

Άνεμος Βαθμίδας (gradient wind) V_G

Είναι ο άνεμος που προκύπτει από την ισορροπία μεταξύ της δύναμης Coriolis, της δύναμης βαροβαθμίδας και της φυγόκεντρης δύναμης όταν η τροχιά είναι καμπύλη

$R > 0$ στα αριστερά
της κίνησης
 $R < 0$ στα δεξιά της
κίνησης

$$\boxed{fV_G} + \boxed{\frac{V_G^2}{R}} = \boxed{-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}}$$

Coriolis Φυγό- Δύναμη
 κεντρος Βαροβαθμίδας

Όταν η τροχιά είναι καμπύλη

$$V_G^2 + fRV_G + \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = 0$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Όλες οι μαθηματικές λύσεις δεν αντιστοιχούν και σε φυσικές λύσεις

Πρέπει:

- V_G πραγματικός αριθμός > 0
- $V_G = 0$ όταν $\frac{\partial p}{\partial n} = 0$

Άνεμος Βαθμίδας (gradient wind) V_G

$$V_G^2 + fRV_G + \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = 0$$

$$V_G = -\frac{fR}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)}$$

Όλες οι μαθηματικές λύσεις δεν αντιστοιχούν και σε φυσικές λύσεις

Πρέπει:

- V_G πραγματικός αριθμός > 0
- $V_G = 0$ όταν $\frac{\partial p}{\partial n} = 0$

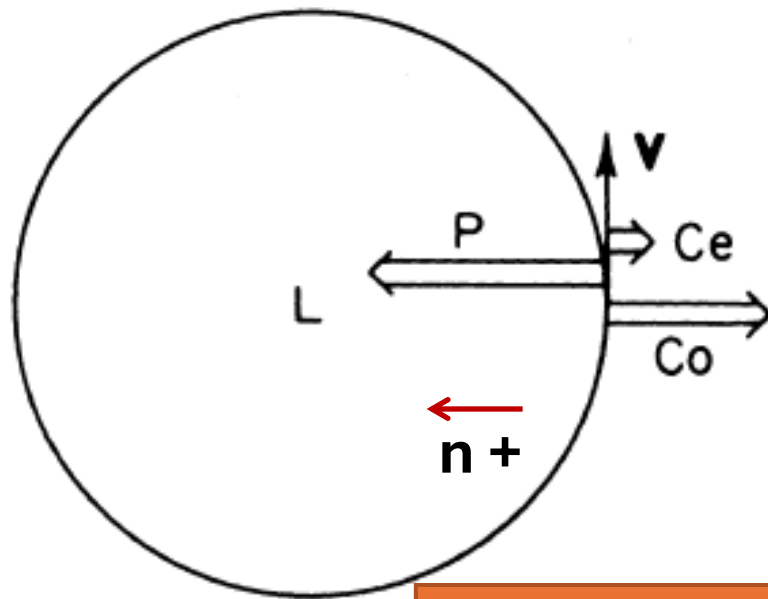
Διερεύνηση των λύσεων του ανέμου βαθμίδας V_G

$\frac{\partial p}{\partial n}$	$R > 0$	$R < 0$
$\frac{\partial p}{\partial n} > 0$	Θετικός δεύτερος όρος Μη φυσική σημασία	Θετικός δεύτερος όρος (ανώμαλη κυκλωνική ροή)
	Αρνητικός δεύτερος όρος Μη φυσική σημασία	Αρνητικός δεύτερος όρος Μη φυσική σημασία
$\frac{\partial p}{\partial n} < 0$	Θετικός δεύτερος όρος (κανονική κυκλωνική ροή)	Θετικός δεύτερος όρος ($V_G > -fr/2$): ανώμαλη αντικυκλωνική ροή
	Αρνητικός δεύτερος όρος Μη φυσική σημασία	Αρνητικός δεύτερος όρος ($V_G < -fr/2$): κανονική αντικυκλωνική ροή

Ύφεση (1^η περίπτωση)

κανονική κυκλωνική κίνηση

Η Coriolis είναι προς την περιφέρεια της κυκλικής ροής, άρα η Δύναμη βαθμίδας αντισταθμίζεται από την Coriolis και τη φυγόκεντρη



$$F_p = F_{co} + F_{ce}$$

$$R > 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} < 0$$

Η λύση με φυσική έννοια είναι αυτή που η ταχύτητα είναι θετική και πραγματική $V_G > 0$

