

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ & ΑΡΧΙΚΗ  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ (Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. II)**

**«ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ II - ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ  
ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΤΕΙ (ΕΕΟΤ)»**

**ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ 2<sup>ΟΥ</sup> ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ:**

**“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥ  
ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”**

**Ίδρυμα (Φορέας Υλοποίησης): Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών**

**Τμήμα: Μηχανολογίας**

**Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δημήτριος Χασάπης**

**Χρονική Περίοδος: 01/04/2005 – 31/07/2005**

## ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Διάρκεια έργου : 24 Μήνες

Ημερομηνία έναρξης έργου: 01/01/2005

Ημερομηνία λήξης έργου: 31/12/2006

**Όνοματεπώνυμο επιστημονικού υπευθύνου υποέργου**: Δημήτριος Χασάπης  
Ιδιότητα / Θέση: Καθηγητής  
Τμήμα: Μηχανολογίας  
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών (Τ.Ε.Ι Σερρών)  
Ταχυδρομική Διεύθυνση: Τέρμα Μαγνησίας – 62124 Σέρρες  
Τηλ.: 2321049243 | Fax: 2321046556 | E-mail: dcasap@teiser.gr

**Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας**: Αναστάσιος Μπαλουκτσής  
Ιδιότητα / Θέση: Καθηγητής – Αντιπρόεδρος Τ.Ε.Ι Σερρών  
Τμήμα: Πληροφορικής & Επικοινωνιών  
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών (Τ.Ε.Ι Σερρών)  
Ταχυδρομική Διεύθυνση: Τέρμα Μαγνησίας – 62124 Σέρρες  
Τηλ.: 23210 49102 | Fax: 23210 46556 | E-mail: tasosb@teiser.gr

**Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας**: Κων/νος Δαυίδ  
Ιδιότητα / Θέση: Επίκουρος Καθηγητής  
Τμήμα: Μηχανολογίας  
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών (Τ.Ε.Ι Σερρών)  
Ταχυδρομική Διεύθυνση: Τέρμα Μαγνησίας – 62124 Σέρρες  
Τηλ.: 2321049143 | Fax: 2321046556 | E-mail: david@teiser.gr

**Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας**: Αριστομένης Αντωνιάδης  
Ιδιότητα / Θέση: Αναπληρωτής Καθηγητής – Διευθυντής Σ.Τ.Ε.Φ  
Τμήμα: Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος  
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου, Κρήτης (Τ.Ε.Ι Ηρακλείου)  
Τηλ.: 2821023012 | E-mail: antoniadis@chania.teiher.gr

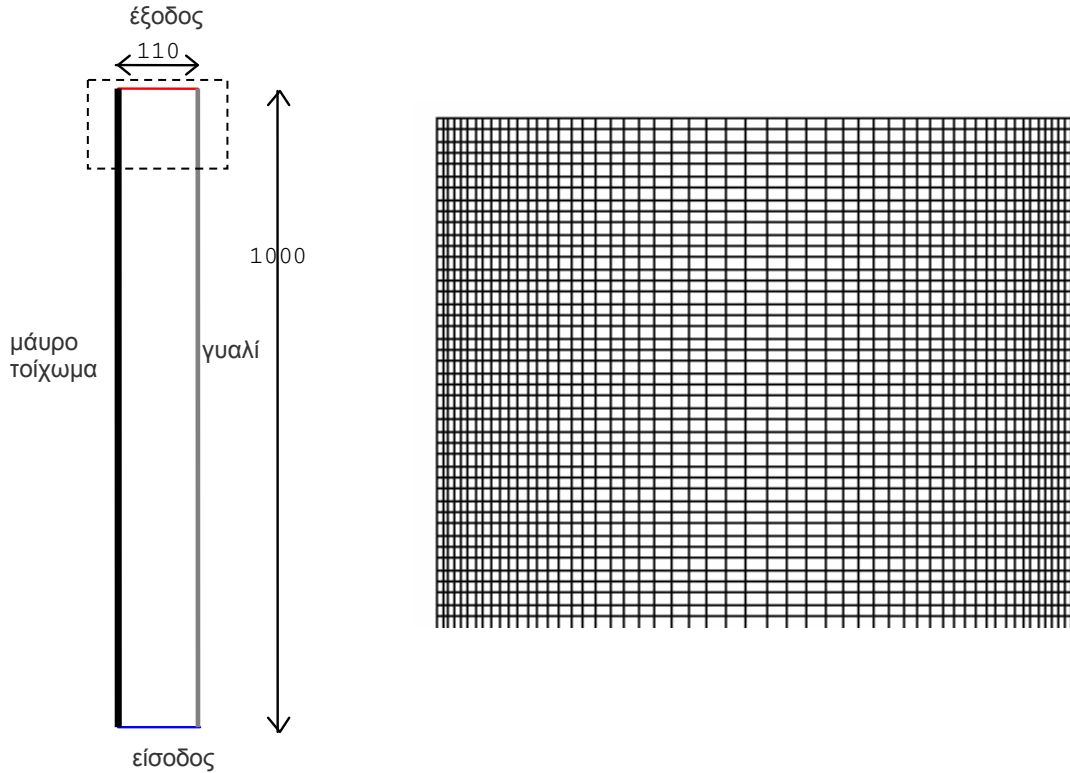
**Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας**: Θεόδωρος Καραπάντσιος  
Ιδιότητα / Θέση: Επίκουρος Καθηγητής  
Τμήμα: Χημείας  
Ίδρυμα: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ)  
Ταχυδρομική διεύθυνση: Πανεπιστημιακή Θυρίδα 116, 54124 Θεσσαλονίκη  
Τηλ.: 2310997772 | Fax: 2310997759 | E-mail: karapant@chem.auth.gr

## 1. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ (ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο αναλυτικός υπολογιστικός σχεδιασμός του αεραγωγού υιοθετεί γεωμετρικές και λειτουργικές αρχές που έχουν δοκιμαστεί ευρέως. Για την ακριβή επίλυση των βασικών εξισώσεων του σχεδιασμού θα χρησιμοποιηθεί ο εμπορικός κώδικας υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) Fluent 6.1.18 για την προσομοίωση του αεραγωγού. Οι εξελίξεις που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια στον τομέα της υπολογιστικής ρευστομηχανικής επιτρέπουν μια λεπτομερειακή και ακριβής μελέτη πολύπλοκων προβλημάτων σε τόσο μεγάλη λεπτομέρεια που δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί από μοντέλα ή ακόμη πειραματικές μεθόδους.

