

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

A. Πίεση

Ατμοσφαιρική πίεση είναι η δύναμη που ασκείται σε μια επιφάνεια λόγω του βάρους της υπερκείμενης αέριας στήλης, εκφράζεται δε από το ύψος υδραργυρικής στήλης σε mmHg. Στο σύστημα C.G.S. μονάδα πίεσης είναι η βαρίδα (barie), δηλαδή η πίεση μιας δύνης (dyn) ανά τετραγωνικό εκατοστό (cm^2). Στις μετεωρολογικές εφαρμογές, επειδή η μονάδα είναι μικρή χρησιμοποιείται η χιλιοβαρίδα (mb).

$$1 \text{ barie} = 1 \text{ dyn/cm}^2$$

$$1 \text{ mb} = 3/4 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$$

$$1 \text{ mmHg} = 4/3 \text{ mb}$$

$$1 \text{ mb} = 10^3 \text{ dyn/cm}^2 = 10^{-3} \text{ bar}$$

$$760 \text{ mmHg} = 1013.25 \text{ mb}$$

Η πίεση 1013.25 mb αντιπροσωπεύει τη μέση ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της θάλασσας.

Η ατμοσφαιρική πίεση και οι μεταβολές της, μετά του ύψους, του τόπου και του χρόνου, συνδέονται στενά με τις καιρικές μεταβολές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο άνεμος (προϊόν διαφοράς ατμ. πίεσης) και οι χάρτες διανομής της ατμ. πίεσης στην επιφάνεια της Γης και σε διάφορες στάθμες της ελεύθερης ατμόσφαιρας (βασική προϋπόθεση για ανάλυση και πρόγνωση καιρού). Οι τόποι ίσης βαρομετρικής πίεσης επάνω στους χάρτες καιρού ενώνονται με γραμμές που ονομάζονται **ισοβαρείς καμπύλες**, από την μορφή των οποίων παίρνουμε πολύ χρήσιμες πληροφορίες για την κίνηση των συστημάτων καιρού.

Στα μέσα και ανώτερα γεωγραφικά πλάτη η ατμοσφαιρική πίεση κυμαίνεται μεταξύ (970 - 1040) mb περίπου.

Όργανα μέτρησης

Η εκτίμηση της ατμοσφαιρικής πίεσης γίνεται με τα εξής όργανα:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1) ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΑ ΒΑΡΟΜΕΤΡΑ | { Στηρίζονται στο πείραμα Toricelli |
| 2) ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΒΑΡΟΜΕΤΡΑ | { Βασίζονται στην αλλαγή του σχήματος κενών μεταλλικών δοχείων (π.χ. δοχεία Vidi) |
| 3) ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ | { Βασίζονται στην εξάρτηση του σημείου ζέσεως των υγρών από την ατμοσφαιρική πίεση |
| 4) ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΒΑΡΟΜΕΤΡΑ | { Παραλλαγή των μεταλλικών στα οποία εκτός από την κλίμακα πιέσεων υπάρχει και κλίμακα υψών |

Ορισμένα από τα βαρόμετρα μπορούν να γίνουν αυτογραφικά (βαρογράφοι) με την προσθήκη κατάλληλου μηχανικού συστήματος, για να έχουν δε μεγάλη ευαισθησία χρησιμοποιείται αντί του ενός, σειρά δοχείων Vidi.

Στους Μετεωρολογικούς σταθμούς για τη μέτρηση της ατμ. πίεσης χρησιμοποιούνται τα Υδραργυρικά βαρόμετρα, λόγω της μεγάλης ακριβείας τους.

