

ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΜΙΝΑΔΩΝ

ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΛΥΜΠΕΡΑΤΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ



Ο ρόλος του ανέμου στη διασπορά

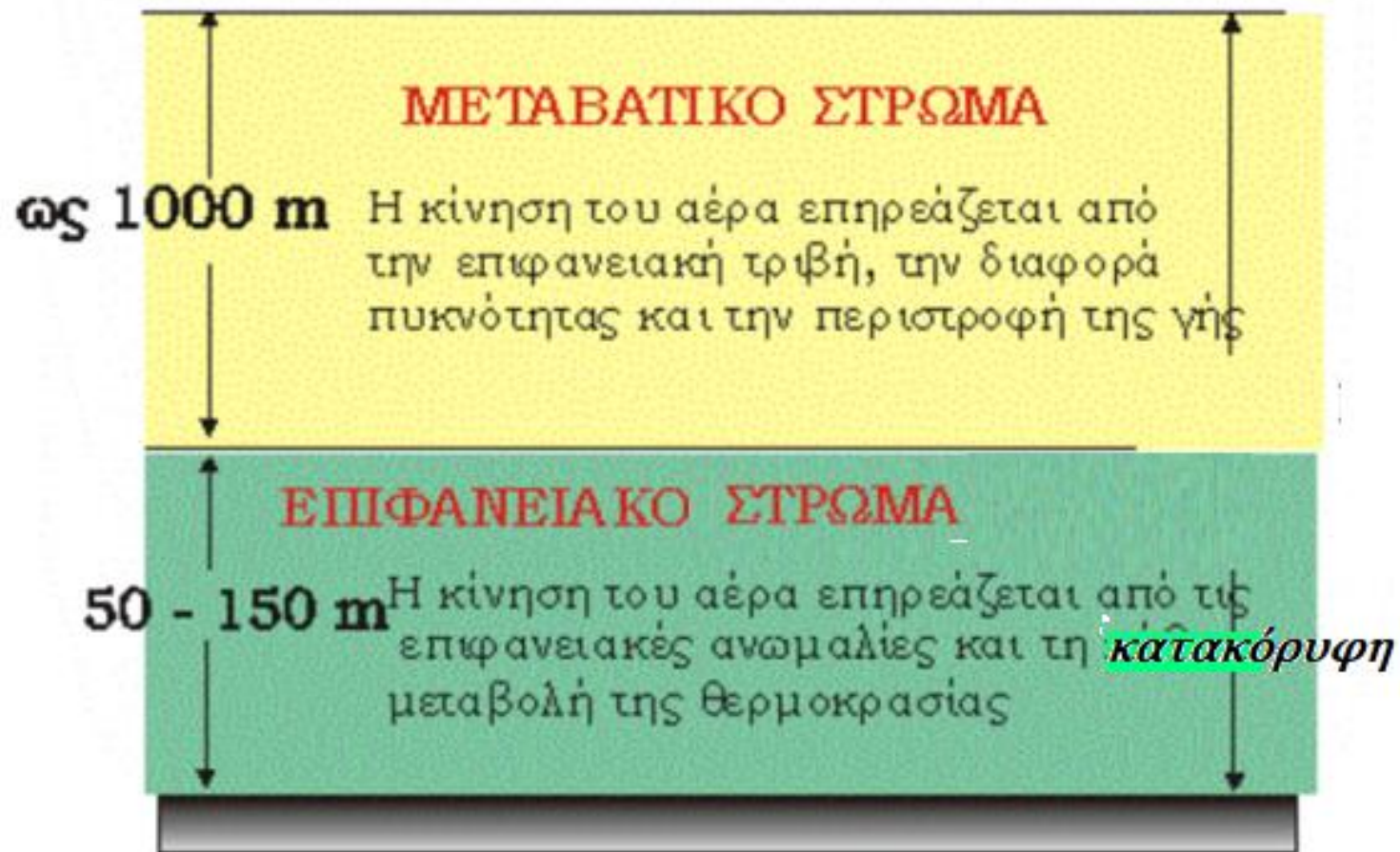
- Τα αερολύματα που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα ακολουθούν την διεύθυνση του ανέμου και διασπείρονται λόγω του τυρβώδους χαρακτήρα του.
- Ο τυρβώδης χαρακτήρας του ανέμου οφείλεται σε στροβιλισμούς που προέρχονται τόσο από μηχανικούς όσο κύρια από θερμικούς λόγους.
- Ο άνεμος επομένως αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διασπορά των αερολυμάτων και οι παράγοντες που τον επηρεάζουν, θα επηρεάζουν και την διαδικασία της διασποράς.

Παράμετροι που επηρεάζουν την τυρβώδη ροή,
την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου

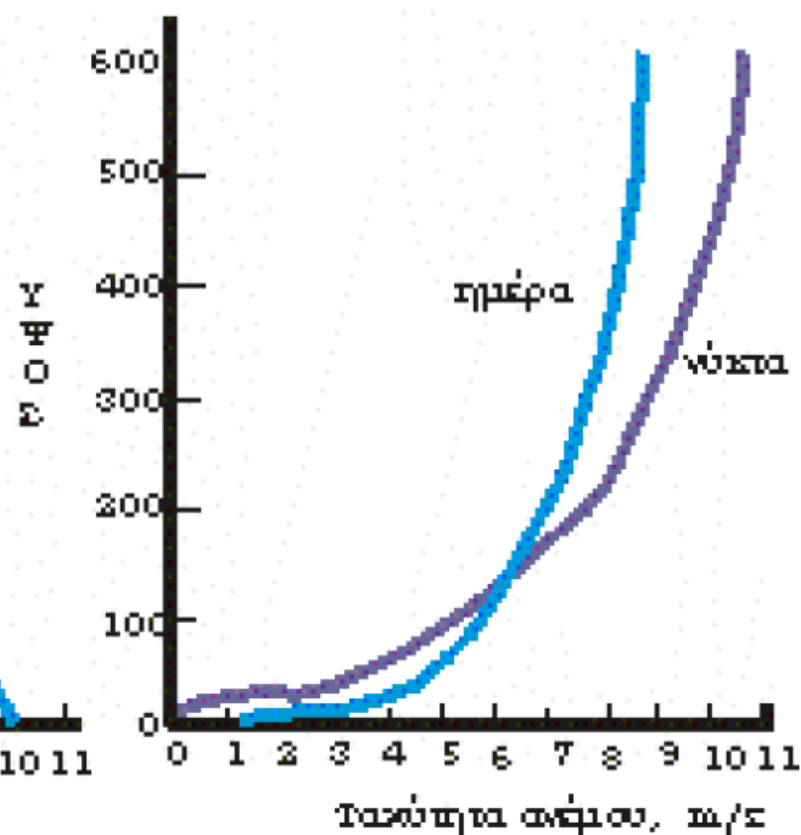
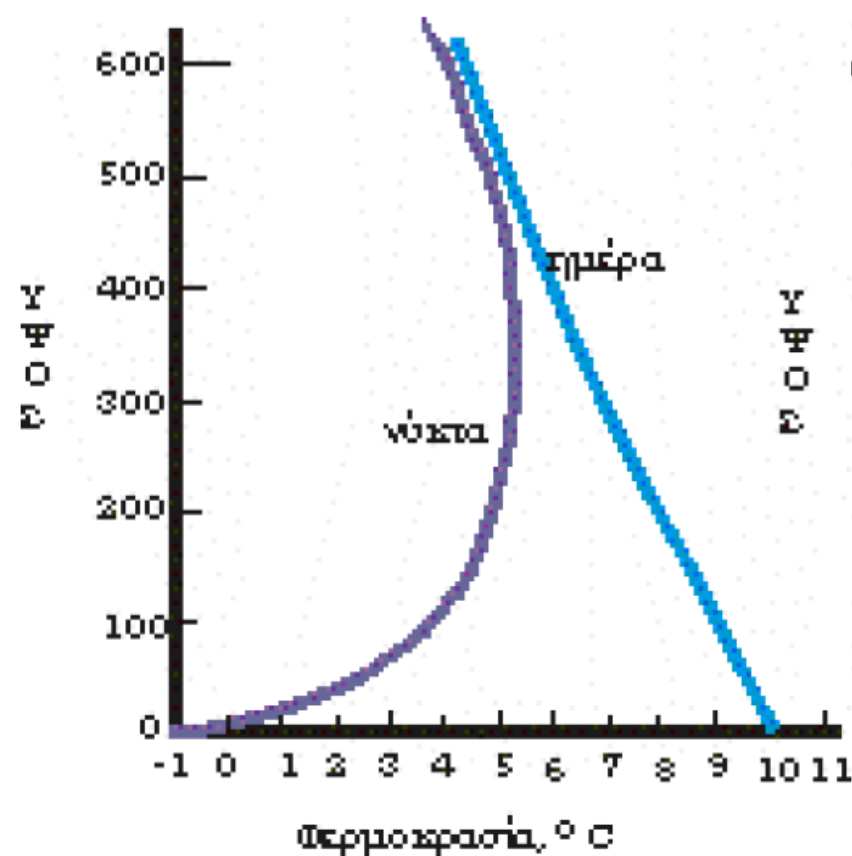
- Η τριβή με το έδαφος
- Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα
- Η τοπογραφία και η ύπαρξη κτισμάτων

Τριβή με το έδαφος

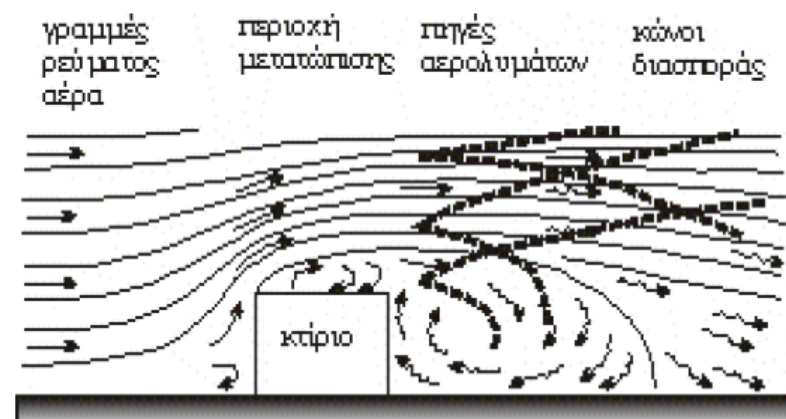
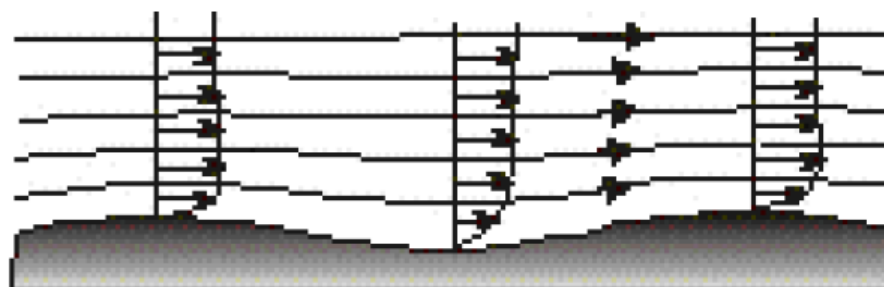
ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

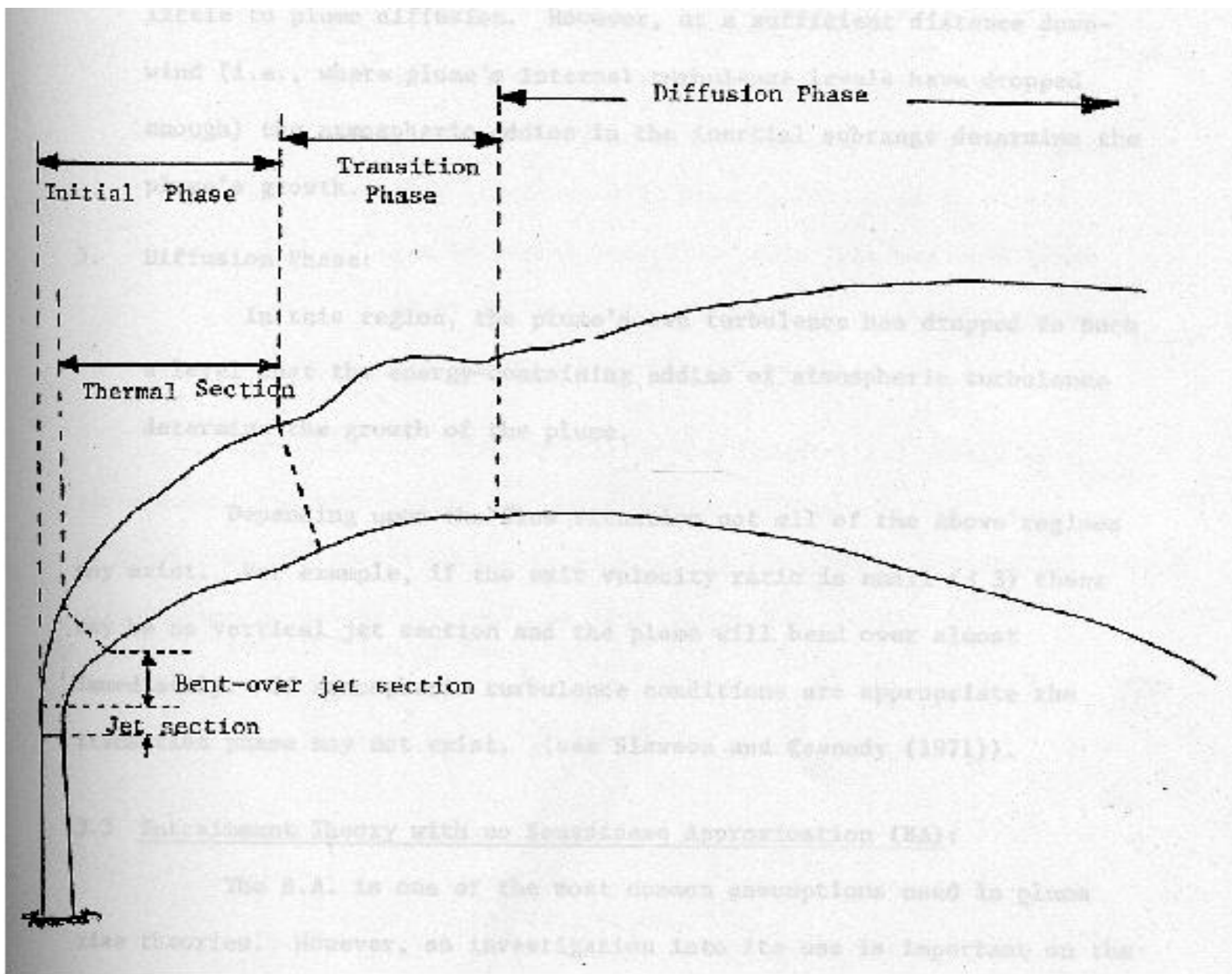


Μεταβολή της ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ και της ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ του ΑΝΕΜΟΥ σε σχέση με την απόσταση από το έδαφος



