



# Ατμοσφαιρική Ρύπανση

## Ενότητα 5: Δυναμική της Ατμόσφαιρας

Μουσιόπουλος Νικόλαος  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# Δυναμική της Ατμόσφαιρας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

- Βασικές αρχές.
- Βασικός μηχανισμός δημιουργίας κυκλοφοριακού συστήματος .
- Δυνάμεις που επιδρούν στις αέριες μάζες.
- Αντικυκλώνες - Βαρομετρικά Υψηλά.
- Τοπικοί άνεμοι και ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Τοπογραφία και διασπορά



# Σκοποί ενότητας

- Διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Κατάσταση της ατμόσφαιρας:
  - **θερμοδυναμική** (θερμοκρασιακές διαφορές) και
  - **δυναμική** (κίνηση αερίων μαζών).



# Βασικές αρχές

- Οι ατμοσφαιρικές κινήσεις υπακούουν στους βασικούς νόμους της μηχανικής, δηλαδή τους νόμους διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας.
- Τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που δημιουργούν και διαμορφώνουν τις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα:
  - Η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της.
  - Η ηλιακή ενέργεια που απορροφά η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του εδάφους.
  - Η ανομοιομορφία του γήινου ανάγλυφου.
- Η πηγή ενέργειας για τη γη είναι ο ήλιος και η ανισομερής θέρμανση της γης από τον ήλιο αποτελεί την κύρια αιτία των μετεωρολογικών φαινομένων.



# Βασικός μηχανισμός δημιουργίας κυκλοφοριακού συστήματος

Η ανισομερής θέρμανση της γης από τον ήλιο λόγω:

- περιστροφής της γης (ημερήσιος κύκλος),
- διαφορετικής κλίσης της επιφάνειας της γης ως προς τις ακτίνες του ήλιου (εποχιακός κύκλος) και
- διαφορετικού συντελεστή απορρόφησης - ανάκλασης της επιφάνειας (θάλασσα - ξηρά - χιόνι),

αποτελεί την αιτία δημιουργίας των κυκλοφοριακών συστημάτων στην ατμόσφαιρα.





# Δυνάμεις που επιδρούν στις αέριες μάζες

- δύναμη της βαρύτητας
- δύναμη βαροβαθμίδας
- δυνάμεις τριβής

Στη μελέτη των ατμοσφαιρικών κινήσεων δε χρησιμοποιούμε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς αλλά ένα σύστημα που συμπεριστρέφεται με τη γη. Έτσι στην εξίσωση κίνησης συμπεριλαμβάνονται και «φαινομενικές» δυνάμεις που οφείλονται στην περιστροφή της γης:

- δυνάμεις αδράνειας
  - δύναμη Coriolis
  - φυγόκεντρος δύναμη



# Κλίμακες κυκλοφοριακών συστημάτων (1/2)

■ Κατηγορία **μικροκλίμακας**: οι ατμοσφαιρικές κινήσεις οφείλονται στην τοπική ανισομερή θέρμανση εδάφους και στην τοπογραφία. Οι δυνάμεις τριβής παίζουν σημαντικό ρόλο. Αναφέρεται σε οριζόντια έκταση λίγων δεκάδων χιλιομέτρων (κλίμακα 10 km) και σε ύψος που αντιστοιχεί στο ύψος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος.

■ Κατηγορία **μεσοκλίμακας**: οι ατμοσφαιρικές κινήσεις οφείλονται σε επιδράσεις των κυκλοφοριακών συστημάτων της ευρύτερης περιοχής, στη διαμόρφωση των οποίων οι δυνάμεις Coriolis έχουν ουσιαστική επίδραση. Αναφέρεται σε οριζόντια έκταση μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων (κλίμακα 100 km).



# Κλίμακες κυκλοφοριακών συστημάτων (2/2)

■ Κατηγορία **μακροκλίμακας**: οι ατμοσφαιρικές κινήσεις αναφέρονται σε όλον τον πλανήτη και έχουν επίδραση στο κλίμα της γης.

Κλίμακα Μήκους	Τυπικές διαστάσεις (L)	Παραδείγματα
Πλανητική	10 000 (km)	Παγκόσμια συστήματα κυκλοφορίας
Συνοπτική	1 000 (km)	Κυκλώνες μέσω γεωγραφικών πλατών
Μεσοκλίμακα	100 (km)	Καταιγίδες, θύελλες
Μικροκλίμακα	$\leq 10$ (km)	Νέφη, ανεμοστρόβιλοι

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0a9ra2>, 07/07/2015.



# Βασικές εξισώσεις – εξίσωση συνέχειας

Η εξίσωση συνέχειας προκύπτει από την αρχή διατήρησης της μάζας.

Μεταβολή μάζας ρευστού σε όγκο  
 $V = \Delta x \Delta y \Delta z$

$$\textcircled{1} \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = (\rho u)|_x \Delta y \Delta z - (\rho u)|_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z + (\rho v)|_y \Delta z \Delta x - (\rho v)|_{y+\Delta y} \Delta z \Delta x + (\rho w)|_z \Delta x \Delta y - (\rho w)|_{z+\Delta z} \Delta x \Delta y$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left[ \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) \right]$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} + \nabla \cdot \vec{v} = 0$$

Σε ρευστό σταθερής πυκνότητας έχουμε μηδενική απόκλιση της ταχύτητας:  $\nabla \cdot \vec{v} = 0$

$$\textcircled{3} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{v}) \quad \text{Εξίσωση συνέχειας}$$

Στην ατμόσφαιρα μπορεί να αννοηθεί η τοπική μεταβολή της πυκνότητας:  $\nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$

# Βασικές εξισώσεις – εξισώσεις κίνησης (1/2)

**Ουσιαστική χρονική παράγωγος** που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της φυσικής ποσότητας  $X$  ( $X = \rho, T$ ) κατά την κίνηση μιας μάζας, στην περιγραφή κατά Euler.

$$DX / Dt \equiv \partial X / \partial t + \mathbf{v} \cdot \nabla X$$

**τοπική παράγωγος:**  
ρυθμός μεταβολής του  $X$   
στο σημείο  $\mathbf{r}$ .

**παράγωγος μεταφοράς:**  
μεταβολή του  $X$  λόγω της κίνησης



# Βασικές εξισώσεις – εξισώσεις κίνησης (2/2)

Σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> νόμο του Νεύτωνα, η επιτάχυνση ενός στοιχείου αέρος είναι ίση με την ολική δύναμη που εξασκείται πάνω του δια της μάζας του στοιχείου.

