



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ

**ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ  
ΤΟΥΣ, ΜΕ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΥΠΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ  
ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΓΚΟΛΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΛΑΜΙΑ 2018

**ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ  
ΤΟΥΣ, ΜΕ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΥΠΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ  
ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ**

Διπλωματική εργασία που υποβλήθηκε στη σχολή θετικών επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σαν μέρος των υποχρεώσεων για την απόκτηση του διπλώματος μεταπτυχιακών σπουδών.

**Η ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Ο ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ τον κύριο Φιλιππόπουλο και τον κύριο Σταμούλη, για όλη την καθοδήγηση και την ευχάριστη συνεργασία, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας.

Ευχαριστώ ακόμη την οικογένειά μου, για τη συμπαράσταση και τη συμβολή της στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 Μετεωρολογία.....	3
1.2 Ιστορία της Μετεωρολογίας .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup>	
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	12
2.1 Σύσταση της ατμόσφαιρας .....	12
2.1.1 Μεταβλητά συστατικά (O <sub>3</sub> και H <sub>2</sub> O).....	14
2.1.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ).....	14
2.2 Δομή της Ατμόσφαιρας .....	15
2.2.1 Τροπόσφαιρα.....	16
2.2.2 Στρατόσφαιρα.....	17
2.2.3 Μεσόσφαιρα.....	18
2.2.4 Θερμόσφαιρα.....	18
2.2.5 Εξώσφαιρα.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup>	
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ.....	20
3.1 Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης .....	21
3.1.1 Ισοβαρείς καμπύλες.....	22
3.1.2 Ημερήσια μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης.....	26

3.2 Όργανα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης .....	27
3.2.1 Υδραργυρικό βαρόμετρο.....	27
3.2.2 Ανεροειδές βαρόμετρο .....	28
3.2.3 Ηλεκτρονικό βαρόμετρο.....	29
3.2.4 Βαρογράφος.....	30

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	32
4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης.....	33
4.2 Ισόθερμες καμπύλες .....	35
4.3 Μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα .....	36
4.3.1 Ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα .....	36
4.3.2 Ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα .....	38
4.3.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος.....	38
4.3.4 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το γεωγραφικό πλάτος.....	39
4.4 Θερμοκρασιακά εύρη .....	40
4.4.1 Ημερήσιο θερμομετρικό εύρος.....	40
4.4.2 Ετήσιο θερμομετρικό εύρος.....	41
4.5 Όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα.....	42
4.5.1 Ακροβάθμια θερμόμετρα.....	42
4.5.2 Αυτογραφικό θερμόμετρο.....	44
4.5.3 Περίστρεπτο θερμόμετρο.....	44
4.5.4 Αναρροφητικό θερμόμετρο.....	45

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

ΥΓΡΟΣ ΑΕΡΑΣ.....	46
5.1 Φάσεις του νερού στην ατμόσφαιρα .....	49

5.2 Νέφη.....	49
5.3 Ομίχλη .....	50
5.4 Βροχή και Χιόνι.....	51
5.5 Καταιγίδες και χαλάζι .....	52
5.6 Όργανα μέτρησης βροχής-χιονιού.....	53
5.7 Όργανα μέτρησης σχετικής υγρασίας.....	55

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΙ ΓΗΙΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	57
6.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	57
6.2 Ηλιοφάνεια.....	61
6.3 Γήινη ακτινοβολία.....	61
6.4 Ισοζύγιο ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.....	62

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

ΑΝΕΜΟΣ.....	64
7.1 Δυνάμεις που ρυθμίζουν την κίνηση του ανέμου .....	66
7.2 Είδη ανέμων.....	67
7.2.1 Γεωστροφικός άνεμος .....	68
7.2.2 Άνεμος Βαροβαθμίδας.....	68
7.2.3 Φαινόμενος άνεμος.....	69
7.3 Τοπικοί άνεμοι.....	70
7.4 Όργανα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου.....	71
7.4.1 Ανεμοδείκτες.....	71
7.4.2 Ανεμόμετρα.....	72
7.4.3 Ανεμογράφοι.....	73

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ.....	75
8.1 Ιστορική αναδρομή .....	75
8.2 Μετάπτωση της ατμόσφαιρας από συνεχές σε διακριτό μέσο .....	77
8.3 Βασικές εξισώσεις αριθμητικών μοντέλων .....	80
8.4 Πολυεπεξεργαστικά συστήματα .....	81
8.5 Μοντέλα στατιστικών αποτελεσμάτων .....	82
8.6 Φάσεις πρόγνωσης καιρού μέσω αριθμητικών μοντέλων .....	83
8.6.1 Πρώτη Φάση - Φάση εισαγωγής.....	85
8.6.1.1 Δεδομένα παρατηρήσεων.....	86
8.6.1.2 Επιφανειακές παρατηρήσεις.....	86
8.6.1.3 Παρατηρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας.....	87
8.6.1.4 Δεδομένα AMDAR.....	87
8.6.1.5 Δορυφορικά δεδομένα.....	88
8.6.1.6 Αφομοίωση δεδομένων – Data assimilation.....	88
8.6.2 Δεύτερη φάση – Αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού.....	89
8.6.3 Τρίτη φάση – Φάση εξαγωγής.....	90

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	91
9.1 Παγκόσμια μοντέλα .....	91
9.2 Τοπικά μοντέλα.....	93
9.3 Σύστημα ΣΚΙΡΩΝ.....	94
9.4 Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ.....	96
9.5 Παγκόσμιο σύστημα πρόβλεψης καιρού G.F.S.....	98
9.6 Συμπεράσματα.....	98

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....99



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, είναι να γίνει μία αναφορά στα βασικά υπό παρατήρηση μετεωρολογικά φαινόμενα και μεγέθη, που εξετάζονται κατά την πρόγνωση του καιρού και κατ' επέκταση στα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης του καιρού, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται σήμερα η πρόγνωση.

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που εξετάζονται και τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόγνωση του καιρού, είναι τα εξής:

- Η ατμόσφαιρα της Γης, η σύστασή της και η δομή της.
- Η ατμοσφαιρική πίεση.
- Η θερμοκρασία του αέρα.
- Ο υγρός αέρας στην ατμόσφαιρα.
- Η ηλιακή και η γήινη ακτινοβολία.
- Ο άνεμος.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού, στο πλαίσιο της οποίας γίνεται αρχικά μία ιστορική αναδρομή, ενώ στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στα αριθμητικά μοντέλα, οι φάσεις της πρόγνωσης του καιρού μέσω αυτών, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους συλλέγονται τα δεδομένα.

Κλείνοντας, περιγράφονται ορισμένα τοπικά αλλά και παγκόσμια μοντέλα και εξάγεται ένα συμπέρασμα όσον αφορά την πρόγνωση του καιρού με τα αριθμητικά αυτά μοντέλα.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to make a reference to the underlying meteorological phenomena, which are evaluated during the forecast of the weather and by extension to make a reference to the numerical weather prediction models, through which the forecast is currently achieved.

The meteorological data under consideration, which play an important role in the weather forecast, are the following:

- The Earth's atmosphere, its composition and its structure.
- The Atmospheric pressure.
- The Air temperature.
- The Humid air in the atmosphere.
- The Solar and Earth radiation.
- The wind.

Then reference is made to the numerical weather prediction models, initially by making a historical review and after that are mentioned the basic equations used in the numerical models, the phases of the weather forecast through them, and the ways the data are collected.

In conclusion, some local and global prediction models are described and conclusions are drawn regarding the weather forecast with these numerical models.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις απαρχές του πολιτισμού ο άνθρωπος προσπάθησε και συνεχίζει να προσπαθεί, να προβλέψει τα καιρικά φαινόμενα σε μέλλοντα χρόνο. Η ερώτηση « Τι καιρό θα κάνει αύριο;» κρύβει την μεταφυσική, επιστημονική, κοινωνική, οικονομική ακόμη και πολιτική ανάγκη για το τι μέλει γενέσθαι στην ζωή του.

Η αδυναμία των ανθρώπων να προστατευθούν από τις καταστροφικές εκδηλώσεις του καιρού, τους οδήγησε στο να αναζητήσουν απαντήσεις στα έως τότε ανεξήγητα φαινόμενα που επηρέαζαν τη ζωή τους και τις καθημερινές τους δραστηριότητες. Αρχικά προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τα φυσικά καιρικά φαινόμενα με λαϊκούς μύθους, οι οποίοι πολλές φορές βασίστηκαν σε λογικά επιχειρήματα και άλλες φορές σε παράλογα, ενώ αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι και αστρονόμοι, μέσω της παρατήρησης των καιρικών φαινομένων κατάφεραν να ερμηνεύσουν κάποια εξ αυτών, αλλά και να δημιουργήσουν μεθόδους πρόγνωσης του καιρού.[1]

Η πρόγνωση-πρόβλεψη του καιρού είναι η εφαρμογή της επιστήμης και της τεχνολογίας για την πρόβλεψη των συνθηκών της ατμόσφαιρας για μια δεδομένη τοποθεσία και χρόνο.

Οι προβλέψεις του καιρού γίνονται με τη συλλογή ποσοτικών δεδομένων σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της ατμόσφαιρας σε ένα δεδομένο μέρος και με τη χρήση μετεωρολογίας για την προβολή του τρόπου με τον οποίο αλλάζει η ατμόσφαιρα.[2]

Ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με τα καιρικά και φυσικά φαινόμενα ονομάζεται Μετεωρολογία.

### 1.1 Μετεωρολογία

Μια ολοκληρωμένη μελέτη του πλανήτη μας μπορεί να γίνει μόνο με την σωστή κατανόηση και αντίληψη της συμπεριφοράς, των σχέσεων, των ενεργειακών ανταλλαγών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των τεσσάρων μεγάλων ενοτήτων οι οποίες συγκροτούν τμήμα του πλανήτη, το οποίο είναι ορατό ή αισθητό από τον άνθρωπο. Οι ενότητες αυτές περιλαμβάνουν:

- τη Λιθόσφαιρα, η οποία συνιστά το στερεό επιφανειακό στρώμα της γης,
- την Υδρόσφαιρα, δηλαδή όλες τις μικρές ή μεγάλες υδάτινες επιφάνειες του πλανήτη,

- την Ατμόσφαιρα, η οποία με τη μορφή ενός αερίου πέπλου περιβάλλει σε μεγάλο ύψος ολόκληρο τον πλανήτη, συνιστάμενη από ένα πλήθος αερίων, τα οποία συμμετέχουν σ' αυτήν με αυστηρά καθορισμένες αναλογίες και
- τη Βιόσφαιρα, δηλαδή το σύνολο των φυτικών και ζωικών οργανισμών της γης.

Η Μετεωρολογία είναι η επιστήμη η οποία μελετά την ατμόσφαιρα και τα φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν μέσα σ' αυτήν. Πέρα από τον περιληπτικό αυτό ορισμό, η Μετεωρολογία μπορεί με την ευρύτερή της έννοια να χαρακτηριστεί σαν η κατ' εξοχήν ατμοσφαιρική επιστήμη, η οποία έχει σαν ερευνητικό της στόχο τη μελέτη της δυναμικής της ατμόσφαιρας και τις επιδράσεις των δυναμικών αιτιών στην επιφάνεια της γης, τη μελέτη της Φυσικής της ατμόσφαιρας και της ατμοσφαιρικής Χημείας.

Επιπλέον, η Μετεωρολογία μέσα στο χώρο των εφαρμοσμένων επιστημών, επιδιώκει την απόλυτη κατανόηση και την ακριβή πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών φαινομένων, τα οποία είναι υπεύθυνα για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε σημείο του πλανήτη, οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας.

Επομένως, η έννοια του καιρού μπορεί να αποδοθεί από έναν πολύπλοκο συνδυασμό ατμοσφαιρικών φαινομένων, τα οποία εκδηλώνονται σε έναν τόπο κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ή και για μικρότερο χρονικό διάστημα.

Η κατανομή του καιρού σε ολόκληρο τον πλανήτη ή ακόμη και σε ένα μεγάλο τμήμα της γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, οδηγεί σε μια μεγάλη ποικιλία καιρικών καταστάσεων. Μια τέτοια καιρική ποικιλία περιγράφεται πάρα πολύ καλά από τα δελτία του ευρωπαϊκού καιρού, τα οποία παρουσιάζονται στα σχετικά δελτία των διαφόρων τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών σταθμών. Οι έννοιες ηλιόλουστος, θερμός, βροχερός, χιονώδης, ανεμώδης καιρός κλπ. είναι συνήθεις στις περιγραφές των δελτίων καιρού όταν αυτά αναφέρονται σε ευρύ γεωγραφικό χώρο, τονίζοντας με τον τρόπο αυτό την πολύ μεγάλη γεωγραφική σημασία που έχει ο καιρός.