Η τοπογραφία και η ύπαρξη κτισμάτων

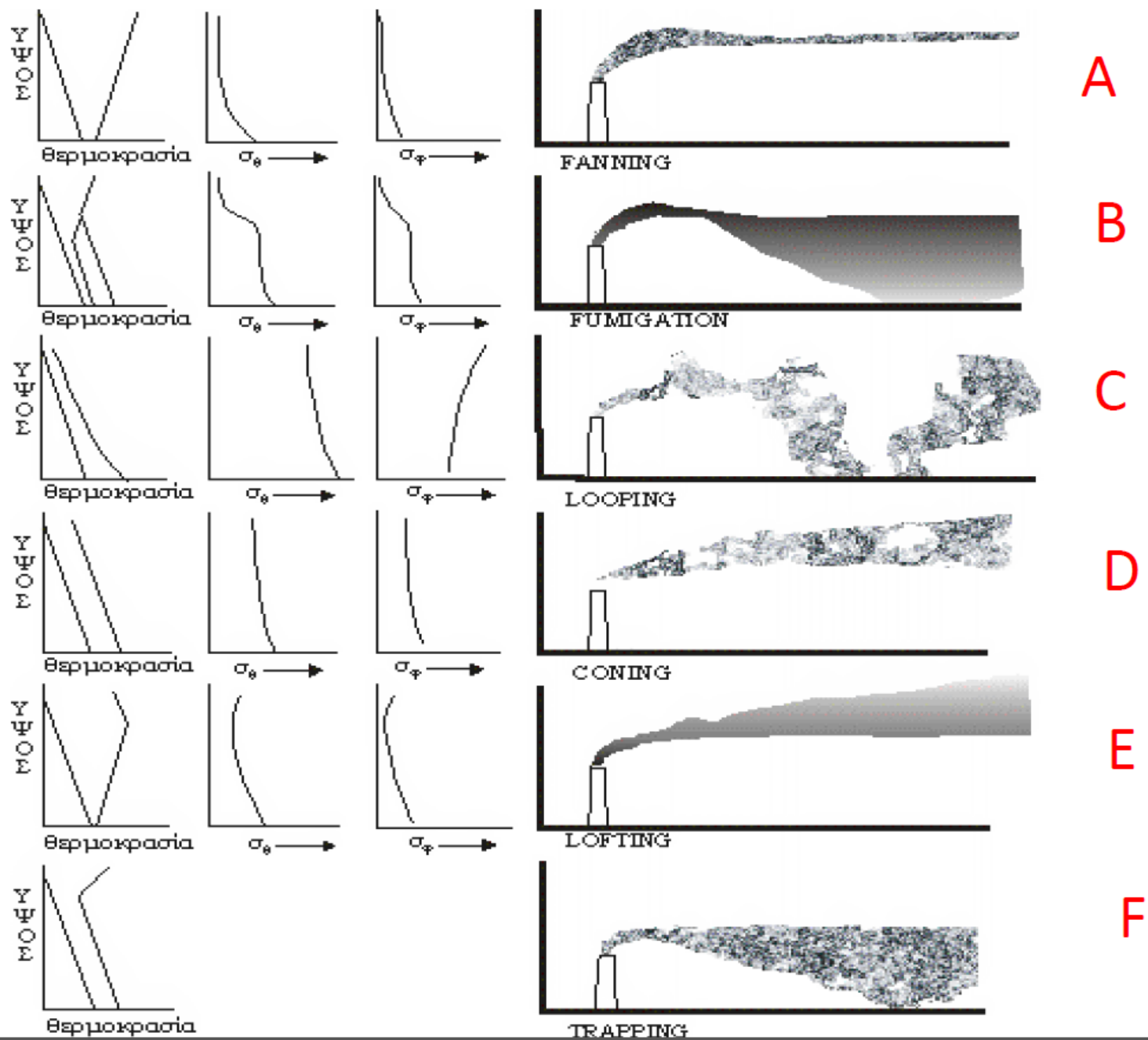




Flow regimes of a plume

Τύποι διασποράς

- Οι τύποι αυτοί εμφανίζονται όταν δεν υπάρχουν επιδράσεις επιφανειακών ανωμαλιών όπως κτίρια κλπ.
- Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και τα τυρβώδη χαρακτηριστικά που συνδέονται μ' αυτή, παίζουν σημαντικό ρόλο στον τύπο της διασποράς
- Το πρώτο διάγραμμα δείχνει την μεταβολή της θερμοκρασίας
- Τα τυρβώδη χαρακτηριστικά καθορίζονται από την τυπική απόκλιση στην κάθετη και οριζόντια μεταβολή της διεύθυνσης του ανέμου
- Τα σ_θ και σ_ϕ : σταθερές αποκλίσεις στις μεταβολές της οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης του ανέμου (κυμαίνονται μεταξύ 0 και 25 μοιρών)



- **First Law of Thermodynamics**

$\nearrow = 0$ for adiabatic expansion

$$dq = dh - v dP = C_p dT - \frac{1}{\rho} dP$$

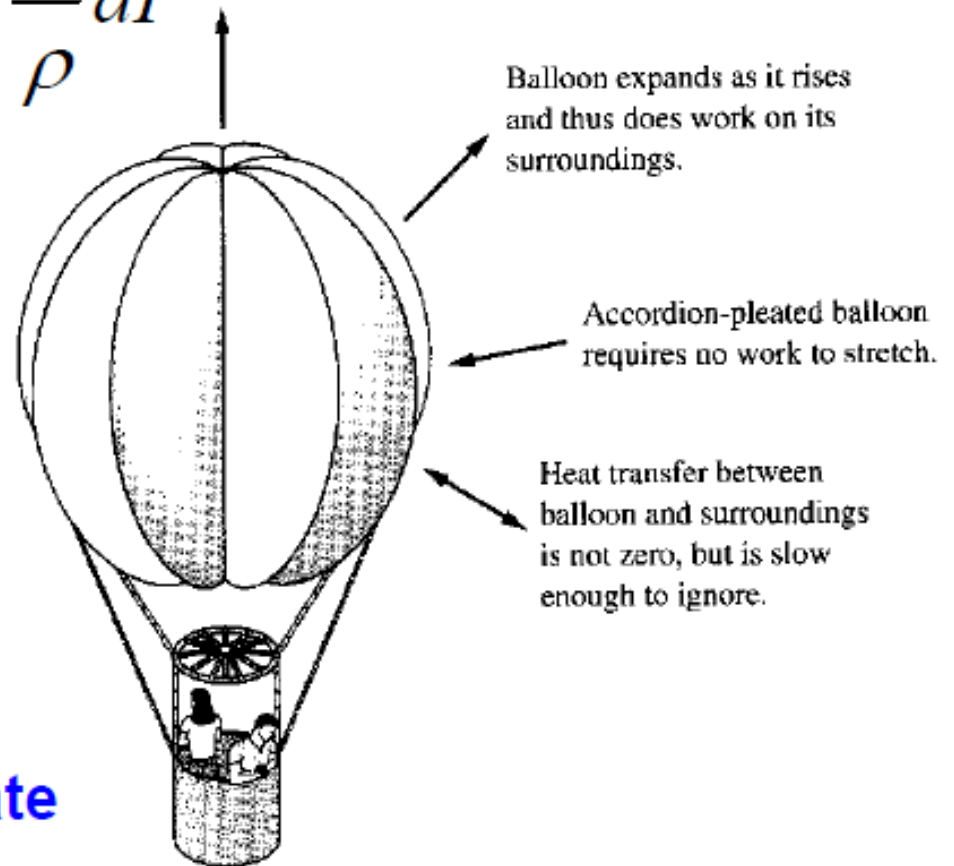
- **Barometric Equation**

$$\frac{dP}{dZ} = -\rho g$$

$$\Rightarrow C_p dT = \frac{1}{\rho} dP = -g dZ$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{dZ} = -\left[\frac{g}{C_p} \right]$$

Lapse Rate



Atmospheric Stability

Characterized by vertical temperature gradients (**Lapse Rates**)

- Dry adiabatic lapse rate (Γ) = $0.976\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m} \sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$
- International standard lapse rate = $0.0066\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$

 Does the air temperature lapse rate have anything to do with air quality?

 Yes, because it is related to amount of vertical mixing of emitted air pollutants.

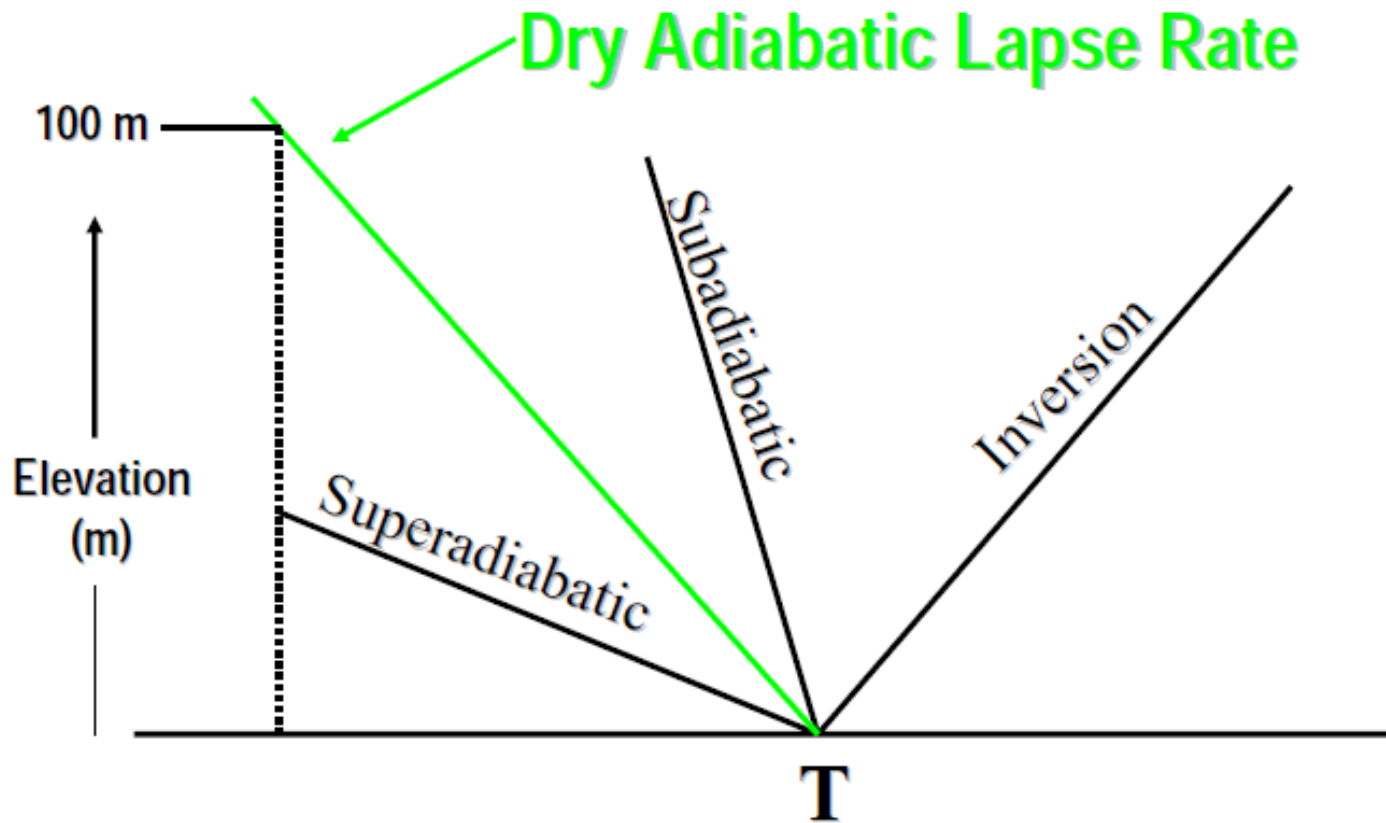
Stability

- Dry adiabatic lapse rate: temperature decreases with increased altitude

$$\Gamma = -\frac{dT}{dz} = -1.00^{\circ}\text{C}/100\text{m} = -5.4^{\circ}\text{F}/1000\text{ft}$$