Αναγωγές βαρομετρικών αναγνώσμάτων

Σύμφωνα με την υδροστατική εξίσωση έχουμε:

$$\Delta P = h \cdot \rho(T) \cdot g (\varphi \cdot H)$$

Δηλαδή η πίεση P εξαρτάται από τη θερμοκρασία T του αέρα, το υψόμετρο του τόπου H και το γεωγραφικό πλάτος φ . Για να είναι επομένως οι μετρήσεις πίεσης στους διάφορους τόπους συγκρίσιμες μεταξύ τους και να μπου στον ίδιο χάρτη για τη χάραξη των ισοβαρών καμπύλων (που ενώνουν τόπους της ίδιας ατμοσφαιρικής πίεσης) πρέπει να ανάγουμε την πίεση σε σταθερές συνθήκες: 1ον) Θερμοκρασία 0°C , 2ον) Υπερθαλάσσιο ύψος 0 m και 3ον) Κανονική επιτάχυνση βαρύτητας σε $\varphi = 45^\circ$ και στην επιφάνεια της θάλασσας.

A. Αναγωγή στους 0°C

Επειδή η θερμοκρασία αυξάνει ή ελαττώνει την υδραργυρική στήλη με αντίστοιχη αύξηση ή ελάττωσή της, αλλά μεταβάλλει αντίστοιχα και τις χαραγές στην κλίμακα του βαρομέτρου, γίνεται αναγωγή του αναγνώσματος του βαρομέτρου **αφαιρετική** για $T > 0^\circ\text{C}$ και **προσθετική** για $T < 0^\circ\text{C}$. Αυτή η αναγωγή, που λαμβάνει υπ' όψη και τις δύο προαναφερθείσες αντίθετες αντιδράσεις, βρίσκεται από πίνακες μεταβολής της πίεσης συναρτήσει της θερμοκρασίας του βαρομέτρου.

B. Αναγωγή στην επιφάνεια της θάλασσας

Αυτή είναι **πάντα προσθετική**. Επειδή η μεταβολή της πίεσης μετά του ύψους εξαρτάται και από την θερμοκρασία του αέρα, βρίσκουμε αρχικά από πίνακες ένα συντελεστή (I_1) συναρτήσει της θερμοκρασίας του αέρα και του υψόμετρου του σταθμού. Στη συνέχεια από άλλους πίνακες, συναρτήσει του συντελεστή I_1 και της ανηγμένης σε 0°C πίεσης βρίσκουμε την τελική διόρθωση.

Γ. Αναγωγή στην κανονική βαρύτητα

Αυτή είναι **προσθετική** για $\varphi > 45^\circ$ και **αφαιρετική** για $\varphi < 45^\circ$. Στην πράξη η αναγωγή αυτή, επειδή είναι πάντα ίδια συμψηφίζεται με το σταθερό σφάλμα του οργάνου. Στα μεταλλικά βαρόμετρα δεν γίνεται η αναγωγή στην κανονική βαρύτητα γιατί εδώ η αντιστάθμιση της πίεσης δεν γίνεται με βάρος. Σ' αυτά τα βαρόμετρα προσπαθούμε με ένα σύστημα μοχλών να αντισταθμίσουμε την επίδραση της θερμοκρασίας ώστε να μην χρειάζεται ούτε η αναγωγή στους 0°C .

Στα υδραργυρικά βαρόμετρα προστίθεται ή αφαιρείται και το σταθερό σφάλμα του οργάνου, που είναι άθροισμα τριων επί μέρους σφαλμάτων α) Στα βαρόμετρα τύπου Fortin το μηδέν της κλίμακας δεν αντιστοιχεί στο άκρο της ακίδας. β) Για διάμετρο $d < 20 \text{ mm}$ το φαινόμενο του τριχοειδούς ελαττώνει το ύψος της υδραργυρικής στήλης. γ) Οι ατμοί υδραργύρου που υπάρχουν στο βαρομετρικό θάλαμο τείνουν να ελαττώσουν την ένδειξη.