Παρόμοιες όμως καταστάσεις αντιμετωπίζει ο κάτοικος μιας ορισμένης περιοχής, όταν επιδέχεται τις μεταβολές του καιρού που συμβαίνουν συνήθως από τη μια μέρα στην επόμενη ή τις επόμενες που ακολουθούν. Οι καιρικές αυτές καταστάσεις συνδέονται άμεσα με τη συνθήκη που επικρατεί στην αέρια μάζα, η οποία κυριαρχεί στην περιοχή και στις μεταβολές βραχείας διάρκειας στις συνθήκες της θερμότητας, της υγρασίας και της κίνησης του αέρα, οι οποίες εκδηλώνονται μέσα στην ίδια την αέρια μάζα και που είναι αισθητές στην επιφάνεια όπου κινείται ο άνθρωπος. Το τελικό αποτέλεσμα του καιρού, όπως αυτό εκδηλώνεται στο επιφανειακό περιβάλλον, αποτελεί τη συνισταμένη της εξισορρόπησης των αντιθέσεων που προκαλούνται από την άνιση κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλανήτη.

Αντικαθιστώντας την έννοια της ημέρας με μεγαλύτερες χρονικές περιόδους (μήνες, χρόνια, δεκαετίες) και αναλύοντας το τελικό και συνολικό αποτέλεσμα των διεργασιών των ανταλλαγών της μάζας και της ενέργειας μεταξύ γης και

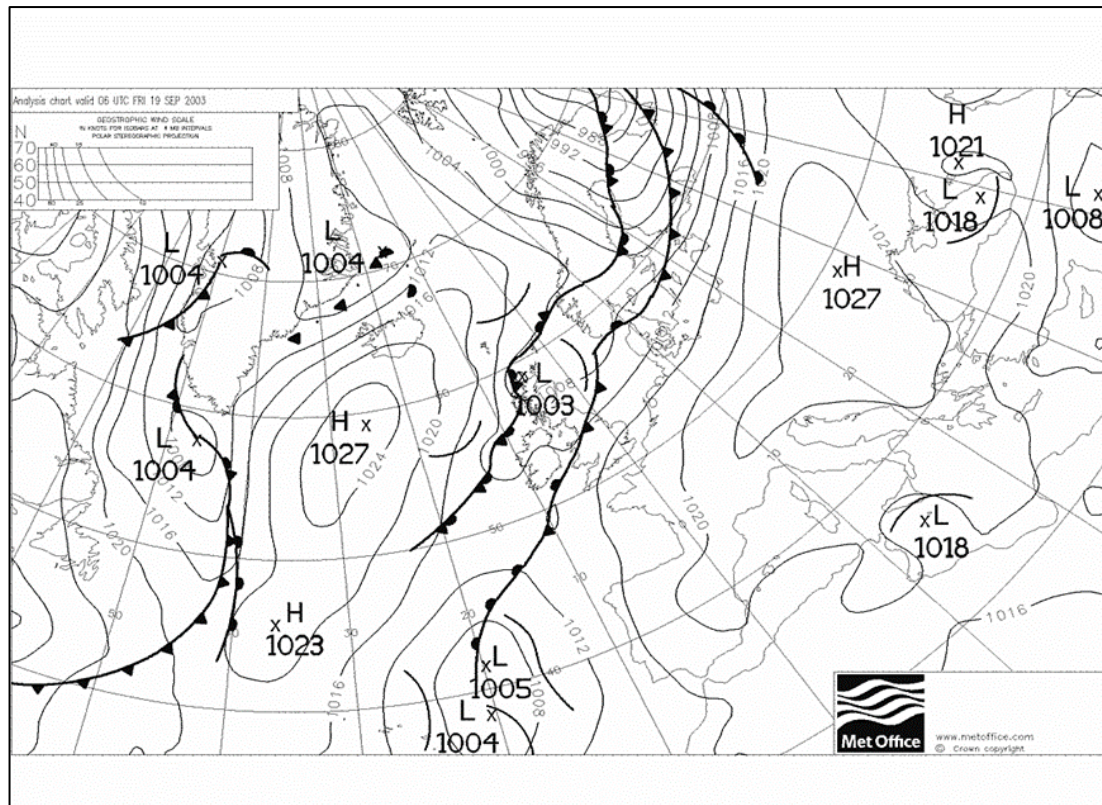
ατμόσφαιρας- που αναφέρονται στις μεγάλες αυτές χρονικές περιόδους- οδηγούμαστε σε μια συνθήκη η οποία τελικά διαμορφώνει το χαρακτηριστικό για κάθε τόπο κλιματικό καθεστώς.

Η αριθμητική έκφραση του καιρού σε έναν τόπο πραγματοποιείται μέσα από ένα συνδυασμό μετεωρολογικών παραμέτρων, που ανταποκρίνονται στις συνθήκες της πίεσης, της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της νέφωσης, της βροχόπτωσης, των ανέμων κλπ., και τα οποία μετρούνται σε μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας, σε έναν τόπο και τα οποία εκφράζουν τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται ταυτόχρονα σε όλο τον πλανήτη χρησιμοποιώντας το παγκόσμιο σύστημα μέτρησης χρόνου, το γνωστό Universal Time Coordinated (UTC), με σημείο αναφοράς τον πρώτο μεσημβρινό του Greenwich και μεταβιβάζονται τηλεγραφικά σε όλα τα εθνικά μετεωρολογικά κέντρα (π.χ. ΕΜΥ).

Τα δεδομένα αυτά ονομάζονται μετεωρολογικά στοιχεία ή στοιχεία καιρού. Οι μέσες τιμές των μετεωρολογικών στοιχείων για μεγάλες χρονικές περιόδους και οι σχετικές στατιστικές παράμετροι που τα χαρακτηρίζουν, απαρτίζουν τα αντίστοιχα κλιματικά στοιχεία.

Το σπουδαιότερο και χρησιμότερο εργαλείο για έναν προγνώστη μετεωρολόγο αποτελεί ο Συνοπτικός Επιφανειακός Χάρτης Καιρού (Εικόνα 1.1). Η λέξη συνοπτικός σημαίνει σύντομος, περιληπτικός, ταυτόχρονος. Δηλαδή ο χάρτης αυτός απεικονίζει συνοπτικά την ποικιλία των καιρικών συνθηκών, οι οποίες επικρατούν σε ένα πολύ μεγάλο τμήμα στην επιφάνεια του πλανήτη, σε μια ορισμένη χρονική στιγμή της ημέρας.

Οι χάρτες αυτοί παρουσιάζουν γραφικά την κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης, τη μορφή των βαρομετρικών συστημάτων και των μετώπων κακοκαιρίας, που επικρατούν στην περιοχή που περικλείει ο χάρτης. Διαδοχικοί χάρτες θα δείξουν την κίνηση των βαρομετρικών συστημάτων πάνω από την περιοχή, καθώς και την πορεία των καιρικών φαινομένων στην ίδια περιοχή.[3]



**Εικόνα 1.1 Συνοπτικός Επιφανειακός Χάρτης Καιρού[3]**

## 1.2 Ιστορία της Μετεωρολογίας

Η σημαντική για τη μετεωρολογία περίοδος, αρχίζει με τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.). Ο Αριστοτέλης αποκατέστησε το κύρος της Μετεωρολογίας, καθιστώντας τη κλάδο γνώσεως ανεξάρτητο της Αστρονομίας και γράφοντας το πρώτο παγκοσμίως εγχειρίδιο μετεωρολογίας. Στο σύγγραμμά του αυτό, περιλαμβάνει όλες τις υπάρχουσες κατά την εποχή του γνώσεις, τις οποίες αφού έλεγξε και συμπλήρωσε με δικές του παρατηρήσεις και θεωρίες καθώς και με παρατηρήσεις των μαθητών του, τις κατέταξε σε ένα σύστημα. Αυτή η εργασία, μέχρι και τον 17ο μ.Χ. αιώνα, αποτελούσε το μοναδικό παγκοσμίως μετεωρολογικό εγχειρίδιο. Για το λόγο αυτό, ο Αριστοτέλης ονομάστηκε «πατέρας της μετεωρολογίας». Η συμβολή των μετά τον Αριστοτέλη φιλοσόφων, αν και μικρότερη, συνέβαλε σημαντικά στην πρόοδο της Μετεωρολογίας.

Σε αυτούς οφείλουμε τον όρο Μετεωρολογία, αυτοί επινόησαν τον ανεμοδείκτη στην απλούστερή του μορφή, το θερμοσκόπιο. Από τη μετάφραση των έργων του Ήρωνος στην λατινική και ιταλική γλώσσα, εμπνεύσθηκαν οι Γαλιλαίος, Ντρέπελ και Πόρτα την ιδέα της κατασκευής ενός νέου θερμοσκοπίου.

Αλλά οι αρχαίοι φιλόσοφοι εξηγούν ορθώς και τη γένεση πολλών μετεωρολογικών φαινομένων, όπως το ότι ο ήλιος είναι το ηγεμονικό αίτιο όλων των

ατμοσφαιρικών φαινομένων. Παρά δε το γεγονός ότι δε διέθεταν θερμοόμετρα και οι παρατηρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα ήταν κατά κάποιον τρόπο υποκειμενικές, διαπίστωσαν την ημερήσια και ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρος, τον ακριβή χρόνο των ακραίων θερμοκρασιών κατά την ημέρα και το έτος, καθώς και την μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος.

Οι αρχαίοι Έλληνες, σαν ναυτικός λαός, μελέτησαν τους ανέμους περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μετεωρολογικό στοιχείο ή φαινόμενο. Κατέταξαν τους ανέμους σε γενικούς και τοπικούς, μελέτησαν τη θαλάσσια και απόγειο αύρα, τις αύρες των ορών και των κοιλάδων και γενικά προσέφεραν τέτοια πληθώρα γνώσεων επί του ανέμου, ώστε οι σημερινοί μελετητές χρησιμοποιούν επωφελώς τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις τους.

Η πρώτη απόπειρα για να ερμηνευτούν τα διάφορα φαινόμενα της ατμόσφαιρας έγινε τον 5ο αιώνα π.Χ.. Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι και αστρονόμοι μετά από συστηματική παρατήρηση των καιρικών φαινομένων διατύπωσαν αρχές που τα διέπουν. Προσπάθησαν μάλιστα να φτάσουν μέχρι τη στατιστική πρόγνωση του καιρού, κρατώντας στοιχεία για τα καιρικά φαινόμενα σε ένα ημερολόγιο που είναι γνωστό σαν «παραπήγμα». Ο Ιπποκράτης κατέληξε στην αρχή ότι τα μετεωρολογικά φαινόμενα επαναλαμβάνονται, αφού τα παρακολούθησε συστηματικά κατά τη διάρκεια του έτους κι έγινε έτσι ο πατέρας της κλιματολογίας, της επιστήμης δηλαδή που ασχολείται με την ιστορία του κλίματος.

Μέχρι την εφεύρεση του θερμομέτρου (1503) και του βαρομέτρου (1643), καμία σημαντική πρόοδος δεν είχε γίνει στην επιστήμη της μετεωρολογίας. Η χρήση των οργάνων αυτών αποτέλεσε σημείο σταθμό, γιατί για πρώτη φορά τα μετεωρολογικά στοιχεία εκφράστηκαν με αριθμητικά μεγέθη. Ακολούθησε και η εφεύρεση άλλων οργάνων όπως των βροχόμετρων, των υγρόμετρων και των ανεμόμετρων. Επίσης οι καιρικές παρατηρήσεις που κατέγραφαν οι καπετάνιοι των ιστιοφόρων πλοίων που άρχισαν πλέον να πραγματοποιούν μεγαλύτερα ταξίδια, έδωσαν ώθηση για διάφορες έρευνες τον 17ο, 18ο και 19ο αιώνα.

Η συγκέντρωση και η επεξεργασία των παρατηρήσεων αυτών από τα καράβια αλλά και από διάφορους σταθμούς στη στεριά, επέτρεψε τη συστηματική έρευνα των διαφόρων φαινομένων της ατμόσφαιρας και την προσπάθεια ερμηνείας των αιτιών που τα προκαλούν. Σταδιακά άρχισαν με την πάροδο του χρόνου να διατυπώνονται αρχές και νόμοι της Φυσικής Μετεωρολογίας.

Σημαντικός σταθμός στην ιστορία της θεωρητικής και εφαρμοσμένης μετεωρολογίας ήταν η κατασκευή από το Γερμανό μετεωρολόγο Brandes (1820), των πρώτων συνοπτικών χαρτών καιρού, όπου γίνεται φανερή η ύπαρξη και η φύση των συστημάτων πίεσης (βαρομετρικά χαμηλά-ψηλά). Μπορούμε να πούμε ότι την εποχή εκείνη γεννήθηκε η Συνοπτική Μετεωρολογία, ενώ η περαιτέρω ανάπτυξή της έγινε χάρη σε ένα τυχαίο γεγονός που αφορούσε μια στρατιωτική επιχείρηση.

