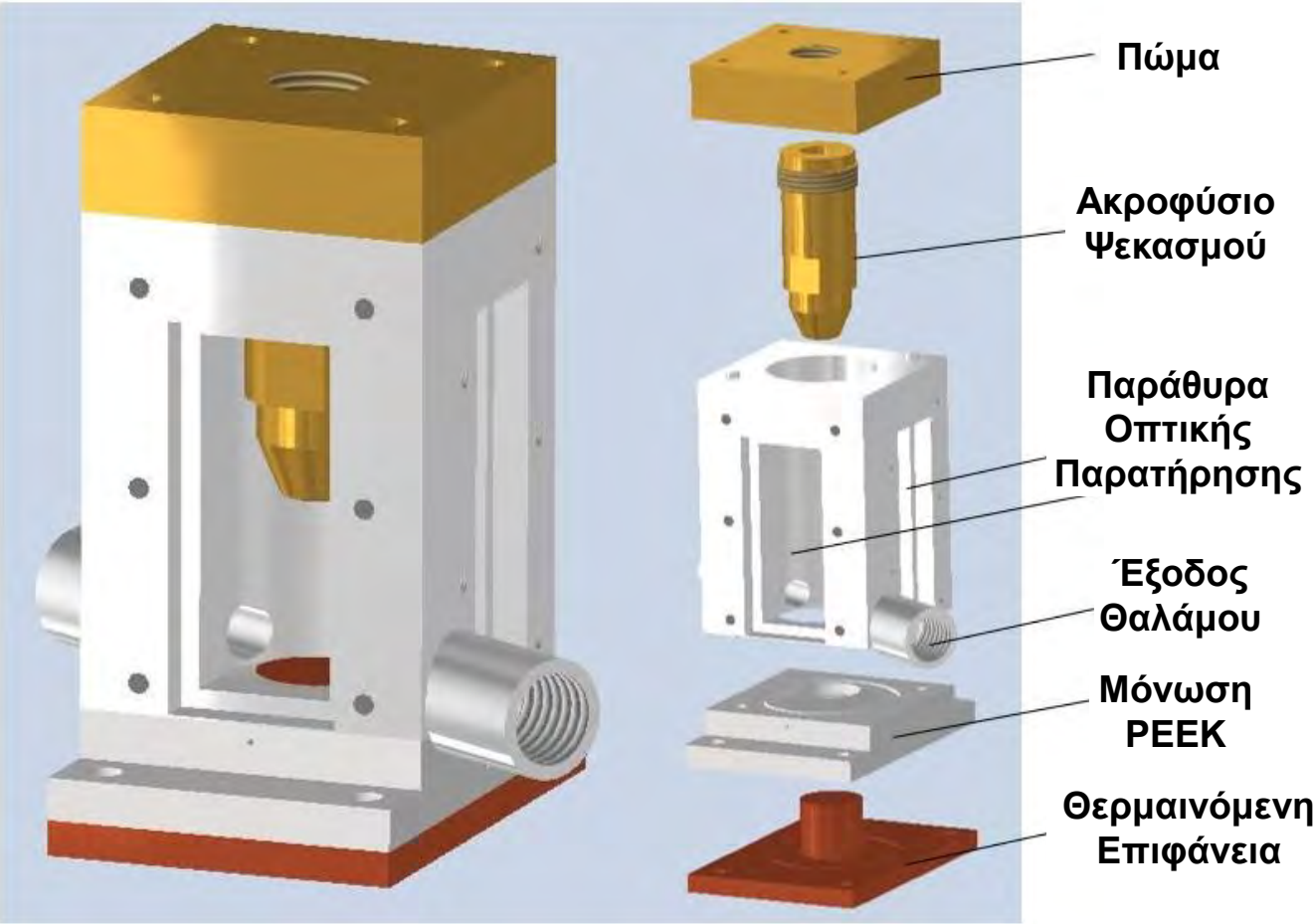
- ✓ Εξάτμιση του υγρού φιλμ πάνω από την επιφάνεια
- ✓ Εξαναγκασμένη Τυρβώδης Μεταφορά Θερμότητας λόγω της Πρόσκρουσης των Σταγονιδίων Ψεκασμού
- ✓ Ενεργοποίηση Σημείων Πυρηνοποίησης με Αποτέλεσμα την Εμφάνιση Φυσαλίδων
- ✓ Δημιουργία Δευτερογενών Σημείων Πυρηνοποίησης λόγω της Συνεχούς Πρόσκρουσης Σταγονιδίων



