ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Σύνοψη δραστηριοτήτων

Γενικά Στοιχεία

Αναγκαιότητα για Αποθήκευση Θερμοτητας (ΑΘ) :

Ηλιακή ακτινοβολία : Παρέχεται σε αφθονία χωρίς κόστος, αλλά κυμαινόμενη και διακεκομμένη η φύση της.

•Η ΑΘ επιτρέπει τη βέλτιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας : μεγαλύτερα ποσοστά κάλυψης φορτίου

Κριτήρια για τον σχεδιασμό μιας διάταξης ΑΘ :

- Ημερήσια, Εποχιακή ή διεποχιακή
- Αισθητή ή λανθάνουσα θερμότητα
- Χαμηλή, μέση ή υψηλή θερμοκρασία αποθήκευσης
- Επιλογή αποθηκευτικού μέσου

Δεξαμενές ζεστού νερού :

Νερό ως αποθηκευτικό μέσο (0-100°C)

Material	Density (kg/m^3)	Specific heat (J/kgK)	Volumetric thermal capacity (10^6 J/m^{3}K)
Clay	1458	879	1.28
Brick	1800	837	1.51
Sandstone	2200	712	1.57
Wood	700	2390	1.67
Concrete	2000	880	1.76
Glass	2710	837	2.27
Aluminum	2710	896	2.43
Iron	7900	452	3.57
Steel	7840	465	3.68
Gravelly earth	2050	1840	3.77
Magnetite	5177	752	3.89
Water	988	4182	4.17

Source: Norton (1992).

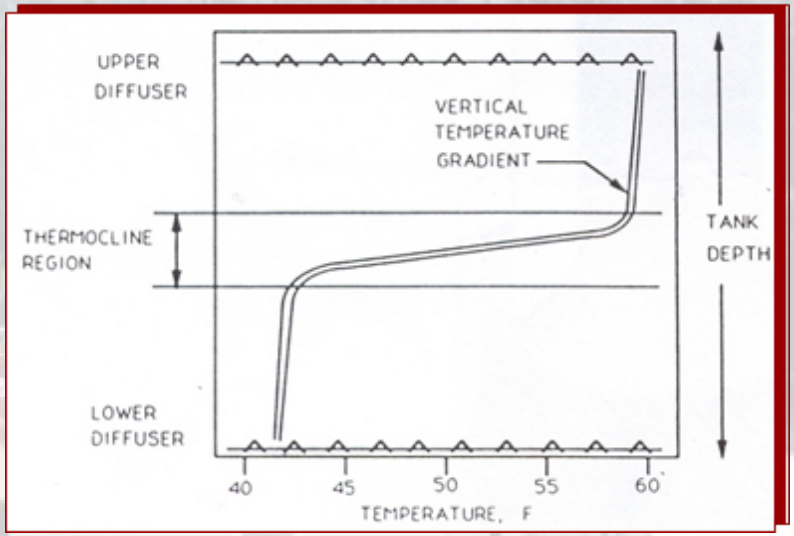
Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη διαθεσιμότητα, χαμηλό κόστος
- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα
- Διευκολύνει την διαστρωμάτωση
- Αποτελεί το ίδιο το προϊόν που ζητείται

- Γεωμετρία (όγκος, σχήμα, διαστάσεις)
- Υλικό Κελύφους - Μόνωσης Κέλυφος

1. Μηχανισμοί Απωλειών

- Μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον
- Διάχυση θερμότητας από θερμά σε ψυχρά στρώματα :
  α) απευθείας (μέσω της *θερμοκλίνης*)
  β) με αγωγή μέσω των τοιχωμάτων
- Ανάμιξη μεταξύ εισερχόμενων/ εξερχόμενων ρευμάτων νερού



Θερμοϋδραυλική ανάλυση

- Προσομοίωση των φαινομένων ροής και μεταφοράς θερμότητας (υπολογιστική ρευστομηχανική)
- Πειραματικές μετρήσεις

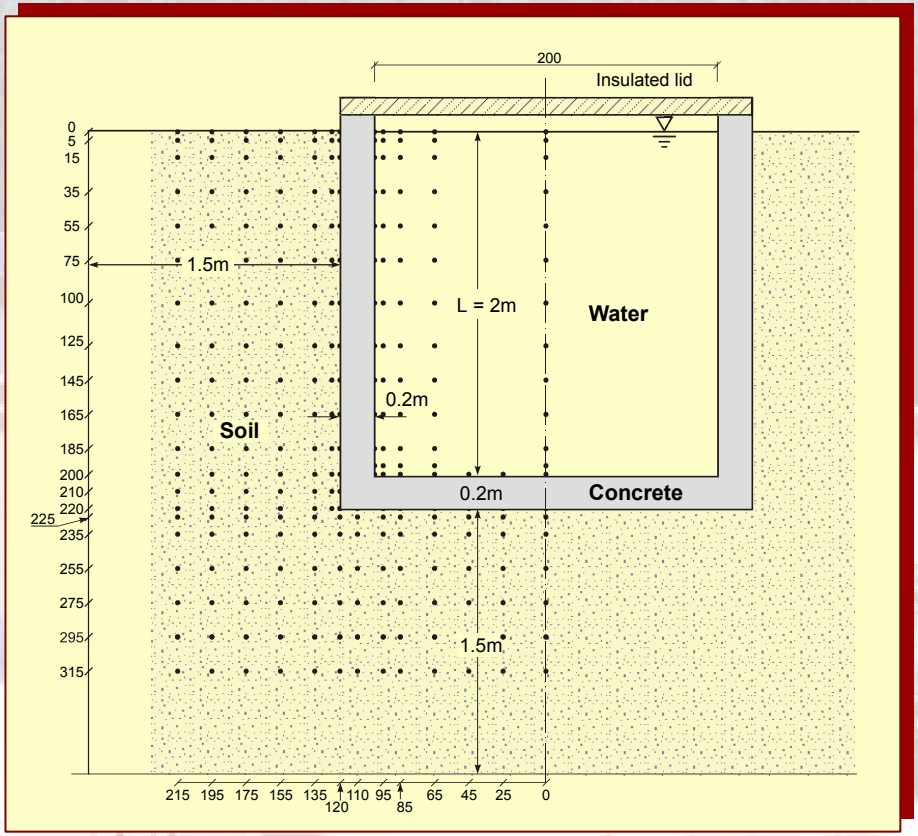
2. Καταστάσεις Λειτουργίας

- Στατική κατάσταση : π.χ., κατά τη νύχτα
- Δυναμική κατάσταση : φόρτιση-εκφόρτιση

Χαρακτηριστικοί Τύποι Δεξαμενών

Υπόγεια Δεξαμενή : Στατική Κατάσταση

- Κυβική Δεξαμενή
  2 m × 2 m × 2 m (8 m^3)
- 0,2 m τοίχοι από σκυρόδεμα
- Χωρίς μόνωση



Ομοιόμορφη αρχική Θερμοκρασία
$T_i \approx 80\,^\circ C$

Papanicolaou E. and V. Belessiotis, Transient hydrodynamic phenomena and conjugate heat transfer during cooling of water in an underground thermal storage tank , *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 126(1), pp. 84-96, 2004