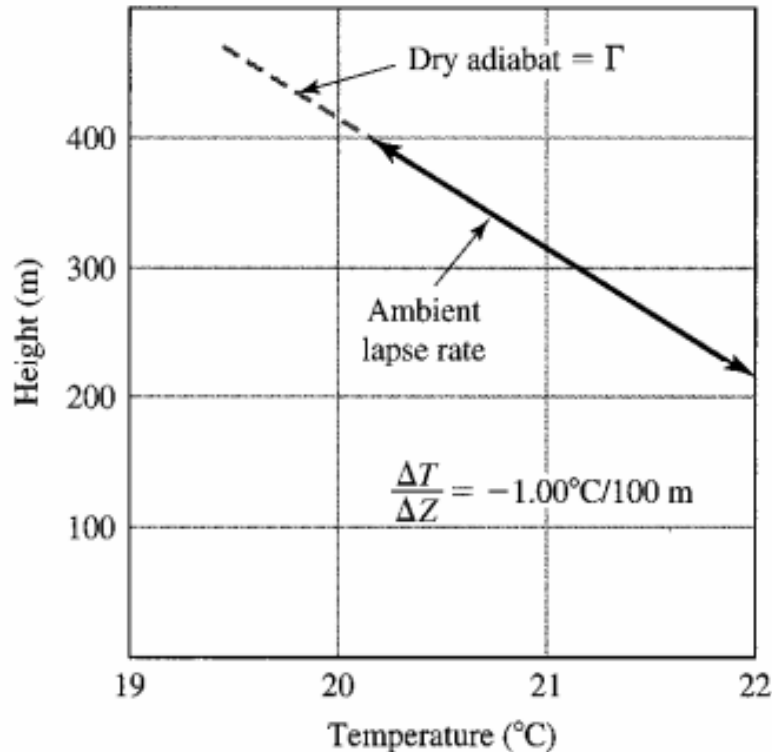
- Atmospheric (actual) lapse rate
 - < Γ (temperature falls faster) **unstable** (super-adiabatic)
 - > Γ (temperature falls slower) **stable** (sub-adiabatic)
 - = Γ (same rate) **neutral**

Air Temperature Lapse Rates

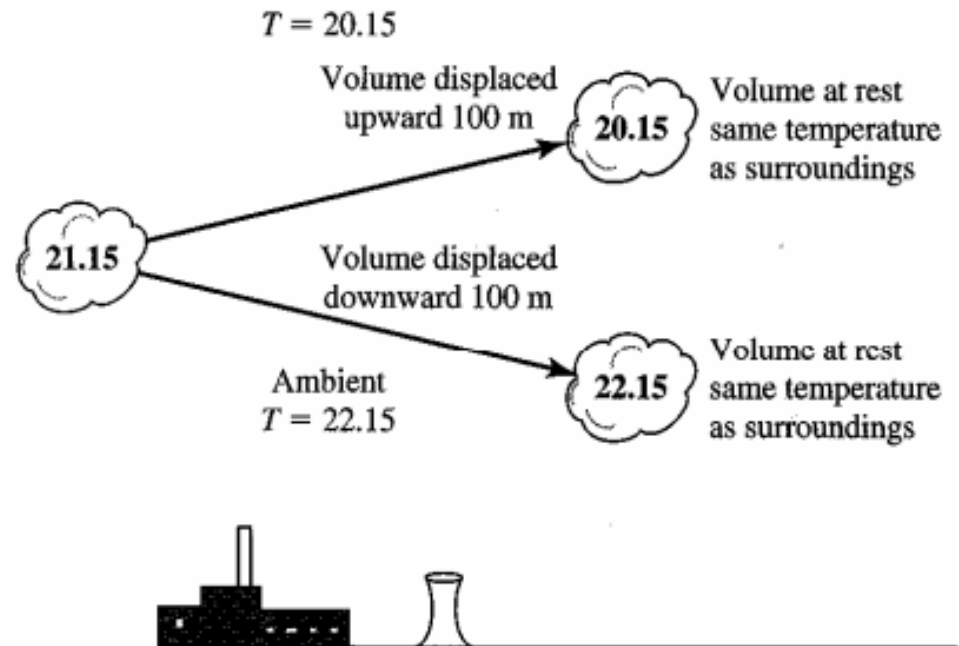


Neutral Conditions

Air at a certain altitude remains at the same elevation.



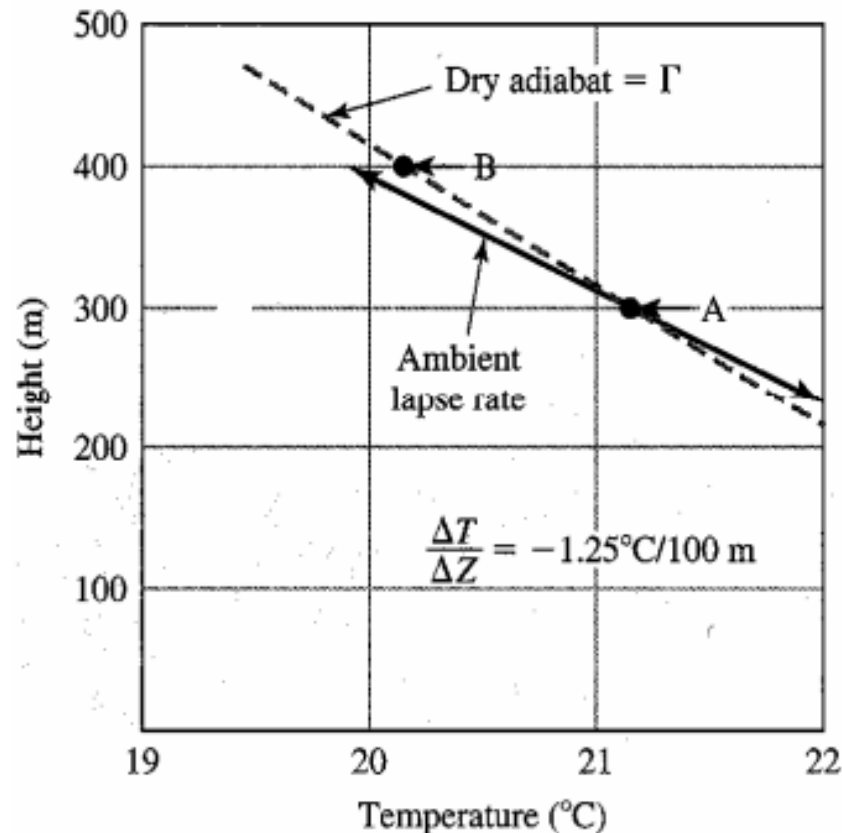
$$-1^\circ\text{C}/100\text{ m} = -1^\circ\text{C}/100\text{ m}$$



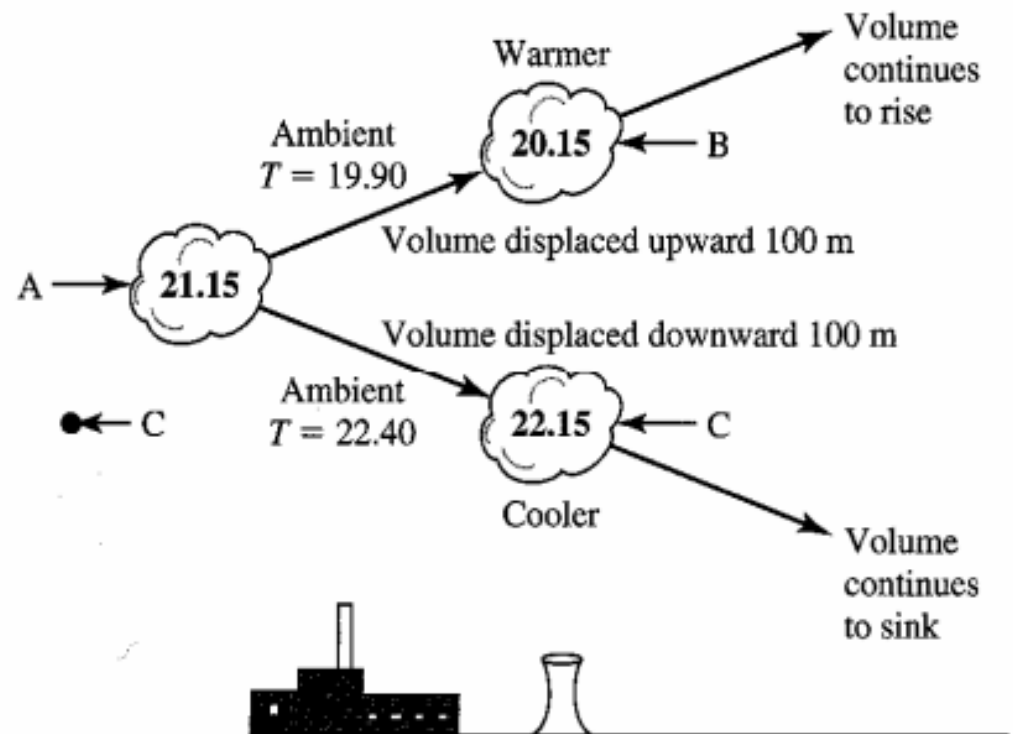
Neutrally stable air discourages the dispersion and dilution of pollutants.

Unstable Conditions

Rapid vertical mixing takes place.



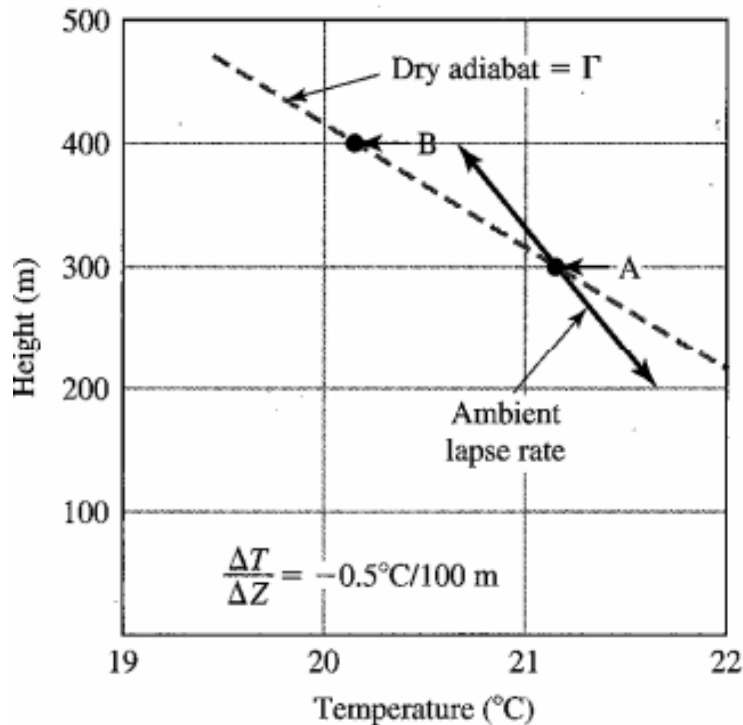
$-1.25^\circ\text{C}/100\text{ m} < -1^\circ\text{C}/100\text{ m}$
actual temperature falls faster than Γ



Unstable air encourages the dispersion and dilution of pollutants.

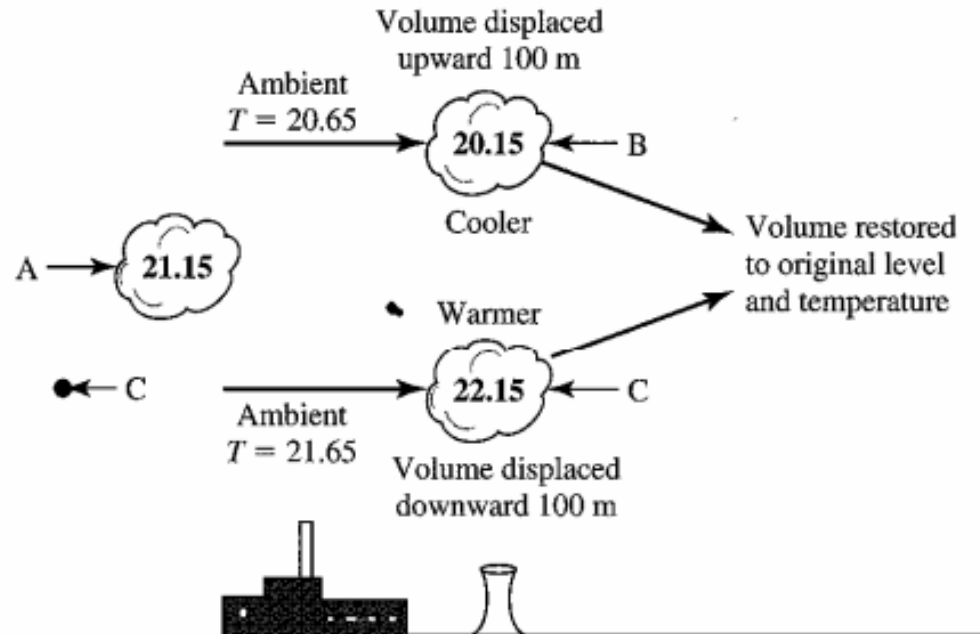
Stable Conditions

Air at a certain altitude remains at the same elevation.



$-0.5^\circ\text{C}/100\text{ m} > -1^\circ\text{C}/100\text{ m}$

actual temperature falls slower than Γ



Stable air discourages the dispersion and dilution of pollutants.

