ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ / ΙΠΤΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΙΑΚΩΝ & ΑΛΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ/ ΗΛΙΑΚΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

& άλλες εφαρμογές με αέρα

Σύνοψη δραστηριοτήτων

Γενικά Στοιχεία

Αφύγρανση των τροφίμων / γεωργικών προϊόντων : μέθοδος επιμήκυνσης του χρόνου ζωής τους

Φυσική Ξήρανση (έκθεση στον ήλιο) : Απλή μέθοδος, αλλά μεγάλες απώλειες, χαμηλή ποιότητα προϊόντος

Μηχανική (τεχνητή) Ξήρανση : Ελεγχόμενες συνθήκες, μείωση χρόνου

Δημιουργία ρεύματος θερμού αέρα πάνω από το προϊόν ⇨ Απαιτείται πρόσδοση μηχανικής ενέργειας - θερμότητας

- Ενεργοβόρα διαδικασία, χρήση συμβατικών καυσίμων.
- Μπορεί να μειωθεί με χρήση ηλιακής ενέργειας

Πρώτες Δραστηριότητες :

Πειραματικές μετρήσεις σε σειρά αγροτικών προϊόντων :

- Χαρακτηρισμός του πορώδους μετά την ξήρανση (μέγεθος, κατανομή πόρων κλπ.) για επίδραση στην ποιότητα και στις θερμοφυσικές ιδιότητες.
- Σύγκριση ξήρανσης με αέρα και με ψύξη.
- Κινητική της ξήρανσης : σύγκριση μεταξύ φυσικής διαδικασίας (sun drying) και ξήρανσης βιομηχανικού τύπου
- Κριτήρια για την βέλτιστη λειτουργία ξηραντηρίων

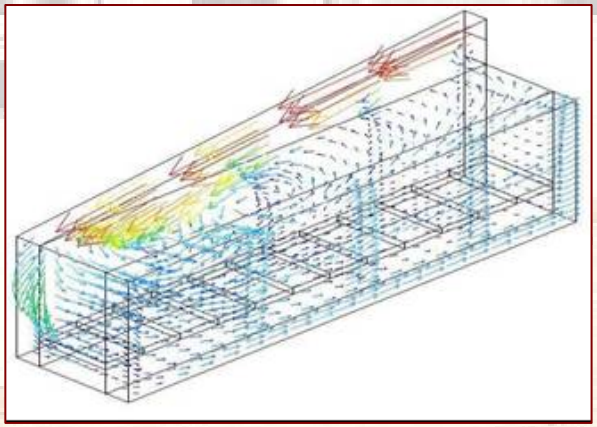
▪Karathanos V. and Belessiotis V., Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products , *Journal of Food Engineering*, vol. 31 (1), pp 31 - 46, 1996.

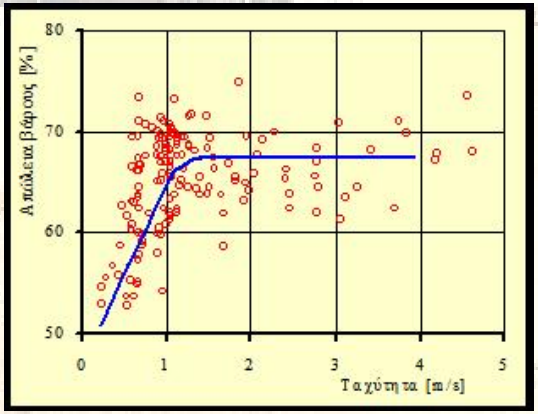
▪Karathanos V., Kanellopoulos N. and Belessiotis V., Development of porous structure during drying of materials of plant origin , *Journal of Food Engineering*, vol. 29 (2), pp 167 - 183, 1996

Επίδραση της κατανομής ταχύτητας αέρα

Χρήση μεθόδων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) :
Βιομηχανικού τύπου θάλαμος ξήρανσης 5 τόνων

- Προσομοίωση με το λογισμικό PHOENICS για τυρβώδη ροή
- Μετρήσεις ταχύτητας αέρα, περιεκτικότητας σε υγρασία
- Ανάδειξη περιοχών ανομοιομορφίας. Συσχέτιση ταχύτητας αέρα – ποιότητας ξήρανσης





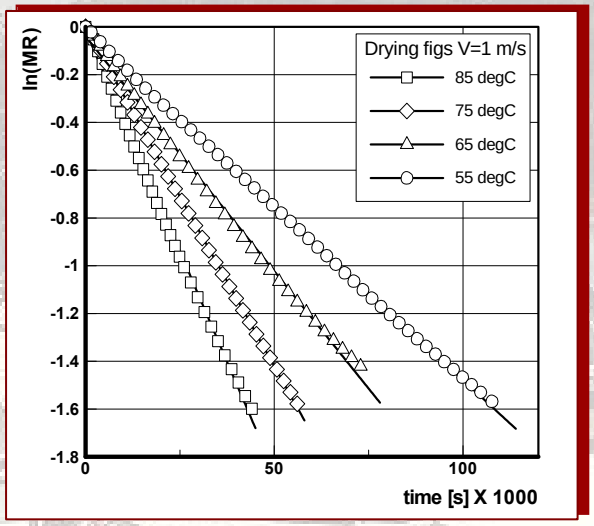
Mathioulakis E., Karathanos V. and Belessiotis V., ``Simulation of air movement in dryer by computational fluid dynamics. Validation for the drying of fruits``, *Journal of Food Engineering*, vol. 36 (2), pp. 183-200, 1998