Στις 14 Νοεμβρίου 1854, κατά τη διάρκεια του Κριμαϊκού Πολέμου, μια κακοκαιρία επηρέασε την περιοχή του Εύξεινου Πόντου, προκαλώντας μεγάλες ζημιές στον Αγγλικό και το Γαλλικό στόλο. Ο Γάλλος Υπουργός των Στρατιωτικών με αφορμή το γεγονός αυτό ρώτησε το διευθυντή του αστεροσκοπείου στο Παρίσι, La Verrier εάν θα μπορούσε να έχει γίνει πρόβλεψη της κακοκαιρίας. Ο La Verrier συλλέγοντας παρατηρήσεις από διακόσιους και πλέον μετεωρολογικούς σταθμούς της Ευρώπης διαπίστωσε ότι αυτή η ατμοσφαιρική διαταραχή που επηρέασε τον Εύξεινο Πόντο είχε προηγουμένως διατρέξει την Ευρώπη.

Κατέληξε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η πρόγνωση του καιρού εναπόκειται στη συχνή καταγραφή μετεωρολογικών παρατηρήσεων από πολλές περιοχές και στην άμεση αποστολή των συλλεγμένων στοιχείων στα ειδικά μετεωρολογικά κέντρα. Ο La Verrier υπήρξε λοιπόν ο θεμελιωτής των δικτύων μετεωρολογικών σταθμών και μετεωρολογικών υπηρεσιών. Η πρόγνωση πλέον βασίζεται στις παρατηρήσεις που γίνονται στη Γαλλία και σε άλλες χώρες της Ευρώπης και αποστέλλονται μέσω του τηλεγράφου, του οποίου η εφεύρεση (1848) πρόσφερε μεγάλες υπηρεσίες στη μετεωρολογία.

Σταδιακά αρχίζουν να ιδρύονται μετεωρολογικές υπηρεσίες και σε άλλες χώρες, με πρώτες τις ΗΠΑ, την Αγγλία και την Ολλανδία. Η συνεργασία μεταξύ τους, στον τρόπο συγκέντρωσης και ανταλλαγής των μετεωρολογικών παρατηρήσεων για την καθημερινή σύνταξη των χαρτών καιρού και για την ανάλυση και την πρόγνωση των καιρικών καταστάσεων, καθορίστηκαν σε διάφορα μετεωρολογικά συνέδρια.

Από την πρώτη στιγμή φάνηκε ότι είναι απαραίτητη η διεθνής συνεργασία για τη σωστή πρόβλεψη του καιρού με αποτέλεσμα να συσταθεί το 1878 ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός, από τον οποίο δημιουργήθηκε το 1950 ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO).

Στην Ελλάδα από το 1839 άρχισαν να γίνονται οι πρώτες μετεωρολογικές παρατηρήσεις από το Αστεροσκοπείο Αθηνών, ενώ από το 1890 άρχισε να λειτουργεί ένα μικρό δίκτυο από 7 μετεωρολογικούς σταθμούς σε όλη τη χώρα.

Στα τέλη του 19ου αιώνα στο πεδίο των θεωρητικών ερευνών, σημαντική είναι η διατύπωση της θεωρίας της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας από τον Bjerknes, που αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της θεωρητικής μετεωρολογίας. Ταυτόχρονα την εποχή αυτή, από τους πειραματικούς μετεωρολόγους γίνεται φανερή η ανάγκη να μελετηθεί η ατμόσφαιρα καθ' ύψος και γίνονται προσπάθειες με αερόστατα και μετεωρολογικούς αετούς.

Στην ανάπτυξη της μετεωρολογίας κατά τις αρχές του 20ου αιώνα συνέβαλε η εφεύρεση του ασυρμάτου και η πρόοδος της φυσικής, των μαθηματικών και της χημείας.

Ιδιαίτερα συνέβαλε ο 1ος Παγκόσμιος Πόλεμος, κατά τη διάρκεια του οποίου η χρησιμοποίηση του αεροπλάνου και των ασφυξιογόνων αερίων, ανάγκασε τους



εμπόλεμους να αναδιοργανώσουν τις μετεωρολογικές υπηρεσίες και να πυκνώσουν τις παρατηρήσεις που αφορούσαν κυρίως τους ανώτερους ανέμους. Από την επεξεργασία του πλούσιου αυτού υλικού και ιδιαίτερα του υλικού των μετεωρολογικών δικτύων των Σκανδιναβικών χωρών, οι οποίες ήταν εκτός πολέμου, προέκυψαν καινούριες θεωρίες για τις ατμοσφαιρικές διαταραχές.

Την περίοδο του Μεσοπολέμου αναπτύσσονται θεωρίες για το σχηματισμό των αέριων μαζών, το σχηματισμό των νεφών, τα προβλήματα της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας, τη θερμοδυναμική της ατμόσφαιρας και των κινηματικών ιδιοτήτων των μετώπων και των υφέσεων.

Ένα ακόμα σημαντικό γεγονός είναι η χρήση της ραδιοβολίδας, που επέτρεψε να μελετήσουμε την ατμόσφαιρα καθ' ύψος. Αυτός είναι ένας από τους σημαντικότερους σταθμούς στην εξέλιξη της Συνοπτικής και της Θεωρητικής Μετεωρολογίας.

Το 1931 ιδρύεται και στην Ελλάδα η Μετεωρολογική Υπηρεσία η οποία υπάγεται στο τότε Υπουργείο Αεροπορίας και αρχίζει να λειτουργεί με ένα πιο οργανωμένο τρόπο.

Ο 2ος Παγκόσμιος Πόλεμος, υπήρξε επίσης μια περίοδος γόνιμων εξελίξεων και μεγάλης προόδου για τη μετεωρολογία. Οι επιχειρήσεις στην ξηρά, στη θάλασσα και στον αέρα ήταν, κατά τη διάρκεια του πολέμου αυτού, πολύ μεγαλύτερες από ότι κατά τον 1ο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Ο ρόλος τον οποίο διαδραμάτισε η μετεωρολογία ήταν τεράστιος και οι υπηρεσίες τις οποίες προσέφερε εξαιρετικής σπουδαιότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο ρόλος της Αγγλικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, στην επιλογή της χρονικής στιγμής για τη μεγάλη απόβαση στη Νορμανδία. Τα δίκτυα σταθμών και κυρίως των σταθμών ραδιοβολίσεων και ανώτερης ατμόσφαιρας που πυκνώσαν, οδήγησαν σε μια νέα καθ' ύψος μελέτη της ατμόσφαιρας και σε μια καινούργια θεώρηση για την ανάλυση και πρόγνωση των καιρικών καταστάσεων. Χάρη στις παρατηρήσεις των αεροσκαφών που πετούσαν σε μεγάλα ύψη, εντοπίστηκε η ύπαρξη των πολύ ισχυρών ανέμων (Jet Stream) στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Οι ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες εφευρέθηκαν κατά τη διάρκεια του πολέμου και ιδιαίτερα το Radar, έτυχαν επίσης άμεσης εφαρμογής στην καθημερινή υπηρεσία του καιρού.

Μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, στην Ελλάδα η Μετεωρολογική Υπηρεσία ονομάζεται πια Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και υπάγεται από τότε μέχρι και σήμερα στο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας.

Η μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο περίοδος υπήρξε εξ αρχής επαναστατική στην ιστορία της Φυσικής της ατμόσφαιρας. Οι πύραυλοι V2 τους οποίους χρησιμοποίησαν οι Γερμανοί κατά των Άγγλων, άρχισαν από το 1946 να χρησιμοποιούνται από τους Αμερικάνους για τη μελέτη της ανώτερης ατμόσφαιρας. Δεκάδες τέτοιοι πύραυλοι και πιο εξελιγμένης μορφής εξαπολύθηκαν από Αμερικάνους και Ρώσους, οι οποίοι μας έδωσαν στοιχεία για τη μελέτη της ατμόσφαιρας μέχρι τα ανώτερα όριά της. Η

χημική σύσταση, η φυσική υφή και ο ιονισμός της ατμόσφαιρας παύουν να είναι κρυμμένα μυστικά.



**Εικόνα 1.2 Χάρτης καιρού των συμμαχικών δυνάμεων της ημέρας της απόβασης στη Νορμανδία[4]**

Τεράστια επίσης στην πρόοδο της μετεωρολογίας, ήταν η συμβολή των παρατηρήσεων και πειραμάτων που έγιναν κατά τη διάρκεια του Διεθνούς Γεωφυσικού Έτους (1 Ιουλίου 1957-31 Δεκεμβρίου 1958), το οποίο υπήρξε η μεγαλύτερη μέχρι τότε επιστημονική εκστρατεία στην ιστορία της ανθρωπότητας. Ταυτόχρονα την εποχή αυτή ετέθησαν σε τροχιά γύρω από τη γη οι πρώτοι τεχνητοί δορυφόροι, για την έρευνα της γήινης ατμόσφαιρας και της περιοχής κοντά στα όρια του κοσμικού διαστήματος.

Οι δορυφόροι αποστέλλουν φωτογραφίες όχι μόνο της επιφάνειας της γης, αλλά και των νεφικών συστημάτων που καλύπτουν ορισμένες περιοχές της. Παρέχουν έτσι μια συνολική εικόνα για τη νεφική κάλυψη της γης. Εκτός αυτού, από τις παρατηρήσεις των μετεωρολογικών δορυφόρων μπορούμε να υπολογίσουμε το θερμικό ισοζύγιο γης-διαστήματος, δηλαδή το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία εισέρχεται εντός της ατμόσφαιρας καθώς και το ποσό ακτινοβολίας το οποίο εκπέμπει η γη στο διάστημα. Αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία στη μελέτη της θερμοδυναμικής της ατμόσφαιρας.

Το τελευταίο επίτευγμα από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 μέχρι σήμερα, είναι η χρησιμοποίηση των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην αριθμητική πρόγνωση του καιρού, με τη χρήση των αριθμητικών μοντέλων που μπορούν να προσομοιάζουν τις καιρικές διεργασίες που συντελούνται στην ατμόσφαιρα.[5]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ατμόσφαιρα είναι το αεριώδες περίβλημα της γης, με την οποία αποτελεί ένα σώμα και την ακολουθεί σε όλες τις κινήσεις της. Επομένως η ατμόσφαιρα, πέραν των άλλων κινήσεών της, περιστρέφεται και γύρω από τον άξονα της γης, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, με διαφορετική ταχύτητα περιστροφής από την αντίστοιχη της γης. Το σχήμα της ατμόσφαιρας είναι παρόμοιο με αυτό της γης, δηλαδή σχεδόν σφαιρικό, συμπιεσμένο στους πόλους.

Το ύψος της ατμόσφαιρας θεωρητικά ορίζεται ως ο χώρος στον οποίο η βαρύτητα της γης υπερικνύει της φυγόκεντρης δύναμης και της τάσης διαφυγής των αερίων. Με υπολογισμούς της θεωρητικής μηχανικής, είναι περίπου 28.000 χιλιόμετρα στους πόλους και 42.000 χιλιόμετρα στον Ισημερινό.

Ενώ το κατώτερο όριο της ατμόσφαιρας ορίζεται από την επιφάνεια του πλανήτη, το ανώτερό της δεν καθορίζεται επακριβώς. Παρά την ταχεία μείωση της ατμοσφαιρικής μάζας με το ύψος, ώστε το 99,9% αυτής να βρίσκεται κάτω των 100 χλμ., αέρια συστατικά, σε ουδέτερη και ιονισμένη μορφή, απαντώνται σε πολύ μεγαλύτερα ύψη, π.χ. αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων. Για έναν ερευνητή της ατμόσφαιρας, συνήθως η έκτασή της καθορίζεται από τα ύψη στα οποία εντοπίζονται τα φαινόμενα που διερευνά, π.χ. για ένα μετεωρολόγο η ατμόσφαιρα εκτείνεται μέχρι τα 10-15 χλμ., για έναν ιονοσφαιρικό φυσικό από τα 50 μέχρι περίπου τα 800 χλμ., ενώ για ένα μαγνητοσφαιρικό φυσικό μπορεί να φτάσει σε ύψη πολλών δεκάδων χιλιάδων χιλιομέτρων.