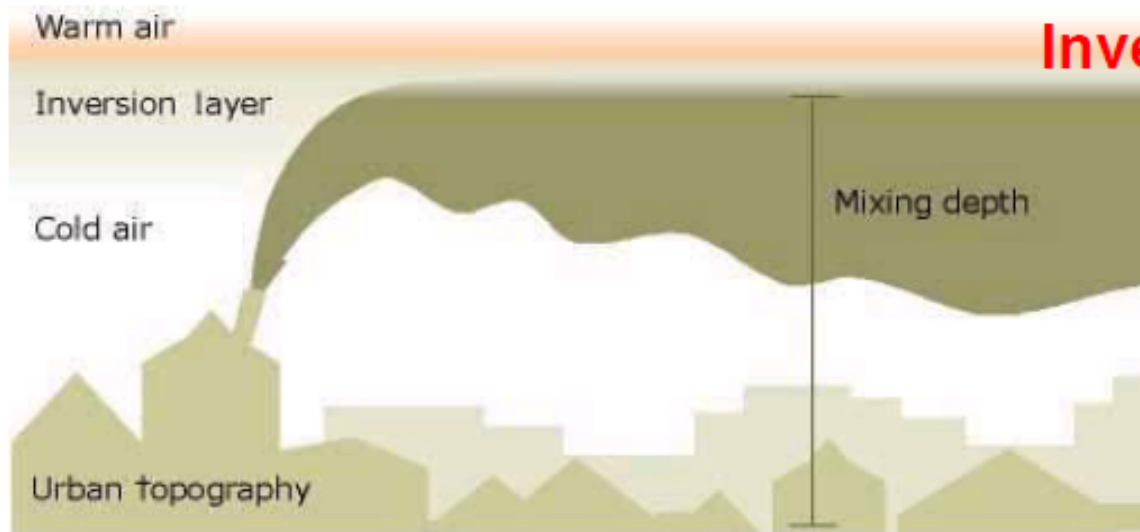
Inverted Air Temp Lapse Rates (Strongly Stable)

Characterized by increasing air temperature with height

Does it occur during the day or at night? (Both)

Is it associated with high or low air pressure systems? (High)

Does it improve or deteriorate air quality? (deteriorate)



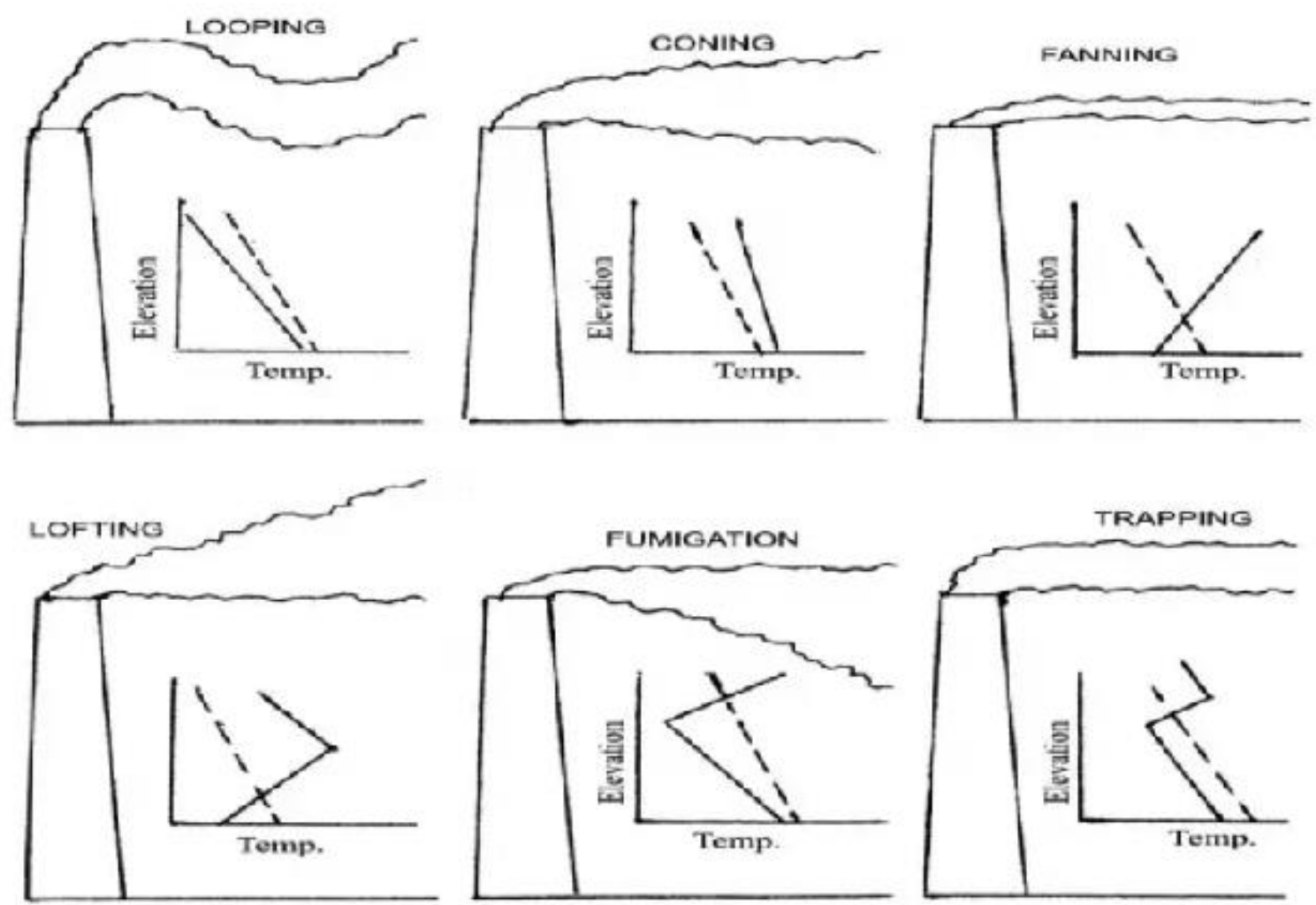
Winter inversion layer trapping smoke from home fires

www.ew.govt.nz/enviroinfo/air/weather.htm

www.co.mendocino.ca.us/aqmd/Inversions.htm

EFFECT OF TEMPERATURE PROFILE ON PLUME RISE

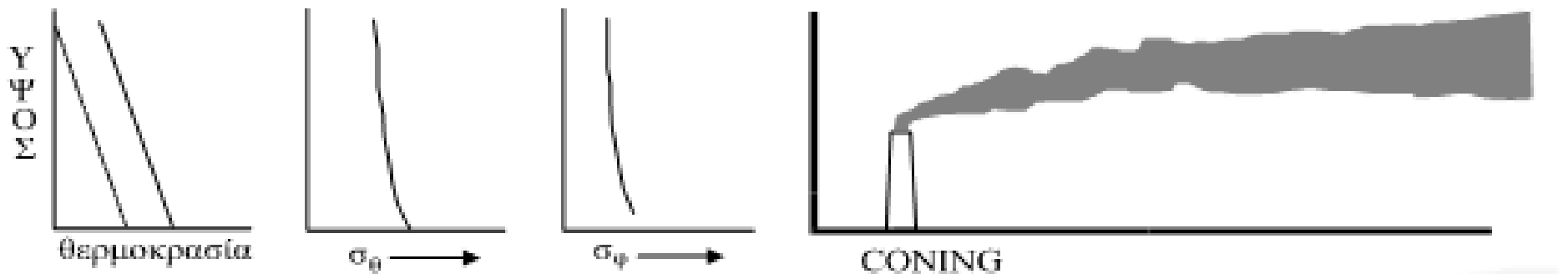
ENVIRONMENTAL LAPSE RATE —————
ADIABATIC LAPSE RATE - - - - -



CONING (D)

Πλούμιο κώνου

- Όταν δεν υπάρχουν θερμικά φαινόμενα η πτώση της θερμοκρασίας είναι ανάλογη με την αδιαβατική (ανεξάρτητα του ύψους) και η διασπορά έχει το σχήμα κώνου
- Η κάθετη τομή της είναι ελλειπτική με τον οριζόντιο άξονα γενικά πιο μεγάλο από τον κάθετο

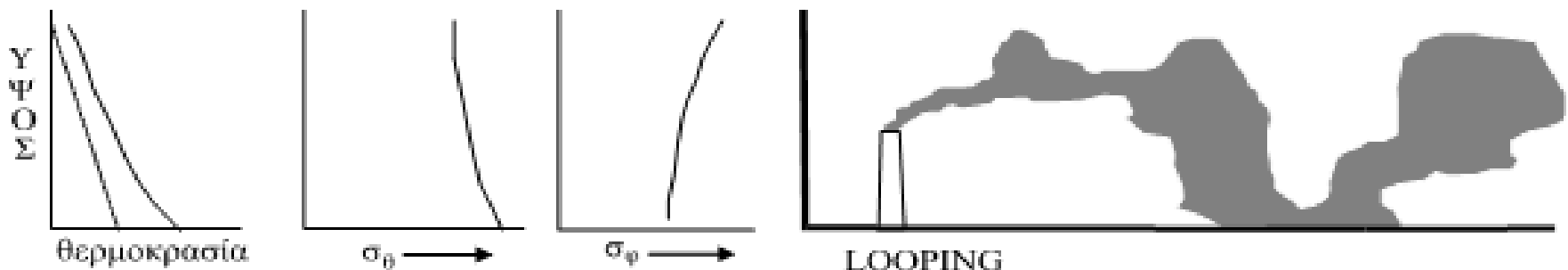


LOOPING (C)

Πλούμιο βρόχου

Πτώση της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από την αδιαβατική καθώς ανεβαίνουμε είναι θερμικά ασταθής

Οι δίνες που σχηματίζονται μπορεί να είναι πιο μεγάλες από την κάθετη διατομή με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ο τύπος

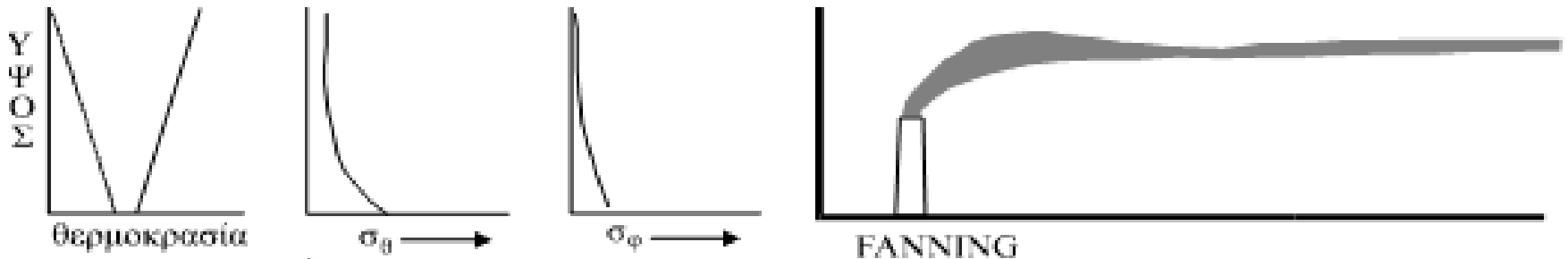


FANNING (A)

Πλούμιο βεντάλια

Πτώση της θερμοκρασίας πιο μικρή από την αδιαβατική ή άνοδος της καθώς ανεβαίνουμε, προκαλούν μείωση της έντασης του τυρβώδη χαρακτήρα ιδιαίτερα στην κάθετη διεύθυνση

Το αποτέλεσμα είναι ο οριζόντιος άξονας να είναι πολύ πιο μεγάλος από τον κατακόρυφο



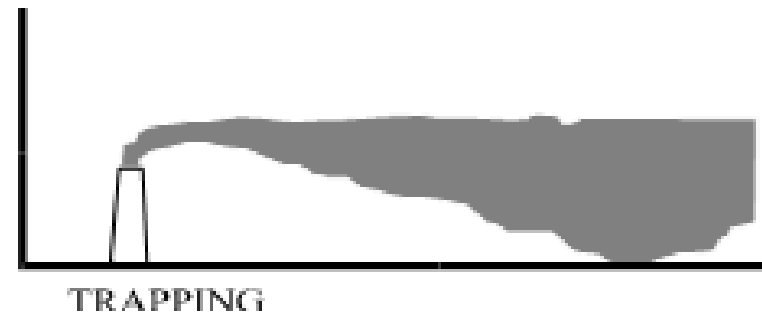
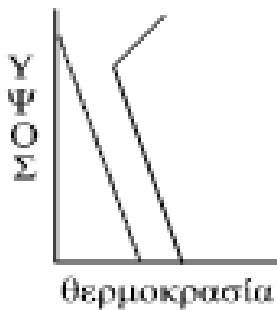
- Οι τρεις υπόλοιποι τύποι αναφέρονται σε θερμοκρασιακές μεταβολές που παρουσιάζουν ασυνέχεια λόγω της επαφής με αέρια στρώματα με διαφορετικά θερμικά χαρακτηριστικά
- Στους τύπους FUMIGATING και TRAPPING ένα θερμικά σταθερό στρώμα στο πάνω μέρος εμποδίζει την προς τα άνω διάχυση ενώ επιταχύνεται η διάχυση προς τα κάτω λόγω της ύπαρξης ενός ουδέτερου ή ασταθούς στρώματος στο κάτω μέρος.
- Στο LOFTING ένα θερμικά σταθερό στρώμα στο κάτω μέρος εμποδίζει την διάχυση προς τα κάτω.

TRAPPING (F)

Πλούμιο παγίδευσης

Οφείλεται στην παρουσία για μεγάλα χρονικά διαστήματα ενός σταθερού στρώματος σε αρκετό ύψος πάνω από τον κώνο διάχυσης.

Το ουδέτερο ή ασταθές στρώμα που καλύπτει τον κώνο διάχυσης μπορεί να προκαλέσει για πολλές ώρες υψηλές συγκεντρώσεις εδάφους.



FUMIGATING (B)

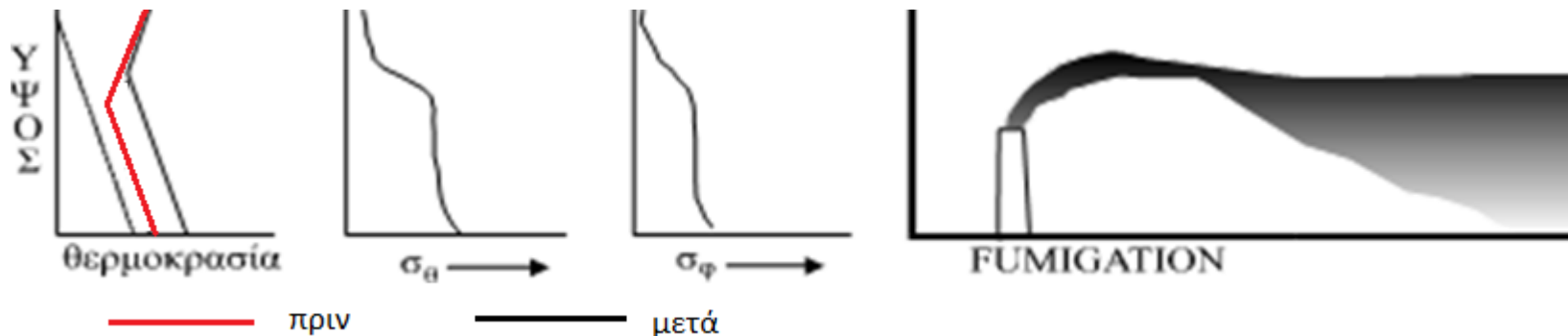
Πλούμιο Καπνισμού

Είναι αποτέλεσμα της μετάβασης από ένα επιφανειακά σταθερό στρώμα σ' ένα αναπτυσσόμενο ουδέτερο ή ασταθές κάτω από τον κώνο διάχυσης (PLUME) των αερολυμάτων.