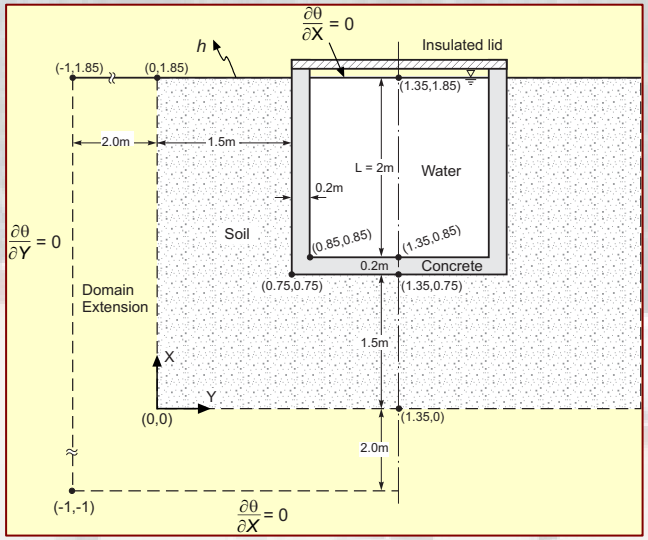
ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ / ΙΠΤΑ

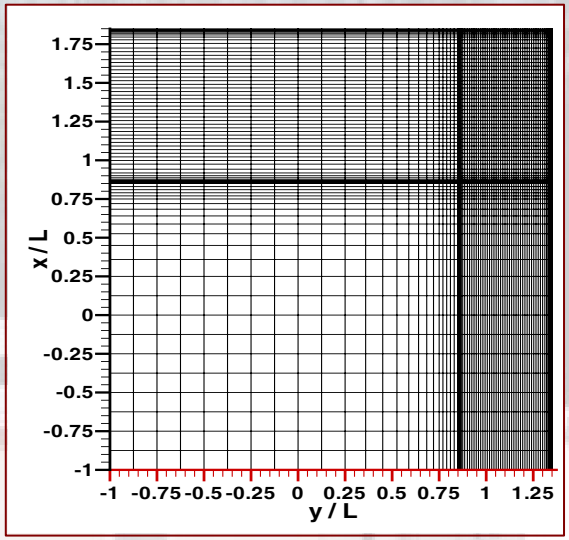
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΙΑΚΩΝ & ΑΛΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

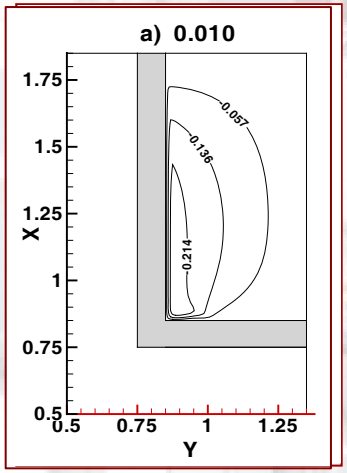
Μοντέλο προσομοίωσης :

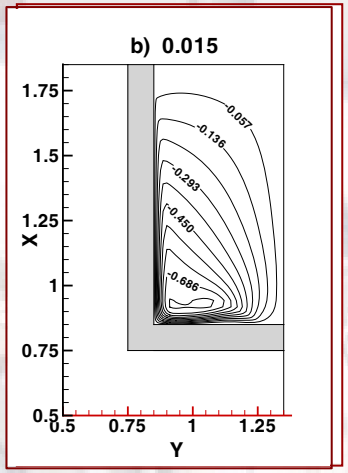
Πρόβλημα φυσικής συναγωγής (*Ra*)

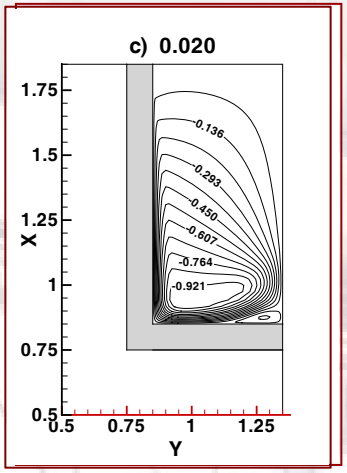
Χρονική εξέλιξη πεδίου ροής

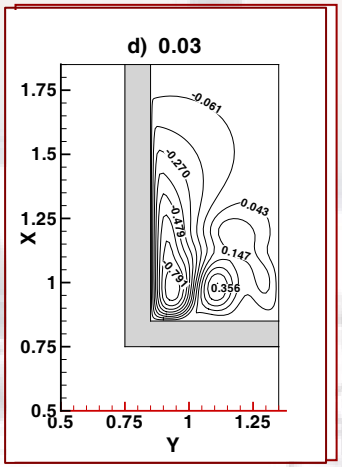


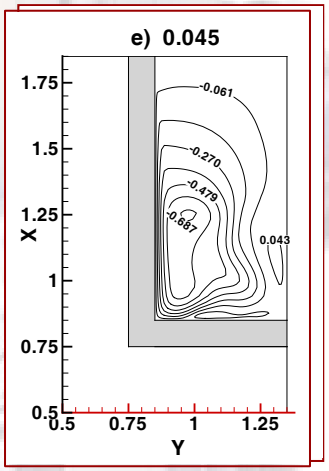






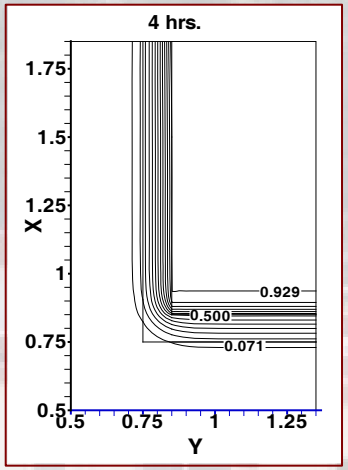


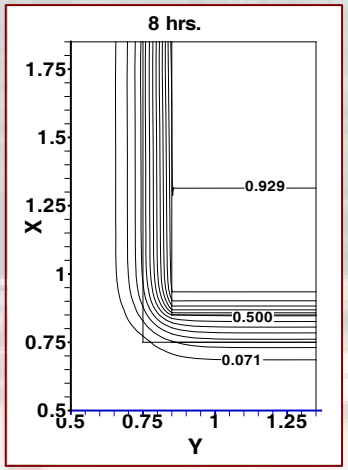


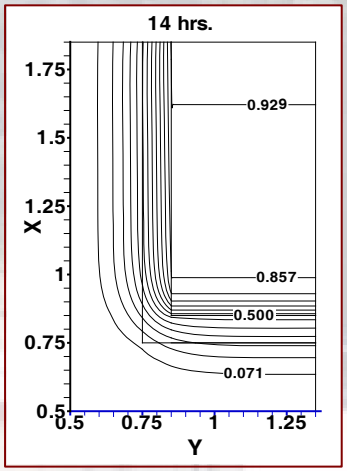


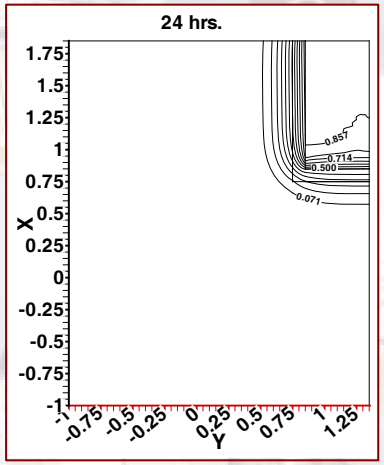
Στατική κατάσταση :
Μοντέλο προσομοίωσης

