



Αερισμός

Μεταφορά μάζας στο θερμοκήπιο

Ο αερισμός είναι η κύρια διαδικασία μεταφοράς μάζας αερίων στο θερμοκήπιο



υδρατμοί

(αυξάνονται τη νύχτα λόγω διαπνοής και κλειστών παραθύρων)



CO₂

(μειώνεται τη μερα λόγω φωτοσύνθεσης)



O₂

(μειώνεται τη νύχτα λόγω αναπνοής και απώλειας φωτοσύνθεσης)

Ο αερισμός συνδέεται με τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Τύποι αερισμού

- **Φυσικός αερισμός**
 - Οδηγούμενος από τον άνεμο
 - Οδηγούμενος από διαφορές θερμοκρασίας
- **Δυναμικός αερισμός**
 - Μηχανικά οδηγούμενος αερισμός



Μονάδες μέτρησης αερισμού κτιρίου

Ροή αερισμού F_v : $m^3 s^{-1}$ είτε $m^3 h^{-1}$

Εμπειρικές μονάδες αερισμού:

Αριθμός ανανεώσεων του όγκου του κτιρίου ανά ώρα ($N h^{-1}$)

$$F_v = N V (m^3 h^{-1}) \rightarrow N = F_v / V \text{ (ανανεώσεις / h)}$$

V είναι ο όγκος του κτιρίου

Χρόνος ανανέωσης (T) του όγκου του κτιρίου (min)

$$V = T F_v (m^3 h^{-1}) \rightarrow T = V / F_v \text{ (h ή min/ανανέωση)}$$

V είναι ο όγκος του κτιρίου

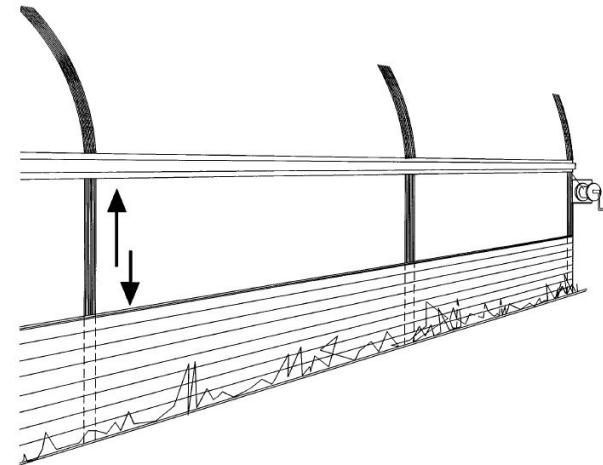
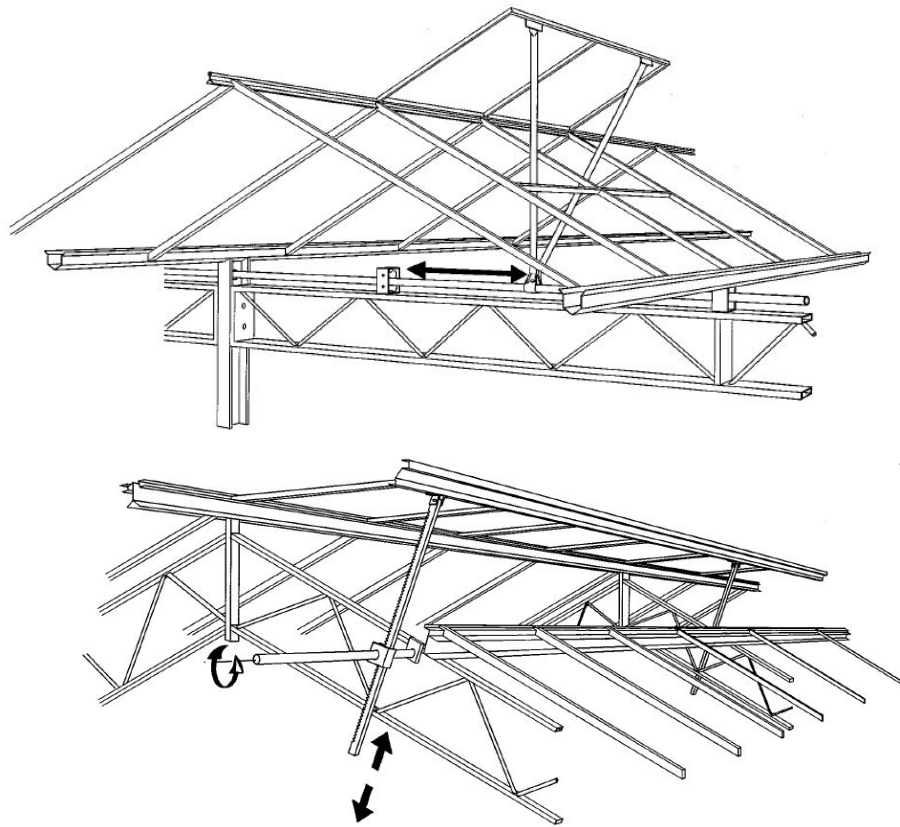
ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