Η γη είναι ο μόνος πλανήτης του ηλιακού συστήματος με μια ατμόσφαιρα που μπορεί να διατηρήσει τη ζωή. Αυτή η «κουβέρτα αερίων» περιέχει όχι μόνο τον αέρα που αναπνέουμε, αλλά και μας προστατεύει από τη θερμότητα και την ακτινοβολία που προέρχονται από τον ήλιο. Ζεσταίνει τον πλανήτη κατά τη διάρκεια της ημέρας και τον κρυώνει τη νύχτα.[6],[7],[8]

#### 2.1 Σύσταση της ατμόσφαιρας

Κοντά στην επιφάνεια της γης, η ατμόσφαιρα αποτελείται από ένα μίγμα μόνιμων αερίων, μερικών μεταβλητών αερίων και στερεών ή υγρών σωματιδίων. Στην απουσία στερεών σωματιδίων και υδρατμών, μπορούμε να θεωρήσουμε τη σύσταση του αέρα είτε κατά αναλογία όγκου είτε κατά αναλογία μάζας.

Η ατμόσφαιρα είναι χημικά ομογενής μέχρι τα 100 χιλιόμετρα λόγω μίξης των αερίων μαζών της, συνεπώς έχει μέχρι το ύψος αυτό σταθερή σύνθεση και σταθερό μέσο μοριακό βάρος. Τα κύρια ατμοσφαιρικά αέρια είναι το μοριακό άζωτο ( $N_2$ ), το

μοριακό οξυγόνο ( $O_2$ ) και το αργό (A), σε σωματιδιακό ποσοστό περίπου 78%, 21% και 0,9%, αντίστοιχα. Το υπόλοιπο 0,1% αφορά δευτερεύοντα αέρια, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), τα ευγενή και αδρανή αέρια, ήλιο (He), νέο (Ne) και κρυπτό (Kr), ατομικό υδρογόνο (H), όζον ( $O_3$ ) και υδρατμούς ( $H_2O$ ). Αριθμητικά μεγέθη για την ατμοσφαιρική χημική σύσταση κάτω των 100 χλμ. δίνονται στον Πίνακα 2.1. Πέραν των συστατικών αυτών, υπάρχουν ίχνη και άλλων αερίων, με ορισμένα από αυτά να οφείλονται σε ανθρωπογενείς δράσεις, π.χ. οξείδια αζώτου ( $NO_x$ ).

Πάνω από τη μεσόπαιση, η σύνθεση της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται αυξανόμενου του ύψους. Λαμβάνουν χώρα φυσικές διαδικασίες, που είτε δε συμβαίνουν σε χαμηλότερα επίπεδα, είτε αν συμβαίνουν, οι επιδράσεις τους στη σύνθεση του αέρα είναι σε πολύ μικρότερη κλίμακα.

Άνω των 100 χλμ. ο βαρυντικός διαχωρισμός των αερίων συστατικών επικρατεί της μίξης, ώστε η αναλογία των ελαφρών συστατικών να αυξάνεται με το ύψος σε βάρος των βαρύτερων, με αποτέλεσμα το μέσο μοριακό βάρος να μειώνεται με το ύψος. Επιπλέον, τα ανώτερα ύψη χαρακτηρίζονται από δραματικές μεταβολές στην ατμοσφαιρική σύσταση, λόγω απορρόφησης της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, όπως και μιας ακολουθίας δευτερογενών χημικών αντιδράσεων. Έτσι, άνω των 120 χλμ. το περισσότερο οξυγόνο είναι σε ατομική μορφή λόγω φωτοδιάσπασης του μοριακού οξυγόνου και μοριακής διάχυσης. Γύρω στα 500 χλμ. η ατμόσφαιρα περιέχει κυρίως ατομικό οξυγόνο και ίχνη ατομικού αζώτου, ενώ άνω των 1000 χλμ. επικρατούν τα ελαφρά άτομα ηλίου (He) και υδρογόνου (H).

	Συστατικό	Μοριακό Βάρος	Αναλογία
1	Αζωτο ( $N_2$ )	28,02	78,08 %
2	Οξυγόνο ( $O_2$ )	32,00	20,95 %
3	Αργό (A)	39,94	0,93 %
4	Υδρατμοί ( $H_2O$ )	18,02	0,01-5 %
5	Διοξ. Άνθρακα ( $CO_2$ )	44,01	400 ppm
6	Νέο (Ne)	20,18	18 ppm
7	Ήλιο (He)	4,00	5 ppm
8	Κρυπτό (Kr)	83,70	1 ppm
9	Υδρογόνο ( $H_2$ )	2,02	0,5 ppm
10	Όζον ( $O_3$ )	48,00	1-12 ppm

**Πίνακας 2.1 Κύρια χημική σύσταση της ατμόσφαιρας μέχρι τα 100 χιλιόμετρα [8]**

### 2.1.1 Μεταβλητά συστατικά (O<sub>3</sub> και H<sub>2</sub>O)

Όπως δείχνει ο Πίνακας 2.1, και σε αντίθεση με τα άλλα στοιχεία, οι συγκεντρώσεις των υδρατμών και του όζοντος μεταβάλλονται εντός κάποιου εύρους τιμών. Τα τριατομικά αυτά αέρια, παρά το γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της ατμοσφαιρικής μάζας, παίζουν θεμελιώδη ρόλο στην απορρόφηση της ηλιακής και γήινης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, συμμετέχοντας ενεργά στο ατμοσφαιρικό ισοζύγιο ενέργειας όπως και σε διάφορες μετεωρολογικές διεργασίες και φαινόμενα.

Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα, προέρχονται από την εξάτμιση των υδάτων στη γήινη επιφάνεια και τις ηφαιστειακές εκλύσεις και υπόκεινται σε συνεχείς αλλαγές φάσης, που οδηγούν στη δημιουργία των νεφών, ενώ αποβάλλονται από αυτήν διαμέσου βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων. Ο μέσος χρόνος ζωής ενός μορίου υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι της τάξης της μιας εβδομάδας. Η συγκέντρωση των υδρατμών είναι πολύ μεγαλύτερη στα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα, ενώ μόνο ίχνη υπάρχουν άνω των 10 χλμ. και μέχρι τα 80 ως 90 χλμ.

Το όζον παράγεται μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων στο ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ περίπου 15 και 65 χλμ. και είναι το μόνο ατμοσφαιρικό συστατικό που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία στο κοντινό υπεριώδες (μεταξύ ~0,29 και 0,36 μm). Το όζον έχει μέσο χρόνο ζωής μερικών μηνών, μεταξύ των 10 και 40 χλμ., ενώ η συγκέντρωσή του παίρνει τη μέγιστη τιμή της γύρω στα 25 χλμ. Στην επιφάνεια της γης, το όζον διασπάται ταχύτατα ερχόμενο σε επαφή με τα φυτά και διαλυόμενο στο νερό.

### 2.1.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Πέραν των μεταβλητών στοιχείων O<sub>3</sub> και H<sub>2</sub>O, οι συγκεντρώσεις των αερίων συστατικών της ατμόσφαιρας παραμένουν αμετάβλητες για εκατομμύρια χρόνια, εκτός του CO<sub>2</sub> το οποίο μετά την βιομηχανική επανάσταση στα τέλη του 19ου αιώνα ακολουθεί αυξητική τάση, η οποία οφείλεται στην συνεχώς αυξανόμενη καύση υδρογονανθράκων παγκοσμίως.

Η τιμή των 400 ppm (parts per million) στον Πίνακα 2.1 αντιστοιχεί στο έτος 2015, ενώ η διαχρονικά σταθερή προ-βιομηχανική τιμή του εκτιμάται στα 280 ppm, με βάση μετρήσεις και αναλύσεις που έγιναν. Μια πρώτη εκτίμηση δείχνει ότι υπάρχει μια αυξητική τάση της τάξης του 1 ppm ανά έτος, ενώ τα τελευταία χρόνια η τάση αυτή είναι αυξημένη και πλησιάζει τα 2 ppm/έτος. Η συστηματική αύξηση του CO<sub>2</sub> είναι θεμελιώδους σημασίας στην έρευνα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, καθώς θεωρείται ο κύριος παράγοντας υπερθέρμανσης του πλανήτη, μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου.[8],[9]

## 2.2 Δομή της Ατμόσφαιρας

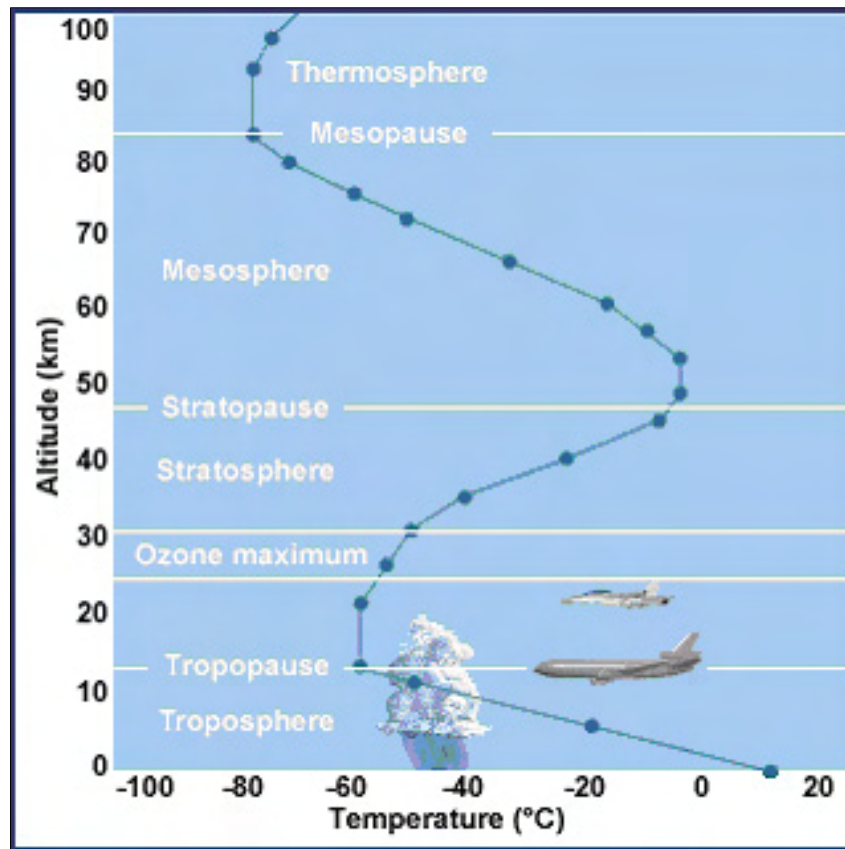
Το κατακόρυφο προφίλ της ατμόσφαιρας, μας δείχνει ότι αυτή μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορα στρώματα. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από αλληπάλλληλα στρώματα, των οποίων όμως τα ακριβή όρια εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται κάθε στρώμα, αφού ο προσδιορισμός τους μπορεί να γίνει είτε με τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η θερμοκρασία μέσα σε αυτά, είτε με τα αέρια τα οποία συνιστούν το στρώμα, είτε τέλος με βάση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας.

Στη μετεωρολογία ακολουθείται η ταξινόμηση που χρησιμοποιεί η Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας και Γεωφυσικής, η οποία διαιρεί την ατμόσφαιρα σε στρώματα με βάση τα θερμοκά τους χαρακτηριστικά. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τις ακόλουθες περιοχές, ξεκινώντας από την επιφάνεια της γης:

- την Τροπόσφαιρα ( $0 \leq H \leq 11$  χλμ.),
- τη Στρατόσφαιρα ( $11 \leq H \leq 47$  χλμ.),
- τη Μεσόσφαιρα ( $47 \leq H \leq 84.9$  χλμ.)
- τη Θερμόσφαιρα ( $84.9 \text{ χλμ.} \leq H$ ) και
- την Εξώσφαιρα.

Μεταξύ των στρωμάτων αυτών παρεμβάλλονται τρεις μεταβατικές ζώνες οι οποίες είναι οι εξής:

- η Τροπόπαυση,
- η Στρατόπαυση
- η Μεσόπαυση και
- η Θερμόπαυση



Εικόνα 2.1 Κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας [13]

### 2.2.1 Τροπόσφαιρα

Η θερμοκρασία παρουσιάζει μια συνεχή ελάττωση από την επιφάνεια της γης μέχρι ένα ύψος περίπου 11 χλμ. Η εν λόγω ελάττωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους, οφείλεται στο γεγονός ότι ο ήλιος θερμαίνει την επιφάνεια της γης, η οποία με τη σειρά της θερμαίνει τον υπερκείμενο αέρα.

Ο ρυθμός με τον οποίο ελαττώνεται η θερμοκρασία του αέρα με το ύψος ονομάζεται κατακόρυφη θερμοβαθμίδα. Η μέση ή η κανονική θερμοβαθμίδα στο κατώτερο αυτό ατμοσφαιρικό στρώμα ισούται με 6,5°C για κάθε 1000 m ύψους.