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad \longrightarrow \quad \vec{a} = \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g}$$

Βαροβαθμίδα
Βαρύτητα

Ολικός ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας πακέτου αέρα που βρίσκεται στη θέση  $r$  τη χρονική στιγμή  $t$ :

$$\vec{a} = \frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$$

Παράγωγος μεταφοράς

Τοπική παράγωγος

Για ένα στοιχείο αέρα όγκου  $\tau$  ίσου με μονάδα, η πυκνότητα του αέρα επί την επιτάχυνση πρέπει να ισούται με το άθροισμα των δυνάμεων που ενεργούν πάνω του.

Coriolis Δυνάμεις τριβής

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p - 2 \vec{\Omega} \times \vec{v} + \frac{1}{\rho} \vec{F}_R$$



# Δύναμη Coriolis

- Η περιστροφή της γης διαφοροποιεί ριζικά το πρότυπο του κυκλοφοριακού συστήματος του δωματίου λόγω των εξ αυτής αναπτυσσόμενων δυνάμεων Coriolis που εφαρμόζονται πάνω σε κάθε αέρια μάζα κινούμενη με ταχύτητα  $V$ .
- Έτσι λόγω της περιστροφής της γης, ενεργεί πάνω στην αέρια μάζα η δύναμη Coriolis, με διανυσματική έκφραση  $2(\Omega \times V)$ . Στο βόρειο ημισφαίριο, η φαινομενική αυτή δύναμη στρέφει το διάνυσμα της ταχύτητας του ανέμου προς τα δεξιά.
- Η δύναμη Coriolis είναι αμελητέα για κινήσεις αερίων μαζών περιορισμένης χωρικής κλίμακας, όπως π.χ. στη δυναμική μεμονωμένων νεφών, παίζει όμως σημαντικό ρόλο στη δυναμική φαινομένων μεγάλης χωρικής κλίμακας, όπως π.χ. στους κυκλώνες και αντικυκλώνες.



# Ανάλυση της δύναμης Coriolis

$$C_x = 2\Omega(v \sin \varphi - w \cos \varphi)$$

$$C_y = -2\Omega u \sin \varphi$$

$$C_z = 2\Omega u \cos \varphi$$

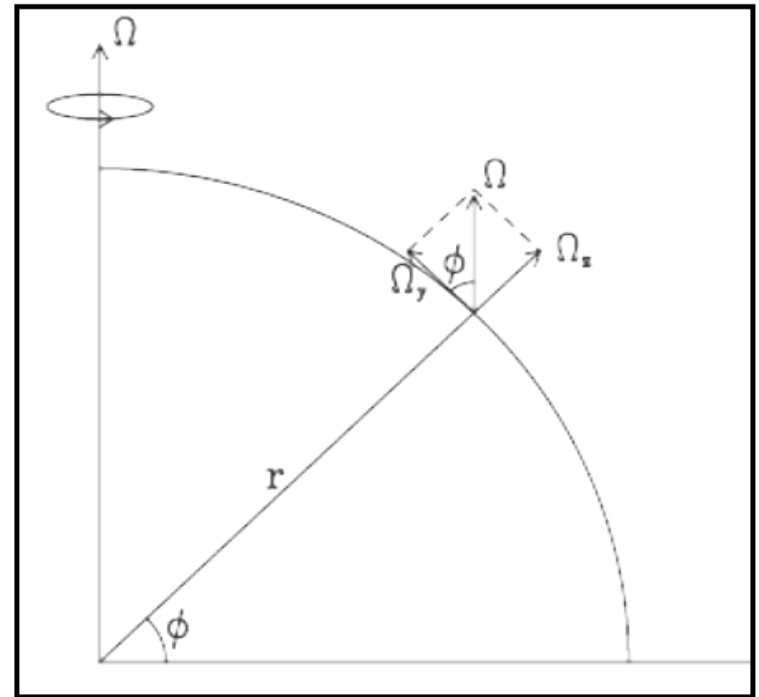
$$C_h = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = 2\Omega \sqrt{v^2 + u^2} \sin \varphi = 2\Omega V_h \sin \varphi$$

$$C_x = 2\Omega v \sin \varphi$$

$$C_y = -2\Omega u \sin \varphi$$

Αν συγκρίνουμε τις τιμές που παίρνει η  $C_z$  με τη δύναμη βαρύτητας ανά μονάδα μάζας,  $g$ , βρίσκουμε ότι  $C_z \ll g$ .

Στην ατμόσφαιρα οι οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας ( $u$  και  $v$ ) είναι αρκετές φορές μεγαλύτερες της κατακόρυφης συνιστώσας  $w$ , οπότε ο όρος  $2\Omega w \cos \varphi$  μπορεί να παραληφθεί σε σύγκριση με τον όρο  $2\Omega v \sin \varphi$ .





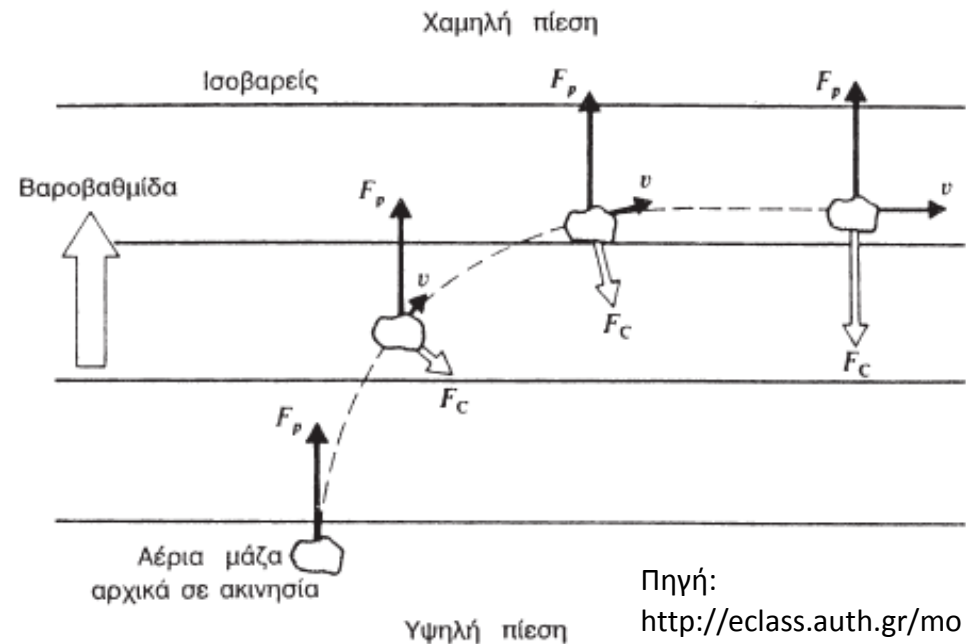
# Γεωστροφικός άνεμος

Η δύναμη βαροβαθμίδας είναι υπεύθυνη για τις ατμοσφαιρικές κινήσεις μεγάλης κλίμακας στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = 0$$

Αμελητέες  
δυνάμεις τριβής.

