

Predicting the performance of thermal tanks

Dimokratis G.E. Grigoriadis

Dept. of Mechanical and Manufacturing Engineering
University of Cyprus, Nicosia, Cyprus,
Computational Science Laboratory UCY-CompSci,
<http://ucy-compsci.org>

Feb 15th 2017

1

- Εισαγωγή
 - κίνητρα & στόχοι
- Εξισώσεις
- Υπολογιστική μέθοδος & παράμετροι
- Αποτελέσματα
 - 3D προσομοιώσεις
 - 2D προσομοιώσεις
 - Απλοποιημένα (0D) μοντέλα
- Συμπεράσματα



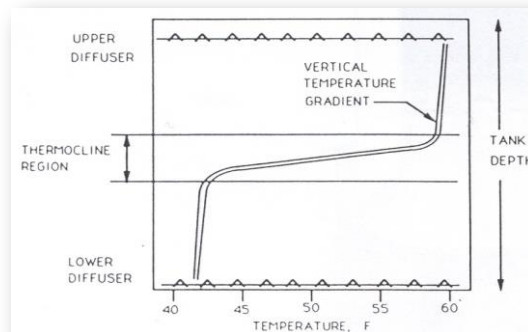
2

Στόχος

- Βελτιστοποίηση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας = μείωση απωλειών

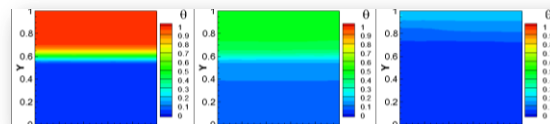
Θερμικές απώλειες

- Θερμική ανάμειξη/διάχυση εσωτερικά
- Συναγωγή προς τα τοιχώματα
- Αγωγή στα τοιχώματα
- Ακτινοβολία προς το περιβάλλον



Λειτουργία

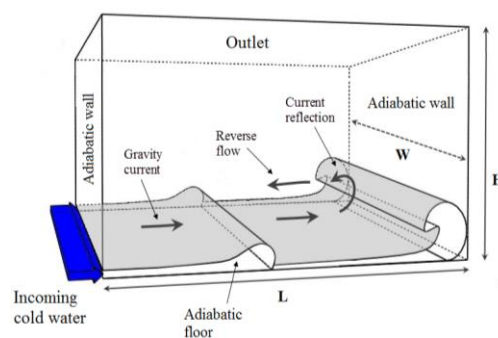
- Στατική (νύχτα)
- Δυναμική (φόρτιση & απομάστευση)



3

Δεξαμενές θερμικής ενέργειας

- Αποδοτικότητα ~ μειωμένη ανάμειξη
- Έντονη ανάμειξη στις αρχικές χρονικές στιγμές
- Απομάστευση: δυναμική διαδικασία ανάκτησης αποθηκευμένης ενέργειας
- Διαχύτες: ελαττώνουν την ανάμειξη, δημιουργία *Βαρυτικών Ρευμάτων* («Gravity Currents», BP^2), $Fr < 2$



- 1) E. Kaloudis, D.G.E. Grigoriadis, E. Papanicolaou and T. Panidis *International Journal of Heat and Fluid Flow*, (2013)
- 2) E. Kaloudis, D.G.E. Grigoriadis, E. Papanicolaou and T. Panidis, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, (2014).
- 3) E Kaloudis, D.G.E. Grigoriadis and E Papanicolaou, *International Journal of Thermal Sciences*, (2016).