Το τμήμα αυτό της ατμόσφαιρας, η τροπόσφαιρα, περικλείει όλα τα γνωστά καιρικά φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν στη γη. Στη ζώνη αυτή εκδηλώνονται όλα τα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα του αέρα και τα μόρια των αερίων μπορούν να κυκλοφορούν μέσα στο πάχος των 10 χλμ. μέσα σε λίγες μόνο ημέρες. Επάνω από τα 11 χλμ. η θερμοκρασία παύει να ελαττώνεται σε σχέση με το ύψος. Εδώ η θερμοβαθμίδα είναι μηδενική. Αυτή η περιοχή όπου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή σε σχέση με το ύψος χαρακτηρίζεται ως ισοθερμική ζώνη. Η βάση αυτής της ζώνης οριοθετεί την κορυφή της τροπόσφαιρας και η κορυφή της την αρχή του επόμενου στρώματος, της στρατόσφαιρας.



Το ισόθερμο στρώμα που χωρίζει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα ονομάζεται τροπόπαυση. Το ύψος της τροπόπαυσης ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Αυτή κανονικά βρίσκεται υψηλότερα από την Ισημερινή περιοχή και μειώνει το ύψος της καθώς κινούμαστε προς τους πόλους. Γενικά η τροπόπαυση βρίσκεται υψηλότερα το καλοκαίρι και χαμηλότερα το χειμώνα σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη.

Σε μερικές περιοχές η τροπόπαυση παρουσιάζει ασυνέχεια και έχει παρατηρηθεί ότι στις θέσεις αυτές γίνεται μια ανάμιξη τροποσφαιρικού και στρατοσφαιρικού αέρα. Οι ασυνέχειες αυτές οριοθετούν τις θέσεις των αεροχειμάρρων (Jet Streams), δηλαδή των πολύ ισχυρών ανέμων που δρουν σε περιορισμένο χώρο και που υπερβαίνουν σε ένταση ακόμα και τους 100 κόμβους (1 κόμβος = 1,9 km/h).

### 2.2.2 Στρατόσφαιρα

Σε ύψος περίπου 20 χλμ. μέσα στην στρατόσφαιρα, η θερμοκρασία του αέρα αρχίζει να αυξάνεται ανάλογα με το ύψος. Η αύξηση της θερμοκρασίας ονομάζεται αναστροφή της θερμοκρασίας. Το στρώμα της αναστροφής μαζί με το υποκείμενο ισοθερμικό στρώμα της τροπόπαυσης δεν επιτρέπουν στα ανοδικά ρεύματα της τροπόσφαιρας να διεισδύσουν στη στρατόσφαιρα. Επίσης, η αναστροφή αποτρέπει τις ανοδικές κινήσεις μέσα στη στρατόσφαιρα, καθιστώντας την ένα σχεδόν αδιατάρακτο στρώμα.

Μολονότι η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος, θα πρέπει να τονιστεί ότι σε τέτοια υψόμετρα οι θερμοκρασίες παραμένουν αρκετά υπό του μηδενός. Για παράδειγμα, σε ύψος 30 χλμ. οι θερμοκρασίες κατά μέσο όρο κυμαίνονται γύρω στους  $-36^{\circ}\text{C}$ .

Το αίτιο της δημιουργίας της αναστροφής της θερμοκρασίας στη στρατόσφαιρα, είναι η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων όζοντος σε αυτά τα ύψη. Το  $\text{O}_3$  απορροφά μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, θερμαίνοντας την ατμόσφαιρα και δημιουργώντας την αναστροφή της θερμοκρασίας. Βέβαια οι μεγαλύτερες ποσότητες  $\text{O}_3$  συναντώνται στο ύψος των 25 χλμ. και σχηματίζουν την οζονόσφαιρα, η οποία αποτελεί το φυσικό φίλτρο για τη βλαβερή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Το μέγιστο όριο της θερμοκρασίας ωστόσο, συναντάται σε ύψος 50 χλμ. Ο λόγος είναι ότι στο ύψος αυτό η ατμόσφαιρα είναι πολύ αραιότερη σε σχέση με τα 25 χλμ. και έτσι η απορρόφηση της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει πολύ περισσότερο τη θερμοκρασία του αραιού αέρα.

### 2.2.3 Μεσόσφαιρα

Επάνω από τη στρατόσφαιρα υπάρχει η μεσόσφαιρα, ενώ η ενδιάμεση ισόθερμη επιφάνεια, σε ύψος περίπου 50 χλμ., που χωρίζει τα δύο αυτά στρώματα ονομάζεται στρατόπαυση.

Ο αέρας εδώ είναι εξαιρετικά αραιός και η ατμοσφαιρική πίεση πολύ χαμηλή, μόλις 1 hPa, που σημαίνει ότι το 99,9% της ατμοσφαιρικής μάζας βρίσκεται κάτω από τη στάθμη αυτή. Η θερμοκρασία του αέρα στη μεσόσφαιρα ελαττώνεται με το ύψος. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην απουσία όζοντος στην περιοχή και στο γεγονός ότι τα ελάχιστα μόρια του αέρα χάνουν περισσότερη ενέργεια από αυτή που δεσμεύουν. Η ψύξη του αέρα συνεχίζεται σχεδόν έως το ύψος 90 χλμ., όπου η θερμοκρασία του αέρα απόκτα τη μικρότερη κατά μέσο όρο τιμή των  $-90^{\circ}\text{C}$ .

Η μεσόσφαιρα είναι το λιγότερο κατανοητό μέρος της ατμόσφαιρας της γης. Είναι πολύ ψηλά για να πετούν αεροπλάνα ή αερόστατα αλλά πολύ χαμηλά για διαστημικά σκάφη. Ένα από τα λίγα στοιχεία που γνωρίζουν οι επιστήμονες γι' αυτήν, είναι ότι οι μετεωρίτες καίγονται σε αυτή τη στρώση. Και ίσως επειδή η μεσόσφαιρα δεν είναι τόσο κατανοητή, φιλοξενεί ορισμένα μετεωρολογικά μυστήρια.

### 2.2.4 Θερμόσφαιρα

Το αμέσως επόμενο υπερκείμενο στρώμα ονομάζεται θερμόσφαιρα. Η θερμόσφαιρα είναι το παχύτερο στρώμα στην ατμόσφαιρα. Μόνο τα ελαφρύτερα αέρια - κυρίως οξυγόνο, ήλιο και υδρογόνο - βρίσκονται εδώ. Εκτείνεται μέχρι το ύψος των 600 χλμ. και σε αυτήν, τα λεπτά διασκορπισμένα μόρια αερίων απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτή η διαδικασία απορρόφησης έχει ως αποτέλεσμα να προωθούνται τα μόρια στη θερμόσφαιρα σε μεγάλες ταχύτητες και υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό το λόγο, η θερμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από μια συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τα ανώτερα όριά της.

Αν και η θερμοκρασία εκεί είναι πολύ υψηλή, δεν υπάρχει μεγάλη θερμότητα. Αυτό συμβαίνει για τον εξής λόγο. Η θερμότητα δημιουργείται όταν τα μόρια εκδηλωθούν και μεταφέρουν ενέργεια από το ένα μόριο στο άλλο, ενώ επίσης η θερμότητα συμβαίνει σε μια περιοχή υψηλής πίεσης. Δεδομένου λοιπόν ότι υπάρχει πολύ μικρή πίεση στη θερμόσφαιρα, υπάρχει μικρή μεταφορά θερμότητας.

Μέσα στη θερμόσφαιρα και σε ύψος μεταξύ των 400 με 500 χλμ. υπάρχει ακόμη μια ιδιάζουσα περιοχή, η ιονόσφαιρα. Αυτή εκτείνεται μέχρι το ανώτατο όριο της ατμόσφαιρας και ονομάζεται έτσι εξαιτίας του πολύ μεγάλου αριθμού ιόντων που υπάρχουν σε αυτήν. Είναι πολύ σημαντική για την υγιεινή διαβίωση του ανθρώπου στη γη, ενώ η ύπαρξή της επιτρέπει και τη μετάδοση ραδιοφωνικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Το ραδιοφωνικό σήμα εκπέμπεται από την πηγή, χτυπάει πάνω

στα φορτισμένα σωματίδια της ιονόσφαιρας, αλλάζει κατεύθυνση και καταλήγει στο δέκτη.

Το όριο που ξεχωρίζει το κατώτερο ψυχρό στρώμα της μεσόσφαιρας από τη θερμή θερμόσφαιρα ονομάζεται μεσόπαυση.

### **2.2.5 Εξώσφαιρα**

Το ανώτερο όριο της θερμόσφαιρας, όπου σταματά η αύξηση της θερμοκρασίας, αποτελεί την περιοχή της θερμόπαυσης. Από εκεί και πάνω η ατμόσφαιρα είναι ισόθερμη και ονομάζεται εξώσφαιρα.

Η εξώσφαιρα εκτείνεται σε απόσταση ίσως και μεγαλύτερη από 700 χλμ. από την επιφάνεια της γης, φθάνει δηλαδή μέχρι το κοσμικό διάστημα.

Το υδρογόνο, το ελαφρύτερο στοιχείο του σύμπαντος, κυριαρχεί στη λεπτή ατμόσφαιρα της εξώσφαιρας. Παρατηρούνται μόνο ίχνη ποσότητας ηλίου, διοξειδίου του άνθρακα, οξυγόνου και άλλων αερίων. Το οξυγόνο βρίσκεται στα κατώτερα στρώματα της εξώσφαιρας, λόγω μεγαλύτερου μοριακού βάρους, ενώ το υδρογόνο στα ανώτερα.

Τα αέρια σε αυτό το στρώμα έχουν πολύ μικρή πυκνότητα, γι' αυτό και στο όριο της εξώσφαιρας τείνουν να αναμειχθούν σταδιακά με το κοσμικό διάστημα. Τα αέρια αυτά μπορούν να διαφύγουν από τη γήινη ατμόσφαιρα και επομένως από τη βαρύτητα της γης, μόνο αν η ταχύτητά τους είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διαφυγής. [10],[11]

Πολλοί δορυφόροι καιρού κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη στην εξώσφαιρα. Παράλληλα, το ανώτερο όριο της εξώσφαιρας είναι ορατό στις δορυφορικές εικόνες της γης. Ονομάζεται γεωκορόνα και είναι ο ασαφής μπλε φωτισμός που περιβάλλει τη γη. [12]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

Η ατμόσφαιρα είναι ένα στρώμα αερίων με ύψος μεγαλύτερο από 1000 χλμ. που πιέζει τις επιφάνειες που βρίσκονται στο έδαφος ή σε ορισμένο ύψος από αυτό. Η πίεση που ασκείται στη μονάδα επιφάνειας οφείλεται στο βάρος της αέριας στήλης που βρίσκεται πάνω από αυτή και ονομάζεται ατμοσφαιρική ή βαρομετρική πίεση.

Η ατμοσφαιρική πίεση αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές κλιματικές παραμέτρους, γιατί συνδέεται με τη θερμοκρασία, που είναι το αίτιο των μεταβολών της και με τους ανέμους, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα των διαφορών της θερμοκρασίας ανάμεσα σε δύο τόπους.

Η ατμοσφαιρική πίεση εκφράζει τη δύναμη που ασκεί η μάζα του αέρα στη μονάδα της επιφάνειας. Στο διεθνές σύστημα μονάδων, ως μονάδα δύναμης ορίζεται το Newton και ως μονάδα επιφάνειας το τετραγωνικό μέτρο. Έτσι, ως μονάδα πίεσης ορίζεται το  $\text{N/m}^2$ . Το 1 Pascal ισοδυναμεί με την πίεση που ασκεί το  $1 \text{ N/m}^2$ . Η ατμοσφαιρική πίεση εκφράζεται σε μονάδες Pascal, τα hectopascals (hPa). Η ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας ισούται με 1013,25 hPa. Αντίστοιχη μονάδα πίεσης που χρησιμοποιείται πολύ συχνά ακόμη και σήμερα είναι το mb, το οποίο αριθμητικά ισούται με 1 hPa. Άλλες μονάδες πίεσης είναι το mmHg, ή Torr, το οποίο ισούται 0,75 hPa.

Προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση των τιμών της ατμοσφαιρικής πίεσης που προσδιορίζεται σε διαφορετικές θέσεις, απαιτούνται οι ακόλουθες διορθώσεις:

- αναγωγή όλων των μετρήσεων στη μέση στάθμη της θάλασσας ( $h=0$  μέτρα),
- αναγωγή στο γεωγραφικό πλάτος των  $45^\circ$ , λόγω της διαφορετικής τιμής του συντελεστή βαρύτητας  $g$ , καθώς κινούμαστε από τον Ισημερινό προς τους πόλους και
- αναγωγή στη θερμοκρασία των  $0^\circ\text{C}$ , προκειμένου να αποφευχθεί το σφάλμα διαστολής του υδραργύρου, του οργάνου μέτρησης της πίεσης που ονομάζεται βαρόμετρο.