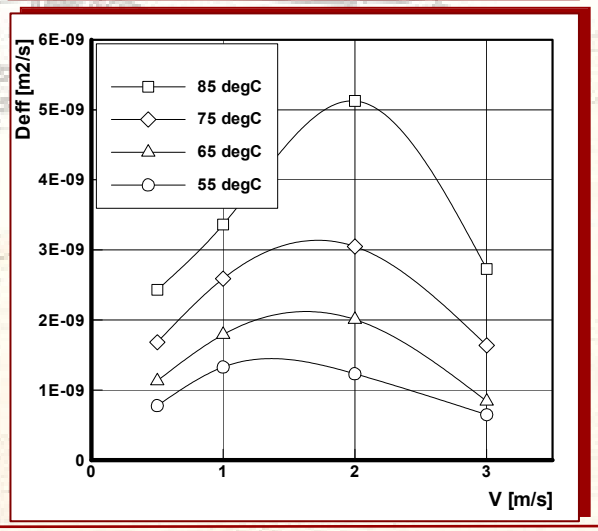
Κινητική της Ξήρανσης

Πειραματικός προσδιορισμός επίδρασης παραμέτρων αέρα ξήρανσης

Αντιπροσωπευτικό προϊόν : Σύκα (figus carica)

- Ταχύτητες αέρα : 0.5 -3 *m/s*
- Θερμοκρασίες : 55° - 85° *C*

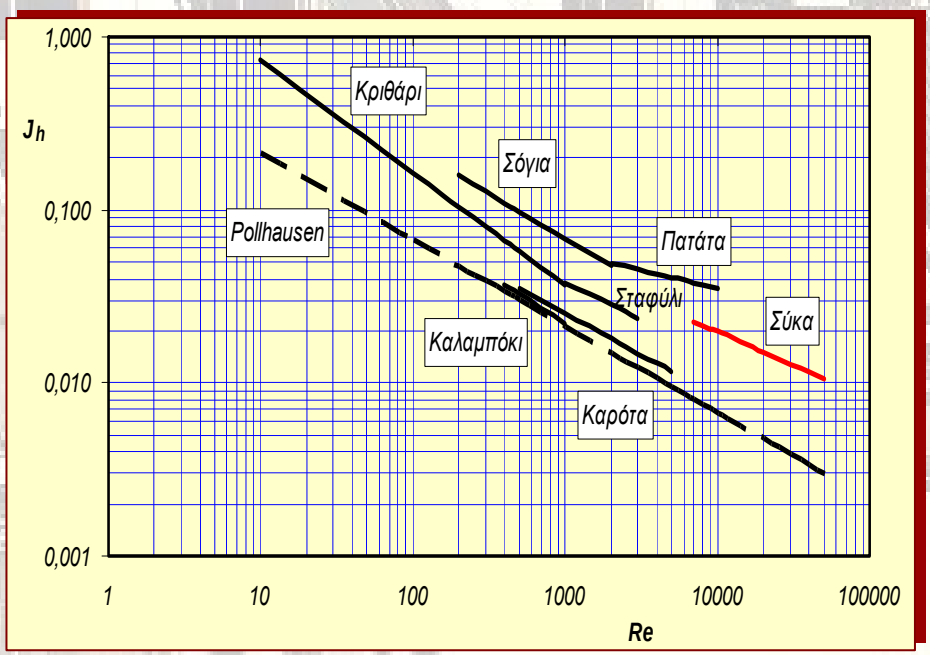




- Babalis S.J. and Belessiotis V., "Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs", *Journal of Food Engineering,* vol. 65(3), pp 449-458 , 2004.

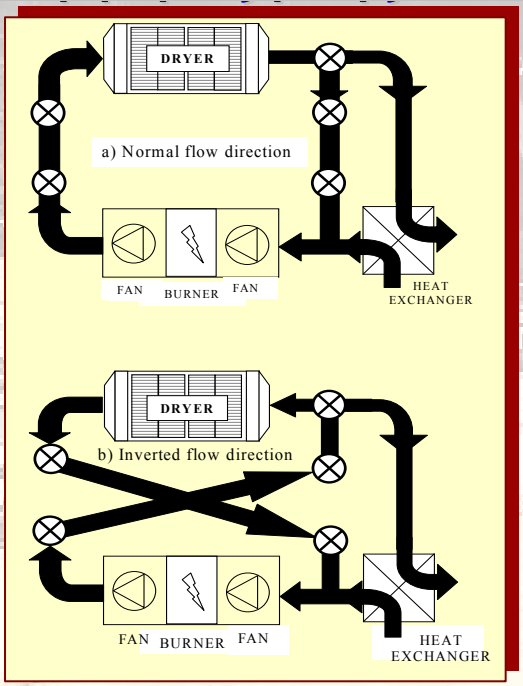
- Babalis S.J., Papanicolaou E., Kyriakis N. and Belessiotis V., "Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (Ficus carica)", *Journal of Food Engineering*, vol. 75(2), pp. 205-214, 2006

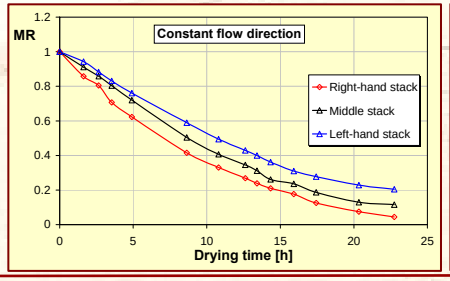
Πειραματικός προσδιορισμός σχέσης μεταφοράς θερμότητας

