



ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 6

ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΝΤΑΝΤΟΥ
Ε.ΔΙ.Π. Τμήματος Φυσικής
antant@uoa.gr

ΑΘΗΝΑ, 2026

Χάρτης 300 hPa

Αεροχέιμαρος

Ισοπαχείς

Θερμικός άνεμος

Χάρτης 300 hPa

Χάρτης 300 hPa

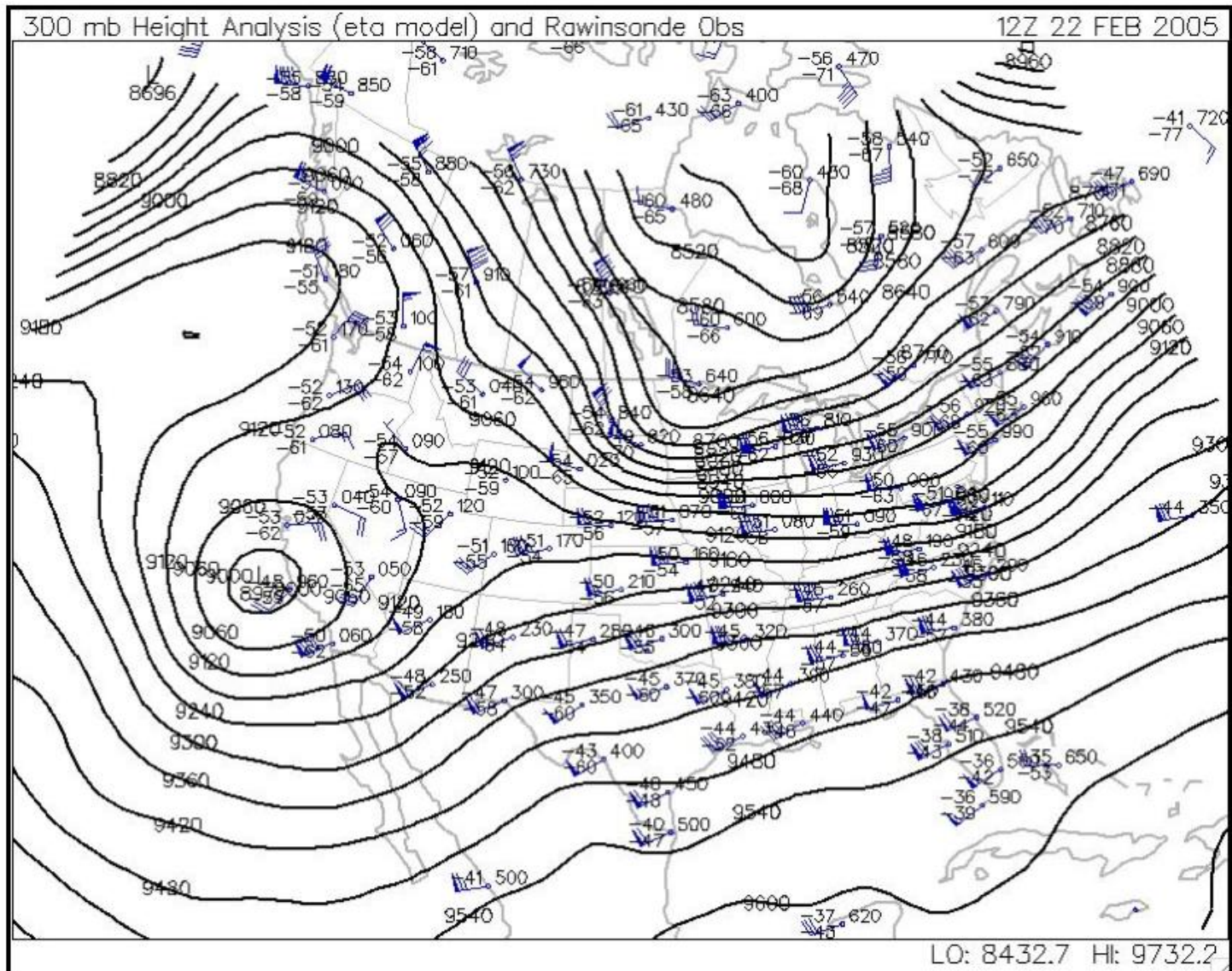
Βασική ισοϋψής ~9,000 gpm

- ❑ Εξετάζεται η ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην ανώτερη τροπόσφαιρα με εντοπισμό των **troughs/ridges** και των **κλειστών χαμηλών**.
- ❑ Εξέταση της **απόκλισης και της σύγκλισης** στο επίπεδο της τροπόπαυσης (σε σχέση με την επιφάνεια).
- ❑ Εξέταση της **θέσης και της καμπυλότητας του αεροχειμάρρου**.
- ❑ Εντοπισμός του **επιφανειακού χαμηλού ή αντικυκλώνα** σε σχέση με τον αεροχείμαρρο.

- Μέσο ύψος **9,000 m**
- Εύρος τιμών **~8600-9600 gpm**
- Ισοταχείς με γραμμοσκίαση για **τιμές >30 m/s**

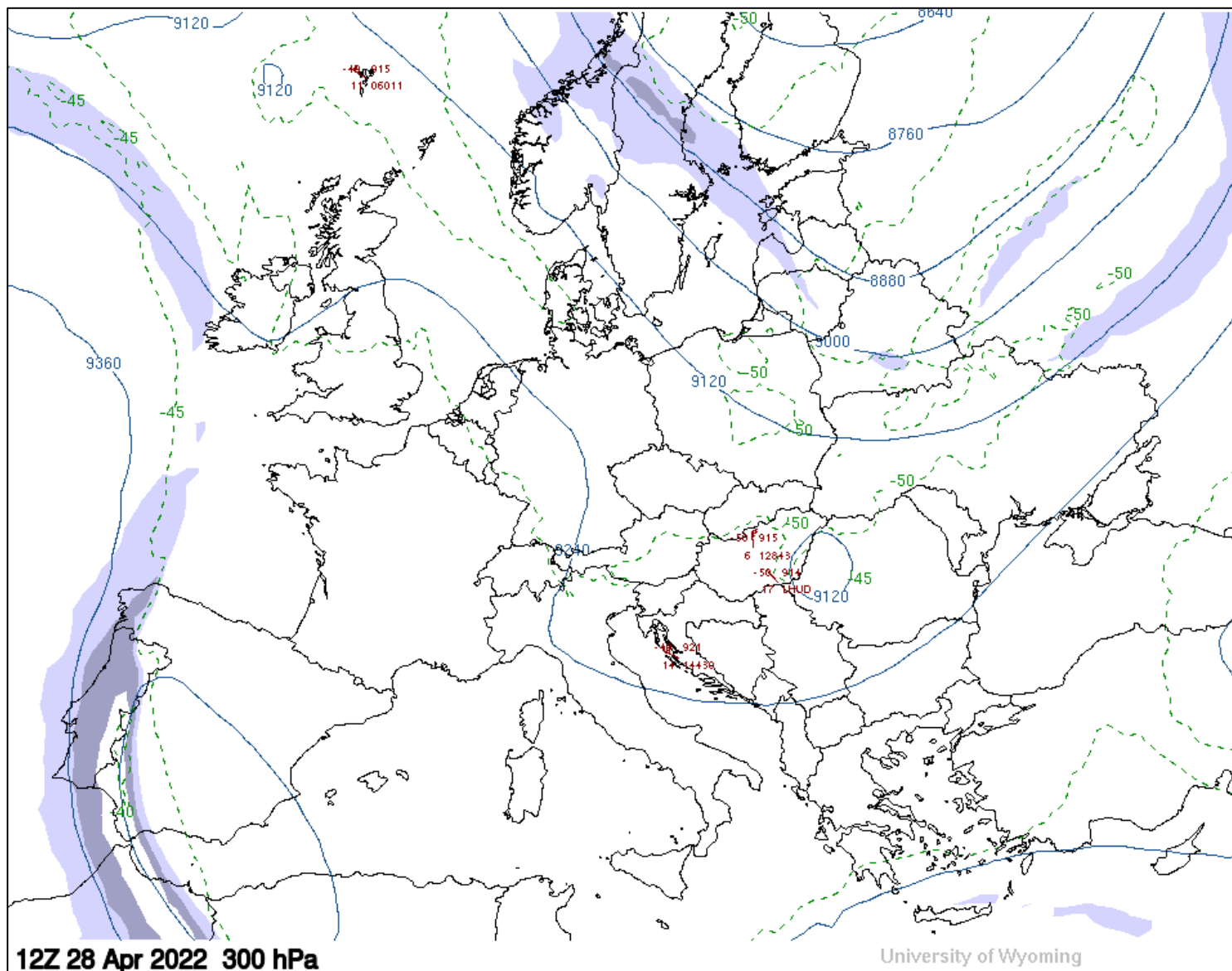
Χάρτης 300 hPa

Ισοϋψείς – Σταθμοί



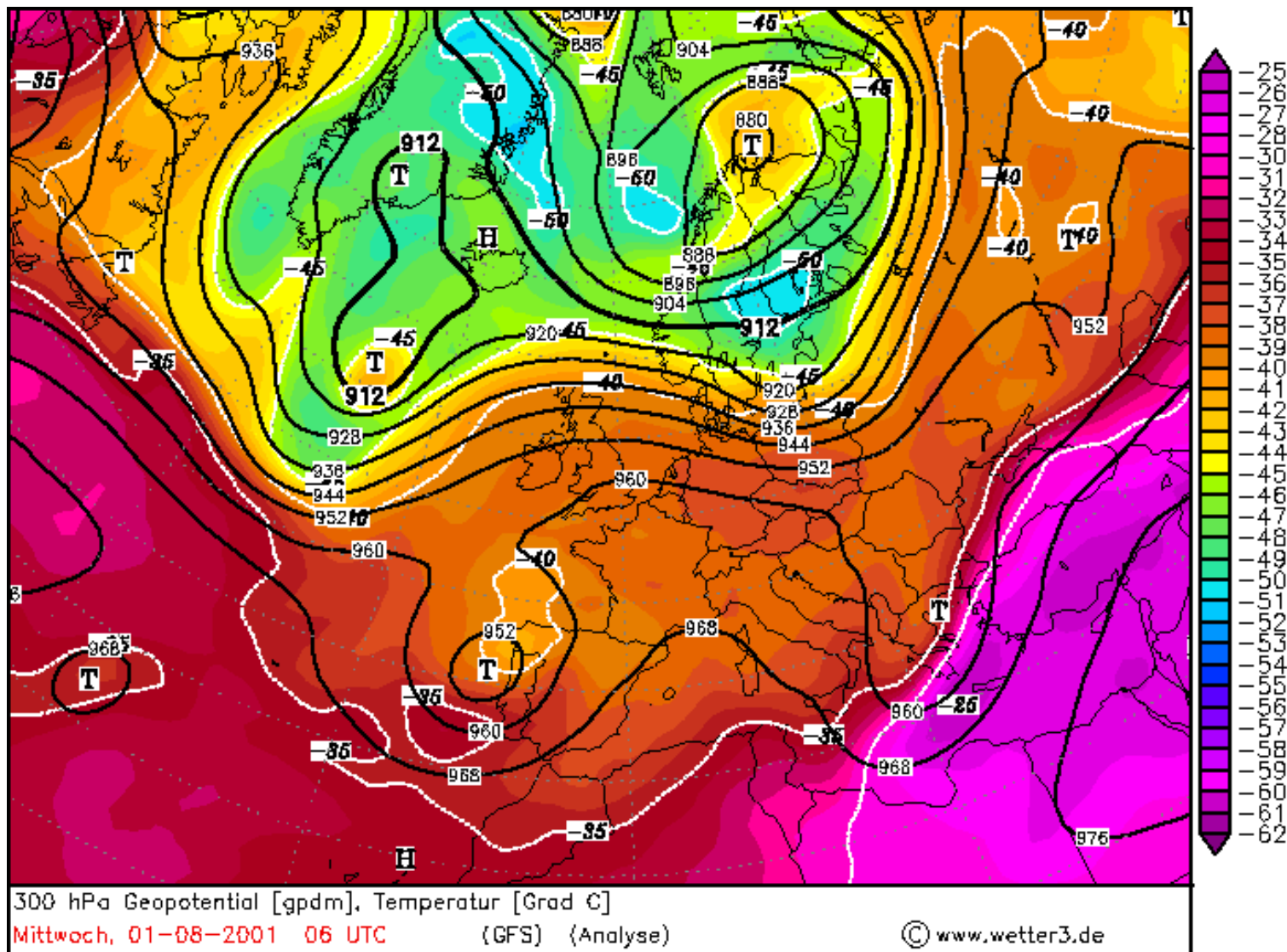
Χάρτης 300 hPa

Ισοϋψείς – Ισόθερμες



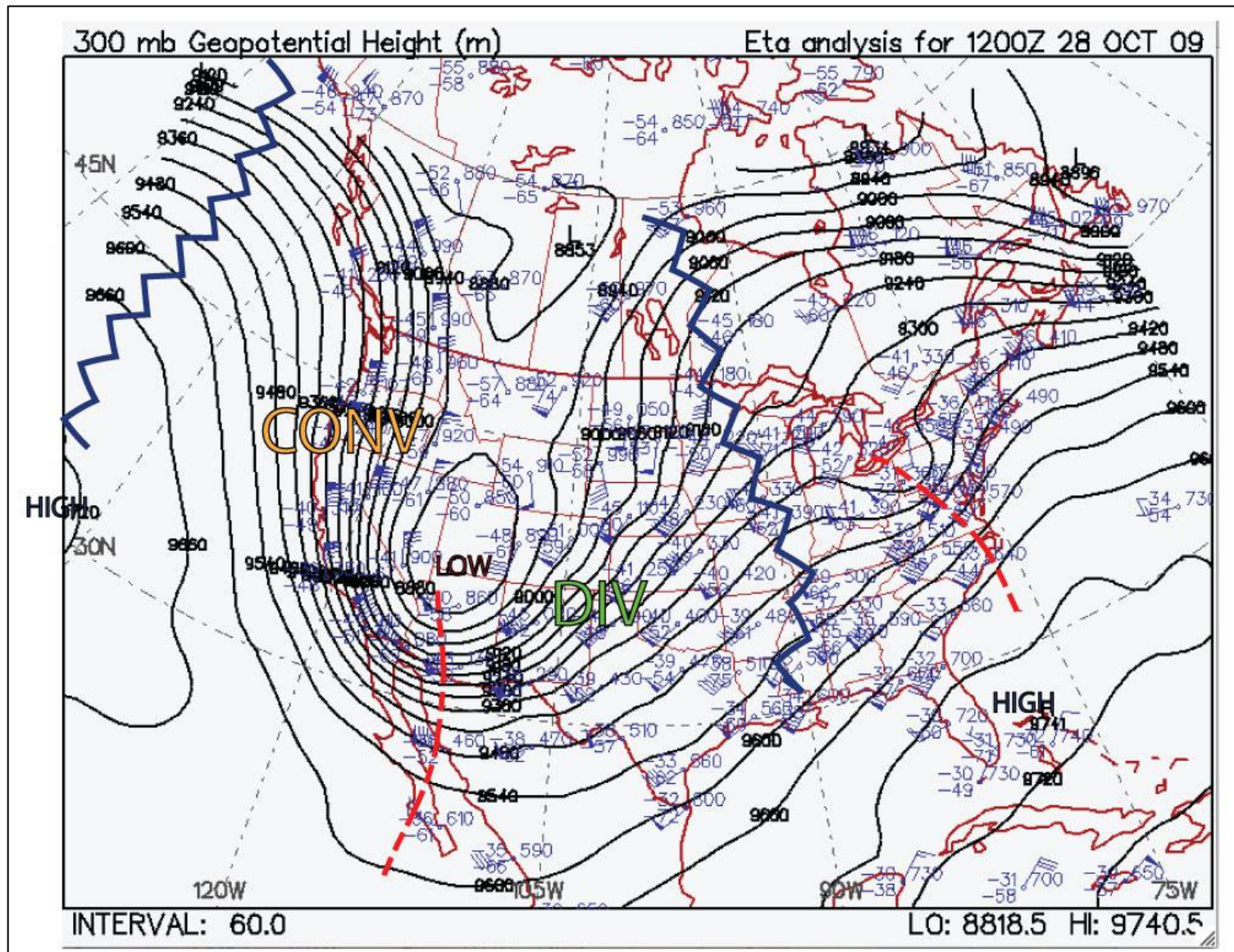
Χάρτης 300 hPa

Ισοϋψείς – Ισόθερμες



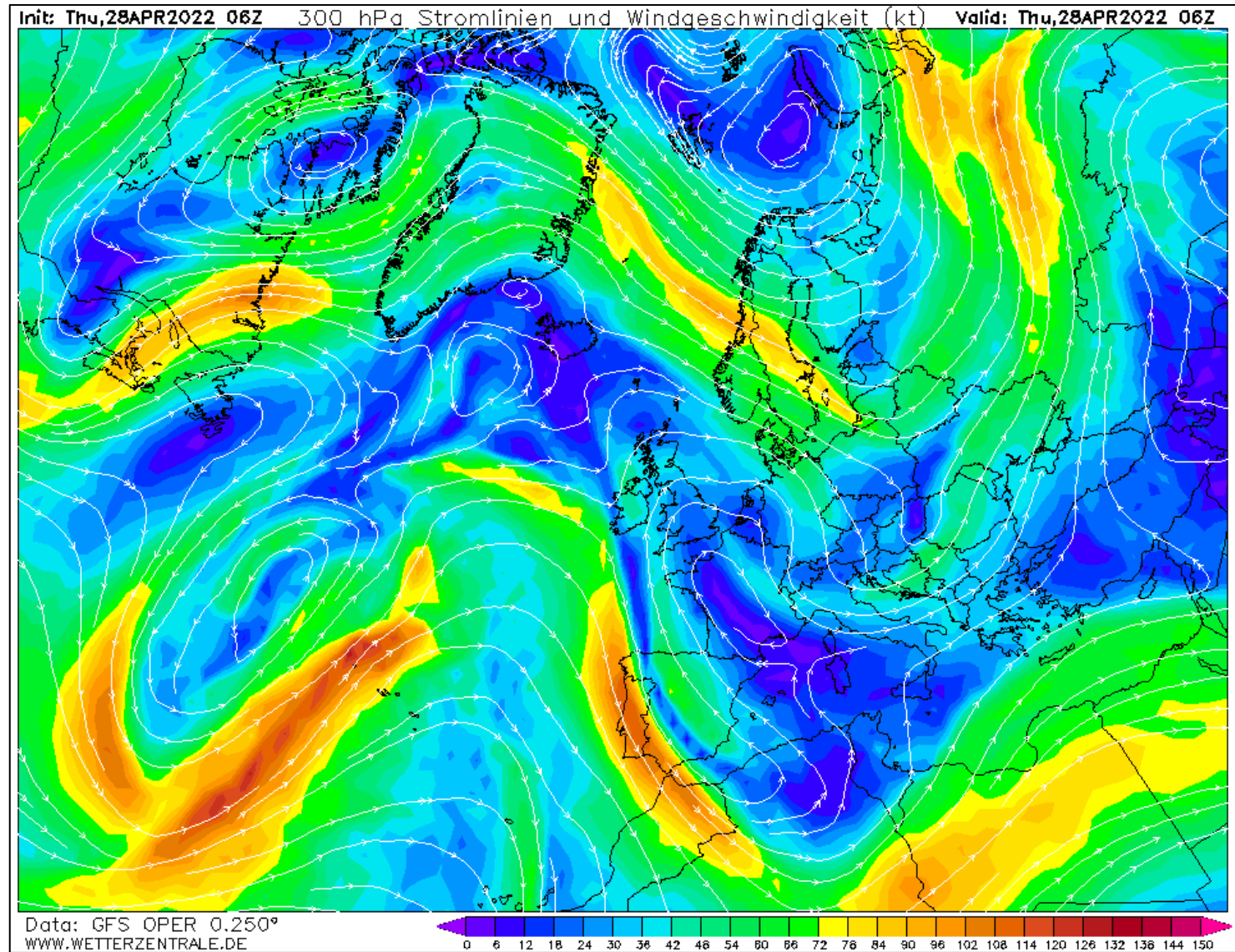
Χάρτης 300 hPa

Σύγκλιση – Απόκλιση



Χάρτης 300 hPa

Ισοταχείς

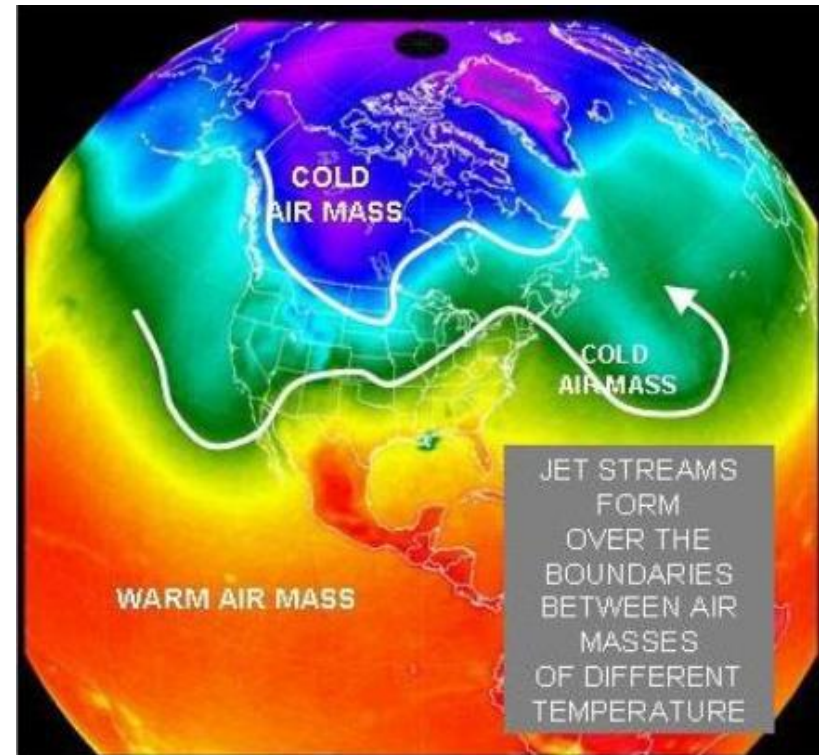


Αεροχείμαρρος (*jet stream*)

Αεροχείμαρρος (jet stream)

Λεπτό και ισχυρό ρεύμα αέρα που κινείται γύρω από τη γη σε ύψος περίπου της τροπόπαυσης για όλη τη διάρκεια του έτους. (χάρτες 200 hPa ή 300 hPa).

- Είναι ένα παράδειγμα **θερμικού ανέμου**.
- Προκύπτει από την **οριζόντια θερμοβαθμίδα** μεταξύ των **θερμών τροπικών** και των **ψυχρών πολικών** περιοχών.
- Διαχωρίζει τις **ψυχρές αέριες μάζες** του βορρά από τις **θερμές** του νότου.
- **Επιταχύνεται** ή **επιβραδύνεται** ακολουθώντας τις μεταβολές της θερμοβαθμίδας.
- Λόγω της **περιστροφής της γης** (από τη δύση προς την ανατολή) ο αεροχείμαρρος είναι γενικά **δυτικός άνεμος**.
- Χαρακτηρίζεται από **μεγάλες μεταβολές του ανέμου**, οριζόντιες και κατακόρυφες.



Χαρακτηριστικά Αεροχειμάρρου

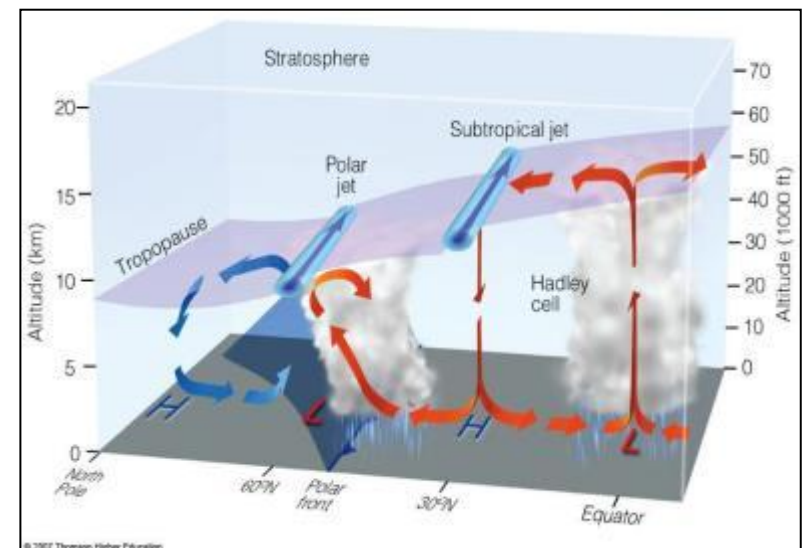
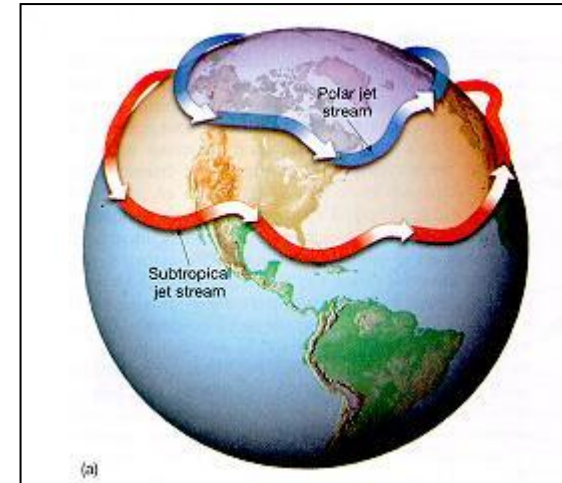
- **Μορφή σωλήνα** ελλειψοειδούς διατομής
- **Μήκος:** μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα
- **Πλάτος:** ~150 km
- **Ύψος:** 7-14 km από το έδαφος (χάρτες 200 hPa - 300 hPa)
- **Κατώτερο όριο ταχύτητας:** 30 m/s (=60 knots)
- Παρουσιάζει ένα ή περισσότερα **μέγιστα ταχύτητας** που ονομάζονται πυρήνες (*jet steaks*) με ταχύτητες 50-100 m/s.