Οι προσομοιώσεις έγιναν στον αεραγωγό για να επιτρέψουν την επιλογή της καλύτερης σχεδιαστικής πρότασης. Με δεδομένη την απλή γεωμετρία της ηλιακής καμινάδας ακολουθήθηκε η προσέγγιση 2-D. Το πεδίο 2-D είναι η ηλιακή καμινάδα μεταβλητού ύψους και πλάτους 110 mm. Η διάσταση του βάθους (χρησιμοποιήθηκε μόνο για την εκτίμηση των ολικών παροχών) είναι 740 mm όπως και στο πειραματικό σχέδιο. Το υπολογιστικό πλέγμα έχει τα κελιά του να μαζεύονται προς τον μαύρο τοίχωμα και τον υαλοπίνακα (Σχήμα 1, καμινάδα ύψους 1 m). Σε τέτοια προβλήματα η μετάδοση θερμότητας από τα τοιχώματα είναι ο κύριος μηχανισμός για τη ροή. Επειδή ο υπολογισμένος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας εξαρτάται από την τοπική ταχύτητα και τα προφίλ των θερμοκρασιών, είναι πολύ σημαντικό να επιλυθεί με μεγάλη ακρίβεια το οριακό στρώμα. Μεγάλη προσοχή δόθηκε σε κάποιες αρχικές προσομοιώσεις για την εκτίμηση και επιβεβαίωση του σωστού μεγέθους κελιού κοντά στο τοίχωμα, γιατί η επιλογή ενός λάθους μεγέθους θα είχε σαν αποτέλεσμα να εκτιμηθούν λανθασμένα η ταχύτητα και θερμοκρασία στο οριακό στρώμα από τον κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Μια τιμή του  $y^+$  γύρω στο 2 επιλέχθηκε στα τοιχώματα για το μοντέλο της τύρβης που ήταν αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις.

Το τελικό πλέγμα για την καμινάδα ύψους 1 m αποτελείται από 55 κελιά στο μήκος και 500 στο ύψος (συνολικά 27500 κελιά), με μέσο μέγεθος κελιού τα 2 mm. Για πιο υψηλές καμινάδες το μέγεθος του πλέγματος αυξήθηκε ανάλογα στο ύψος για να διατηρηθεί η ίδια χωρική ανάλυση. Ο αριθμός Reynolds της ροής υπολογίστηκε περίπου από 2000 ως 4000. Αυτή είναι μια πολύ ευαίσθητη περιοχή, γιατί η ροή είναι μεταβατική και μπορεί από στρωτή να γίνει τυρβώδη. Οι προσομοιώσεις λοιπόν έγιναν και με μοντέλα στρωτής και τυρβώδους ροής. Για το μοντέλο της τύρβης επιλέχθηκε το μοντέλο k- $\omega$  SST με την επιλογή της μετάβασης της ροής να είναι ενεργοποιημένη (Fluent, 2004). Αυτό το μοντέλο είναι το πιο κατάλληλο για σχετικά στρωτή ή τυρβώδη ροή με χαμηλούς αριθμούς Reynolds. Η συμπεριφορά αυτού του μοντέλου τύρβης αποδείχθηκε κατάλληλη στο να συλλαμβάνει φαινόμενα μετάβασης τη ροής, όπως θα φανεί παρακάτω στα αποτελέσματα.



Σχήμα 1. Υπολογιστικό πεδίο (αριστερά) και κοντινό στο πλέγμα κοντά στην έξοδο (μαύρο διακεκομμένο πλαίσιο) που δείχνει την συστοιχία των κελιών κοντά στα τοιχώματα (δεξιά)

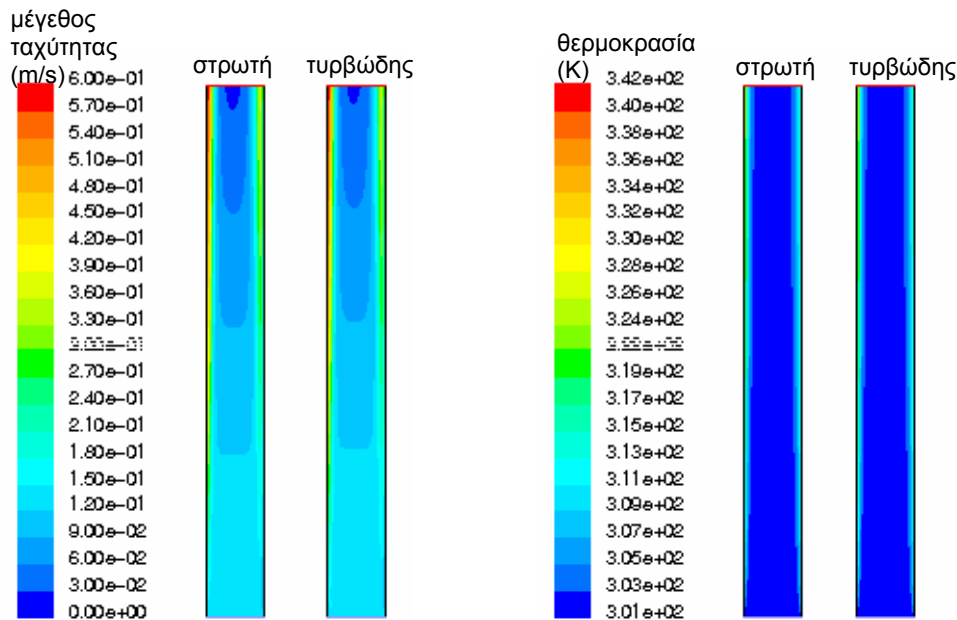
Η εξίσωση της ενέργειας χρησιμοποιήθηκε για να μοντελοποιήσει φαινόμενα μετάδοσης θερμότητας και ο όρος της βαρύτητας συμπεριλήφθηκε στη ροή. Η προσέγγιση Boussinesq χρησιμοποιήθηκε για την πυκνότητα του αέρα, με καθορισμένο σταθερό συντελεστή θερμικής διαστολής. Για τις υπόλοιπες φυσικές ιδιότητες: ιξώδες, θερμοχωρητικότητα και θερμοαγωγιμότητα, χρησιμοποιήθηκαν πολυωνυμικές συσχετίσεις. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται οι ιδιότητες του αέρα που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς, όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία,  $\rho$  είναι η πυκνότητα,  $\beta$  είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής,  $k$  είναι η θερμοαγωγιμότητα,  $C_p$  είναι η θερμοχωρητικότητα και  $\mu$  είναι το ιξώδες.