Καθώς το ασταθές στρώμα καλύπτει τον κώνο, μπορεί να εμφανιστούν υψηλές συγκεντρώσεις εδάφους για μικρά χρονικά διαστήματα (λίγα λεπτά της ώρας ή περισσότερο).

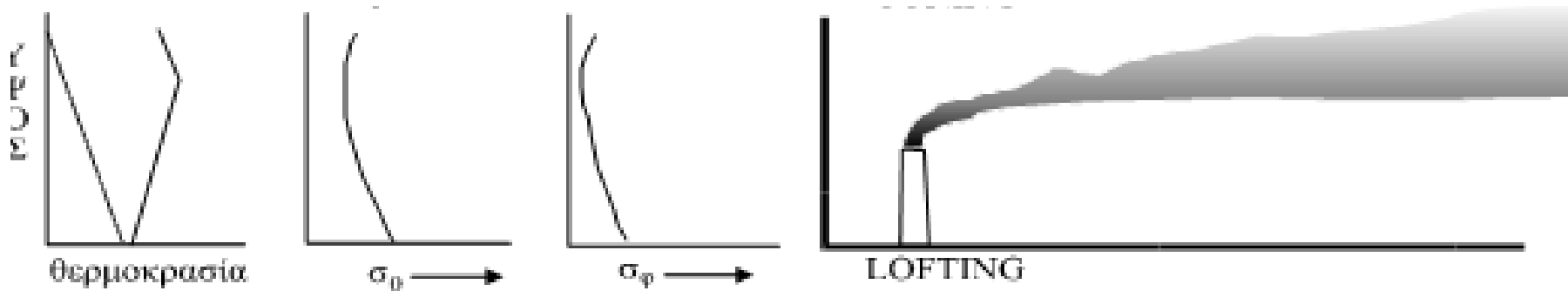
Το φαινόμενο οφείλεται στη θέρμανση της επιφανείας της γης τις πρωινές ώρες που ακολουθεί τις νυχτερινές σταθερές συνθήκες.

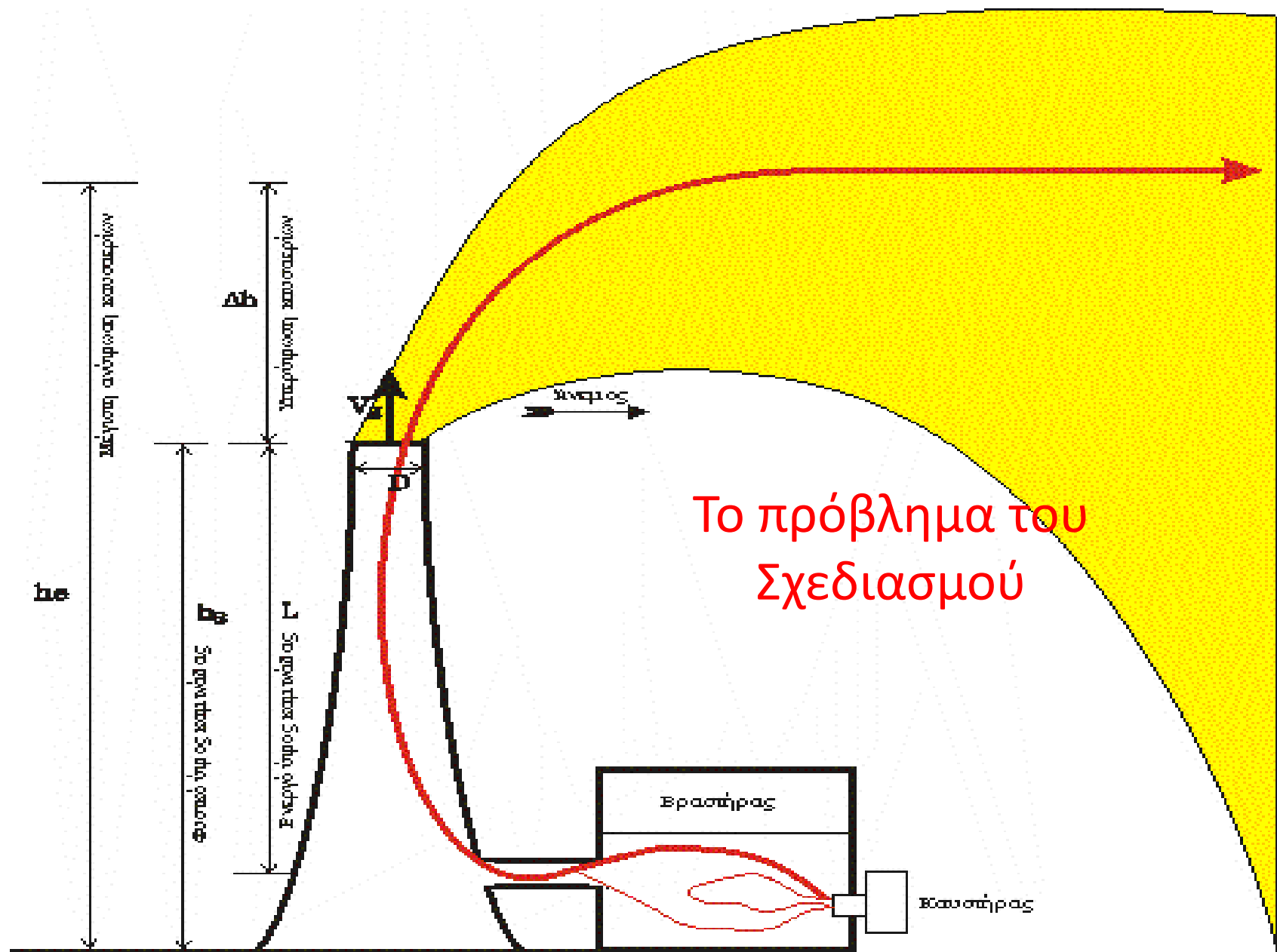
Μπορεί επίσης να συμβεί κατά τη μετάβαση του αέρα από ψυχρές σε θερμές επιφάνειες όπως από τη θάλασσα στη στεριά ή από την ύπαιθρο σε αστικές περιοχές.



LOFTING (E)

Ο πιο επιθυμητός από την άποψη της αέριας ρύπανσης γιατί το κατώτερο σταθερό στρώμα εμποδίζει την διάχυση προς τα κάτω.



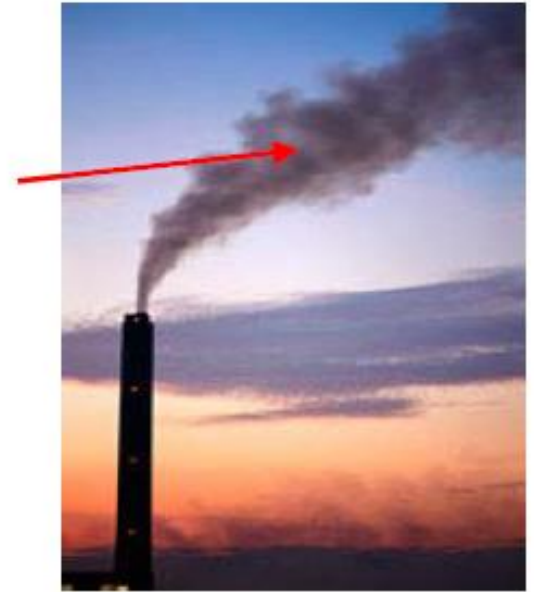
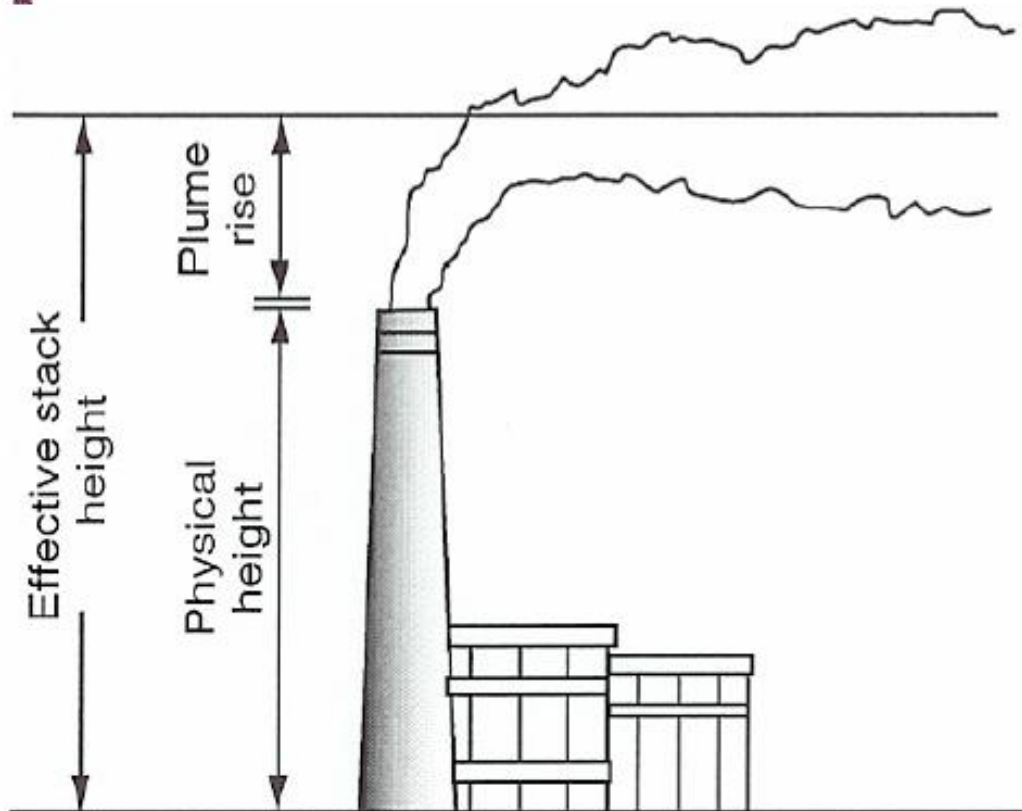


ΥΠΕΡΥΨΩΣΗ ΠΛΟΥΜΙΟΥ

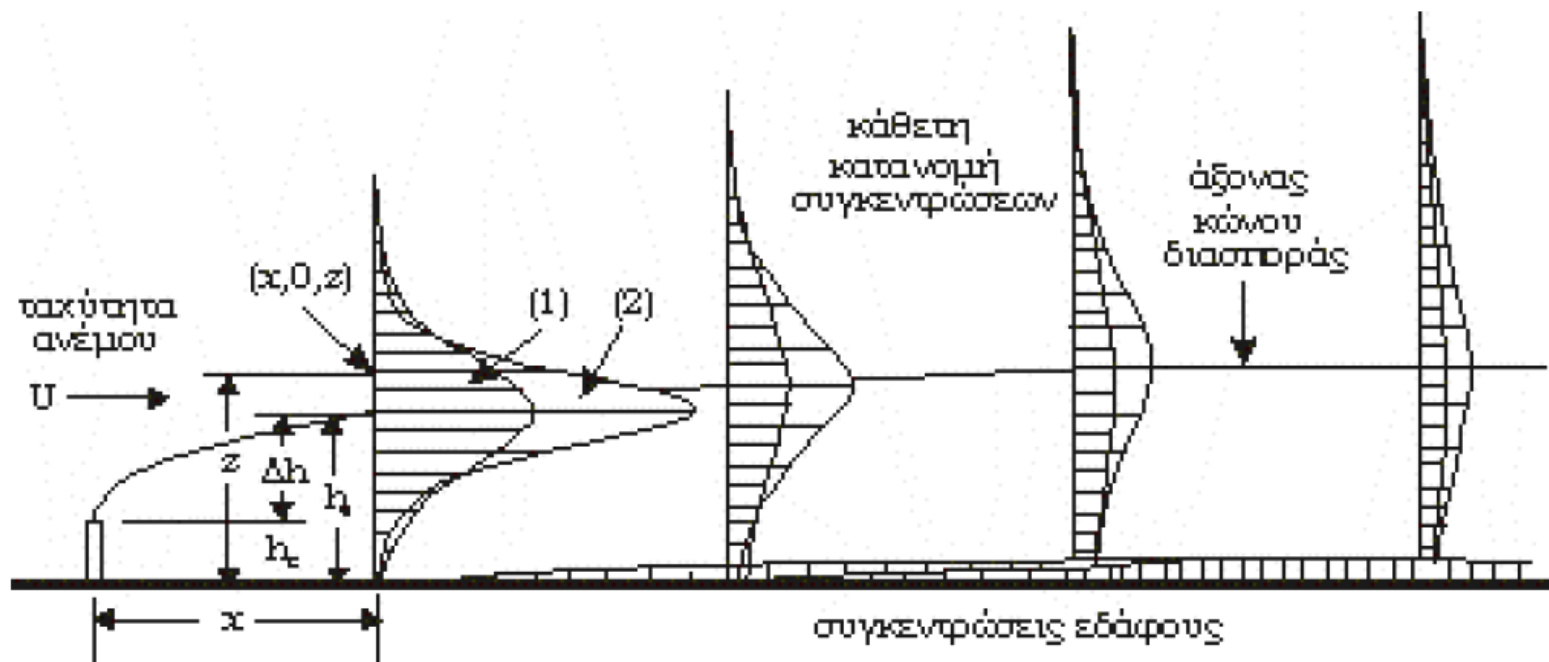
Pollutant Plume Rise



Plume rises from stack exit.