Πειραματική Διάταξη – Κλειστό Ψυκτικό Κύκλωμα

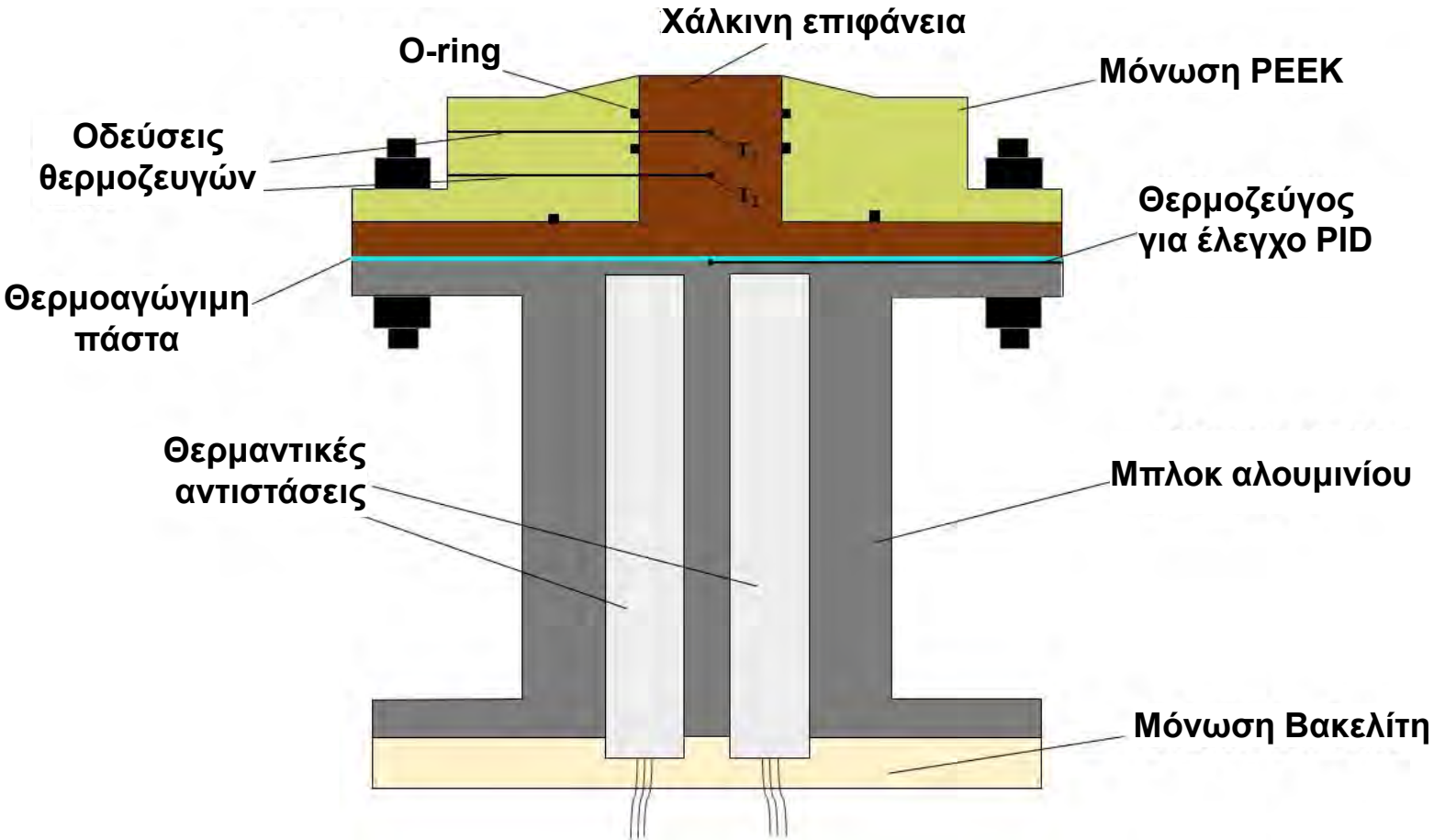


Θάλαμος Ψεκασμού



Θάλαμος Ψεκασμού	50 ml Εσωτερικός Όγκος
Θερμαινόμενη Επιφάνεια	Ø 16 mm Χαλκός (Επίπεδη επιφάνεια)
Ύψος Ψεκασμού	5 ύψη ψεκασμού (15, 20, 25 ,30, 35 mm)
Ακροφύσιο	Danfoss OD full cone (45° & 60°)
Έξοδος Θαλάμου	2 x Ø8 mm holes
Παράθυρα Παρατήρησης	Παράθυρα γυαλιού για οπτική παρατήρηση

Σύστημα Θέρμανσης



1 D – Μονοδιάστατη Αγωγή Θερμότητας στο Λαιμό του Χαλκού	
Μόνωση Peek	
Εκτίμηση Ροής Θερμότητας	2 x K type Θερμοζεύγη
Πηγή Θέρμανσης	4 x 400-Watt Αντιστάσεις (heating rods)
Έλεγχος Ροής Θερμότητας	PID controller

Πειραματική Διαδικασία & Μετρήσεις

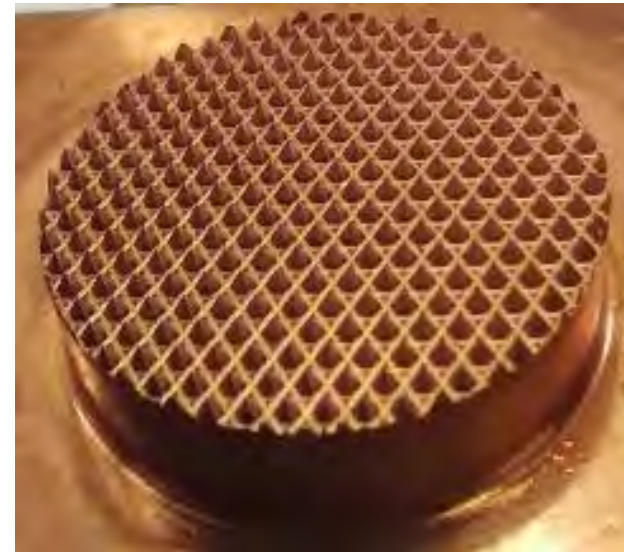
- ✓ Η **πίεση και η θερμοκρασία** παρακολουθούνται σε σημεία ενδιαφέροντος κατά μήκος του συστήματος κλειστού βρόχου.
- ✓ Η **παροχή μάζας** μετρήθηκε χρησιμοποιώντας μετρητή ροής υγρού με αβεβαιότητα 5%.
- ✓ Η **ροή θερμότητας** μετρήθηκε χρησιμοποιώντας τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 2 σημείων κατά μήκος της μονάδας χαλκού.
- ✓ Μετρήθηκε η ηλεκτρική κατανάλωση των αντιστάσεων
- ✓ Η θερμοκρασία βάσης του χαλκού ρυθμίζεται με ελεγκτή PID.
- ✓ Όλες οι μετρητικές διατάξεις παρακολουθούνται και ελέγχονται από μια πλατφόρμα IoT που κατασκευάστηκε από τη Meazon.
- ✓ Τροποποιημένος κύκλος HVAC που βασίζεται σε σύστημα R410a 12000 Btu/hr.

Πειραματική Διαδικασία & Μετρήσεις

Μελετήθηκαν οι δυνατότητες ψύξης με ριπαίο ψεκασμό σε **επίπεδη επιφάνεια** και σε τροποποιημένη επιφάνεια με διατεταγμένες **κανονικές εξαγωνικές πυραμίδες**.



Επίπεδη θερμαινόμενη
επιφάνεια



Θερμαινόμενη επιφάνεια με
κανονικές εξαγωνικές
πυραμίδες

Πεδία Διερεύνησης

Παράμετροι Διερεύνησης
(Ακροφύσιο 60°)

Αποτελέσματα

Υψος Ψεκασμού (mm)

15

20

25

30

35

×

Παροχή Ψυκτικού (gr/s)

4.5

5.5

6.0



Ροή Θερμότητας
(Heat flux)