Η ταχύτητα  $\mathbf{V}_G$  που καθορίζεται από την εξισορρόπηση των δυνάμεων **Coriolis** και **βαροβαθμίδας** ονομάζεται **γεωστροφικός άνεμος** και αποτελεί, για μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, καλή προσέγγιση των παρατηρούμενων ανέμων μεγάλης κλίμακας άνω των 1000 – 2000 m.



$$|\vec{v}_G| = \frac{1}{\rho f} \frac{p_2 - p_1}{d}$$

Πηγή:  
<http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MENG352Περιεχόμενα%20Μαθήματος/Fenomena%20Metaforas%2005%20TELIKO.pdf>,  
08/07/2015.



# Κίνηση γεωστροφικού ανέμου

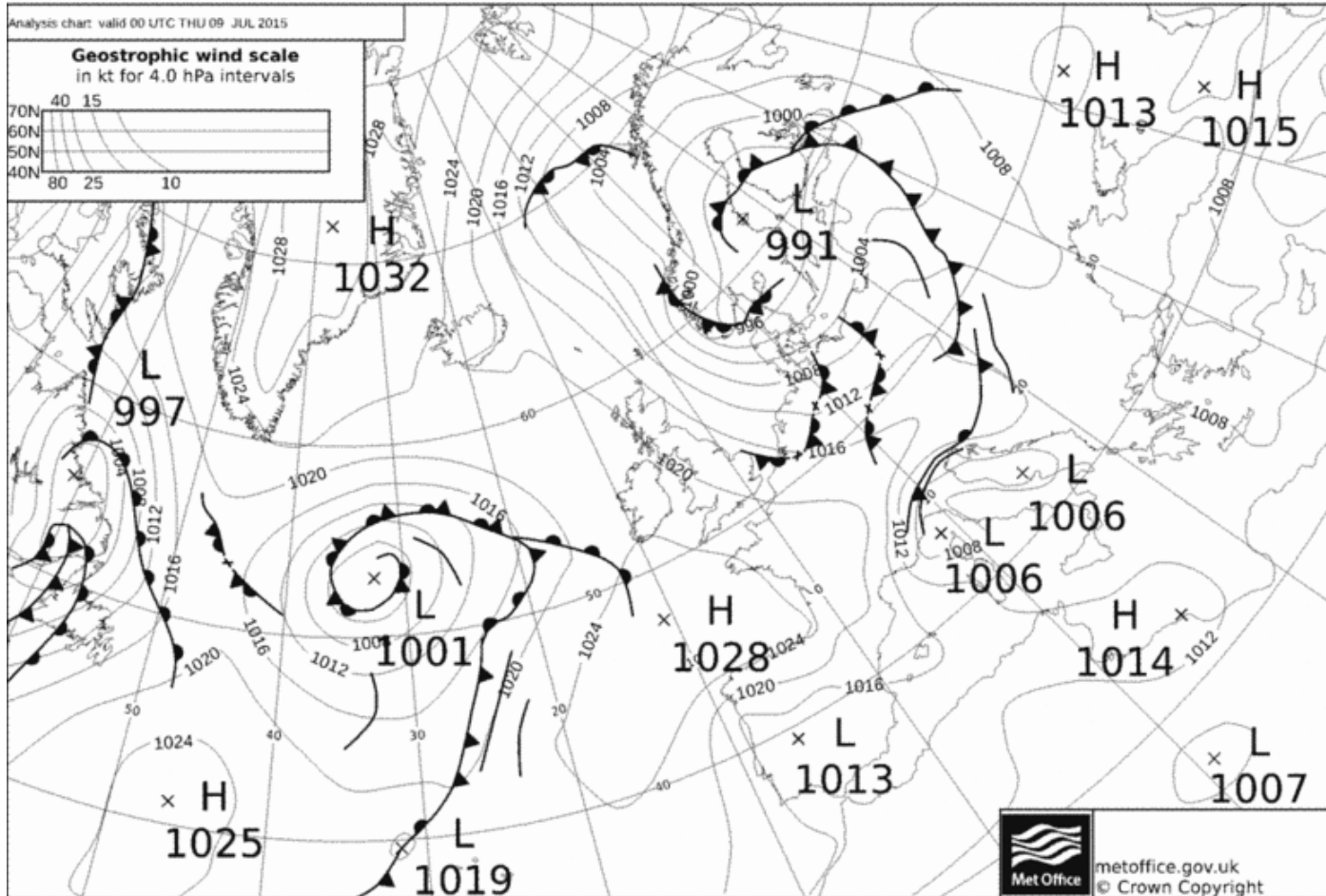
Το διάνυσμα του γεωστροφικού ανέμου είναι κάθετο προς την βαροβαθμίδα συνεπώς ο γεωστροφικός άνεμος εφάπτεται των ισοβαρών καμπυλών της περιοχής.

Οι ισοβαρείς χαμηλότερης τιμής βρίσκονται στα **αριστερά** της κατεύθυνσης κίνησης του ανέμου στο Β. ημισφαίριο.

Η κίνηση των αερίων μαζών θα γίνει λόγω της διαφοράς πίεσης (**από υψηλή πίεση προς χαμηλή**), αλλά η επίδραση των δυνάμεων Coriolis θα στρέφει σταδιακά το διάνυσμα της ταχύτητας προς τα δεξιά μέχρις ότου η ταχύτητα του ανέμου γίνει εφαπτομενική στις ισοβαρείς.



# Ισοβαρείς Καμπύλες – Χάρτης Καιρού



Πηγή: [http://galaxy.hua.gr/~meteoclima/index.php?option=com\\_content&view=article&id=95&Itemid=79](http://galaxy.hua.gr/~meteoclima/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=79), 09/07/2015.



# Άνεμος βαροβαθμίδας

Ο άνεμος βαροβαθμίδας αποτελεί μία απλή μορφή επιταχυνόμενης ατμοσφαιρικής ροής, αυτήν της μόνιμης κυκλικής κίνησης, και χαρακτηρίζεται από την κεντρομόλο επιτάχυνση.