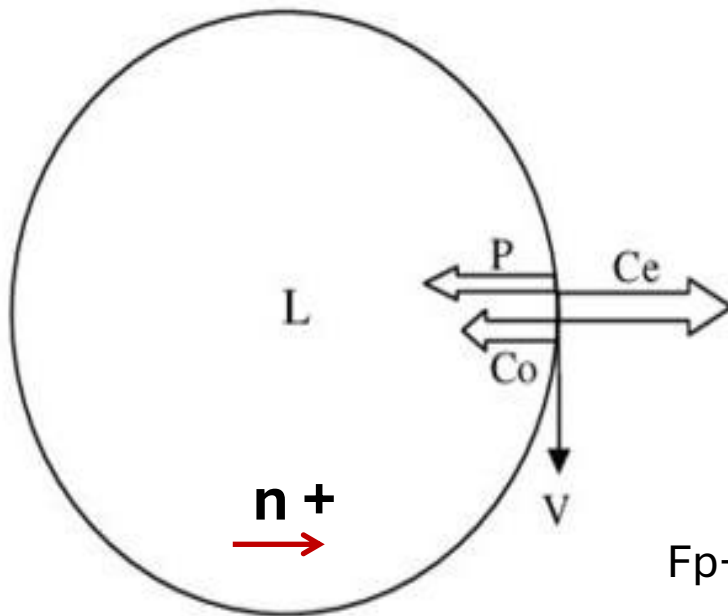
$$V_G = -\frac{fR}{2} + \sqrt{\left(\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)}$$

Κυκλωνική ροή:
αντίθετη στη φορά των
δεικτών του ρολογιού

Επειδή η υπόριζος ποσότητα > 0 , δεν υπάρχει θεωρητικά όριο στη βάθυνση και στην ακτίνα ενός κυκλωνικού συστήματος.

‘Υφεση (2^η περίπτωση)

ανώμαλη κυκλωνική κίνηση



Η Coriolis είναι προς κέντρο της ροής, άρα η Δύναμη βαθμίδας και η Coriolis αντισταθμίζονται από τη φυγόκεντρη (η μόνη περίπτωση που η Coriolis και φυγόκεντρη δεν έχουν την ίδια φορά)

Ροή γύρω από κυκλωνικό κέντρο με τη φορά των δεικτών του ρολογιού και πολύ μεγάλη ταχύτητα (όπως σε ανεμοστρόβιλο)

$$R < 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} > 0$$

Η λύση με φυσική έννοια είναι αυτή που η ταχύτητα είναι θετική και πραγματική $V_G > 0$

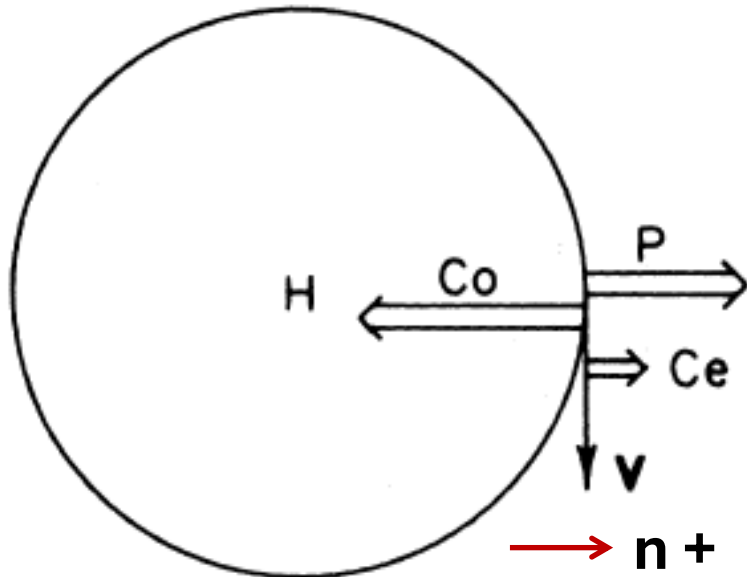
n θετικό αριστερά της ροής

$$V_G = -\frac{fR}{2} + \sqrt{\left(\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)}$$

Αντικυκλώνας (1^η περίπτωση)