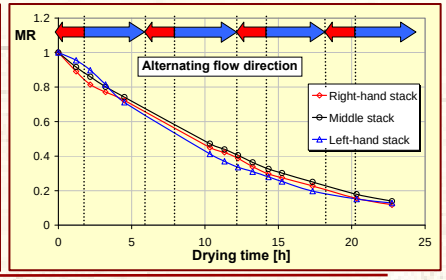


$$Nu = 1.16691\,\mathrm{Re}^{0.59126}\,\mathrm{Pr}^{1/3}$$

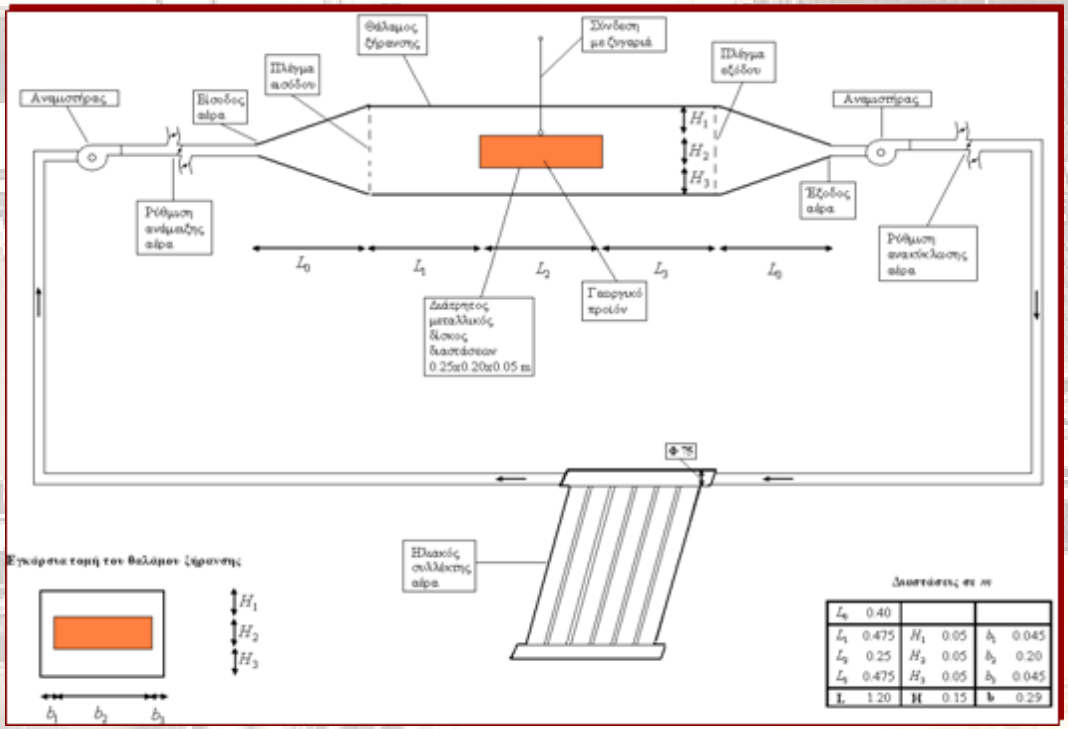
Επίδραση φοράς ροής του αέρα

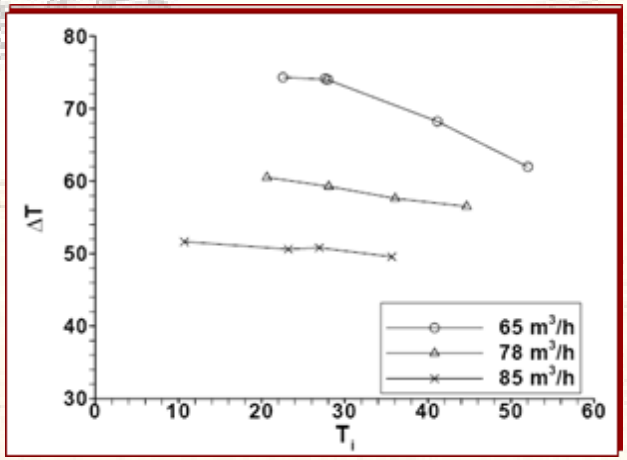




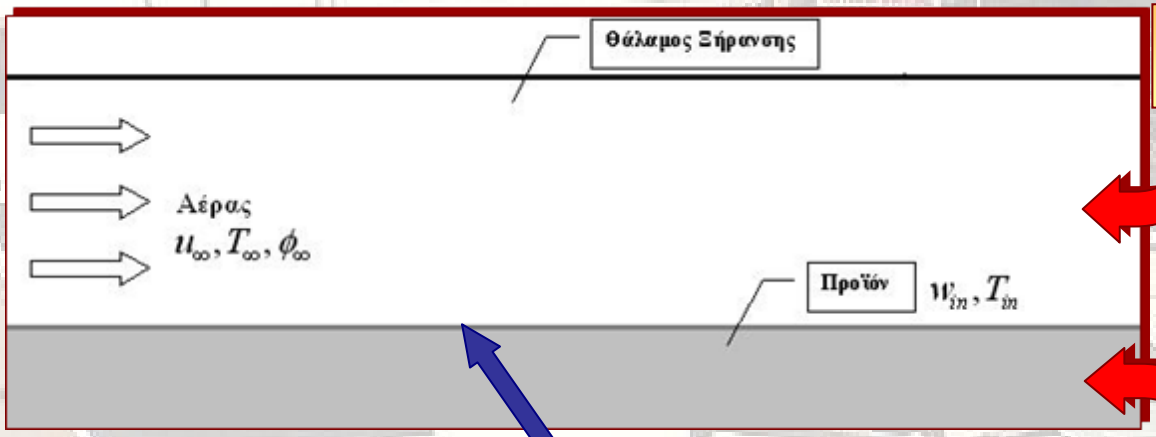


Ηλιακά Υποβοηθούμενη Ξήρανση : Πειραματική Διάταξη





Μοντέλο προσομοίωσης : Γενικά Στοιχεία



Υπολογιστική Ρευστομηχανική (CFD)

Πεπερασμένοι όγκοι: επιλύτες στρωτής/ τυρβώδους ροής

Μοντέλο Ξήρανσης

-Συνθήκες διεπιφάνειας
-Θερμοδ. ισορροπία

Δυνατές προσεγγίσεις προσομοίωσης:

