

ΕΝΤΑΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΗΛΙΑΚΟ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ ICS, ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ - ΑΠΟΘΗΚΗΣ

Κ.Π. Γκέρτζος, Ι.Γ. Καούρης, Σ.Ε. Πνευματικάκης

Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00 Πάτρα.

Τηλέφωνα : 2610 997-250, 2610 997-258

Email : gertzos@upatras.gr, caouris@helios.mech.upatras.gr, spneumat@mech.upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η επίδραση της ανακυκλοφορίας του αποθηκευμένου νερού σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη - αποθήκη, στο συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, όπου το νερό χρήσης θερμαίνεται έμμεσα. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η επίδραση της θέσης εισόδου και εξόδου του ανακυκλοφορούμενου νερού, καθώς και του μεγέθους της διατομής τους στη τιμή των αναπτυσσόμενων ταχυτήτων, για μια περιοχή παροχών. Εξετάζεται η συμπεριφορά του ροϊκού πεδίου με χρήση πτερυγίων κατεύθυνσης της ροής και αν αυτά βοηθούν στην ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων στο εσωτερικό του συλλέκτη - αποθήκης. Τέλος βρίσκεται η καταλληλότερη θέση των πτερυγίων σύνδεσης των δύο επιφανειών του I.C.S, έτσι ώστε κατά το δυνατόν να μην παρεμποδίζεται το ροϊκό πεδίο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ροή στο υπό μελέτη σύστημα μπορεί να εξομοιωθεί επιτυχώς με δισδιάστατο μοντέλο, όταν δεν έχουμε ταχύτητες κάθετες στις δύο μεγάλες επιφάνειες του I.C.S. Οι ταχύτητες που δίνει ένα 2D μοντέλο προσομοίωσης είναι κατά 30% περίπου μεγαλύτερες ενός 3D μοντέλου [1]. Η ροή μέσα στην αποθήκη μπορεί να χαρακτηριστεί τυρβώδης για παροχές στην είσοδο μεγαλύτερες από 250 l/h. Παρατηρείται μία περιστροφή του νερού στο εσωτερικό με αποτέλεσμα τη δημιουργία στασιμότητας (μικρών ταχυτήτων) στο μέσον του ICS.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί 3D μοντέλο προσομοίωσης ώστε να διερευνηθεί το ροϊκό πεδίο για κάθε δυνατή θέση της εισόδου και της εξόδου. Η επίλυση του μοντέλου προσομοίωσης γίνεται με τη βοήθεια προγράμματος CFD (Computational Fluid Dynamics) και συγκεκριμένα του Fluent.

Στο πρώτο βήμα της εργασίας εξετάζεται κάθε δυνατός συνδυασμός των θέσεων εισόδου και εξόδου έτσι ώστε να διαπιστωθεί σε ποια από αυτές έχουμε την ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Επιπλέον εξετάζεται η σημασία της διατομής εισόδου και εξόδου.

Στο δεύτερο βήμα τοποθετούνται πτερύγια κατεύθυνσης ροής σε διάφορες θέσεις για να διαπιστωθεί αν αυτό βοηθάει στην ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων στο εσωτερικό της αποθήκης και άρα μεγιστοποιεί το απαγόμενο από τις σωληνώσεις ποσό θερμότητας.

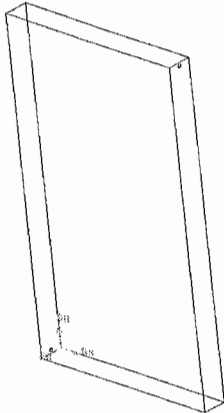
Τέλος επειδή για λόγους κατασκευαστικούς και αντοχής απαιτείται η συγκράτηση των δύο μεγάλων επιφανειών του συλλέκτη με πτερύγια σύνδεσης, γίνεται εκτίμηση της καταλληλότερης θέσης τους, ώστε να μην παρεμποδίζουν το ροϊκό πεδίο.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

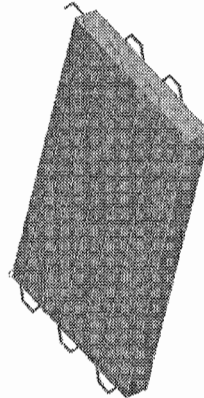
Στην Εικόνα 1 φαίνεται η γεωμετρία του συλλέκτη. Ο συλλέκτης τοποθετείται με κλίση 45° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η φορά της επιτάχυνσης της βαρύτητας είναι (-y, -z). Οι

διαστάσεις είναι $x = 81$ cm, $y = 135,5$ cm, $z = 10$ cm. Το νερό μέσα στην αποθήκη χρησιμεύει ως θερμαντικό μέσο ενώ από τις σωληνώσεις περνά το νερό χρήσης.