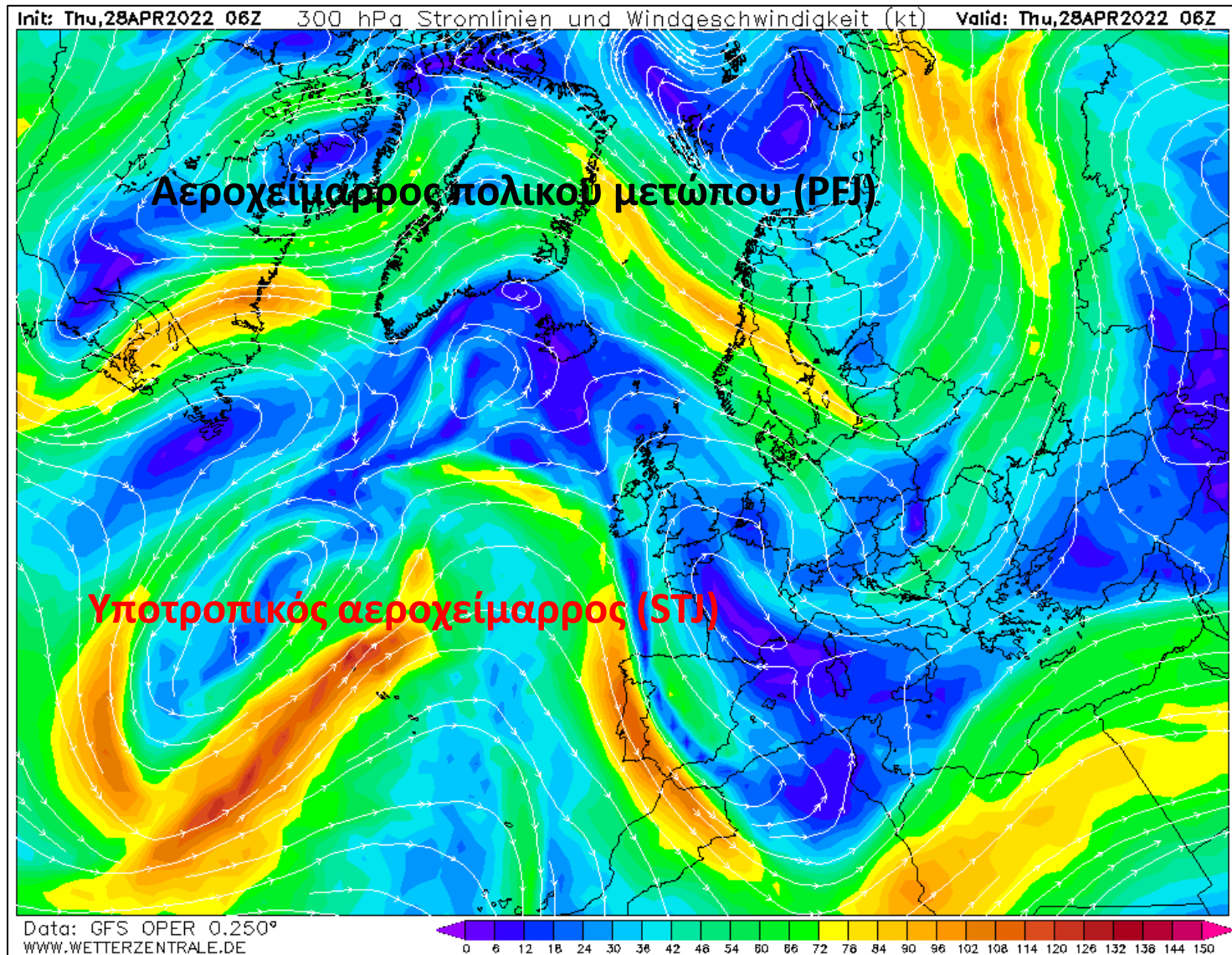
Είδη αεροχειμάρρων

Δύο είδη αεροχειμάρρου σε κάθε ημισφαίριο:

- I. Αεροχείμαρρος πολικού μετώπου (PFJ)
- II. Υποτροπικός αεροχείμαρρος (STJ)



Χάρτης 300 hPa Ισοταχείς



Αεροχείμαρρος πολικού μετώπου (PFJ)

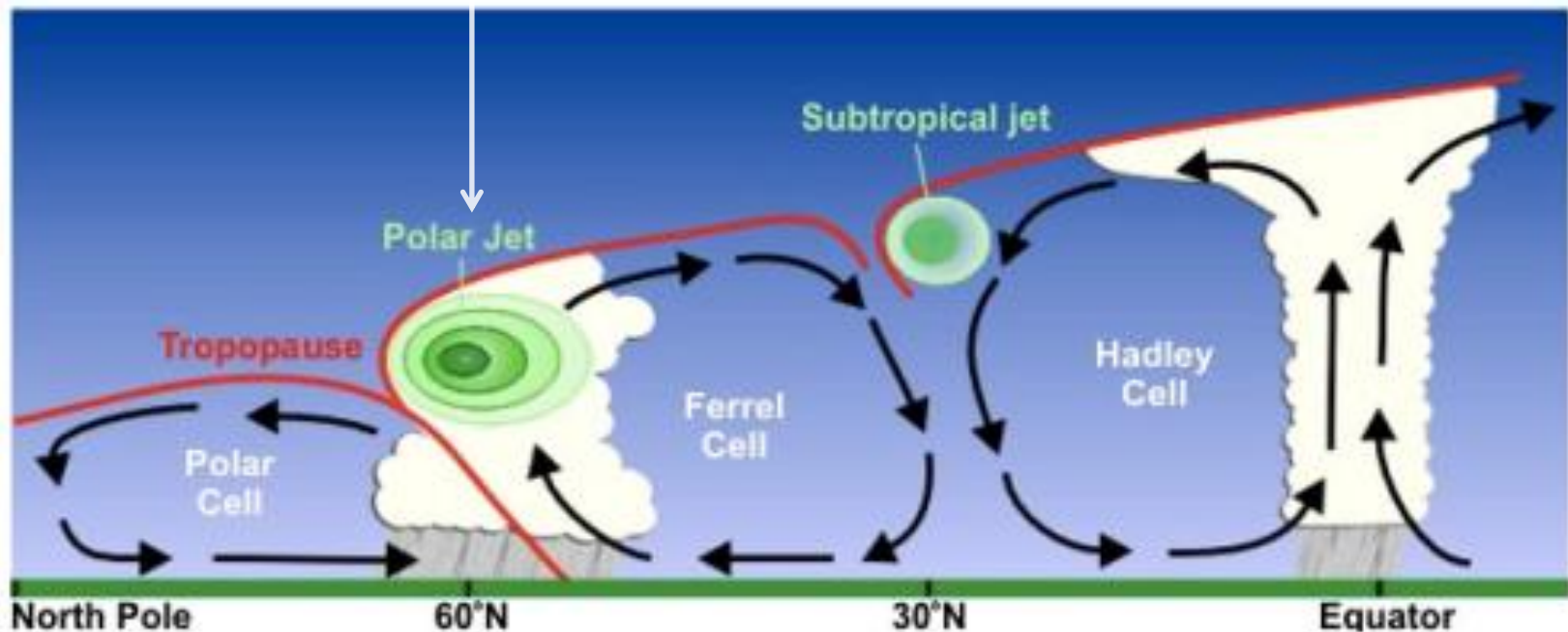
- ❑ Πολύ δυνατό ρεύμα αέρα με ημερήσια μεταβολή της θέσης του το οποίο μας επηρεάζει στην καθημερινή πρόγνωση.
- ❑ Βρίσκεται μεταξύ $\sim 40^\circ$ και 70° .
- ❑ Συνδέεται άμεσα με την κίνηση των βαρομετρικών χαμηλών και βαρομετρικών υψηλών.
- ❑ Καθοδηγεί την κίνηση των βαρομετρικών συστημάτων -> είναι βασικός ρυθμιστής του καιρού.

Αεροχείμαρρος πολικού μετώπου (PFJ)

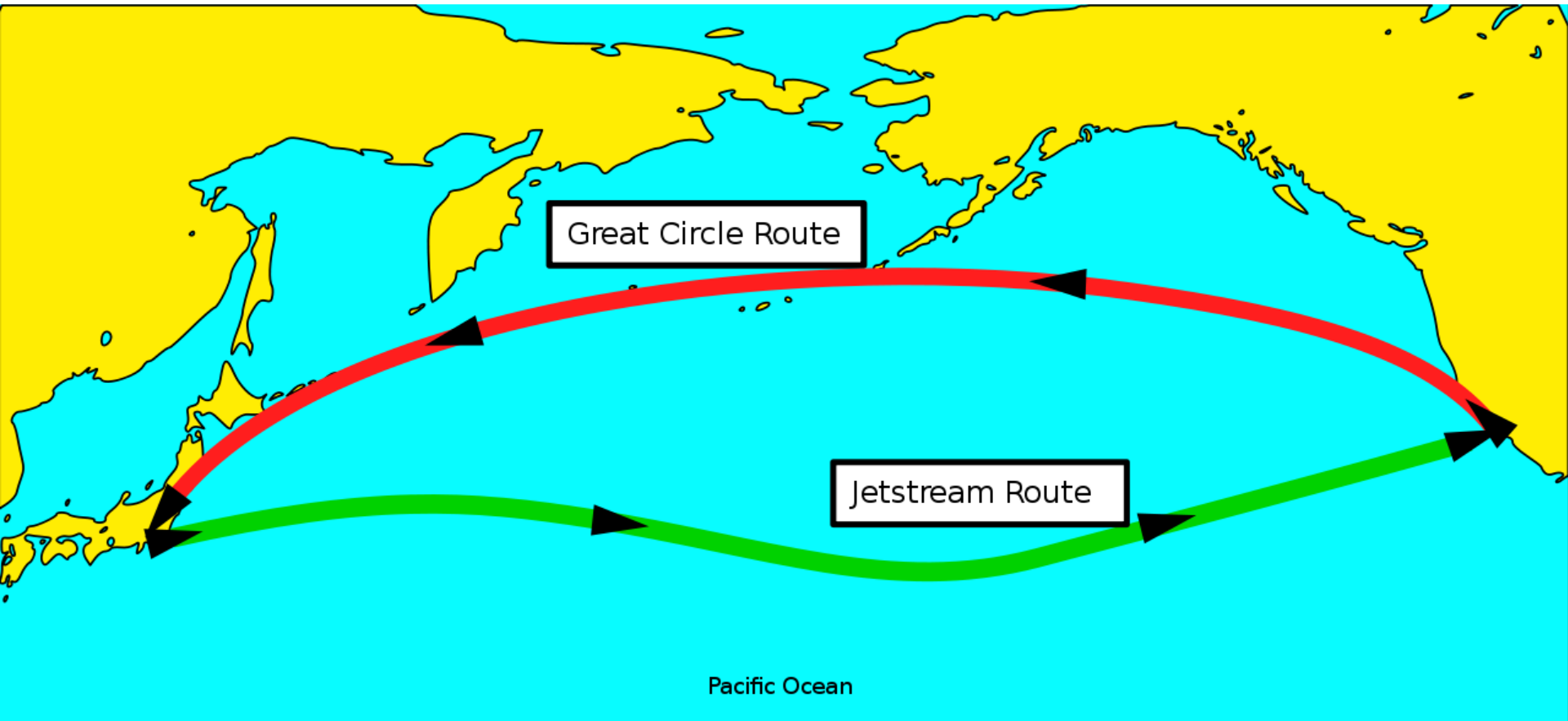


Αεροχείμαρρος πολικού μετώπου

πιο χαμηλά σε σχέση με το STJ (για να φανεί επιλέγω χάρτη ανώτερης ατμόσφαιρας λίγο πιο χαμηλά σε σχέση με STJ πχ 300 hPa)



Αεροπλοΐα

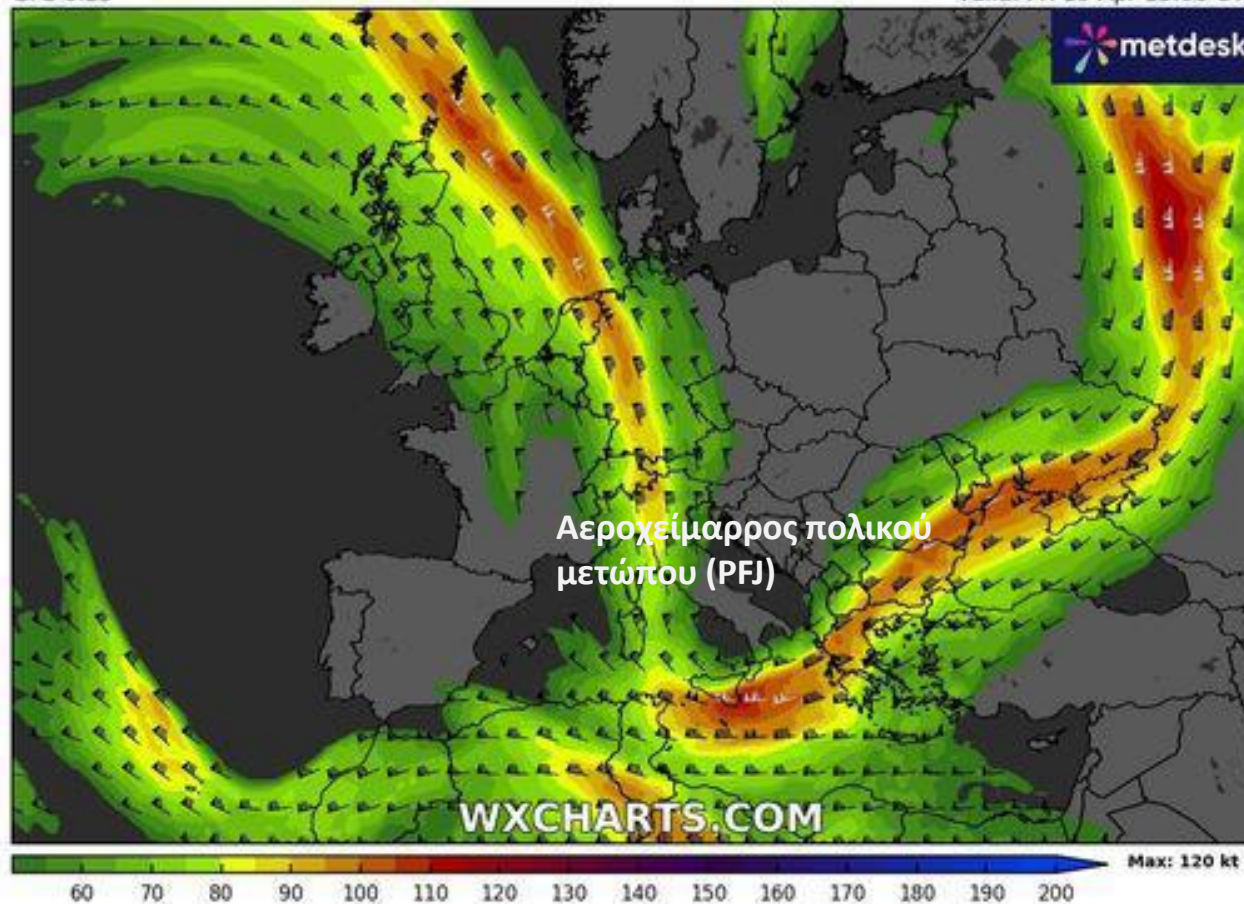


Flights between [Tokyo](#) and [Los Angeles](#) using the jet stream eastbound and a great circle route westbound.

Πολικός Αεροχείμαρρος (19-4-2024)

300 hPa Wind (kt)
GFS 0.25°

Run: Mon 15 Apr 12Z
Valid: Fri 19 Apr 15:00 UTC



Υποτροπικός αεροχείμαρρος (STJ)

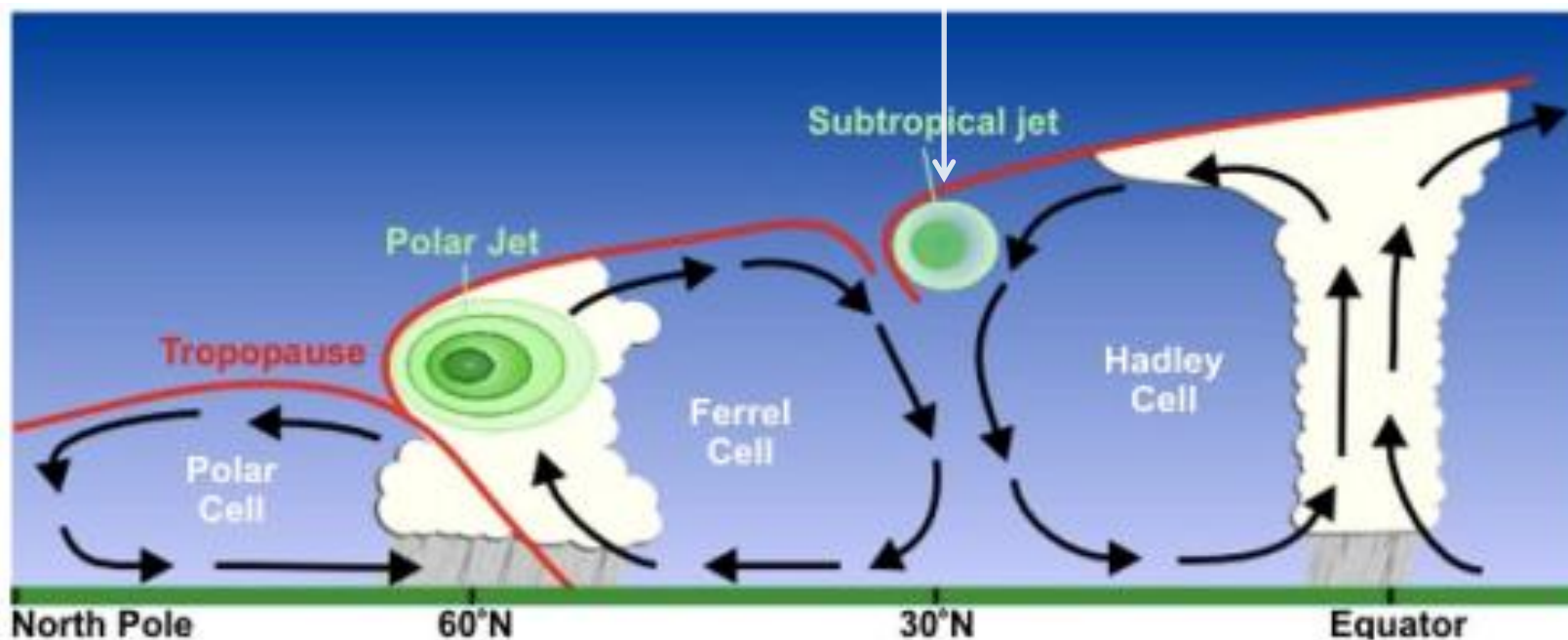
- ❑ Σχετικά σταθερός ως προς τη θέση και τον χρόνο.
- ❑ Βρίσκεται μεταξύ $\sim 20^\circ$ και 40° .
- ❑ Τον χειμώνα διατηρείται αρκετά ενεργός σαν ένα πλανητικό δυνατό ρεύμα αέρα.
- ❑ Το καλοκαίρι εξασθενεί και παρουσιάζει περιοχές ασυνέχειας.

Υποτροπικός αεροχείμαρρος (STJ)

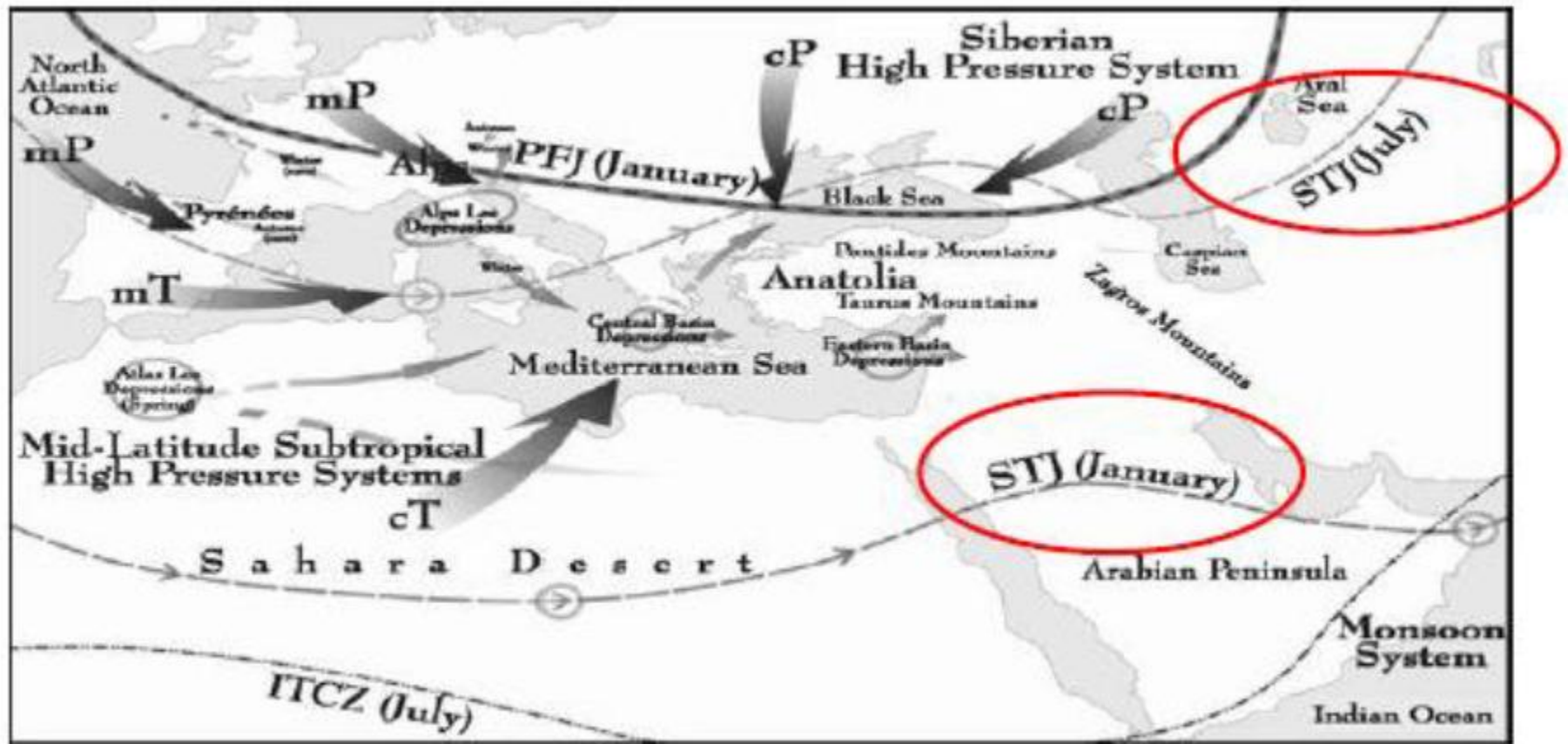
Υποτροπικός αεροχείμαρρος



πιο ψηλά σε σχέση με το PFJ (για να φανεί επιλέγω
χάρτη ανώτερης ατμόσφαιρας λίγο ψηλά πχ 200 hPa)



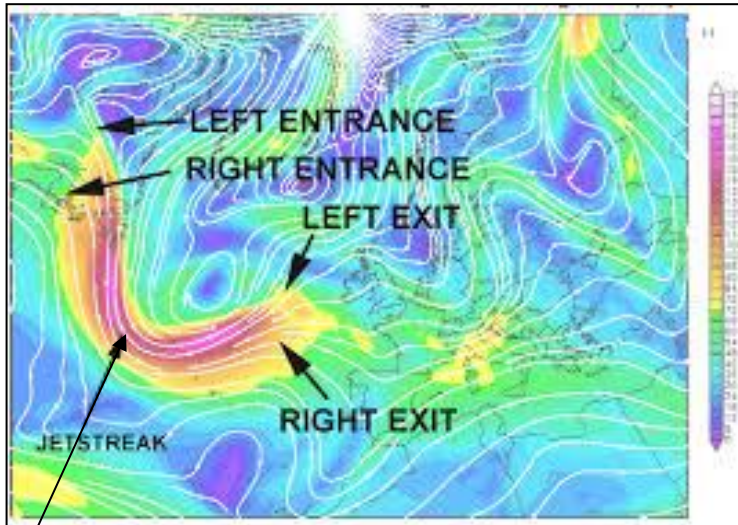
Εποχιακή μετατόπιση της θέσης του STJ στη Μεσόγειο



- Επηρεάζει τη Βόρεια Ελλάδα το καλοκαίρι με αποτέλεσμα την εμφάνιση βροχοπτώσεων, ενώ στη Νότια Ελλάδα εμφανίζονται φαινόμενα το καλοκαίρι πιο σπάνια.
- Ευνοεί την εμφάνιση καύσωνα.

Μέγιστο αεροχειμάρρου (*jet streak*)

Περιοχές στις οποίες η ταχύτητα του γεωστροφικού ανέμου είναι μέγιστη.