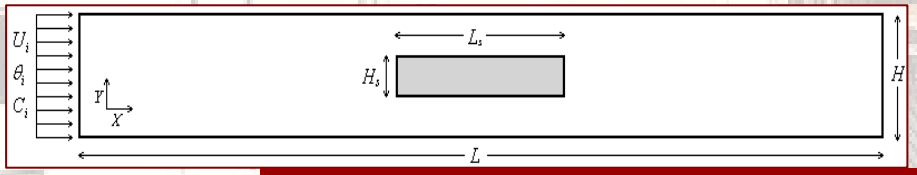
- μόνο το στερεό
  (με κατάλληλες οριακές συνθήκες)
- στερεό και αέρας ξήρανσης
  (συνδυασμός μοντέλου ξήρανσης με μοντέλο ροής)

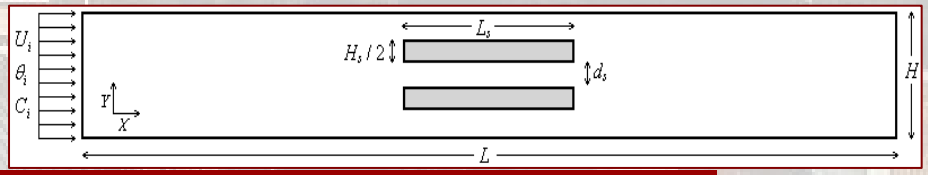
Προσέγγιση Luikov

$$J_v = -D_{mv}\rho_s \nabla M - D_{Tv}\rho_s \nabla T$$

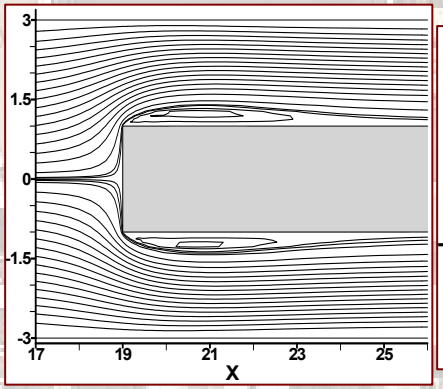
$$J_l = -D_{ml}\rho_s \nabla M - D_{Tl}\rho_s \nabla T$$