Εξισώσεις κίνησης  $\longrightarrow \pm \frac{v_h^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \left| \frac{\partial p}{\partial r} \right| + f v_h \quad \longrightarrow \quad a_x = \frac{|\bar{v}_h|^2}{r}$

Κυκλώνας

$$v_h = V \left( \sqrt{1 + 2 \frac{G}{V}} - 1 \right)$$

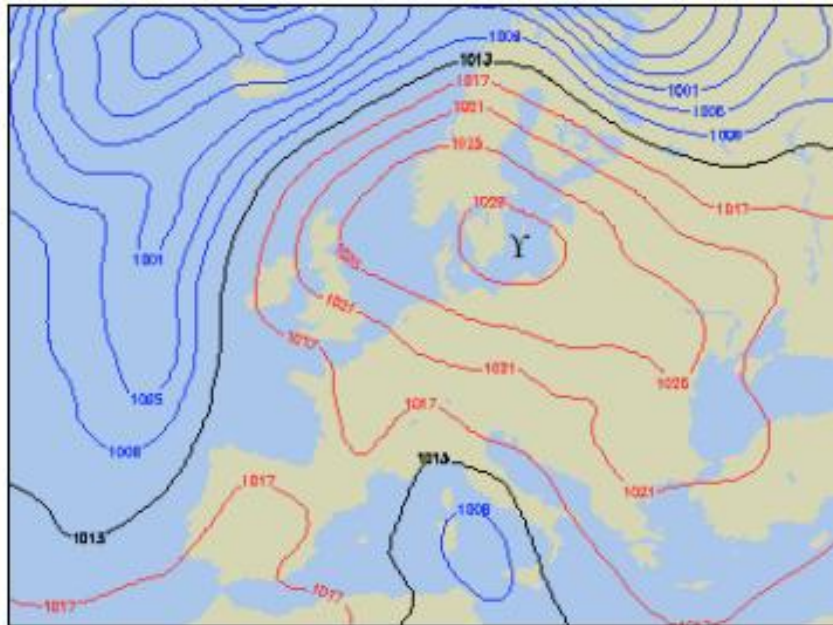
Αντικυκλώνας

$$v_h = V \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \frac{G}{V}} \right)$$

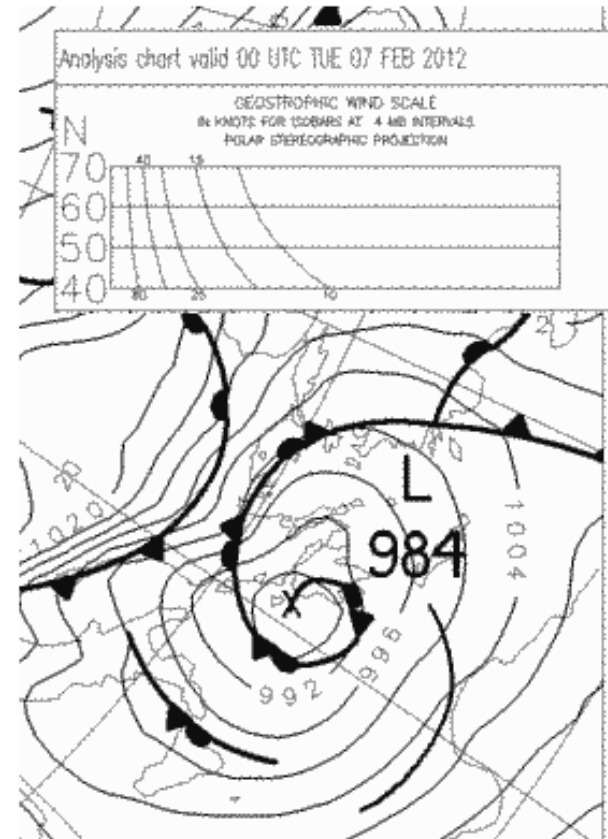
$$(V = \frac{1}{2} r f)$$



# Μορφές Ισοβαρών



Πηγή:  
[http://weatherpantokratoras.blogspot.gr/2015/01/blog-post\\_91.html](http://weatherpantokratoras.blogspot.gr/2015/01/blog-post_91.html), 09/07/2015.



Πηγή: [http://meteomarine.gr/meteomarine\\_plus/wp-content/uploads/2014/10/wind\\_example.png](http://meteomarine.gr/meteomarine_plus/wp-content/uploads/2014/10/wind_example.png), 09/07/2015.

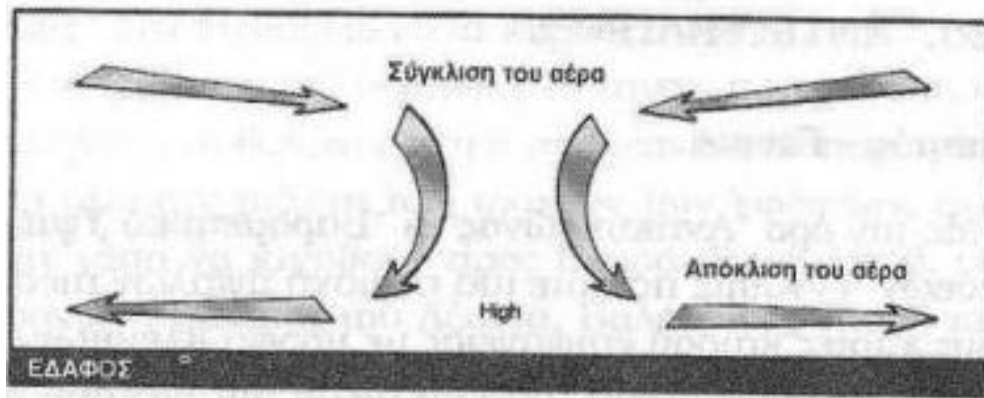


# Αντικυκλώνες - Βαρομετρικά Υψηλά

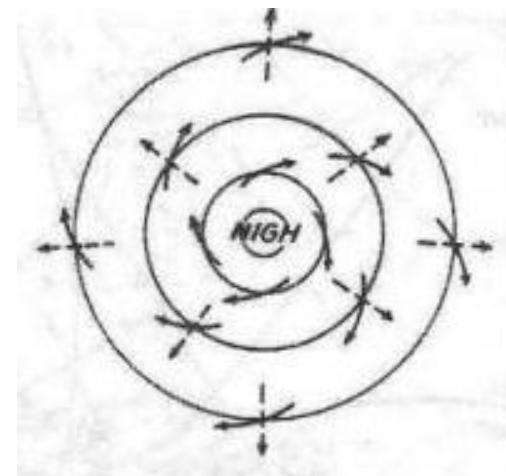
Εμφανίζεται καθοδική κίνηση του αέρα (**κατάπτωση** - subsidence) στο μέσο της τροπόσφαιρας και οριζόντια διασπορά του αέρα (**απόκλιση**) κοντά στην επιφάνεια.

Σύστημα καλοκαιρίας (διάλυση νεφών – αδιαβατική θέρμανση).

**Αποτέλεσμα:** αύξηση των συγκεντρώσεων στο επίπεδο του εδάφους συχνά λόγω θερμοκρασιακών αναστροφών (ο κατερχόμενος αέρας είναι θερμότερος από αυτόν που βρίσκεται πιο κάτω).



Πηγή:  
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math6.html>,  
09/07/2015.