- Ανοίγματα αερισμού
- Άνεμος και αερισμός
- Αερισμός λόγω διαφορών θερμοκρασίας

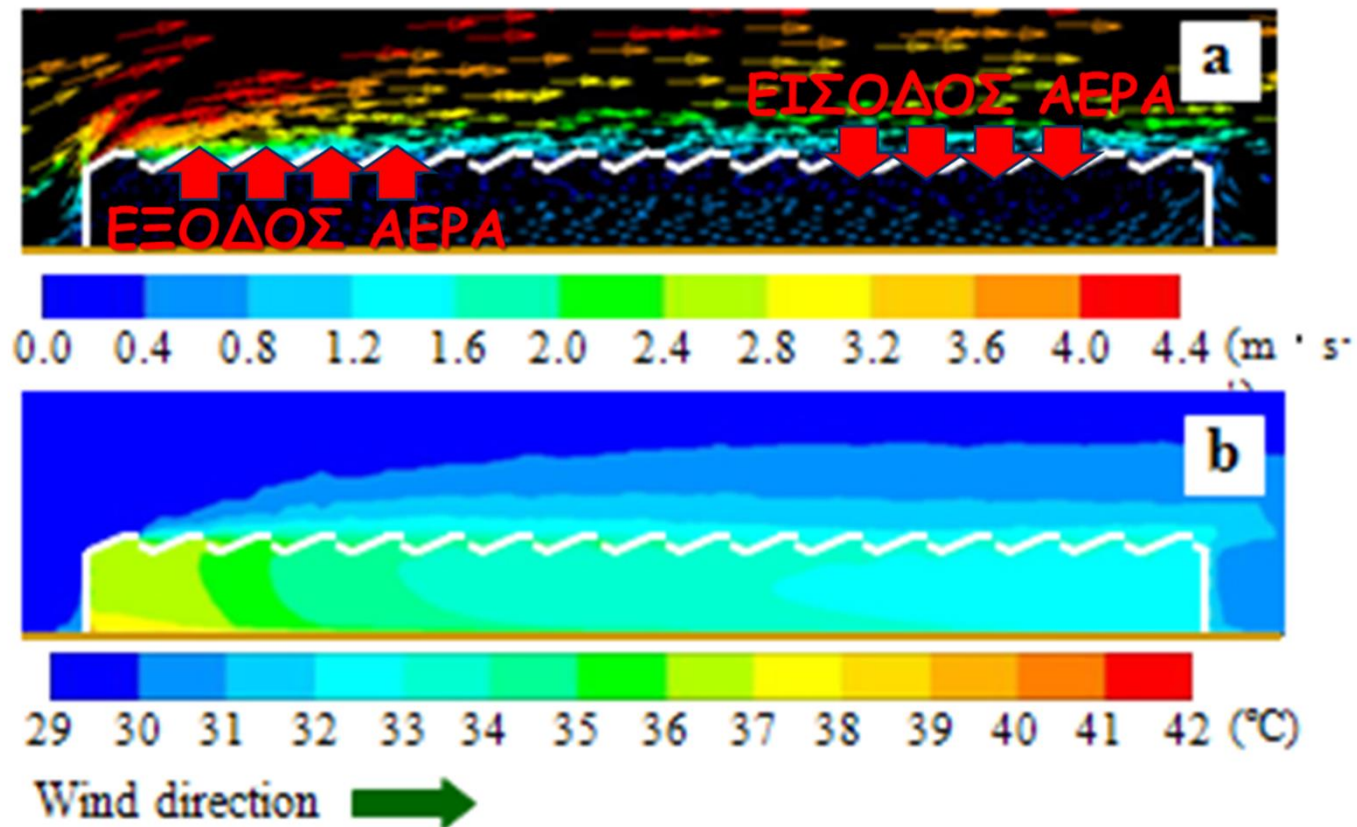
Ανοίγματα αερισμού



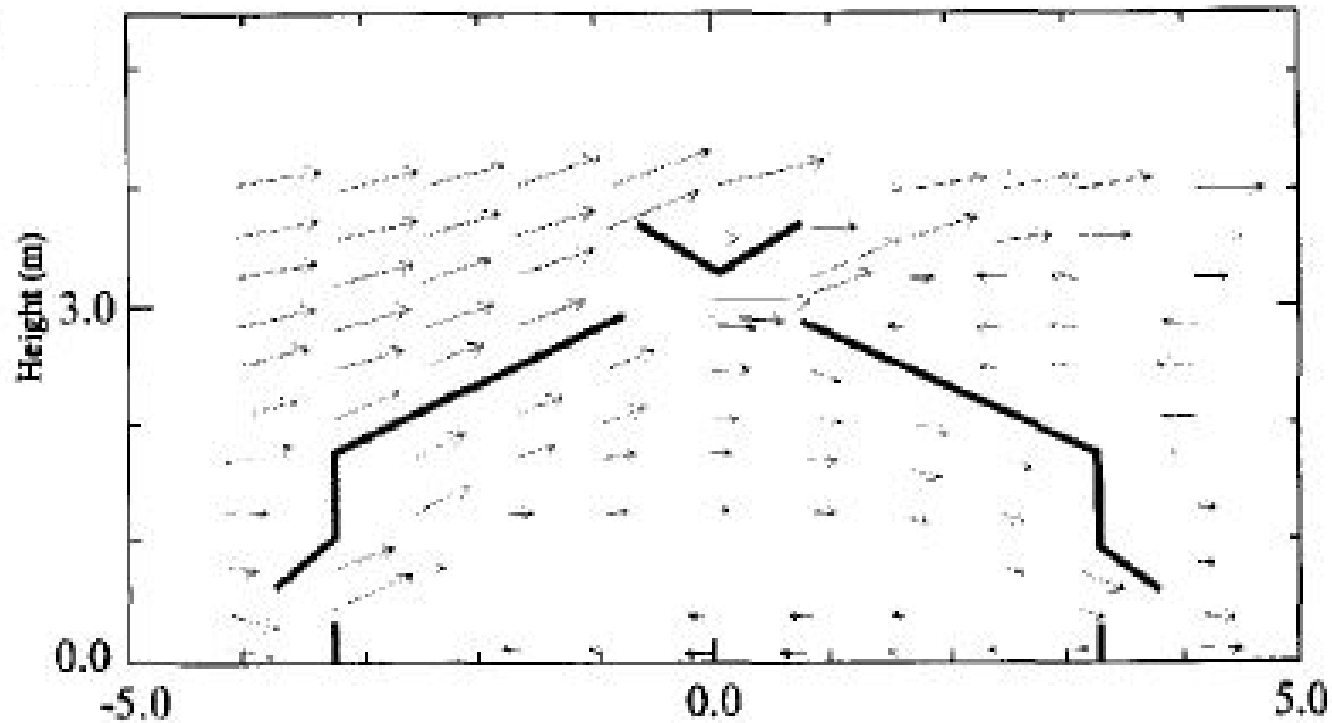
Μηχανισμοί ανοιγμάτων αερισμού



Άνεμος και αερισμός



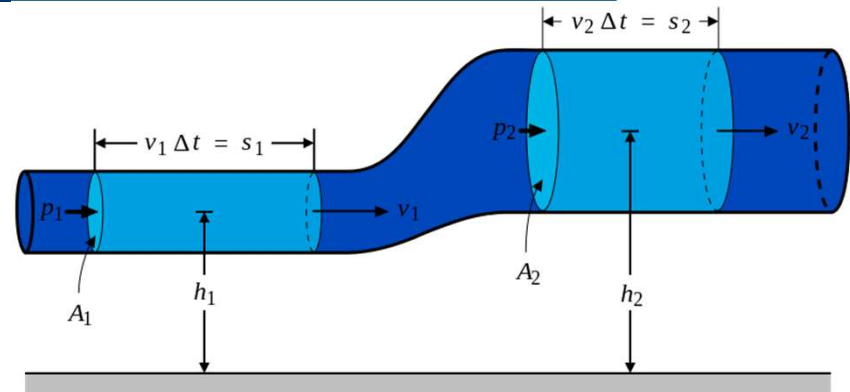
Άνεμος και αερισμός



- Το διπλό άνοιγμα στο παράθυρο οροφής δεν ευνοεί τον αερισμό
- Σημαντικός ο χειρισμός των παραθύρων