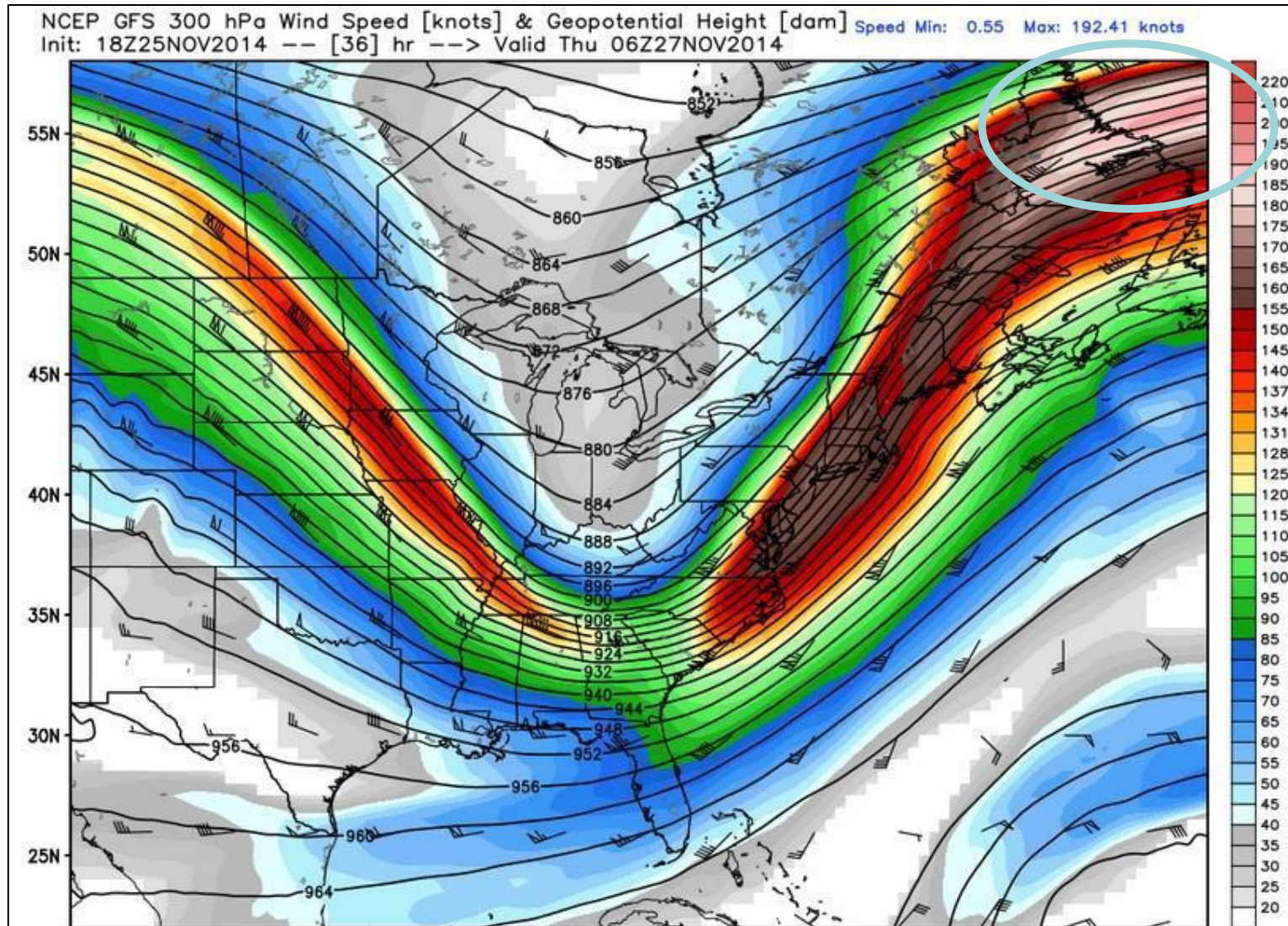


- Ο άνεμος κατά την είσοδο σε js επιταχύνεται.
- Ο άνεμος μετά την έξοδο από js επιβραδύνεται.

Μέσα στο jet streak η ταχύτητα ανέμου είναι μέγιστη!

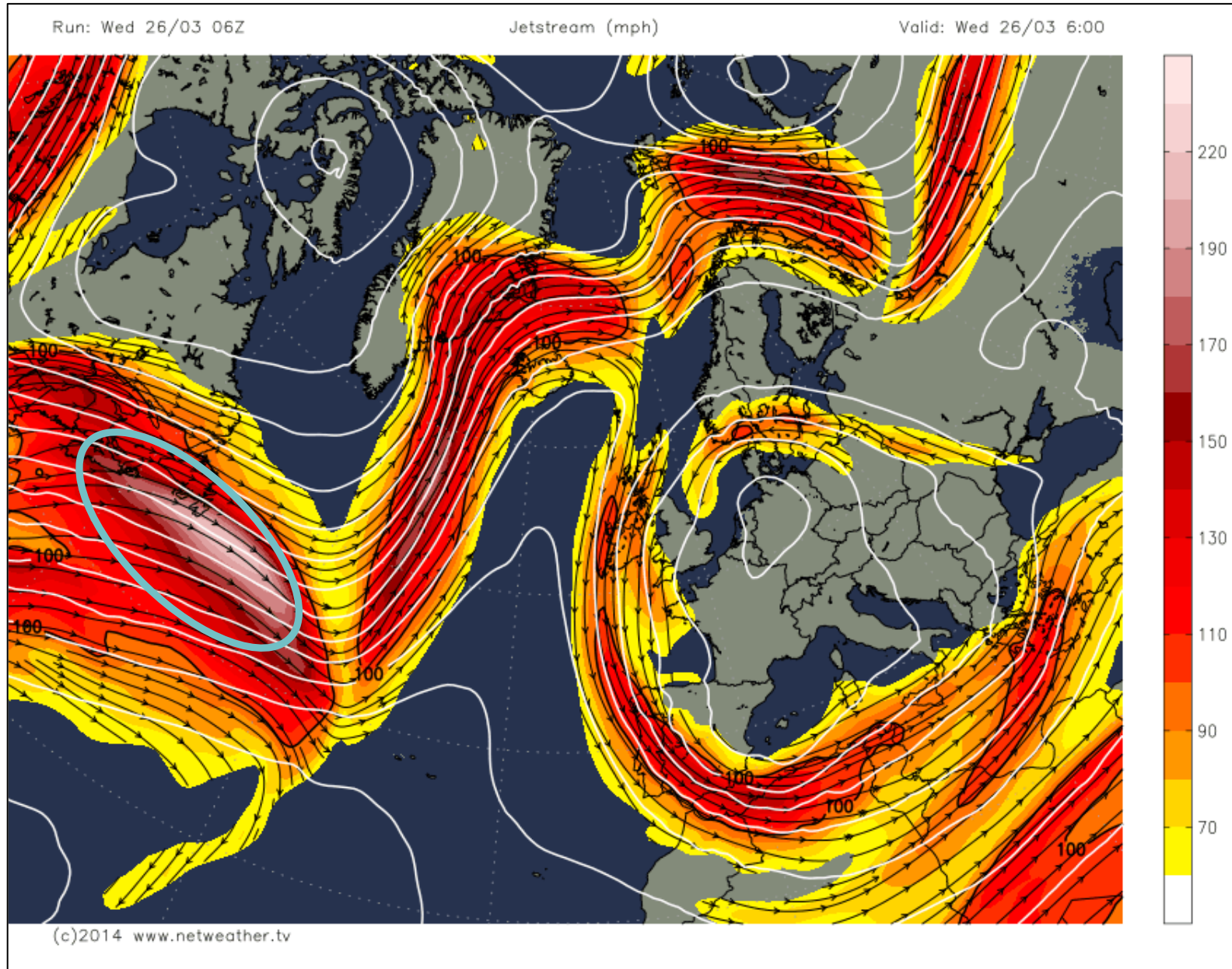
Χάρτης 300 hPa με ισοταχείς

Ταχύτητα >30 m/s ή >60 knots

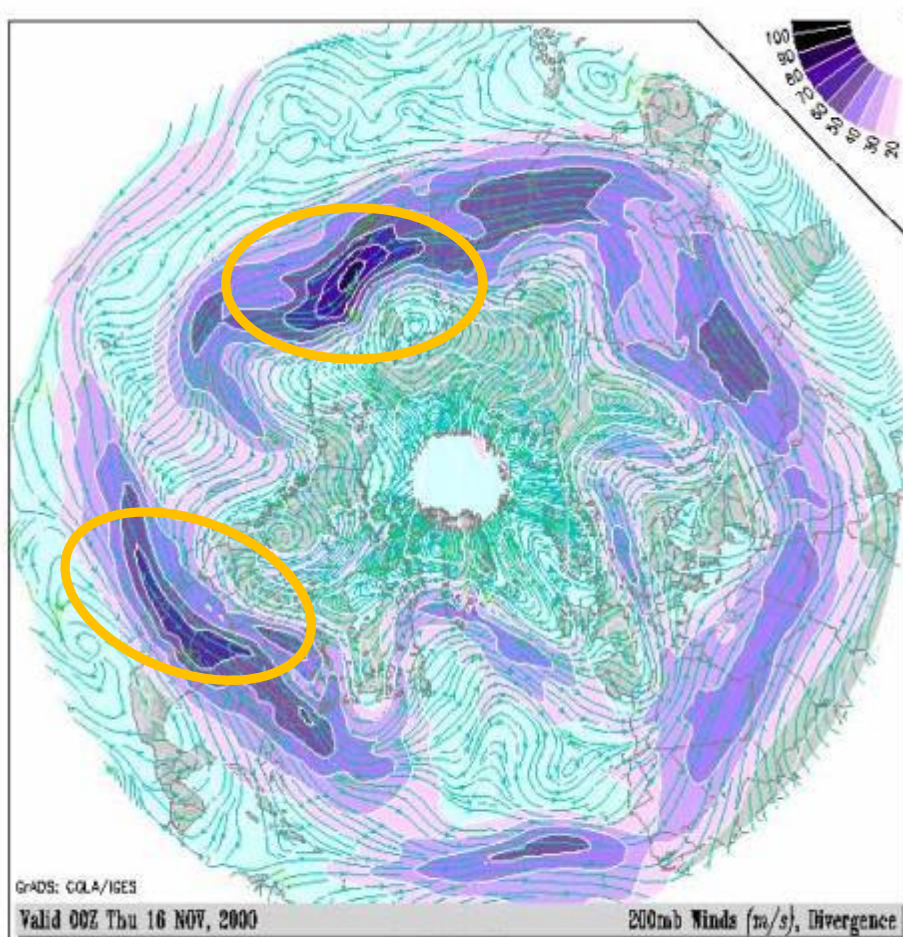


Χάρτης 300 hPa με ισοταχείς

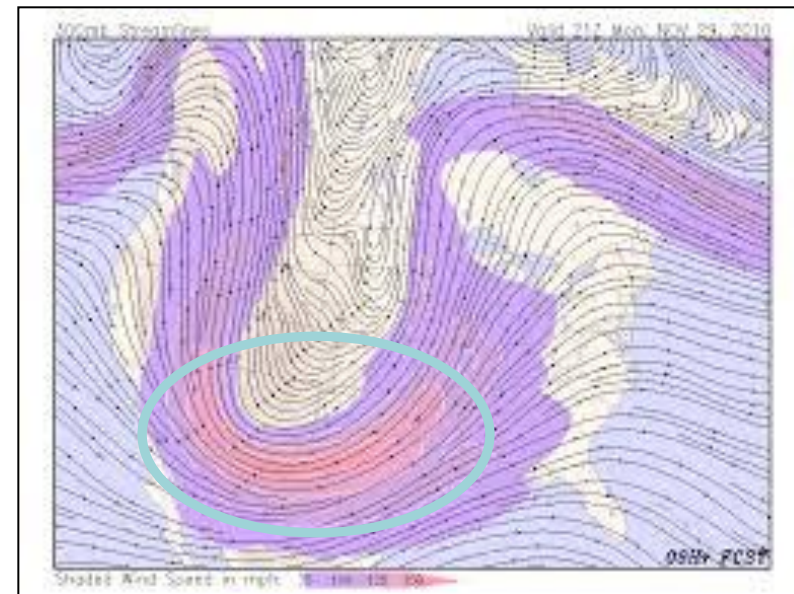
Ταχύτητα >30 m/s ή >60 knots



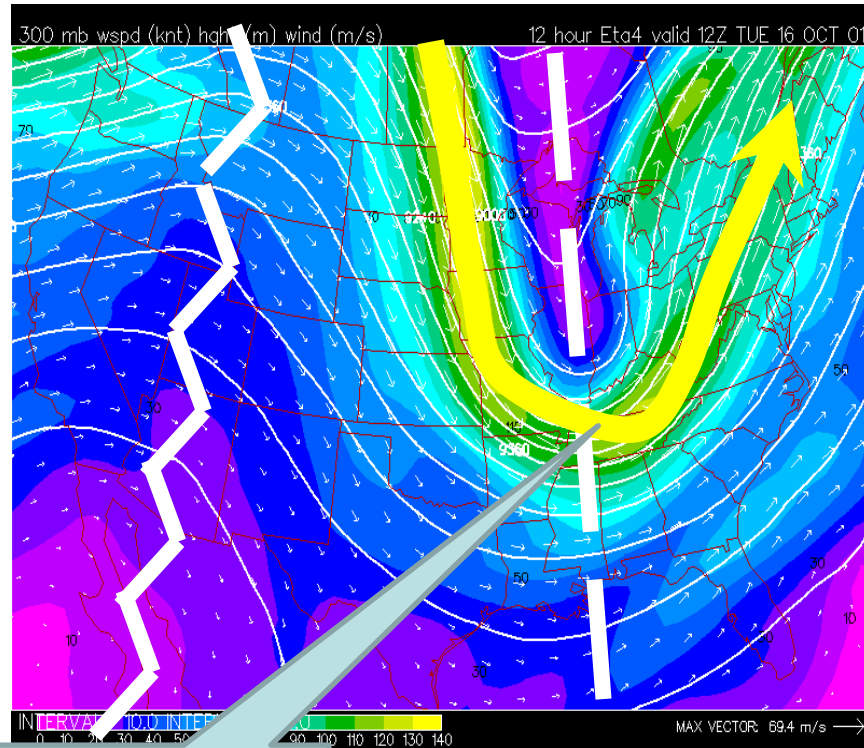
Χάρτης 200 ή 300 hPa με ισοταχείς



Ταχύτητα >30 m/s ή >60 knots



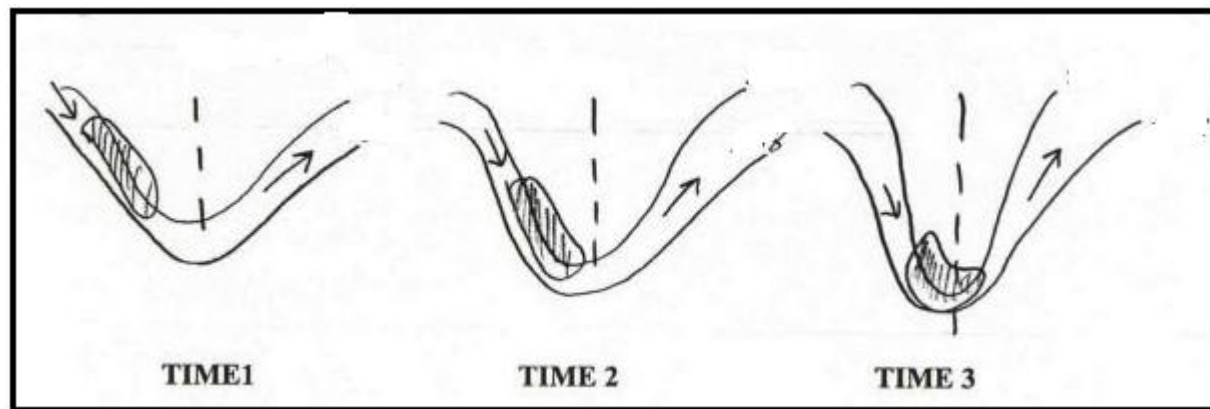
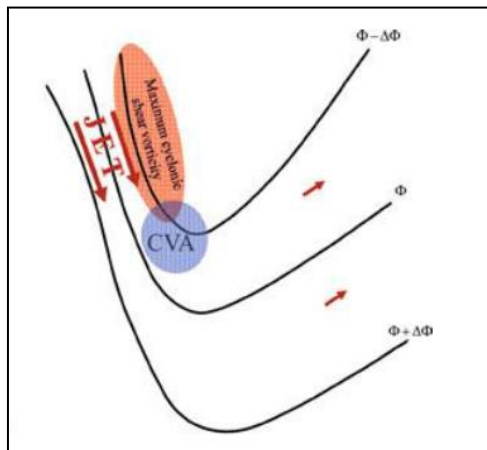
Σχέση αεροχειμάρρου με την trough



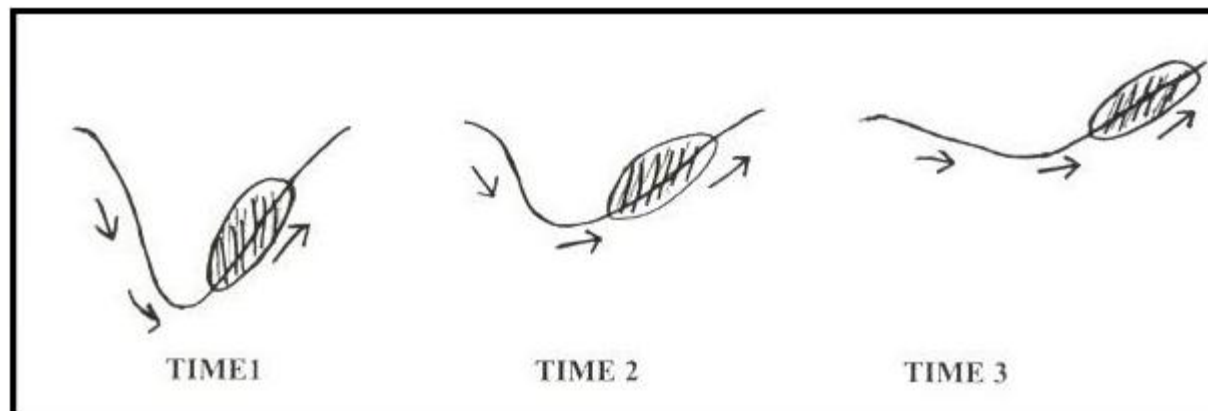
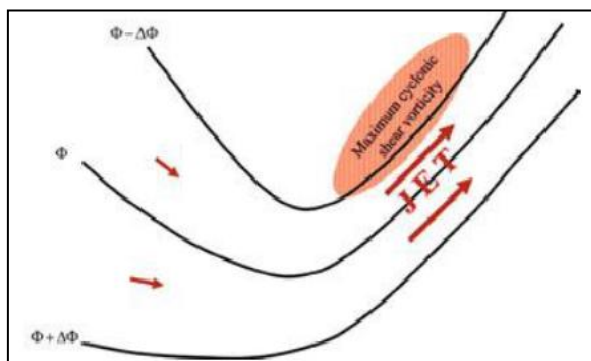
**Jet streak
(μέγιστο
αεροχειμάρρου στη
βάση της trough)**

Σε συνδυασμό με καμπυλότητα
αεροχειμάρρου και διατμητικές τάσεις
αέρα → δημιουργείται σύγκλιση ή
απόκλιση → Άρα επηρεάζονται τα
συστήματα στην επιφάνεια

Θέση jet streak – trough

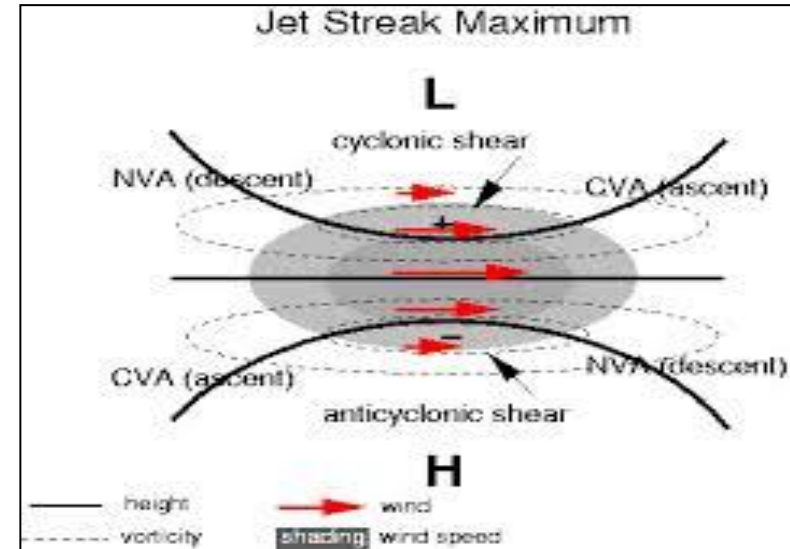
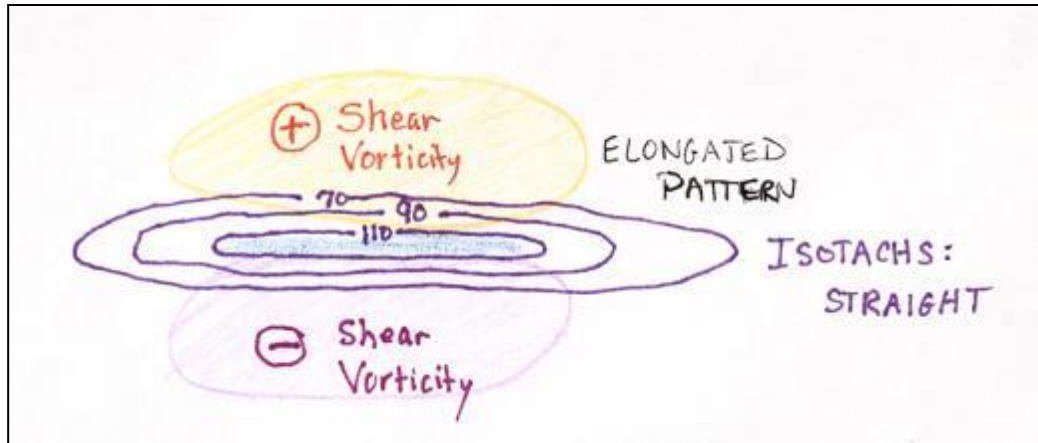


- Αν το μέγιστο του αεροχειμάρρου είναι **αριστερά** (upstream) της trough αυτή **ενισχύεται** (βαθαίνει) και κινείται νότια.

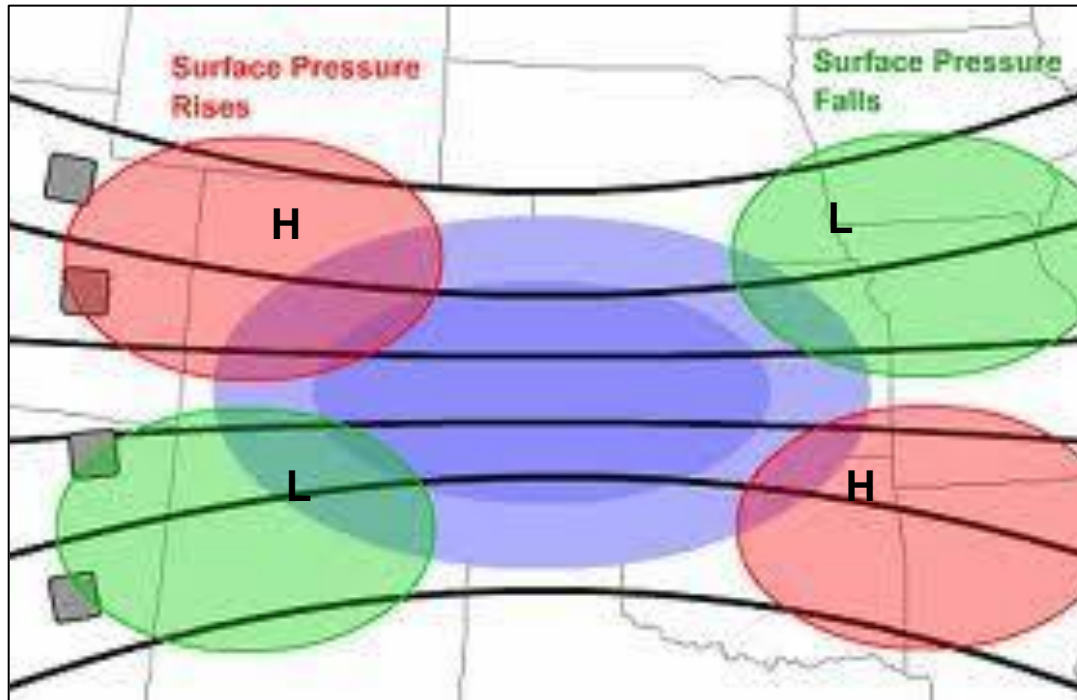


- Αν το μέγιστο του αεροχειμάρρου είναι **δεξιά** της trough αυτή **εξασθενεί**.

Μέγιστο αεροχειμάρρου (jet streak)

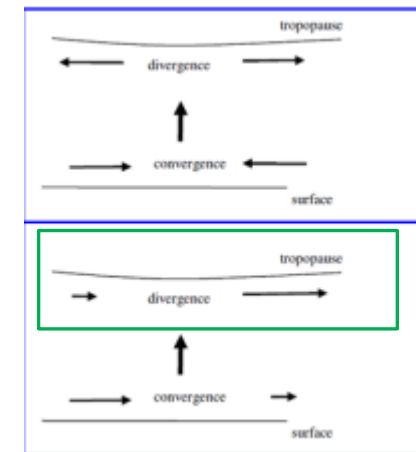
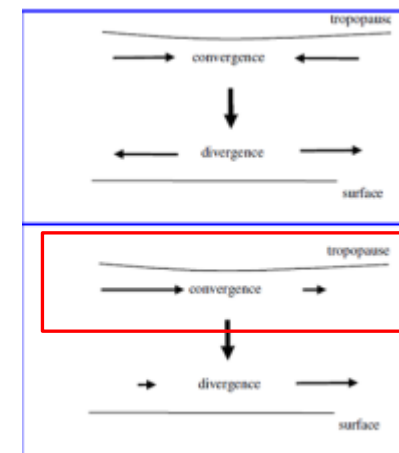
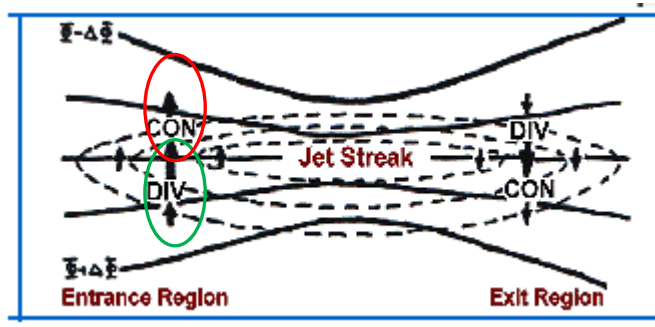
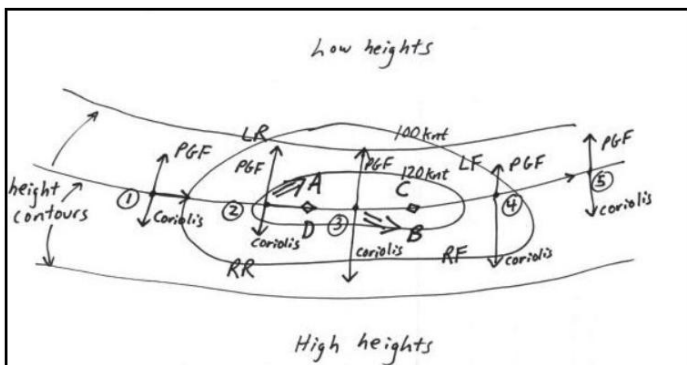


Μέγιστο αεροχειμάρρου (jet streak) και επίδραση στην επιφάνεια



Μέγιστο αεροχειμάρρου (jet streak) σε ζωνική ροή

Αρχικά η δύναμη βαροβαθμίδας (PGF) και η δύναμη Coriolis (F_c) βρίσκονται σε ισορροπία. Ο άνεμος είναι γεωστροφικός (παράλληλος με τις ισοϋψείς.)