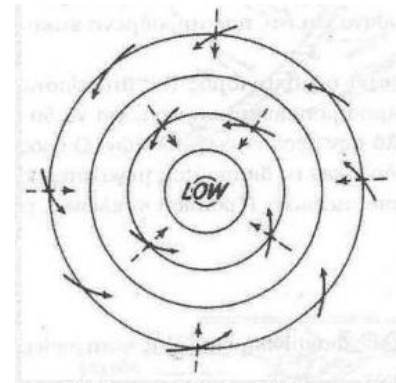
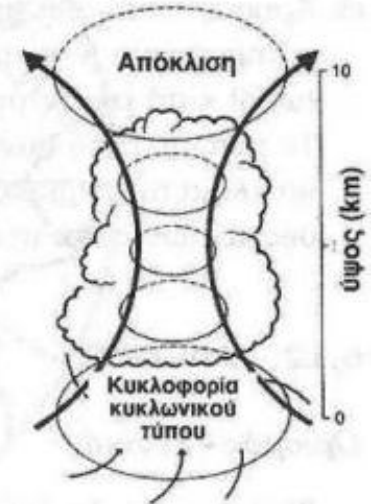
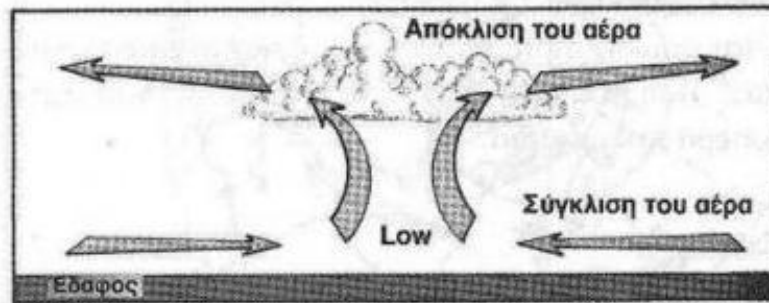
# Κυκλώνες - Βαρομετρικά Χαμηλά

Εμφανίζεται **ανοδική** κίνηση του αέρα στο μέσο της τροπόσφαιρας και **σύγκλιση** του αέρα κοντά στην επιφάνεια.

Σύστημα κακοκαιρίας (νέφωση – υετός - άνεμοι).

**Αποτέλεσμα:** διάχυση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε ανώτερα στρώματα και άρα μείωση των συγκεντρώσεων στο επίπεδο του εδάφους.

Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math6.html>, 09/07/2015.



# Θερμικός άνεμος (1/2)

Η συνιστώσα του ανέμου που οφείλεται στην ανομοιογένεια της οριζόντιας κατανομής της θερμοκρασίας αποκαλείται θερμικός άνεμος.

Δεν υπάρχει θερμικός άνεμος.

Προκαλείται θερμικός άνεμος.



$$T_A = T_B$$

$$T_A < T_B \text{ (ο αέρας στο B διαστέλλεται)}$$

$$P(L)_A = P(L)_B$$

$$P(U)_A < P(U)_B$$

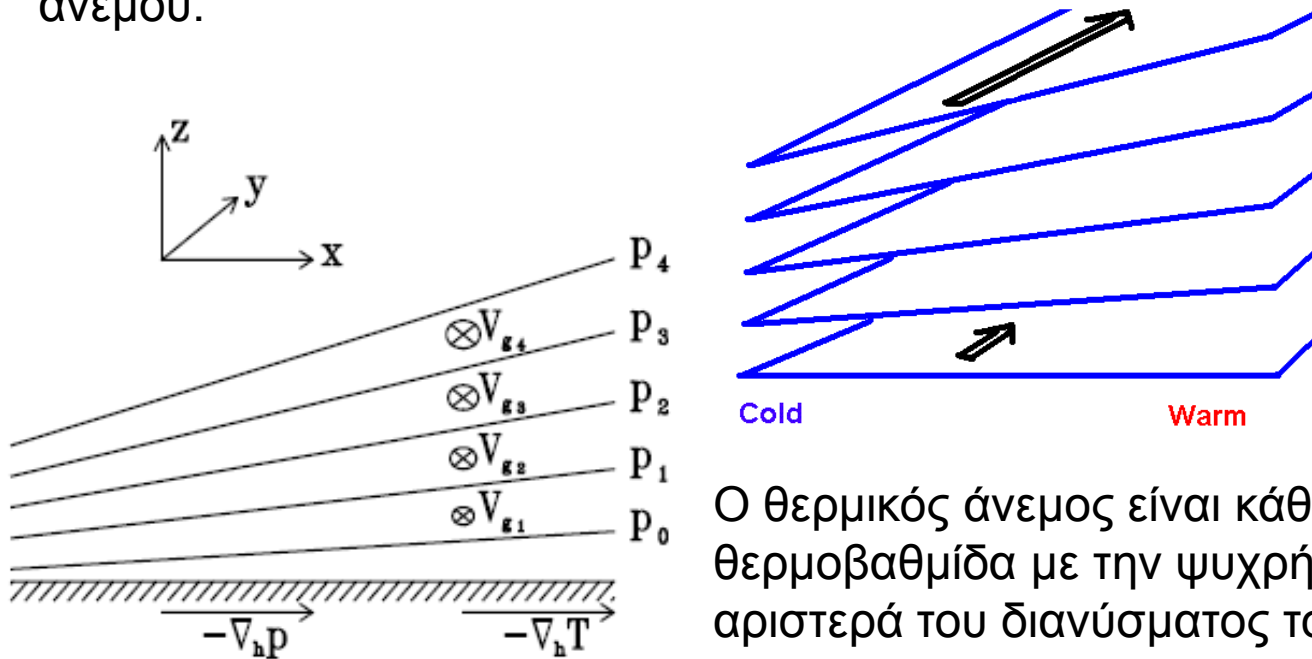
Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,09/07/2015>.





# Θερμικός άνεμος (2/2)

Αν υπάρχει μια οριζόντια κλίση της θερμοκρασίας, οι ισοβαρείς επιφάνειες είναι κεκλιμένες προς τα κάτω, από τις θερμές προς τις ψυχρές περιοχές. Η κλίση των ισοβαρών αυξάνει με το ύψος, και συνεπώς υπάρχει μια κατακόρυφη αύξηση στην οριζόντια μεταβολή της πίεσης και συνεπώς του γεωστροφικού ανέμου.



Ο θερμικός άνεμος είναι κάθετος στην οριζόντια θερμοβαθμίδα με την ψυχρή περιοχή προς τα αριστερά του διανύσματος του θερμικού ανέμου.

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,09/07/2015>.