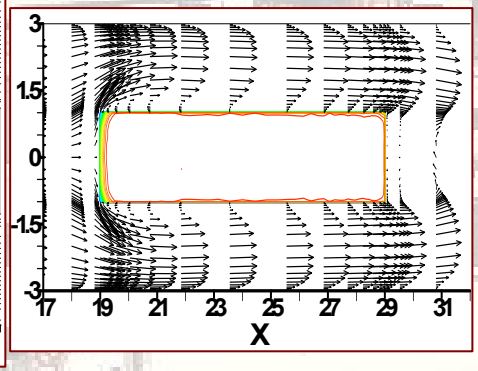
Μοντέλο προσομοίωσης : Αποτελέσματα

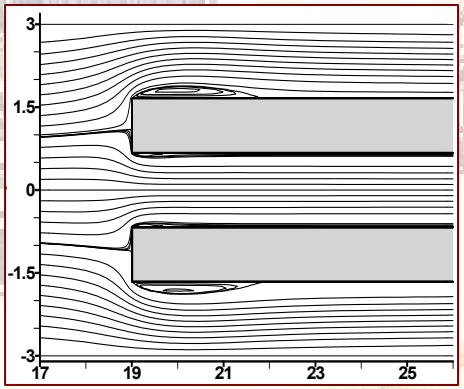


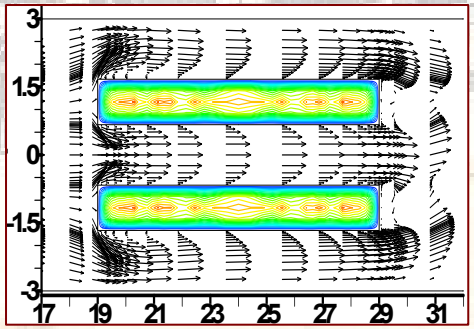


Πεδίο ροής για *Re* = 463 και πεδίο υγρασίας στις 2 hrs ξήρανσης





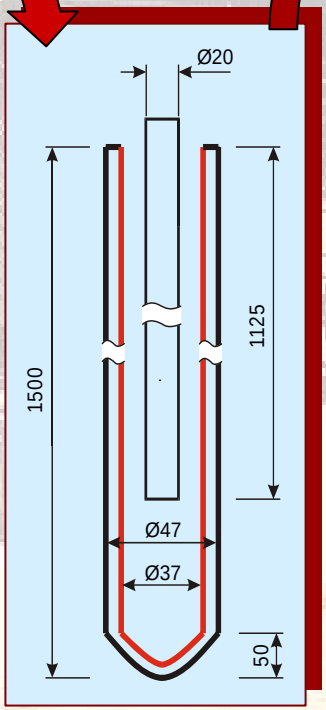


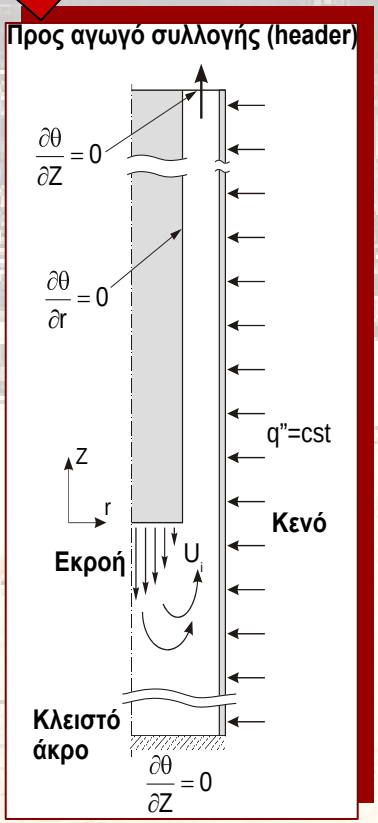


- Chr. Lamnatou, E. Papanicolaou, V. Belessiotis and N. Kyriakis, "Conjugate heat and mass transfer from a drying rectangular cylinder in confined air flow", *Num. Heat Transfer* (under review)
- Χρ. Λαμνάτου, Η. Παπανικολάου, Β. Μπελεσιώτης και Ν. Κυριάκης, «Μοντελοποίηση φαινομένων μεταφοράς Θερμότητας / Μάζας κατά την ξήρανση με συναγωγή πορωδών στερεών σωμάτων - Εφαρμογή σε Ηλιακό Ξηραντήριο», 9ο Εθνικό Συνέδριο του ΙΗΤ για τις "Ήπιες μορφές ενέργειας" , Γεροσκήπου, Κύπρος 26-29 Μαρτίου 2009

Συλλέκτης αέρα σωλήνων κενού

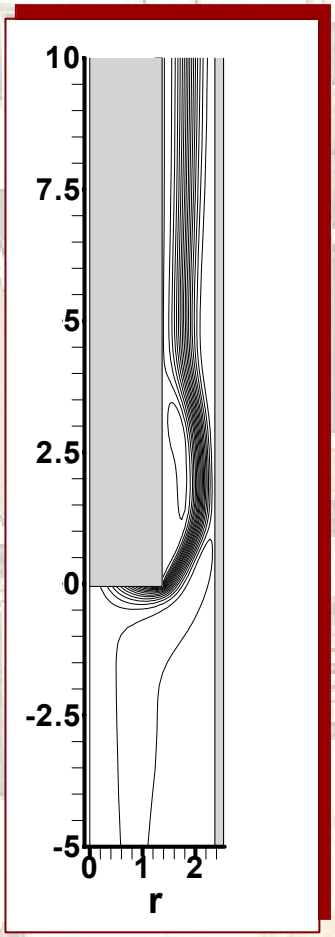
Διαμόρφωση μοντέλου προσομοίωσης

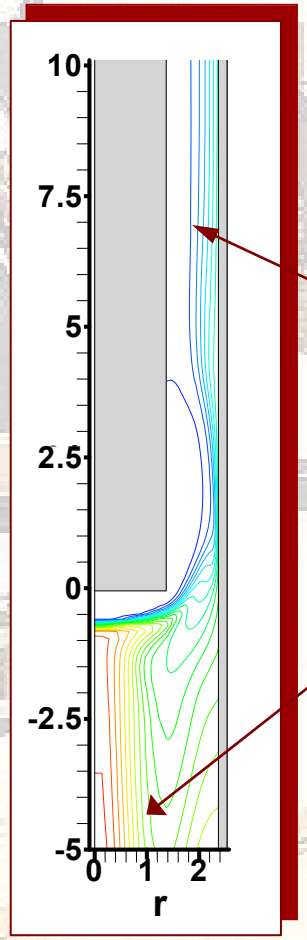




E. Papanicolaou, V. Belessiotis, X.Li and Z. Wang, "Study of the thermal performance and air-flow features of a solar air heater with evacuated tubes", proceedings of the ISES 2007 Solar World Congress, Beijing - China, 18-21 September 2007.