Η είσοδος και η έξοδος του νερού τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις όπως φαίνεται στη συνέχεια αναλυτικά. Υπάρχει εξαναγκασμένη κυκλοφορία από την έξοδο στην είσοδο και συγκεκριμένα θεωρείται μια τυπική παροχή 900 l/h. Εξετάζεται η συμπεριφορά του ροϊκού πεδίου για διατομές εισόδου – εξόδου $\frac{1}{2}$ " (1,27 cm), 4x4 cm και 10 x 10 cm για την ίδια πάντα παροχή.



Εικόνα 1 Γεωμετρία συλλέκτη-αποθήκης

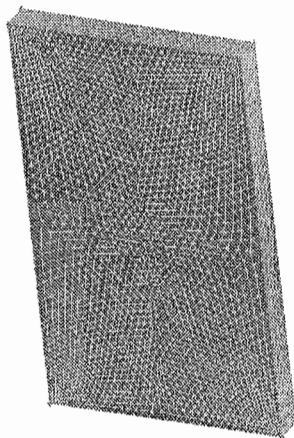


Εικόνα 2 Δοχείο συλλέκτη-αποθήκης

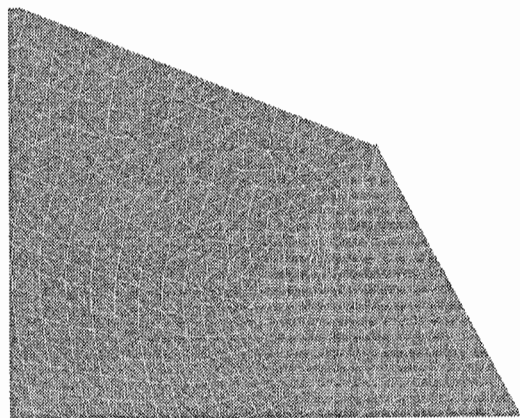
Η θερμοκρασία του νερού αποθήκης θεωρείται σταθερή και ίση με 60°C . Η ροή θεωρείται τυρβώδης για την παραπάνω παροχή [1] και χρησιμοποιείται το standard k-ε μοντέλο για την περιγραφή της, εκτός δύο περιπτώσεων που υπάρχει στρωτή ροή.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στις εικόνες 3 και 4 φαίνονται το 3-D πλέγμα και μία λεπτομέρεια της οπής εισόδου, για είσοδο πάνω δεξιά και έξοδο κάτω αριστερά. Παρόμοια πλέγματα υπάρχουν και για τις άλλες περιπτώσεις. Όταν υπάρχουν πτερύγια κατεύθυνσης ή πτερύγια σύνδεσης στο κέντρο, τότε υπάρχει πύκνωση του πλέγματος γύρω από αυτά.



Εικόνα 3 3D μοντέλο



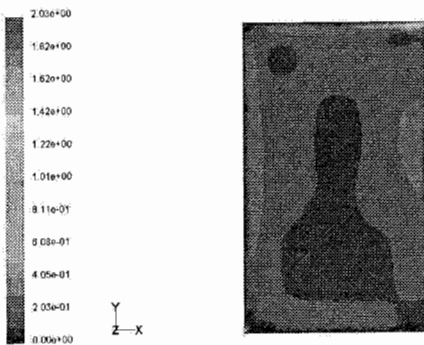
Εικόνα 4 Λεπτομέρεια πλέγματος

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

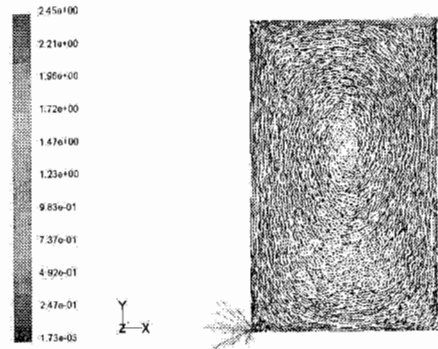
Οι λύσεις που παρουσιάζονται αφορούν παροχή, στο στόμιο εισόδου, 900 l/h. Για κάθε περίπτωση δίνονται οι ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας, στην τομή που βρίσκεται στο επίπεδο $z = 5 \text{ cm}$, καθώς και διανύσματα ταχύτητας. Η ροή θεωρείται τυρβώδης εκτός όπου αναφέρεται διαφορετικά.