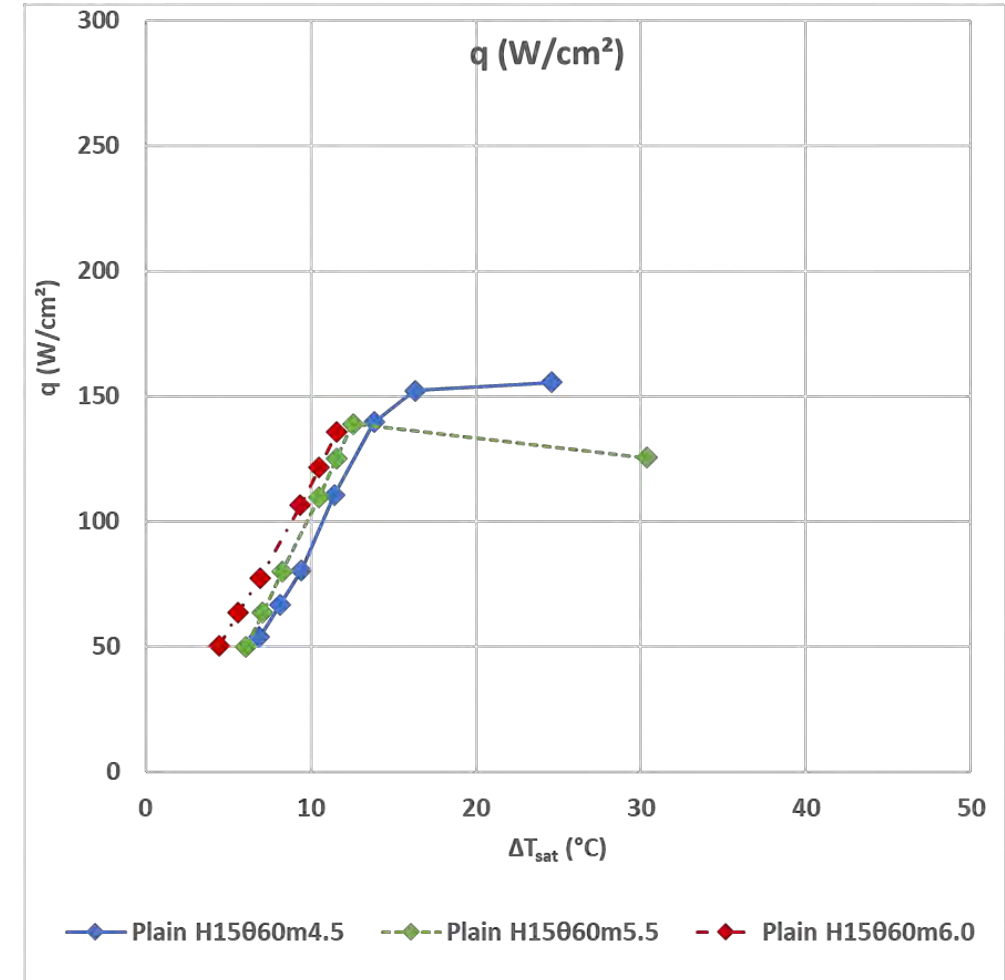
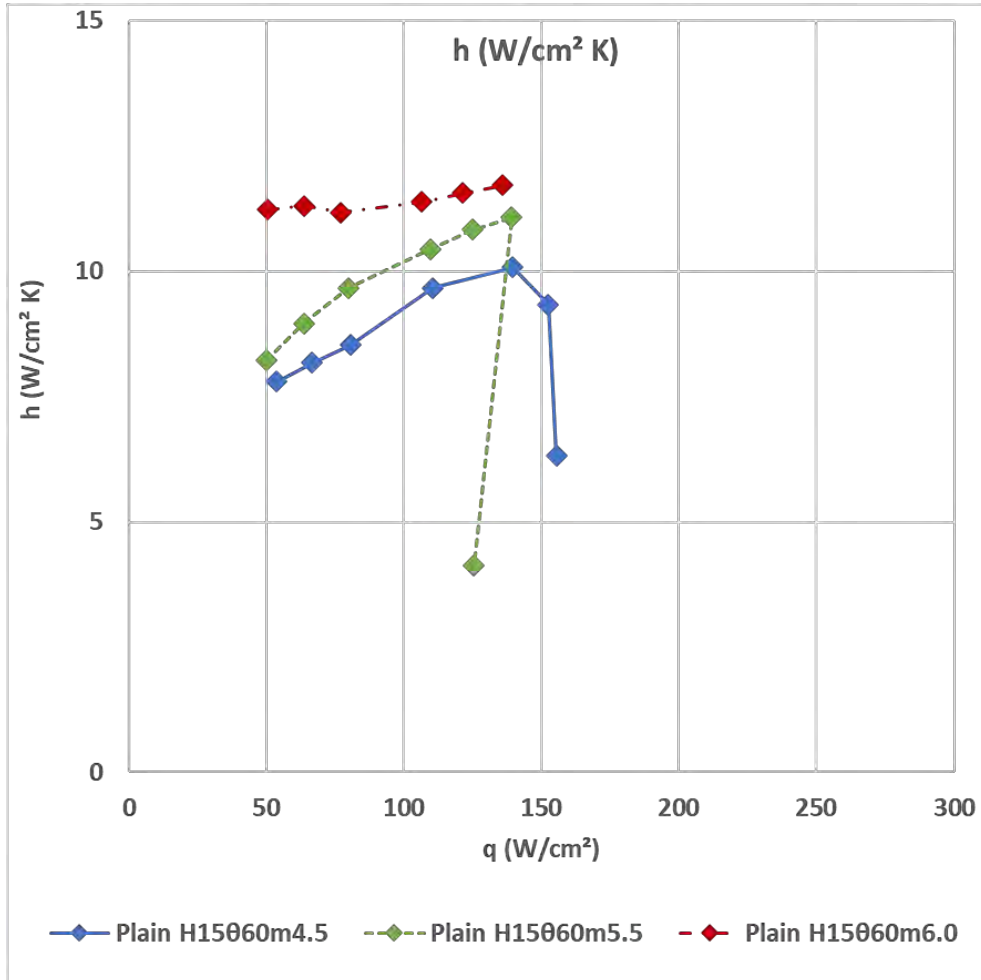
Συντελεστής Μεταφοράς
Θερμότητας
(Heat Transfer Coefficient)

Υπερθέρμανση Επιφάνειας
(Surface Superheat)