Πίνακας 1. Ιδιότητες του αέρα που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς (Perry & Green, 1997)

$T$ (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\beta$ (10 <sup>-3</sup> / K)	$k$ (10 <sup>-3</sup> W / m·K)	$C_p$ (kJ / kg·K)	$\mu$ (10 <sup>-6</sup> kg / m·s)
0	1.2754	3.671	24.54	1.006	17.10
20	1.1881	3.419	26.03	1.007	17.98
40	1.1120	3.200	27.49	1.008	18.81
60	1.0452	3.007	28.94	1.009	19.73
80	0.9859	2.836	30.38	1.010	20.73
100	0.9329	2.684	31.81	1.012	21.60
120	0.8854	2.547	33.23	1.014	22.43
140	0.8425	2.423	34.66	1.017	23.19
160	0.8036	2.311	36.07	1.020	24.01

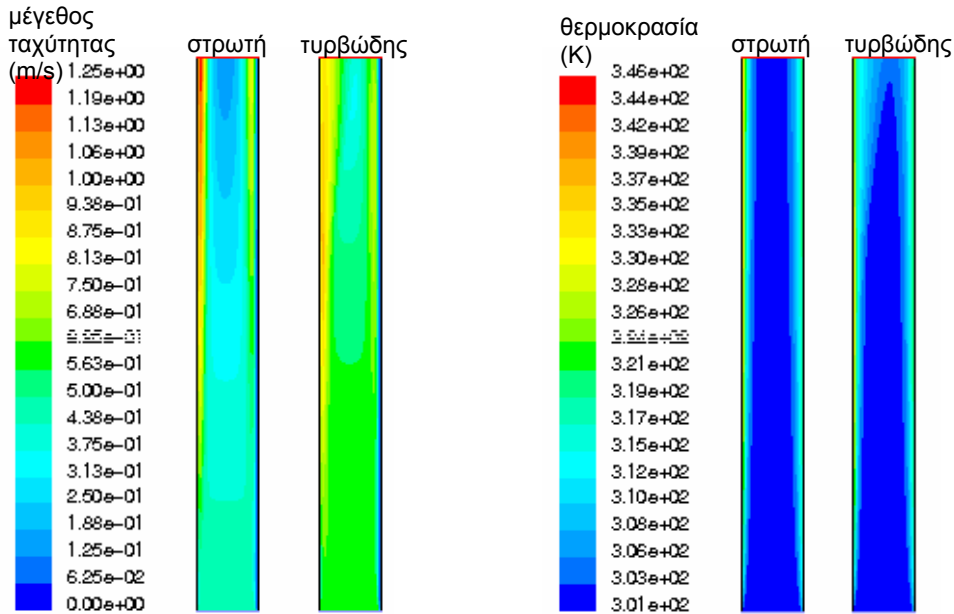
Εφαρμόστηκε και μοντελοποίηση ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας το μοντέλο Surface to Surface (S2S) (Fluent, 2004). Αυτό το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λάβει υπόψη την ανταλλαγή ακτινοβολίας σε κλειστή περιοχή επιφανειών. Η ανταλλαγή μεταξύ των δυο επιφανειών εξαρτάται από το μέγεθός τους, την απόσταση διαχωρισμού και τον προσανατολισμό. Αυτοί οι παράγοντες έχουν ληφθεί υπόψη με μια γεωμετρική συνάρτηση που ονομάζεται “view factor” και υπολογίζεται από τον κώδικα. Η κύρια υπόθεση στο μοντέλο αυτό είναι ότι κάθε απορρόφηση, εκπομπή ή διάχυση της ακτινοβολίας από τον αέρα (το μέσο μεταξύ των επιφανειών) μπορεί να αγνοηθεί, επομένως μόνο ακτινοβολία από μια επιφάνεια στην άλλη πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Η αρχική δοκιμαστική λειτουργία έγινε για να εκτιμηθούν τα μοντέλα και οι οριακές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα του μοντέλου της στρωτής ροής συγκρίθηκαν με αυτά του μοντέλου τύρβης k- $\omega$  SST. Για ύψος καμινάδας 1 m και τα δυο μοντέλα είχαν τα ίδια αποτελέσματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Το μέγεθος της ταχύτητας αποτελείται από δυο κορυφές πολύ κοντά στα τοιχώματα, ενώ στο κέντρο οι ταχύτητες παραμένουν χαμηλές. Το πεδίο των θερμοκρασιών παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά.



Σχήμα 2. Κατανομές μεγέθους της ταχύτητας και της θερμοκρασίας. Σύγκριση του στρωτού και τυρβώδους μοντέλου για ύψος καμινάδας 1 m

Αντιθέτως, για ύψος καμινάδας 4 m είναι φανερό ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν αποκλίσεις (Σχήμα 3). Καθώς η καμινάδα είναι πιο υψηλή, περισσότερη θερμότητα μεταδίδεται στη ροή και έτσι οι ταχύτητες αυξάνουν. Με την αύξηση αυτή, αυξάνει και η τάση της ροής να γίνεται τυρβώδης. Η προσομοίωση με την στρωτή ροή δεν μπορεί περιγράψει το φαινόμενο, γιατί δεν συμβαίνει κάποια μεταβολή στην προσομοίωση της στρωτής ροής. Αντίθετα, το μοντέλο k- $\omega$  SST δείχνει να μπορεί να προβλέψει αυτή τη μετάβαση, καθώς και τις συνέπειες από τη μίξη και τη διαστολή των θερμικών οριακών στρωμάτων.