Β. Άνεμος

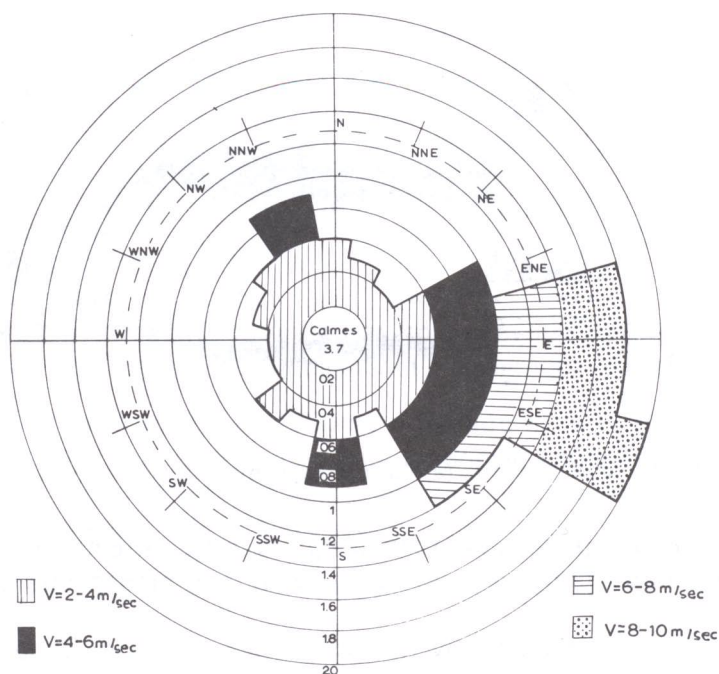
Γενικά

Ο άνεμος ορίζεται με δύο στοιχεία του, τη διεύθυνση και την ένταση (ή ταχύτητα). Διεύθυνση είναι το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Ένταση είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται ο άνεμος ή η πίεση που ασκεί στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων. Τόσο η διεύθυνση όσο και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται από γενικές αιτίες (γενική κυκλοφορία, διανομή της πίεσης) καθώς και από τοπικές (ανάγλυφο του εδάφους, διανομή ξηράς και θάλασσας).

Προσδιορισμός διεύθυνσης

Μετρείται (με όργανα που λέγονται ανεμοδείκτες) σε μοίρες (από 0-360°), με αρχή το Βορρά και στροφή κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού. Σε μερικούς Μετεωρολογικούς σταθμούς καταγράφεται στις 16 κύριες διευθύνσεις. Στους πλήρως εξοπλισμένους όμως σταθμούς καταγράφονται από τους ανεμογράφους συνεχώς.

Τα διαγράμματα που προκύπτουν μετά την απεικόνιση των διαφόρων διευθύνσεων, για ορισμένη χρονική περίοδο, ονομάζονται «ροδογράμματα».



Σχ. 2.1. Ροδογράμματα ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου (Calmes = άνεμος με $V < 0.6 \text{ m/sec}$).

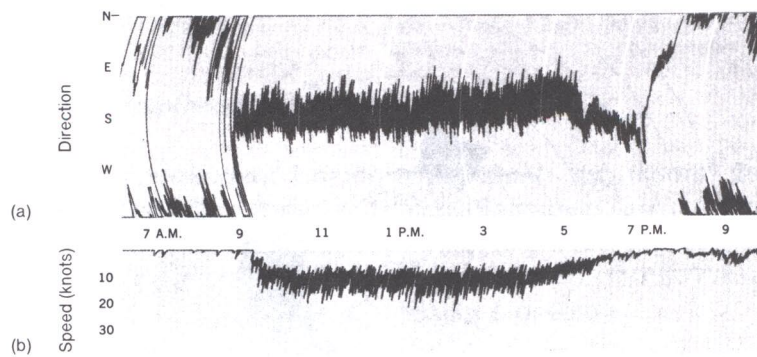
Προσδιορισμός έντασης

Η ένταση του ανέμου προσδιορίζεται με ανεμόμετρα ή ανεμογράφους (αυτογραφικά). Διακρίνονται σε: (1) **Ανεμόμετρα ταχύτητας** στα οποία η ένταση καταγράφεται από την ταχύτητα περιστροφής ορισμένων στελεχών του οργάνου, και τα οποία μετρούν μέσες τιμές έντασης. (2) **Ανεμόμετρα πίεσης**, όπου η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκείται σε ορισμένο στέλεχος του οργάνου. Μ' αυτά προσδιορίζονται στιγμιαίες τιμές έντασης και (3) **Ηλεκτρικά ανεμόμετρα**, που είναι κατάλληλα για μικρομετεωρολογικές και μικροκλιματικές παρατηρήσεις.