Αποτελέσματα – Επίδραση της Παροχής με το Ύψος Ψεκασμού

Επίπεδη Επιφάνεια

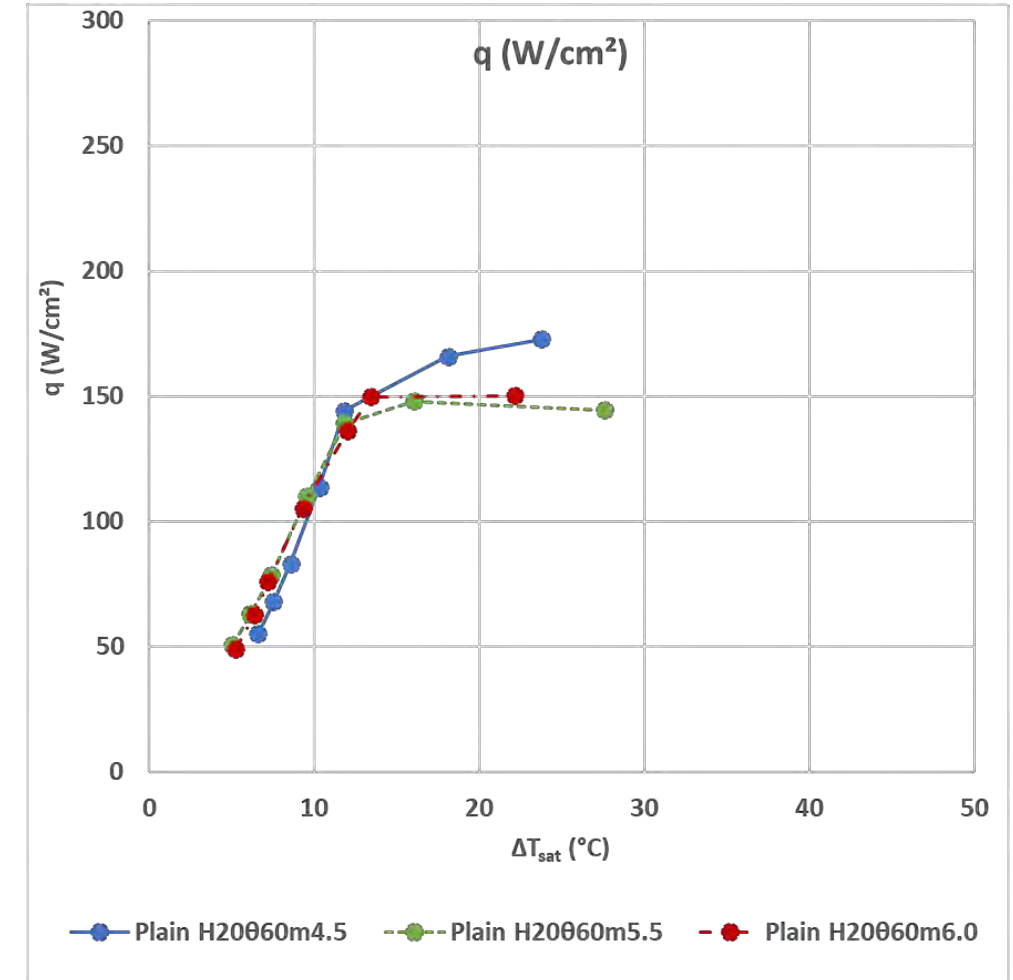
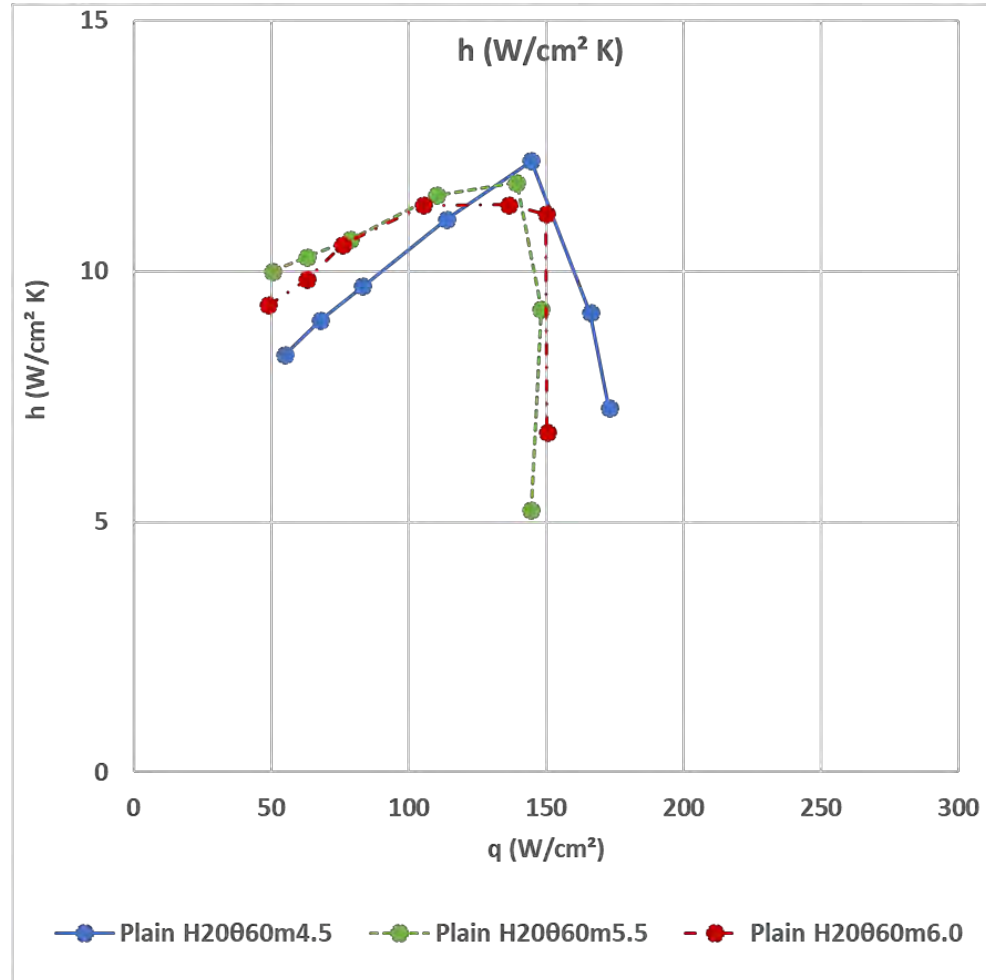
Ύψος Ψεκασμού $H = 15 \text{ mm}$
 $\theta = 60^\circ$