Κατανομή συγκεντρώσεων και θέση του άξονα του κώνου διασποράς για μικρή (1) και μεγάλη (2) διαταραχή της ατμόσφαιρας



$$h_e = h_s + \Delta h$$

h_s : το φυσικό ύψος της καμινάδας

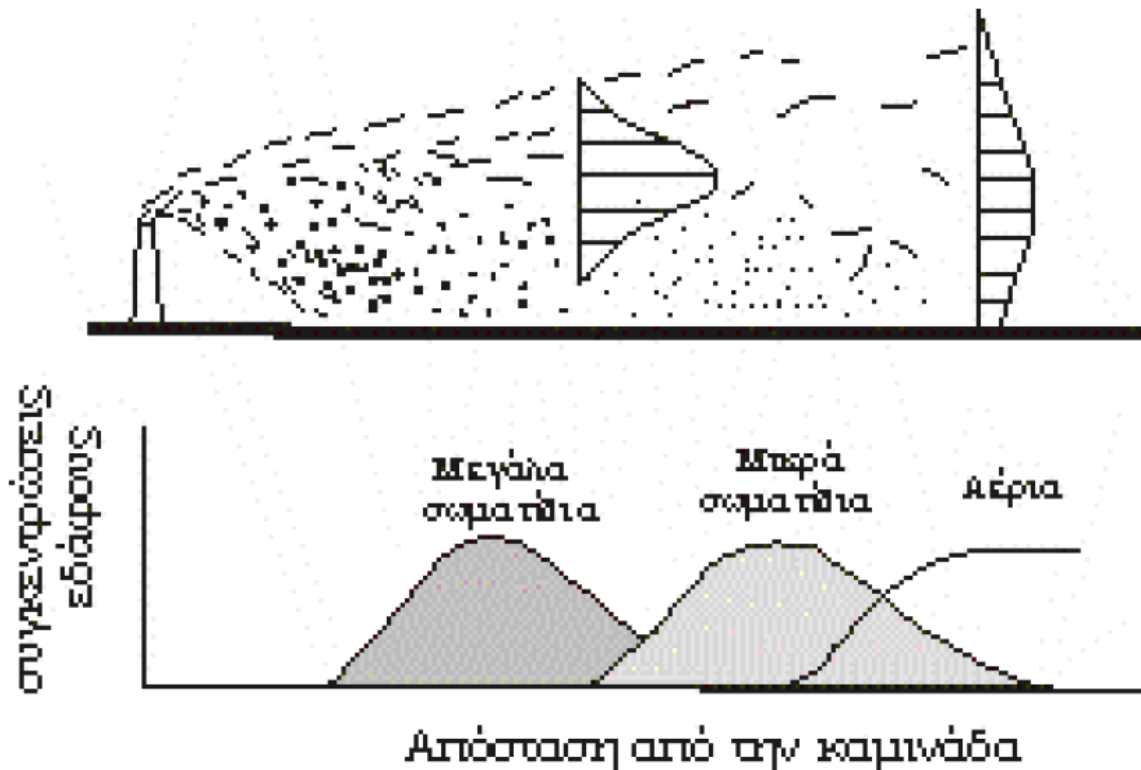
h_e : το ενεργό ύψος της καμινάδας

Δh : υπερύψωση του κώνου διασποράς

Τα χαρακτηριστικά των αερολυμάτων που επηρεάζουν την υπερύψωση είναι:

- **η θερμοκρασία και η πυκνότητα:** Γενικά όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά θερμοκρασίας εξόδου και περιβάλλοντος τόσο ευνοείται η υπερύψωση λόγω διαφοράς πυκνότητας.
- **η ταχύτητα εξόδου των αερολυμάτων,** που εξαρτάται από την παροχή των αερολυμάτων και την διάμετρο της καμινάδας: Γενικά όσο πιο μεγάλη η ταχύτητα εξόδου τόσο μεγαλώνει η υπερύψωση λόγω ορμής.
- **η παρουσία υγρασίας,** που μπορεί να οφείλεται σε προηγούμενη επεξεργασία των αερολυμάτων: Τα σταγονίδια του νερού εξατμίζονται καθώς εξέρχονται από την καμινάδα απορροφώντας θερμότητα από την μάζα των αερίων και ψύχοντάς τα με αποτέλεσμα την μείωση της υπερύψωσης.

- **η παρουσία σωματιδίων:** Σωματίδια διαμέτρου $<20\mu\text{m}$ ακολουθούν τα υπόλοιπα αέρια, ενώ σωματίδια διαμέτρου $>20\mu\text{m}$ λόγω της επίδρασης της βαρύτητας θα έχουν μικρότερη υπερύψωση.



Τα χαρακτηριστικά του αέρα που επηρεάζουν την υπερύψωση είναι:

- **η ταχύτητα του ανέμου:** Γενικά η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου προκαλεί μείωση της υπερύψωσης τόσο λόγω της μείωσης της κατακόρυφης ταχύτητας των αερολυμάτων όσο και λόγω της ταχύτερης ανάμιξης και εξισορρόπησης των χαρακτηριστικών των αερολυμάτων μ' αυτά του ατμοσφαιρικού αέρα.
- **η ισορροπία της ατμόσφαιρας:** Γενικά ατμοσφαιρικές συνθήκες που ευνοούν την προς τα κάτω κίνηση αερίων μαζών μειώνουν την υπερύψωση (π.χ. FUMIGATING, TRAPPING), ενώ συνθήκες που ευνοούν την προς τα πάνω κίνηση ευνοούν την υπερύψωση (LOFTING).

Εξίσωση HOLLAND

$$\Delta h = \frac{1,5 \cdot v_{\text{αερολ.}} D + 4 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{Q}_h}{v}$$

- Δh υπερύψωση (m)
- $v_{\text{αερολ.}}$ ταχύτητα εξόδου αερολυμάτων (m/s)
- D διάμετρος εξόδου καμινάδας (m)
- $\dot{Q}_h$ ρυθμός εκπομπής θερμότητας (cal/s)
- v ταχύτητα ανέμου (m/s)

Μορφή Εξίσωσης Holland συναρτήσει θερμοκρασιών (περιβάλλοντος και καυσαερίων) και ατμοσφαιρικής πίεσης

$$\Delta h = \frac{1,5 \cdot v_{\alpha\epsilon\rho\omicron\lambda}.D + 0,026. D. P_a \cdot (T_s - T_a)/T_s}{v}$$

Δh : η υπερύψωση (m)

$v_{\alpha\epsilon\rho\omicron\lambda}$: η ταχύτητα εξόδου αερολυμάτων (m/s)

D : η διάμετρος εξόδου καμινάδας (m)

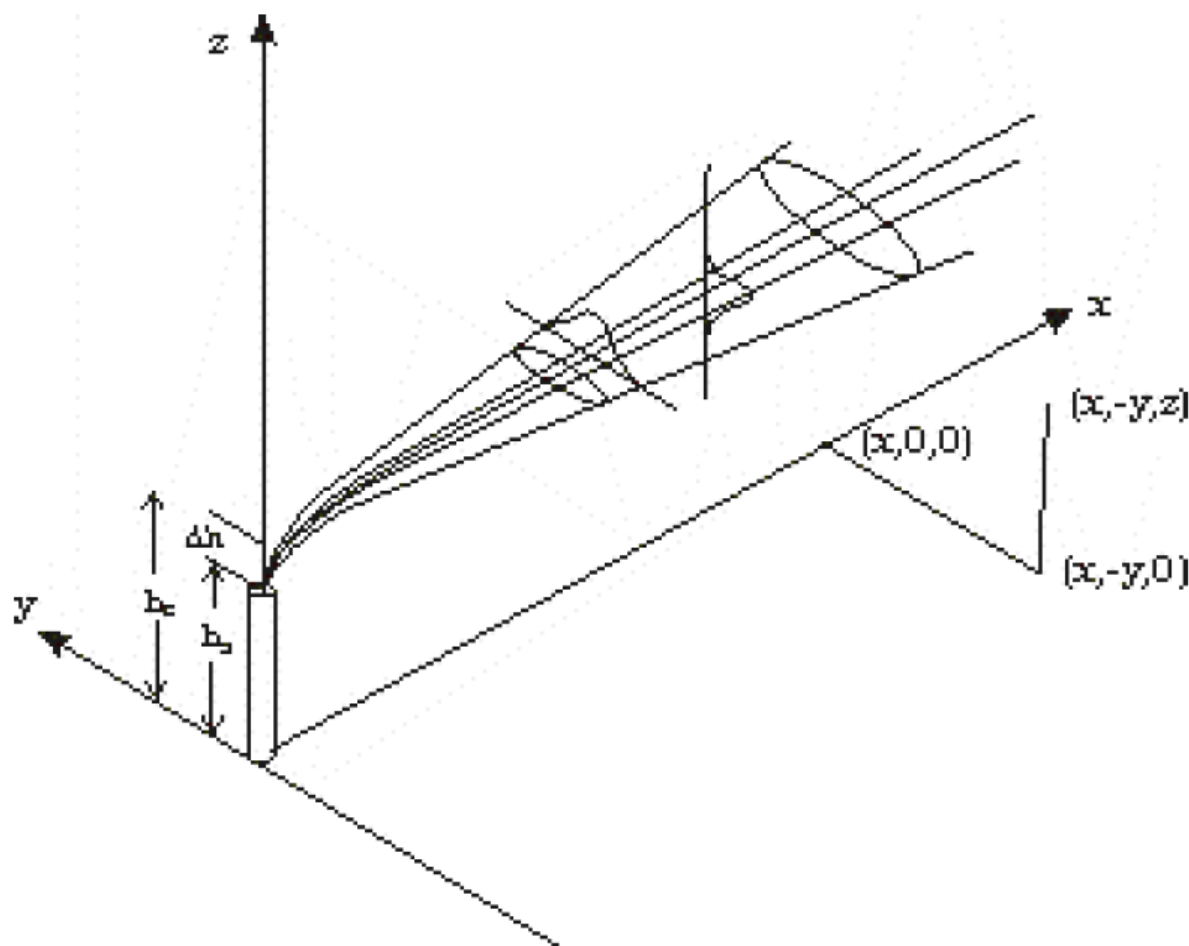
V : η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

P_a : η ατμοσφαιρική πίεση σε milibars

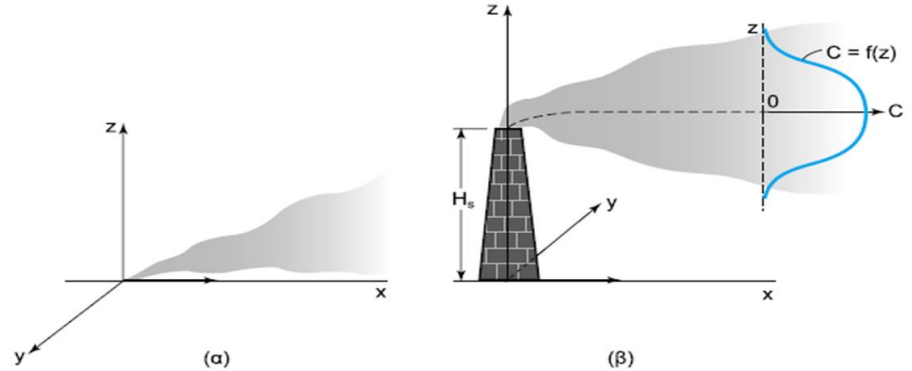
T_a : η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε K

T_s : η θερμοκρασία των καυσαερίων σε K

Κανονική (Gaussian) κατανομή στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο



Διασπορά κατά GAUSS



$$C_{x,y,z} = \frac{\dot{M}}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot v} \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{z - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{z + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

- $C(x,y,z)$: η συγκέντρωση στο σημείο συντεταγμένων (x,y,z) , (g/m^3)
- $\dot{M}$: η παροχή εξόδου αερολυμάτων (g/s)
- h_e : ενεργό ύψος της καμινάδας (m)
- x,y,z : το μέγεθος των συντεταγμένων (m)
- v : η μέση ταχύτητα του ανέμου σ' όλη την έκταση του κώνου διασποράς (m/s)
- σ_y και σ_z : οι τυπικές αποκλίσεις της κατανομής Gauss στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο αντίστοιχα (m)

Παραδοχές για την ισχύ της εξίσωσης

- Συνεχής εκπομπή αερολυμάτων από την πηγή σε ρυθμούς ίσους ή μεγαλύτερους από την διασπορά λόγω του ανέμου, ώστε η διασπορά προς την κατεύθυνση της μεταφοράς να είναι αμελητέα.
- Το υλικό που διασπείρεται είναι σταθερό αέριο ή αιώρημα σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 20 μ m που παραμένει σε αιώρηση για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Όλη η μάζα των αερολυμάτων παραμένει στον κώνο διασποράς και δεν έχουμε απώλεια υλικού λόγω προσρόφησης ή χημικής αντίδρασης κατά την επαφή με το έδαφος
- Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου παραμένουν σταθερές σ' όλο το μήκος της διασποράς
- Η κατανομή των συγκεντρώσεων είναι κανονική και στο οριζόντιο και στο κάθετο επίπεδο
- Τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας είναι σταθερά σ' όλο το μήκος της διασποράς και τα σ_y και σ_z είναι συνάρτηση της απόστασης x από την καμινάδα

Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων εδάφους η εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί και να πάρει την μορφή
(εξίσωση Turner):