4.1 Εύρεση θέση και μεγέθους εισόδου- εξόδου

4.1.1 Είσοδος πάνω δεξιά - έξοδος κάτω αριστερά, $d = \frac{1}{2}''$, $v = 2 \text{ m/s}$

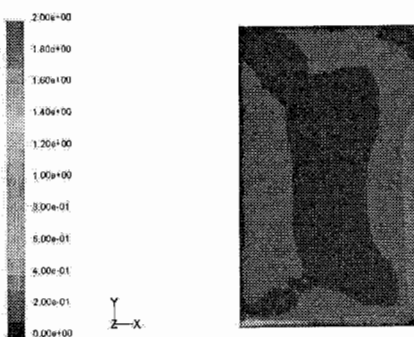


Εικόνα 5 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας

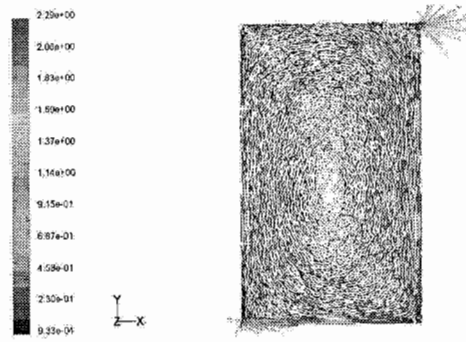


Εικόνα 6 Διανύσματα ταχύτητας

4.1.2 Είσοδος κάτω αριστερά - έξοδος πάνω δεξιά, $d = \frac{1}{2}''$, $v = 2 \text{ m/s}$

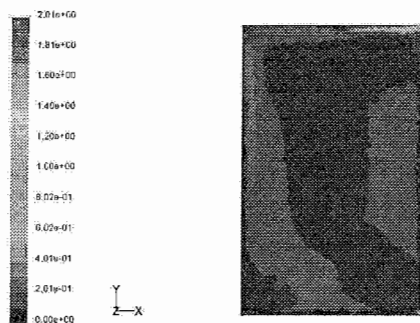


Εικόνα 7 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας

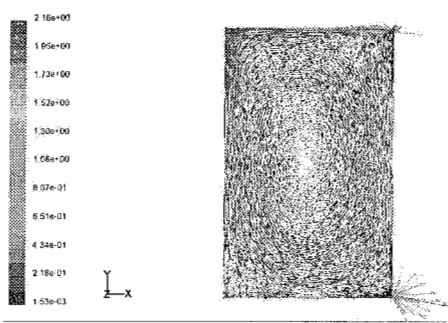


Εικόνα 8 Διανύσματα ταχύτητας

4.1.3 Είσοδος πάνω δεξιά – έξοδος κάτω δεξιά . $d = \frac{1}{2}''$ $v = 2$ m/s

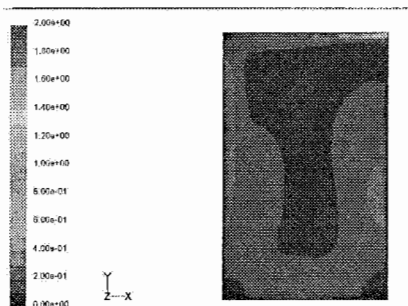


Εικόνα 9 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας

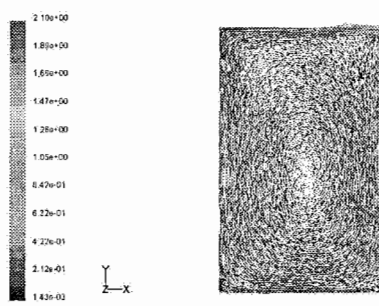


Εικόνα 10 Διανύσματα ταχύτητας

4.1.4 Είσοδος πάνω δεξιά – έξοδος εμπρός επάνω . $d = \frac{1}{2}''$ $v = 2$ m/s



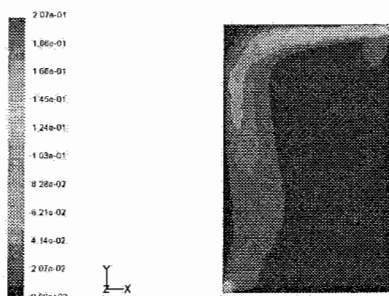
Εικόνα 11 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας



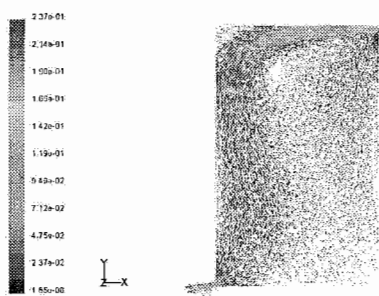
Εικόνα 12 Διανύσματα ταχύτητας

Στις περιπτώσεις 4.1.1-4.1.4 παρατηρείται μία έντονη κυκλική μορφή του ροϊκού πεδίου. Αυτό εκτιμάται ότι οφείλεται στο γεγονός ότι η διάμετρος εξόδου είναι πολύ μικρή και δεν επιτρέπει στο νερό να βγει εύκολα έξω, με αποτέλεσμα να γυρίζει πίσω. Η κίνηση αυτή του νερού ίσως έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερων ταχυτήτων κατά μέσο όρο. Για να εξεταστεί η αλήθεια της παραπάνω υπόθεσης, εξετάζεται στη συνέχεια μοντέλο με μεγαλύτερες διαμέτρους εισόδου εξόδου αλλά πάντα ίδια παροχή 900 l/h.

4.1.5 Είσοδος πάνω δεξιά – έξοδος κάτω αριστερά . $d = 4 \times 4$ cm $v = 0.17$ m/s



Εικόνα 13 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας

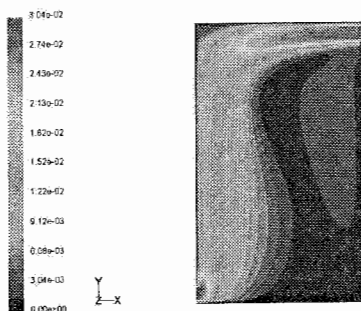


Εικόνα 14 Διανύσματα ταχύτητας

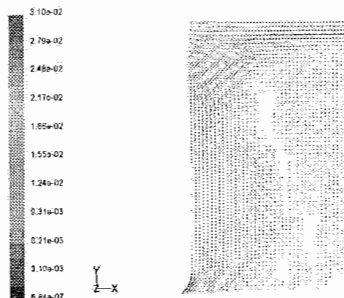
Εδώ η ροή είναι στρωτή, αφού οι ταχύτητες στο ροϊκό πεδίο είναι πολύ μικρότερες.[1].

4.1.6 Είσοδος πάνω δεξιά – έξοδος κάτω αριστερά. $d=10 \times 10 \text{ cm}$ $v = 0.028 \text{ m/s}$

Και εδώ ισχύει ότι στην περίπτωση 4.1.5.



Εικόνα 15 Ισοψείς καμπύλες ταχύτητας



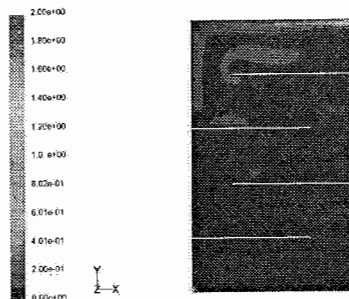
Εικόνα 16 Διανύσματα ταχύτητας

Παρατηρείται ότι η υπόθεση που έγινε, αληθεύει καθώς η κυκλική κίνηση του νερού αρχίζει να φθίνει.