4



- Εξισώσεις διατήρησης

$$\frac{\partial u_i^*}{\partial x_i^*} = 0$$

$$\frac{\partial u_i^*}{\partial t^*} + \frac{\partial u_i^* u_j^*}{\partial x_j^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial x_j^*} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial}{\partial x_j^*} \left(\frac{\partial u_i^*}{\partial x_j^*} \right) + \frac{Gr}{\text{Re}^2} \theta^* \delta_{ij}$$

$$\frac{\partial \theta^*}{\partial t^*} + \frac{\partial \theta^* u_j^*}{\partial x_j^*} = \frac{1}{\text{Pr Re}} \frac{\partial}{\partial x_j^*} \left(\frac{\partial \theta^*}{\partial x_j^*} \right)$$

- Αδιάστατες ομάδες

$$\text{Re} = \frac{u_{in} H_{in}}{\nu}$$

$$Gr = \frac{g \beta (T_o - T_{in}) L^3}{\nu^2} = \frac{\text{ανωστικές δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις ιξώδους}}$$

$$Fr = \frac{1}{\sqrt{Ar}} = \frac{\text{Re}}{\sqrt{Gr}} = \frac{u_{in}}{\sqrt{g' H_{in}}} = \frac{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}{\text{βαρυτικές δυνάμεις}}$$

5

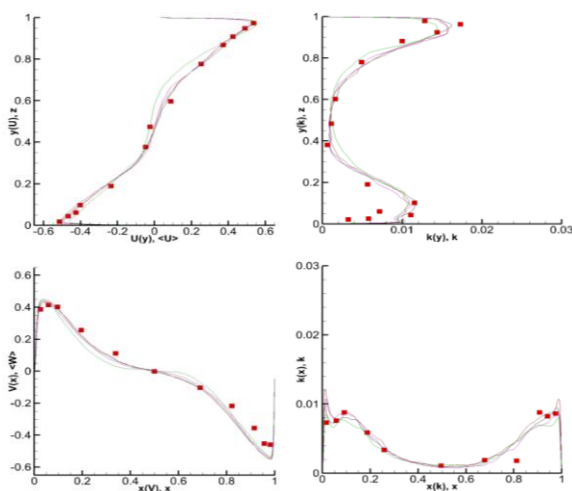


- Objectives

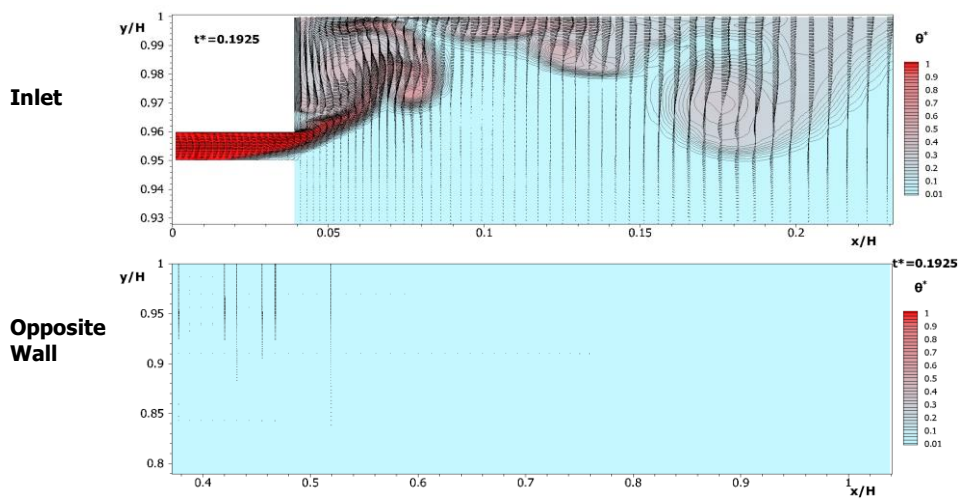
- Effect of charging/discharging scenarios to stratification
- Efficient inlet/outlet diffuser

- Parameters

- Blay et al., (EXP, 1993)
- $Ra_H = 2.4 \times 10^9$
- $Pr = 0.71$
- $h_{in}/H = 1/100$
- Up to $375 \times 192 \times 417$