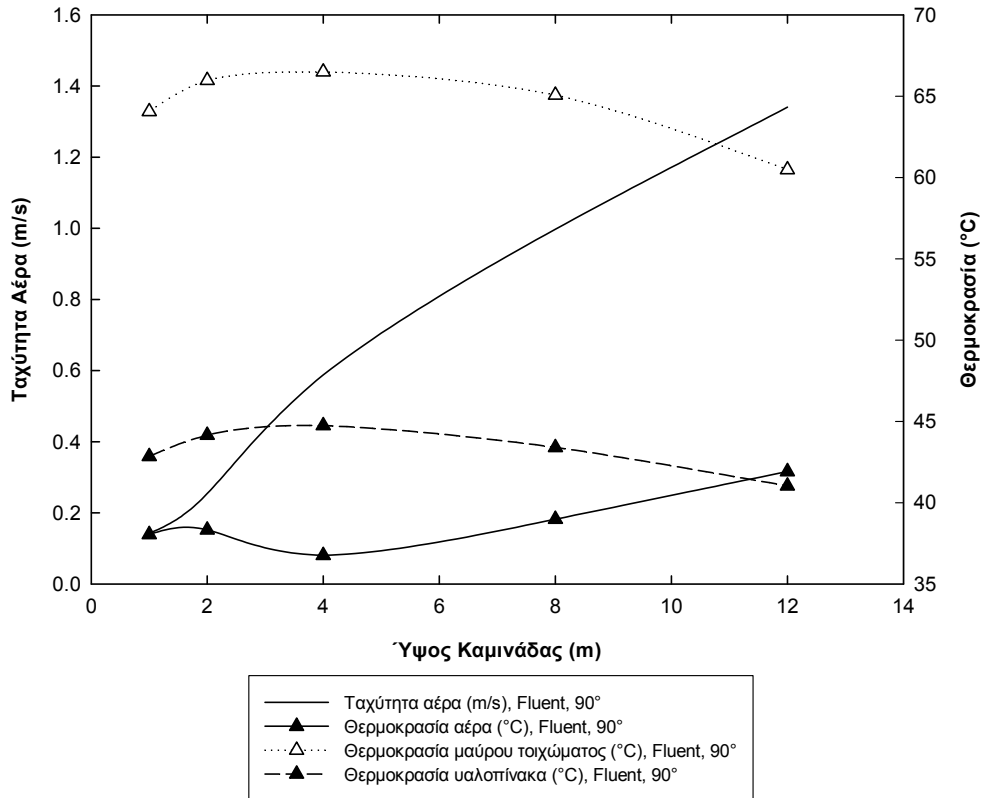


**Σχήμα 3. Κατανομές μεγέθους της ταχύτητας και της θερμοκρασίας. Σύγκριση του στρωτού και τυρβώδους μοντέλου για ύψος καμινάδας 4 m (Σημείωση: η εικόνα αυτή έχει συμπιεστεί κατά ένα παράγοντα x4 στην κάθετη κατεύθυνση για να γίνουν οι συγκρίσεις)**

Οι θεωρούμενες οριακές συνθήκες περιγράφονται παρακάτω:

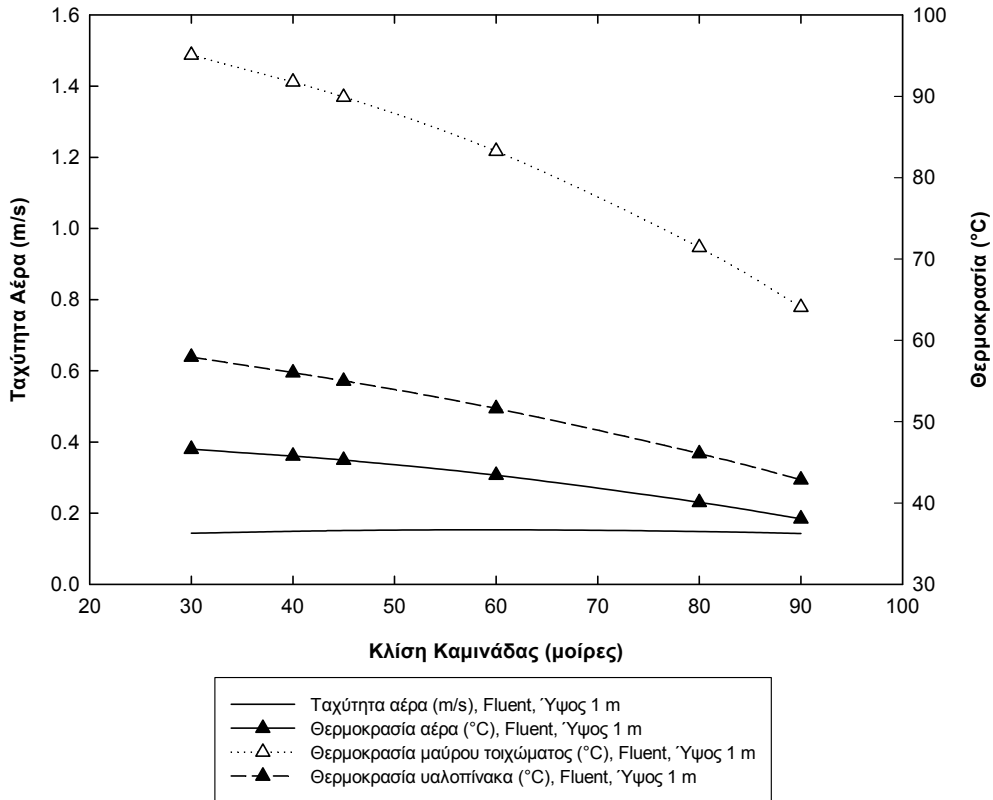
- **Είσοδος:** πίεση εισόδου, θερμοκρασία περιβάλλοντος, εσωτερικός συντελεστής εκπομπής (= 1.0), ατμοσφαιρική πίεση.
- **Έξοδος:** πίεση εξόδου, θερμοκρασία περιβάλλοντος, εσωτερικός συντελεστής εκπομπής (= 1.0), ατμοσφαιρική πίεση.
- **Μαύρο τοίχωμα:** τοίχωμα zero-slip, θεωρούμενη θερμοροή ( $W/m^2$ ) από την ηλιακή ακτινοβολία, εσωτερικός συντελεστής εκπομπής (= 0.95), εξωτερικές απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον με  $h = 0.9 W/m \cdot K$
- **Υαλοπίνακας:** τοίχωμα zero-slip, θεωρούμενη θερμοροή ( $W/m^2$ ) από την ηλιακή ακτινοβολία, εσωτερικός συντελεστής εκπομπής (= 0.95), εξωτερικές απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον με  $h = 9.0 W/m \cdot K$