# Τοπικοί άνεμοι και ατμοσφαιρική ρύπανση

- Οι ρύποι μιας καπνοδόχου απομακρύνονται ακολουθώντας υποχρεωτικά την κατεύθυνση πνοής του ανέμου.
- Η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι σταθερή. Παρουσιάζει ακανόνιστη ακολουθία από ριπές και εφησυχασμούς, ενώ παράλληλα η διεύθυνση του παρουσιάζει ακανόνιστες διακυμάνσεις.
- Τα ίδια φαινόμενα παρατηρούνται και κατά την κατακόρυφη έννοια.
- Το ανώμαλο έδαφος, τα κτίρια, τα δέντρα, οι φράχτες και η χλόη σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική αστάθεια εξαναγκάζουν τον αέρα να ακολουθεί στροβιλοειδείς αναταρακτικές κινήσεις.
- Ανάλογα με το μέγεθος των στροβιλισμών ευνοείται η διάχυση ή η μεταφορά των ρύπων.



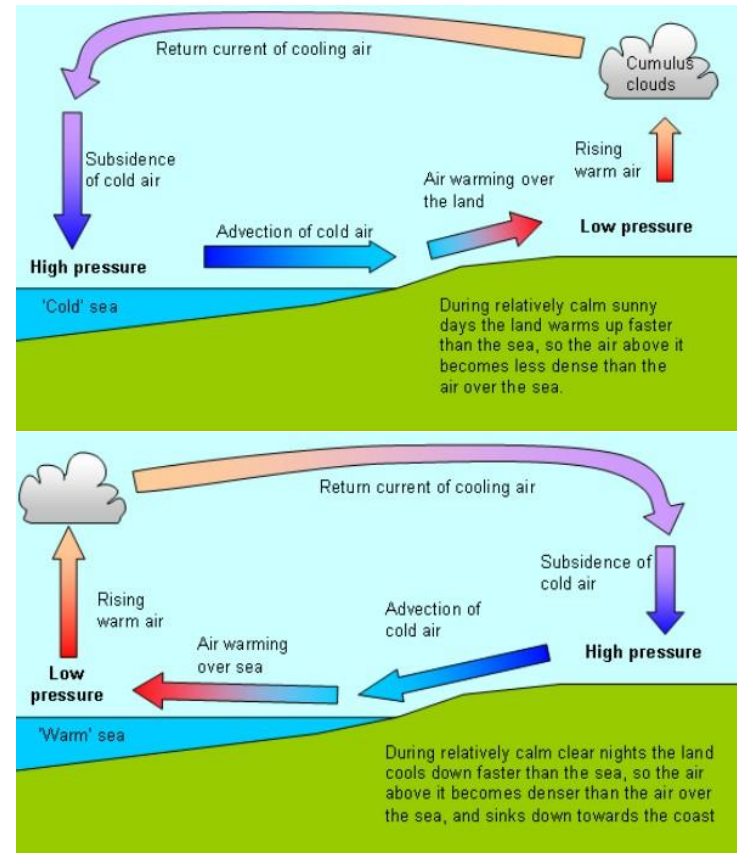
# Επιπτώσεις της άπνοιας

- Οι άπνοιες ή οι ασθενείς άνεμοι ευνοούν τη συγκέντρωση των ρύπων, ιδιαίτερα όταν συνοδεύονται από ατμοσφαιρική ευστάθεια.
- Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει απουσία οριζόντιας βαροβαθμίδας με αποτέλεσμα την εμφάνιση τοπικών συστημάτων ανέμου.
- Τα τοπικά συστήματα χαρακτηρίζονται από μικρές ταχύτητες αέρα, από κλειστή κυκλοφορία και **αντιστροφή** του κύκλου σε 24ωρη βάση.
- Οι συνθήκες αυτές **δεν επιτρέπουν την απομάκρυνση** των ρύπων, αφού στην ουσία υπάρχει μια παλινδρόμηση του μολυσμένου αέρα.



# Θαλάσσια αύρα

- **Αιτία:** Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ παράκτιας περιοχής και θάλασσας.
- **Ημέρα** (θαλάσσια αύρα):
  - Κίνηση του αέρα προς την ξηρά και κοντά στην επιφάνεια (2-3 m/s).
  - Πάνω από την ξηρά: ανοδική κίνηση αέριων μαζών.
  - Στη θάλασσα καθοδική κίνηση σε μεγαλύτερο ύψος (~ 1 km).
- **Νύχτα** (απόγειος αύρα): αντίστροφο φαινόμενο.

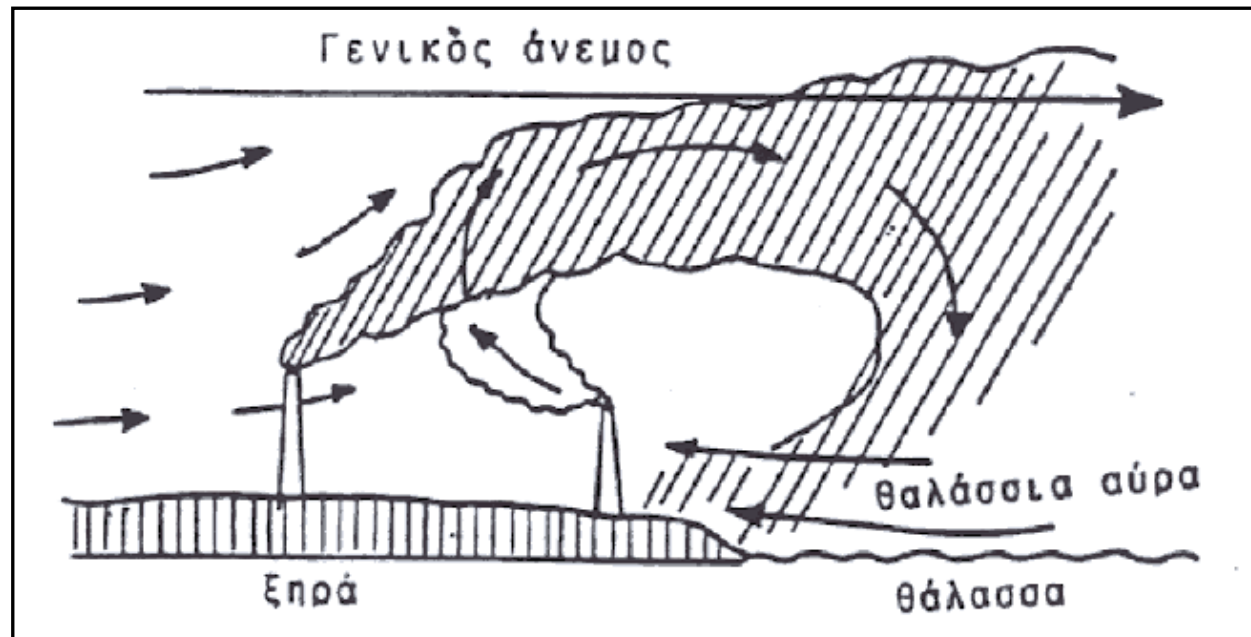


Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,09/07/2015>.



# Θαλάσσια αύρα και κατανομή των ρύπων (1/2)

- Στις θαλάσσιες αύρες ο αέρας εισχωρεί αρκετά χιλιόμετρα στην ενδοχώρα, πριν ανυψωθεί και επιστρέψει προς τη θάλασσα.



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx,09/07/2015>.



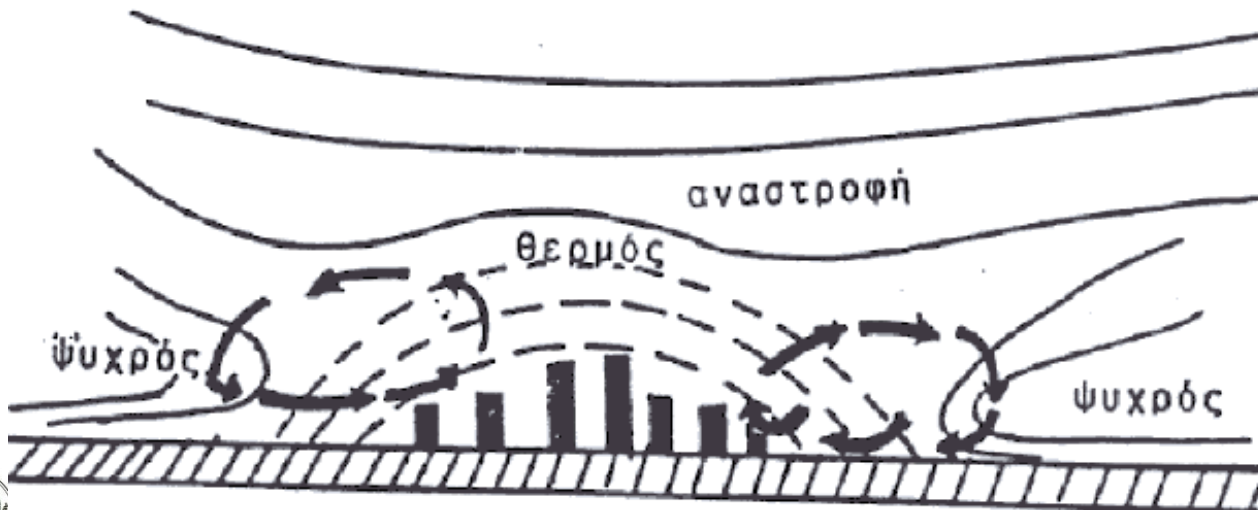
# Θαλάσσια αύρα και κατανομή των ρύπων (2/2)

- Εάν ο γενικός άνεμος, υψηλότερα, κατευθύνεται προς τη θάλασσα, ενισχύει τον κλειστό δακτύλιο της κυκλοφορίας του αέρα και ευνοεί τη συγκέντρωση των ρύπων.
- Η ύπαρξη πηγών εκπομπής ρύπων στην περιοχή προκαλεί έντονη συγκέντρωση ρύπων, στα σημεία που συγκλίνουν τα αέρια ρεύματα.
- Ο αέρας επάνω από την ξηρά ανυψώνεται και αποτρέπει τη συγκέντρωση ρύπων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ προκαλεί συγκέντρωση ρύπων σε μεγαλύτερα ύψη. Επάνω από τη θάλασσα τα καθοδικά ρεύματα προκαλούν επιφανειακή συγκέντρωση ρύπων που στη συνέχεια θα οδηγηθούν στη στεριά.



# Αστική Θερμونهσίδα

- Κατά την επικράτηση αντικυκλωνικών συνθηκών, η θερμή αστική νησίδα δημιουργεί, επάνω από μια πόλη, ένα επικίνδυνο θερμικό κλειστό σύστημα ανέμων. Επιφανειακά ρεύματα από τις παρυφές συγκλίνουν προς το θερμικό κέντρο. Ο αέρας ανυψώνεται, αποκλίνει προς τα έξω και καθιζάνει στις παρυφές κλείνοντας το δακτύλιο κυκλοφορίας.



Πηγή:  
<http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurx>, 09/07/2015.



# Τοπογραφία και διασπορά

- Το ανάγλυφο διαμορφώνει τα πεδία ροής.
- Η παρεμβολή ενός λόφου στην πορεία μιας δέσμης ρύπων θα εξαναγκάσει τους ρύπους να έλθουν σε επαφή με τις πλαγιές του λόφου.
- Το ίδιο ακριβώς μπορεί να συμβεί και τη νύχτα αν η δέσμη των ρύπων - σε συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας - συναντήσει το αστικό θερμικό λοφίο μια πόλης.
- Οι ρύποι στην περίπτωση αυτή θα αυξήσουν σημαντικά το ρυπαντικό φορτίο της πόλης.
- Αν η ορεινή έξαρση ή η κοιλάδα βρίσκεται προς την πλευρά της πόλης με τη μεγαλύτερη συχνότητα των ανέμων, τα εμπόδια αυτά ασκούν ευεργετικό ρόλο απορρύπανσης.
- Μια τέτοια συνθήκη αποτελεί ο Βαρδάρης, όπου ο άνεμος που έρχεται από τα ΒΔ καναλίζεται στην κοιλάδα του Αξιού και εξέρχεται με μεγάλες ταχύτητες.



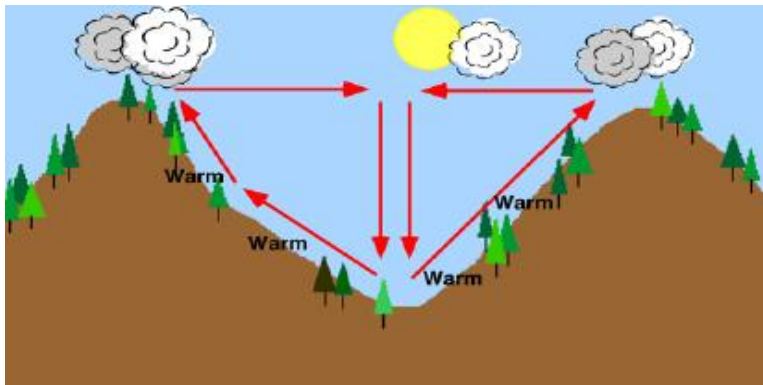


# Άνεμοι βουνού - κοιλάδας

- Εμφανίζονται πάνω από μια επικλινή επιφάνεια και οφείλονται στη χρονική διακύμανση της θέρμανσης του εδάφους την ημέρα και ψύξης τη νύχτα.

**Αύρα κοιλάδας:** διεύθυνση παράλληλη προς την κοιλάδα και ανοδική φορά (2-4 m/s).

**Αποτέλεσμα:** απομάκρυνση ρύπων προς ανώτερα στρώματα.



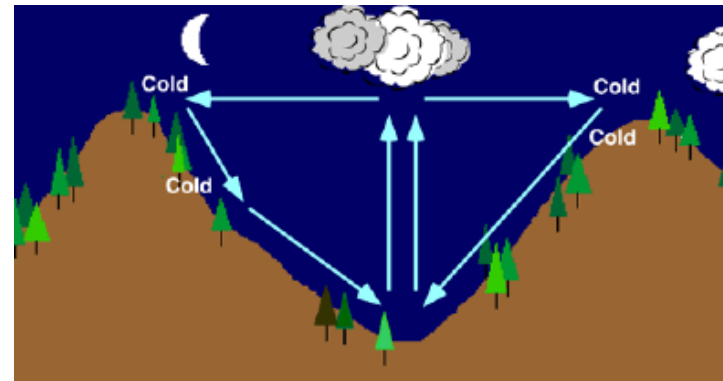
Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,09/07/2015>.

[http://static.trunity.net/files/119801\\_119900/119830/350px-Daytime\\_valleybreeze.gif](http://static.trunity.net/files/119801_119900/119830/350px-Daytime_valleybreeze.gif)

[http://a.static.trunity.net/files/119801\\_119900/119831/350px-Nighttime\\_mountainbreeze.gif](http://a.static.trunity.net/files/119801_119900/119831/350px-Nighttime_mountainbreeze.gif)

**Αύρα βουνού:** διεύθυνση παράλληλη προς την κοιλάδα και καθοδική φορά ( $\approx 1$  m/s).

**Αποτέλεσμα:** συσσώρευση ρύπων στην επιφάνεια.

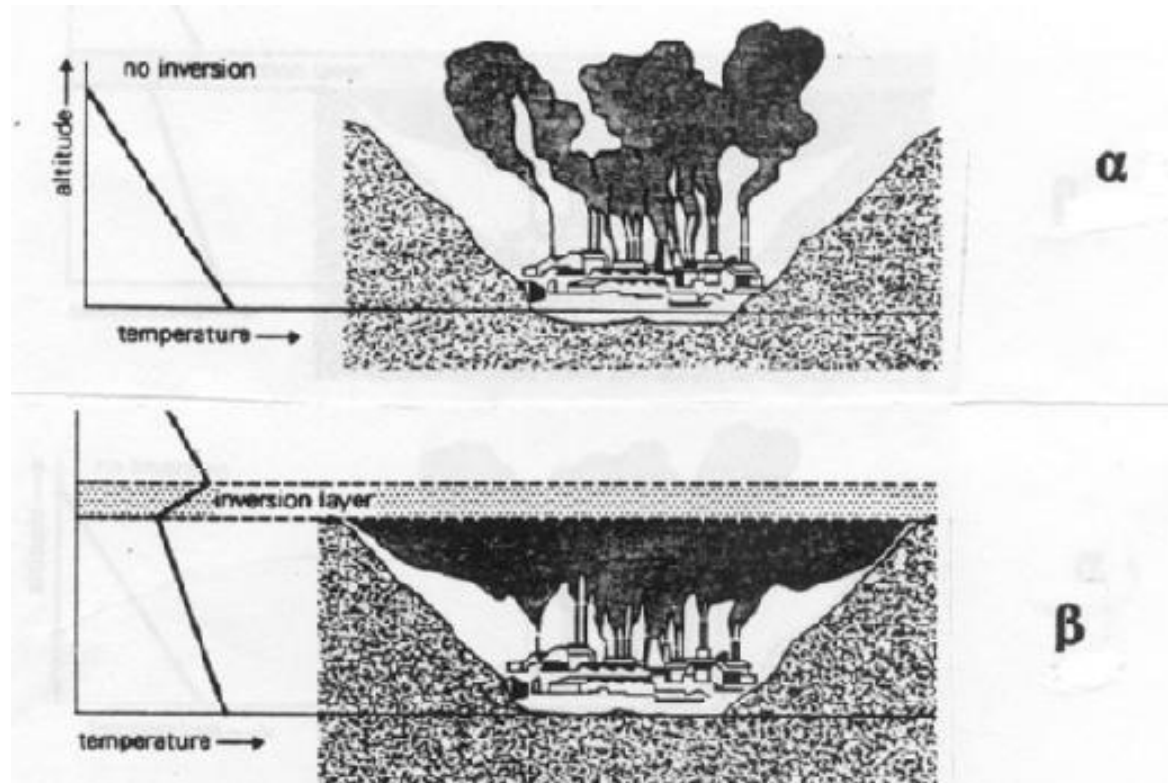


# Κοιλιάδες και ρύποι

- Αν οι ρυπογόνες πηγές βρίσκονται στη βάση της κοιλάδας, η μορφολογία ενεργεί αυξητικά στη ρύπανση.
- Σε καταστάσεις ισχυρής αστάθειας, οι ρύποι ανέρχονται ψηλά και απομακρύνονται από τους γενικούς ανέμους.
- Αν υπάρχει αναστροφή της θερμοκρασίας οι ρύποι εγκλωβίζονται από το στρώμα της αναστροφής και παγιδεύονται μέσα στην κοιλάδα.
- Στη συνέχεια όλη η διαδικασία μεταφοράς των ρύπων ακολουθεί τους ανέμους που αναπτύσσονται μέσα στην κοιλάδα ημέρα ή νύχτα.



# Η κίνηση των ρύπων μέσα σε μια κοιλάδα



Χωρίς αναστροφή της θερμοκρασίας ( $\alpha$ ) και με αναστροφή ( $\beta$ ).

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurx>, 09/07/2015.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
  - Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες:
    - <http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MENG352Περιεχόμενα%20Μαθήματος/Fenomena%20Metaforas%2005%20TELIKO.pdf>, 08/07/2015.
    - [http://galaxy.hua.gr/~meteoclima/index.php?option=com\\_content&view=article&id=95&Itemid=79](http://galaxy.hua.gr/~meteoclima/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=79), 09/07/2015.
    - [http://weatherpantokratoras.blogspot.gr/2015/01/blog-post\\_91.html](http://weatherpantokratoras.blogspot.gr/2015/01/blog-post_91.html), 09/07/2015.
    - [http://meteomarine.gr/meteomarine\\_plus/wp-content/uploads/2014/10/wind\\_example.png](http://meteomarine.gr/meteomarine_plus/wp-content/uploads/2014/10/wind_example.png), 09/07/2015.
    - <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math6.html>, 09/07/2015.
    - <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx>, 09/07/2015.
  - Πίνακες:
    - <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0a9ra2>, 07/07/2015.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μουσιόπουλος Νικόλαος. «Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Δυναμική της Ατμόσφαιρας». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS407/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Περκουλίδης Γιώργος>  
Θεσσαλονίκη, <Εαρινό Εξάμηνο 2014-2015>



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