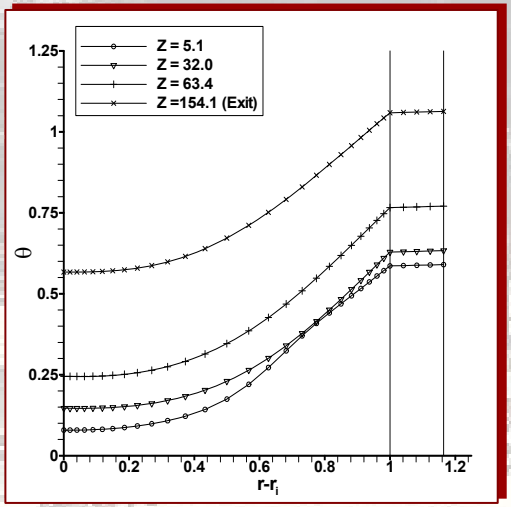
Συλλέκτης αέρα - Αποτελέσματα

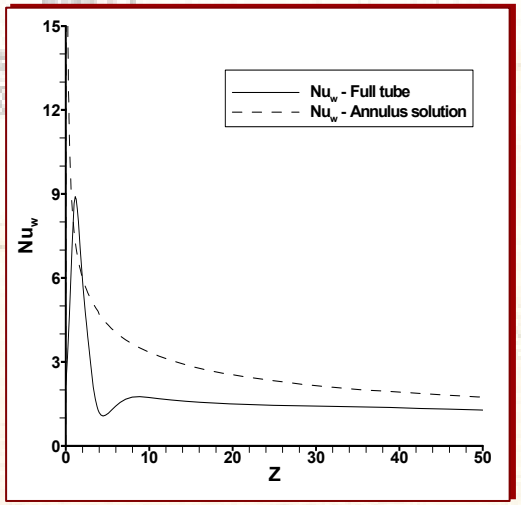




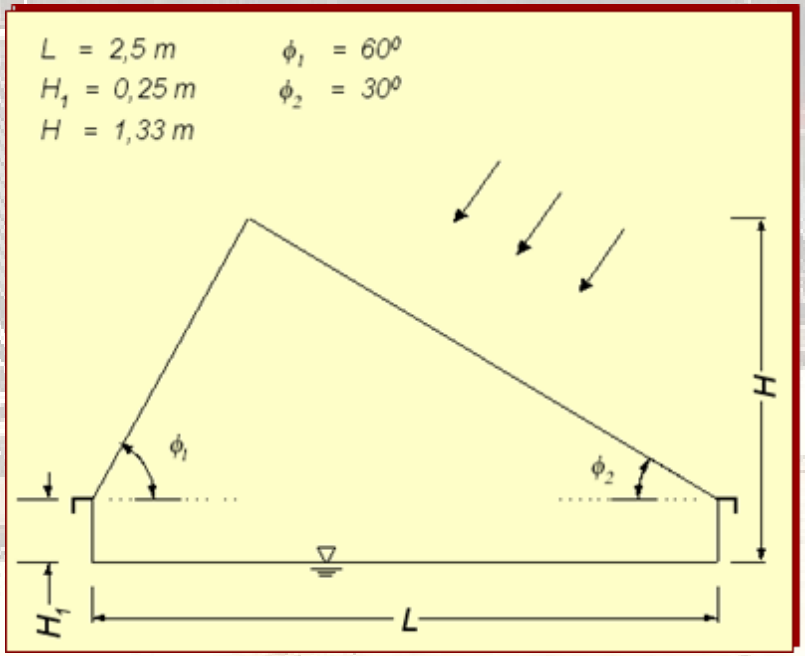
Εξαναγκασμένη συναγωγή

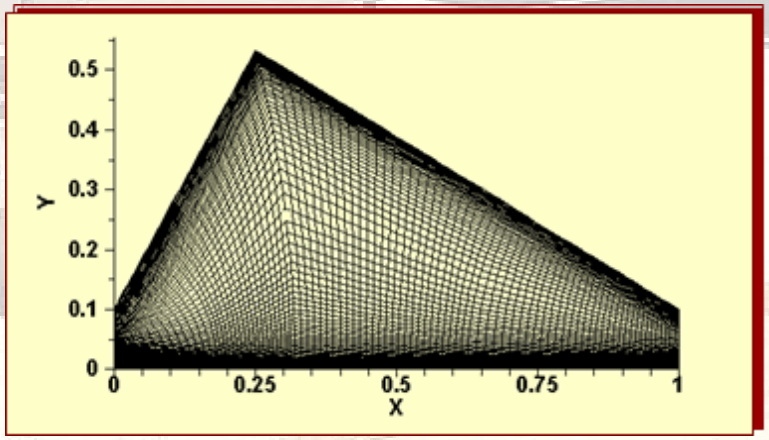
Φυσική συναγωγή (ζώνη στασιμότητας)





Ηλιακός αποστακτήρας: Μοντέλο προσομοίωσης



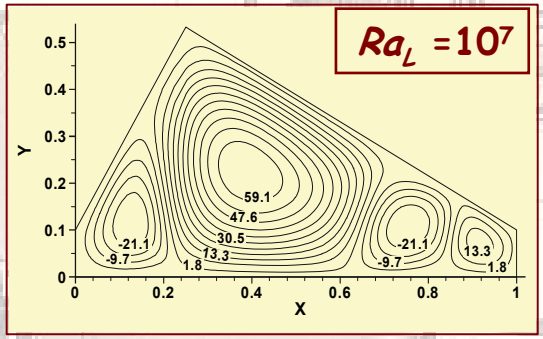


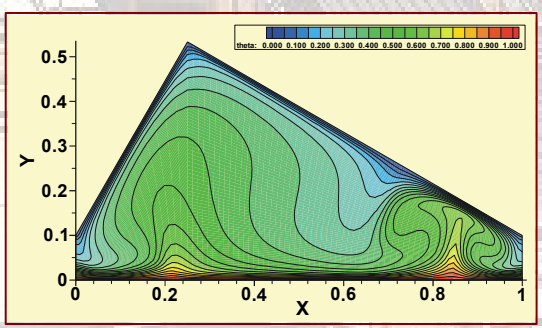
$$Ra_L = \frac{g\beta(T_w - T_g)L^3}{\nu\alpha}$$

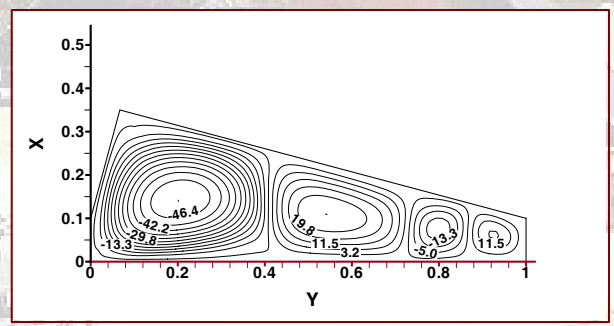
Ηλιακός αποστακτήρας 1:

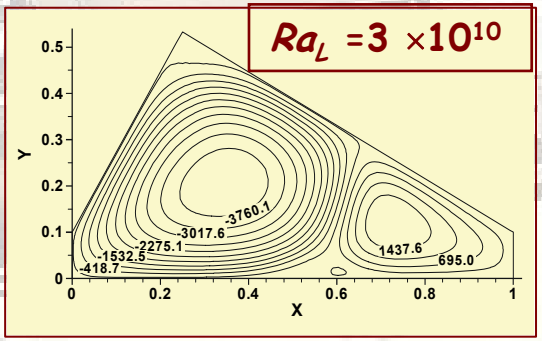
Απλή φυσική συναγωγή
- $Ra_L = 10^7 - 3 \times 10^{10}$ (τυρβώδης ροή)