Το ύψος της καμινάδας μεταβαλλόταν από 1 ως 12 m και η κλίση της από 30° σε 90°. Μια από τις κύριες μεταβλητές για την απόδοση της ηλιακής καμινάδας σε δεδομένη τοποθεσία ενδιαφέροντος είναι το ύψος της. Έγινε μια σειρά υπολογισμών με το Fluent για διαφορετικά ύψη καμινάδας στο εύρος από 1 m ως 12 m (πέντε σεντ τιμών: 1, 2, 4, 8 και 12 m) για το μήνα Ιούλιο, ώρα 12:00 και κλίση 90° και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 4. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζονται η ταχύτητα του αέρα, και οι θερμοκρασίες του αέρα (εξόδου), του μαύρου τοιχώματος και του υαλοπίνακα με το ύψος της καμινάδας. Για υψηλότερες καμινάδες (με ύψος πάνω από 4 m), σύμφωνα με το Fluent έχουμε μετάβαση στην τυρβώδη ροή, ενώ οι θερμοκρασίες του αέρα, του μαύρου τοιχώματος και του υαλοπίνακα δείχνουν να μην επηρεάζονται με την αύξηση του ύψους.



**Σχήμα 4. Υπολογισμοί του Fluent για το ύψος καμινάδας (1 – 12 m, 90°) με την ταχύτητα του αέρα και τις θερμοκρασίες του αέρα, του μαύρου τοιχώματος και του υαλοπίνακα**

Η δεύτερη μεταβλητή που είναι σημαντική για την απόδοση της ηλιακής καμινάδας σε δεδομένη τοποθεσία ενδιαφέροντος είναι η κλίση της ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Έγινε μια σειρά υπολογισμών με το Fluent για διαφορετικές κλίσεις καμινάδας στο εύρος από 30° ως 90° (έξη σετ τιμών: 30°, 40°, 45°, 60°, 80° και 90°) για το μήνα Ιούλιο, ώρα 12:00 και ύψος καμινάδας 1 m και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 5. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζονται η ταχύτητα του αέρα, και οι θερμοκρασίες του αέρα (εξόδου), του μαύρου τοιχώματος και του υαλοπίνακα με την κλίση της καμινάδας. Όσο μειώνουμε την κλίση βλέπουμε ότι η θερμοκρασίες επηρεάζονται άμεσα σε σχέση με την ταχύτητα. Η ροή δείχνει να είναι στρωτή σε όλες τις τιμές των κλίσεων. Η θερμοκρασία του μαύρου τοιχώματος αυξάνει σχετικά γρήγορα και αυτό εξηγείται από την μεγαλύτερη ποσότητα προσπίπτουσας ακτινοβολίας λόγω της κεκλιμένης καμινάδας.

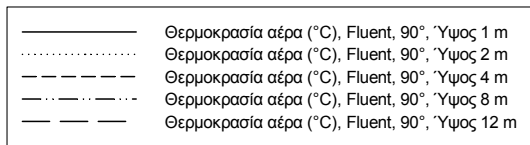
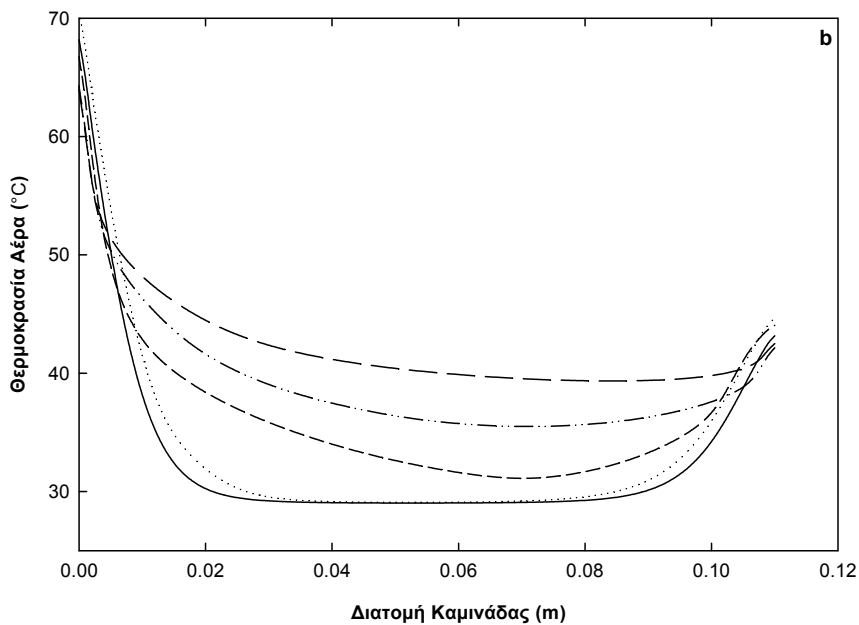
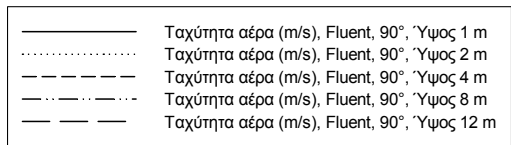
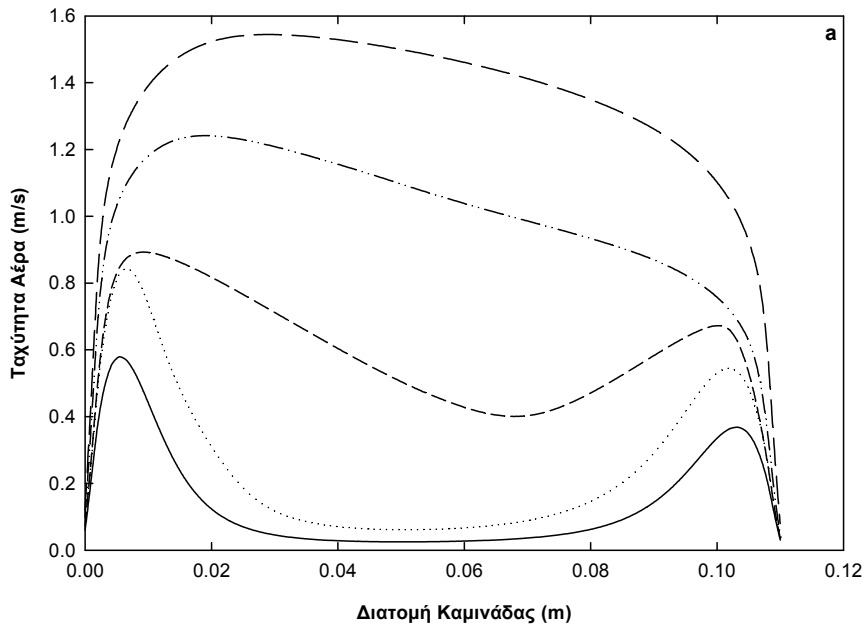