Καθώς η αέρια μάζα εισέρχεται σε περιοχή jet streak πρέπει να επιταχυνθεί:

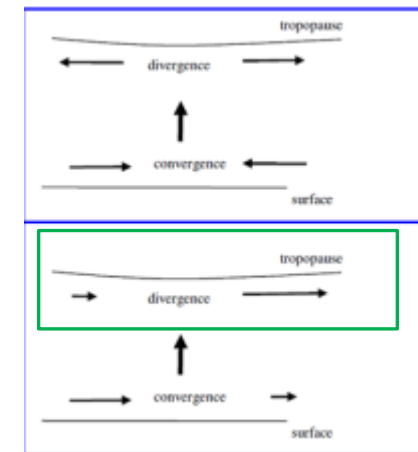
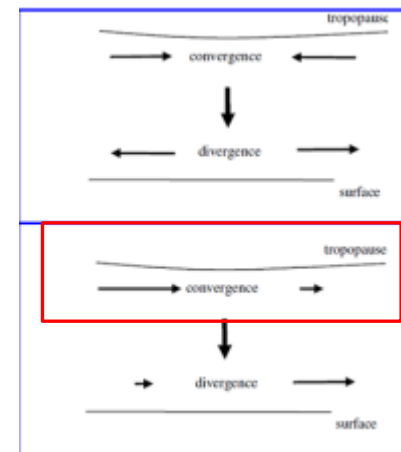
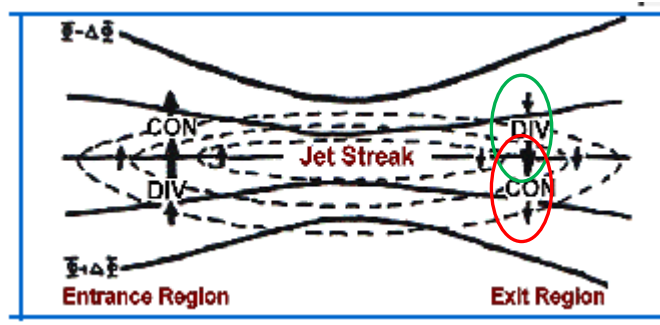
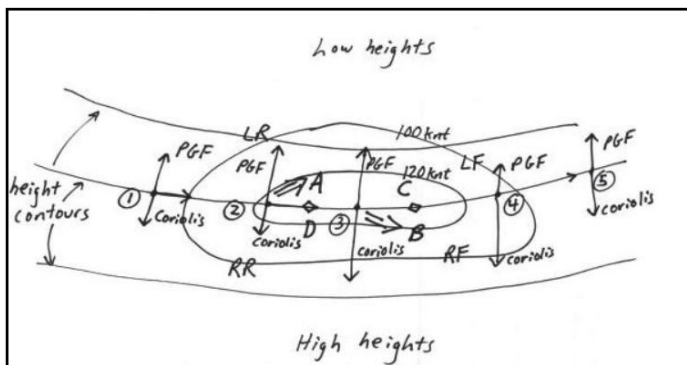
- αυξάνει η PGF ενώ η F_c δεν έχει προλάβει ακόμα να προσαρμοστεί
- ο άνεμος τείνει προς το μεγαλύτερο διάνυσμα (PGF)

Σύγκλιση στο αριστερό πίσω μέρος LR (βύθιση στο A) και απόκλιση στο δεξιό πίσω μέρος RR (ανοδικές κινήσεις στο D).

Στη συνέχεια η F_c εξισορροπεί την PGF.

Επειδή η τροπόπαυση βρίσκεται ακριβώς πάνω από το επίπεδο του αεροχειμάρρου, η σύγκλιση αναγκάζει τον αέρα να βυθιστεί επειδή η εξαιρετικά ευσταθής τροπόπαυση εμποδίζει την άνοδο του αέρα.

Μέγιστο αεροχειμάρρου (jet streak) σε ζωνική ροή



Καθώς η αέρια μάζα εξέρχεται από το jet streak πρέπει να επιβραδυνθεί :

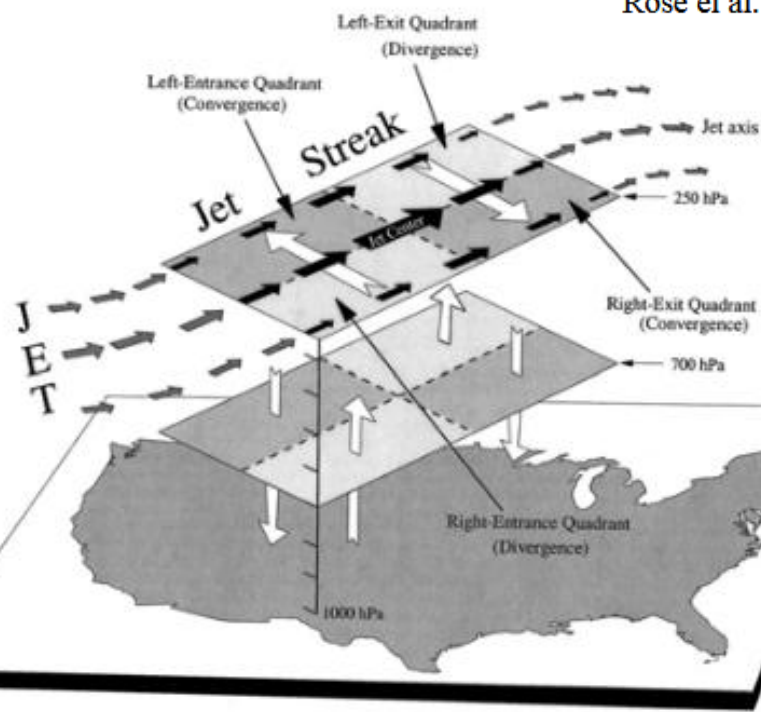
- εξασθενεί η PGF ενώ η F_c δεν είχε χρόνο να προσαρμοστεί και να μειωθεί
- ο άνεμος τείνει προς το μεγαλύτερο άνυσμα (F_c)

Σύγκλιση στο δεξιό μπροστινό μέρος RF (βύθιση στο B) και απόκλιση στο αριστερό μπροστινό μέρος LF (ανοδικές κινήσεις στο C).

Στη συνέχεια η F_c εξισορροπεί την PGF.

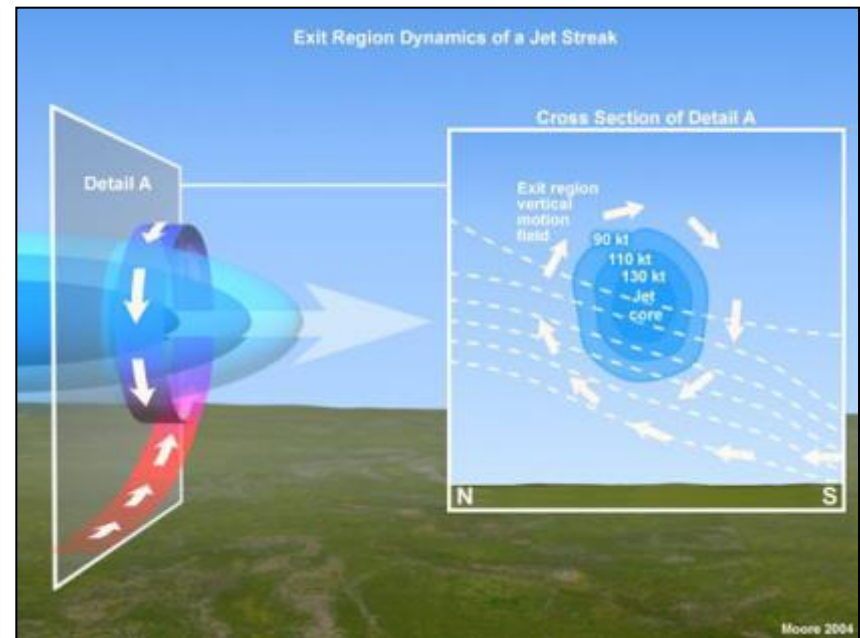
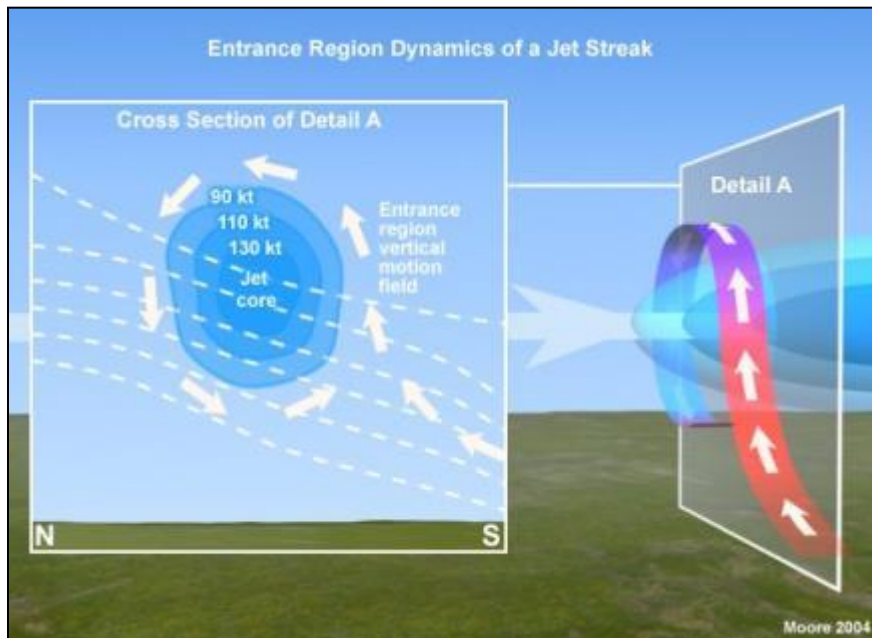
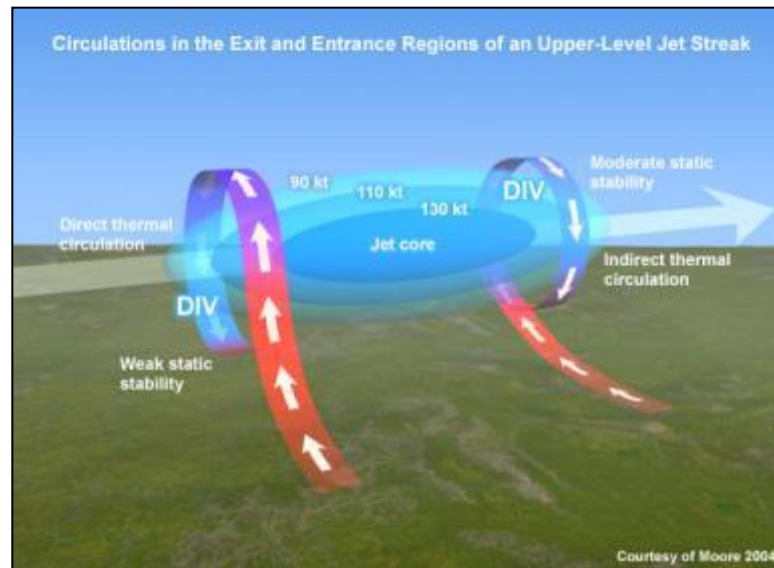
Μέγιστο αεροχειμάρρου (jet streak)

Rose et al. (2003)

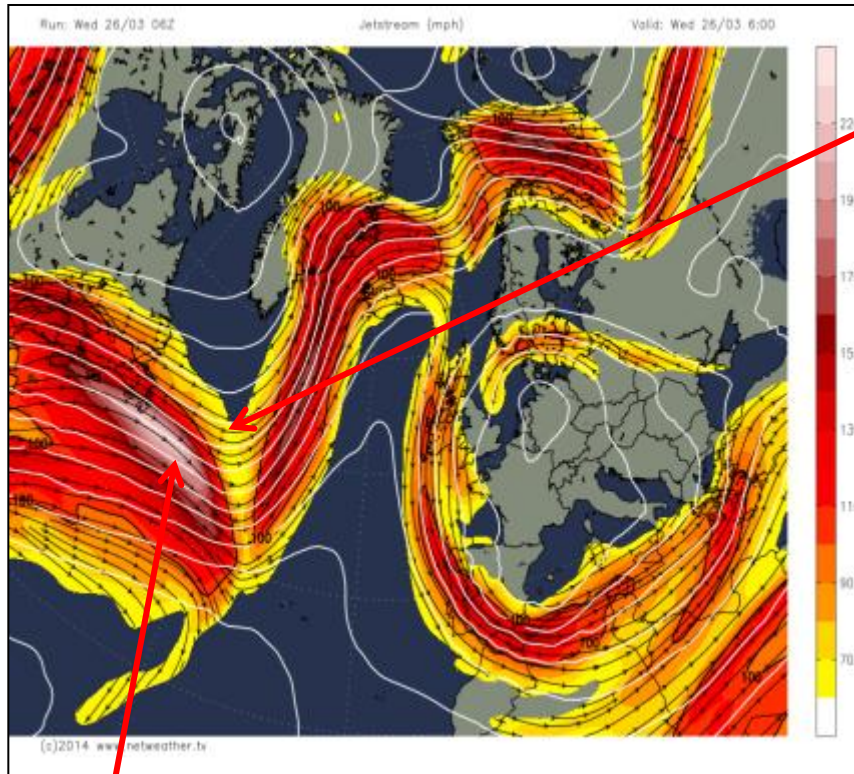


- Καθώς ο αέρας εισέρχεται σε μια περιοχή jet streak επιταχύνεται, ενώ όταν εξέρχεται επιβραδύνεται.
- Αυτές οι επιταχύνσεις και οι επιβραδύνσεις, σε συνδυασμό με την καμπυλότητα του αεροχειμάρρου και των ισχυρών διατμητικών τάσεων του ανέμου, προκαλούν τη σύγκλιση αέρα σε ορισμένες περιοχές και την απόκλιση σε άλλες.
- Οι περιοχές σύγκλισης και απόκλισης έχουν σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της επιφανειακής πίεσης.

Μέγιστο αεροχειμάρρου (jet streak)

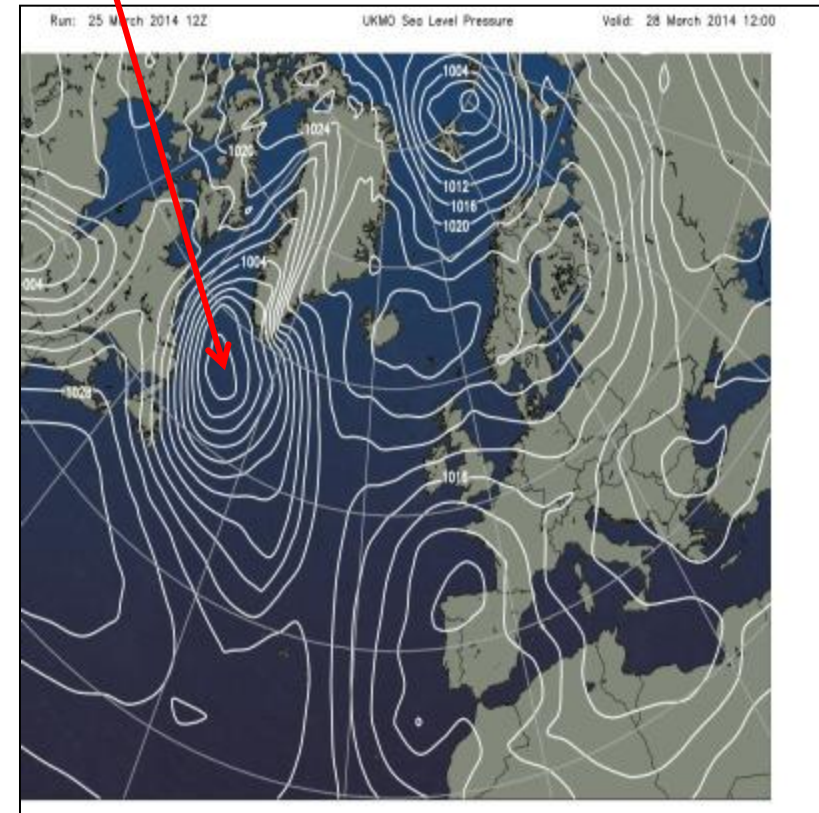


Σχέση jet streak και επιφανειακού χαμηλού

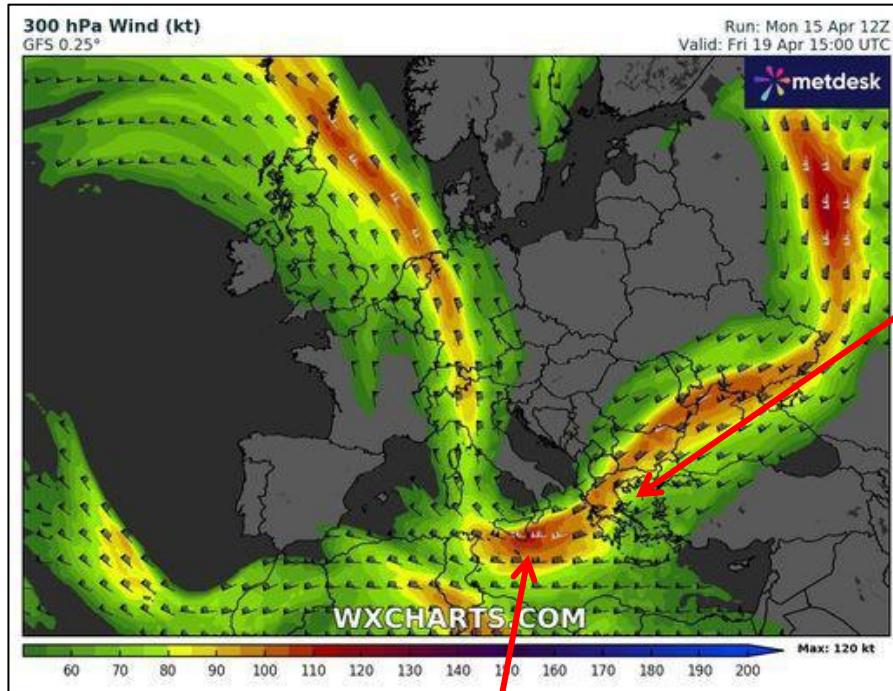


Jet streak στα 300 hPa

Θέση χαμηλού στην επιφάνεια

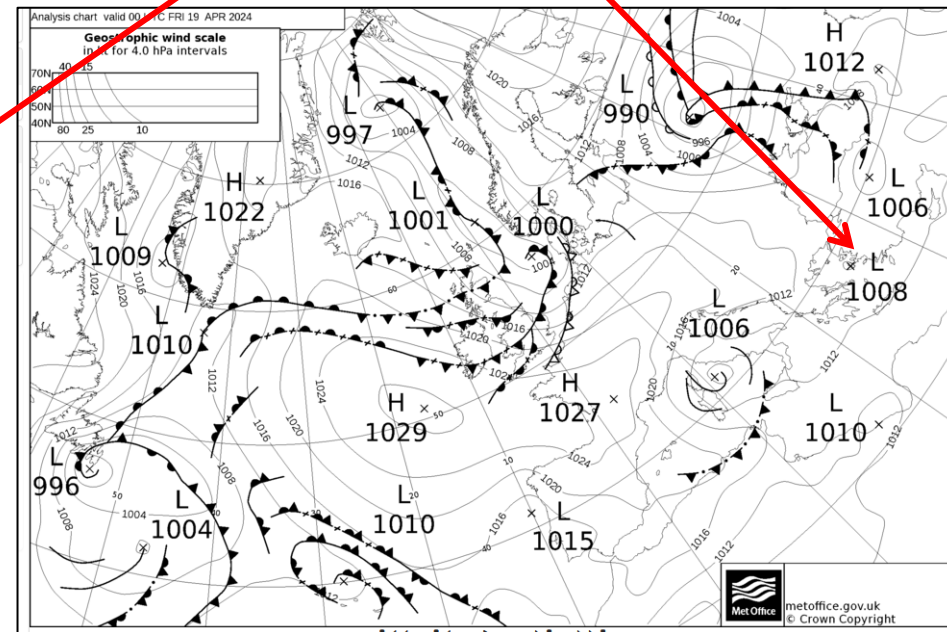


Σχέση jet streak και επιφανειακού χαμηλού (19-4-2024)