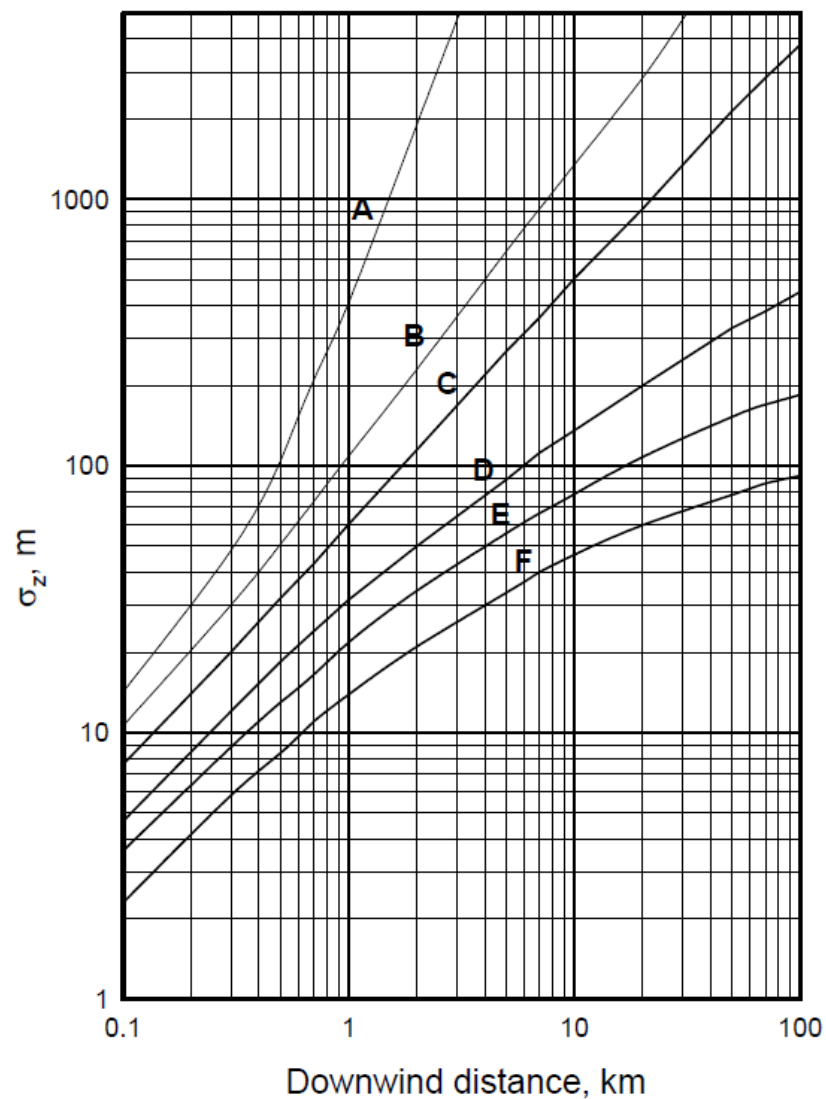
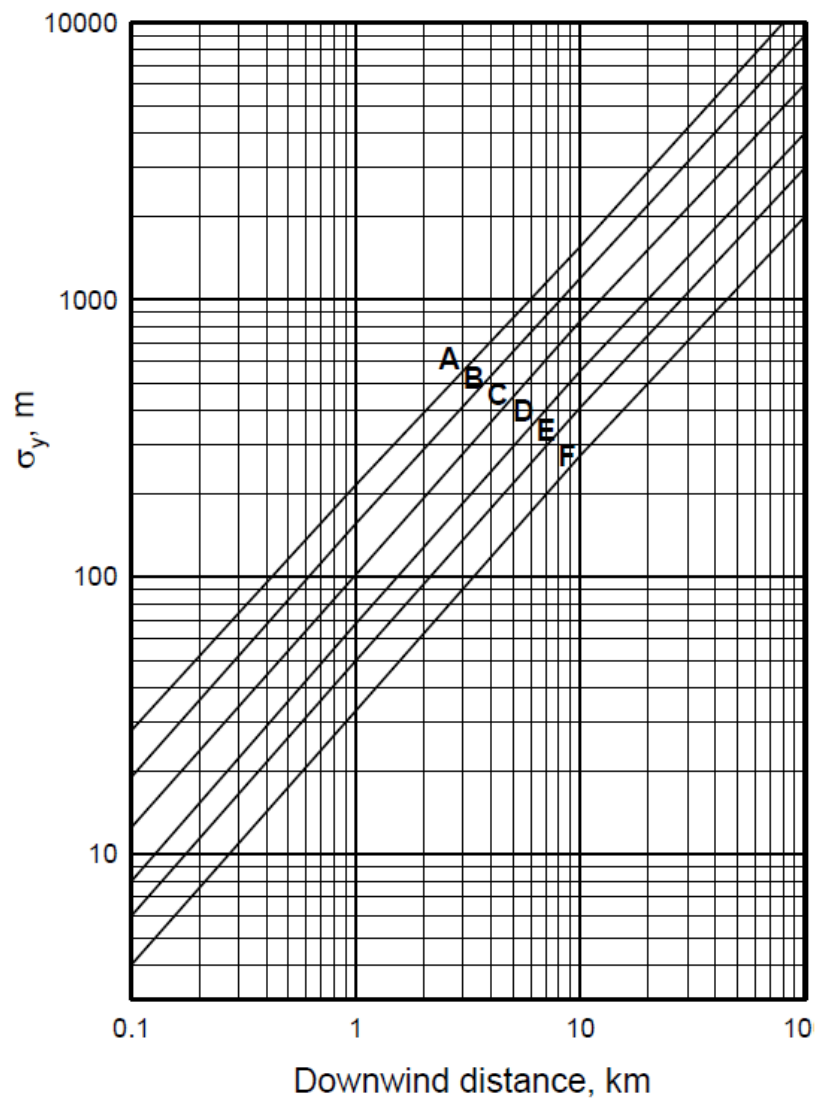
$$C_{x,0,0} = \frac{\dot{M}}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot v} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_e}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

- Για δεδομένη παροχή αερολυμάτων, οι συγκεντρώσεις εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογες της ταχύτητας του ανέμου και μειώνονται με το ενεργό ύψος της καμινάδας
- Οι τιμές που μπορούν να πάρουν οι σταθερές διασποράς σ_y και σ_z μπορούν να βρεθούν από διαγράμματα για διάφορες αποστάσεις από την καμινάδα

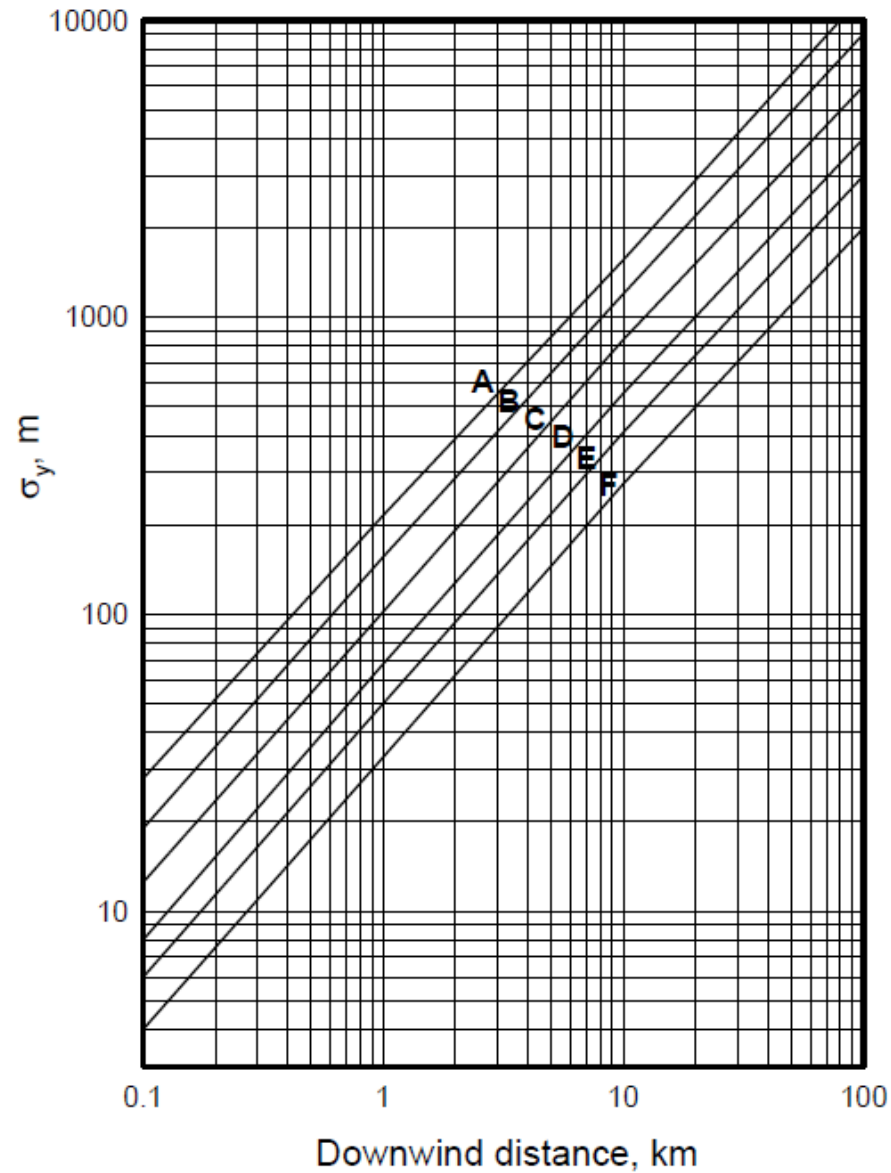
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Επιφανειακός άνεμος στα 10 μέτρα m/s	Ημέρα			Νύκτα	
	Ηλιακή ακτινοβολία			κάλυψη με σύννεφα	
	Ισχυρή	Μέτρια	Λίγη	>4/8	<3/8
<2	A	A - B	B		
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Συντελεστές διασποράς σ_y και σ_z σε συνάρτηση με την απόσταση από την καμινάδα



Mathematical models for σ_y

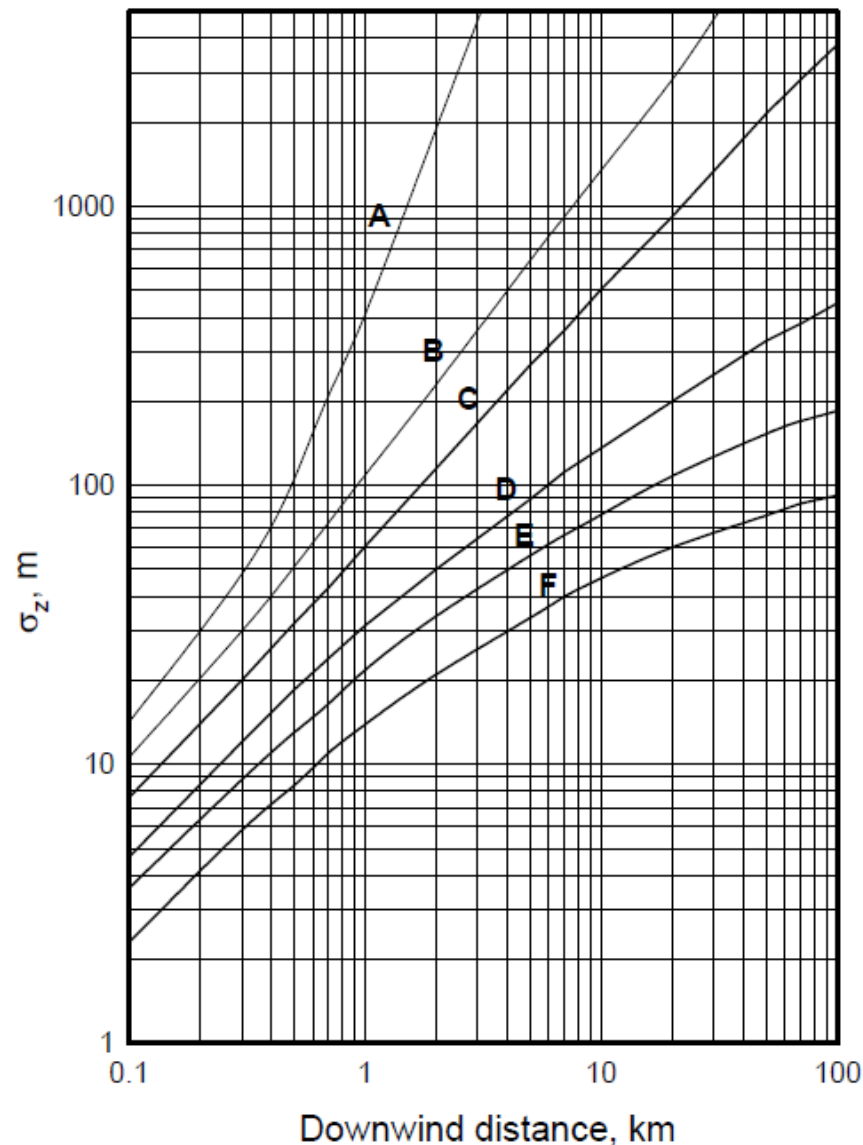


$$\sigma_y = a x^p$$

Mathematical models for σ_z

$$\sigma_z = b x^q$$

- for class C, and
- piecewise (in x) for other different classes



Dispersion Class	σ_y		σ_z		Range of Application for σ_z , x, meters
	a	P	b	q	
A	0.55202	0.85927	0.07791	1.1148	100 - 300
			0.01036	1.4787	300 - 500
			0.000218	2.1057	500 - 3000
B	0.38267	0.87024	0.1186	0.9711	100 - 500
			0.05419	1.1028	500 - 20000
C	0.22759	0.88812	0.11486	0.9074	100 - 20000
D	0.16209	0.87944	0.09261	0.8529	100 - 500
			0.25616	0.6927	500 - 3000
			0.52179	0.6020	3000 - 20000
E	0.11826	0.88167	0.08182	0.8178	100 - 500
			0.22387	0.6575	500 - 3000
			0.74895	0.5052	3000 - 20000
F	0.07948	0.88144	0.05498	0.8101	100 - 500
			0.1549	0.6485	500 - 3000
			0.92323	0.4234	3000 - 20000

Detailed dispersion parameter estimates for model forms, $\sigma_y = a x^p$ (all values of x) and $\sigma_z = b x^q$ (x-values in noted ranges).