Τόσο η διεύθυνση όσο και η ένταση μεταβάλλονται καθώς μεταβαίνουμε από την επιφάνεια της Γης στα ανώτερα στρώματα.

Πίνακας 2.1. Χαρακτηρισμοί ανέμων και παρατηρούμενα φαινόμενα αναλόγως της ταχύτητάς τους.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕ ΜΙΛΙΑ ΑΝΑ ΩΡΑ	ΚΛΙΜΑΚΑ Beaufort	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΠΟΦΩΡ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΕΡΙΑ	ΕΠΙΣΗΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΑΠΟ 1	0	Άπνοια: Ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα	ΝΗΝΕΜΙΑ
1-3	1	Μόνον ο καπνός και όχι ο ανεμοδείκτης δείχνει την διεύθυνση του ανέμου	ΥΠΟΠΝΕΩΝ
4-7	2	Ο άνεμος γίνεται αισθητός στο πρόσωπο· τα φύλλα θροίζουν· ο ανεμοδείκτης κινείται	ΑΣΘΕΝΗΣ
8-12	3	Φύλλα και μικροί κλώνοι σείονται· ο άνεμος ξεδιπλώνει μικρές σημαίες	ΛΕΠΤΟΣ
13-18	4	Ο άνεμος σηκώνει σκόνη και πεταμένα χαρτιά· σείονται μικροί κλάδοι	ΜΕΤΡΙΟΣ
19-24	5	Μικρά δέντρα με φύλλα αρχίζουν να σείονται· κυματάκια εμφανίζονται σε μεσόγεια ύδατα	ΛΑΜΠΡΟΣ
25-31	6	Σείονται μεγάλα κλαδιά· σφυρίζουν τα τηλεγραφικά σύρματα· οι ομπρέλλες γίνονται δύσχρηστες	ΙΣΧΥΡΟΣ
32-38	7	Σείονται ολόκληρα δέντρα· το βάδισμα στον άνεμο γίνεται δύσκολο	ΣΦΟΔΡΟΣ
39-46	8	Κλώνοι σπάζουν στα δέντρα· τα αυτοκίνητα εκτρέπονται εν κινήσει	ΟΡΜΗΤΙΚΟΣ
47-54	9	Μικρές ζημιές στα κτίρια· καμινάδες, κεραμίδια πέφτουν	ΘΥΕΛΛΑ
55-63	10	Ξεριζώνονται δέντρα· σημαντικές ζημιές σε κτίρια	ΙΣΧΥΡΗ ΘΥΕΛΛΑ
64-72	11	Εκτεταμένες ζημιές	ΣΦΟΔΡΗ ΘΥΕΛΛΑ
73 και ΑΝΩ	12	Μεγάλες καταστροφές	ΤΥΦΩΝΑΣ



Σχ. 2.2. Εγγραφή της διεύθυνσης (a) και της ταχύτητας (b) του ανέμου από ανεμογράφο.

Ο πίνακας 2.1 παρέχει τη δυνατότητα προσωπικής εκτίμησης της έντασης του ανέμου από τα παρατηρούμενα φαινόμενα, όταν δεν διαθέτουμε όργανα παρατήρησης.