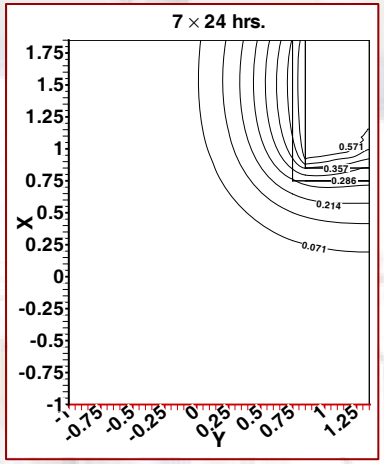
Χρονική εξέλιξη πεδίου θερμοκρασίας

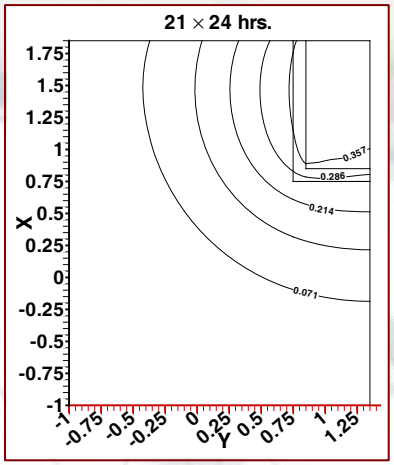


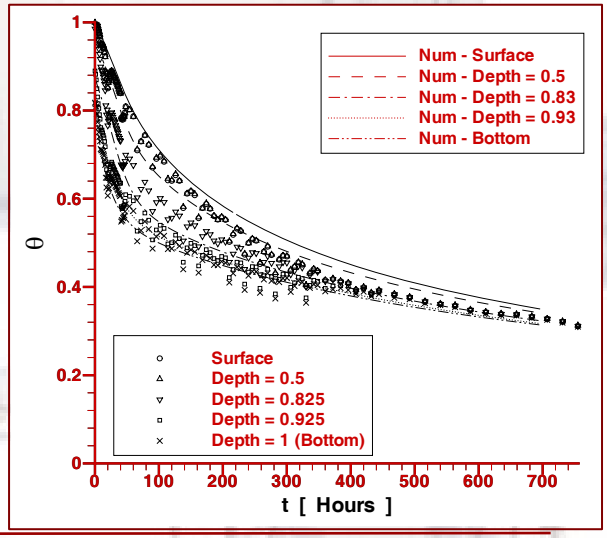






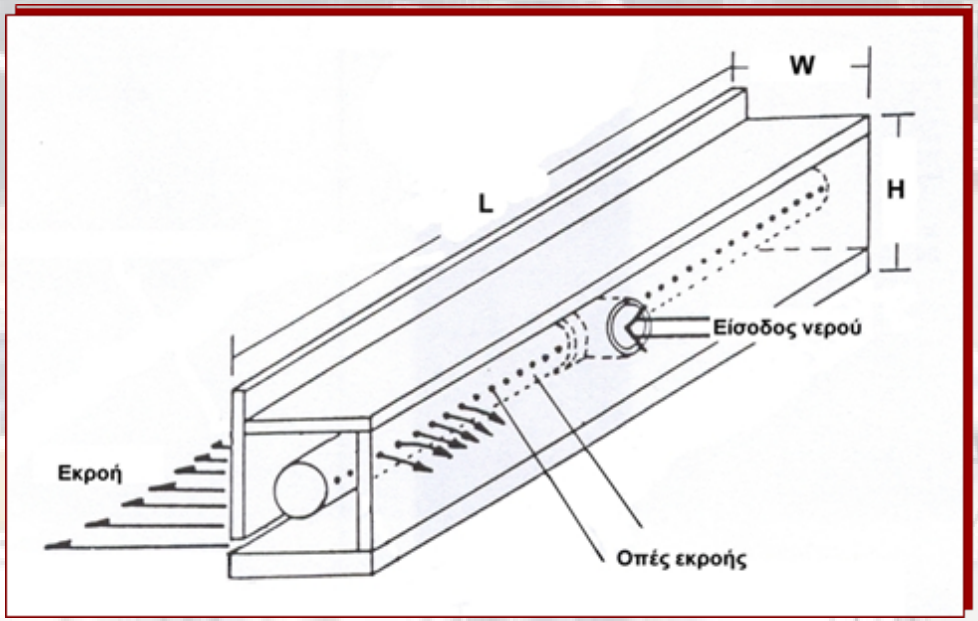


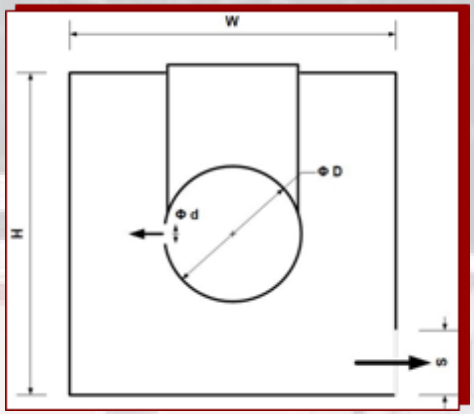




Δυναμική Κατάσταση (φόρτιση) : Σχεδιασμός Διαχυτών

- **Ορθογωνική Δεξαμενή :** Γραμμικοί διαχύτες για ομοιόμορφη, οριζόντια εκροή



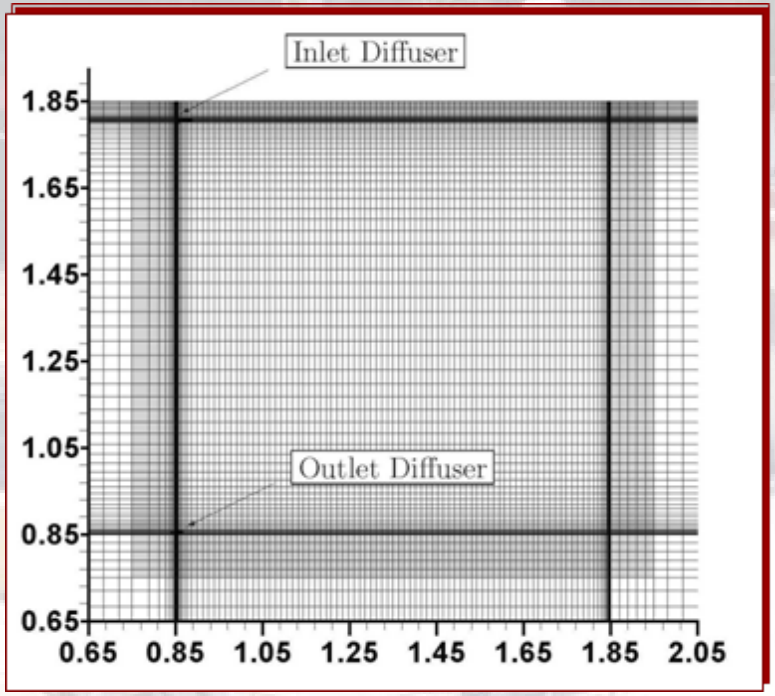


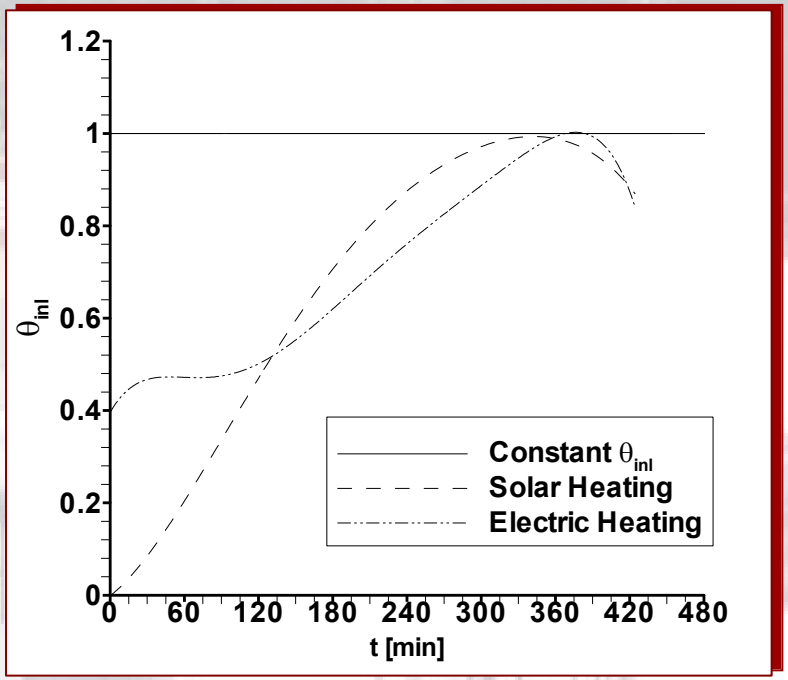
Αδιάστατοι αριθμοί: Reynolds Re_i , Froude Fr_i