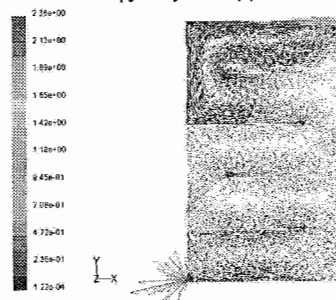
4.2 Επίδραση πτερυγίων κατεύθυνσης ροής

4.2.1 Δύο πτερύγια μεγέθους 60 cm

Εδώ εξετάζεται αν η τοποθέτηση πτερυγίων κατεύθυνσης αυξάνει ή μειώνει τις ταχύτητες



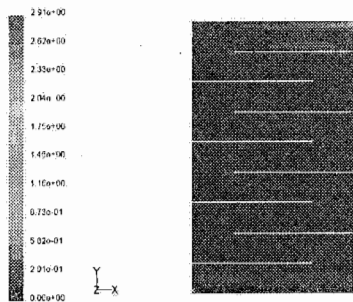
Εικόνα 17 Ισοψείς καμπύλες ταχύτητας



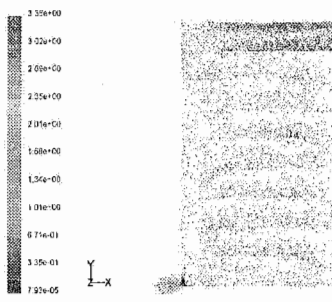
Εικόνα 18 Διανύσματα ταχύτητας

Μια πρώτη εκτίμηση είναι ότι, οι ταχύτητες μειώνονται δραματικά γιατί δεν μπορεί να συμβεί περιστροφή του υγρού. Άρα τα πτερύγια περισσότερο εμποδίζουν παρά ωφελούν.

4.2.2 Τέσσερα πτερύγια μεγέθους 60 cm



Εικόνα 19 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας



Εικόνα 20 Διανύσματα ταχύτητας

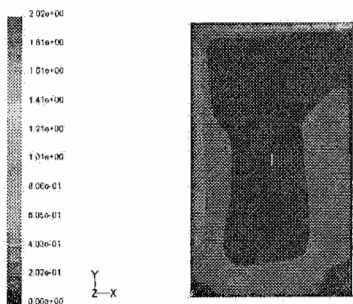
Το φαινόμενο της περίπτωσης 4.2.1 γίνεται ακόμη πιο έντονο. Άρα τα πτερύγια κατεύθυνσης, όχι μόνο δεν συνεισφέρουν αλλά είναι και επιβλαβή.

4.3 Εύρεση θέσης πτερυγίων στήριξης μεγάλων επιφανειών

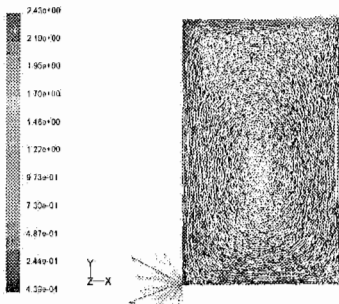
Για να σταθεροποιηθούν οι δύο μεγάλες επιφάνειες, πρέπει να συγκρατηθούν μεταξύ τους με πτερύγια σύνδεσης. Εδώ εκτιμάται η καταλληλότερη θέση.

4.3.1 Ένα πτερύγιο στο κέντρο

Εδώ τοποθετείται ένα μόνο πτερύγιο στο κέντρο του ροϊκού πεδίου για να εξεταστεί η επίδραση στον σταθμισμένο ως προς τον όγκο μέσο όρο (Volume-weighted average) ταχυτήτων V_{vwa}



Εικόνα 21 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας

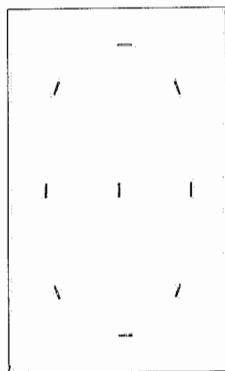


Εικόνα 22 Διανύσματα ταχύτητας

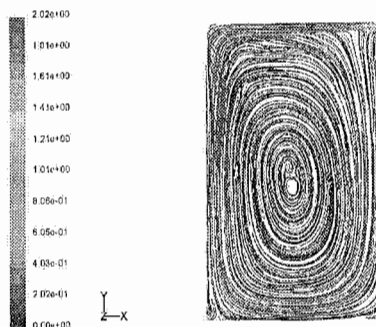
4.3.2 Τελική τοποθέτηση εννέα πτερυγίων

Τοποθετούνται συνολικά 9 πτερύγια η θέση των οποίων φαίνεται στην εικόνα 23.