Αποτελέσματα – Επίδραση της Παροχής με το Ύψος Ψεκασμού

Επίπεδη Επιφάνεια

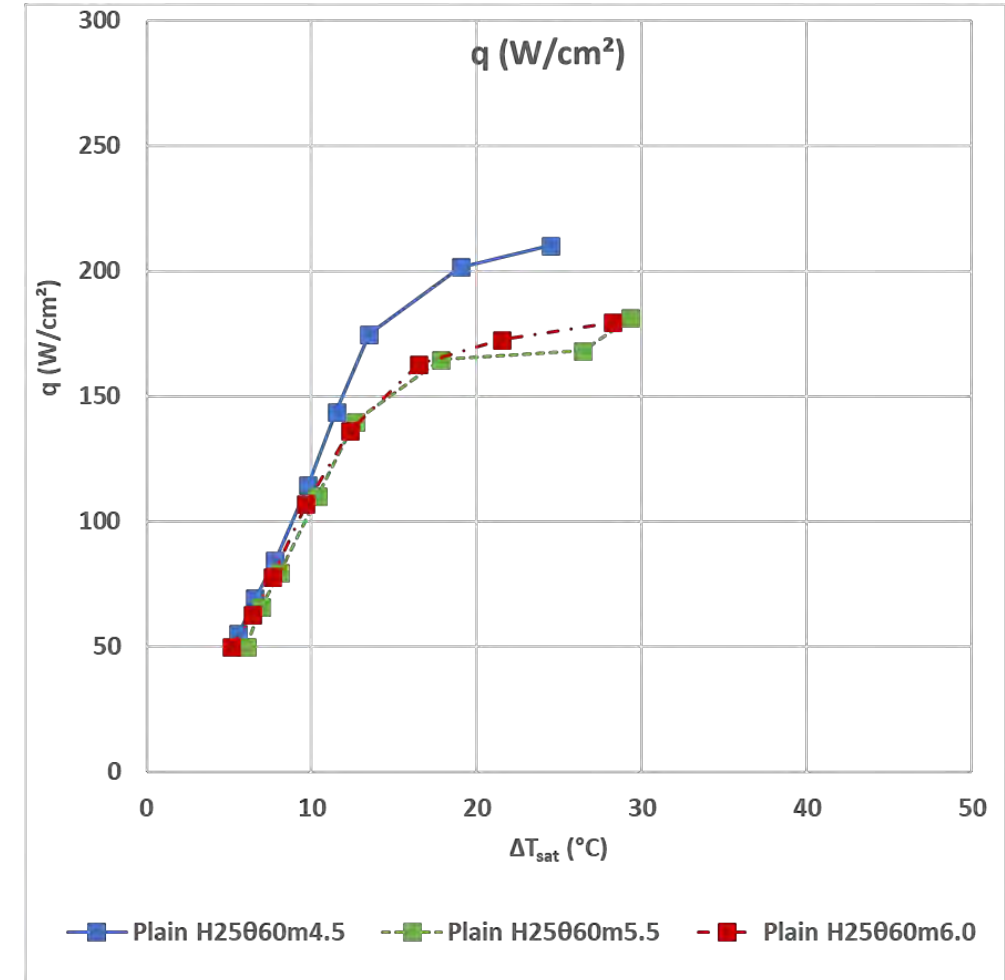
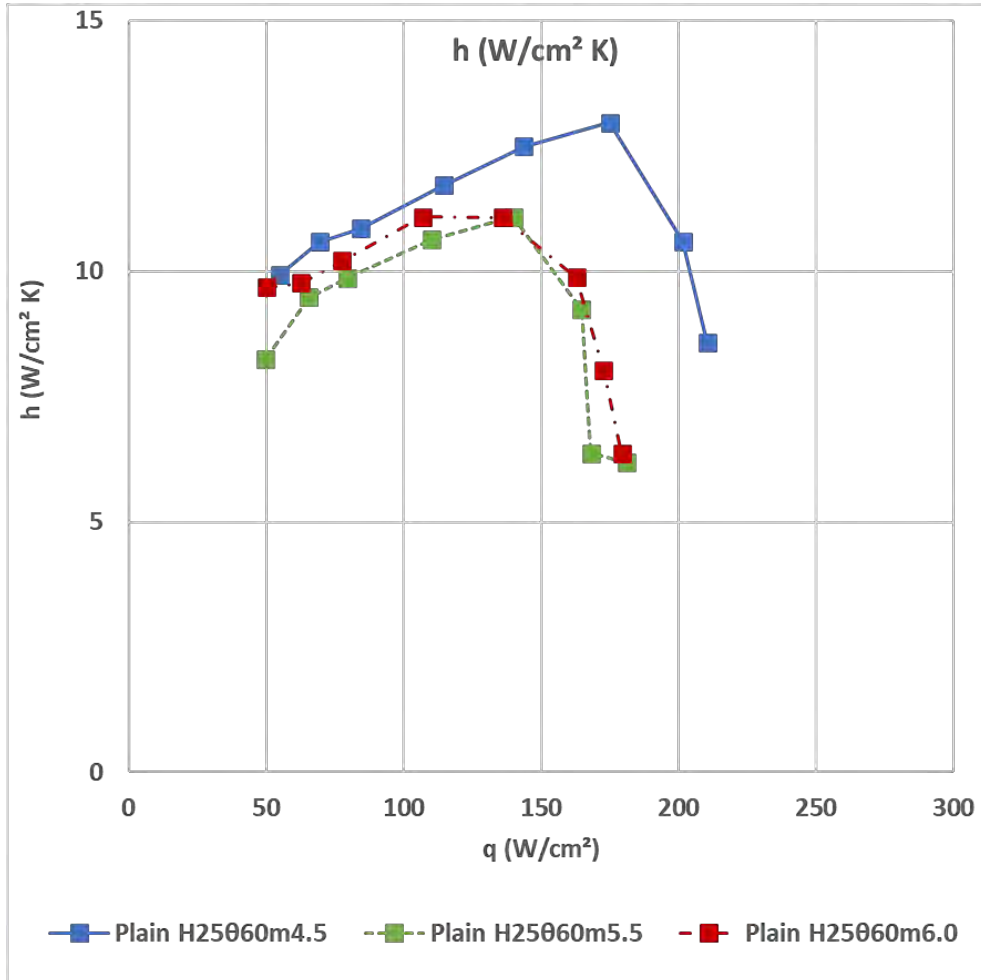
Ύψος Ψεκασμού $H = 20 \text{ mm}$
 $\theta = 60^\circ$



