

Ενεργό Ύψος Εκπομπής

Επίδραση κτιρίου και κατώρευμα καμινάδας

Ανύψωση του θυσάνου

➤ *Θερμική ανύψωση θυσάνου σε συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης*

➤ *Θερμική ανύψωση θυσάνου σε συνθήκες ευστάθειας*

➤ *Ανύψωση θυσάνου όταν η θερμοκρασία των αερίων είναι παρόμοια με αυτήν του περιβάλλοντα αέρα*

➤ *Σταδιακή Ανύψωση*

Ανύψωση θυσάνου

Εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα από καμινάδες → Συνήθως υψηλότερες θερμοκρασίες από το περιβάλλον & αρχική ταχύτητα

Αποτέλεσμα των δύο αυτών καταστάσεων: *Ανύψωση θυσάνου*

Υψηλότερη θερμοκρασία ρύπων από το περιβάλλον → Μικρότερη πυκνότητα
→ *Θερμική ανύψωση ή ανύψωση άνωσης*

Υψηλή αρχική ταχύτητα ρύπων → Κινητική ενέργεια ανόδου → *Ανύψωση ορμής*

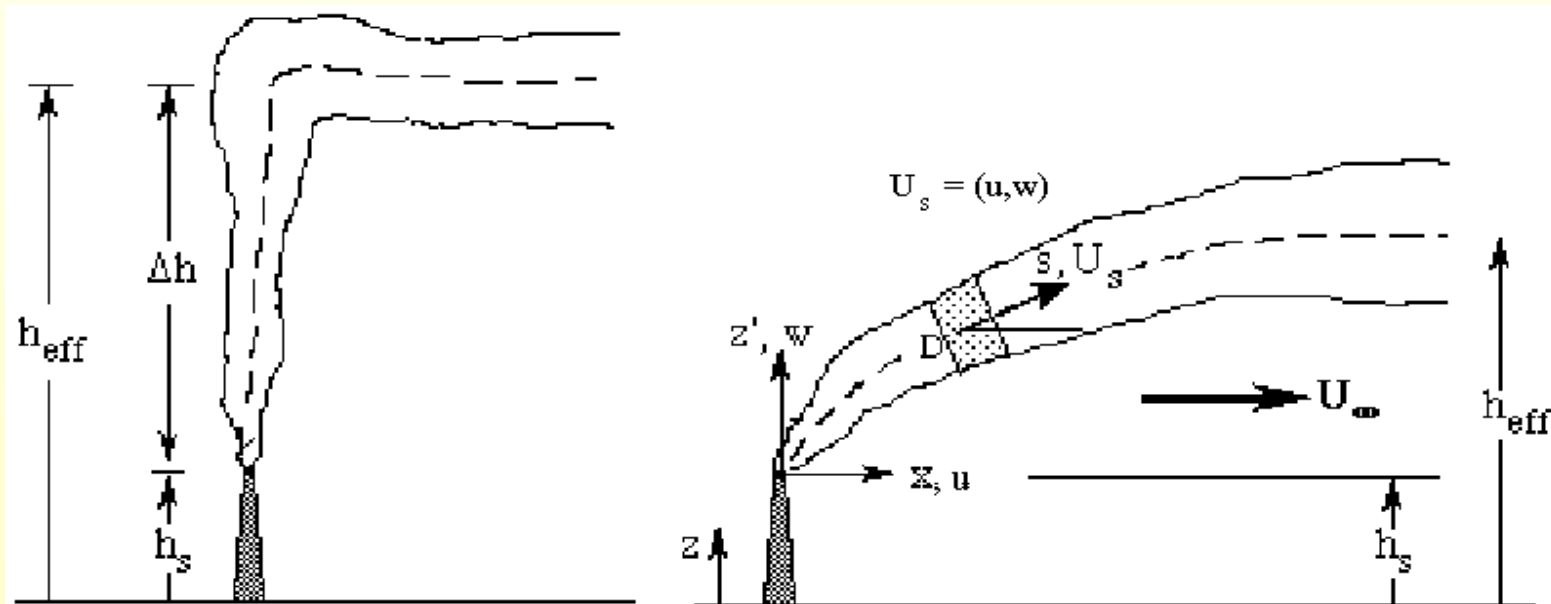
*Inco Superstack, 380 m
Greater Sudbury, Ontario*



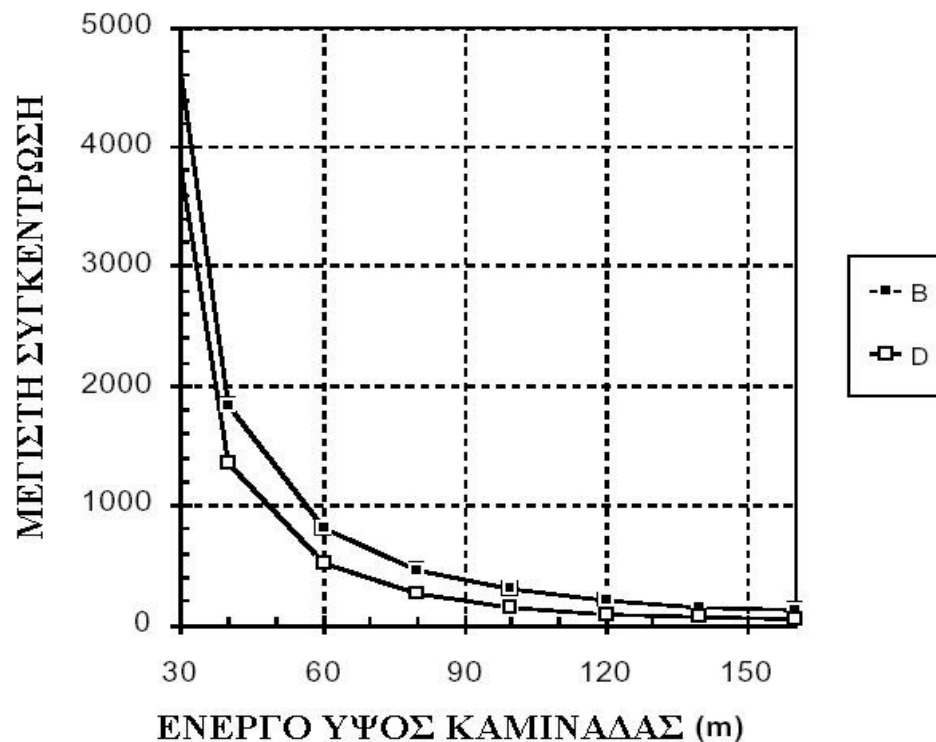
Ενεργό ύψος εκπομπής

Υψος που δηλώνει το κέντρο των μεγίστων συγκεντρώσεων ενός θυσάνου πάνω από το έδαφος.