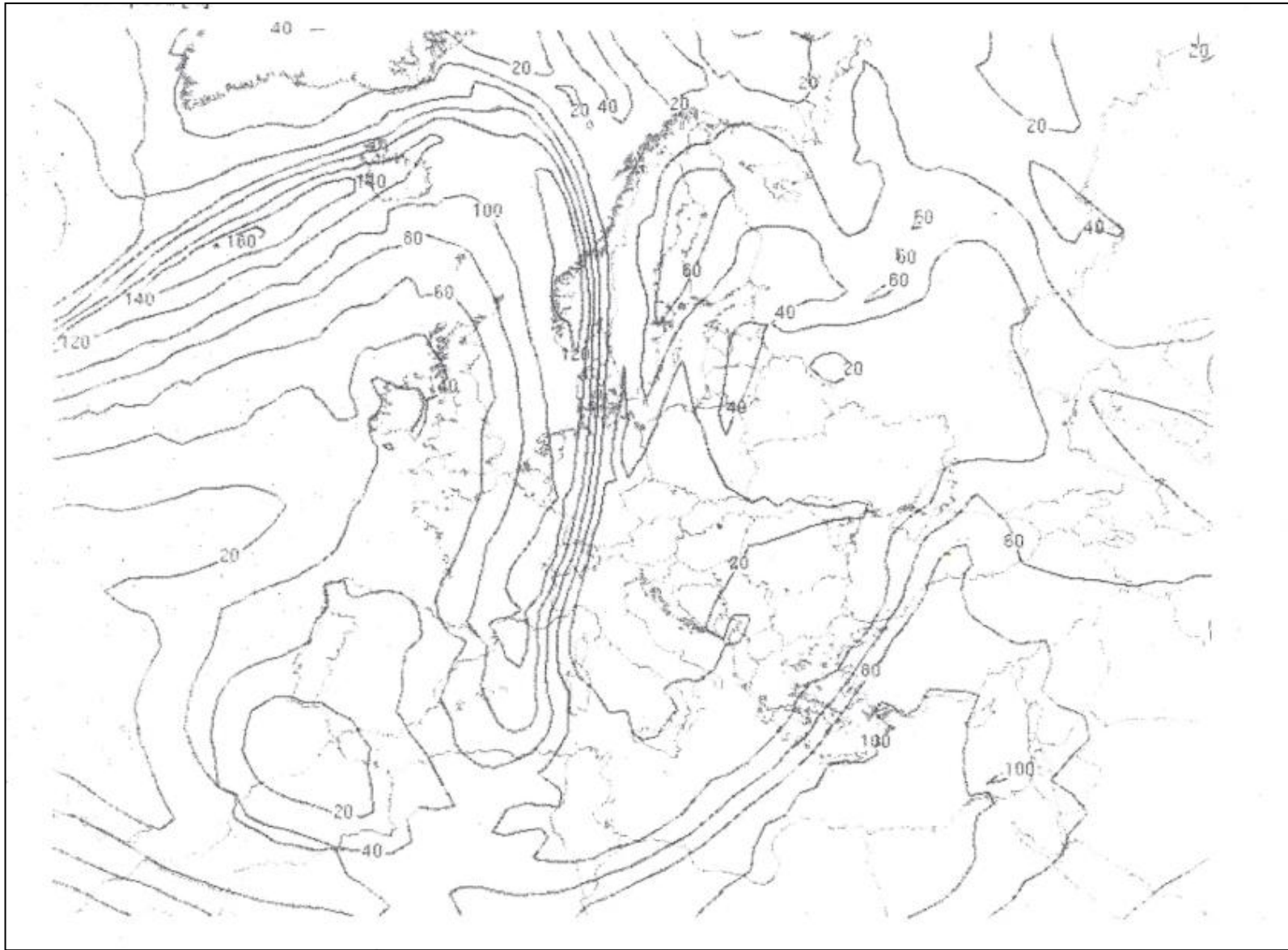


Jet streak στα 300 hPa

θέση χαμηλού στην επιφάνεια

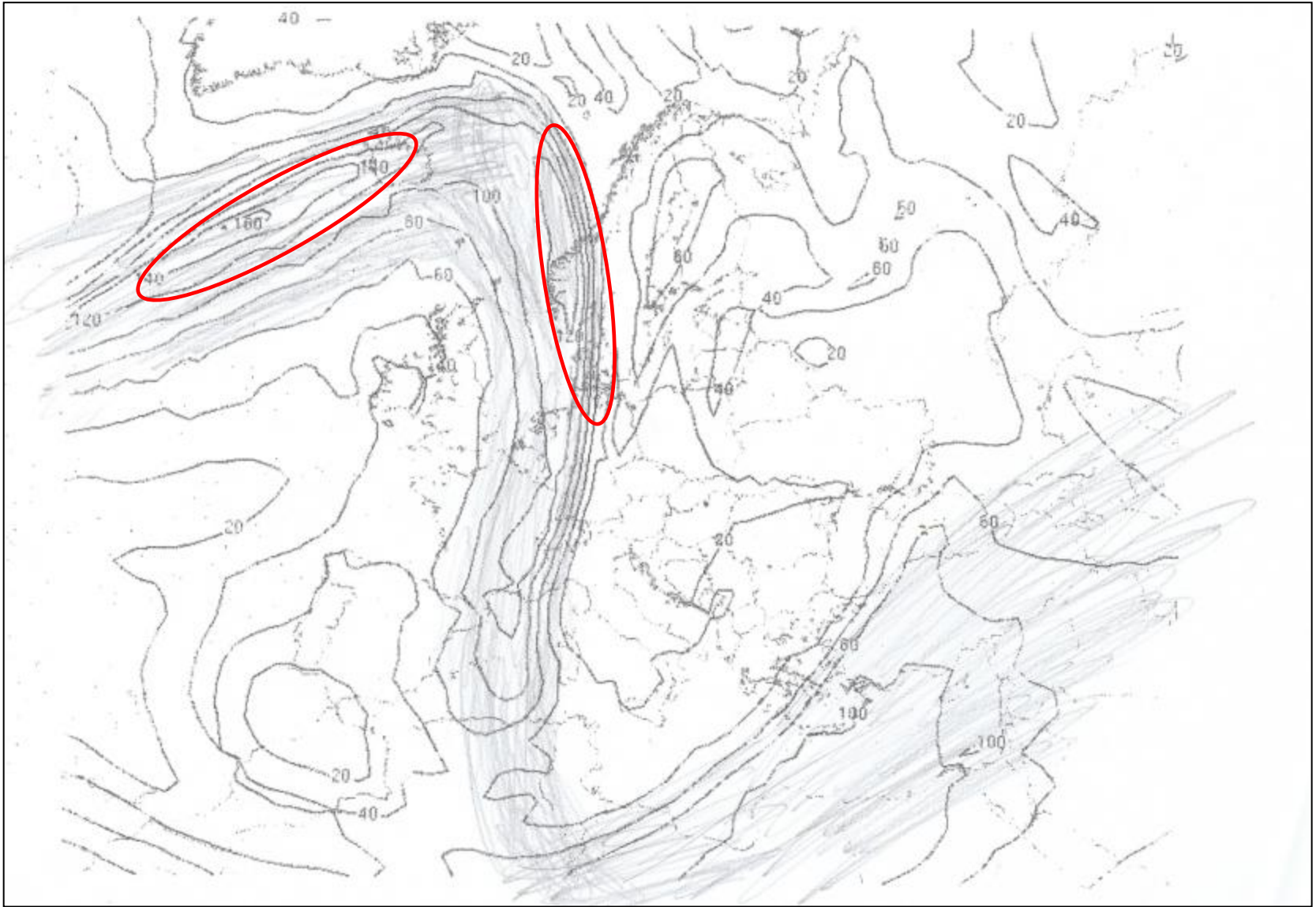


Χάρτης ισοταχών



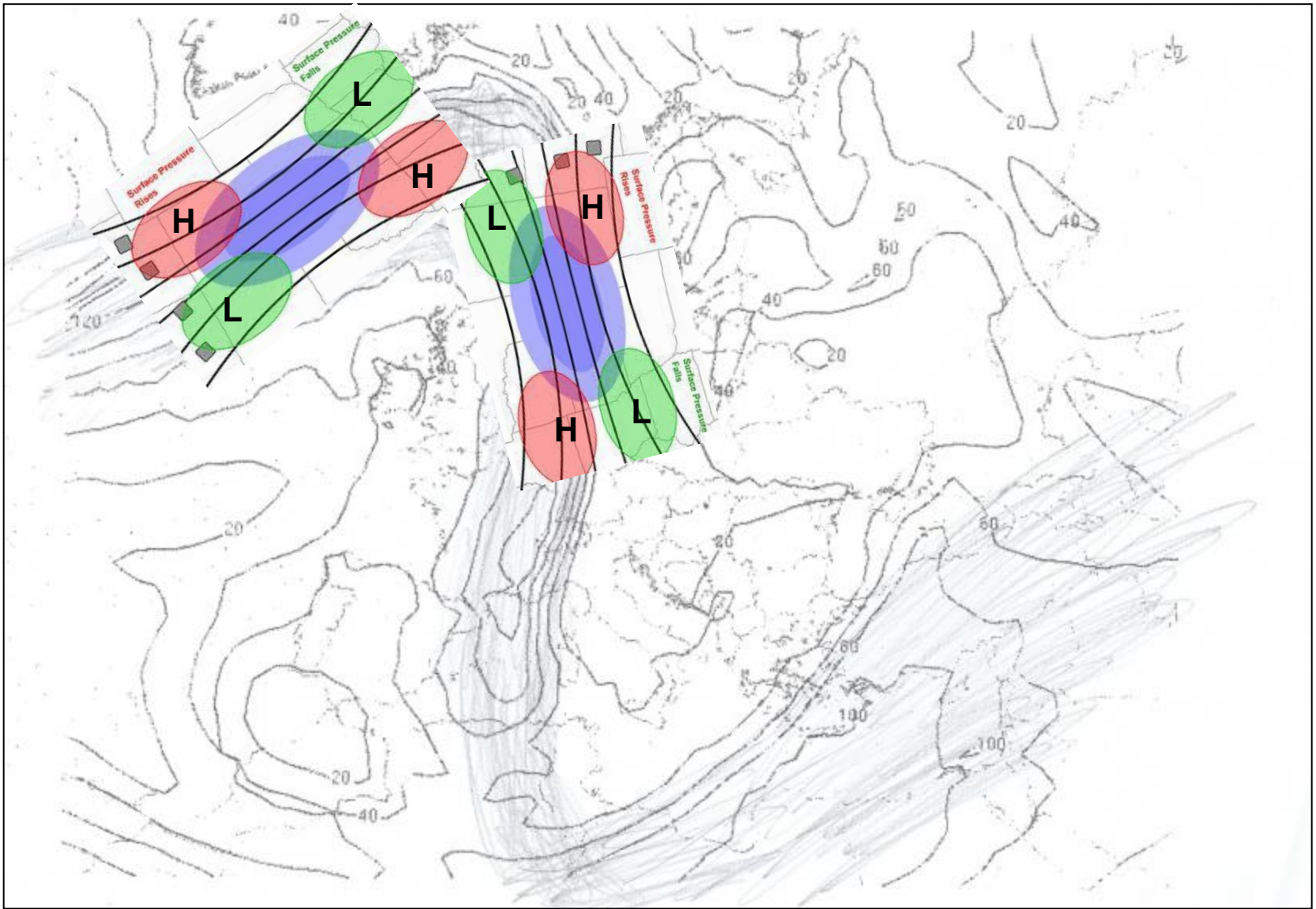
- Σχεδιάστε τον αεροχείμαρρο ($v > 60$ kt)
- Εντοπίστε περιοχές jet streak
- Βρείτε πιθανές θέσεις του χαμηλού στην επιφάνεια

Χάρτης ισοταχών



- Σχεδιάστε τον αεροχείμαρρο ($v > 60$ kt)
- Εντοπίστε περιοχές jet streak
- Βρείτε πιθανές θέσεις του χαμηλού στην επιφάνεια

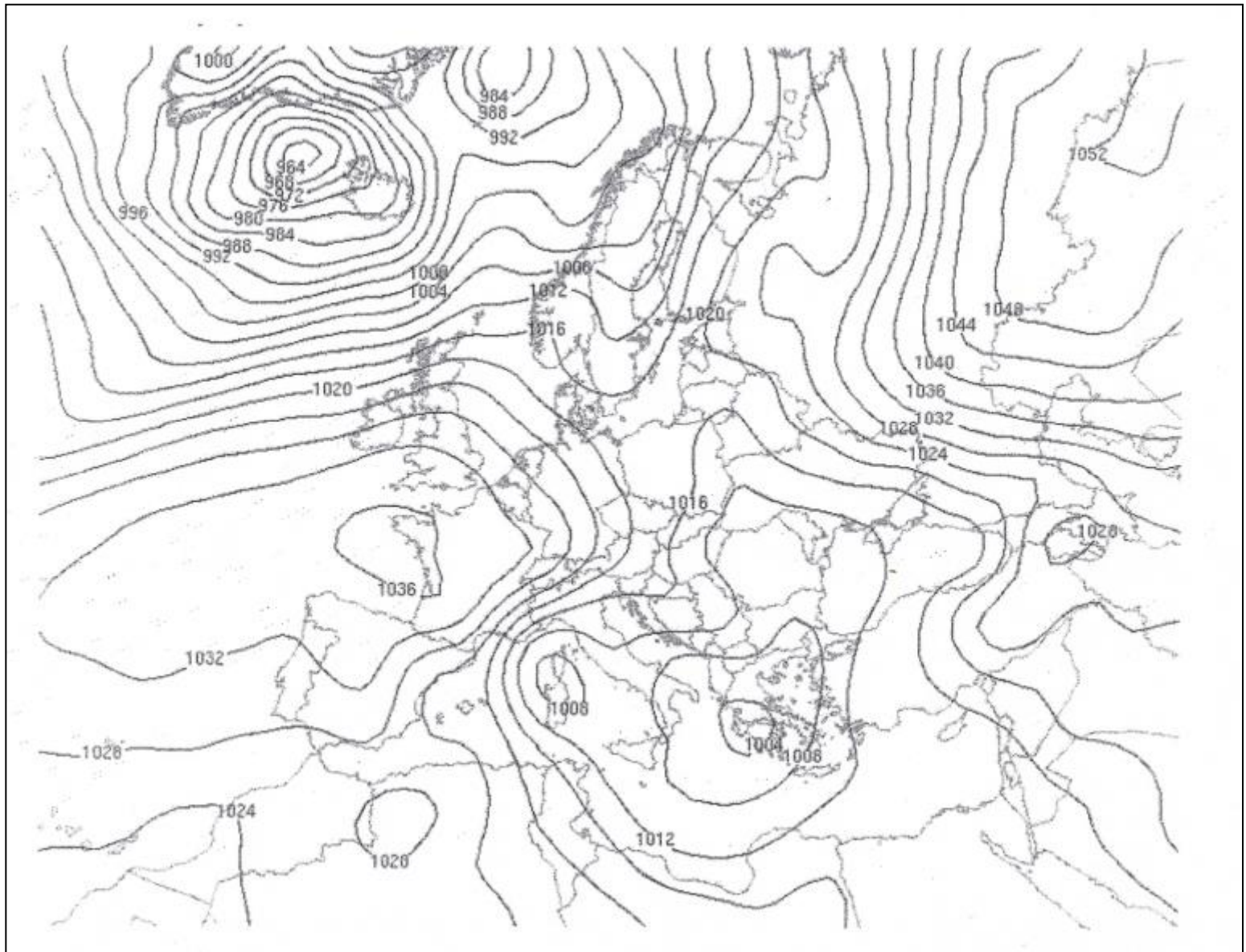
Χάρτης ισοταχών



- Σχεδιάστε τον αεροχείμαρρο ($v > 60$ kt)
- Εντοπίστε περιοχές jet streak
- Βρείτε πιθανές θέσεις του χαμηλού στην επιφάνεια

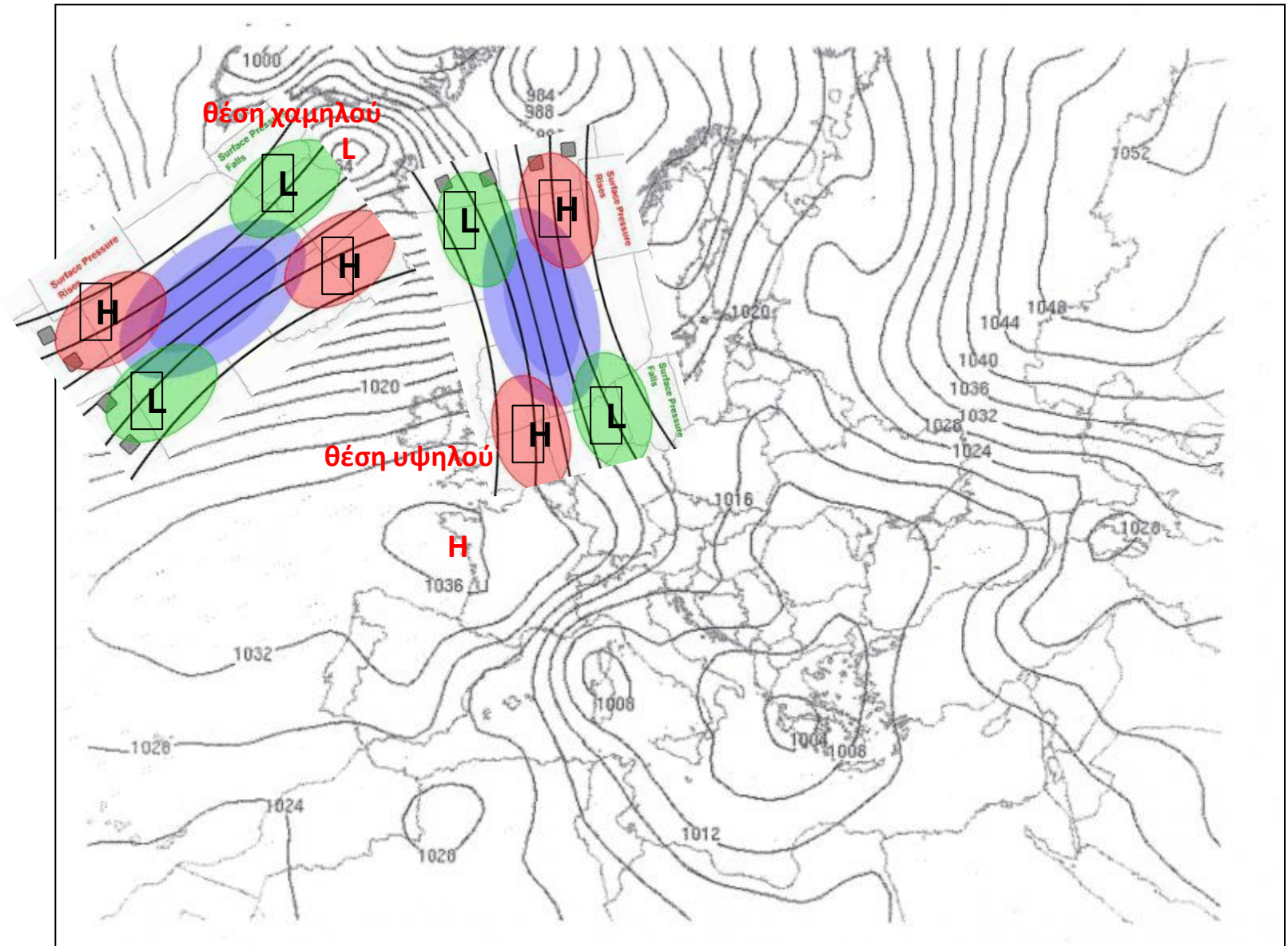
Σχέση jet streak και επιφανειακού χαμηλού

επιφάνεια

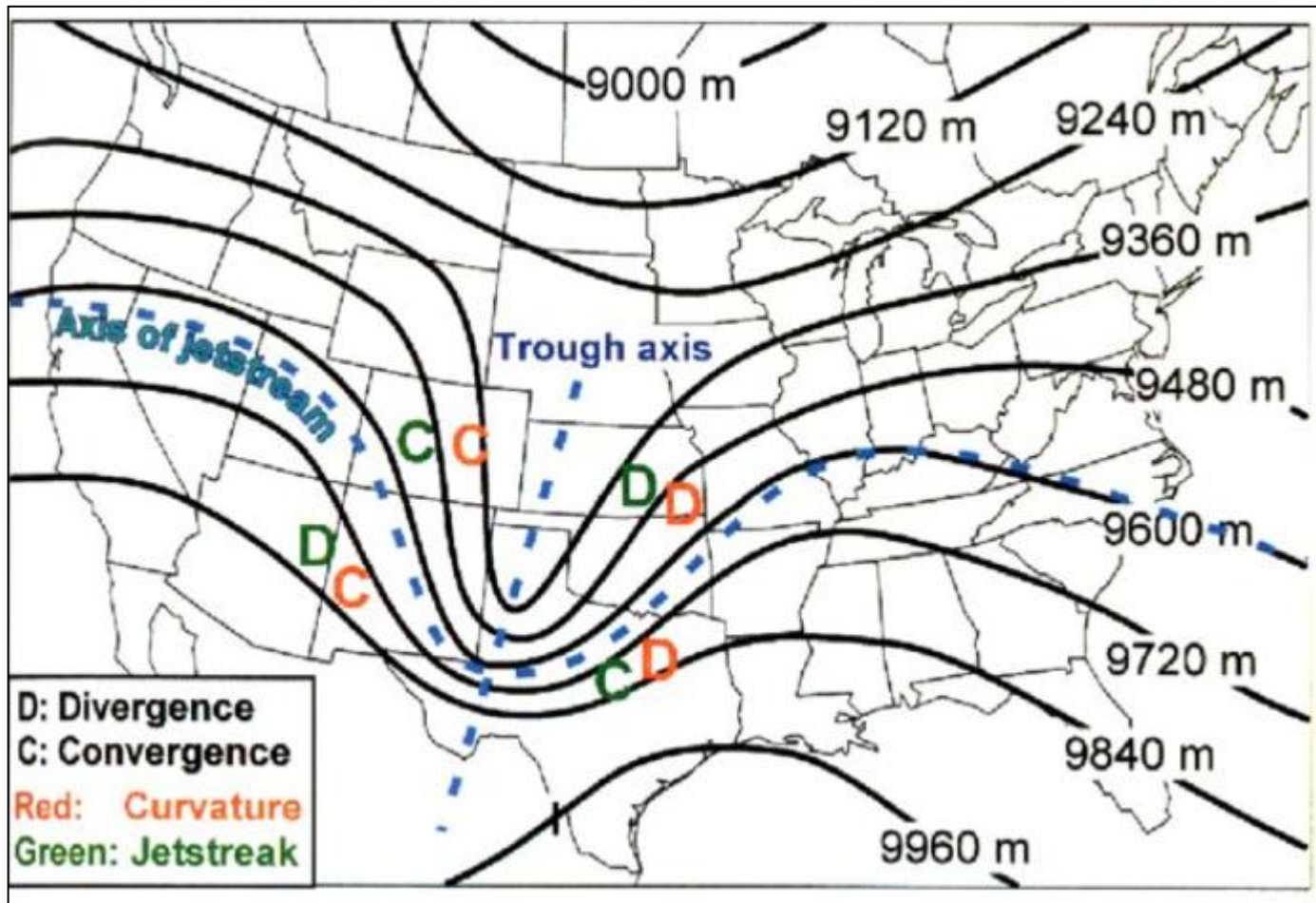


Σχέση jet streak και επιφανειακού χαμηλού

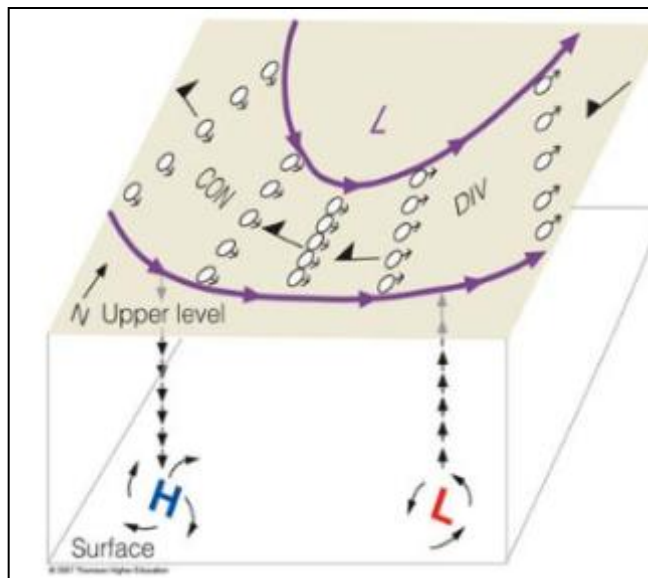
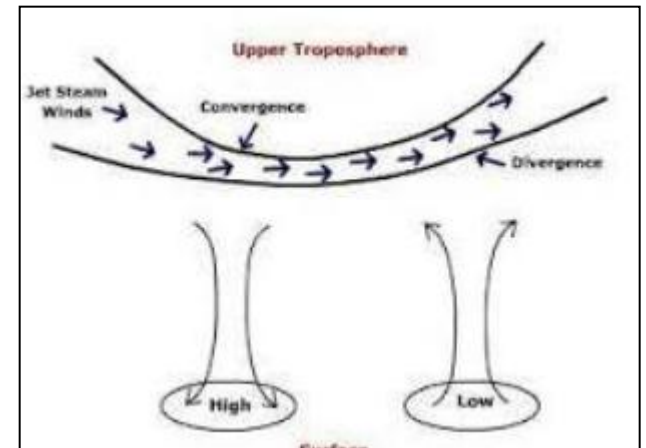
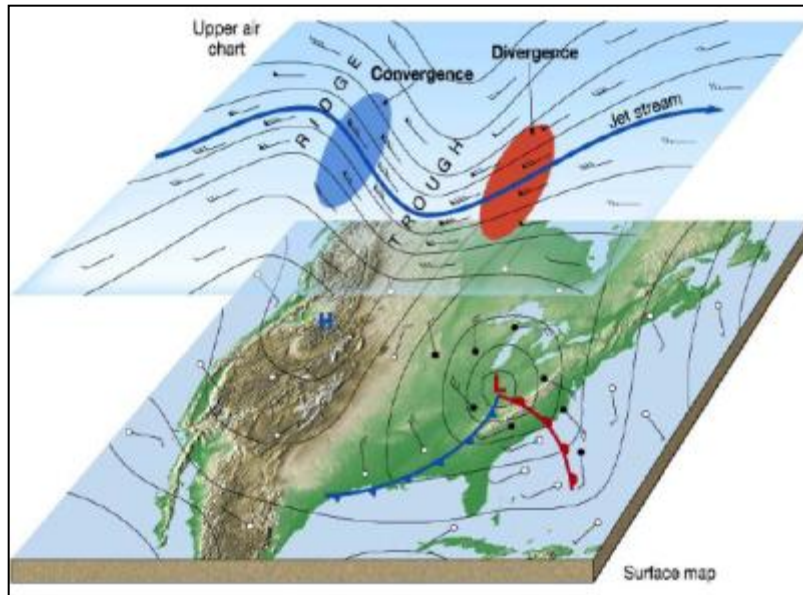
επιφάνεια



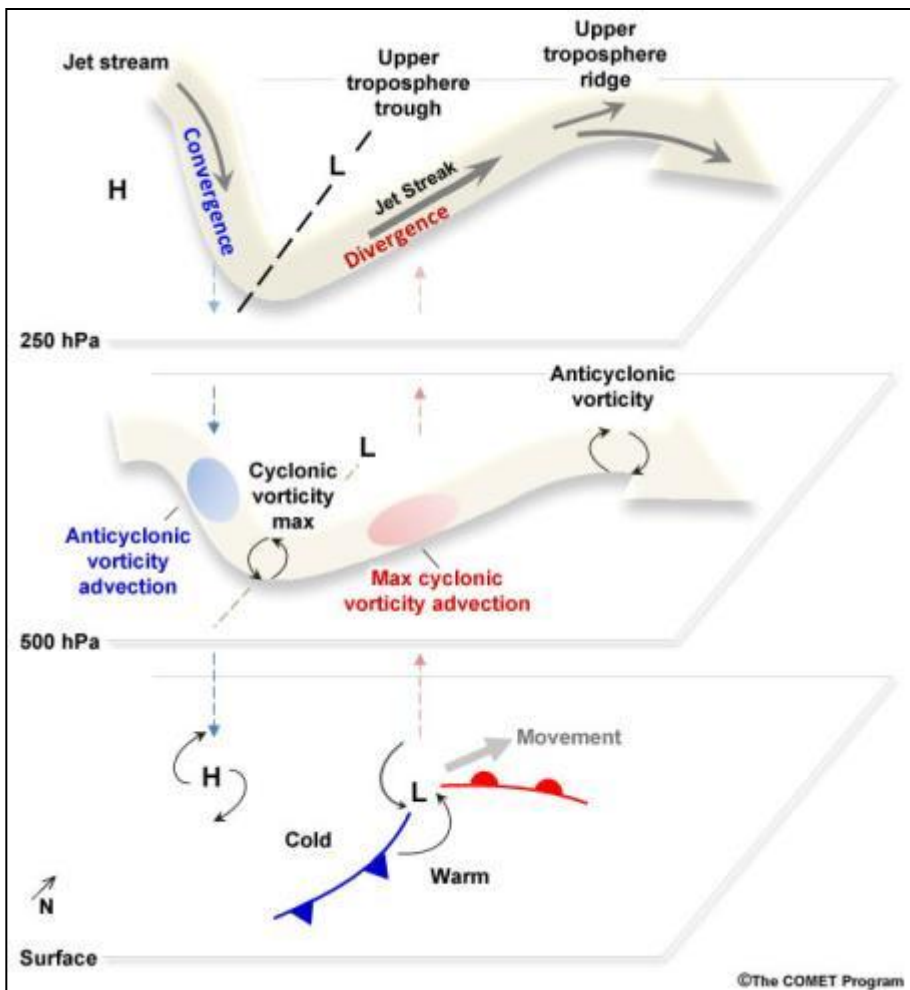
Περιοχές σύγκλισης – απόκλισης



Κυκλογένεση

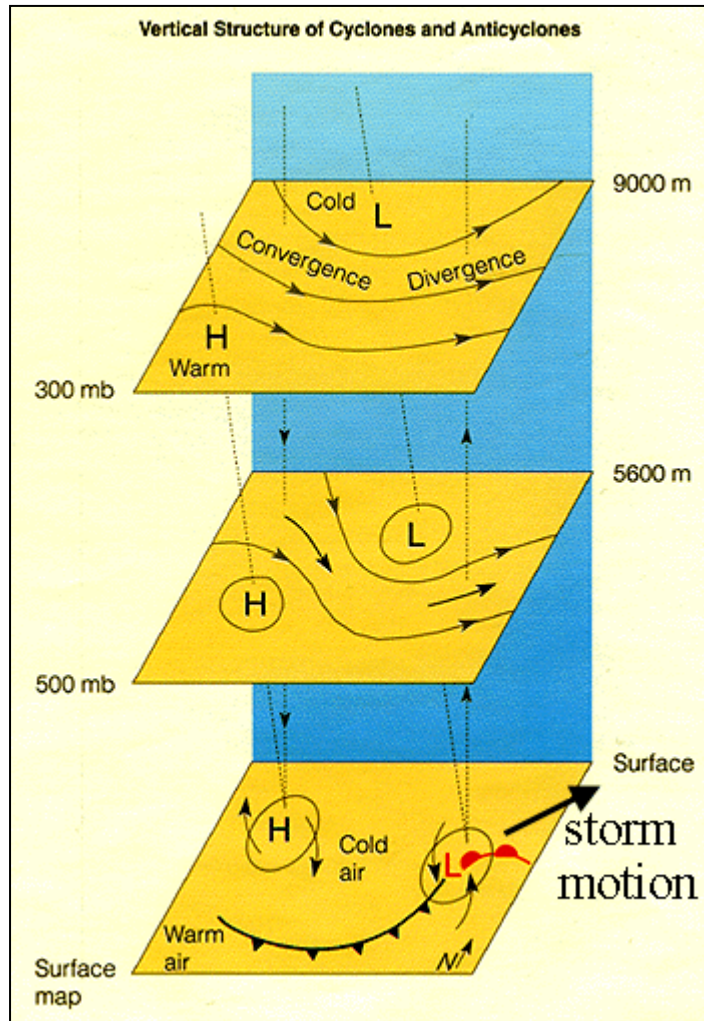


Ενίσχυση επιφανειακών χαμηλών λόγω του αεροχείμαρρου



- Καθώς ο αεροχείμαρρος **αλλάζει κατεύθυνση ή ταχύτητα**, δημιουργεί μια **ανισορροπία των δυνάμεων** την οποία αντισταθμίζει ένας πολύπλοκος μηχανισμός με **ανοδικές κινήσεις** (μέσω απόκλισης) ή **καθοδικές κινήσεις** (μέσω σύγκλισης).
- Όταν η **ανοδική κίνηση** είναι **επάνω από το κέντρο χαμηλής πίεσης**, η **αναρρόφηση** προς τα πάνω βοηθά στην **ενίσχυση του χαμηλού επιφάνειας** (ελάττωση πίεσης)
- Τα επιφανειακά χαμηλά ακολουθούν **τη διαδρομή της μέγιστης πτώσης πίεσης** που δημιουργείται από το φαινόμενο 'κενού'.