Μοντέλο προσομοίωσης :

Πρόβλημα μικτής συναγωγής (*Re, Ar=Gr/Re²*)

Χαρακτηριστικές Καμπύλες φόρτισης



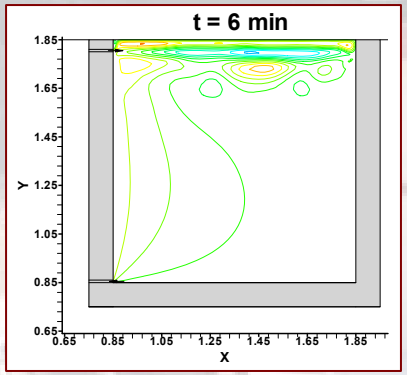


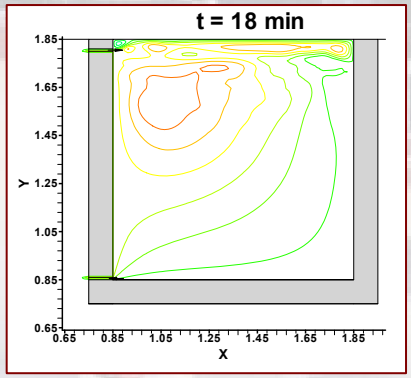
Papanicolaou E. and Belessiotis V., "Transient development of flow and temperature fields in an underground thermal storage tank under various charging modes", *Solar Energy* 2009 (in press)

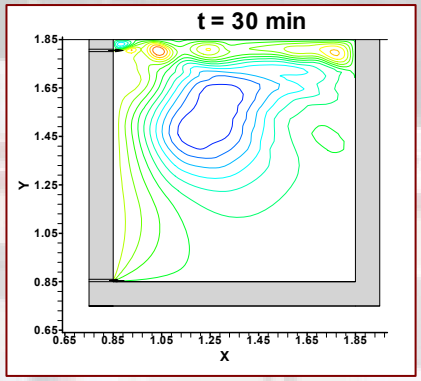
Δυναμική Κατάσταση : Αποτελέσματα προσομοίωσης

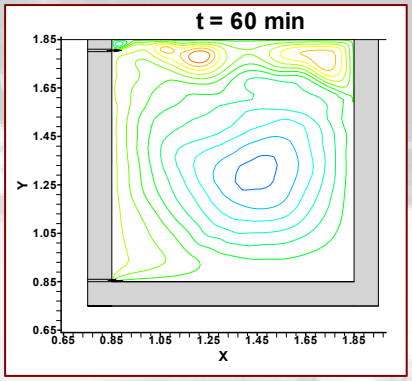
Τυρβώδης Ροή : Μοντέλα Low-*Re* *k-ε*, Two-Layer
Υπολογιστικό Πλέγμα : 124 × 162

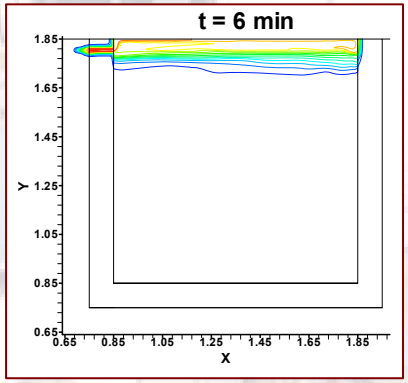
Σταθερή T_{in}

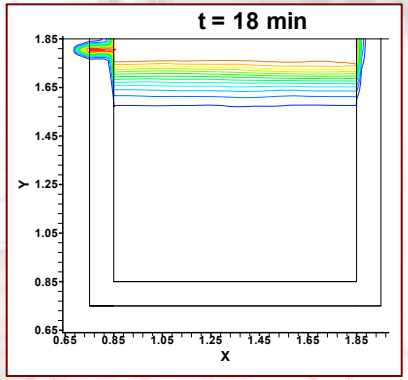


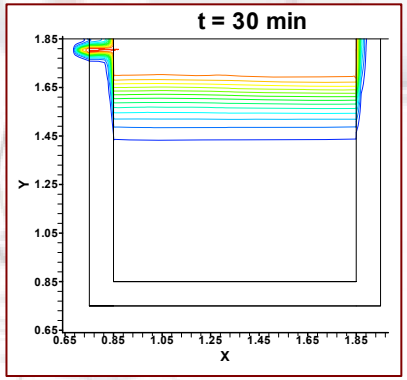


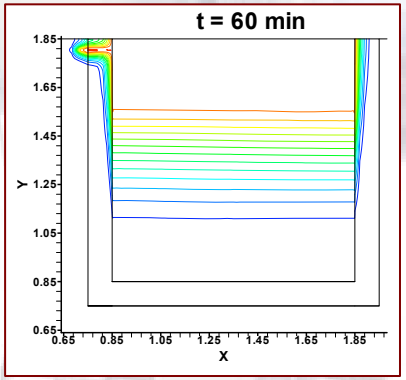








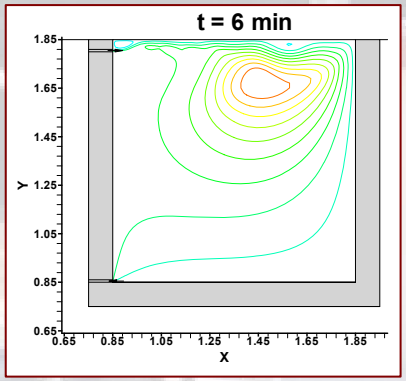


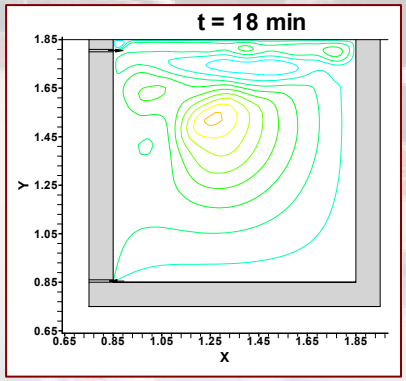


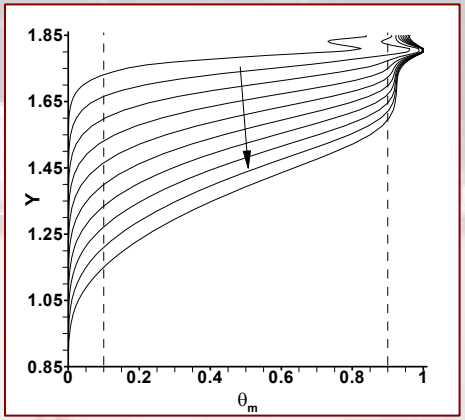
Δυναμική Κατάσταση :