κανονική αντικυκλωνική κίνηση

Η Coriolis κατευθύνεται αναγκαστικά προς το κέντρο της κυκλικής ροής, προκειμένου να αντισταθμίσει τη βαροβαθμίδα και την φυγόκεντρη



n θετικό αριστερά της ροής

$$F_{co} = F_p + F_{ce} \text{ και } F_p > F_{ce}$$

Αντικυκλωνική ροή:
κατά τη φορά των
δεικτών του ρολογιού

$$R < 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} < 0$$

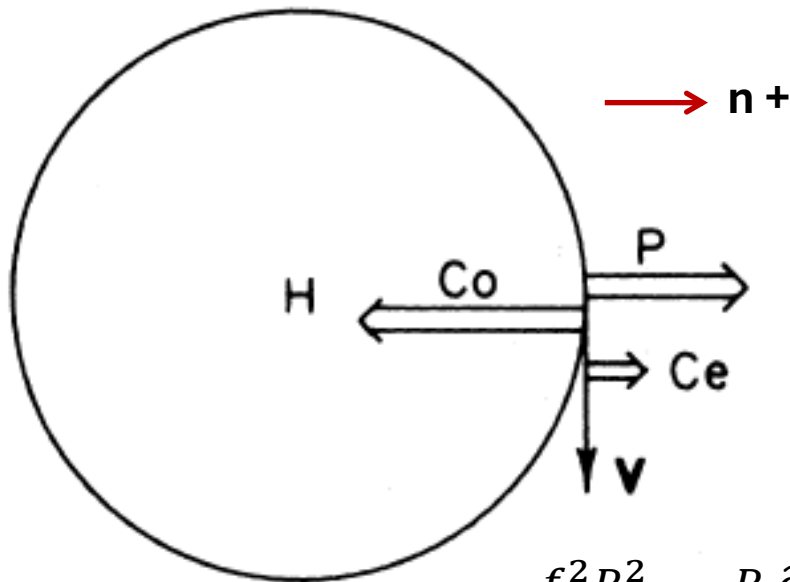
$$V_G = -\frac{fR}{2} - \sqrt{\left(\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)}$$

Με την προϋπόθεση η υπόριζη ποσότητα να είναι > 0

Η υπόριζη ποσότητα μπορεί να είναι αρνητική όταν:

- α) η βαροβαθμίδα $\frac{\partial p}{\partial n}$ είναι πολύ μεγάλη
- β) η ακτίνα καμπυλότητας R είναι πολύ μικρή
- γ) η Coriolis παράμετρος f είναι μικρή

Αντικυκλώνας (1^η περίπτωση)



Για να είναι η υπόριζη ποσότητα θετική και να υπάρχει θετική και πραγματική λύση για τον άνεμο πρέπει:

$$\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \geq 0$$

$$R < 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} < 0 \quad \frac{f^2 R^2}{4} \geq \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad \text{ή} \quad \frac{\partial p}{\partial n} \leq \frac{\rho f^2 R}{4}$$

Επομένως η βαροβαθμίδα σε έναν αντικυκλώνα πρέπει να ελαττώνεται γραμμικά προς το κέντρο του.

Για το λόγο αυτό πεδίο πίεσης κοντά στο κέντρο υψηλών πιέσεων είναι πάντα ομαλό και ο άνεμος πολύ πιο ασθενής σε σχέση με την περιοχή κοντά στο κέντρο χαμηλών πιέσεων.

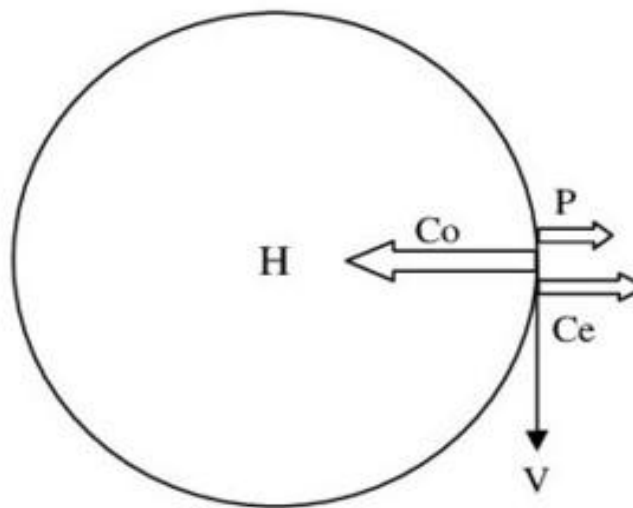
Αντικυκλώνας (2^η περίπτωση)

ανώμαλη αντικυκλωνική κίνηση

Δεύτερη αποδεκτή λύση όταν:

$$F_{co} = F_p + F_{ce} \text{ και } F_p < F_{ce}$$

Ο άνεμος είναι ασυνήθιστα μεγάλος
για αντικυκλωνικό σύστημα



$$R < 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} < 0$$

$$V_G = -\frac{fR}{2} + \sqrt{\left(\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)}$$