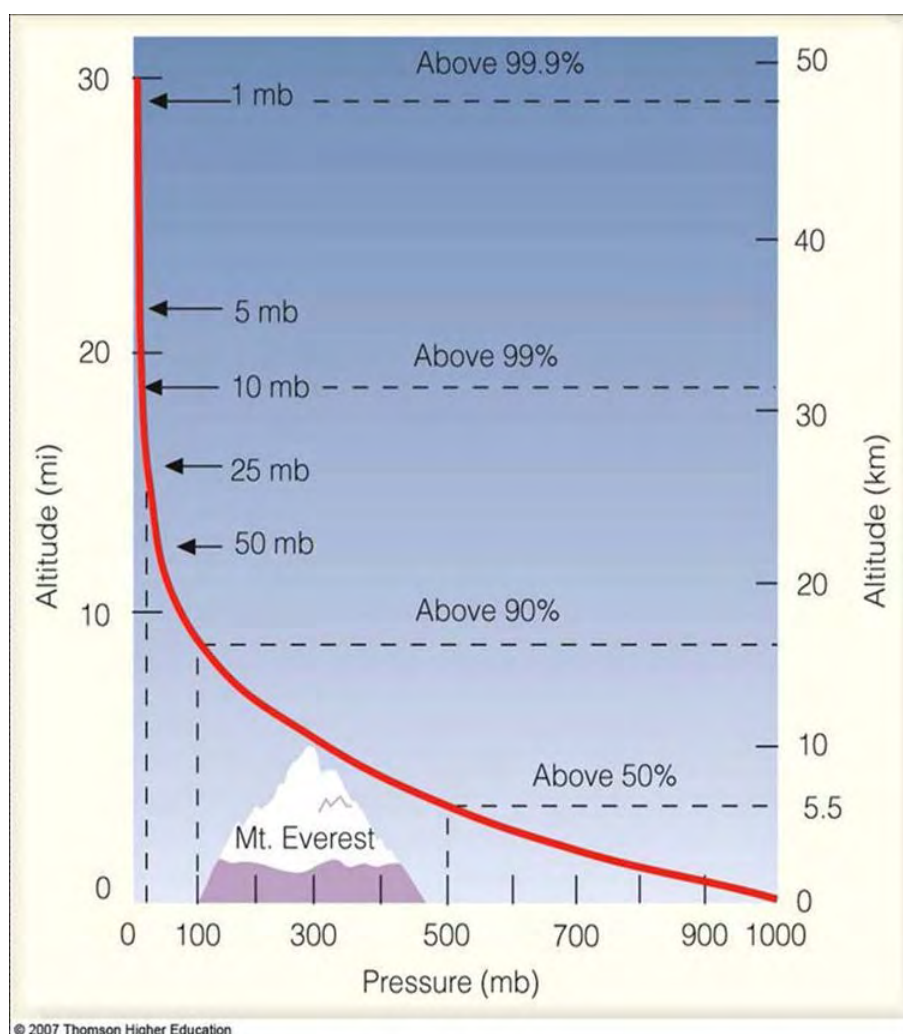
Επομένως, η δεδομένη τιμή της πίεσης σε ένα συγκεκριμένο τόπο, σε ορισμένη χρονική στιγμή, καθορίζεται από την ποσότητα του αέρα που βρίσκεται επάνω από τον τόπο μέτρησης και εκτείνεται μέχρι το ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας. Αν το ποσό του αέρα στη στήλη αυτή αλλάξει, τότε θα αλλάξει και η τιμή της πίεσης.

Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ένα από τα σπουδαιότερα μετεωρολογικά στοιχεία διότι οι καιρικές συνθήκες είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ατμοσφαιρική πίεση και τις μεταβολές αυτής, χρονικά και τοπικά. Γι' αυτό το λόγο οι χάρτες κατανομής της πίεσης στο μέσο επίπεδο της θάλασσας καθώς και σε διάφορα ύψη στην ελεύθερη

ατμόσφαιρα, αποτελούν το θεμέλιο λίθο της εργασίας που γίνεται για την ανάλυση και πρόγνωση του καιρού. Επίσης, ένα άλλο μετεωρολογικό στοιχείο που είναι στενά συνδεδεμένο με την ατμοσφαιρική πίεση και τις μεταβολές της είναι ο άνεμος.[9],[10]

### 3.1 Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης

Η ατμοσφαιρική πίεση υφίσταται σημαντικές μεταβολές κατά την κατακόρυφη και την οριζόντια έννοια. Η κατακόρυφη μεταβολή οφείλεται στην χαρακτηριστική ιδιότητα του αέρα να είναι συμπιεστός. Τα υπερκείμενα στρώματα συμπιέζουν τα υποκείμενα, με αποτέλεσμα η πίεση να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε προς την επιφάνεια της γης. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της γης και συνεπώς και η ανομοιόμορφη κατανομή της αέρας μάζας, οδηγεί σε μια ποικιλία τιμών ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 3.1 Κατακόρυφη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης [14]

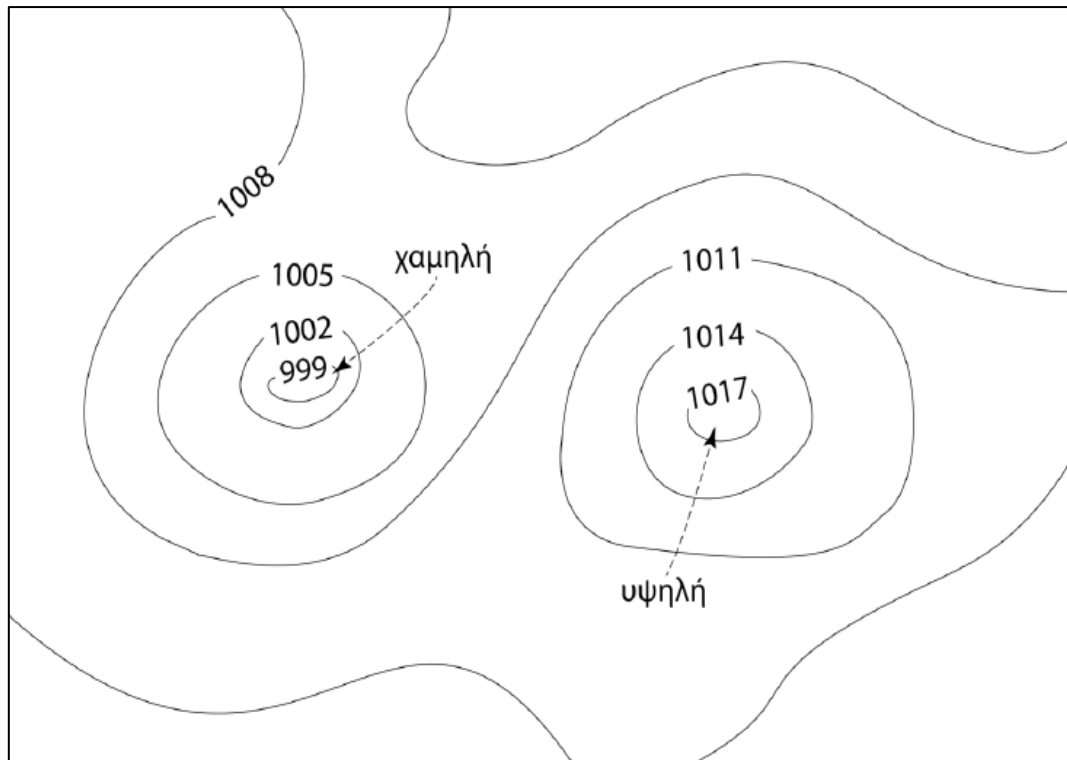
Η οριζόντια κατανομή της πίεσης ή το πεδίο της πίεσης είναι πολύ ουσιαστικά για τη μελέτη της κίνησης των ανέμων. Για να αναλυθούν οι άνεμοι θα πρέπει κατά πρώτον να αναλυθεί η κατανομή της πίεσης. Αυτό γίνεται με δύο διαφορετικές διαδικασίες που σχετίζονται με το χώρο μελέτης της πίεσης που μπορεί να αναφέρεται είτε στη στάθμη της θάλασσας είτε μακριά από την επιφάνεια της γης, σε διάφορα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα. Για αναλύσεις στη στάθμη της θάλασσας σχεδιάζονται καμπύλες ίσης πίεσης, που ονομάζονται ισοβαρείς, ενώ για την ελεύθερη ατμόσφαιρα χαράσσονται ισοϋψείς καμπύλες επάνω σε επιφάνειες ίσης ή σταθερής πίεσης, που εκφράζουν το γεωδυναμικό ύψος.

### 3.1.1 Ισοβαρείς καμπύλες

Οι ισοβαρείς είναι γραμμές οι οποίες ενώνουν σημεία ίσης πίεσης. Είναι φανερό ότι δεν είναι δυνατόν να ενωθούν όλα τα σημεία του χάρτη που παρουσιάζουν την ίδια τιμή πίεσης, γιατί θα προκύψουν άπειρες ισοβαρείς. Για τον λόγο αυτό, οι ισοβαρείς χαράσσονται με βήματα 2, 4 ή 5 hPa. Αφού οι ισοβαρείς είναι γραμμές ίσης πίεσης, τότε οι γειτονικές ισοβαρείς θα παρουσιάζουν μια συνεχή μεταβολή της πίεσης (αύξηση ή ελάττωση).

Η μεταβολή της πίεσης σε ορισμένη οριζόντια απόσταση είναι γνωστή ως βαροβαθμίδα. Όσο πιο κοντά βρίσκονται οι διαδοχικές ισοβαρείς τόσο πιο ισχυρή είναι η βαροβαθμίδα και όσο πιο αραιές είναι οι ισοβαρείς τόσο πιο ασθενής η βαροβαθμίδα. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, η χάραξη των ισοβαρών στον χάρτη μιας μεγάλης περιοχής δίνει χαρακτηριστικά σχήματα κατανομής της πίεσης, παρουσιάζοντας διαδοχικά εκτεταμένες περιοχές με μεγάλη ή μικρή πίεση. Οι περιοχές αυτές γενικά είναι κυκλικές ή ελλειψοειδείς και καλύπτουν χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα.

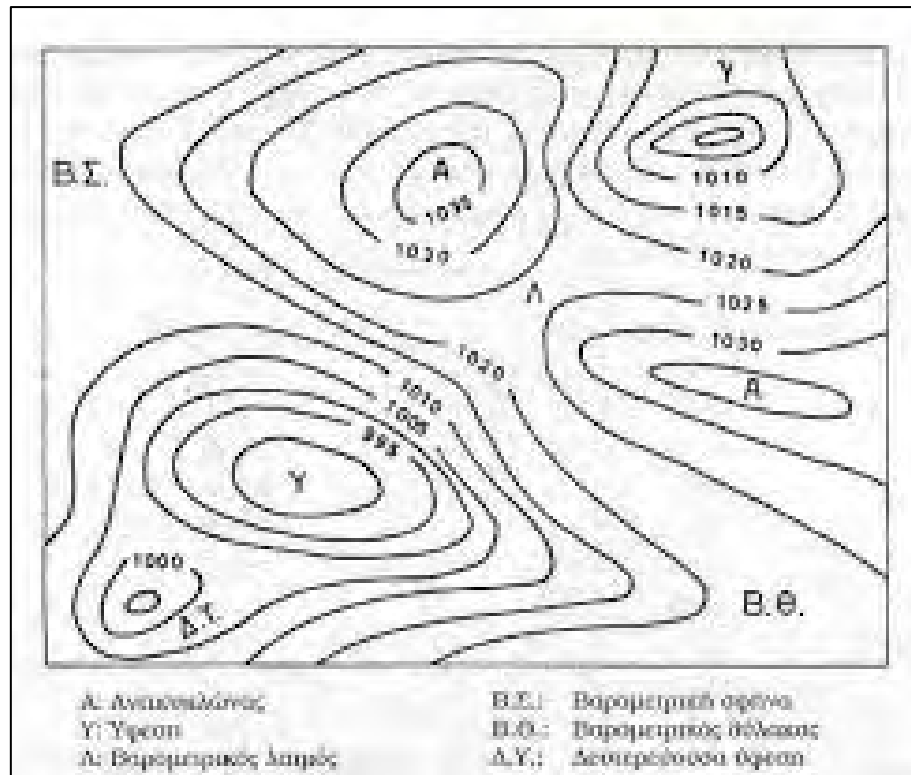
Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται ένα τυπικό μοντέλο πίεσης των μέσων πλατών, όπου οι ισοβαρείς εκφράζονται σε hPa. Η περιοχή με τις χαμηλότερες πιέσεις αποτελεί το κέντρο ενός βαρομετρικού χαμηλού ή απλά χαμηλού, ενώ η περιοχή με τις υψηλές πιέσεις χαρακτηρίζεται ως βαρομετρικό υψηλό ή απλά υψηλό. Δεν υπάρχουν σαφή όρια για το πού τελειώνει ένα χαμηλό και πού αρχίζει ένα υψηλό. Στο χαμηλό η πίεση αυξάνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια, ενώ στο υψηλό από την περιφέρεια προς το κέντρο. Η ισοβαρής των 1012 hPa, θεωρείται συνήθως το όριο μεταξύ των δύο συστημάτων. [9],[10]