Κατακόρυφη δομή κυκλώνων και αντικυκλώνων



Συμπερασματικά:

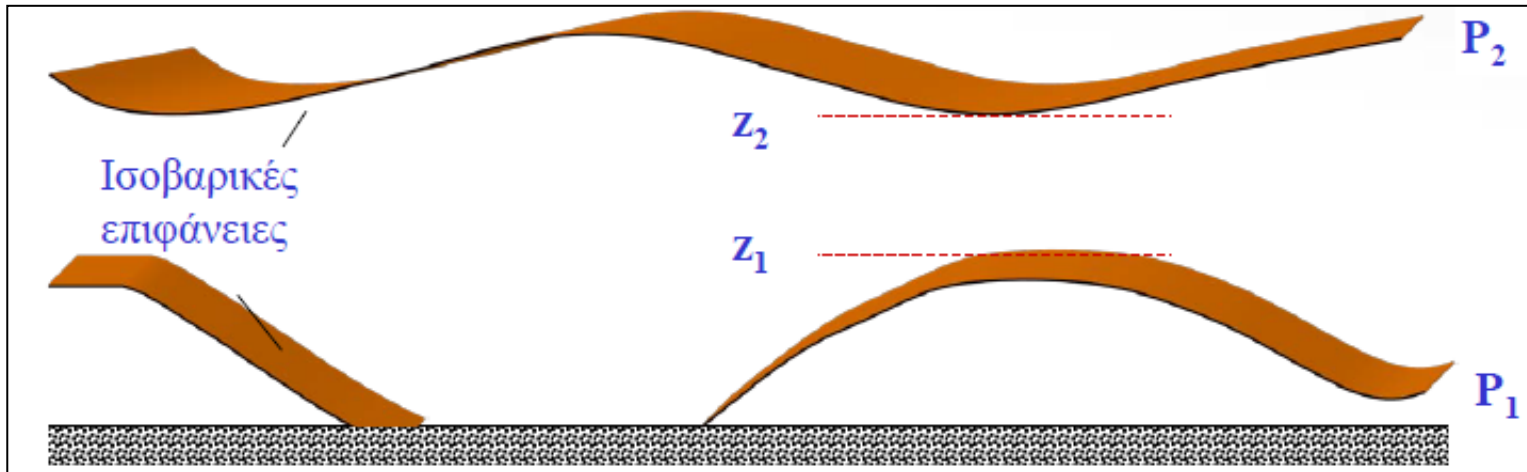
- ❖ Η θέση της επιφανειακής ύφεσης σε σχέση με τα ανώτερα στρώματα καθορίζει την ανάπτυξή της.
- ❖ Μια επιφανειακή ύφεση **ενισχύεται** αν βρίσκεται κάτω από μια περιοχή ισχυρής θετικής μεταφοράς στροβιλισμού (**PVA**), και **εξασθενεί** όταν βρίσκεται κάτω από μια περιοχή αρνητικής μεταφοράς στροβιλισμού (**NVA**).
- ❖ Μια ύφεση συνεχίζει να **ενισχύεται** όσο επικρατούν **ευνοϊκές συνθήκες** στα ανώτερα στρώματα.

Ισοπαχείς

Ισοπαχείς (thickness)

Αν ενώσουμε σε ένα χάρτη όλους τους τόπους πάνω από τους οποίους το πάχος του αερίου στρώματος μεταξύ των ισοβαρικών επιφανειών P_1 και P_2 είναι το ίδιο, θα πάρουμε ένα σύνολο από καμπύλες που ονομάζονται **ισοπαχείς** (thickness contours).

➤ Απεικονίζουν τη διανομή της $\bar{T}$



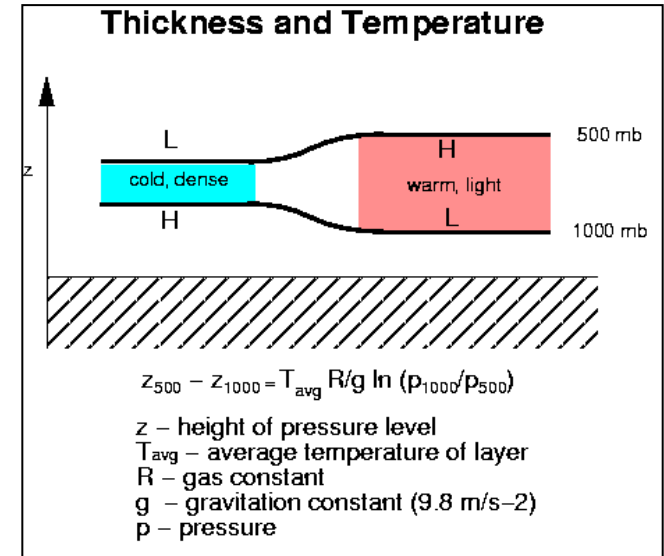
Ισοπαχείς (thickness)

Δίνουν την **υψομετρική διαφορά** δύο ισοβαρικών επιφανειών.

$$(z_2 - z_1) = \Delta z = \frac{R_a \bar{T}}{\bar{g}} \ln \frac{P_1}{P_2}$$

P_1 =κατώτερη ισοβαρική επιφάνεια

P_2 =ανώτερη ισοβαρική επιφάνεια ($P_1 > P_2$)



➤ Είναι **ανάλογες** της **μέσης θερμοκρασίας T** του ατμοσφαιρικού στρώματος.



Το πάχος ενός στρώματος μεταξύ δύο ισοβαρικών επιφανειών είναι ανάλογο της **μέσης τιμής της θερμοκρασίας** του.



Μικρό πάχος Δz -----ψυχρό στρώμα
Μεγάλο πάχος -----θερμό στρώμα

Τυπικές τιμές ισοπαχών

Οι πιο συνηθισμένες τιμές ισοπαχών:

1000 – 500 hPa

Χρησιμοποιείται κυρίως για να ορίσει την θερμική κατάσταση των αερίων μαζών στη μέση τροπόσφαιρα και για πιθανότητα χιονιού. Περιέχει τιμές με εύρος γύρω στα 5000 grm (μπορεί να μπερδευτεί με το χάρτη των 500 hPa!).

Η τιμή των ισοπαχών που διαφοροποιεί το χιόνι από τη βροχή:

- $\Delta z < 5400$ grm για περιοχές με χαμηλό υψόμετρο
- $\Delta z = 5230 \pm 47$ grm για την Αθήνα
- $\Delta z = 5230 - 5383$ grm για τη βόρεια Ελλάδα

1000 – 850 hPa

Χρησιμοποιείται για πιθανότητα χιονιού και για την πρόγνωση της μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας.

π.χ. η τιμή 1300 grm διαφοροποιεί το χιόνι από τη βροχή

- $\Delta z = 1282 \pm 33$ grm για την Αθήνα
- $\Delta z = 1217 - 1401$ grm για τη βόρεια Ελλάδα

1000 – 700 hPa

Χάρτης ισοπαχών 1000-500 hPa

Τιμές περίπου 4800-5700 gpm

I

Trough ισοπαχών

ψυχρή εισβολή



ύφεση στην επιφάνεια

II

Βαθμίδα ισοπαχών



βαροκλινική ζώνη στην
επιφάνεια



πιθανή θέση μετώπου

Μικρές τιμές ΔΖ
-> Ψυχρός αέρας/στρώμα

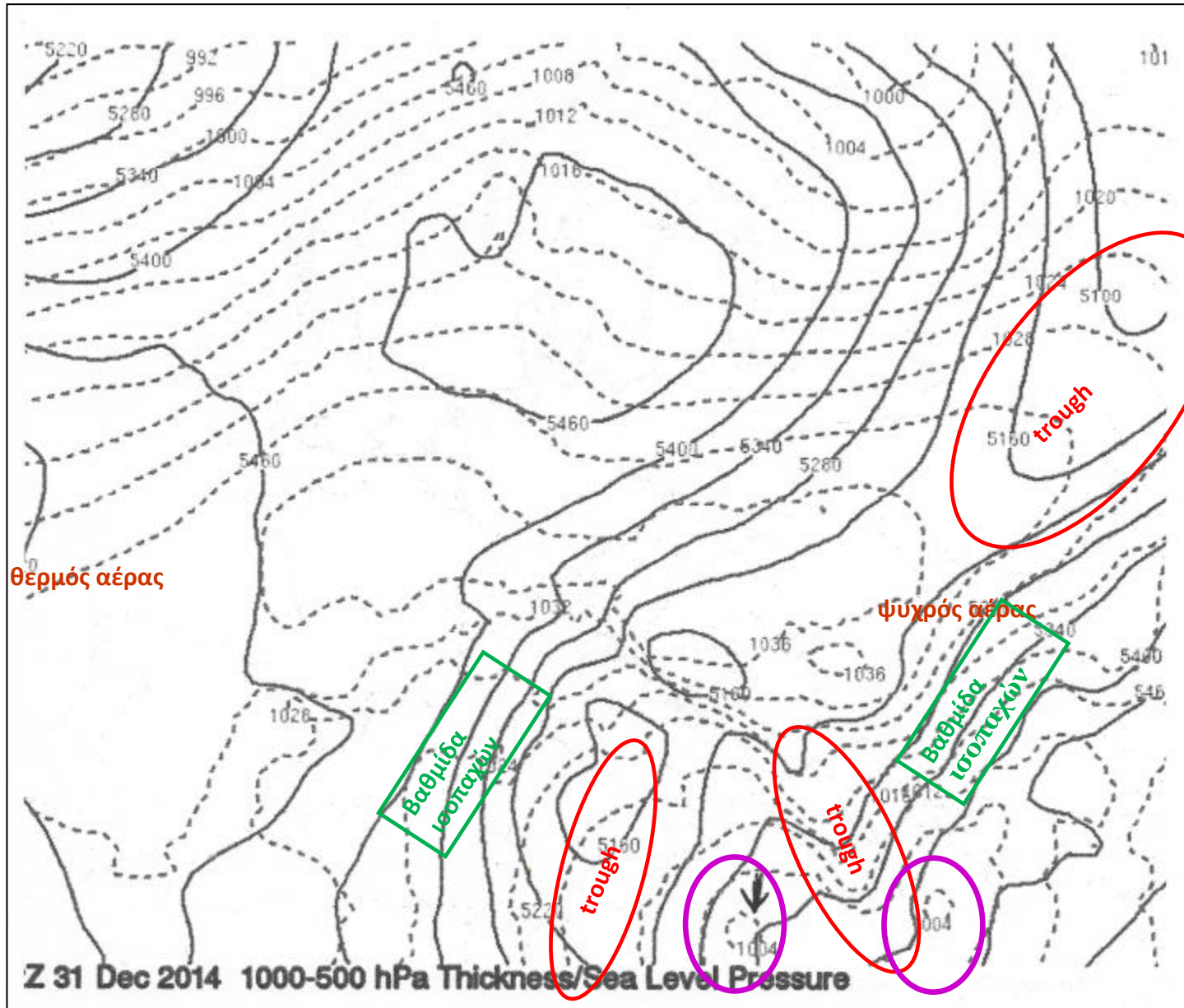
Μεγάλες τιμές ΔΖ
-> Θερμός αέρας/στρώμα

00Z 24 Feb 2014 1000-500 hPa Thickness/Sea Level Pressure

University of Wyoming

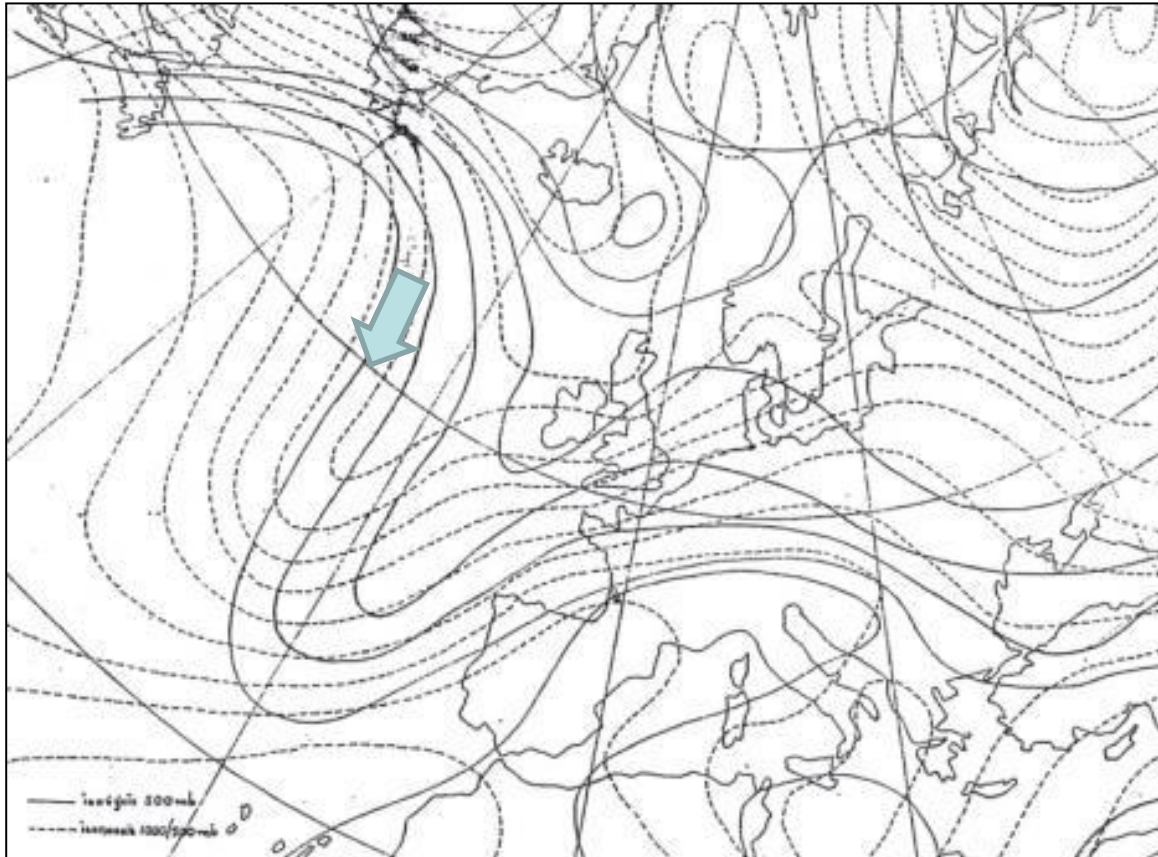
Εξάσκηση σε χάρτη ισοπαχών

————— ισοπαχείς
- - - - - ισοβαρείς
 επιφανείας



Μεταφορά ισοπαχών

Η μεταφορά ισοπαχών επίσης προσδιορίζει τη θερμική κατάσταση του στρώματος στο οποίο αναφέρεται. Μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του γεωστροφικού ανέμου στα 500 hPa.

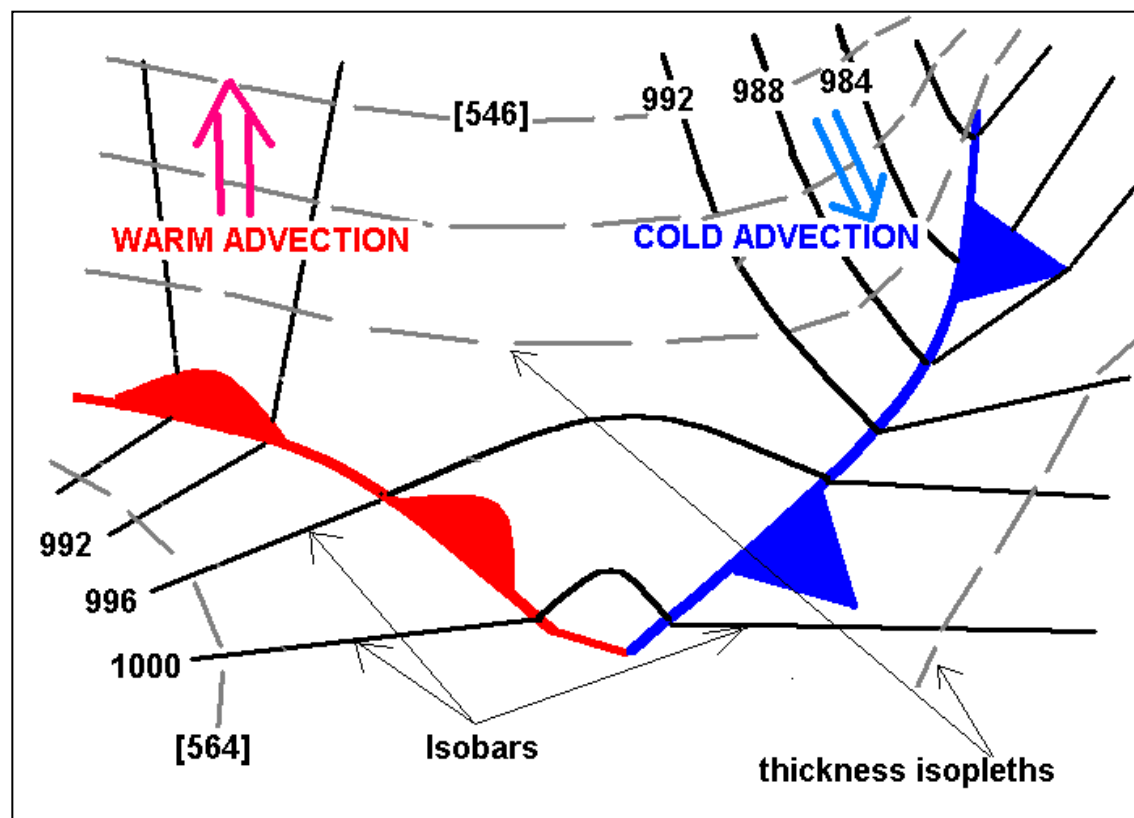


Ισοϋψείς 500 hPa

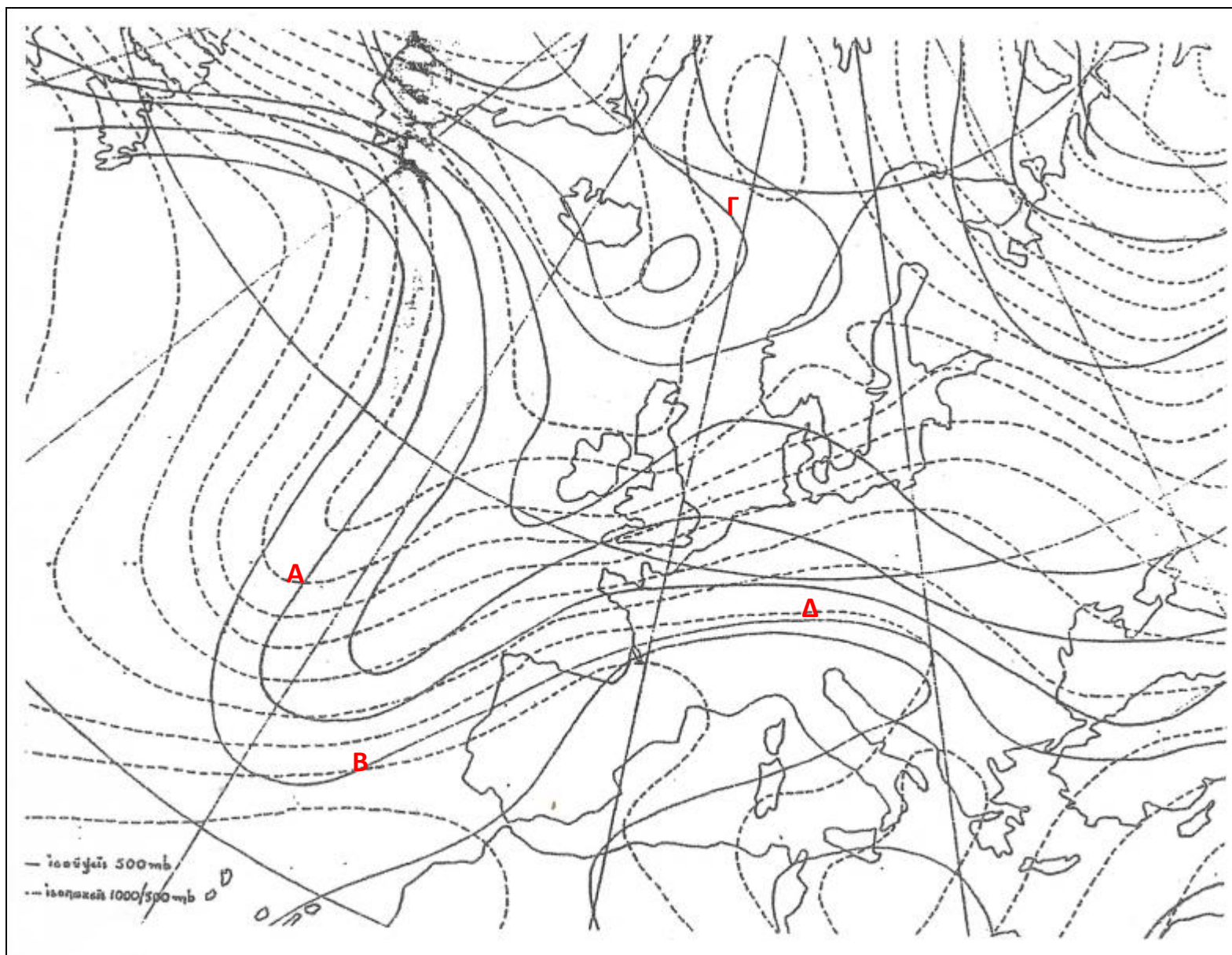
Ισοπαχείς 1000-500 hPa

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το γεωστροφικό άνεμο και τη θερμοκρασία στα 700 mb για να εκτιμήσουμε τη μεταφορά θερμοκρασίας του στρώματος 1000-500 hPa.

Παράδειγμα μεταφοράς με τη βοήθεια ισοβαρών και ισοπαχών

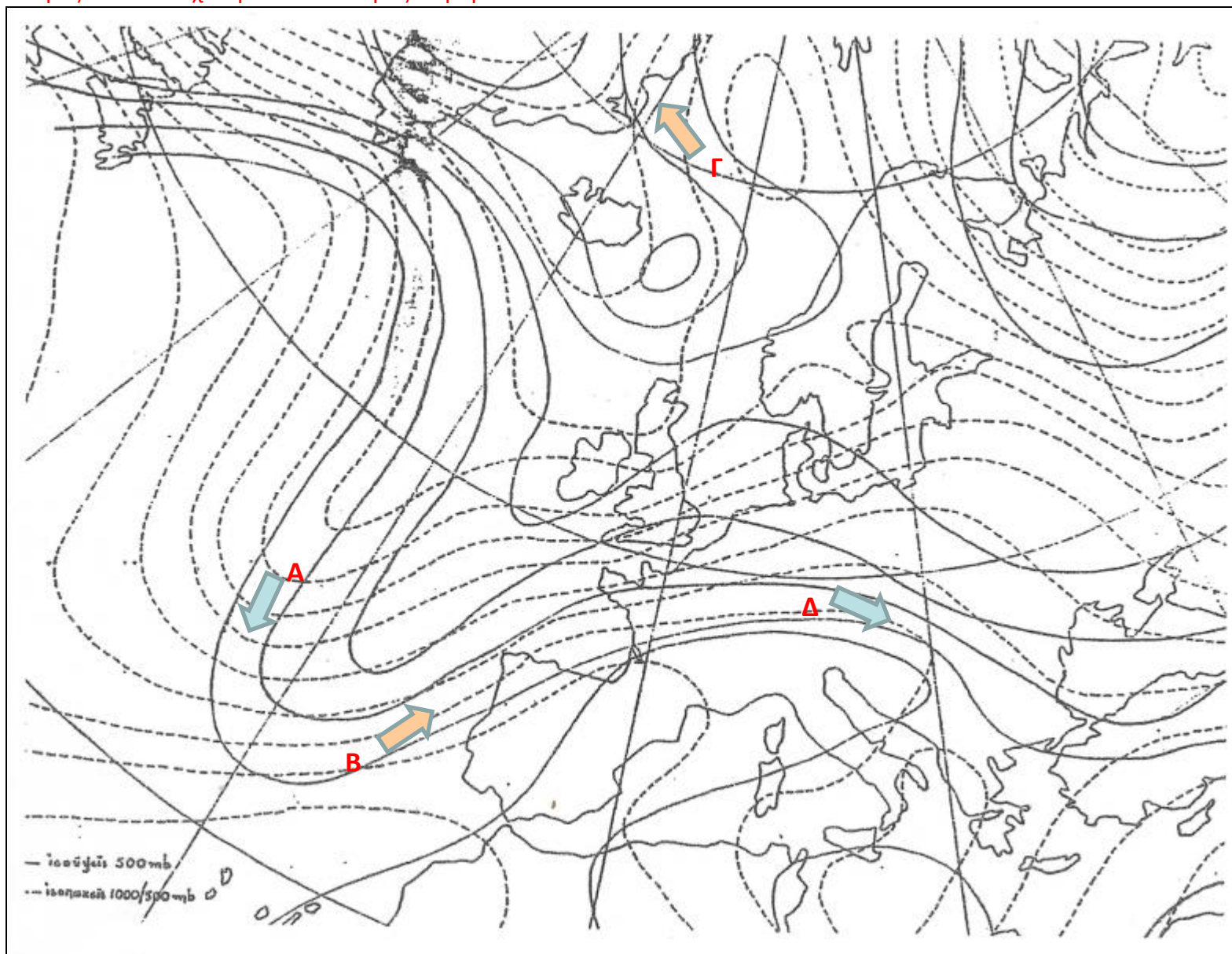


Εξάσκηση στη μεταφορά ισοπαχών



Εξάσκηση στη μεταφορά ισοπαχών

Οι τιμές των ισοπαχών μειώνονται προς τα βόρεια!!