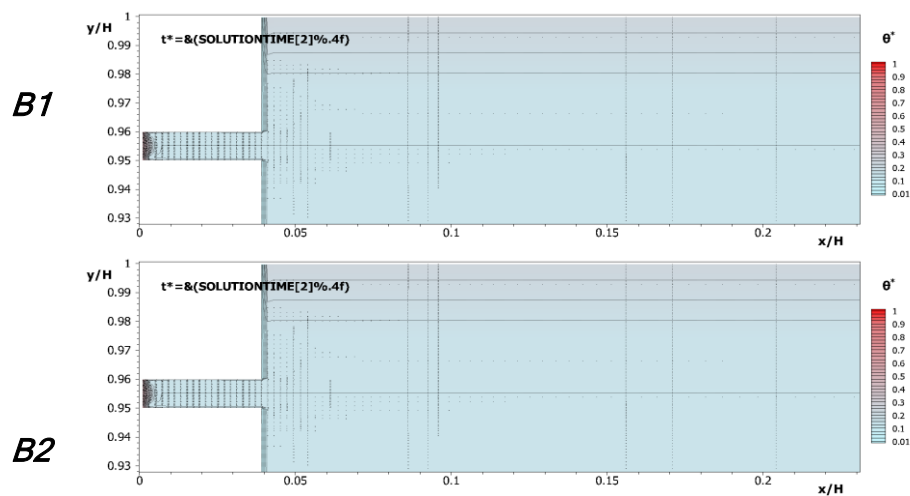


7



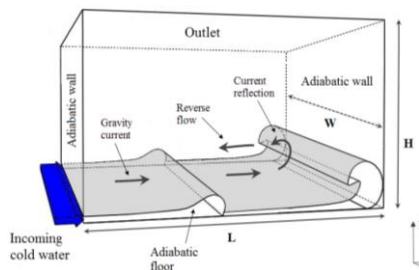
Kaloudis, Grigoriadis, Papanicolaou and Panidis (2014), *European Journal of Mechanics-B/Fluids*
Kaloudis, Grigoriadis, Papanicolaou and Panidis (2014), *International Journal of Heat and Fluid Flow*

9

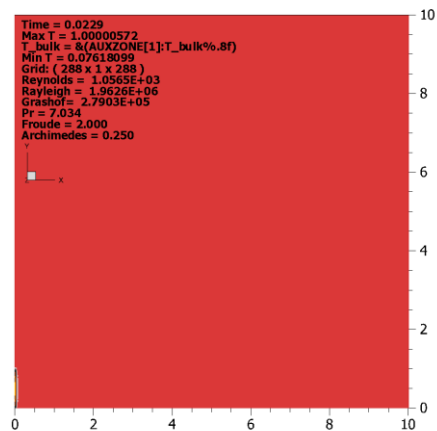




II.4 Thermal energy storage (discharging)



- Solar energy utilization
- Forced gravity current conditions from the diffuser
- $Fr=0.05 - 2.0$
- $Pr=4.3-7.0$
- In collaboration with U. of Patras & NCSR "Demokritos"

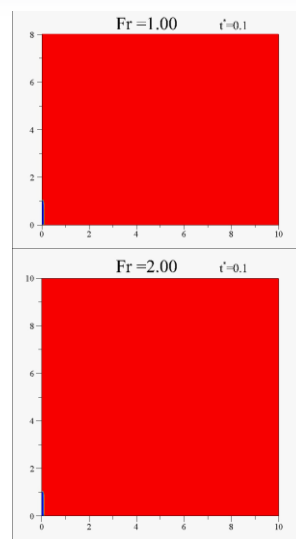
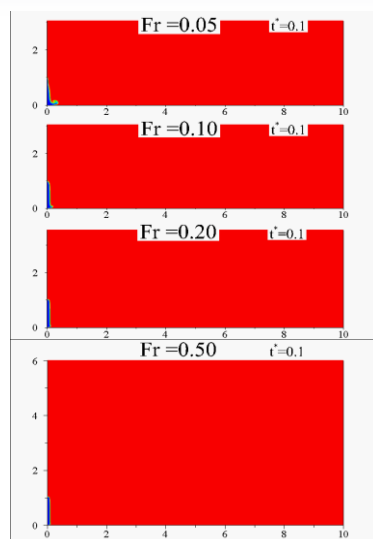