Σχέση γεωστροφικού ανέμου V_g και ανέμου βαθμίδας V_G

$$\left. \begin{aligned} fV_G + \frac{V_G^2}{R} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} && \text{Άνεμος Βαθμίδας} \\ V_g &= -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial n} && \text{Γεωστροφικός άνεμος} \end{aligned} \right\} \frac{V_g}{V_G} = 1 + \boxed{\frac{V_G}{fR}}$$

Για κυκλωνική ροή $fR > 0 \Rightarrow V_g > V_G$

- Ο γεωστροφικός άνεμος γενικά υπερεκτιμά τον πραγματικό άνεμο (που θεωρείται ο άνεμος βαθμίδας)

Για αντικυκλωνική ροή $fR < 0 \Rightarrow V_g < V_G$

- Ο γεωστροφικός άνεμος γενικά υποεκτιμά τον πραγματικό άνεμο

Η απόκλιση από τον γεωστροφικό άνεμο οφείλεται στην καμπυλότητα: αγεωστροφικός άνεμος

Σχέση γεωστροφικού ανέμου V_g και ανέμου βαθμίδας V_G

Στην περίπτωση αντικυκλώνα

$$V_G = -\frac{fR}{2} - \sqrt{\left(\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)}$$

Με την υπόριζη
ποσότητα

$$\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \geq 0$$

όταν

$$\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = 0 \text{ τότε } |vg| = \frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{fR}{4}$$

Στην περίπτωση αυτή ο άνεμος βαθμίδας θα γίνει μέγιστος

$$|V_{Gmax}| = \frac{fR}{2} = 2V_g$$

Άρα στον αντικυκλώνα ισχύει:

$$V_g \leq V_G \leq 2V_g$$

Σημείωση: Όταν ισχύει $V_G > 2V_g$ τότε δημιουργείται μια δυναμικά ασταθής αντικυκλωνική κυκλοφορία στα ανώτερα στρώματα με συνέπειες στην πρόγνωση του καιρού

Σχέση γεωστροφικού ανέμου V_g και ανέμου βαθμίδας V_G

Επειδή ο άνεμος βαθμίδας είναι πιο γενικός από τον γεωστροφικό αναμένεται ότι είναι και πιο κοντά στον πραγματικό άνεμο. Έτσι έχουμε:

- Η διαφορά μεταξύ γεωστροφικού και ανέμου βαθμίδας αυξάνεται όσο μικραίνει η ακτίνα καμπυλότητας R και όσο μικρότερη είναι η παράμετρος Coriolis f (στα μικρά γεωγραφικά πλάτη).
- Η διαφορά αυτή δεν ξεπερνά το 10-20% στα μέσα γεωγραφικά πλάτη
- Στους τροπικούς ο αριθμός Rossby είναι σχετικά μεγάλος (μεταξύ 1-10) και ο άνεμος βαθμίδας θα πρέπει να προτιμάται σε σχέση με τον γεωστροφικό σε αυτές τις περιοχές

Ο αριθμός Rossby όταν υπάρχει καμπυλότητα

$Ro =$

$$\frac{\text{πραγματική επιταχυνση (αδρανεια)}}{\text{Coriolis δυναμη}} = \frac{\text{φυγόκεντρη δύναμη}}{fV} = \frac{\frac{V^2}{R}}{fV} = \frac{U}{fR}$$

Κυκλοστροφική ροή

- Αν η κλίμακα της διαταραχής είναι αρκετά μικρή τότε η δύναμη Coriolis μπορεί να αγνοηθεί.
- Η ισορροπία τότε των δυνάμεων κάθετα στη διεύθυνση της ροής θα προκύπτει από την ισορροπία της φυγόκεντρου και της δύναμης βαροβαθμίδας:

$$\frac{V^2}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \Rightarrow V = \sqrt{-\frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}}$$