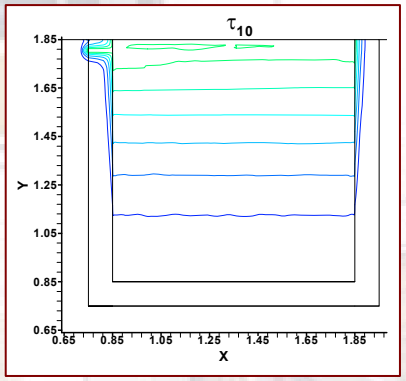
Μοντέλο προσομοίωσης

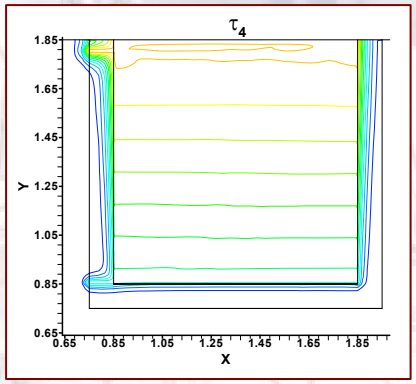
Αποτελέσματα για φόρτιση από ηλιακό πεδίο

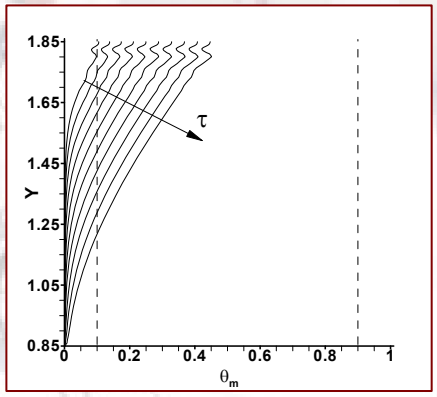


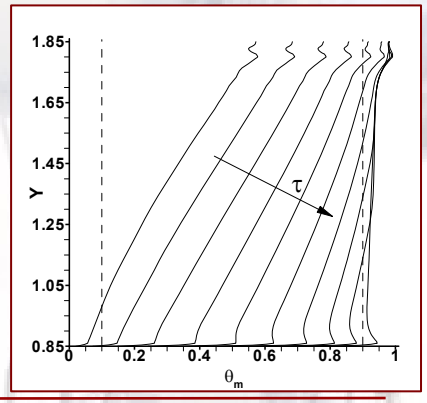




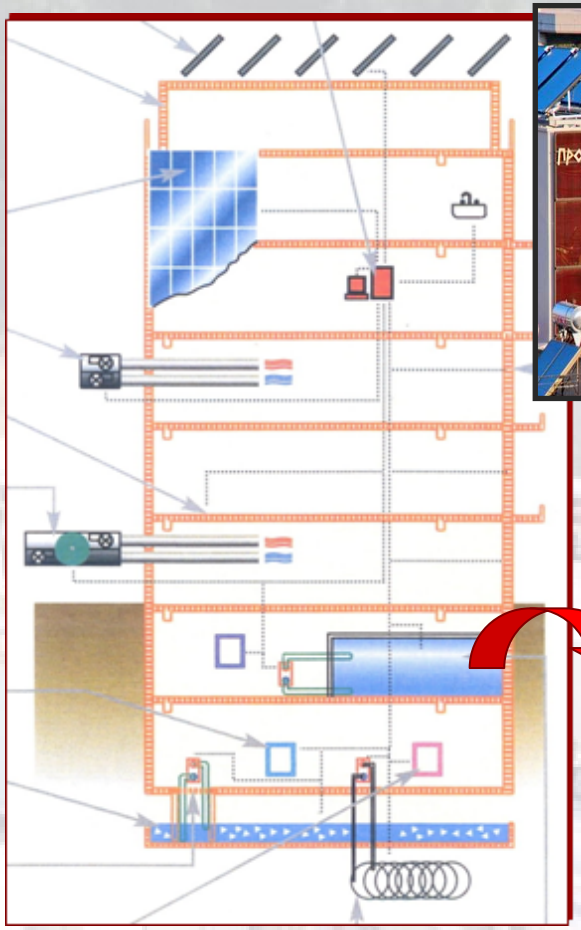




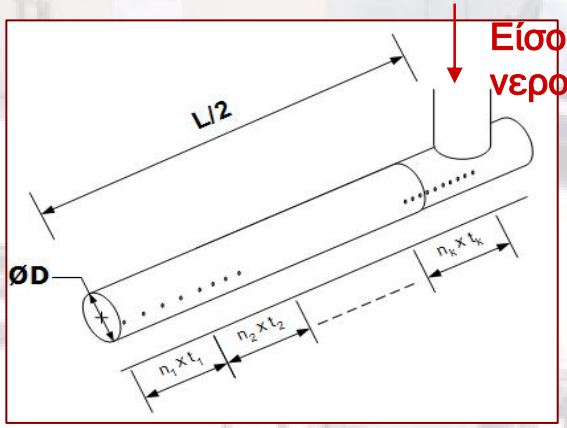




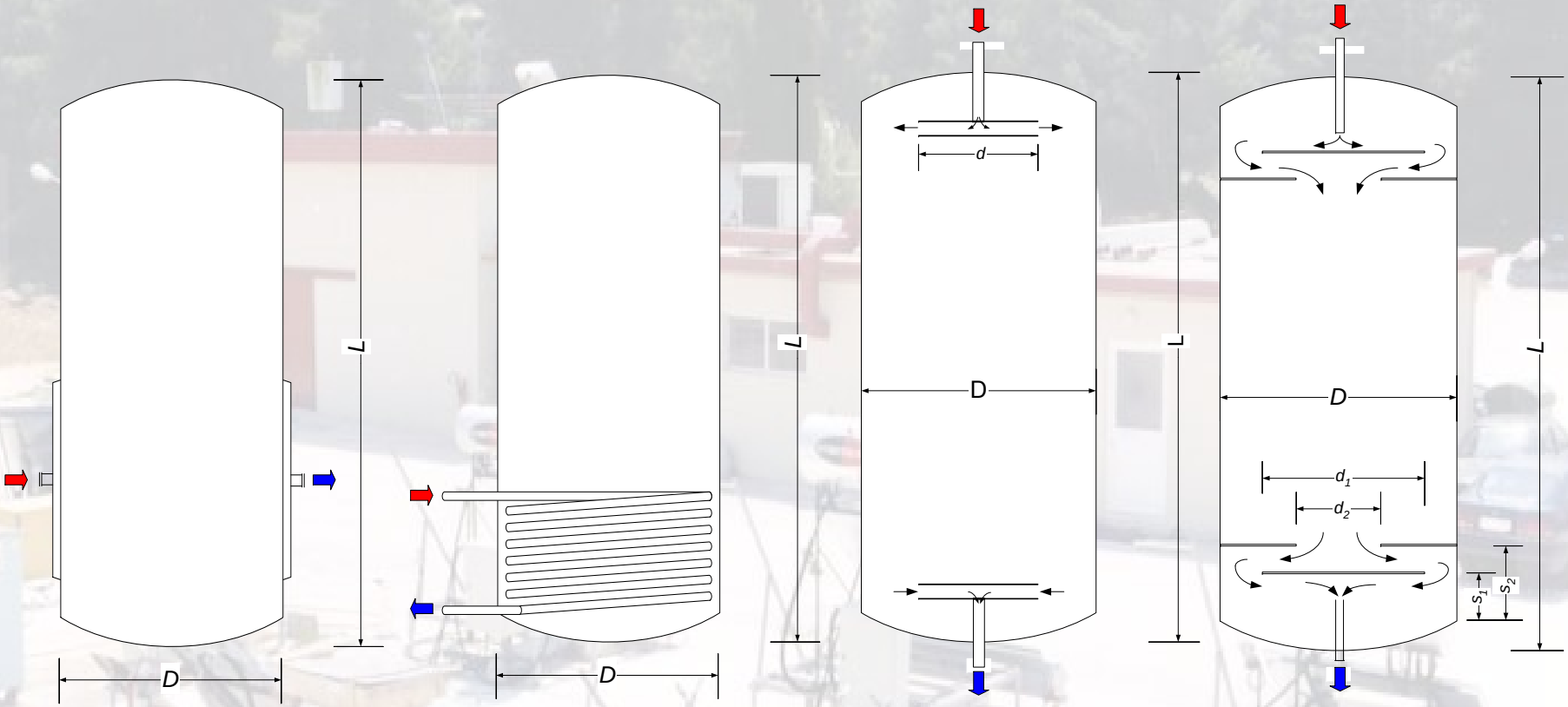
Εφαρμογή : Πρότυπο Κτίριο



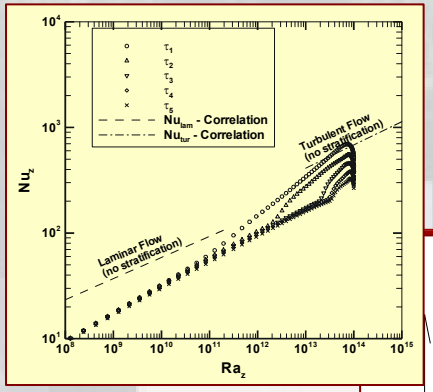
- 3 δεξαμενές αποθήκευσης ενέργειας (συν. 200 m^3) :
  Διεποχιακή αποθήκευση (θερμό - ψυχρό νερό)