Ασυμπίεστα ρευστά - Νόμος Bernoulli

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{P}{\rho} = C$$



- P** : πίεση ανέμου (Pa)
- ρ** : πυκνότητα αέρα (kg m^{-3})
- v_v** : ταχύτητα εσωτερικού αέρα (m s^{-1})
- h** : ύψος του σημείου ροής (m)
- g** : επιτάχυνση της βαρύτητας (m s^{-2})

Άνεμος και αερισμός

Δυναμική πίεση

$$P_w = \frac{1}{2} \rho v_w^2$$

P_w : δυναμική πίεση ανέμου (Pa)

ρ : πυκνότητα αέρα (kg m^{-3})

v_w : ταχύτητα ανέμου (m s^{-1})

Είναι η πίεση που ασκεί ο άνεμος αν βάλουμε μια επιφάνεια κάθετα στη ροή του

$$E_w = \frac{1}{2} m v_w^2$$

Προκύπτει από την κινητική ενέργεια του ανέμου αν διαιρέσουμε και τους δυο όρους με τον όγκο V

Συντελεστής πίεσης ανέμου

Συντελεστής Πίεσης ή σχήματος θερμοκηπίου

$$C_P = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho v_w^2}$$

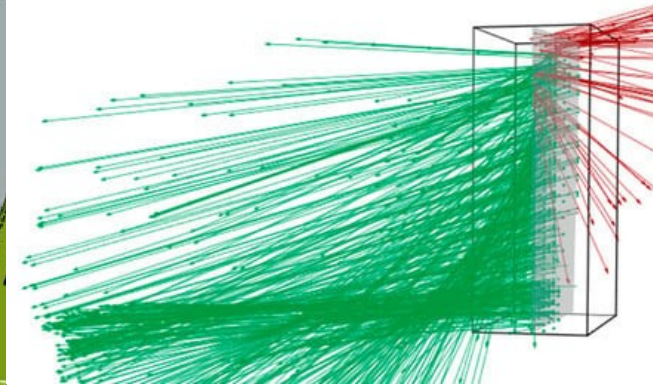
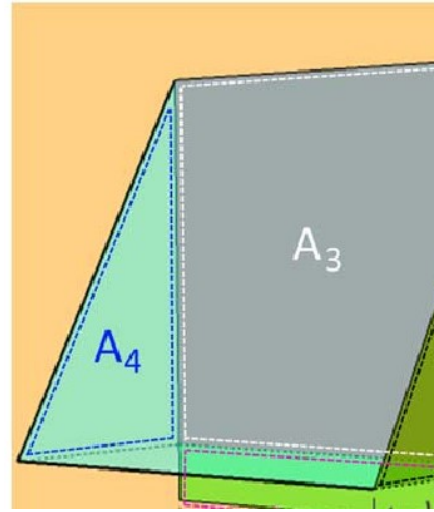
Συντελεστής Πίεσης ← C_P ← Πίεση (Δυναμική Πίεση)

Πυκνότητα Ρευστού (ρ)

Ταχύτητα Ανέμου (v_w)

Εξαρτάται από το σχήμα του θερμοκηπίου και τη διεύθυνση του ανέμου

Αντίσταση ανοίγματος αερισμού



$$\Delta P = G \frac{1}{2} \rho v_v^2$$

$G=1$ (χωρίς εμπόδιο)

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v_v^2$$

G : Αντίσταση ανοίγματος αερισμού
εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανοίγματος
 v_v : Ταχύτητα αερισμού

Αερισμός που οφείλεται στον άνεμο

Ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος αερισμού

$$\frac{1}{2} \rho v_v^2 = \frac{\Delta P}{G} \Rightarrow \frac{1}{2} \rho v_v^2 = \frac{C_p}{2G} \rho v_w^2 \Rightarrow v_v = \sqrt{\frac{C_p}{G}} v_w$$

G είναι η αντίσταση του ανοίγματος και εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του

C_p είναι ο συντελεστής ανεμοπίεσης και εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής

$$F_v = A v_v$$

- Παροχή ανοίγματος αερισμού, F ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
- Επιφάνεια ανοίγματος αερισμού, A (m^2)

Σχέση αερισμού με τη ταχύτητα του ανέμου

Ροή Αερισμού
 $F(\text{m}^3/\text{s})$

$$\text{m}^3/\text{s} = \text{m}^2 * (\text{m}/\text{s})$$



$$A * v_v$$

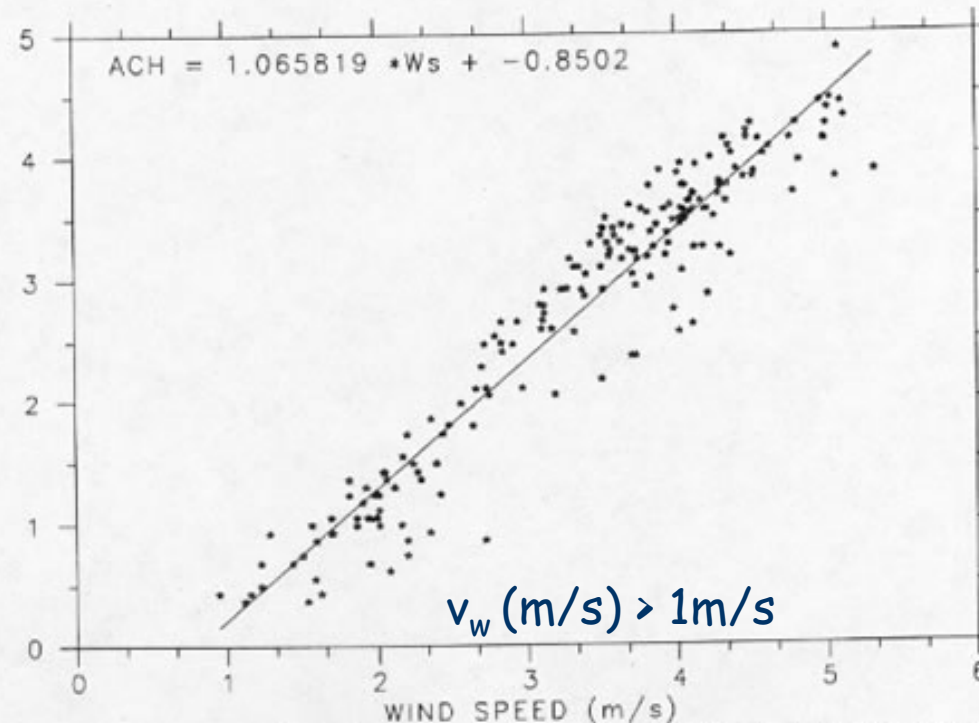
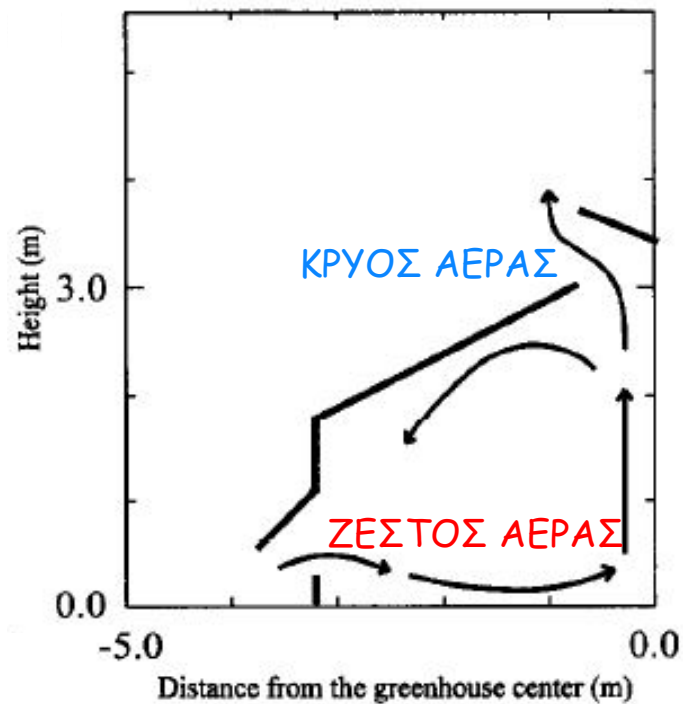