Αποτελέσματα – Επίδραση της Παροχής με το Ύψος Ψεκασμού

Επίπεδη Επιφάνεια

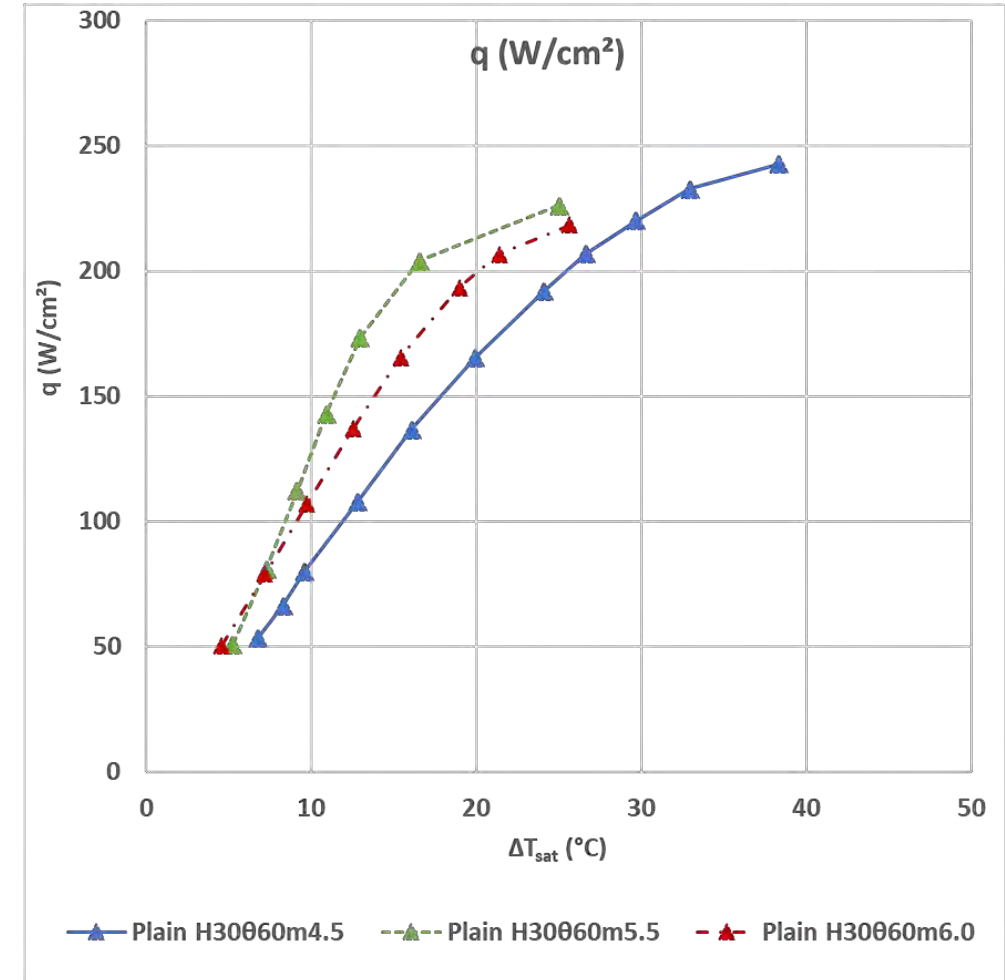
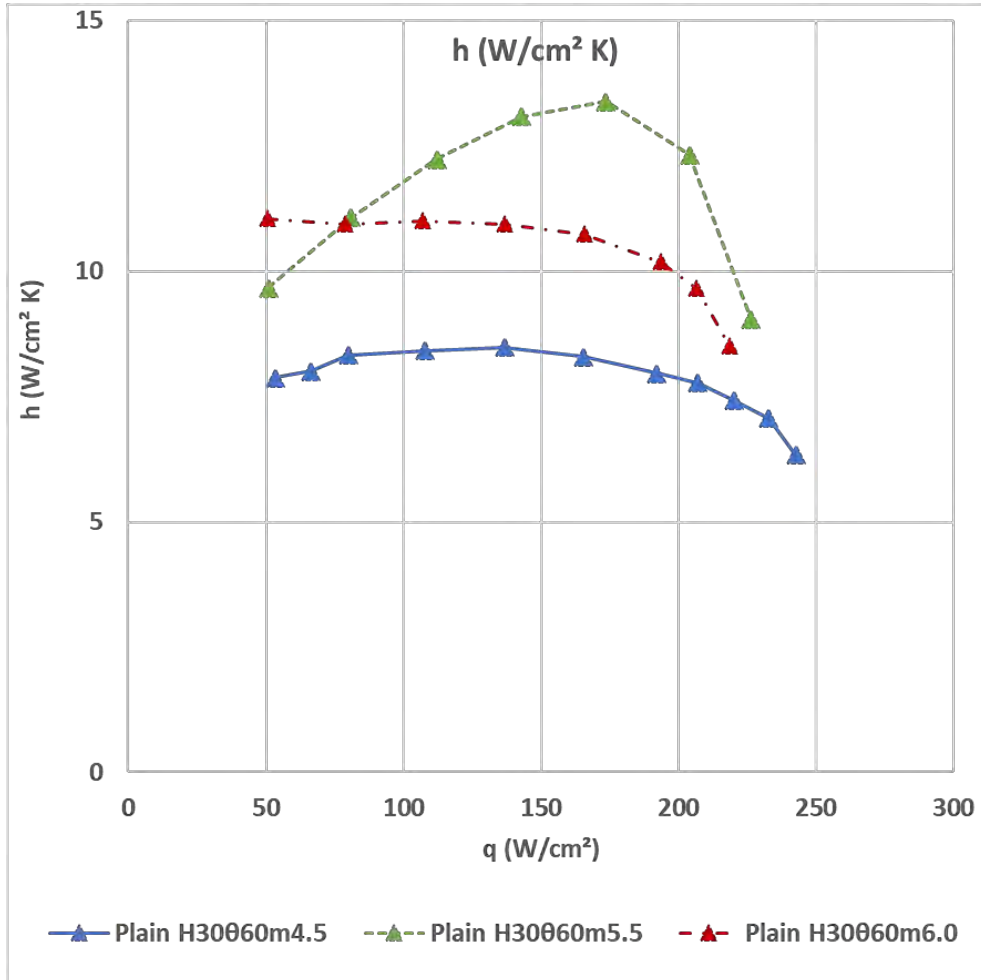
Ύψος Ψεκασμού $H = 25 \text{ mm}$
 $\theta = 60^\circ$