- Εσωτερική θερμομόνωση : Πάνελ πολυουρεθάνης 5*cm*
- Εσωτερική υγρομόνωση : Φύλλο PPR

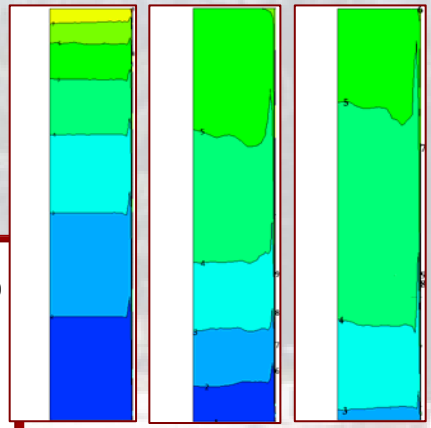


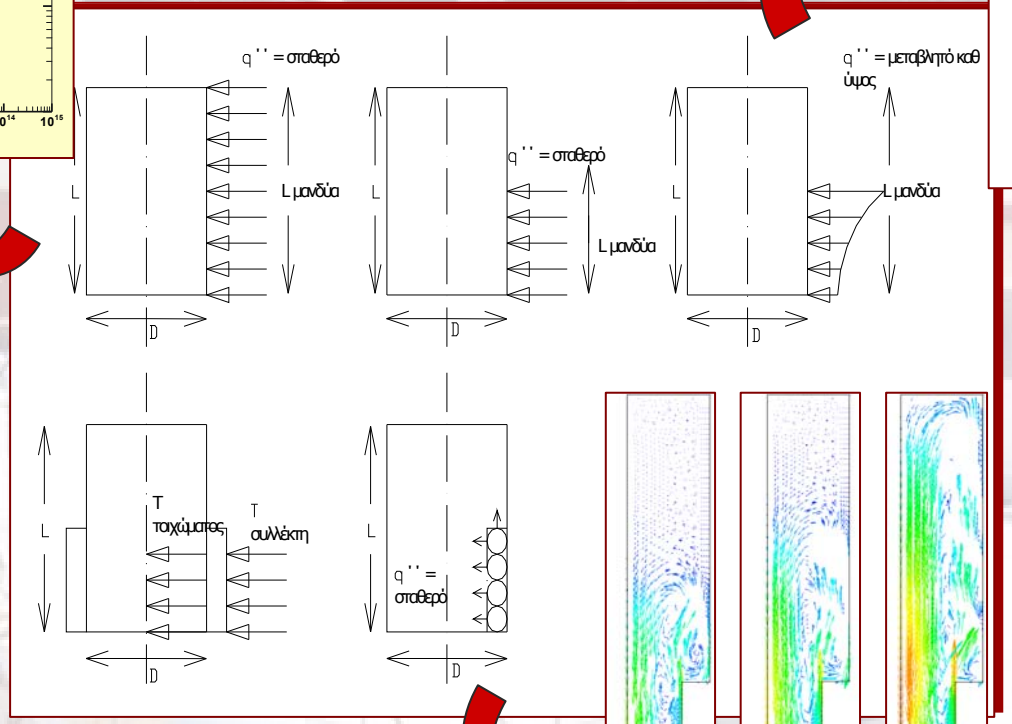
Δεξαμενές Επιφανείας - Τύποι

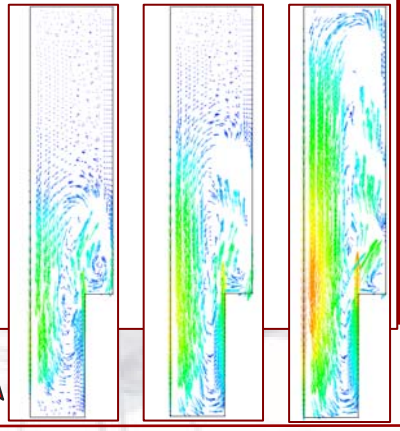


Δεξαμενές Επιφανείας - Προσομοίωση



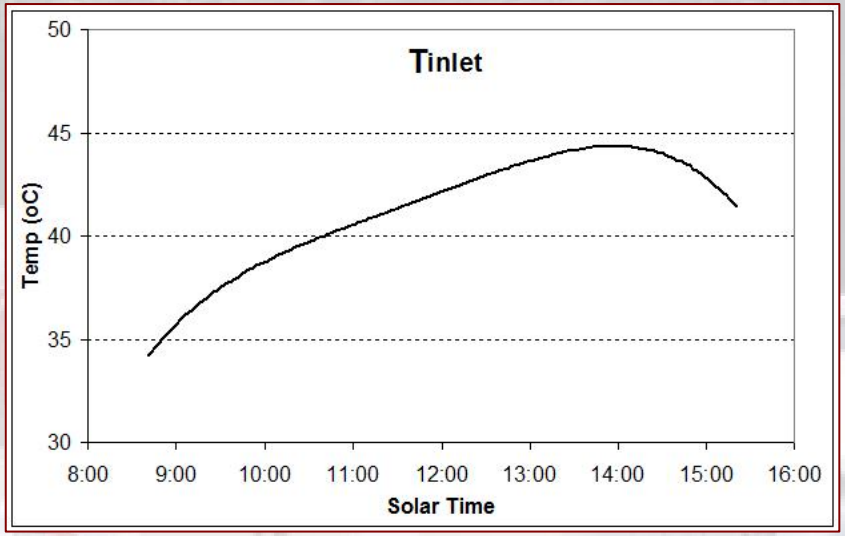






Papanicolaou E. and Belessiotis V., "Transient natural convection in a cylindrical enclosure at high Rayleigh numbers", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 45(7), pp 1425-1444, 2002