**Σχήμα 5. Υπολογισμοί του Fluent για την κλίση καμινάδας (30° – 90°, 1 m ύψος) με την ταχύτητα του αέρα και τις θερμοκρασίες του αέρα, του μαύρου τοιχώματος και του υαλοπίνακα**

Προκαταρκτικοί υπολογισμοί έδειξαν ότι η διατομή της καμινάδας σε σχήμα μακρόστενου ορθογώνιου παραλληλόγραμμου είναι η καλύτερη από πλευράς ενεργειακής απόδοσης. Το σχήμα αυτό προσφέρει επίσης κατασκευαστική ευκολία. Άλλοι προκαταρκτικοί υπολογισμοί έδειξαν ότι το πάχος των τοιχωμάτων της καμινάδας και το πάχος της μόνωσης δεν παίζουν τόσο σημαντικό ρόλο, όταν οι τιμές τους βρίσκονται εντός λογικών ορίων. Ο τελευταίος παράγοντας που εξετάζουμε είναι οι κατανομές των μετρούμενων μεγεθών εντός της διατομής (βάθος) της καμινάδας. Έγινε μια σειρά υπολογισμών με το Fluent στην διατομή της καμινάδας για το μήνα Ιούλιο, ώρα 12:00 και ύψος καμινάδας 1, 2, 4, 8 και 12 m και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 6a,b. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζονται η ταχύτητα του αέρα και η θερμοκρασία του (εξόδου). Ξεκινώντας με τα αποτελέσματα για το 1 m ύψος, η ταχύτητα του αέρα έχει τοπικό μέγιστο κοντά στο μαύρο τοίχωμα, ενώ στο μέσο της καμινάδας η ταχύτητα παίρνει πολύ μικρές τιμές. Κοντά στον υαλοπίνακα έχουμε και άλλο μέγιστο που έχει μικρότερη τιμή από το προηγούμενο. Καθώς αυξάνει το ύψος της καμινάδας το προφίλ ομαλοποιείται, έτσι για παράδειγμα για τα 4 m ύψος όπου υπάρχει η μετάβαση στην τυρβώδη ροή, οι δυο πλαϊνές κορυφές της ταχύτητας παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά και για μεγαλύτερα ύψη καμινάδων υπάρχει ομοιόμορφο τυρβώδες μέτωπο της ταχύτητας. Όσο αναφορά τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα, αυτή γίνεται μέγιστη κοντά στο μαύρο τοίχωμα και μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτό. Μετά τα 2 cm από το τοίχωμα παίρνει μια ελάχιστη τιμή όπου και την διατηρεί μέχρι να φτάσει κοντά στον υαλοπίνακα όπου και αυξάνει λίγο η τιμή της. Το προφίλ των θερμοκρασιών ομαλοποιείται με την αύξηση του ύψους της καμινάδας και τελικά με το ύψος των 12 m η θερμοκρασία μέσα στην καμινάδα είναι στο επίπεδο της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα,



με εξαίρεση το μέρος που είναι πολύ κοντά στο μαύρο τοίχωμα, όπου η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη.



Σχήμα 6a,b. Υπολογισμοί του Fluent ως προς το βάθος κατακόρυφης καμινάδας (0 m..υαλοπίνακας - 0.11 m..μαύρο τοίχωμα, 90°) με την ταχύτητα του αέρα (a) και τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα (b)

## 2. ΑΕΡΑΓΩΓΟΣ ΚΑΙ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ

Ο αεραγωγός φυσικού ελκυσμού τοποθετήθηκε και προσαρμόστηκε σε υπάρχον ξηραντήριο του Τ.Ε.Ι Σερρών. Για να λάβει χώρα αυτή η τοποθέτηση έπρεπε να γίνουν κάποιες εργασίες τροποποίησης στο ξηραντήριο, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η προσαρμογή του αεραγωγού στο στόμιο εξόδου (κορυφή) του ξηραντηρίου. Οι εργασίες περιλάμβαναν την δημιουργία της κατάλληλης υποδομής για την ευσταθή στήριξη του αεραγωγού: κατασκευάστηκε μια τραπεζοειδής διάταξη η οποία μας βοήθησε να καταλήξουμε στην καμινάδα μας από το κιβώτιο ξήρανσης, όπου στο επάνω μέρος της τοποθετήσαμε μεντεσέδες οι οποίοι συγκρατούσαν την καμινάδα. Επίσης, κατασκευαστήκαν ειδικά πηχάκια που έδιναν τη δυνατότητα για διαφορετικές κλίσεις της καμινάδας. Στο κάτω μέρος της τραπεζοειδούς διάταξης τοποθετήθηκε γωνία που να εφαρμόζει με το κιβώτιο ξήρανσης και το εσωτερικό φροντίσαμε να μονωθεί με υαλοβάμβακα πάχους 3 cm, τον οποίο και στηρίζουμε με λεπτά ελάσματα, ενώ στο άνω μέρος καταλήγουμε σε μια ορθογωνική διατομή 0.74 m x 0.10 m.