**Εικόνα 3.2 Χαρακτηριστικές περιοχές χαμηλής και υψηλής πίεσης [10]**

Οι κύριες μορφές ισοβαρικών σχηματισμών είναι οι ακόλουθες:

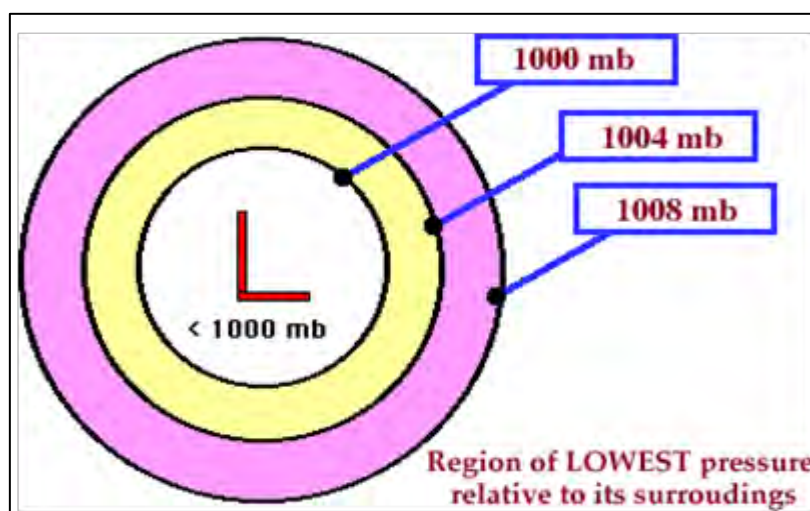
- Βαρομετρικό χαμηλό ή ύφεση ( Depression ή Low)
- Αντικυκλώνας ή Υψηλό (Anticyclone ή High)
- Δευτερεύουσα ύφεση (Secondary depression )
- Βαρομετρικός θύλακας (Trough of low pressure)
- Βαρομετρική σφήνα (Wedge ή Ridge of high pressure)
- Βαρομετρικός λαιμός (Col)
- Ευθείες ισοβαρείς (Straight isobars)



Εικόνα 3.3 Ισοβαρικοί σχηματισμοί [15]

Βαρομετρικό χαμηλό ή ύφεση ( Depression ή Low)

Οι ισοβαρείς καμπύλες είναι κλειστές κατά κύριο λόγο και η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης που υποδηλώνουν ελαττώνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο.

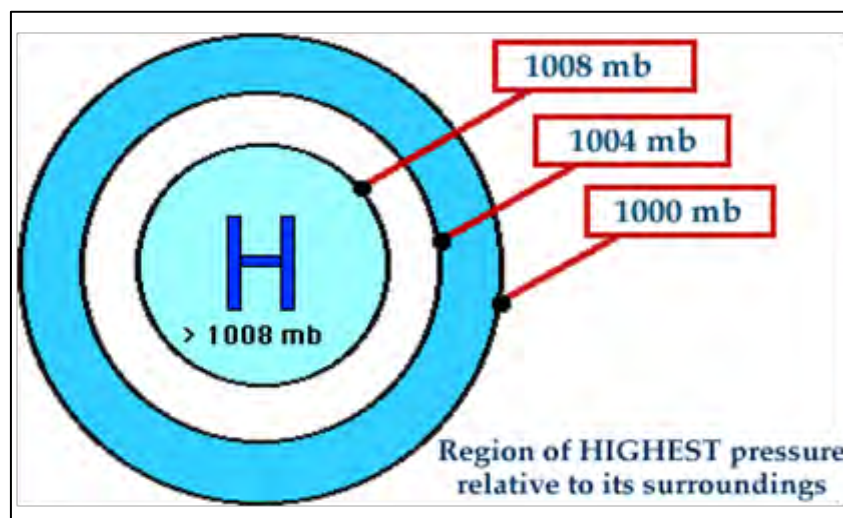


Εικόνα 3.4 Βαρομετρικό χαμηλό [9]



### Αντικυκλώνας ή Υψηλό (Anticyclone ή High)

Οι ισοβαρείς καμπύλες είναι κλειστές κατά κύριο λόγο και η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης που υποδηλώνουν αυξάνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο.



**Εικόνα 3.5 Βαρομετρικό υψηλό [9]**

### Σφήνα ή Σκάφη (trough) χαμηλών πιέσεων

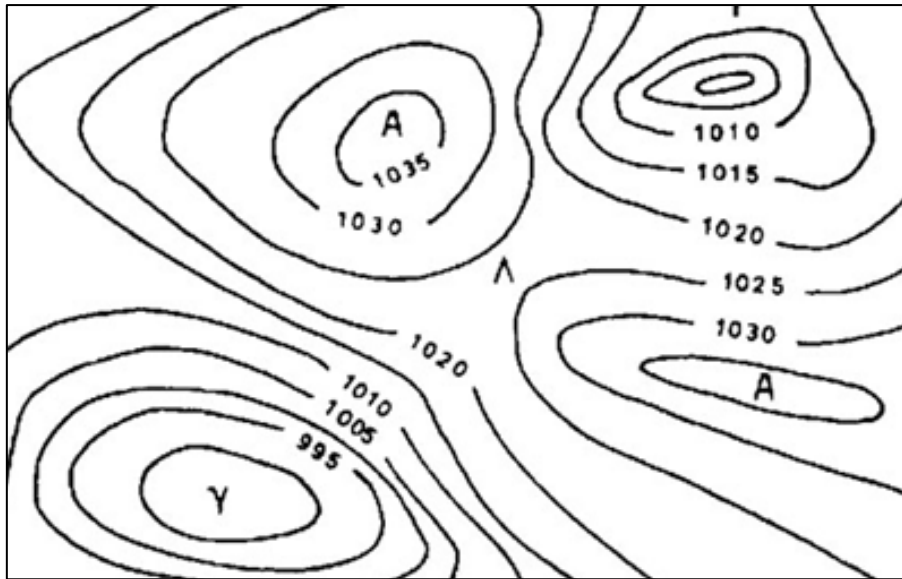
Οι ισοβαρείς καμπύλες εκτείνονται από την ύφεση σε σχήμα γράμματος V, ως επί το πλείστο και η πίεση ελαττώνεται από τα έξω προς τα μέσα.

### Σφήνα ψηλών πιέσεων (Ridge)

Οι ισοβαρείς καμπύλες εκτείνονται σαν επιμήκειες γλώσσες από τον αντικυκλώνα, σε σχήμα γράμματος U περίπου και η πίεση αυξάνεται από τα έξω προς τα μέσα.

### Βαρομετρικός Λαιμός (Col)

Είναι η περιοχή που περιλαμβάνεται μεταξύ δύο υφέσεων και δύο αντικυκλώνων των οποίων η διάταξη είναι σταυροειδής. [9]



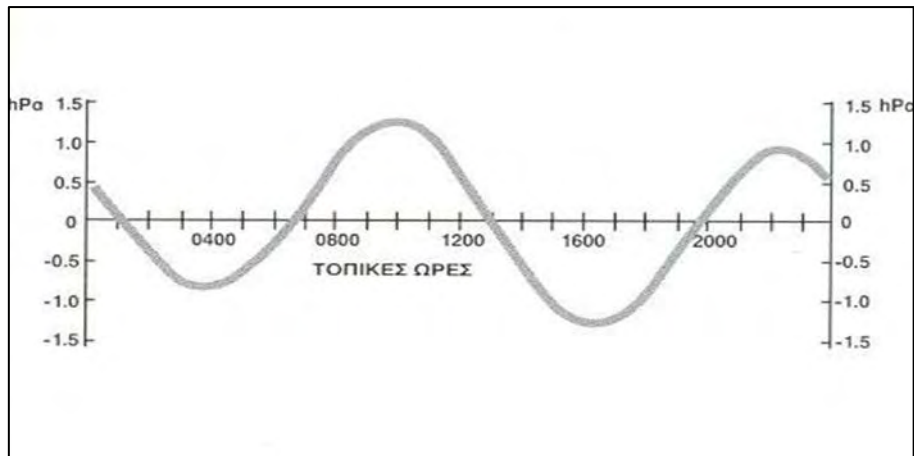
*Εικόνα 3.6 Βαρομετρικός λαιμός [9]*

### 3.1.2 Ημερήσια μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης

Η ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζει σε κάθε τόπο δύο μέγιστες και δύο ελάχιστες τιμές στη διάρκεια του 24ώρου. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζει το πρωτεύον μέγιστο στις 10 το πρωί και το δευτερεύον μέγιστο στις 10 το βράδυ, ενώ το πρωτεύον ελάχιστο παρατηρείται στις 4 το απόγευμα και το δευτερεύον στις 4 τα ξημερώματα (Εικόνα 3.7).

Τις πρώτες πρωινές ώρες ο αέρας είναι ψυχρός, δηλαδή πυκνός και επομένως βαρύς, με αποτέλεσμα να παρατηρείται το πρωτεύον μέγιστο γύρω στις 10:00. Λίγες ώρες μετά το μεσημέρι, εξαιτίας της ισχυρής θέρμανσης, ο αέρας είναι θερμός, δηλαδή αραιός και επομένως ελαφρύς με αποτέλεσμα να παρατηρείται το πρωτεύον ελάχιστο γύρω στις 16:00. Πλησιάζοντας προς τη δύση, ο αέρας ψύχεται και πάλι με αποτέλεσμα να αυξάνονται και πάλι οι τιμές της πίεσης, σημειώνοντας ένα δευτερεύον μέγιστο γύρω στις 22:00.

Τέλος, λίγες ώρες πριν, καθώς και κάποιες ώρες μετά τα μεσάνυχτα, η πίεση βρίσκεται και πάλι σε πτώση, σημειώνοντας αυτή τη φορά το δευτερεύον ελάχιστο γύρω στις 04:00. Η διαφορά πρωτεύοντος μεγίστου και ελαχίστου ονομάζεται ημερήσιο εύρος και αντίστοιχα η διαφορά δευτερεύοντος μεγίστου και ελαχίστου ονομάζεται νυχτερινό εύρος. [11]



**Εικόνα 3.7 Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας [15]**

## 3.2 Όργανα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης

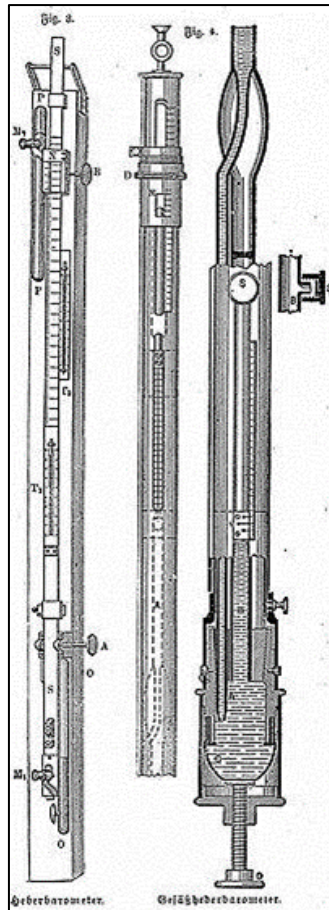
Για τον προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής πίεσης χρησιμοποιούνται τα βαρόμετρα. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι βαρομέτρων: το υδραργυρικό βαρόμετρο, το ανεροειδές βαρόμετρο και το ηλεκτρονικού τύπου βαρόμετρο. Συμπληρωματικά με οποιοδήποτε από τα τρία προηγούμενα βαρόμετρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο βαρογράφος.

### 3.2.1 Υδραργυρικό βαρόμετρο

Το υδραργυρικό βαρόμετρο είναι όργανο μεγάλης ακρίβειας και το εφηύρε ο Torricelli. Τα σύγχρονα υδραργυρικά βαρόμετρα αποτελούνται από έναν γυάλινο σωλήνα μικρής διατομής, μήκους 1 m περίπου, που περιέχει υδράργυρο. Το κάτω άκρο του σωλήνα που είναι ανοικτό, βυθίζεται σε μικρό κυλινδρικό δοχείο, το οποίο περιέχει το ίδιο υγρό. Το σύστημα του σωλήνα και του δοχείου του υδραργύρου είναι τοποθετημένα σ' ένα κάλυμμα για προστασία.