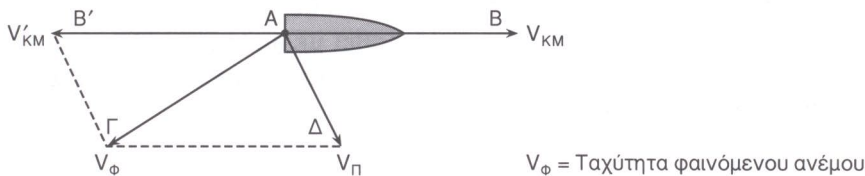
Η τοποθέτηση των ανεμομέτρων πρέπει να γίνεται σε ανοιχτούς χώρους και τα γύρω αντικείμενα να απέχουν από τη βάση του ανεμομέτρου απόσταση 10πλάσια τουλάχιστον του ύψους του αντικειμένου.

Φαινόμενος άνεμος (V_ϕ)

Σε κινούμενα μέσα (πλοία, αεροπλάνα κ.λπ.) ο άνεμος που καταγράφεται στα ανεμόμετρά τους δεν είναι ο πραγματικός αλλά φαινόμενος άνεμος. Η πραγματική διεύθυνση και ένταση του ανέμου σ' αυτή την περίπτωση είναι δυνατόν να προσδιοριστούν αν είναι γνωστή η διεύθυνση και ταχύτητα του κινούμενου μέσου. Κατά την κίνηση ενός μέσου με ταχύτητα \vec{V}_{KM} , δημιουργείται άνεμος ίσου μέτρου με την ταχύτητα του κινούμενου μέσου, αλλά αντίθετης φοράς \vec{V}'_{KM} . Ο φαινόμενος άνεμος τότε είναι η συνισταμένη του πραγματικού V_π και του ανέμου \vec{V}'_{KM} , δηλαδή

$$\vec{V}_\phi = \vec{V}_\pi + \vec{V}'_{KM} \quad \text{ή} \quad \vec{V}_\pi = \vec{V}_\phi - \vec{V}'_{KM} \tag{2.1}$$

Εστω π.χ. ένα πλοίο που έχει ταχύτητα V_1 και πορεία την AB, ο δε φαινόμενος άνεμος ταχύτητα V_2 και διεύθυνση την AΓ. Η πραγματική ταχύτητα και διεύθυνση προσδιορίζεται αν σχηματίσουμε το παραλληλόγραμμο των δυνάμεων, του οποίου η AΓ θα είναι η διαγώνιος. Επομένως ο πραγματικός άνεμος, κατά διεύθυνση και κατά ταχύτητα θα δίδεται με το διάνυσμα AΔ.



Γεωστροφικός άνεμος (V_g)

Είναι ο άνεμος που προκύπτει όταν δεν υπάρχει τριβή και έχουμε ισορροπία μεταξύ των οριζοντίων συνιστωσών της βαροβαθμίδας αφ' ενός και της δύναμης Coriolis αφ' ετέρου.

$$V_g = \frac{1}{2 \rho \Omega \eta \mu \varphi} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta n} \tag{2.2}$$

- ρ = πυκνότητα του αέρα
- Ω = γωνιακή ταχύτητα της Γης
- φ = γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- Δp = διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο ισοβαρών που απέχουν μεταξύ τους απόσταση Δn και μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται ο θεωρούμενος σταθμός.

Επάνω από το στρώμα τριβής (~1000 m) ο άνεμος είναι κατά προσέγγιση γεωστροφικός και συνεπώς παράλληλος προς τις ισοβαρείς καμπύλες. Η ταχύτητα των επιφανειακών ανέμων είναι σημαντικά μικρότερη του γεωστροφικού λόγω επίδρασης της τριβής, αλλά και διαφορετικής διεύθυνσης