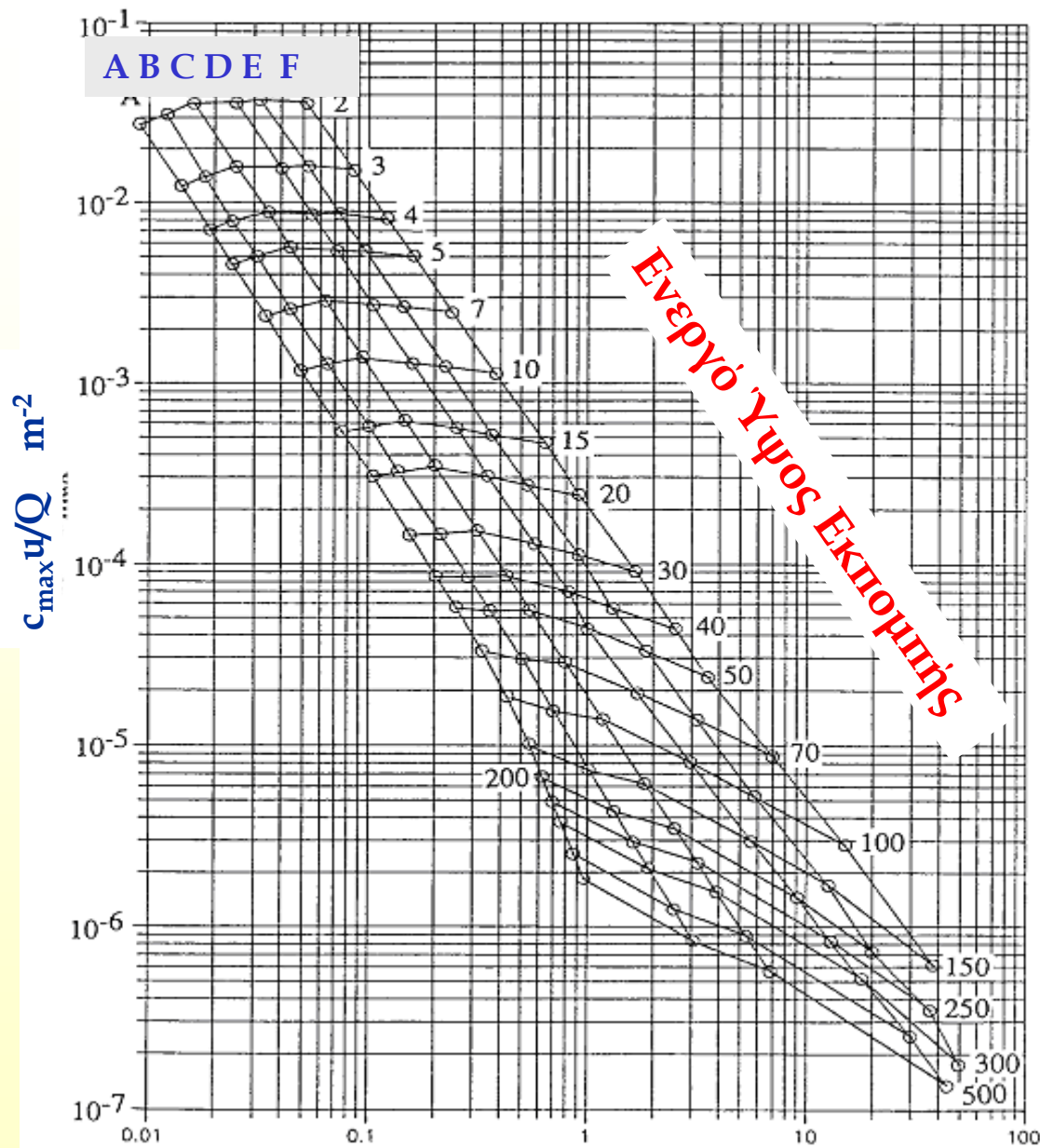
- ✓ Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διασποράς ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα.
- ✓ Διαφέρει από το πραγματικό ύψος της καμινάδας και μπορεί να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο
- ✓ Εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την ταχύτητα εξόδου των ρύπων από την καμινάδα, από την ταχύτητα του ανέμου και από την τοπογραφία.



Ανύψωση του θυσάνου: πολύ μεγάλη σημασία στον υπολογισμό των μεγίστων συγκεντρώσεων εδάφους γιατί μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας με ένα παράγοντα 2 έως 10 φορές του φυσικού ύψους εκπομπής.