Kaloudis & Grigoriadis (2016)

11



II.4 Thermal energy storage (discharging): 2D ($0.05 < Fr < 2.0$)



Kaloudis & Grigoriadis (2016)

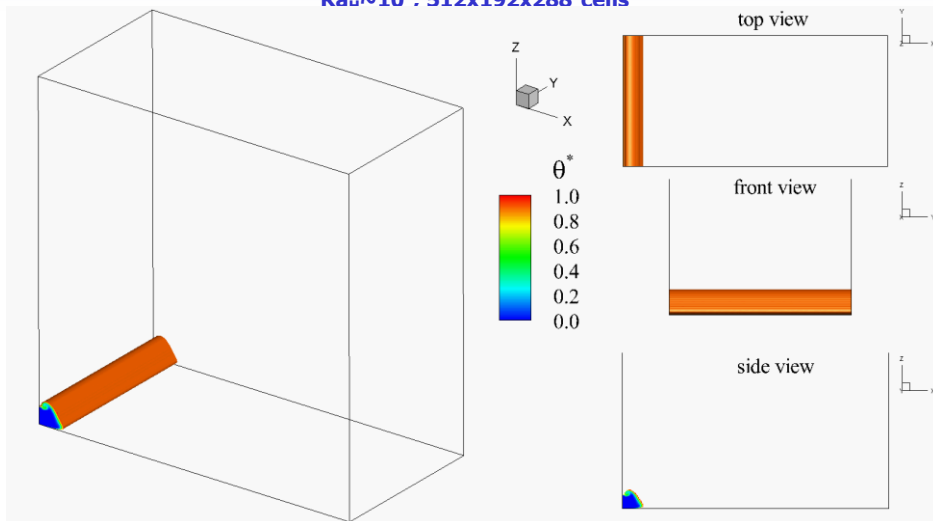
12



II.4 Thermal energy storage (discharging): 3D ($Fr=1.0$)



$Ra \sim 10^7$, 512x192x288 cells



Kaloudis & Grigoriadis (2016)

13



Εκτίμηση ενεργειακής κατάταξης



Απλοποιημένο (0Δ) μοντέλο απόδοσης

Επίδραση

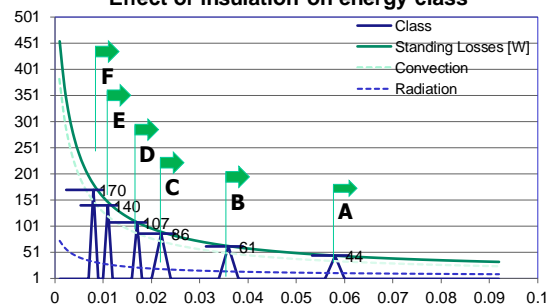
- Υλικών (ιδιότητες)
- Διαστάσεων / αναλογιών
- Συνθήκες περιβάλλοντος
- ...

Standing loss S in Watts, with storage volume V in litres

	FROM [W]	TO [W]	FROM [W]	TO [W]
A+		$S < 5.5 + 3.16 \sqrt{V}$	0.0	31.8
A	$5.5 + 3.16 \sqrt{V}$	$< S < 8.5 + 4.25 \sqrt{V}$	31.8	43.9
B	$8.5 + 4.25 \sqrt{V}$	$< S < 12 + 5.93 \sqrt{V}$	43.9	61.4
C	$12 + 5.93 \sqrt{V}$	$< S < 16.66 + 8.3 \sqrt{V}$	61.4	86.0
D	$16.66 + 8.3 \sqrt{V}$	$< S < 21 + 10.33 \sqrt{V}$	86.0	107.0
E	$21 + 10.33 \sqrt{V}$	$< S < 26 + 13.66 \sqrt{V}$	107.0	139.7
F	$26 + 13.66 \sqrt{V}$	$< S < 31 + 16.66 \sqrt{V}$	139.7	169.7
G	$31 + 16.66 \sqrt{V}$	$< S$	169.7	

EN 12977-3

Effect of insulation on energy class



14