Κυλινδρική δεξαμενή από σκυρόδεμα

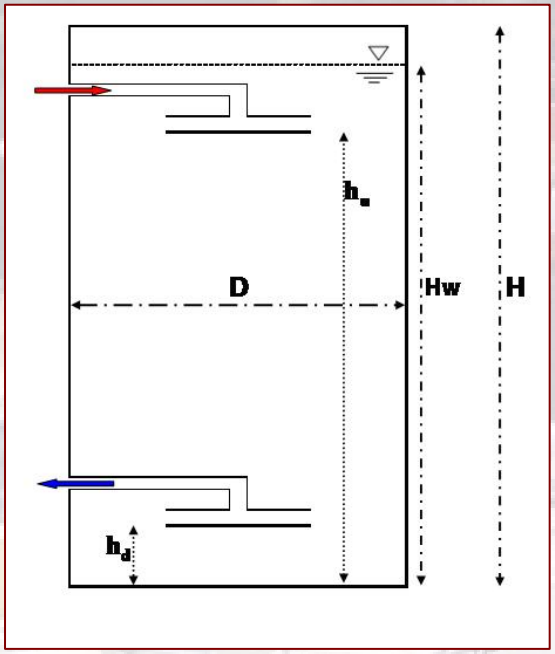


- **Πεδίο 48 ηλιακών συλλεκτών**
- **Όγκος δεξαμενής V=32 m^3**
- **Εσωτερική υγρομόνωση, θερμομόνωση**

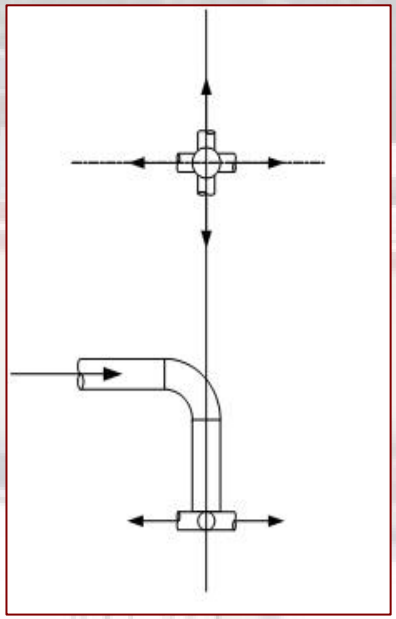
ΣΤΟΧΟΣ

Ελαχιστοποίηση του βαθμού ανάμιξης που οφείλεται στον τρόπο προσαγωγής του ζεστού νερού μέσα στη δεξαμενή

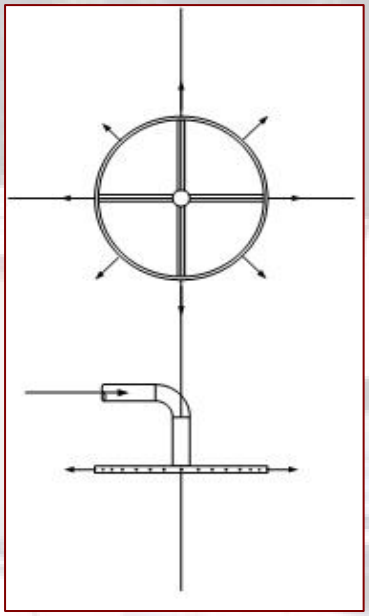
Αξιολόγηση Διαχυτών : γεωμετρίες



Σταυρός (Cross)



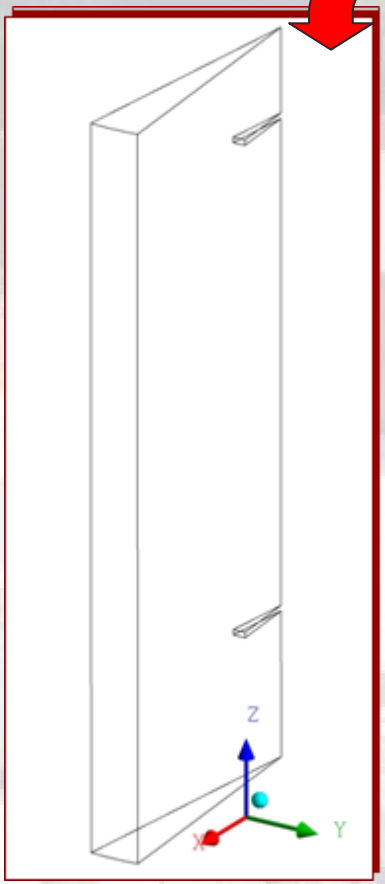
Ακτινικός Διαχύτης (Diffuser)



Αδιάστατοι αριθμοί: Reynolds Re_i <850, Froude Fr_i <2

Ε. Καλούδης, Η. Παπανικολάου, Β. Μπελεσιώτης και Θ. Πανίδης, «Υπολογιστική και πειραματική διερεύνηση εναλλακτικών μορφών φόρτισης κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης νερού μεγάλου κυβισμού», 9ο Εθνικό Συνέδριο του ΙΗΤ για τις "Ήπιες μορφές ενέργειας" , Γεροσκήπου, Κύπρος 26-29 Μαρτίου 2009

Αξιολόγηση Διαχυτών : Υπολογιστικό Μοντέλο

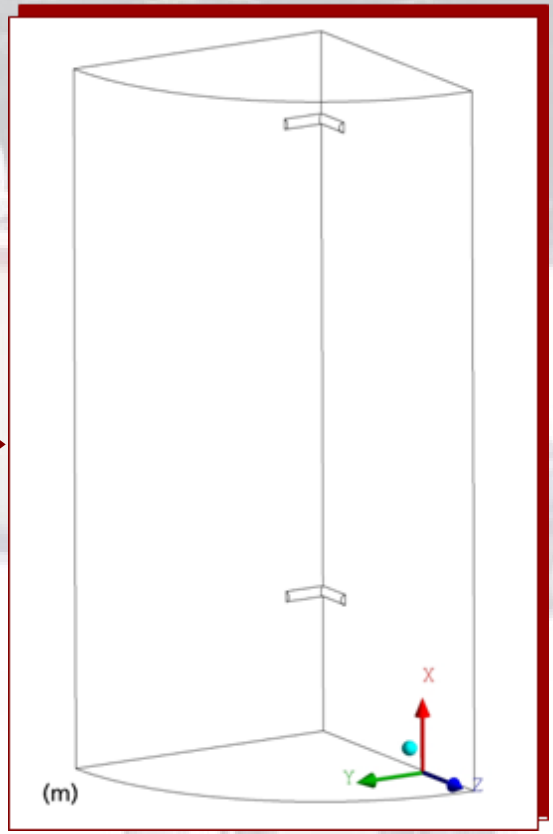


Ακτινικός Διαχύτης (Diffuser)

- 3-D αξονοσυμμετρικό μοντέλο (γωνία 10°)
- Επίλυση εξισώσεων ροής, μεταφοράς θερμότητας και τύρβης
- Αριθμός πεπερασμένων όγκων 36000
- Μοντέλο τύρβης: SST

Σταυρός (Cross)