Figure 4. Relationship of natural attic ventilation rates to local wind speed.

Parker et al (<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/html/fsec-pf-226-91/>)

Αερισμός λόγω διαφοράς Θερμοκρασίας

Περίπτωση Άπνοιας



- Εσωτερικά ο αέρας του θερμοκηπίου είναι ζεστός λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας
- Το άνοιγμα παραθύρων αναγκάζει τον ζεστό αέρα να ανέλθει σε ανώτερα στρώματα

Αερισμός σε συνθήκες άπνοιας

- Η πυκνότητα του αέρα μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία
- Ο ελαφρύς αέρας ανεβαίνει ενώ ο κρύος κατεβαίνει
- Όταν δεν υπάρχει άνεμος η κίνηση του αέρα οφείλεται σε διαφορές θερμοκρασίας

Αερισμός σε συνθήκες άπνοιας

Από το νόμο των ιδανικών αερίων βρίσκεται ο συντελεστής θερμικής διαστολής, β , του αέρα:

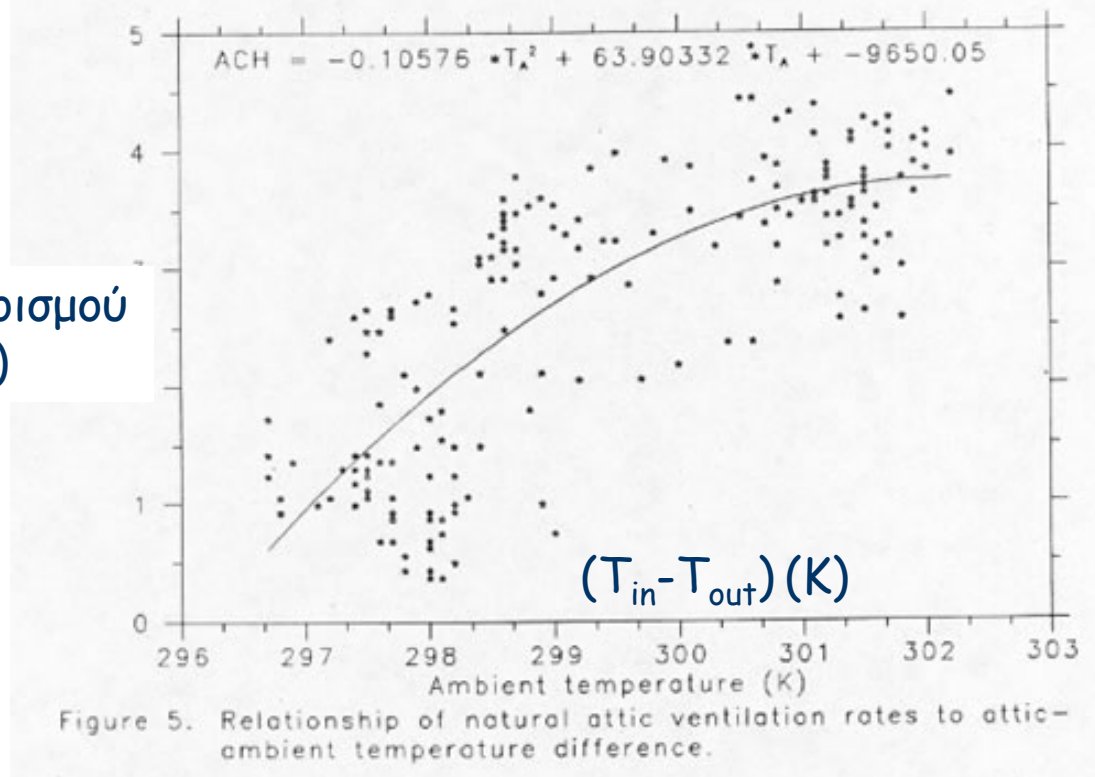
$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right) \longrightarrow \beta = \frac{1}{T}$$

Υπολογίζοντας τη μεταβολή της πυκνότητας στο νόμο του Bernoulli βρίσκουμε:

$$F_v = f A \sqrt{2gh \frac{(T_{in} - T_{out})}{T_{in}}}$$

Σχέση αερισμού με τη διαφορά θερμοκρασίας αέρα

Ροή Αερισμού
 $F(\text{m}^3/\text{s})$



Parker et al (<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/html/fsec-pf-226-91/>)

Τύποι φυσικού αερισμού και μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Αερισμός λόγω ανέμου



Εξαναγκασμένη συναγωγή

Αερισμός λόγω θερμοκρασιακών διαφορών



Φυσική συναγωγή

Ομοιότητα ροών - Αδιάστατοι αριθμοί ομοιότητας

Εξαναγκασμένη συναγωγή ($\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$)