Αποτελέσματα – Επίδραση της Παροχής με το Ύψος Ψεκασμού

Επίπεδη Επιφάνεια

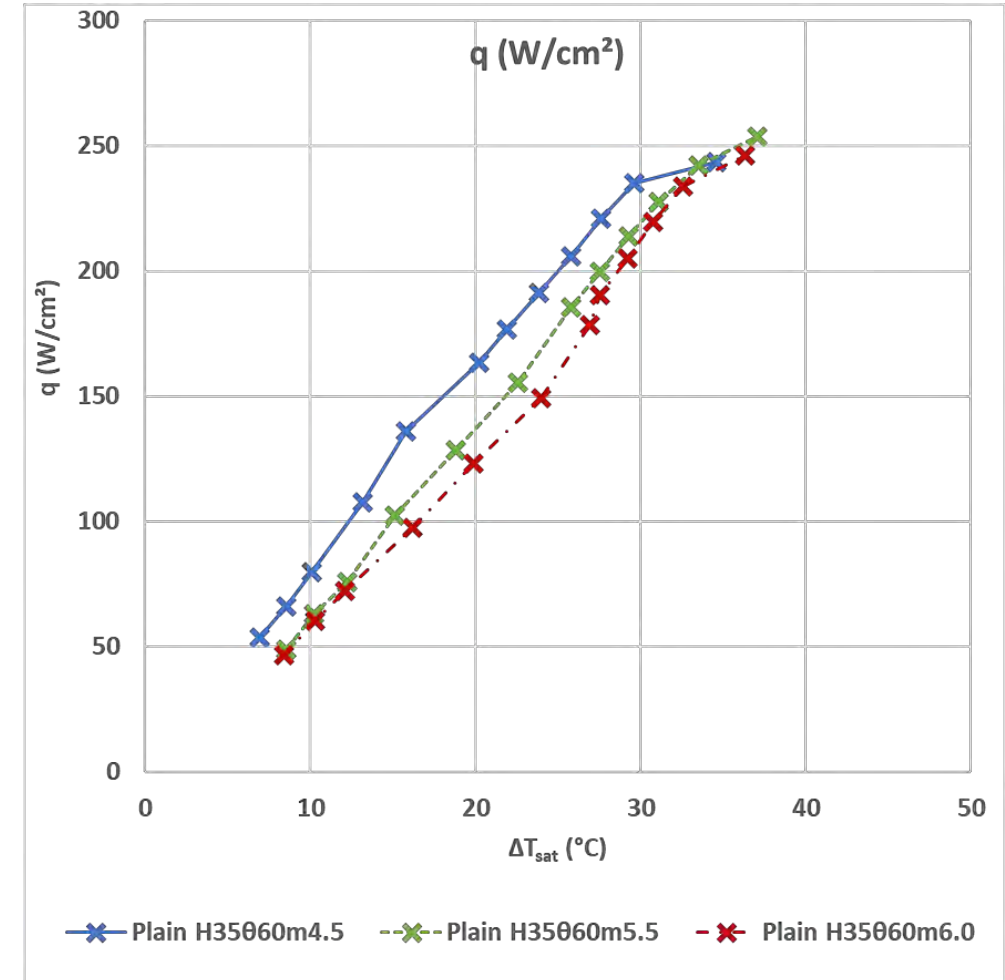
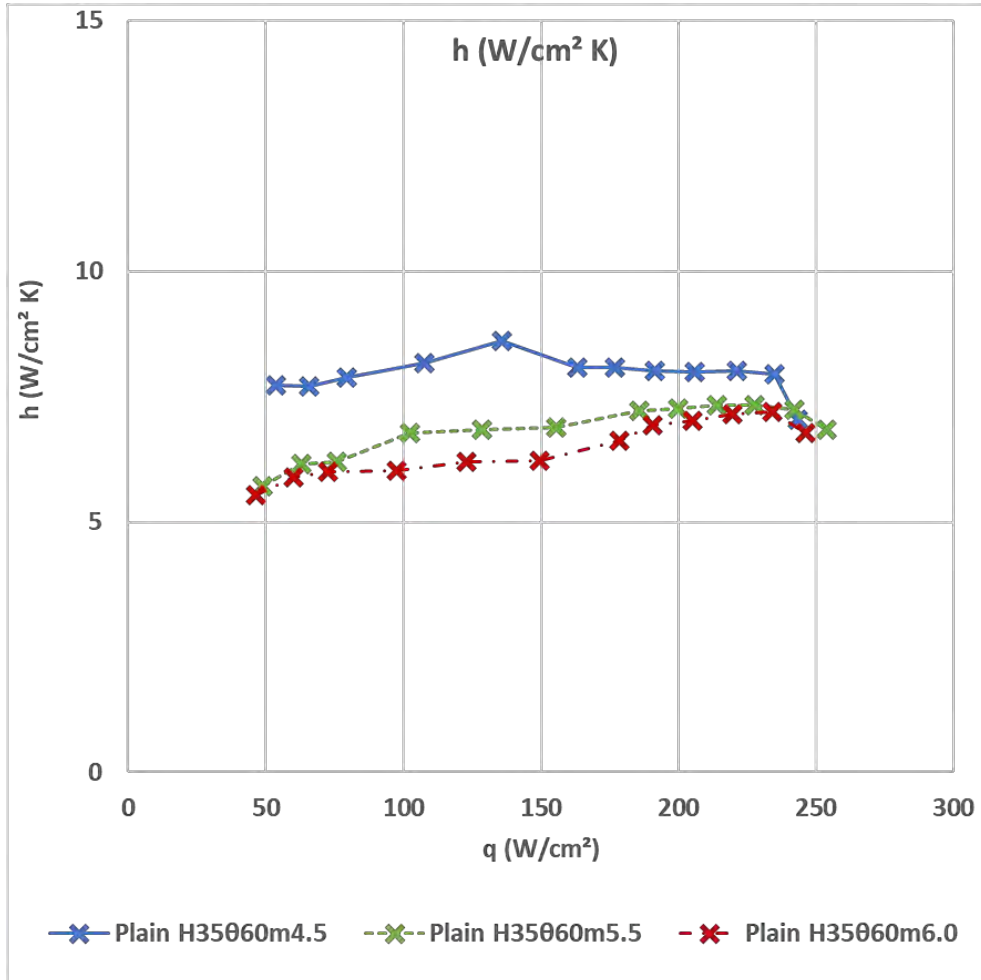
Ύψος Ψεκασμού $H = 30 \text{ mm}$
 $\theta = 60^\circ$