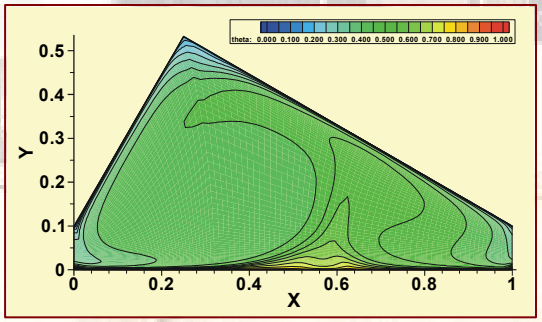
- Γωνία καλύμματος
φ_2 = 30°,25°,20°,15°

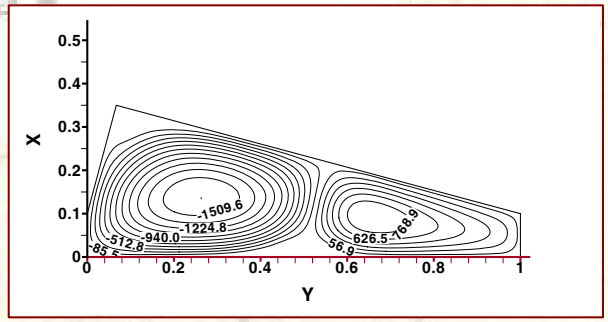








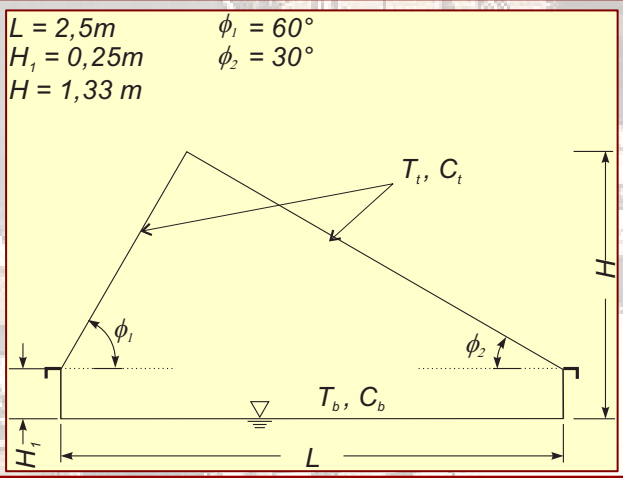




Papanicolaou E., Voropoulos K. and Belessiotis V., Natural convective heat transfer in an asymmetric, greenhouse-type solar still - Effect of angle of inclination, *Num. Heat Transfer, Part A,* vol. 42 (8), pp. 855-880, 2002.

Ηλιακός αποστακτήρας 2:

Φυσική συναγωγή διπλής διάχυσης ή «*Θερμοδιαλυτική*» συναγωγή (thermosolutal convection)



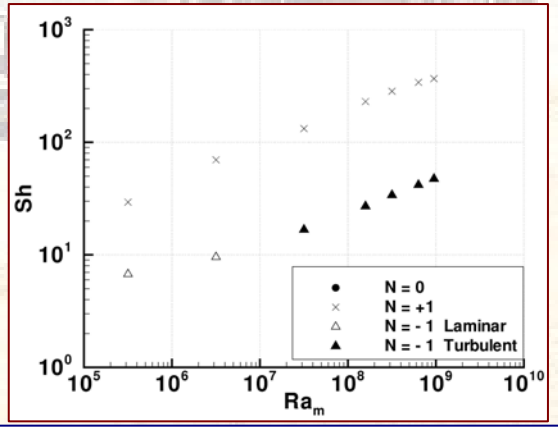
$$\rho(T,c)=\rho_0(1-\beta(T-T_0)-\beta^*(c-c_0))$$

Νέες παράμετροι

$$Sc = \nu/D,$$
$$Le = Sc/Pr = \alpha/D$$

$$N=\frac{\beta^*\Delta c}{\beta\Delta T}=\frac{Ra_C}{Ra}$$

- $Ra_L = 10^7 - 10^{10}$ (τυρβώδης ροή),
- Μίγμα αέρα/υδρατμού $Le = 0.86$

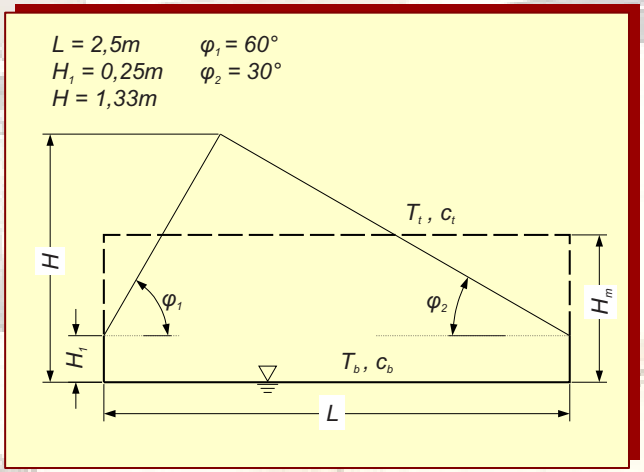


Papanicolaou E. and Belessiotis V., "Double-diffusive natural convection in an asymmetric trapezoidal enclosure: unsteady behavior in the laminar and the turbulent-flow regime", *Int. J. Heat & Mass Transfer*, vol. 48(1), pp. 191-209, 2005.