Δεκαπλασιασμός του φυσικού ύψους εκπομπής → Μείωση μεγίστων συγκεντρώσεων στο έδαφος με έναν παράγοντα της τάξης του 100



Απόσταση εμφάνισης μέγιστης συγκέντρωσης στο έδαφος (km)

Παράδειγμα

$$KE:D \quad Q=20 \text{ gs}^{-1}, \quad u=5 \text{ ms}^{-1}$$

$$H=10 \text{ m} \rightarrow c_{max}=4800 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

$$H=20 \text{ m} \rightarrow c_{max}=1200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

$$H=30 \text{ m} \rightarrow c_{max}=480 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

$$H=40 \text{ m} \rightarrow c_{max}=280 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

$$H=50 \text{ m} \rightarrow c_{max}=160 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

$$H=70 \text{ m} \rightarrow c_{max}=80 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

$$H=100 \text{ m} \rightarrow c_{max}=32 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

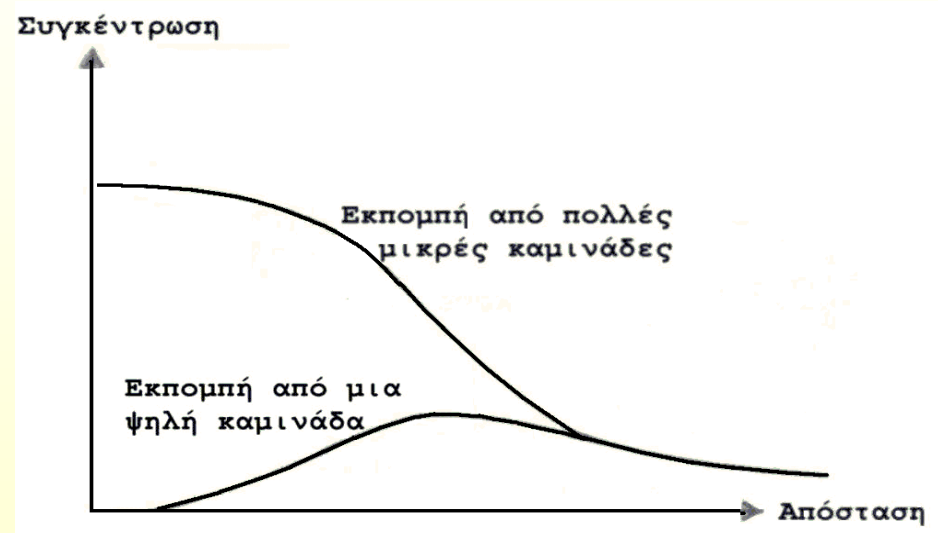
Βιομηχανική Ρύπανση: Εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα από καμινάδες
Ανύψωση θυσάνου: **Θερμική ανύψωση** (θερμοκρασία αερίων) + **ανύψωση ορμής** (αρχική ταχύτητα αερίων)

Ρύπανση από μεταφορές & κεντρική θέρμανση: Πολύ μικρή ανύψωση θυσάνου

Κεντρική θέρμανση

Επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με SO_2 και καπνό κατά τη χειμερινή περίοδο

Αντικατάσταση πολλών μικρών καμινάδων από μια μεγάλη

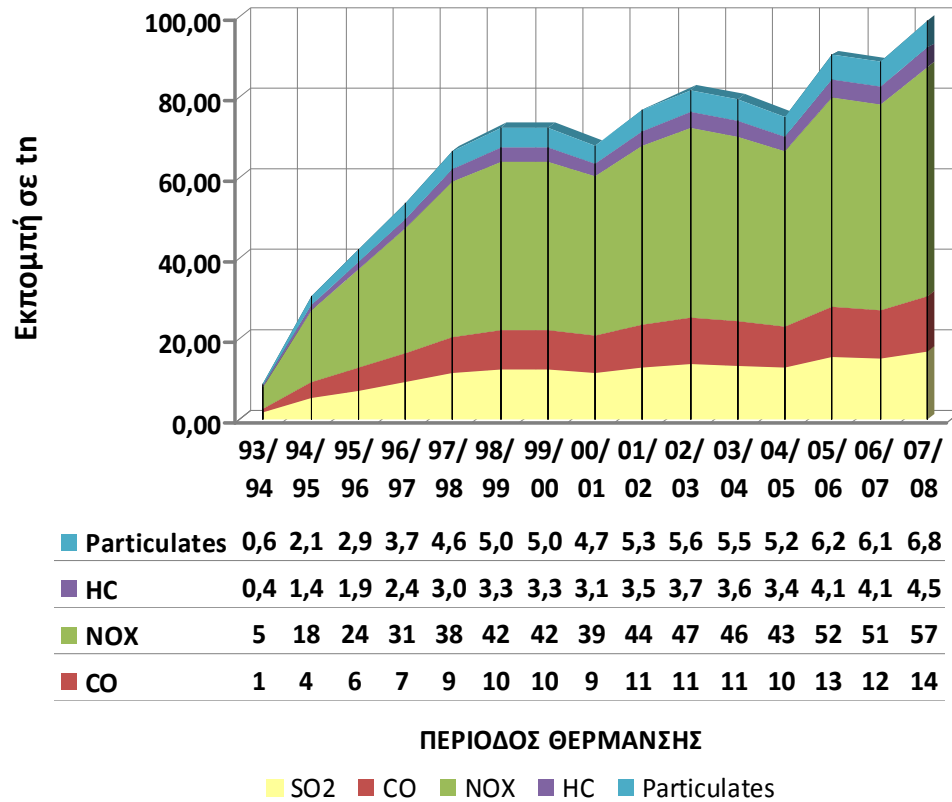


Τηλεθέρμανση: Παροχή θέρμανσης με ειδικό δίκτυο μονωμένων αγωγών που μεταφέρουν ζεστό νερό, το οποίο θερμαίνεται σε μια κεντρική μονάδα (συνήθως θερμοηλεκτρικά εργοστάσια), στα κτίρια μιας πόλης ή ενός τμήματος της πόλης.