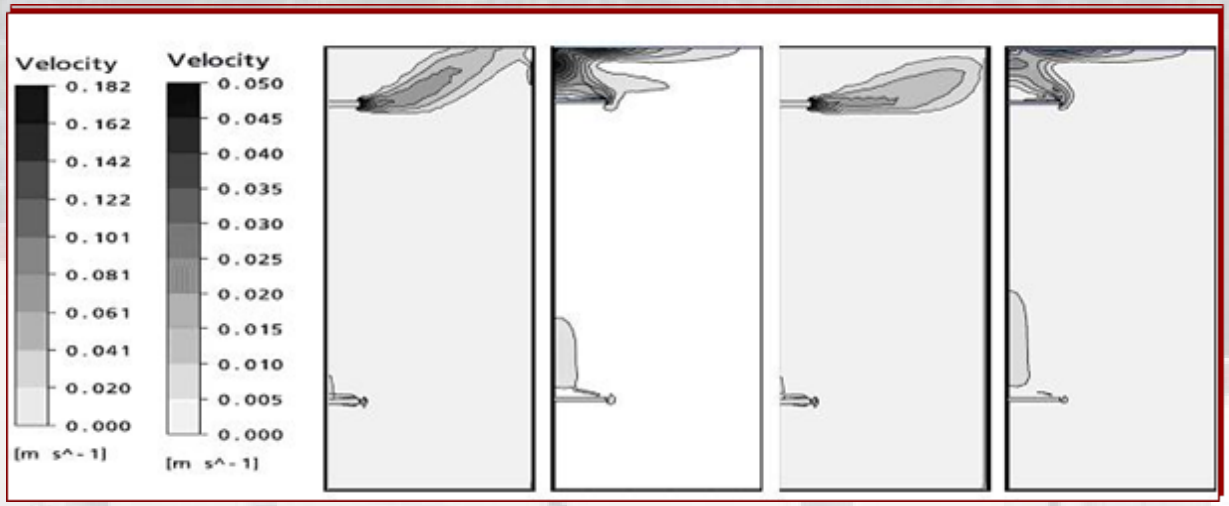
- 3-D μοντέλο , επίλυση για το $\frac{1}{4}$ του όγκου της δεξαμενής (γωνία 90°)
- Επίλυση εξισώσεων ροής, μεταφοράς θερμότητας και τύρβης
- Αριθμός πεπερασμένων όγκων 107000
- Μοντέλο τύρβης: SST

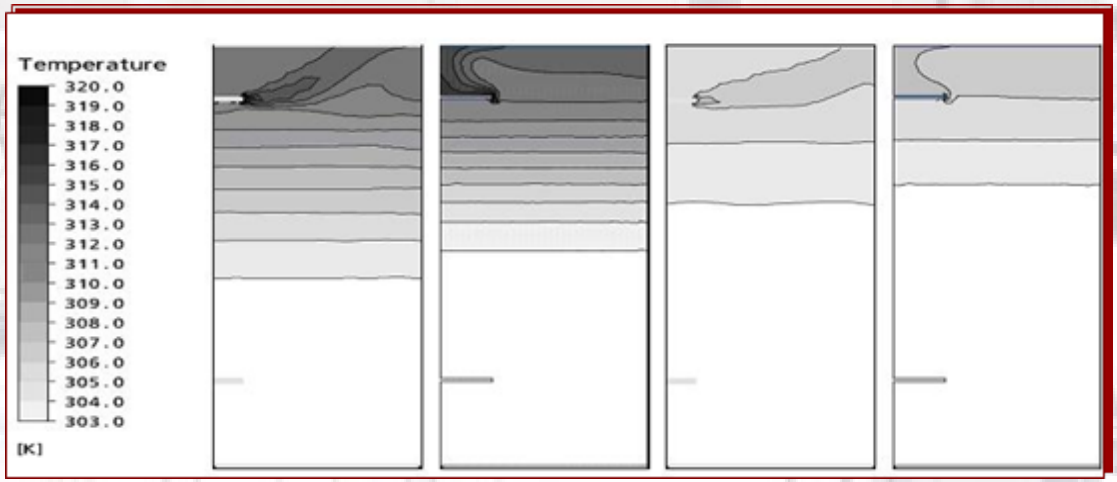


Αξιολόγηση Διαχυτών : Αποτελέσματα

Πεδίο Ροής
t=60 *min*

Πεδίο Θερμοκρασίας
t=60 *min*

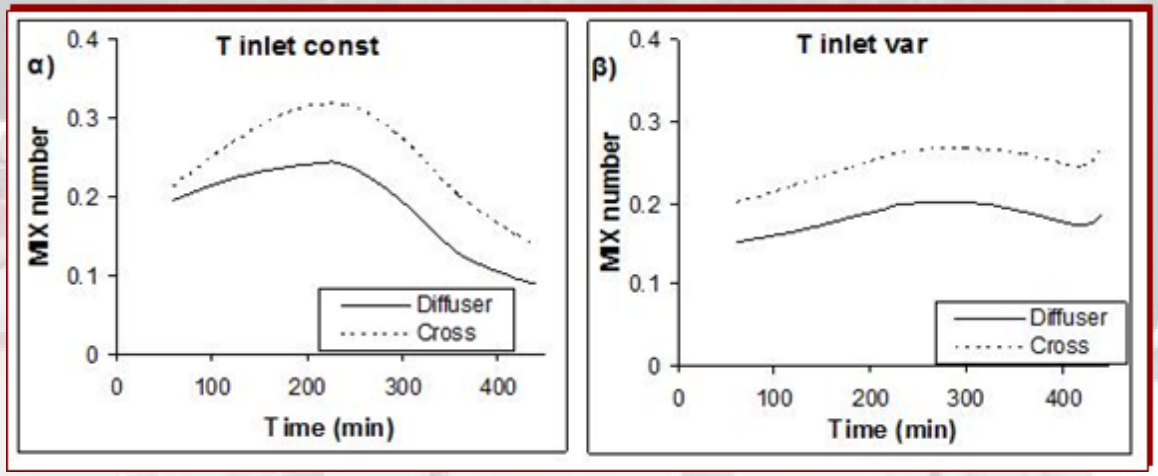


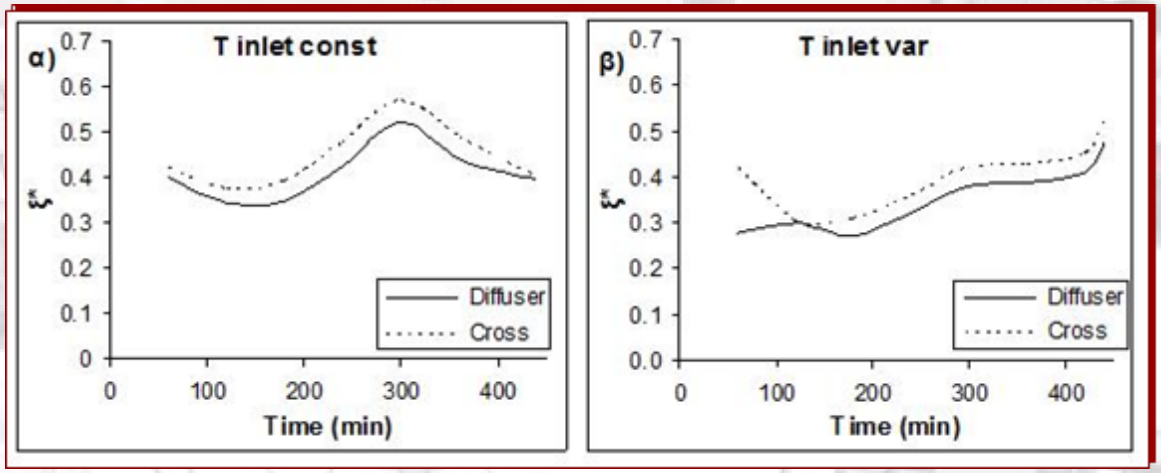


Αξιολόγηση Διαχυτών : Αποτελέσματα

Αριθμός Ανάμιξης

$$MIX = \frac{M_{str} - M_{actual}}{M_{str} - M_{mix}}$$



Αδιάστατη Ειδική Εξέργεια

$$\xi^* = 1 - \frac{\Xi - \Xi_{mix}}{\Xi_{str} - \Xi_{mix}}$$