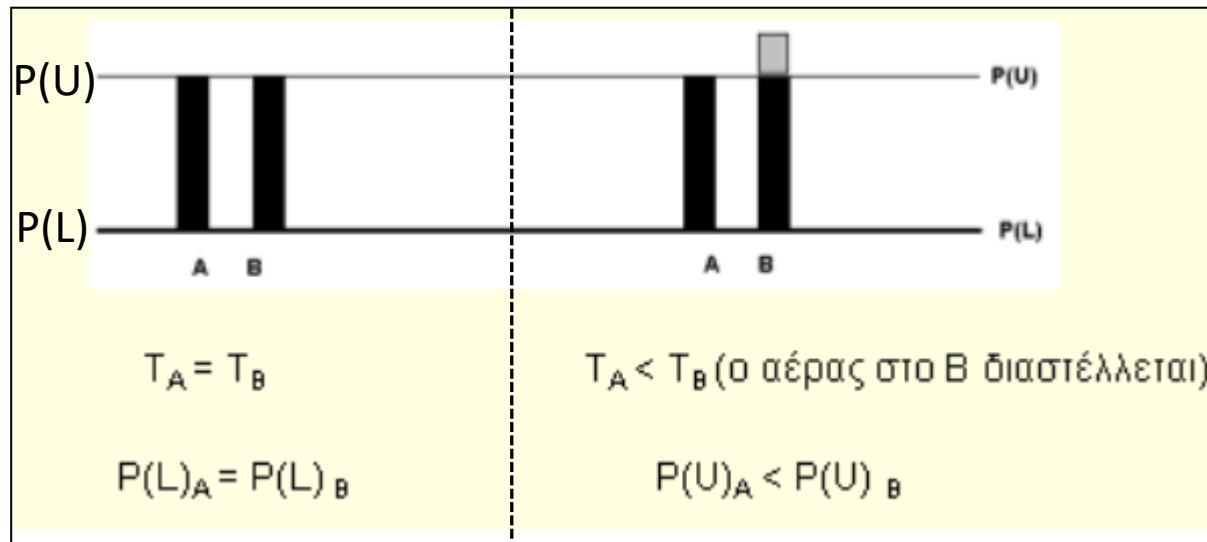
Θερμικός άνεμος

Θερμικός άνεμος $\vec{V}_T$

Δεν είναι άνεμος! Αντιπροσωπεύει την **κατακόρυφη διάτμηση του γεωστροφικού ανέμου** σε ένα στρώμα που ορίζεται από δύο ύψη μέσα στην τροπόσφαιρα και **οφείλεται στην οριζόντια θερμοβαθμίδα**.

Δεν δημιουργείται V_T

Δημιουργείται V_T

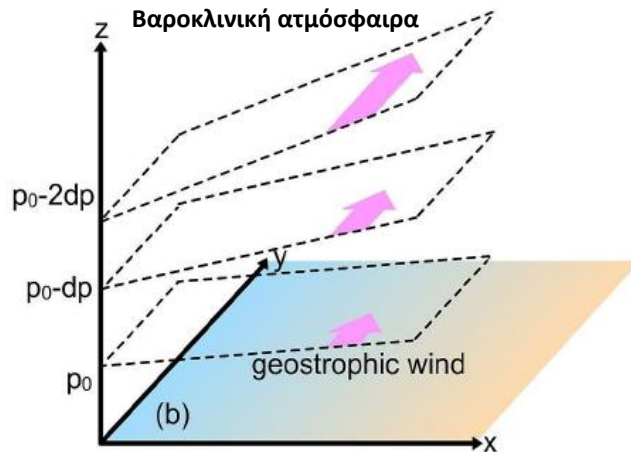


Σύμφωνα με την αρχή της υδροστατικής ισορροπίας, για τη **μεταβολή του γεωστροφικού ανέμου καθ' ύψος**, πρέπει να υπάρχει **οριζόντια θερμοβαθμίδα**.

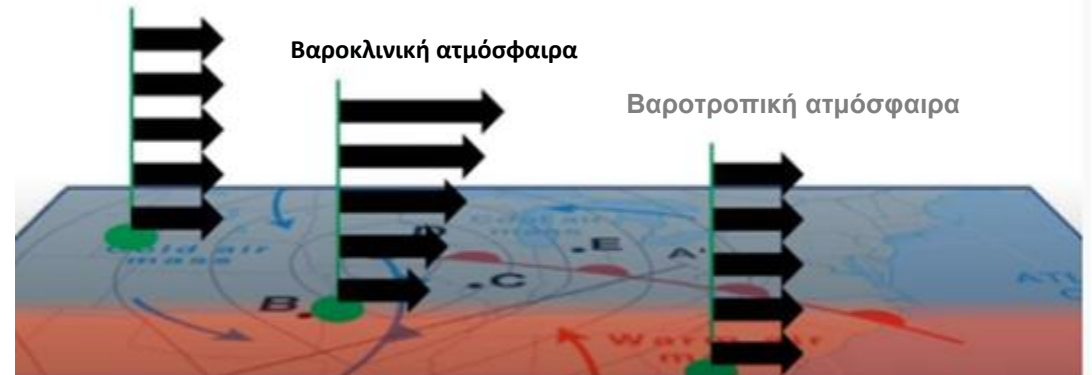
Βαροκλινική ατμόσφαιρα

Αν υπάρχει οριζόντια θερμοβαθμίδα:

- ⇒ η κλίση των ισοβαρικών επιφανειών αλλάζει με το ύψος
- ⇒ αλλάζει η ταχύτητα και η διεύθυνση του γεωστροφικού ανέμου



Βαροτροπική ατμόσφαιρα

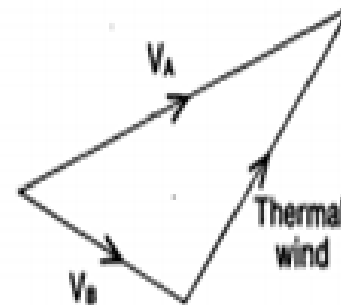
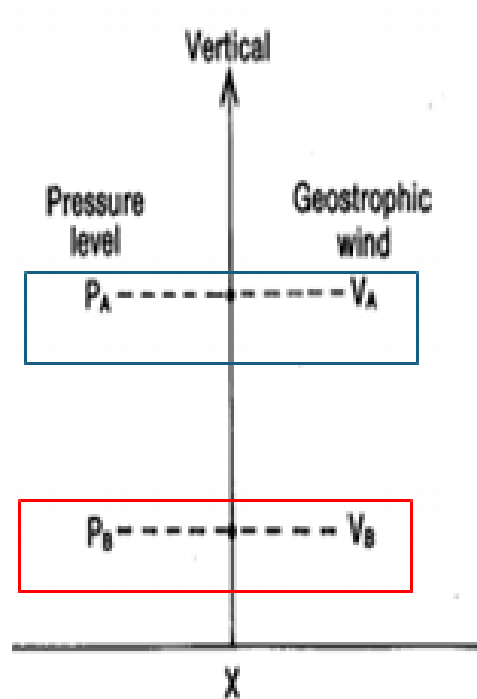


Θερμικός άνεμος $\vec{V_T}$



V_T : Ορίζεται ως η διανυσματική διαφορά του γεωστροφικού ανέμου μεταξύ δύο ισοβαρικών επιπέδων P_A και P_B ($P_A < P_B$):

$$\vec{V_T} = \vec{V_A} - \vec{V_B}$$



Θερμικός άνεμος και μεταφορά θερμοκρασίας

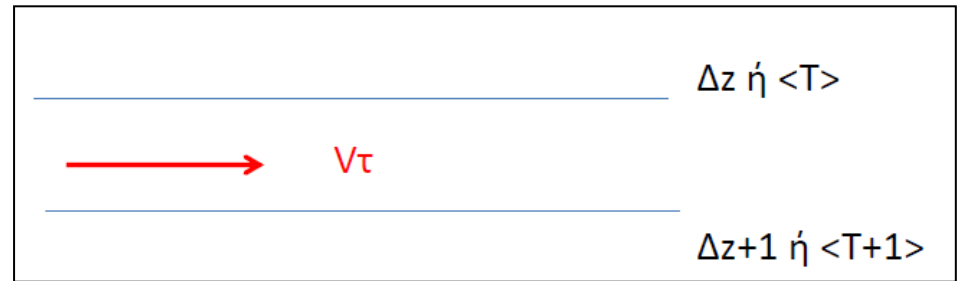
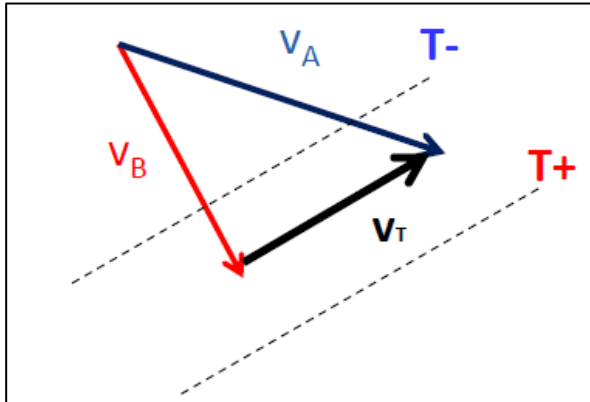
Ο θερμικός άνεμος μετράει την κατακόρυφη βαθμίδα των ισουψών μεταξύ δύο ισοβαρικών επιφανειών και σχετίζεται με τη μέση οριζόντια θερμοβαθμίδα του στρώματος.

$$(V_g)_2 - (V_g)_1 = \frac{g_0}{f} k \times \nabla(Z_2 - Z_1)$$

$$\vec{V}_T = \Delta \vec{v}_g = \vec{V}_A - \vec{V}_B = \frac{R}{f} \ln \left(\frac{P_B}{P_A} \right) \vec{k} \times \vec{\nabla}_p \bar{T} \quad (H_A > H_B)$$

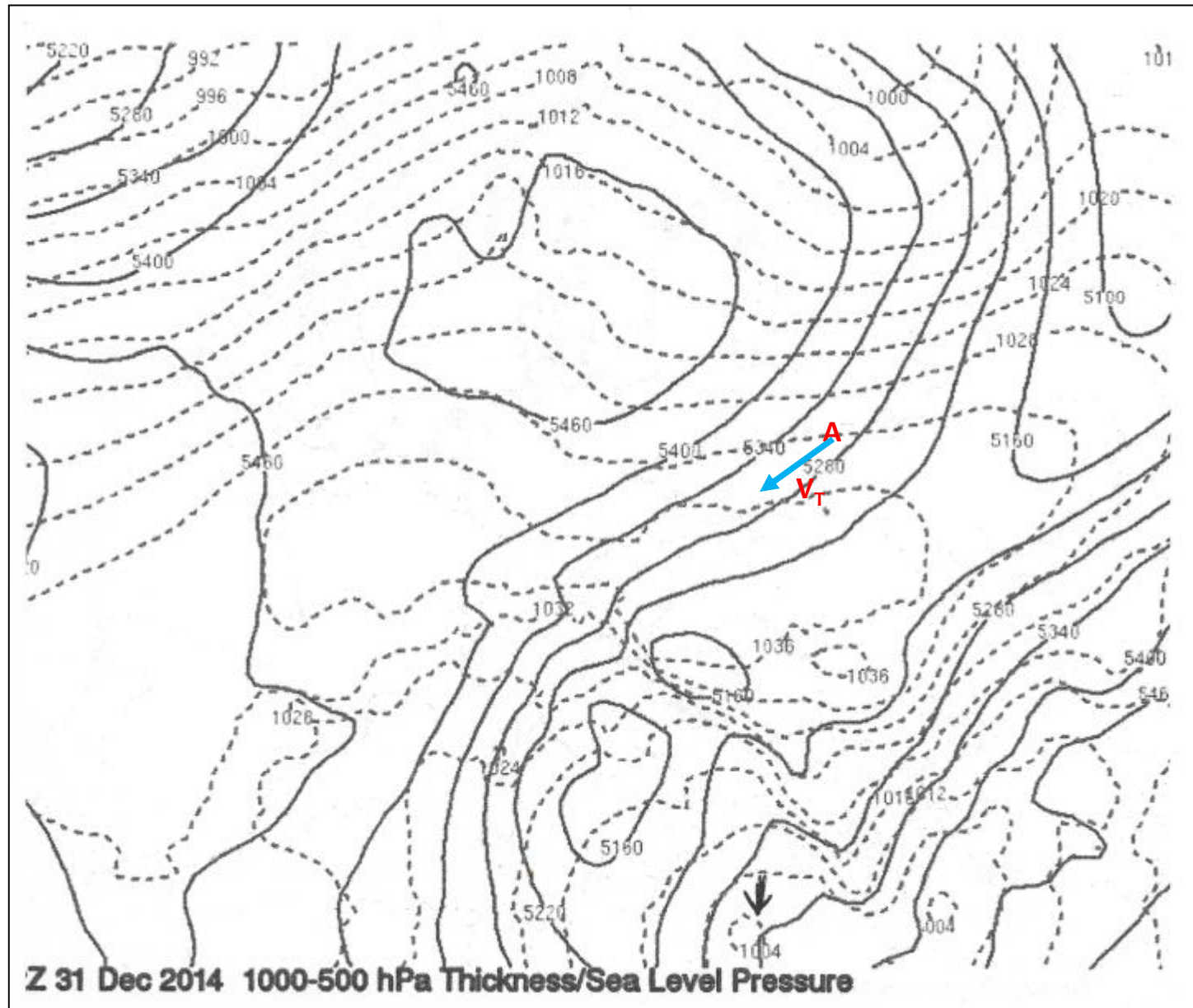
Σχεδιασμός θερμικού ανέμου

Ο θερμικός άνεμος “πνέει” παράλληλα προς τις ισόθερμες (της μέσης θερμοκρασίας του στρώματος) ή τις ισοπαχείς έχοντας στα αριστερά του τις χαμηλές τιμές στο Β. Ημισφαίριο.



Ο θερμικός άνεμος δείχνει αν ο γεωστροφικός άνεμος μεταφέρει
θερμότερες ή ψυχρότερες αέριες μάζες.

Εξάσκηση χάραξης θερμικού ανέμου σε χάρτη ισοπαχών



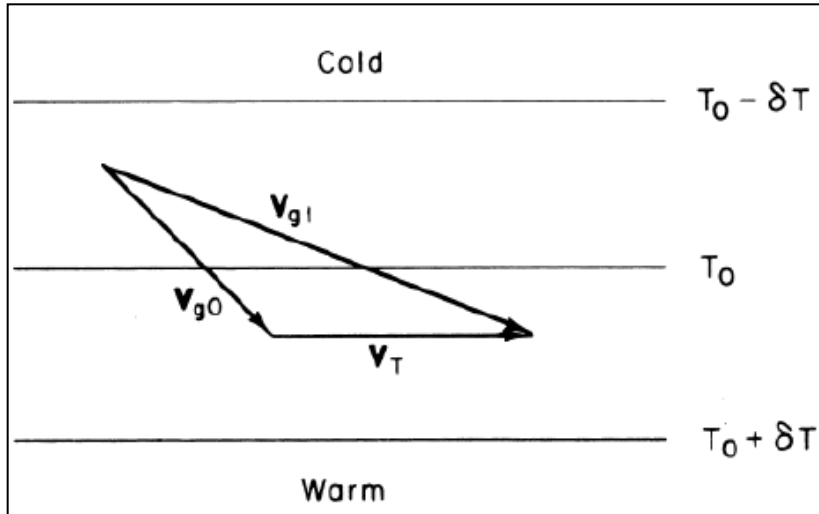
Θερμικός άνεμος V_T



Εκτίμηση θερμικής μεταφοράς

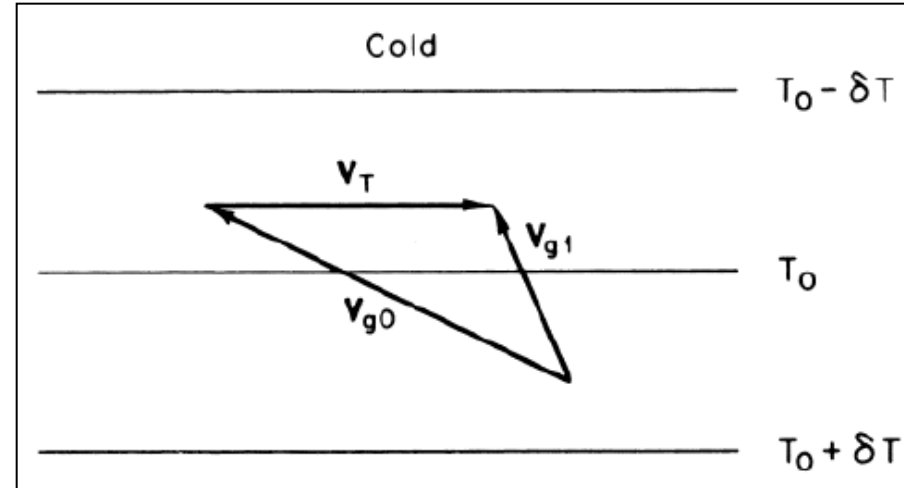
Μπορεί να υπολογιστεί η οριζόντια μεταφορά θερμοκρασίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή αποκλειστικά από τα δεδομένα της κατακόρυφης κατατομής του ανέμου προερχόμενα από μια ραδιοβόλση.

Ψυχρή – Θερμή μεταφορά θερμοκρασίας



Ψυχρή μεταφορά

- Ο γεωστροφικός άνεμος στρέφεται με το ύψος αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού.
- Ο γεωστροφικός άνεμος πνέει και στα δύο επίπεδα από χαμηλότερες προς υψηλότερες θερμοκρασίες.
- Καθοδικές κινήσεις.



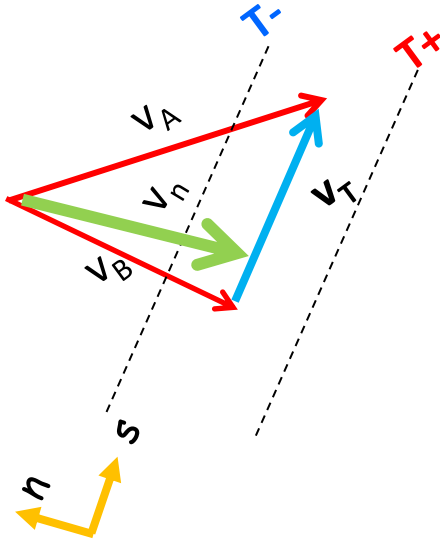
Θερμή μεταφορά

- Ο γεωστροφικός άνεμος στρέφεται με το ύψος κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού.
- Ο γεωστροφικός άνεμος πνέει και στα δύο επίπεδα από υψηλότερες προς χαμηλότερες θερμοκρασίες.
- Ανοδικές κινήσεις.

Υπολογισμός Ψυχρής – Θερμής μεταφοράς θερμοκρασίας

V_T : Έχει διεύθυνση παράλληλη προς τις ισόθερμες (ή ισοπαχείς), έχοντας στα δεξιά τις υψηλές θερμοκρασίες ($T+$) (ή τα μεγαλύτερα ύψη).

$$\vec{V}_T = \vec{V}_A - \vec{V}_B$$



$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \bar{V}_n \left| \frac{\partial \bar{T}}{\partial n} \right|,$$

$\bar{V}_n$: κάθετο στο άνυσμα του θερμικού ανέμου

Εξετάζω αν n και Vn είναι ομόρροπα ή αντίρροπα οπότε:

$$\bar{V}_n > 0$$

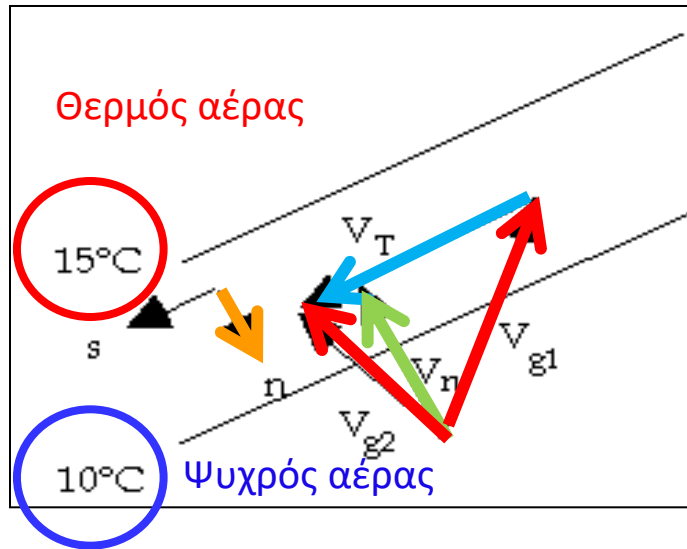
$$\bar{V}_n < 0$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} > 0$$

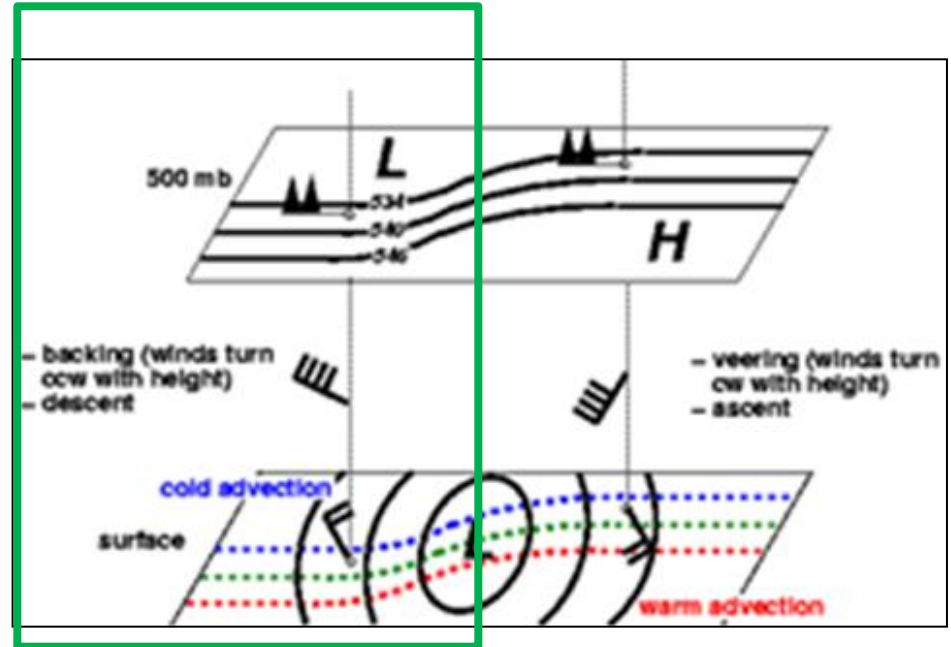
$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} < 0$$

Παράδειγμα ψυχρής μεταφοράς θερμοκρασίας

$$\vec{V}_T = \vec{V}_{g2} - \vec{V}_{g1}, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \bar{V}_n \left| \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} \right|$$



$$\bar{V}_n < 0$$



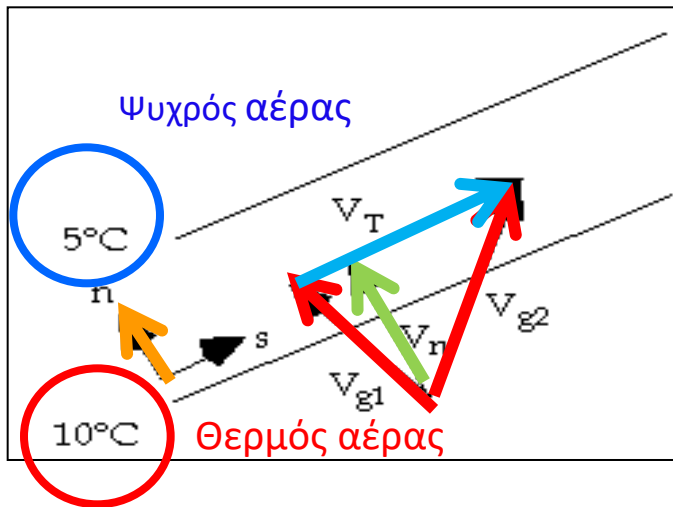
- Οι άνεμοι στα 2 επίπεδα πνέουν από χαμηλές προς υψηλές θερμοκρασίες.
- Στροφή με το ύψος του γεωστροφικού ανέμου αντίθετα στη φορά των δεικτών του ρολογιού (*backing with height*) $\Rightarrow \bar{V}_n < 0 \Rightarrow \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} < 0$



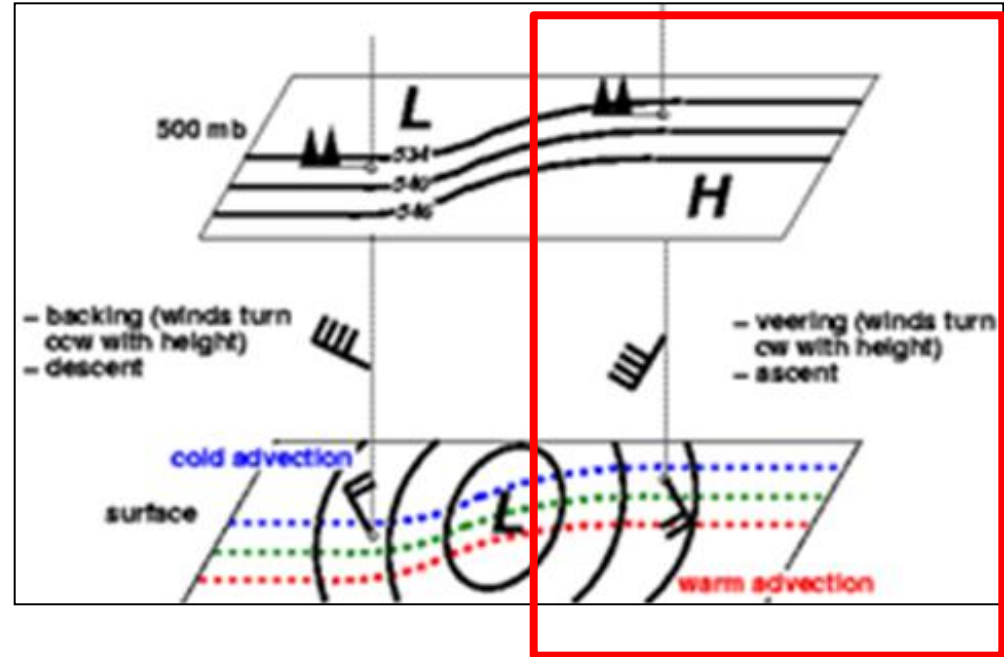
Ψυχρή μεταφορά

Παράδειγμα θερμής μεταφοράς θερμοκρασίας

$$\vec{V}_T = \vec{V}_{g2} - \vec{V}_{g1}, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \bar{V}_n \left| \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} \right|$$



$$\bar{V}_n > 0$$



- Οι άνεμοι στα 2 επίπεδα πνέουν από υψηλές προς χαμηλές θερμοκρασίες.
- Στροφή με το ύψος του γεωστροφικού ανέμου σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού (*backing with height*) $\Rightarrow \bar{V}_n > 0 \Rightarrow \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} > 0$