$$V_{\text{επιφάνεια}} = \frac{1}{2} V_g \quad (\text{Σε σταθμό ξηράς})$$

$$V_{\text{επιφάνεια}} = \frac{3}{4} V_g \quad (\text{Σε σταθμό θάλασσας})$$

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Να γίνει μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης με βαρόμετρο Fortin και η λαμβανόμενη τιμή να υποστεί τις ανάλογες αναγωγές, για θερμοκρασία αέρα $T = 18^{\circ}\text{C}$, ύψος σταθμού παρατήρησης 130 m και $\gamma \cdot \pi = 35^{\circ}$.
2. Κατά την αναγωγή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας λαμβάνεται υπ' όψιν η θερμοκρασία του αέρα. Γιατί;
3. Βρισκόμαστε σε τόπο γεωγραφικού πλάτους $\varphi = 38^{\circ}$ και υψομέτρου $H = 100$ m. Πόση θα είναι η διόρθωση του βαρομετρικού αναγνώσματος κατά την αναγωγή του σε συνθήκες κανονικής βαρύτητας;
4. Ένα πλοίο έχει πορεία AB και ταχύτητα σταθερή και ίση με 50 Km/h, ενώ ο φαινόμενος άνεμος έχει διεύθυνση ΑΓ (γωνία $\widehat{\Gamma\text{AB}} = 120^{\circ}$) και ταχύτητα $V_2 = 10$ m/sec. Να βρεθεί λογισμικά και γραφικά ο πραγματικός άνεμος.
5. Από τις ισοβαρείς καμπύλες ενός χάρτη επιφάνειας να προσδιοριστεί ο γεωστροφικός άνεμος (σε ναυτικά μίλια/h) στο σταθμό ξηράς της εξεταζόμενης περιοχής. Να συγκριθεί με τον αντίστοιχο επιφανειακό άνεμο και με αυτόν του σταθμού θάλασσας. Αιτιολογήστε τις διαφορές ($\varphi = 38^{\circ}$), $\rho = 1.2 \times 10^{-3}$ gr/m³, $\Omega = 7.3 \times 10^{-5}$ sec⁻¹, Κλίμακα χάρτη: 1:10.000.000.
6. Από τα στοιχεία του πίνακα 2.2 να σχεδιασθεί με τρόπο ανάλογο του σχήματος 2.1 το αντίστοιχο ροδόγραμμα των ανέμων και να σχολιαστούν οι κατανομές του κατά ταχύτητα και διεύθυνση.

Πίνακας 2.2. Κατανομή των ανέμων κατά ένταση και διεύθυνση σε περιοχή του νομού Αττικής.

Διεύθυνση ανέμου Ένταση ανέμου (Beaufort)	Διεύθυνση ανέμου																ΑΘΡΟΙΣΜΑ	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		Calmes
0																	☒	8
1	☒	□			┌	┌			┌	┌								21
2	☒	□											☒	┌				20
3			┌	□			□							┌				16
4	☒			┌				┌								□		15
5					□				┌	┌								9
6																┌		5
7																		2
8																		2
≥ 9																		2
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	18	12	4	6	6	3	7	3	6	4	2	1	7	3	2	8	8	100

Αν η ταχύτητα ζητείται ή δίδεται σε m/sec και είναι αναγκαία η μετατροπή της, η μετάβαση από τη μία μορφή στην άλλη γίνεται με τη βοήθεια του πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3. Μετατροπή της κλίμακας Beaufort σε m/sec.

ΕΝΤΑΣΕΙΣ Beaufort	ΕΥΡΟΣ ΚΑΘΕ ΒΑΘΜΙΔΑΣ BEAUFORT m/sec	ΔΙΑΜΕΣΟΣ ΤΙΜΗ BEAUFORT m/sec
0	0 - 0.2	0
1	0.3 - 1.5	0.9
2	1.6 - 3.3	2.5
3	3.4 - 5.4	4.4
4	5.5 - 7.9	6.7
5	8.0 - 10.7	9.4
6	10.8 - 13.8	12.3
7	13.9 - 17.1	15.5
8	17.2 - 20.7	18.5
9	20.8 - 24.4	22.6
10	24.5 - 28.4	26.5
11	28.5 - 32.6	30.6
12	32.7 - 36.9	34.8

Βιβλιογραφία

ΖΑΜΠΑΚΑΣ, Ι. (1981): «Γενική Κλιματολογία», σελ. 185-194.

ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΥ, Ε. Α. (2006): «Εργαστηριακές Ασκήσεις», σελ. 39-63