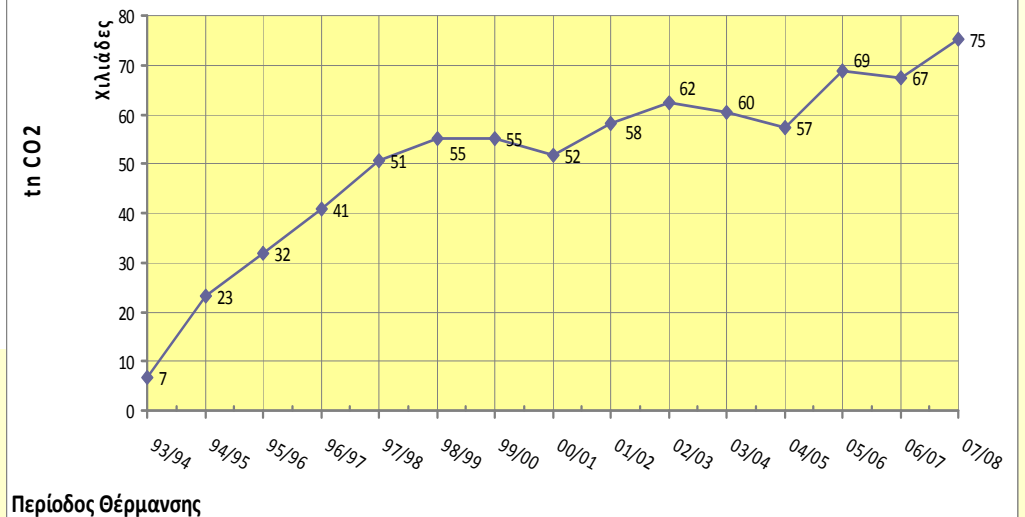
Η θερμότητα, η οποία απαιτείται για τη θέρμανση του νερού της τηλεθέρμανσης, προέρχεται από τον ατμό που χρησιμοποιείται στο εργοστάσιο και ειδικότερα από το τέλος της διαδικασίας. Ο ατμός έχει μια θερμοκρασία $120^{\circ}C-140^{\circ}C$.

Κοζάνη – Τηλεθέρμανση (αρχή 1993-94)

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΛΟΙΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ & ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ



ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2 ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΛΟΓΩ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ



Επίδραση κτιρίων και καμινάδας στη διασπορά του θυσάνου

Κτίρια: Εκπομπή ρύπων κοντά σε κτίριο και παράσυρση του θυσάνου προς τα κάτω εξαιτίας της ροής του αέρα πάνω και γύρω από το κτίριο
Δημιουργία στροβίλων

Καμινάδα:

- Παράσυρση του θυσάνου προς τα κάτω εξαιτίας των τεχνικών χαρακτηριστικών της καμινάδας → **Κατώρευμα:** κάθοδος του κεντρικού άξονα του θυσάνου
- Πιθανότητα ύπαρξης στροβίλου στην υπήνεμη πλευρά αν το ύψος της καμινάδας είναι χαμηλό

Επίδραση κτιρίων

Παρουσία εμποδίου στην κίνηση του αέρα: Μετατόπιση της αέριας μάζας κάθετα και πλευρικά - Δημιουργία τυρβώδους ροής και κυκλοφορία αέρα στην υπήνεμη πλευρά σε μια κοιλότητα (στρόβιλος)

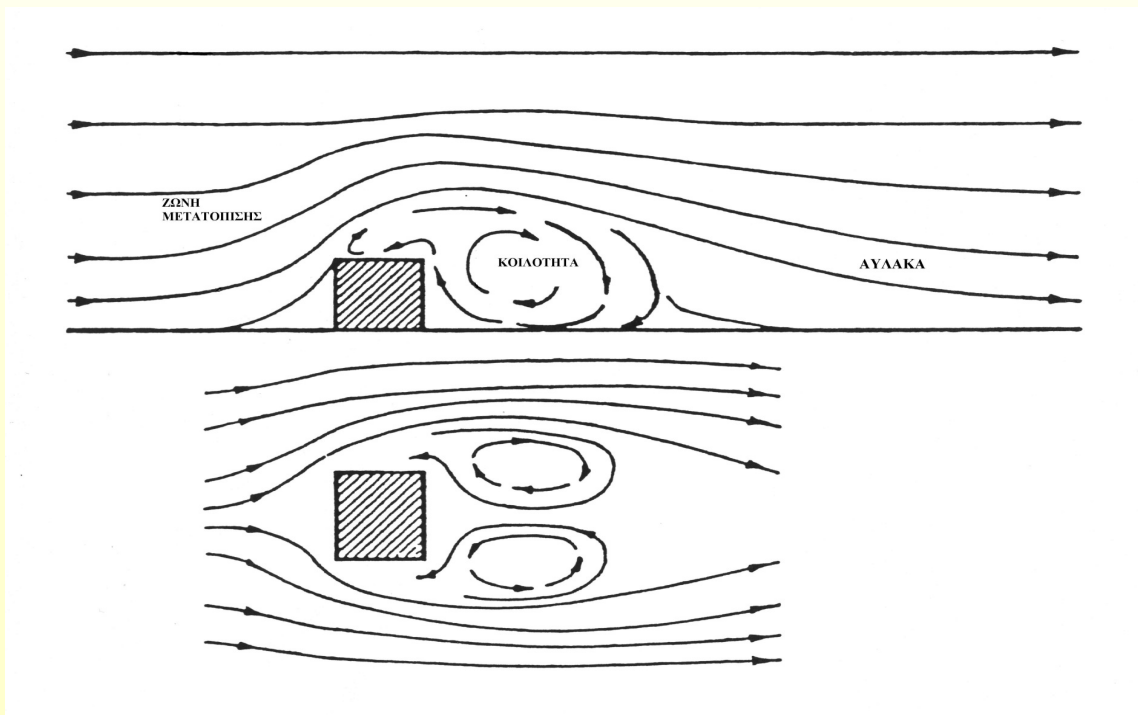
Πεδίο ροής ανέμου γύρω από ένα κτίριο: Εξάρτηση από τη μορφή του κτιρίου και την κατεύθυνση του ανέμου