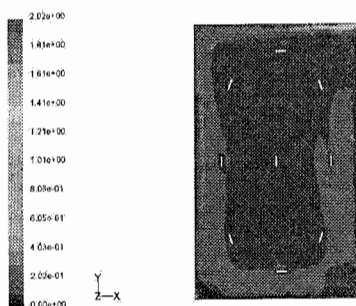
Οι ροϊκές γραμμές δείχνουν ότι τα πτερύγια τοποθετήθηκαν σωστά χωρίς να παρεμποδίζουν τη ροή του νερού.



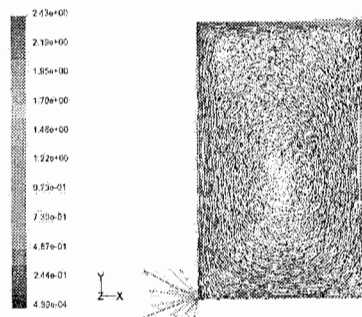
Εικόνα 23 Θέση πτερυγίων σύνδεσης



Εικόνα 24 Ροϊκές γραμμές ταχύτητας



Εικόνα 25 Ισοϋψείς καμπύλες ταχύτητας



Εικόνα 26 Διανύσματα ταχύτητας

Στη συνέχεια παρατίθεται για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις ο σταθμισμένος ως προς τον όγκο μέσος όρος (Volume-weighted average) ταχυτήτων V_{vwa} .

Πίνακας 1 Σταθμισμένος ως προς τον όγκο μέσος όρος ταχυτήτων V_{vwa} .

Περίπτωση	V_{vwa} (m.s ⁻¹)
4.1.1	0,134
4.1.2	0,114
4.1.3	0,105
4.1.4	0,120
4.1.5	0,009
4.1.6	0,006
4.2.1	0,045
4.2.2	0,029
4.3.1	0,105
4.3.2	0,095

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την εξέταση των περιπτώσεων 4.1.1-6 προκύπτει ότι η καταλληλότερη θέση για την είσοδο και έξοδο είναι στο πάνω μέρος της δεξιάς πλευρικής επιφάνειας και το κάτω της αριστερής αντίστοιχα. Παρατηρείται όμως ότι και για τις άλλες περιπτώσεις 1-4 δεν υπάρχουν σοβαρές αποκλίσεις.

Η διατομή των στομιών εισόδου εξόδου πρέπει να είναι μικρή ώστε να συμβαίνει το φαινόμενο της κυκλικής κίνησης που ανεβάζει αισθητά τις ταχύτητες του ροϊκού πεδίου, όπως προκύπτει και από τις περιπτώσεις 4.1.5-6.

Η τοποθέτηση των πτερυγίων κατεύθυνσης ροής είναι επιβλαβής γιατί δεν αφήνει να εξελιχθεί το προηγούμενο φαινόμενο με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ταχύτητες δραματικά.

Τα πτερύγια σύνδεσης των μεγάλων επιφανειών της αποθήκης πρέπει να τοποθετηθούν εφαπτομενικά στις γραμμές ροής. Η τοποθέτηση του πρώτου κεντρικού πτερυγίου (4.3.1) μειώνει την ταχύτητα V_{vwa} κατά 25%. Η εξέταση των περιπτώσεων 4.3.1-2 δείχνει ότι έχουμε μείωση της ταχύτητας V_{vwa} λόγω των 8 περιμετρικών πτερυγίων σε σχέση με το κεντρικό κατά 10%.

6 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ρ : πυκνότητα ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

μ : δυναμικό ιξώδες ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

V_{vwa} : Σταθμισμένος ως προς τον όγκο μέσος όρος ταχυτήτων ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ.Π. Γκέρτζος, Ι.Γ. Καούρης, “Ροϊκά φαινόμενα σε ολοκληρωμένο σύστημα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη – Αποθήκης (I.C.S.)», Ροή 2002, Πάτρα 2-3 Οκτ 2002
2. Schlichting Hermann , “Boundary-layer theory”, 7th edition, McGraw-Hill Book Company, 1979
3. Παπανίκας Γ.Δ., «Εφαρμοσμένη Ρευστοδυναμική», Δεύτερη έκδοση Αχαιός, 1981
4. FLUENT 6.0 User's Guide, Tutorial guide
5. Eckert, E.R.G, Drake, R.M., “Analysis of heat and mass transfer”, McGraw-Hill Book Company, 1972