Αποτελέσματα – Επίδραση της Παροχής με το Ύψος Ψεκασμού

Επίπεδη Επιφάνεια

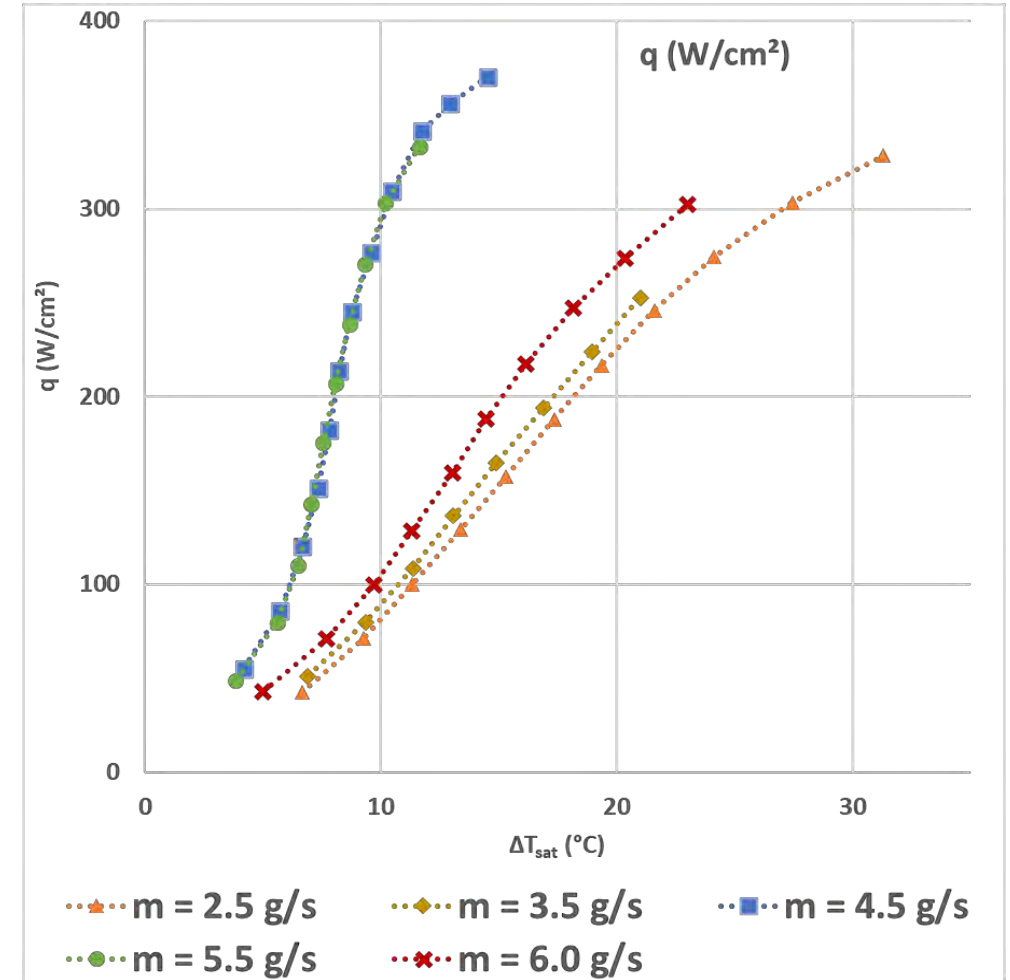
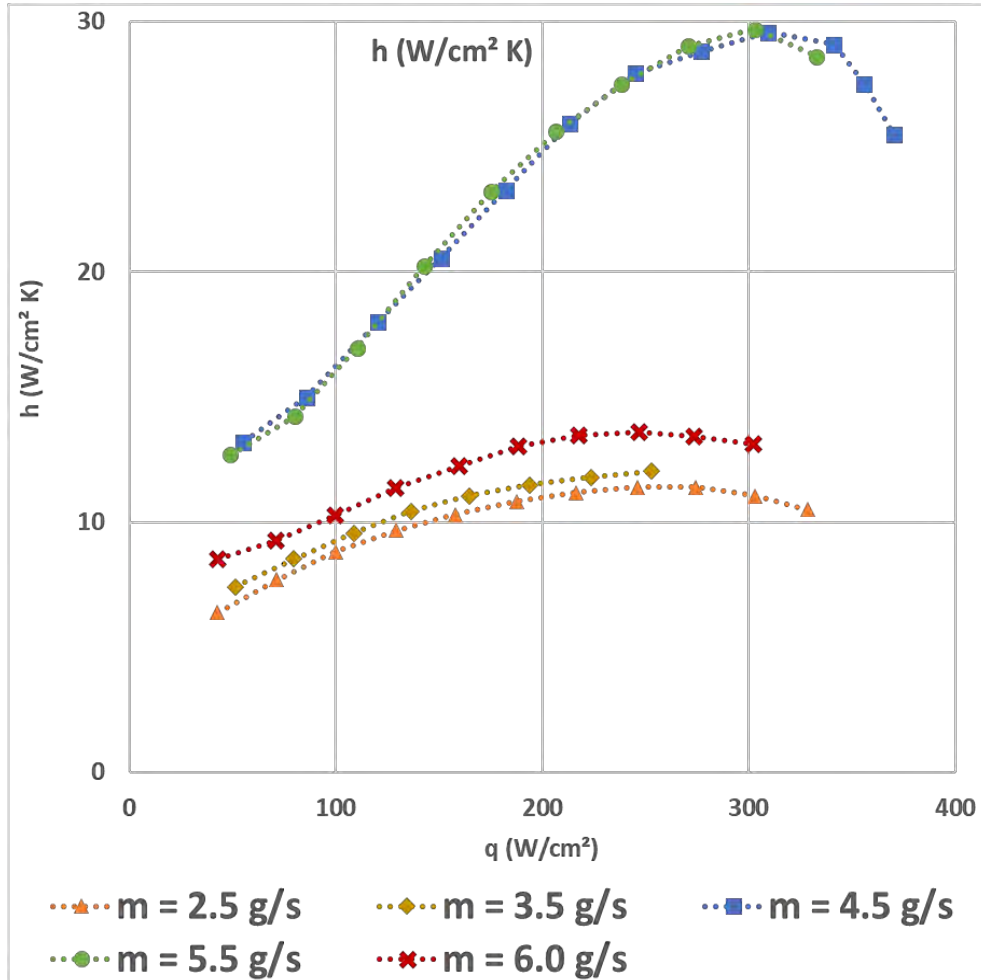
Ύψος Ψεκασμού $H = 35 \text{ mm}$
 $\theta = 60^\circ$



Αποτελέσματα – Επίδραση της Παροχής με το Ύψος Ψεκασμού

Εξαγωνική Πυραμίδα

Ύψος Ψεκασμού $H = 30 \text{ mm}$
 $\theta = 60^\circ$



Συμπερασματικά Σχόλια

- ✓ Η τάξη μεγέθους της **ροής θερμότητας** και ο **συντελεστής μεταφοράς θερμότητας** σε όλα τα πειράματα, δείχνει ότι η τεχνική του ψεκασμού είναι ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας.
- ✓ Μέγιστη ροή θερμότητας, **$\sim 240 \text{ W/cm}^2$ Επίπεδη Επιφάνεια** και **$\sim 380 \text{ W/cm}^2$ Πυραμίδες**, $H=30 \text{ mm}$, $m=4.5 \text{ g/s}$.
- ✓ Μέγιστος συντελεστής θερμότητας, **$\sim 13.5 \text{ W/cm}^2\text{K}$ Επίπεδη Επιφάνεια**, **$\sim 30 \text{ W/cm}^2\text{K}$ Πυραμίδες**, $H=30 \text{ mm}$, $m=4.5$ και 5.5 g/s .
- ✓ Η αύξηση του ύψους ψεκασμού έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη μεγαλύτερων ροών θερμότητας.
- ✓ Η αύξηση του ύψους ψεκασμού μετατοπίζει τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας έναντι της καμπύλης ροής θερμότητας προς τα δεξιά, πράγμα που σημαίνει ότι τα μεγαλύτερα ύψη ψεκασμού δείχνουν καλύτερη ικανότητα ψύξης για μεγαλύτερες ροές θερμότητας.

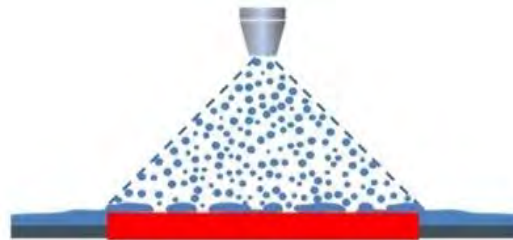


Ευχαριστώ για την προσοχής σας !

Αλέξανδρος Ρωμαίος
romaios@upatras.gr



LABORATORY OF APPLIED
THERMODYNAMICS



SprayElectroCooling project

High Efficiency Heat Dissipation and Energy Conservation for
Ultra-High Power Electronic Devices Based on Flashing Spray



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης