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad \text{Αριθμός Reynolds}$$

Φυσική συναγωγή ($\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$)

$$Gr = \frac{g \beta (T - T_{\infty}) L^3}{\nu^2} \quad \text{Αριθμός Grashof}$$

$$\frac{Gr}{Re^2} \approx 1$$

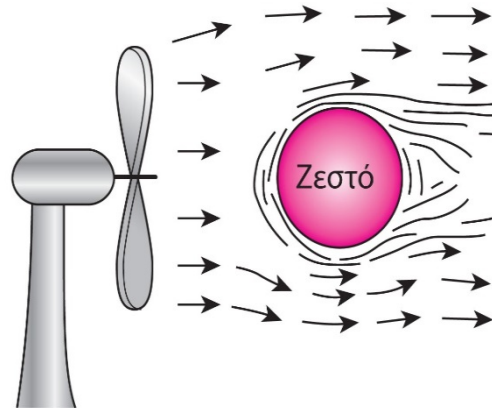
Λειτουργούν
και οι δυο
μηχανισμοί

Οι δύο αυτοί αριθμοί βοηθούν να ορίσουμε αν επικρατεί φυσική (ελεύθερη) ή εξαναγκασμένη συναγωγή

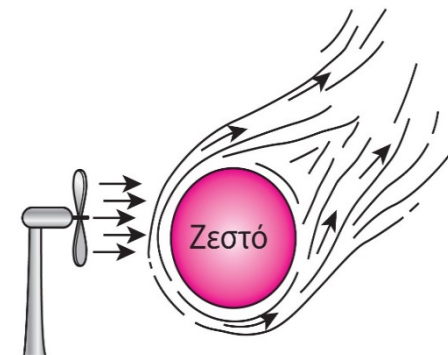
Τύποι φυσικού αερισμού



(α) Φυσική συναγωγή ($Gr_L / Re_L^2 \gg 1$)



(β) Εξαναγκασμένη συναγωγή ($Gr_L / Re_L^2 \ll 1$)



(γ) Μικτή συναγωγή ($Gr_L / Re_L^2 \approx 1$)

- Για θερμοκήπια και για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 2 m/s η επίδραση των θερμοκρασιακών διαφορών στη κίνηση του εσωτερικού αέρα είναι αμελητέα

Μεταφορά μάζας μέσω αερισμού για πολλά παράθυρα

Ανάλογα με τον άνεμο κάποια ανοίγματα λειτουργούν ως είσοδοι και κάποια ως έξοδοι

Ισχύει:
$$F_v = \sum F_{in-i} = \sum F_{out-i}$$

(ασυμπίεστο ρευστό)

F_v ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) είναι η συνολική ροή αερισμού

Ο λόγος $T=V/F_v$ (s) λέγεται χρόνος ανανέωσης του εσωτερικού αέρα και είναι μέτρο της αποτελεσματικότητας του αερισμού (ισοδύναμο με το ρυθμό αερισμού) (αντίστροφο του N)

Μεταφορά αερίων μέσω αερισμού

Όταν η συγκέντρωση κάποιου αερίου (π.χ. υδρατμοί, CO_2) στο εσωτερικό είναι διαφορετική από αυτή στο εξωτερικό περιβάλλον, τα αέρια αυτά μεταφέρονται μέσω αερισμού σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση

Ρυθμός
εισαγωγής-
απομάκρυνσης
αερίου

$$F_{gas} = (C_{gas-in} - C_{gas-out}) F_v$$

Ρυθμός
Αερισμού

Διαφορά συγκέντρωσης αερίου εντός και εκτός του θερμοκηπίου

Μεταφορά υγρασίας μέσω αερισμού

Η ροή αερισμού μεταφέρει υγρασία

Ισχύει:
$$F_{wv} = (C_{wv-in} - C_{wv-out}) F_v$$

όπου

F_{wv} ($m^3 s^{-1}$) είναι η ροή υδρατμών

F_v ($m^3 s^{-1}$) είναι η ροή αέρα λόγω αερισμού

C_{in} (%) είναι η συγκέντρωση υδρατμών στο εσωτερικό

C_{out} (%) είναι η συγκέντρωση υδρατμών στο εξωτερικό

Μεταφορά Θερμότητας μέσω αερισμού

Αν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα, η ροή αερισμού μεταφέρει και θερμότητα

Ισχύει:

$$Q = \rho c_{air} F_v (T_{in} - T_{out})$$

όπου

Q ($W = J s^{-1}$) είναι μεταφορά θερμότητας λόγω αερισμού

ρ ($kg m^{-3}$) είναι η πυκνότητα του αέρα

c_{air} ($J kg^{-1} K^{-1}$) είναι η ειδική θερμότητα του αέρα

T_{in} (K) είναι η θερμοκρασία στο εσωτερικό

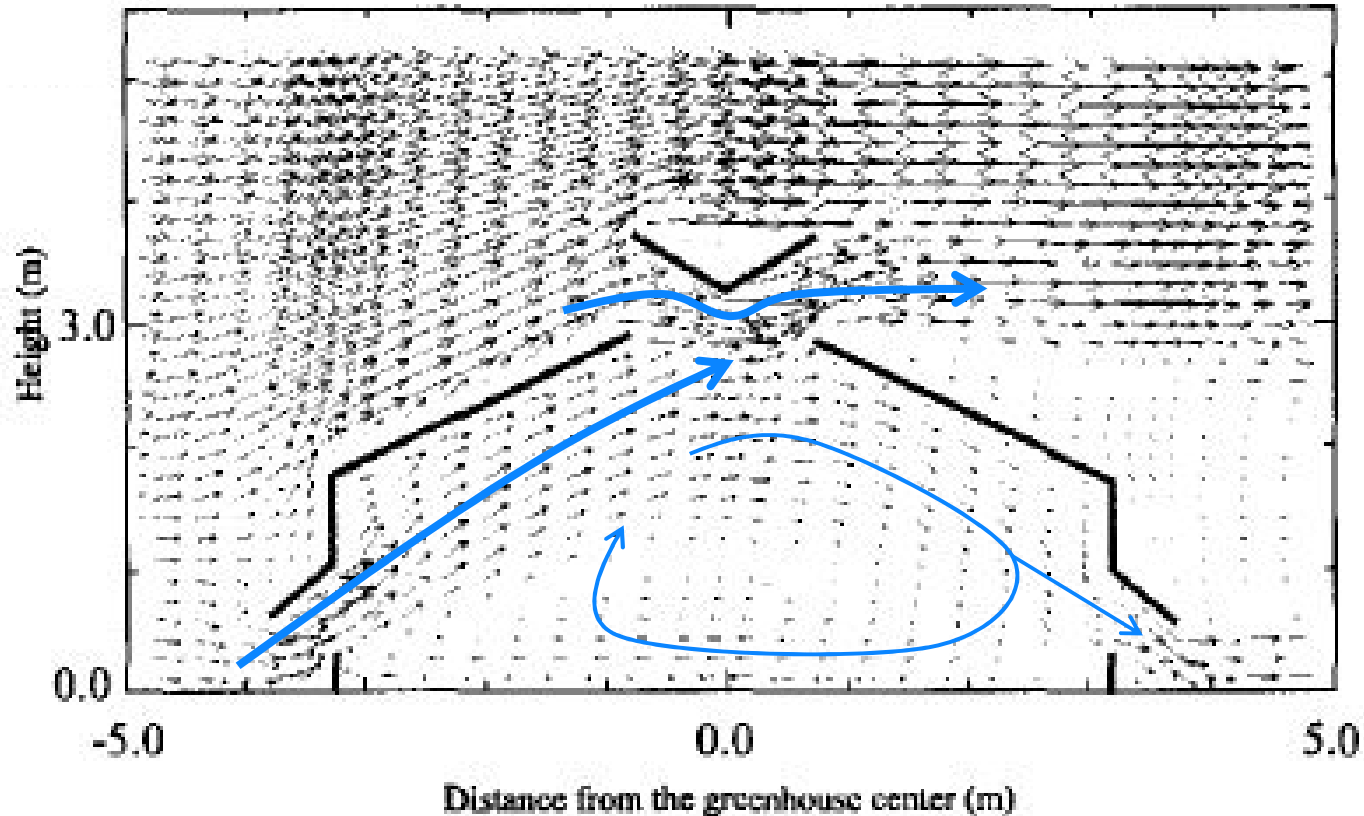
T_{out} (K) είναι η θερμοκρασία στο εξωτερικό

F_v (m^3/s) είναι η ροή αερισμού

Ύψος Θερμοκηπίου και αερισμός

1. Η δυναμική πίεση του ανέμου στα παράθυρα της οροφής αυξάνεται με το ύψος
2. Ο αερισμός λόγω θερμοκρασιακών διαφορών ενισχύεται όταν τα παράθυρα της οροφής βρίσκονται ψηλότερα (φαινόμενο καμινάδας)
3. Ο όγκος του θερμοκηπίου αυξάνεται με το ύψος του, οπότε ο χρόνος ανανέωσης του εσωτερικού αέρα αυξάνεται επίσης. Έτσι το θερμοκήπιο εμφανίζει μεγαλύτερη αδράνεια

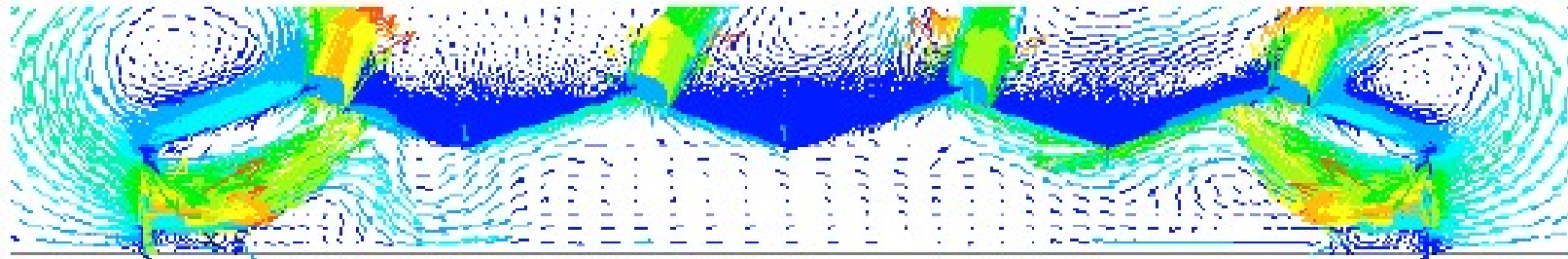
Χαρακτηριστικές περιπτώσεις φυσικού αερισμού σε θερμοκήπιο



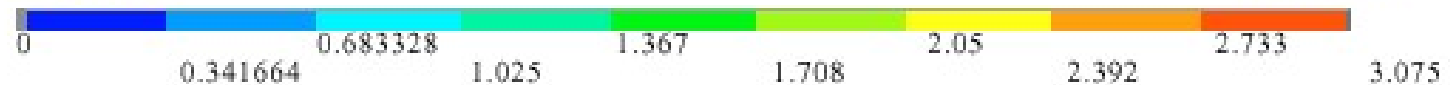
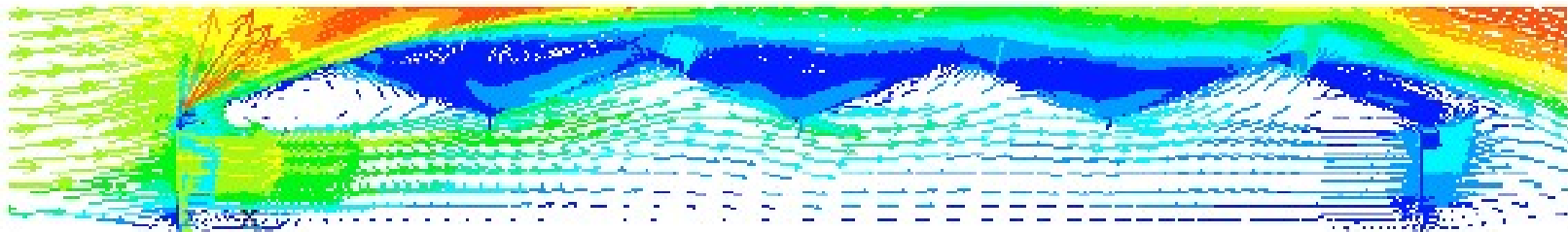
Εξαναγκασμένη Συναγωγή

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις φυσικού αερισμού σε θερμοκήπιο

Ελεύθερη Συναγωγή



Εξαναγκασμένη Συναγωγή



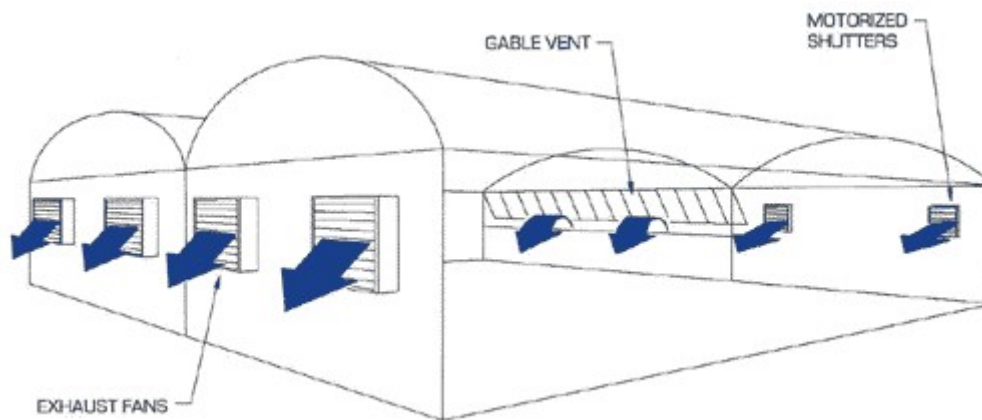
ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

- Εξοπλισμός για το δυναμικό αερισμό
- Κυκλοφορία και μίξη εσωτερικού αέρα

Εξοπλισμός για το δυναμικό αερισμό Θερμοκηπίου

- Ανεμιστήρες απαγωγής αέρα
- Ανεμιστήρες μίξης
- Άλλα συστήματα μίξης

Συστήματα απαγωγής αέρα



Ανεμιστήρες
απαγωγής σε
πλευρικά
τοιχώματα

Οι ανεμιστήρες
τοποθετούνται
σε ύψος μεταξύ
1-2 m



Συστήματα μίξης



Επιτυγχάνεται με χρήση πολλών ανεμιστήρων που δημιουργούν ομοιόμορφη ομαλή ροή αέρα (χαμηλή ταχύτητα)

Η μίξη του εσωτερικού αέρα εξασφαλίζει ομογενή κατανομή θερμοκρασίας, υγρασίας και CO_2



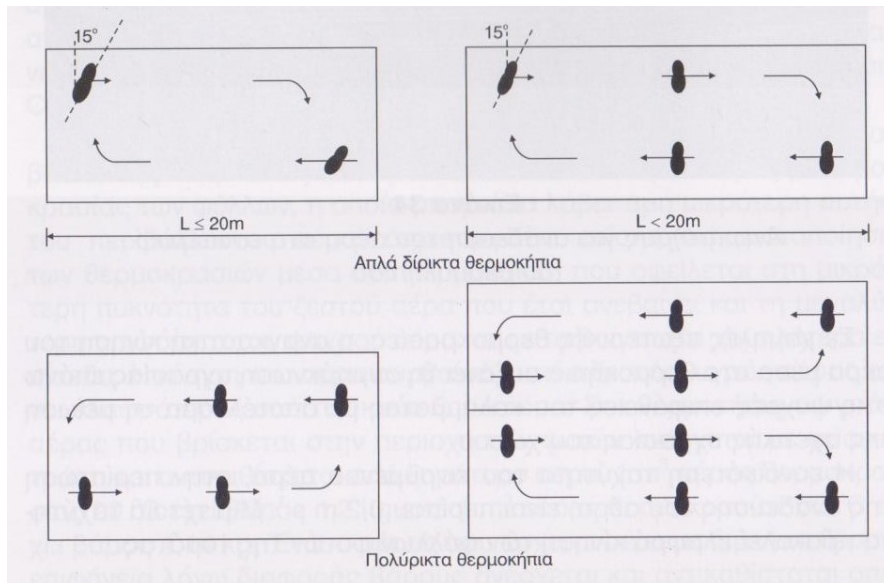
Συστήματα μίξης με διάτρητο σωλήνα



Διάτρητος σωλήνας χρησιμοποιείται συχνά για την ίση κατανομή αερισμού ή θέρμανσης στο θερμοκήπιο