Το ηλιακό ξηραντήριο του Τ.Ε.Ι Σερρών είναι ένας βελτιωμένος τύπος ξηραντηρίου γεωργικών προϊόντων που ικανοποιεί ειδικές απαιτήσεις ξήρανσης (Σχήμα 7).



**Σχήμα 7. Ηλιακό ξηραντήριο του Τ.Ε.Ι Σερρών με προσαρμοσμένη την ηλιακή καμινάδα στην κορυφή**

Αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη αέρα, το κιβώτιο αποθήκευσης, το κιβώτιο του ξηραντηρίου και την ηλιακή καμινάδα. Η λειτουργία αυτού του ξηραντηρίου με προσαρμοσμένο τον αεραγωγό φυσικού ελκυσμού γίνεται ως εξής: ο αέρας του περιβάλλοντος αναρροφάται με τη βοήθεια φυγοκεντρικού ανεμιστήρα και εισέρχεται στον ηλιακό συλλέκτη και διατρέχει τρεις διαδρομές, η πρώτη είναι ανάμεσα στο τζάμι και την πρώτη απορροφητική πλάκα, η δεύτερη είναι ανάμεσα από τις δυο απορροφητικές πλάκες και η τρίτη ανάμεσα στο εξωτερικό μέρος της δεύτερης απορροφητικής πλάκας και τη μονωμένη πλευρά του ηλιακού συλλέκτη. Αφού εκτελέσει και την τρίτη διαδρομή ο θερμός αέρας οδηγείται μέσω εύκαμπτων αεραγωγών στο θάλαμο ξήρανσης (συγκεκριμένα στην οροφή του κιβωτίου αποθήκευσης) και διανέμεται. Στο κιβώτιο αποθήκευσης υπάρχουν 25 μεταλλικά δοχεία με νερό των 5 l, με καπάκι για να μην γίνεται εξάτμιση και είναι χρώματος μαύρου. Η μετάδοση θερμότητας μέσα στο θάλαμο γίνεται με συναγωγή και ακτινοβολία από τους δυο εύκαμπτους αεραγωγούς. Ο θερμός αέρας διαρρέει

τα προς ξήρανση προϊόντα και εξέρχεται από την ηλιακή καμινάδα. Ο ελκυσμός της καμινάδας βοηθάει στον αερισμό του ξηραντηρίου και έτσι ο κρύος αέρας του περιβάλλοντος με φυσική ροή ψύχει τα δοχεία νερού αποδίδοντας την αποθηκευμένη λανθάνουσα θερμότητα στα προϊόντα και εξέρχεται μαζί με την υγρασία από την καμινάδα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του αεραγωγού και των τροποποιήσεων είναι τα εξής: λαμαρίνα decapre, πάχους 1.5 mm, κοινό τζάμι εμπορίου, κοιλοδοκούς 50 x 50 mm, γωνίες ενίσχυσης 25 x 25 mm, μόνωση υαλοβάμβακα πάχους 2.5 cm σιλικόνη ειδική για υψηλές θερμοκρασίες, μαύρη ματ μπογιά, μπουλόνια, λαμαρινόβιδες, μεντεσέδες, χερούλια, πιρτσίνια και χαλυβδοελάσματα. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: ηλεκτροσυγκόλληση, οξυγονοκόλληση, φορητός τροχός, τρυπάνι, λίμες και στράντζα.

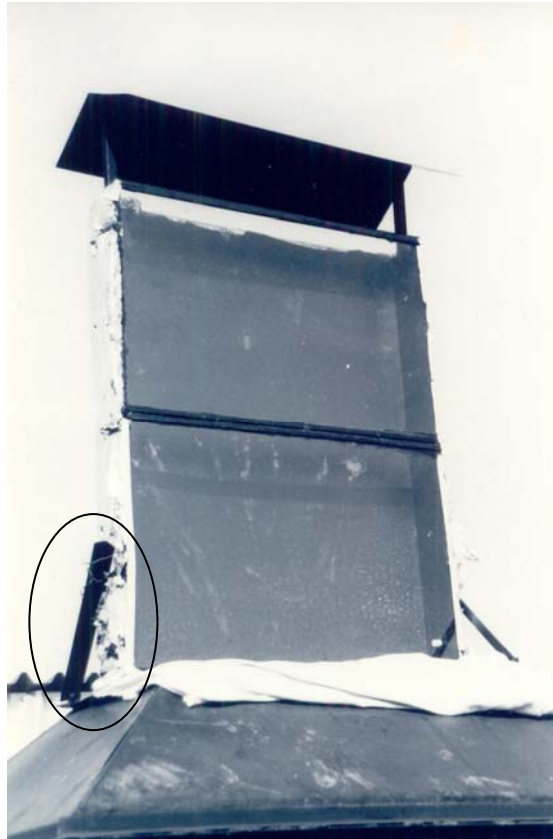
Ο αεραγωγός κατασκευάστηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών και αποτελείται από δυο τμήματα: ένα τραπέζιο το οποίο εδράζεται πάνω σε πλαίσιο στήριξης και το κύριο μέρος του αεραγωγού φυσικού ελκυσμού που έχει σχήμα παραλληλογράμμου. Όλη η κατασκευή είναι από λαμαρίνα decapre, πάχους 1.5 mm. Το παραλληλόγραμμο τμήμα του αεραγωγού είναι βαμμένο εσωτερικά με μαύρη ματ μπογιά και φέρει εξωτερική μόνωση από υαλοβάμβακα πάχους 2.5 cm με επικάλυψη αλουμινίου. Το τραπεζοειδές τμήμα είναι βαμμένο εξωτερικά μαύρο και είναι μονωμένο εσωτερικά με αντίστοιχο στρώμα υαλοβάμβακα.