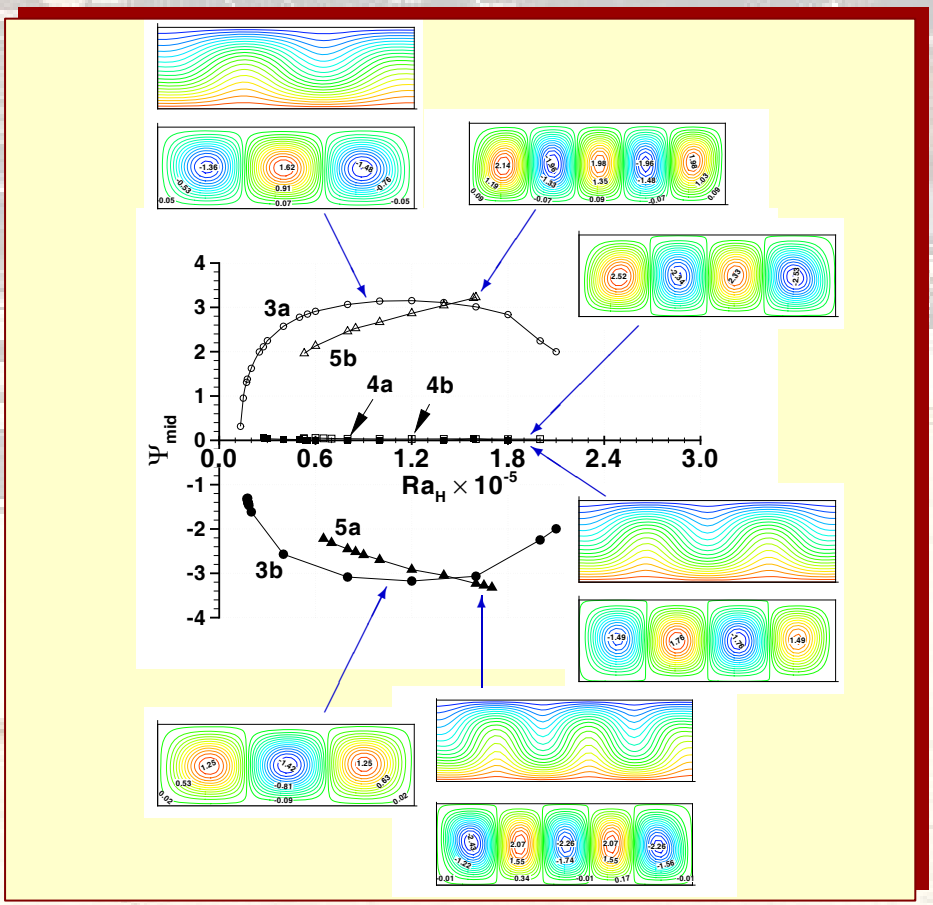
Φυσική συναγωγή ΔΔ σε κλειστά κοιλώματα:

Φαινόμενα Αστάθειας_-Διακλαδώσεις

Ορθογωνική γεωμετρία
- Μίγματα $Le = 0.86, 2, 5$
- Λόγοι $N = -1, -0.1, -0.5$



Διάγραμμα για $Le = 0.86$, $N = -1$

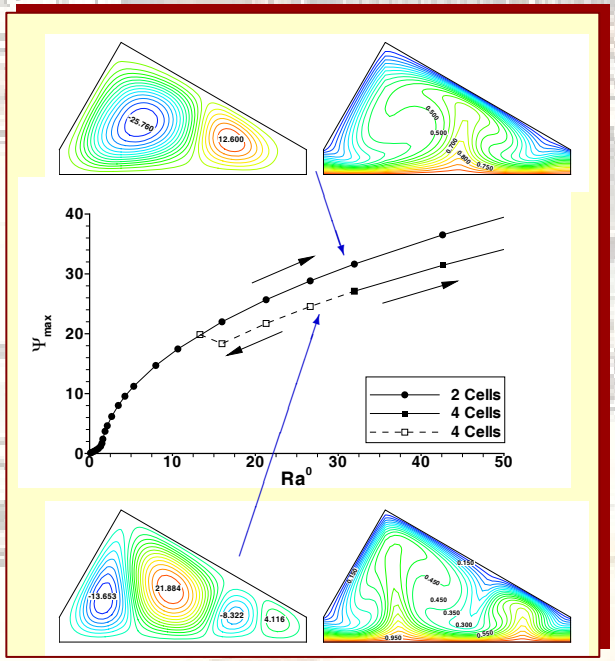


Φυσική συναγωγή ΔΔ σε κλειστά κοιλώματα: Φαινόμενα Αστάθειας - Διακλαδώσεις

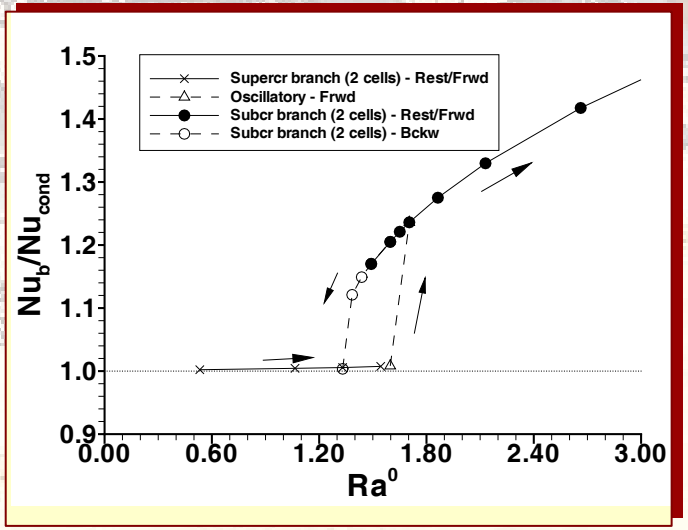
Τραπεζοειδείς γεωμετρίες

- Μίγματα : *Le* = 0.86, 2, 5
- *N* = -1, -0.5, -0.1

Διάγραμμα για *Le* = 2, *N* = -0.5



Διάγραμμα για *Le* = 5, *N* = -0.5



Papanicolaou E. and Belessiotis V., Patterns of double-diffusive natural convection with opposing buoyancy forces: comparative study in asymmetric trapezoidal and equivalent rectangular enclosures", *ASME J. Heat Transfer*, vol. 130(9), pp. 092501-11, 2008.