- Η ταχύτητα του ανέμου (v) είναι συνάρτηση του ύψους (z).
Στις σχέσεις συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η ταχύτητα του ανέμου στο ενεργό ύψος (h_e).
- Αν είναι γνωστή η ταχύτητα του ανέμου v_1 σε κάποιο ύψος z_1 τότε μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος h_e σύμφωνα με την σχέση:

$$v = v_1 \cdot \left(\frac{h_e}{z_1} \right)^{0,5}$$

Η μέγιστη συγκέντρωση του αέριου ρύπου στο έδαφος εμφανίζεται σε απόσταση από την καμινάδα για την οποία ισχύει η σχέση:

$$\sigma_z = 0,707 h_e$$

Στη περίπτωση που τα αερολύματα παγιδεύονται λόγω θερμικής αναστροφής (trapping) τότε ισχύει η εξίσωση:

$$C_{x,0,0} = \frac{\dot{M}}{\sqrt{2\pi} \cdot H_i \cdot \sigma_z \cdot v} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_e}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

όπου H_i το ύψος της θερμικής αναστροφής

Η απόσταση x_i από την καμινάδα κατά την οποία το αερόλυμα φθάνει το επίπεδο της θερμικής αναστροφής υπολογίζεται από την σχέση:

$$2,15 \sigma_z = H_i - h_e$$

Άσκηση

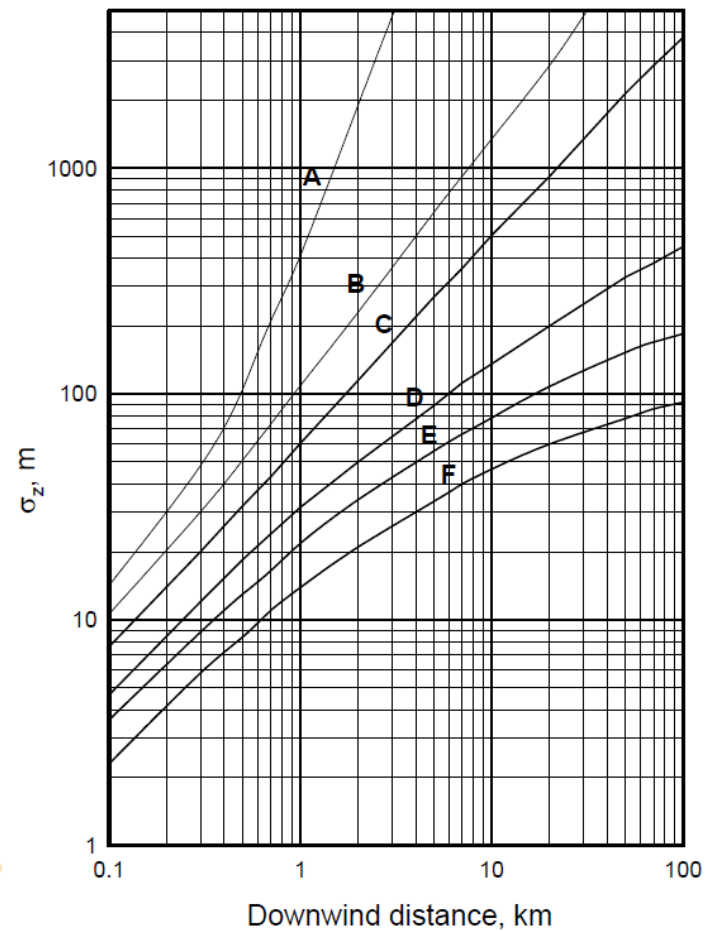
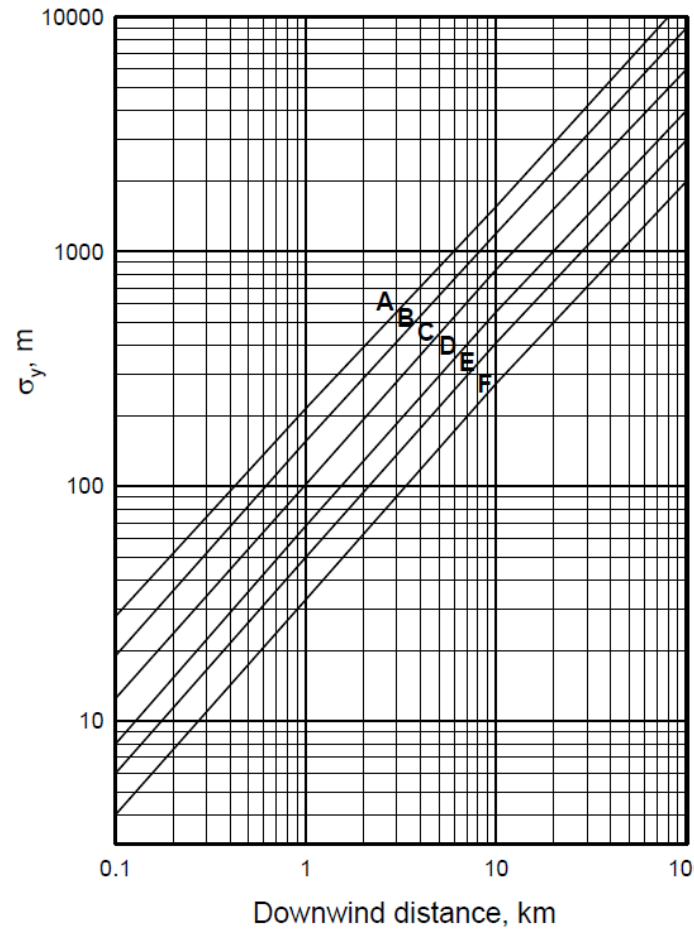
- Μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνει ημερησίως καταναλώνει 12.000 tons στερεού καυσίμου που περιέχει 1,5% θείο.
- Το ενεργό ύψος (h_e) της καμινάδας είναι 200 m.
- Στη στάχτη κατακρατείται το 25% του θείου ενώ το υπόλοιπο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από την καμινάδα με τη μορφή SO_2 .
- Μετρήθηκε μία ηλιόλουστη ημέρα σε ύψος 10 m η ταχύτητα του ανέμου και βρέθηκε 4 m/s.
- Να βρεθεί η συγκέντρωση του SO_2 στο έδαφος σε απόσταση 1, 5 και 10 km.
- Να υπολογιστεί η μέγιστη συγκέντρωση SO_2 στο έδαφος που μπορεί να μετρηθεί καθώς και η απόστασή της από τη καμινάδα.
- Να βρεθεί το ύψος της θερμικής αναστροφής που θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά τη συγκέντρωση του SO_2 στο έδαφος σε απόσταση 10 km από τη καμινάδα.

1. Από τον Πίνακα διαπιστώνουμε ότι για ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου 4 m/s η ατμοσφαιρική σταθερότητα είναι τύπου B.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Επιφανειακός άνεμος στα 10 μέτρα m/s	Ημέρα			Νύκτα	
	Ηλιακή ακτινοβολία			κάλυψη με σύννεφα	
	Ισχυρή	Μέτρια	Λίγη	>4/8	<3/8
<2	A	A - B	B	E	F
2 - 3	A - B	B	C		
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

2 Από τα διαγράμματα αποκλίσεων σ_y , σ_z x



x	σ_y	σ_z
1 km	150 m	100 m
5 km	700 m	700 m
10 km	1000 m	1200 m

3. Υπολογίζουμε την ταχύτητα του ανέμου στο επιρροϊκό ύψος h_e

$$v = v_1 \left(\frac{h_e}{z_1} \right)^{0,5} = 4 \left(\frac{200m}{10m} \right)^{0,5} = \boxed{18 \frac{m}{s}}$$

4. Η εκπομπή θείου στην ατμόσφαιρα:

αυτή που δίνουμε είναι στην κατάσταση θειού

$$\dot{M}_S = \frac{0,95 \cdot 12 \times 10^3 \frac{kg}{d} \cdot \frac{15}{100}}{24 \frac{h}{d} \cdot 3600 \frac{s}{h}} = \boxed{1562,5 \frac{g}{s}}$$

12,000 ton/d
ποσοστό θειού

5. Η εκπομπή SO_2 (για να βρούμε το βάρος SO_2)

$$\dot{M}_{SO_2} = 1562,5 \times \frac{64}{32} = \boxed{3125 \frac{g SO_2}{s}}$$

M.B. SO_2
M.B.S

6. Από Turner υπολογίστε τις συγκεντρώσεις SO_2 στο έδαφος σε αποστάσεις 1, 5 και 10 km:

$$x = 1 \text{ km} : C_{SO_2} = \frac{3.125}{\pi \cdot \underset{\substack{\uparrow \sigma_y}}{150} \times \underset{\substack{\uparrow \sigma_z}}{100} \times \underset{\substack{\uparrow u}}{18}} \exp \left[- \frac{(\underset{\substack{\uparrow h_e}}{200 \text{ m}})^2}{2 \times \underset{\substack{\uparrow \sigma_z^2}}{100^2}} \right] =$$

$$= 0,49 \text{ mg/m}^3 \approx \boxed{500 \text{ }\mu\text{g/m}^3}$$

$$x = 5 \text{ km} : C_{SO_2} = \frac{3.125}{\pi \cdot \underset{\substack{\uparrow \sigma_y}}{700}} \cdot \underset{\substack{\uparrow \sigma_z}}{700} \times \underset{\substack{\uparrow u}}{18}} \exp \left[- \frac{(200)^2}{2 \times \underset{\substack{\uparrow \sigma_z^2}}{700^2}} \right] =$$

$$= 0,108 \text{ mg/m}^3 = \boxed{108 \text{ }\mu\text{g/m}^3}$$

$$x = 10 \text{ km} : C_{SO_2} = \frac{3.125}{\pi \cdot \underset{\substack{\uparrow \sigma_y}}{1000}} \cdot \underset{\substack{\uparrow \sigma_z}}{1200} \times \underset{\substack{\uparrow u}}{18}} \exp \left[- \frac{(200)^2}{2 \times \underset{\substack{\uparrow \sigma_z^2}}{1200^2}} \right] =$$

$$= 0,045 = \boxed{45 \text{ }\mu\text{g/m}^3}$$

7. Η μέγιστη συμπίεση στο έδαφος εκφράζεται στην απόσταση όπου

$$\sigma_z = 0,707 \quad h_c = 0,707 \times 200\text{m} = 141\text{m}$$

Από το διάγραμμα σ_z συνάγεται $x = 1,25\text{ km}$

Σε $x = 1,25\text{ km}$ από το σ_y συν. z βρίσκουμε

$$\sigma_y = 130\text{m}$$

8. Από Turner για $x=1,25$ m

$$C_{SO_2} = \frac{3125}{\pi \times 190 \times 141 \times 18} \exp\left(-\frac{200^2}{2 \times 141^2}\right) = 0,76 \frac{mg}{m^3}$$

$$= 760 \text{ } \mu\text{g}/m^3$$

Άρα η μέγιστη συγκέντρωση είναι $760 \mu\text{g}/m^3$ σε απόσταση $1,25$ km από την καμινάδα

$$C_{x,0,0} = \frac{\dot{M}}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot v} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_e}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

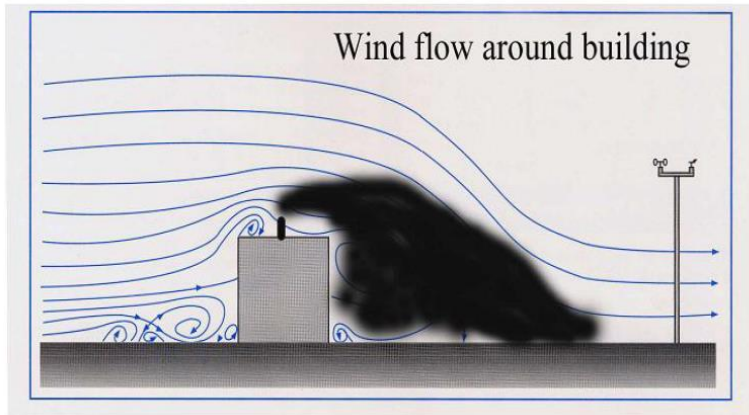
9. Η θερμική αεριοσφύρη μπορεί να επηρεάσει αρνητικά
μία σύνθεση 10 km αν στο σ_2 έχει (1200)
ισχύει

$$H_i = h_e + 2,15 \sigma_2 =$$

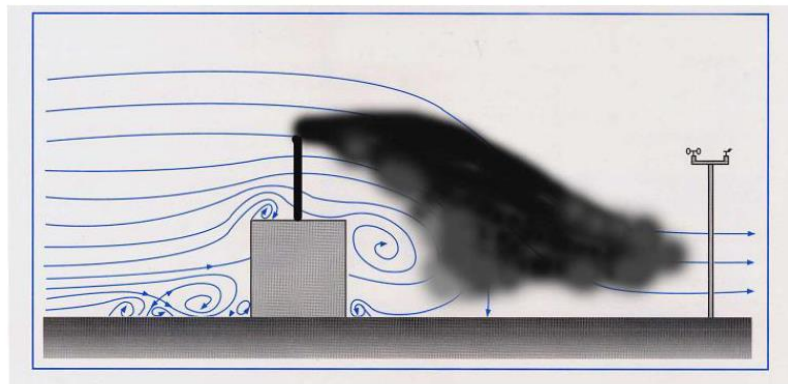
↑
ύψος θερμικής αεριοσφύρης

$$= 200m + 2,15 \times 1200 = 2780m$$

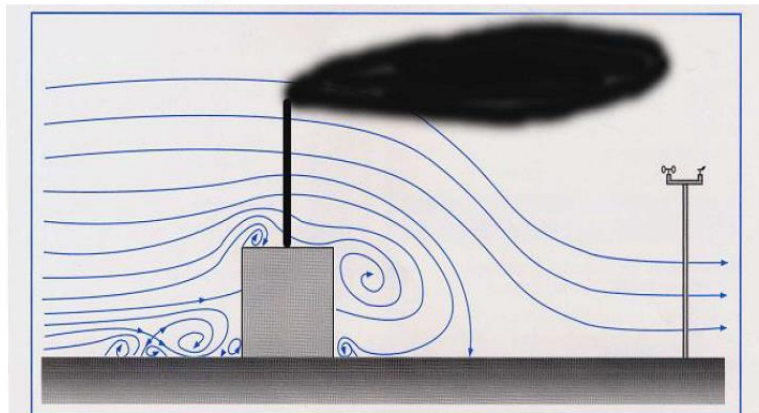
Building Downwash – Short Stack



Building Downwash – Taller Stack (Not GEP)



Building Downwash – Tallest Stack



Τυπικά πρέπει η καμινάδα να
Είναι ύψους τουλάχιστον
2,5 φορές το ύψος του κτιρίου