Οι διαστάσεις του είναι 0.74 m (μικρή βάση), 1.31 m (μεγάλη βάση), 0.5 m (ύψος), 0.413 m (πλάτος) και περιμετρικά στη βάση του έχουν τοποθετηθεί γωνίες ενίσχυσης για την στερέωση του στο πλαίσιο στήριξης. Επίσης, γωνίες ενίσχυσης έχουν τοποθετηθεί και κατά μήκος των ακμών, για τη δημιουργία μιας πιο στιβαρής κατασκευής. Κάτω τμήμα δεν υφίσταται, παρά μόνο το άνω τμήμα της οροφής. Στο κέντρο της οροφής του τραπεζίου (πάνω από το κιβώτιο ξήρανσης) υπάρχει σχισμή διαστάσεων 0.702 x 0.10 m για την επικοινωνία του ανερχόμενου θερμού αέρα με τον αεραγωγό φυσικού ελκυσμού.

Ο αεραγωγός είναι διαστάσεων 0.725 x 0.995 x 0.12 m με πλευρικά τοιχώματα και πλάτη από λαμαρίνα. Η πρόσοψη της αποτελείται από απλό τζάμι εμπορίου χωρισμένο σε δυο τμήματα διαστάσεων 0.725 x 0.515 m και 0.725 x 0.480 m. Το τζάμι τοποθετείται συρταρωτά πάνω σε ειδικούς οδηγούς που έχουμε κατασκευάσει στην άκρη και κατά μήκος των πλευρικών τοιχωμάτων. Ο αεραγωγός στερεώνεται από την μεταλλική πλευρά του με μεντεσέδες πάνω στην οροφή του τραπεζίου και οι υπόλοιπες πλευρές στεγανοποιούνται με σιλικόνη. Αυτός ο τρόπος κατασκευής καθιστά εφικτή την κλίση του αεραγωγού σε γωνία διαφορετική των 90° εάν αφαιρεθεί η σιλικόνη και τοποθετηθεί πανί μεγάλου πάχους, καθώς και δυο αντίθετης κατεύθυνσης μοχλοί στήριξης στερεωμένοι στην οροφή του τραπεζίου. Οι κλίσεις που μπορούμε να δώσουμε στην καμινάδα μας είναι: 30°, 45° και 60°. Τέλος, στα δύο πλευρικά τοιχώματα του παραλληλόγραμμου τμήματος έχουν ανοιχτεί δεξιά και αριστερά του, από πέντε οπές των Φ2.0 cm για τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων σε διαφορετικά ύψη (0.14, 0.34, 0.54, 0.75, 0.89 m) του αεραγωγού. Δόθηκε μεγάλη προσοχή στα εξής:

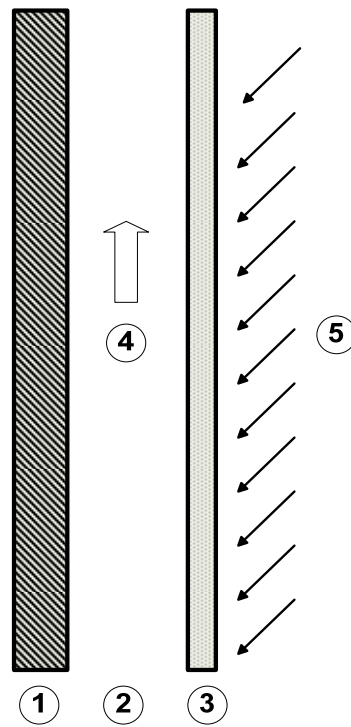
- Ευστάθεια και αντοχή της κατασκευής, τόσο στους περιβαλλοντολογικούς παράγοντες όσο και στη καταπόνηση των διαφόρων πειραματικών επεμβάσεων.
- Πολύ καλή επίστρωση της εσωτερικής απορροφητικής επιφάνειας με μαύρο χρώμα, για όσο το δυνατό μεγαλύτερη αποφυγή των ανακλάσεων της ηλιακής ακτινοβολίας.

- Μεγάλη προσοχή στην επιλογή και άριστη προσαρμογή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των ξηραντηρίου, όπως τα μεταλλικά ελάσματα, ο υαλοπίνακας, το μονωτικό υλικό, κ.α.
- Κατά την τοποθέτηση των μετρητικών αισθητήρων δόθηκε μεγάλη προσοχή στην προσεκτική και με ακρίβεια κατασκευή των κατάλληλων υποδοχών και δόθηκε έμφαση στο ότι η κατασκευή έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφριά.
- Λόγω της κλίσης που έπρεπε να έχει η καμινάδα για την διεξαγωγή των πειραμάτων, προσαρμόστηκε ειδικός μηχανισμός που να επιτρέπει τη στήριξη του αεραγωγού σε διαφορετικές κλίσεις, πλέον της κατακόρυφης (Σχήμα 8).



**Σχήμα 8. Αεραγωγός όπου φαίνεται η διάταξη για την επίτευξη της επιθυμητής κλίσης**

Στο Σχήμα 9 απεικονίζεται ένα απλό σκαρίφημα της διατομής της ηλιακής καμινάδας που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα. Το σημείο 1 απεικονίζει το πίσω μέρος του αεραγωγού που είναι καλά μονωμένο, το σημείο 2 απεικονίζει το σημείο εισαγωγής του αέρα, το σημείο 3 το εμπρόσθιο μέρος που είναι καλυμμένο με τζάμι, το σημείο 4 δείχνει τη ροή του αέρα μέσα στον αεραγωγό και το σημείο 5 δείχνει την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον αεραγωγό. Στον ισολογισμό των πιέσεων του αεραγωγού υπεισέρχονται το θερμικό φαινόμενο, το φαινόμενο του αερισμού λόγω του ανέμου και τα φαινόμενα τριβών. Όταν δεν υπάρχει εξωτερικός άνεμος οι δράσεις που υπεισέρχονται στην κίνηση του αέρα μέσα στον αεραγωγό είναι μόνο εξαιτίας του θερμικού φαινομένου που δημιουργεί τη διαφορά πίεσης και των τριβών.



Σχήμα 9. Σκαρίφημα διατομής αεραγωγού φυσικού ελκυσμού

### 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Fluent User's Guide, Fluent Inc., 2004.