Διαφυγή των ρύπων από την κοιλότητα μόνο λόγω τυρβώδους διάχυσης

Αύξηση των συγκεντρώσεων στο έδαφος

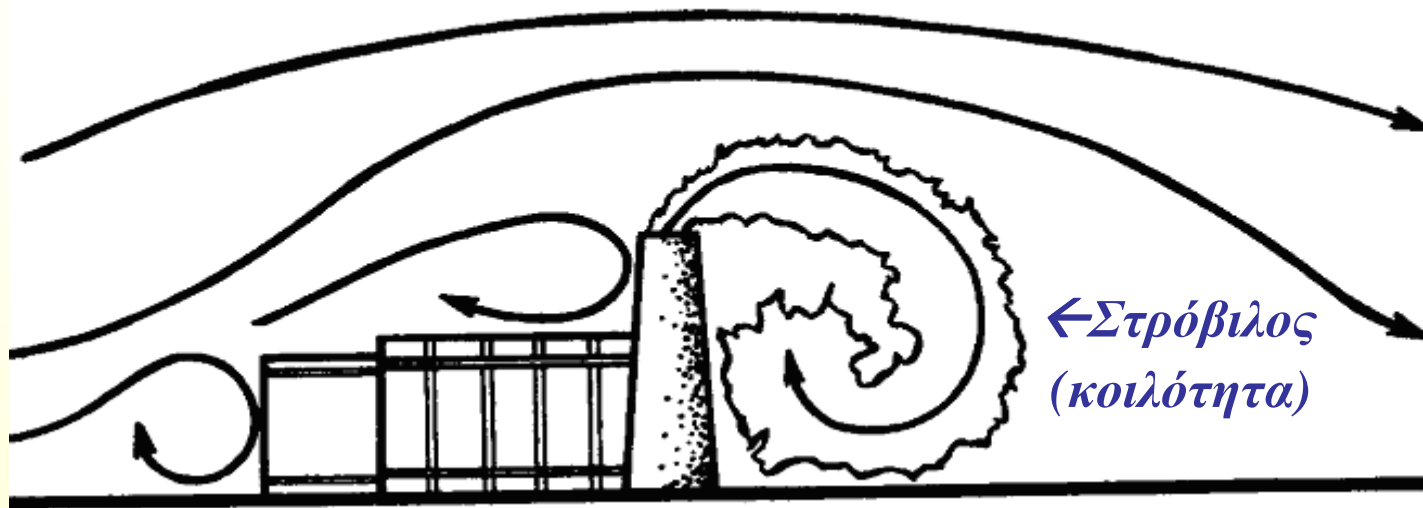
- Μείωση ύψους του θυσάνου
- Μείξη θυσάνου με τον αέρα του περιβάλλοντος και μείωση της άνωσης

Μελέτες από μοντέλα: Η ύπαρξη στροβίλων από την παρουσία των κτιρίων είναι υπεύθυνη για το 90% των μέγιστων συγκεντρώσεων



Επίδραση καμινάδας

Πεδίο ροής ανέμου γύρω από μία χαμηλή καμινάδα



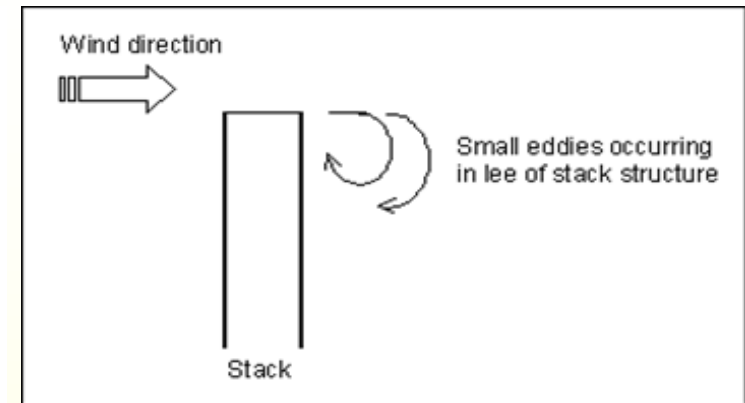
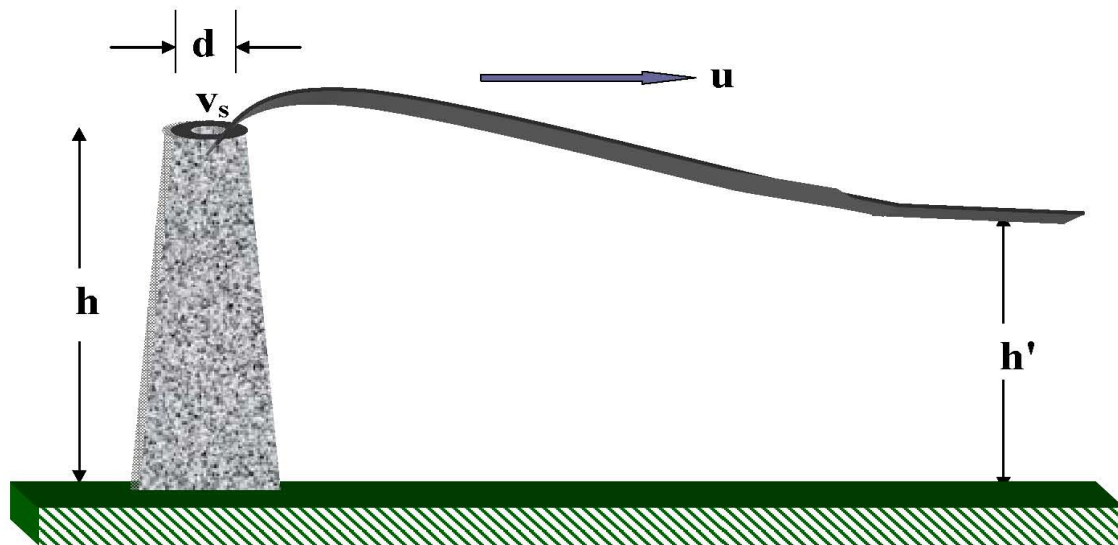
Υπήνεμη πλευρά: Σχηματισμός κοιλότητας – Επιστροφή τμήματος του θυσάνου στην πίσω πλευρά

Εμπειρικός κανόνας: $h = 2.5 H_b$

h: ύψος καμινάδας **H_b** : ύψος κτιρίου

Αν $h \geq 2.5 H_b$, μπορεί να υπάρξει μόνο κάθοδος θυσάνου λόγω της αεροδυναμικής της καμινάδας

Ύψος θυσάνου λόγω κατωρέυματος καμινάδας



$$h' \leq h$$

$$h' = h$$

$$v_s \geq 1.5u$$

$$h' = h + 2d[(v_s/u) - 1.5] \quad v_s < 1.5u$$

v_s : ταχύτητα εξόδου των αερίων (ms^{-1})

d : εσωτερική διάμετρος της κορυφής της καμινάδας (m).

u : ταχύτητα ανέμου στο ύψος της καμινάδας

Είναι δυνατόν μια καμινάδα κάποιες φορές να παρουσιάζει κατώρευμα και κάποιες άλλες όχι και γιατί?

Ο υποδιπλασιασμός της διαμέτρου της καμινάδας τι επίδραση θα είχε στην κάθοδο του θυσάνου αν $v_s/u = \text{σταθερό}$ & $v_s/u < 1.5$?

Ανύψωση θυσάνου

3 στάδια της ανύψωσης

i) Έλεγχος ανύψωσης από την αρχική ροή ορμής

ii) Έλεγχος ανύψωσης από την αρχική ροή άνωσης

iii) Έλεγχος ανύψωσης από την ατμοσφαιρική κατάσταση ευστάθειας και την τύρβη

- Κατά την ανύψωση του θυσάνου αναπτύσσονται φαινόμενα τριβής με τον περιβάλλοντα αέρα και αέρας εισρέει πλευρικά με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας των αερίων του θυσάνου
- Τερματισμός της ανύψωσης του θυσάνου όταν μειώνεται η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα αέρια εκπομπής και στο περιβάλλον

Επίδραση ανύψωσης ορμής

- Χρόνος δράσης ~ 30-40 s
- Συνήθως δευτερεύουσας σημασίας σε σύγκριση με την θερμική ανύψωση και συνήθως παραλείπεται όταν η ανύψωση ελέγχεται κυρίως από την αρχική ροή άνωσης.

Εμπειρικός κανόνας για την εύρεση του σημαντικότερου είδους ανύψωσης

Αν η θερμοκρασία των αερίων υπερβαίνει αυτή του αέρα κατά 10-15 K τότε η θερμική ανύψωση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη λόγω της ορμής.

$$\Delta T = T_s - T$$

T_s : Θερμοκρασία εξόδου των αερίων (K)

T : Θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα (K)

$(\Delta T)_c$: *Κρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας*

Αν $\Delta T \geq (\Delta T)_c \rightarrow$ επικράτηση της θερμικής ανύψωσης

*Ημ εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του τελικού ύψους του θυσάνου.
Ισχύουν για κάποια απόσταση από την πηγή*

Γενική μορφή σχέσεων:

$$\Delta h = K Q_h^a x^b u^c$$

K : σταθερά που εξαρτάται από τις μεταβλητές που επιδρούν στην ανύψωση

Q_h : ρυθμός εκπομπής θερμότητας

x : απόσταση από πηγή

u : ταχύτητα ανέμου

a, b, c : θεωρητικές ή πειραματικές τιμές $a=1/3, b=2/3, c=-1$

Φυσικοί παράμετροι επίδρασης στην ανύψωση του θυσάνου

$$F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s \quad \text{Παράμετρος καμινάδας} \rightarrow m^4 s^{-3}$$

$$s = g / T \quad \partial \theta / \partial z \quad \text{Παράμετρος ευστάθειας} \rightarrow s^{-2}$$

$$u \quad \text{Ταχύτητα ανέμου} \rightarrow m s^{-1}$$

$$u^* \quad \text{Ταχύτητα τριβής στο οριακό στρώμα} \rightarrow m s^{-1} \quad s > 0$$

ευστάθεια $s < 0$ αστάθεια

g: επιτάχυνση της βαρύτητας ($m s^{-2}$)

v_s : ταχύτητα εξόδου των αερίων

d: εσωτερική διάμετρος καμινάδας

T_s : Θερμοκρασία εξόδου των αερίων (K)

T: Θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα (K)

$\partial \theta / \partial z$ η βαθμίδα της δυναμικής θερμοκρασίας (K/m)

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma \quad \partial T / \partial z: \text{βαθμίδα της θερμοκρασίας (K/m)}$$

Γ : ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα ($\Gamma = 0.0098 \text{ K/m}$).

Μοντέλα: Χρήση παραμέτρων καμινάδας & ευστάθειας, ταχύτητα ανέμου
– Ατμοσφαιρική τύρβη αμελητέα

Απαίτηση δεδομένων για

Στοιχεία για την καμινάδα $\rightarrow d, v_s, T_s$

Επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες $\rightarrow T, u, \partial\theta/\partial z$

Αποτέλεσμα του μοντέλου: Ανύψωση του θυσάνου Δh

Τελικό ύψος θυσάνου H

$$H = h' + \Delta h$$

H : ενεργό ύψος της καμινάδας (m), **h' :** ύψος της καμινάδας, διορθωμένο για την επίδραση του κατωρεύματος (m), **Δh :** Ανύψωση του θυσάνου (m).

$$H = H(x)$$

Ευσταθείς συνθήκες \rightarrow Εύκολα ορισμός τελικού ύψους

Ασταθείς συνθήκες & ουδέτερης στρωμάτωσης \rightarrow Δύσκολα ορισμός τελικού ύψους

Συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης

Κρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας

$$(\Delta T)_c = 0.0297 v_s^{1/3} T_s / d^{2/3}$$

$$F < 55 \text{ m}^4 \text{s}^{-3}$$

$$(\Delta T)_c = 0.00575 v_s^{2/3} T_s / d^{1/3}$$

$$F \geq 55 \text{ m}^4 \text{s}^{-3}$$

Θερμική ανύψωση θυσάνου $\Delta T \geq (\Delta T)_c$

Τελικό ύψος του θυσάνου:

$$H = h' + 21.425 F^{3/4} / u$$

$$F < 55 \text{ m}^4 \text{s}^{-3}$$

H

$$= h' + 38.71 F^{3/5} / u$$

$$F \geq 55 \text{ m}^4 \text{s}^{-3}$$

Οριζόντια απόσταση x_f (m) στην οποία ο θύσανος φτάνει στο τελικό ύψος H

$$x_f = 49 F^{5/8}$$

$$F < 55 \text{ m}^4 \text{s}^{-3}$$

x_f

$$= 119 F^{2/5}$$

$$F \geq 55 \text{ m}^4 \text{s}^{-3}$$

u: Ταχύτητα ανέμου στο ύψος της καμινάδας

Ανύψωση ορμής θυσάνου $\Delta T < (\Delta T)_c$

Τελικό ύψος του θυσάνου:

$$H = h' + 3dv_s/u$$

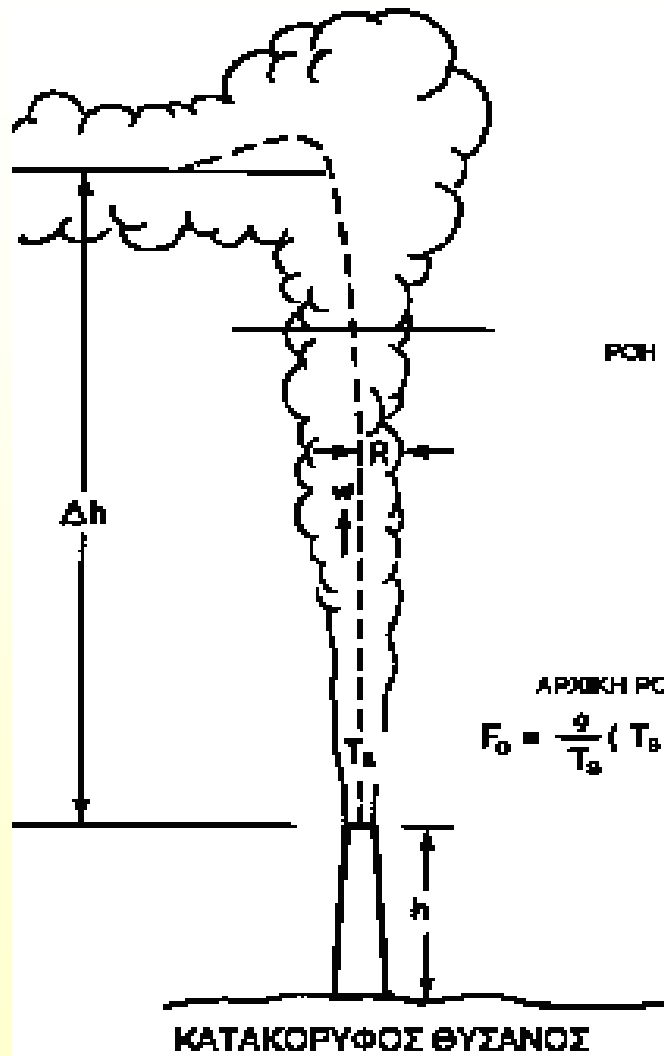
Οριζόντια απόσταση x_f (m) στην οποία ο θύσανος φτάνει στο τελικό ύψος H

$$x_f = 0$$

Συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης

Παράμετρος καμινάδας F (m ⁴ s ⁻³)	(ΔT) _c (K)	Είδος ανύψωσης	Τελικό ύψος H (m)	Απόσταση x _f (m)
<55	0.0297 v_s^{1/3}T_s/d^{2/3}	<i>Άνωσης</i>	h' + 21.425 F^{3/4}/u	49 F^{5/8}
		<i>Ορμής</i>	h' + 3dv_s/u	0
≥55	0.00575 v_s^{2/3}T_s/d^{1/3}	<i>Άνωσης</i>	h' + 38.71 F^{3/5}/u	119 F^{2/5}
		<i>Ορμής</i>	h' + 3dv_s/u	0

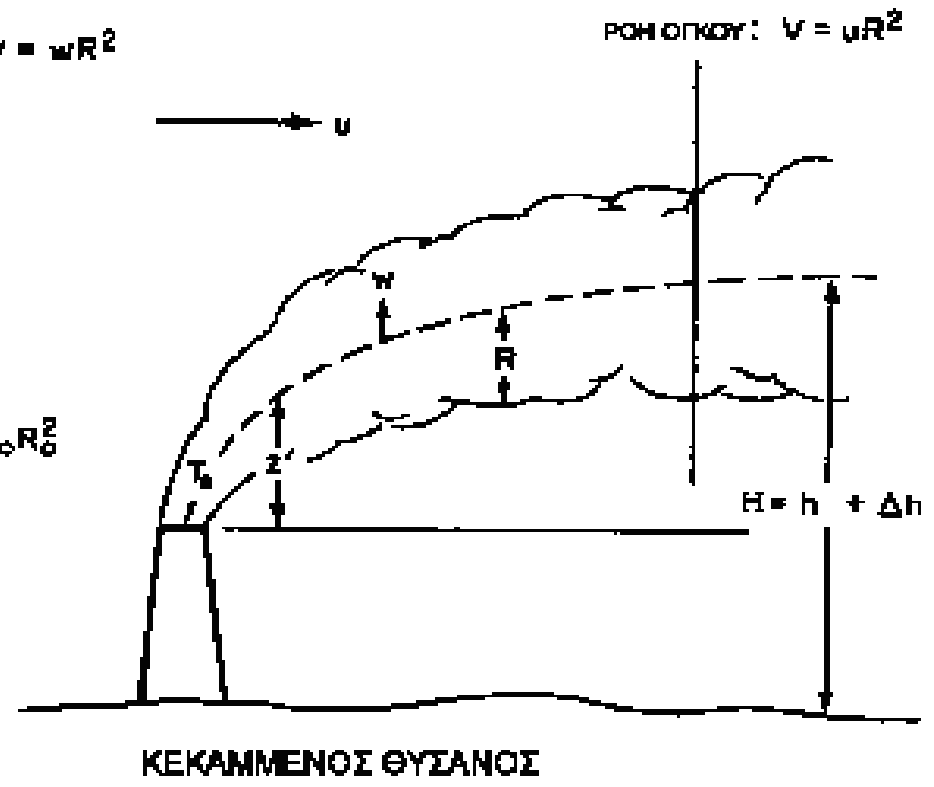
Συνθήκες ευστάθειας



ΑΡΧΙΚΗ ΡΟΗ ΑΝΩΣΗΣ

$$F_0 = \frac{g}{T_s} (T_s - T_a) w_0 R_0^2$$

ΡΟΗ ΟΥΚΟΥ: $V = wR^2$



ΡΟΗ ΟΥΚΟΥ: $V = uR^2$

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ $s = \frac{g}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial z} + 0.01 \text{ } ^\circ\text{C/m} \right)$