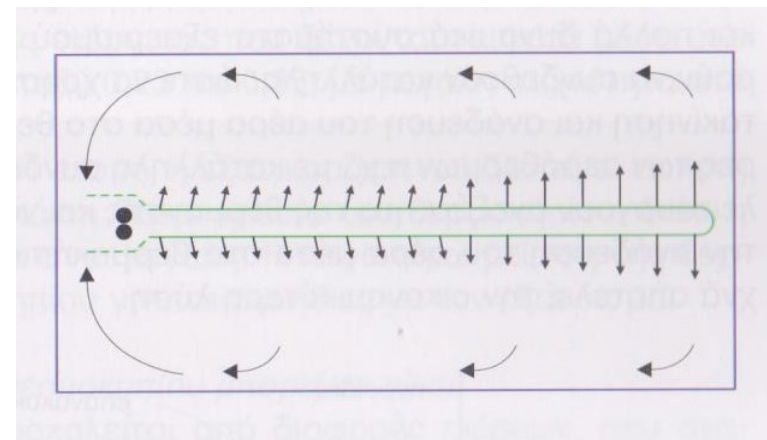


Συστήματα μίξης - διαγράμματα κυκλοφορίας αέρα



Μίξη με ανεμιστήρες

Μίξη με διάτρητο σωλήνα

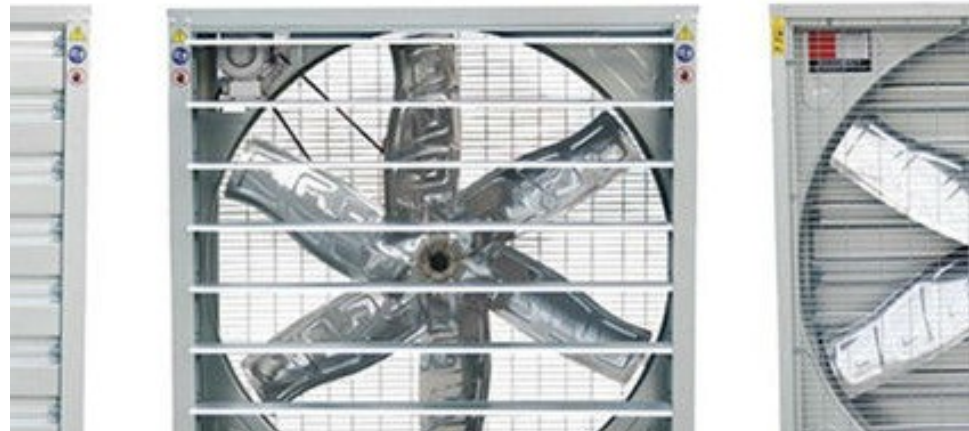


Τύποι ανεμιστήρων που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια

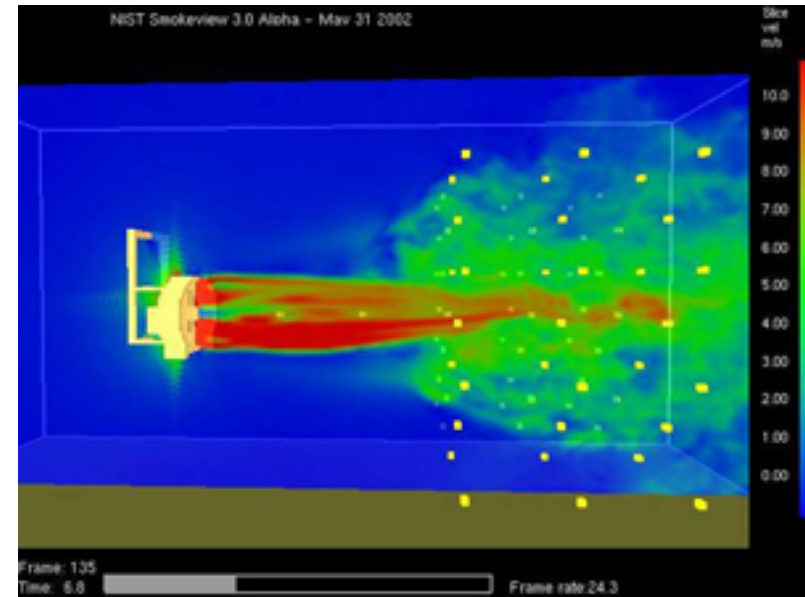
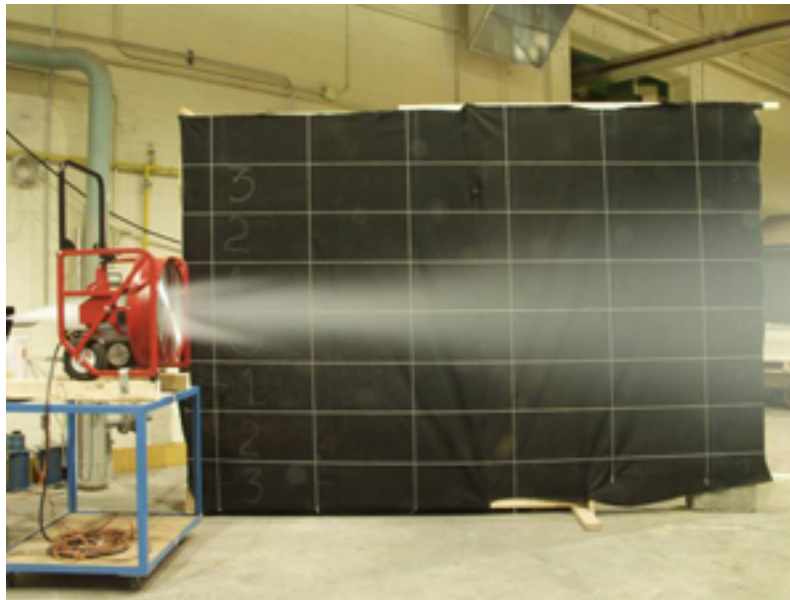


Ανεμιστήρας μίξης εσωτερικού αέρα

Ανεμιστήρες για πλευρικά τοιχώματα



Ροή αέρα πίσω από ανεμιστήρα



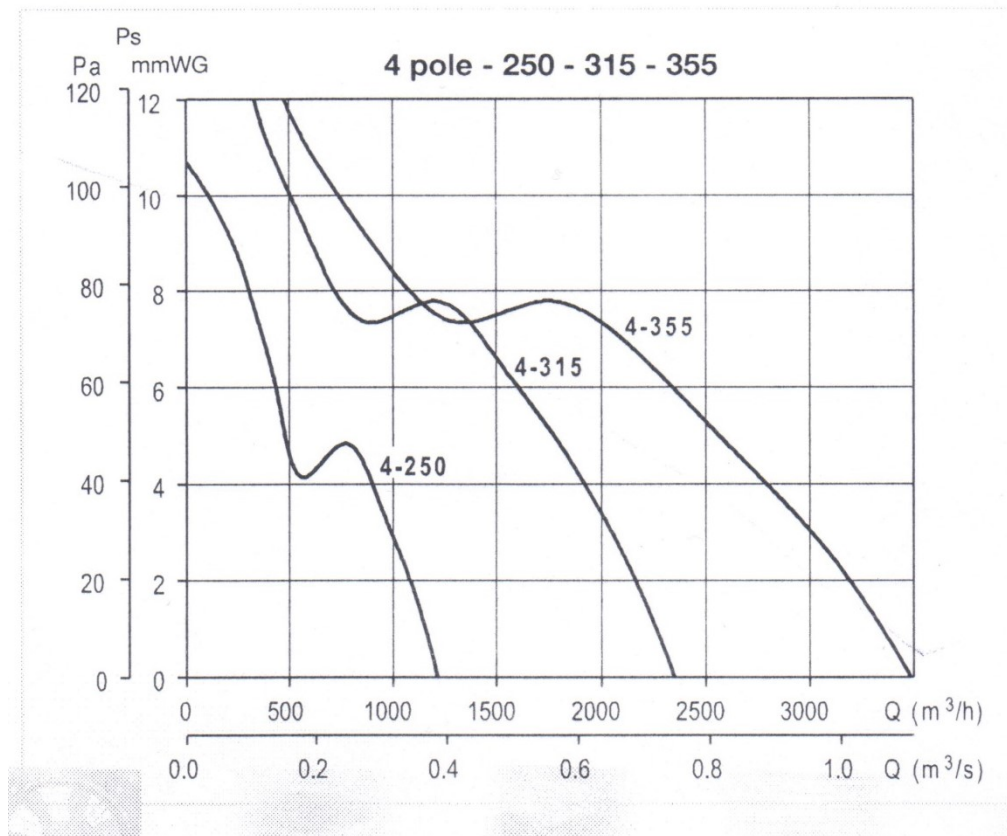
Χαρακτηριστικά ανεμιστήρων

- Παροχή ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)
- Κατανάλωση (ισχύς) (W)
- Όρια λειτουργίας (θερμοκρασία - υγρασία)

Technical data

Voltage	230V
Phase	1 ~
Frequency	50 Hz
Power consumption	420 W
Nominal current	1.9 A
Speed	2850 RPM
Min. ambient temperature	-13 °F
Max. ambient temperature	104 °F
Insulation Class	CL.F

Πίεση και παροχή – χαρακτηριστικές καμπύλες



ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΒΤ