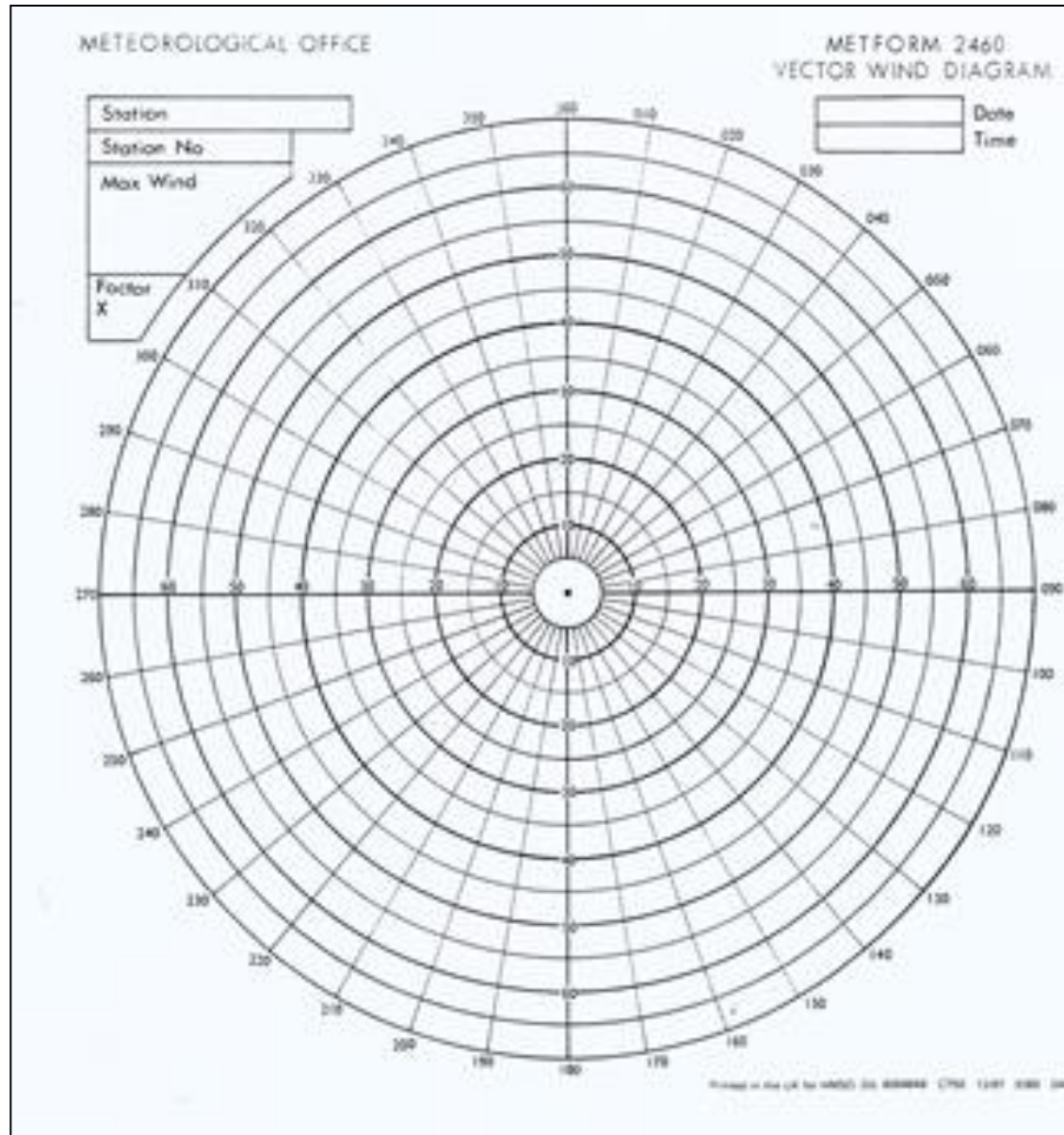


Θερμή μεταφορά

Οδογράφος κίνησης

- Η οδογράφος κίνησης είναι ένα σύστημα πολικών συντεταγμένων, στο οποίο σημειώνονται οι άνεμοι στις διάφορες ισοβαρικές στάθμες.
- Γνωρίζοντας τον γεωστροφικό άνεμο σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία σε δύο διαφορετικά ύψη, υπολογίζεται το διάνυσμα του θερμικού ανέμου.
- Επομένως εντοπίζονται που είναι οι ψυχρότερες και που οι θερμότερες αέριες μάζες.
- Γνωρίζοντας τη φορά που πνέει ο άνεμος στα δύο ύψη, εκτιμάται η θερμική μεταφορά στο στρώμα που ορίζεται ο θερμικός άνεμος.

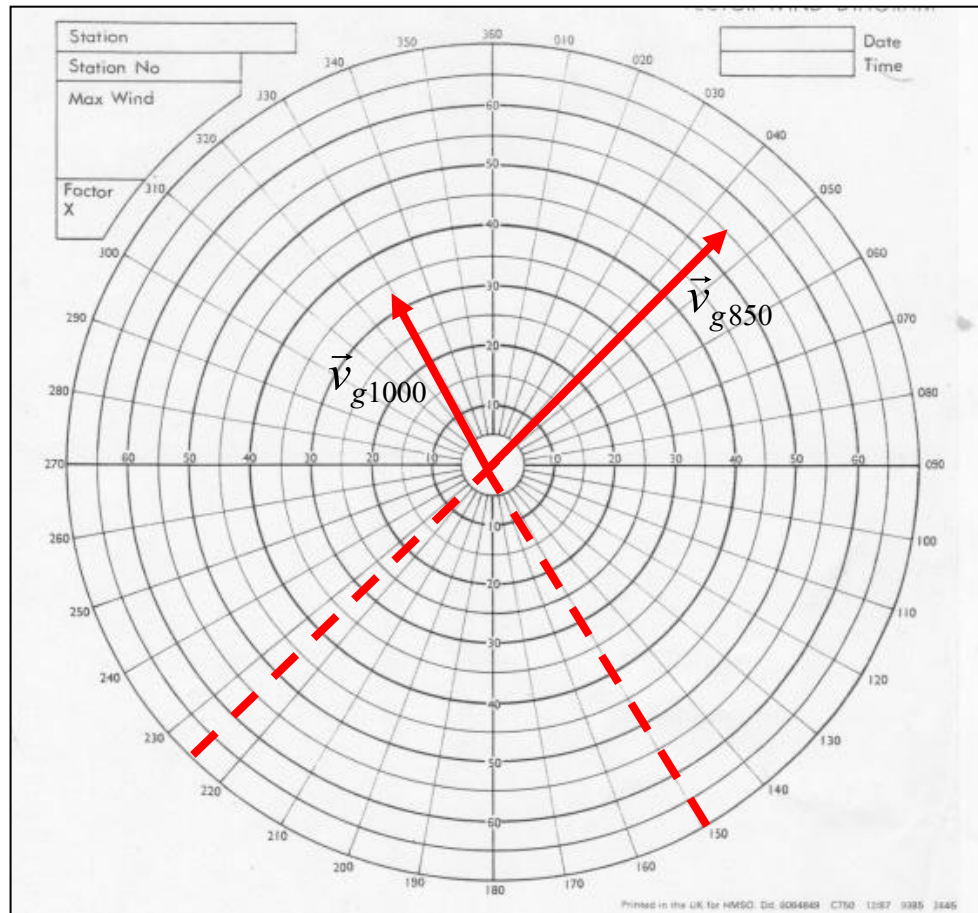
Οδογράφος κίνησης



Οδογράφος κίνησης

Παράδειγμα εκτίμησης μεταφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα των 1000 – 850 hPa

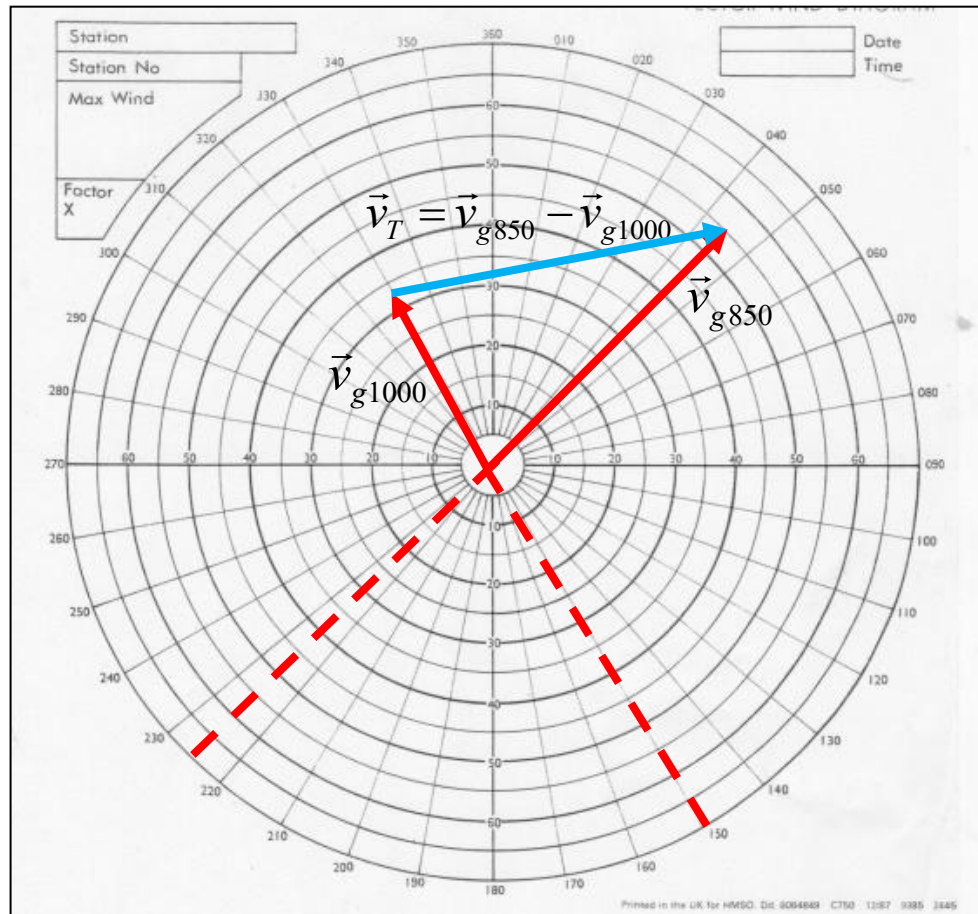
- Πλοτάρουμε τα ανύσματα του γεωστροφικού ανέμου στα 2 επίπεδα σύμφωνα με την ένταση και τη διεύθυνση που μας δίνεται ($V_{g1000} = 150 \text{ deg} / 34 \text{ kts}$, $V_{g850} = 225 \text{ deg} / 55 \text{ kts}$).



Οδογράφος κίνησης

Παράδειγμα εκτίμησης μεταφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα των 1000 – 850 hPa

- Πλοτάρουμε τα ανύσματα του γεωστροφικού ανέμου στα 2 επίπεδα σύμφωνα με την ένταση και τη διεύθυνση που μας δίνεται ($V_{g1000} = 150 \text{ deg} / 34 \text{ kts}$, $V_{g850} = 225 \text{ deg} / 55 \text{ kts}$).
- Πλοτάρουμε τη διανυσματική διαφορά τους, δηλ. τον θερμικό άνεμο $\vec{V}_T$

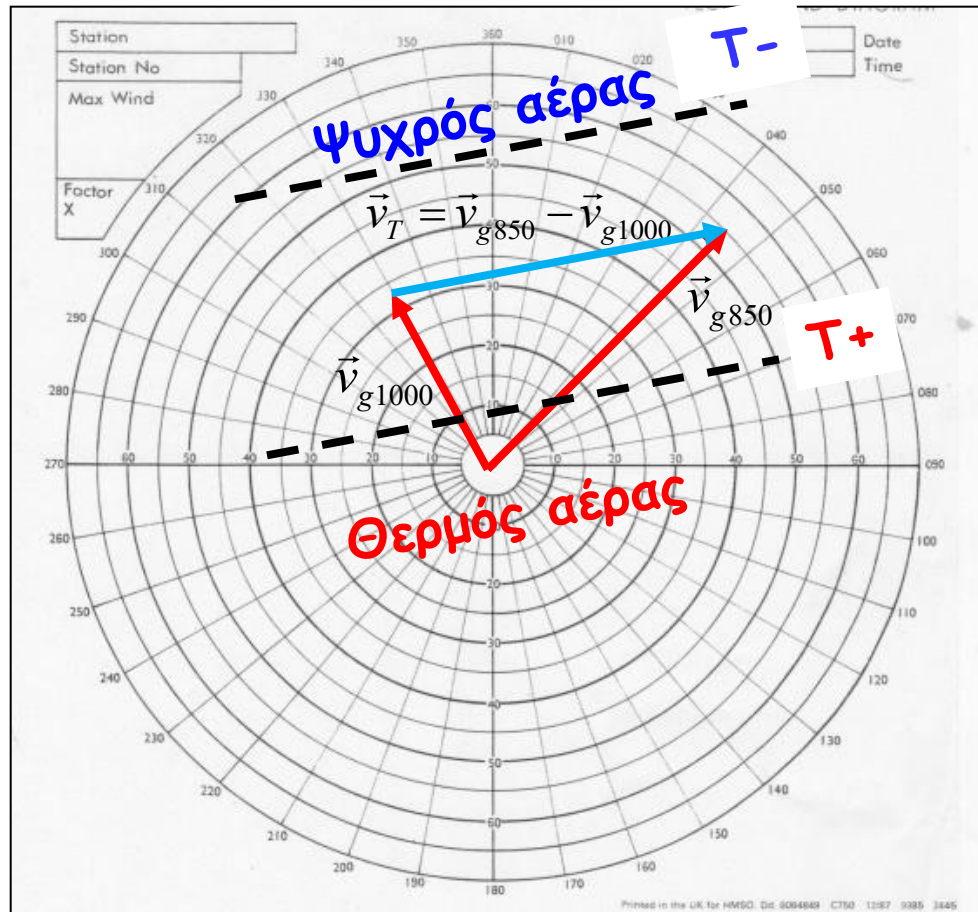


Οδογράφος κίνησης

Παράδειγμα εκτίμησης μεταφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα των 1000 – 850 hPa

➤ Ο θερμικός άνεμος κατευθύνεται **παράλληλα προς τις ισόθερμες**, έχοντας στα **δεξιά τις υψηλές θερμοκρασίες**

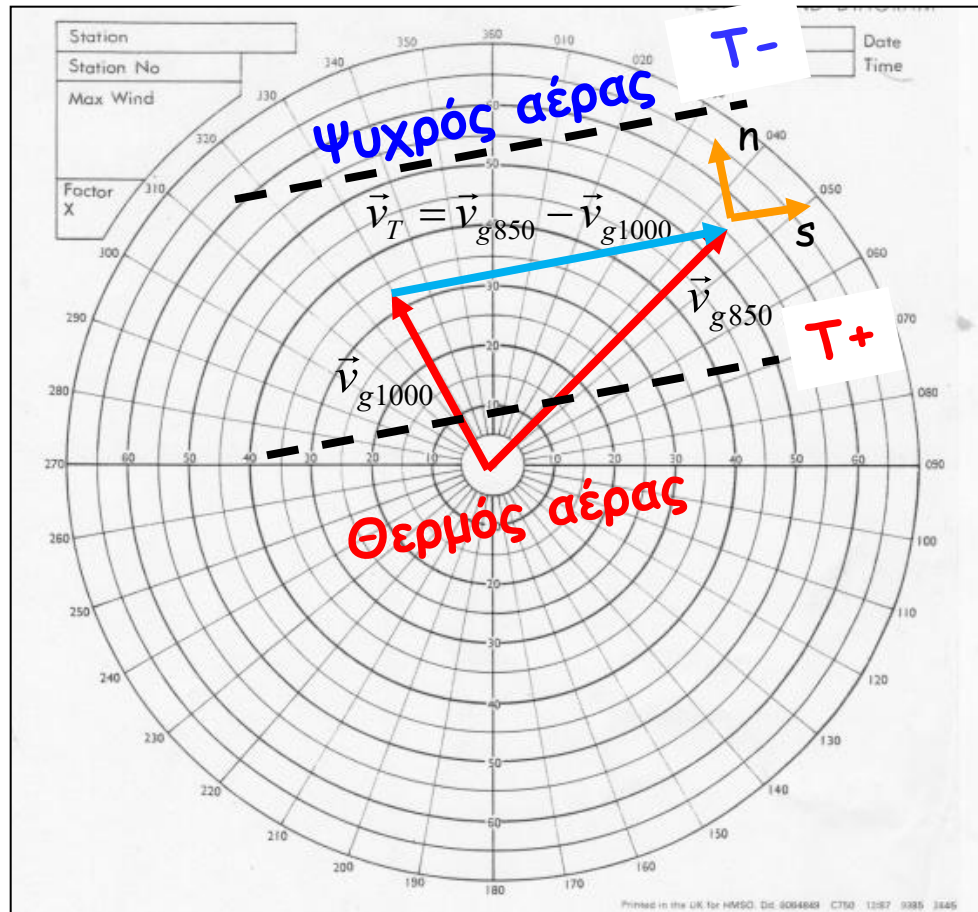
Άρα προσδιορίζουμε τις περιοχές με τη **μεγαλύτερη θερμοκρασία (T+)** και τη **μικρότερη θερμοκρασία (T-)**



Οδογράφος κίνησης

Παράδειγμα εκτίμησης μεταφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα των 1000 – 850 hPa

- Σχεδιάζουμε το μοναδιαίο διάνυσμα ($\vec{n}$), κάθετο στις ισόθερμες προς τον ψυχρό αέρα.

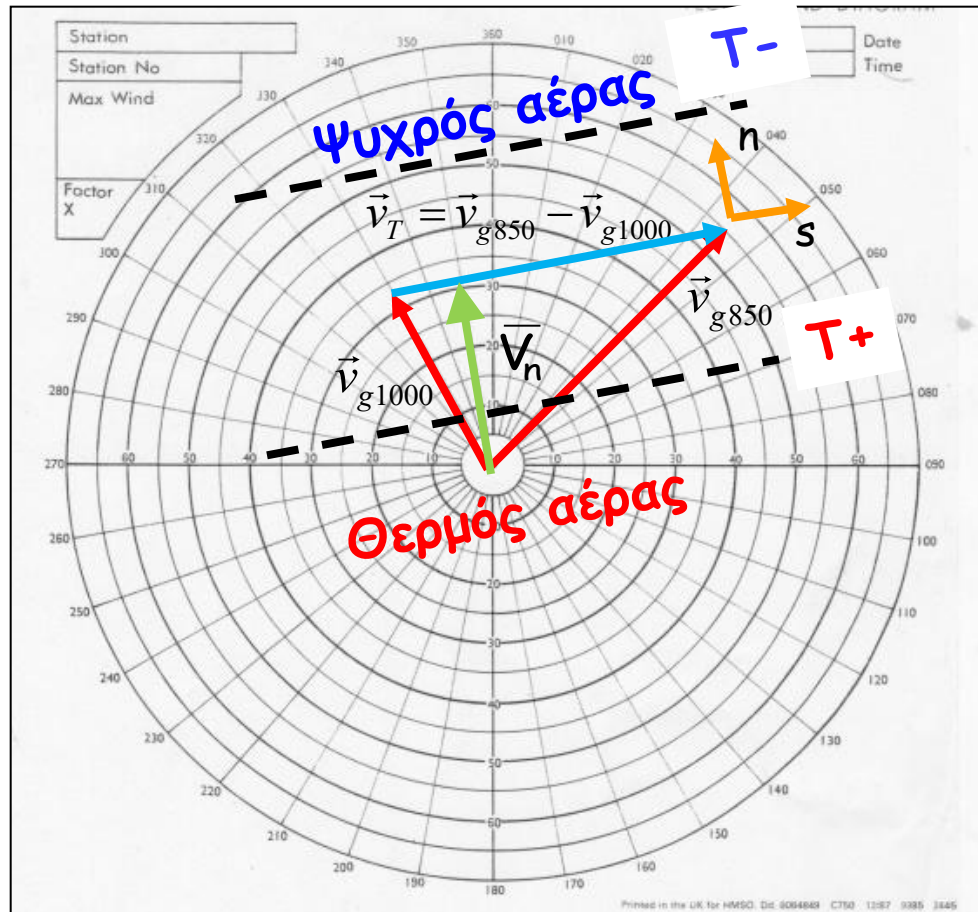


Οδογράφος κίνησης

Παράδειγμα εκτίμησης μεταφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα των 1000 – 850 hPa

- Πλοτάρουμε από το κέντρο του πολικού διαγράμματος το διάνυσμα Vn , κάθετο στο θερμικό άνεμο. Το Vn είναι θετικό όταν έχει την ίδια φορά με το διάνυσμα n .

Στην περίπτωση αυτή ο άνεμος στρέφεται καθ' ύψος κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού (veering with height) και η μεταφορά είναι θερμή.



$$\overline{V_n} > 0$$

$$\frac{\partial \overline{T}}{\partial t} > 0$$

Στην αντίθετη περίπτωση →
θα ήταν ψυχρή

Οδογράφος κίνησης

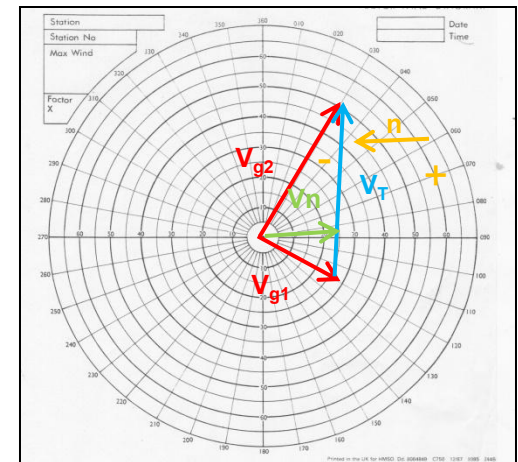
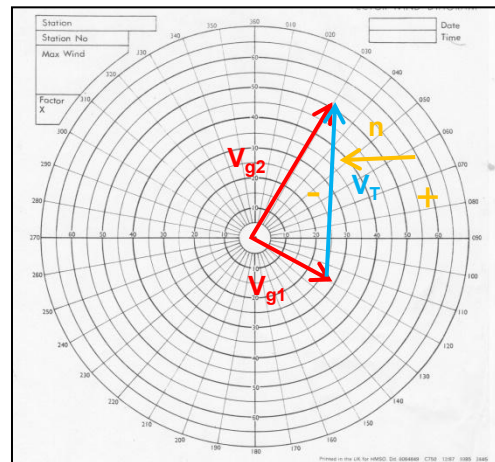
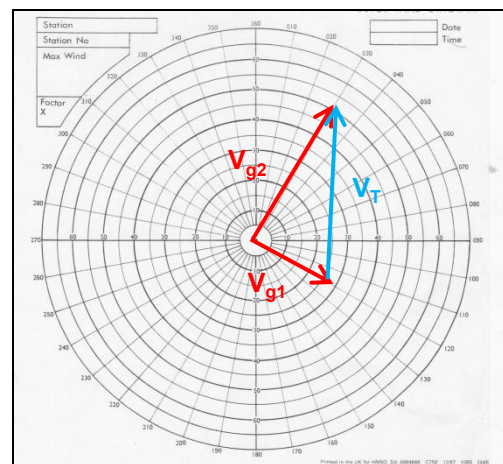
Παράδειγμα εκτίμησης μεταφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα των 1000 – 850 hPa

- Έστω γεωστροφικός άνεμος στα 850 hPa με 300 deg / 30 kts
- Έστω γεωστροφικός άνεμος στα 500 hPa με 230 deg / 50 kts

Α) Στην οδογράφο
πλοτάρουμε τον
γεωστροφικό άνεμο στα
δύο επίπεδα και στη
συνέχεια τον θερμικό
άνεμο.

Β) Θεωρώντας ότι ο θερμικός άνεμος
έχει στα δεξιά του τη θερμή αέρια
μάζα, σχεδιάζουμε το μοναδιαίο
διάνυσμα η , που είναι κάθετο στις
ισόθερμες και κατευθύνεται προς
τον ψυχρό αέρα.

Γ) Πλοτάρουμε το διάνυσμα V_h
κάθετο στο θερμικό άνεμο.
Θεωρούμε ότι το V_h είναι θετικό
όταν έχει την ίδια φορά με το
διάνυσμα η και η μεταφορά είναι
θερμή. Στην αντίθετη περίπτωση
είναι ψυχρή.



Ψυχρή μεταφορά

Βιβλιογραφία

- Μιχαλοπούλου Χ., Δεληγιώργη Δ.: «Εργαστηριακές Ασκήσεις Συνοπτικής Μετεωρολογίας», Αθήνα, 2004, 2016-2017
- Μαθήματα Δυναμικής-Συνοπτικής Μετεωρολογίας, 1988, Γ. Κάλλος, Δ. Δεληγιώργη
- Παραδόσεις Συνοπτικής Μετεωρολογίας, Τμ. Φυσικής, καθ. Έλενα Φλόκα
- Φλόκας Α.: «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 1992
- ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ <http://www.hnms.gr/emv/el/>
- Δ. Μεταξάς, Α. Μπαρτζώκας: «Εισαγωγή στη Δυναμική Μετεωρολογία», Εκδόσεις, Μαρία Παρίκου, 2012
- Ατμοσφαιρικές διαταράξεις, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ
(http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/xf/pdf/Geo_Systems.pdf)
- Γενική και Δυναμική Μετεωρολογία, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ
http://users.auth.gr/pyth/presentations/mathimatiko/meteorologia_mathimatiko_kef6.pdf
- Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή, Πέτρος Κατσαφάδος, Ηλίας Μαυροματίδης (2015)
http://meteoclima.hua.gr/images/stories/projects/kallipos/00_master_document_9926.r1.html#_Toc432157287
- Met Link, Royal Meteorological Society – Weather for teachers in England, Scotland, Wales and N. Ireland https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/library-and-archive/library/publications/factsheets/factsheet_11-interpreting-weather-charts.pdf
- Title: The USA Today Weather Book(An Easy-To-Understand Guide to the USA's Weather) <>Binding: Paperback <>Author: JackWilliams <>Publisher: Vintage