Συνθήκες ευστάθειας

Κρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας

$$(\Delta T)_c = 0.019582 v_s T_s s^{1/2}$$

Θερμική ανύψωση θύσανου $\Delta T \geq (\Delta T)_c$

➤ **Κεκαμμένος θύσανος (ύπαρξη ανέμου)**

Τελικό ύψος

$$H = h' + 2.6[F/(us)]^{1/3} \quad (\text{A})$$

Οριζόντια απόσταση x_f (m) στην οποία ο θύσανος φτάνει στο τελικό ύψος H

$$x_f = 2.0715us^{-1/2}$$

➤ **Κατακόρυφος θύσανος ($u < 1\text{ms}^{-1}$)**

Τελικό ύψος

$$H = h' + 4F^{1/4}s^{-3/8} \quad (\text{B})$$

$$x_f = 0$$

Σε συνθήκες ευστάθειας το ενεργό ύψος εκπομπής είναι η χαμηλότερη τιμή από (A) & (B)

Ανύψωση ορμής θυσάνου $\Delta T < (\Delta T)_c$

Τελικό ύψος του θυσάνου:

$$H = h' + 1.5[v_s^2 d^2 T / (4 T_s u)]^{1/3} s^{-1/6}$$

Οριζόντια απόσταση x_f (m) στην οποία ο θύσανος φτάνει στο τελικό ύψος H

$$x_f = 0$$

Παράμετρος ευστάθειας $s = g/T(\partial T / \partial z + \Gamma)$

Κλάση ευστάθειας E $\rightarrow \partial T / \partial z + \Gamma \cong 0.02 \text{ K m}^{-1}$

Κλάση ευστάθειας F $\rightarrow \partial T / \partial z + \Gamma \cong 0.035 \text{ K m}^{-1}$

Συνθήκες ευστάθειας

Είδος θυσσάνου	$(\Delta T)_c$ (K)	Είδος ανύψωσης	Τελικό ύψος H (m)	Απόσταση x_f (m)
Κατακόρυφος ($u < 1\text{m/s}$)	$0.019582 v_s T_s s^{1/2}$	<i>Άνωσης</i>	$h' + 4F^{1/4} s^{-3/8}$	0
		<i>Ορμής</i>	$h' + 1.5[v_s^2 d^2 T / (4T_s u)]^{1/3} s^{-1/6}$	0
<i>Άνωσης</i>		$h' + 2.6[F/(us)]^{1/3}$	$2.0715us^{-1/2}$	
<i>Ορμής</i>		$h' + 1.5[v_s^2 d^2 T / (4T_s u)]^{1/3} s^{-1/6}$	0	
Κεκαμμένος ($u \geq 1\text{m/s}$)				

Σταδιακή ανύψωση

Καλή χωρική ανάλυση \rightarrow υπολογισμός σταδιακής ανύψωσης

Όλες οι συνθήκες ευστάθειας

Ύψος θυσάνου σε απόσταση x από την πηγή

$$H(x) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1} \quad x < x_f$$

$x \rightarrow m$

Αν $H(x) > H$ για $x_r < x_f$ η σχέση ισχύει μέχρι $x < x_r$

!! Χρήση της σχέσης μόνο για την περίπτωση της θερμικής ανύψωσης

Υπολογισμός του ύψους του θυσάνου

ΑΣΤΑΘΕΙΑ Ή ΟΥΔΕΤΕΡΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ					
Παράμετρος καμινάδας F (m ⁴ s ⁻³)	(ΔT) _c (K)	Είδος ανύψωσης	Τελικό ύψος H (m)	Απόσταση x _f (m)	Σταδιακή ανύψωση (x < x _f) (m)
<55	0.0297v _s ^{1/3} T _s /d ^{2/3}	ΔT ≥ ΔT _c	h' + 21.425 F ^{3/4} /u	49 F ^{5/8}	h' + 1.6 F ^{1/3} x ^{2/3} u ⁻¹
		ΔT < ΔT _c	h' + 3dv _s /u	0	-
≥55	0.00575v _s ^{2/3} T _s /d ^{1/3}	ΔT ≥ ΔT _c	h' + 38.71 F ^{3/5} /u	119 F ^{2/5}	h' + 1.6 F ^{1/3} x ^{2/3} u ⁻¹
		ΔT < ΔT _c	h' + 3dv _s /u	0	-

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ					
Είδος θυσάνου	(ΔT) _c (K)	Αιτία ανύψωσης	Τελικό ύψος H (m)	Απόσταση x _f (m)	Σταδιακή ανύψωση (x < x _f) (m)
Κατακόρυφος (u < 1m/s)	0.019582v _s T _s ^{1/2}	ΔT ≥ ΔT _c	h' + 4F ^{1/4} s ^{-3/8}	0	-
		ΔT < ΔT _c	h' + 1.5[v _s ² d ² T/(4T _s u)] ^{1/3} s ^{-1/6}	0	-
Κεκαμμένος (u ≥ 1m/s)		ΔT ≥ ΔT _c	h' + 2.6[F/(us)] ^{1/3}	2.0715us ^{-1/2}	h' + 1.6 F ^{1/3} x ^{2/3} u ⁻¹
		ΔT < ΔT _c	h' + 1.5[v _s ² d ² T/(4T _s u)] ^{1/3} s ^{-1/6}	0	-