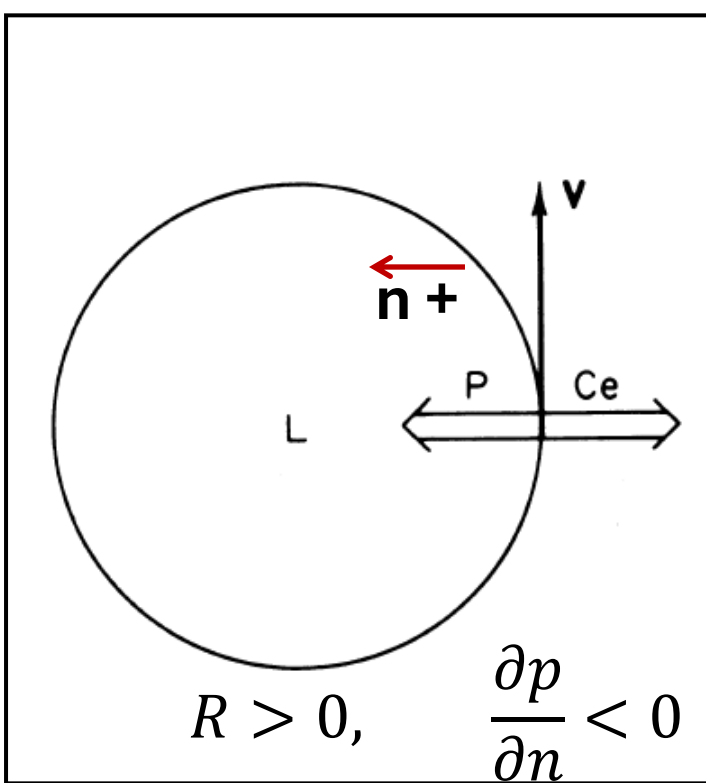
n είναι η διεύθυνση κάθετη στην κίνηση και προς το κέντρο της καμπύλης

n θετικό αριστερά της ροής

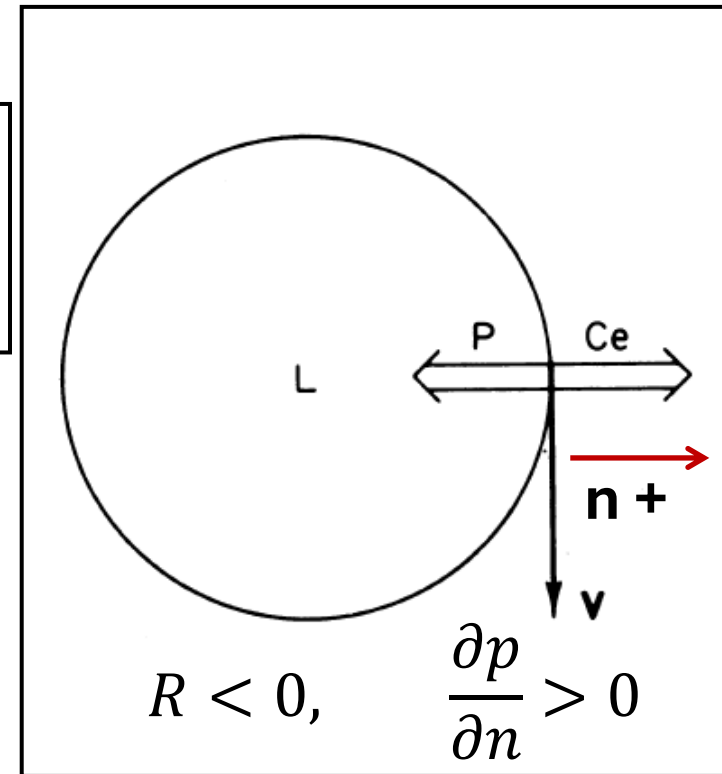
Κυκλοστροφική ροή

Η κυκλοστροφική ροή εμφανίζεται μόνο γύρω από κέντρα χαμηλών πιέσεων, η δύναμη βαροβαθμίδας έχει πάντα φορά προς το κέντρο της κίνησης και η φυγόκεντρος προς τα έξω.

n θετικό αριστερά της ροής



$$V = \sqrt{-\frac{R \partial p}{\rho \partial n}}$$



Η φορά της κίνησης μπορεί να είναι είτε κυκλωνική είτε αντικυκλωνική

Κυκλοστροφική ροή

- Η κυκλοστροφική προσέγγιση περιγράφει καλύτερα φαινόμενα που εξαρτώνται κυρίως από την περιστροφή του ανέμου και όχι την περιστροφή της Γης.
- Ισχύει σε μικρά γεωγραφικά πλάτη (μικρή δύναμη Coriolis) π.χ. στο εσωτερικό των τροπικών κυκλώνων
- Ισχύει επίσης για μικρής κλίμακας συστήματα όπως οι σίφωνες ξηράς (tornadoes) και οι σίφωνες θάλασσας (waterspouts)