Ο σωλήνας έχει πάνω του υποδιαίρεσεις σε χιλιοστά, οπότε η εκάστοτε μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης μετακινεί την κορυφή του υδραργύρου μέσα στον σωλήνα, δημιουργώντας ένα κενό στο πάνω μέρος του και έτσι προκύπτει μέτρηση της πίεσεως σε χιλιοστά στήλης υδραργύρου.

Τα υδραργυρικά βαρόμετρα που χρησιμοποιούνται στα πλοία αναρτώνται σε κάποιον τοίχο της γέφυρας. Η μετακίνησή τους απαιτεί μεγάλη προσοχή, γιατί μπορεί να προκληθεί διακοπή στη συνέχεια του υγρού του υδραργύρου, οπότε η δημιουργία φυσαλίδων θα επηρεάσει καθοριστικά την ακρίβεια του οργάνου.



**Εικόνα 3.8 Υδραργυρικό βαρόμετρο [11]**

### 3.2.2 Ανεροειδές βαρόμετρο

Τα υδραργυρικά βαρόμετρα αντικαταστάθηκαν σχεδόν ολοκληρωτικά περί τα τέλη του 1800 από τα ανεροειδή βαρόμετρα, τα οποία αρχικά κατασκευάστηκαν στα μέσα του 1800.

Το κύριο τμήμα του οργάνου αποτελείται από λεπτά μεταλλικά κενά φουσερά, τους φουσητήρες. Καθώς μεταβάλλεται η εξωτερική πίεση, τότε ο φουσητήρας διαστέλλεται ή συστέλλεται και έτσι υποδηλώνεται η τιμή της πίεσεως.

Τα ανεροειδή βαρόμετρα αποτελούνται από έναν θάλαμο μορφής μεταλλικού τυμπάνου που βρίσκεται σχεδόν σε κενό αέρος, γι' αυτό και ονομάζονται έτσι. Τα ανεροειδή βαρόμετρα ονομάζονται και μεταλλικά, επειδή το τύμπανο είναι μεταλλικό.

Είναι λιγότερο ακριβή από τα υδραργυρικά και συνήθως αποκλίνουν από την πραγματική τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσεως για πολύ μικρές και πολύ μεγάλες τιμές της πίεσεως. Ένα καλό μεταλλικό βαρόμετρο πρέπει να έχει ακρίβεια 0,5 mb ή και λιγότερο. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί ξηράς χρησιμοποιούν υδραργυρικά βαρόμετρα,

ενώ στους μετεωρολογικούς σταθμούς πλοίων χρησιμοποιούνται τα μεταλλικά βαρόμετρα.

Τα μεταλλικά βαρόμετρα είναι πιο εύχρηστα από τα υδραργυρικά, διότι είναι απαλλαγμένα από σφάλματα. Οι διορθώσεις στα μεταλλικά βαρόμετρα γίνονται λόγω ύψους του οργάνου από τη μέση στάθμη της θάλασσας, γιατί οι ενδείξεις επηρεάζονται από το υψόμετρο. Για το λόγο αυτό, πρέπει κατά τακτά χρονικά διαστήματα και τουλάχιστον μία φορά τον χρόνο, να συγκρίνονται με πρότυπα βαρόμετρα ακριβείας επί τόπου, είτε στα εργαστήρια των μετεωρολογικών υπηρεσιών, είτε στα μετεωρολογικά γραφεία λιμένων και να ρυθμίζονται.



**Εικόνα 3.9 Μεταλλικό βαρόμετρο [11]**

### **3.2.3 Ηλεκτρονικό βαρόμετρο**

Το βαρόμετρο ηλεκτρονικού τύπου δεν αποτελείται από κινούμενα μέρη. Για τη μέτρηση της πίεσης χρησιμοποιούνται διάφορα ηλεκτρομηχανικά συστήματα.

Τα ηλεκτρονικά βαρόμετρα έχουν προφανή πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ανεροειδή βαρόμετρα, όσον αφορά στην ευκολία χρήσης τους και στις δυνατότητες των λειτουργιών τους. Η κυριότερη διαφορά τους είναι ότι οι κοινές ανεροειδείς συσκευές δεν δίνουν γραμμικά αποτελέσματα, οπότε και απαιτείται προσεκτική ρύθμιση σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ακριβείς τιμές πίεσεως. Τα ηλεκτρονικά βαρόμετρα είναι συνήθως ακριβή για μεγάλο χρονικό διάστημα, αρκεί να ρυθμιστούν σωστά εξαρχής ώστε να διαβάζουν σωστά την πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας.



**Εικόνα 3.10 Ηλεκτρονικό βαρόμετρο [16]**

### **3.2.4 Βαρογράφος**

Συμπληρωματικά με οποιοδήποτε από τα τρία προηγούμενα βαρόμετρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο βαρογράφος. Οι βαρογράφοι είναι αυτογραφικά όργανα προσδιορισμού της ατμοσφαιρικής πίεσεως. Η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτή του μεταλλικού βαρομέτρου, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται μία καταγραφική ακίδα αντί ενός δείκτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάποια αλλαγή στον σχεδιασμό της τοποθέτησεως του μεταλλικού τυμπάνου, την ακρίβεια της ενδείξεως και μία αύξηση του αριθμού του μεγέθους των θαλάμων.

Αυτό το όργανο είναι πιο βολικό όταν χρησιμοποιείται στην ξηρά παρά στη θάλασσα, γι' αυτό απαιτείται ειδική ρύθμιση όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί εν πλω, προκειμένου να περιοριστεί η επίδραση από τον συνεχή κλυδωνισμό του πλοίου.

Ένας τυπικός βαρογράφος αποτελείται από τέσσερα, πέντε ή και περισσότερα μεταλλικά τύμπανα τοποθετημένα σε σειρά και συνδεδεμένα μεταξύ τους με ένα εσωτερικό ελατήριο.

Το όλο σύστημα είναι τοποθετημένο σε μία σταθερή μεταλλική βάση, ενώ ένα γυάλινο κάλυμμα με μεταλλικό σκελετό χρησιμοποιείται για την προστασία του οργάνου.

Αν ο βαρογράφος βρίσκεται τοποθετημένος σε κλωβό, οι αλλαγές της θερμοκρασίας δεν επιφέρουν μεγάλο σφάλμα. Σε σύγκριση που έγινε μεταξύ ενός αντιπροσωπευτικού βαρογράφου και ενός υδραργυρικού βαρομέτρου, βρέθηκε πως η ακρίβεια των ενδείξεων ήταν αρκετά καλή, αφού το σφάλμα που κάποιες ενδείξεις περιείχαν, δεν υπερέβαινε το  $\pm 0,2$  mb. [16]



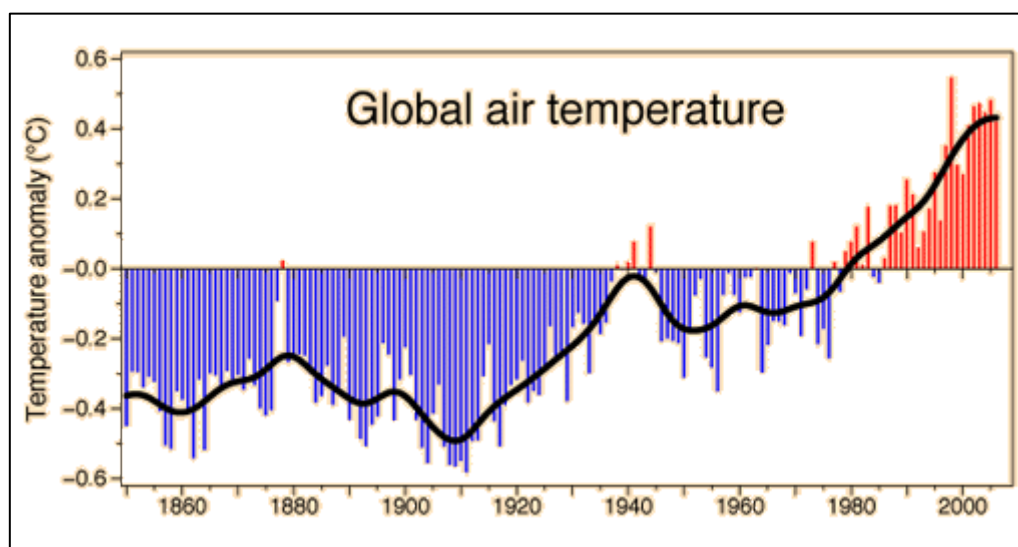
**Εικόνα 3.11 Βαρογράφος [16]**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η γη είναι ο μόνος πλανήτης που γνωρίζουμε ότι μπορεί να υποστηρίξει τη ζωή. Δε βρίσκεται πολύ κοντά ή πολύ μακριά από τον ήλιο. Βρίσκεται σε μια ζώνη που είναι ακριβώς η σωστή, ούτε πολύ ζεστή ούτε πολύ κρύα.

Η μέση θερμοκρασία στη γη είναι περίπου 33,6 F (0,9 °C), σύμφωνα με τη NASA. Οι θερμοκρασίες όμως διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό σε όλο τον κόσμο, ανάλογα με την εποχή του χρόνου, τα ωκεάνια και αιολικά ρεύματα και τις καιρικές συνθήκες. Τα καλοκαίρια τείνουν να είναι πιο ζεστά και οι χειμώνες πιο κρύοι. Ακόμη, οι θερμοκρασίες έχουν την τάση να είναι υψηλότερες κοντά στον Ισημερινό και χαμηλότερες κοντά στους πόλους.[17]



*Εικόνα 4.1 Μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της γης(1850-2010) [19]*

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία και οι μεταβολές της έχουν μεγάλη σημασία για τη μελέτη του καιρού και του κλίματος.

Από μετεωρολογική και κλιματολογική άποψη ενδιαφέρει κυρίως η θερμοκρασία

- του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους,
- του αέρα σε διάφορα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα,
- του εδάφους σε διάφορα βάθη και



- των θαλασσών σε διάφορα βάθη, των λιμνών, των ποταμών, των ωκεανών, κλπ.

Πηγές θερμότητας για την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρά της είναι ο ήλιος, το σύνολο των αστέρων και το εσωτερικό της γης. Οι δύο τελευταίες ωστόσο, δίνουν μηδαμινά ποσά θερμότητας και σχεδόν πάντα τα ίδια και γι' αυτό δεν παρουσιάζουν σπουδαιότητα από μετεωρολογική άποψη. Παραμένει οπότε σαν μοναδική πηγή θερμότητας ο ήλιος, η θερμική ακτινοβολία του οποίου είναι η κύρια αιτία όλων σχεδόν των φαινομένων που συμβαίνουν μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα. [9]

Η μετάδοση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Αγωγιμότητα, δηλαδή μεταφορά θερμότητας από μόριο σε μόριο. Γενικά η μεταφορά θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα μέσω αγωγιμότητας είναι πολύ μικρή.
- Κατακόρυφη μεταφορά, η οποία είναι μεταφορά θερμότητας εντός υγρού ή αερίου σώματος, μέσω ανοδικών ή καθοδικών ρευμάτων εντός του σώματος. Η μετάδοση θερμότητας στην ατμόσφαιρα, με αυτόν τον τρόπο, είναι πολύ μεγάλη.
- Οριζόντια μεταφορά, δηλαδή μεταφορά θερμότητας εντός υγρού ή αερίου σώματος, μέσω οριζοντίων ρευμάτων εντός αυτού του σώματος. Και με αυτό τον τρόπο, η μετάδοση θερμότητας στην ατμόσφαιρα είναι επίσης πολύ μεγάλη.
- Ακτινοβολία, δηλαδή μεταφορά της θερμότητας υπό μορφή κυμάτων ενέργειας, όπως π.χ. του ήλιου προς τη γη ή από τη γη προς τον υπερκείμενο ενός τόπου αέρα και το διάστημα.

Οι κυριότεροι λοιπόν τρόποι μεταφοράς θερμότητας στην ατμόσφαιρα, είναι η κατακόρυφη και η οριζόντια μεταφορά.[18]

#### **4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης**

Η ηλιακή ακτινοβολία δεν φτάνει σε όλα τα σημεία της επιφάνειας της γης με τον ίδιο τρόπο, λόγω του σχήματός της το οποίο είναι σχεδόν σφαιρικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν σχεδόν κάθετα μόνο στην περιοχή του Ισημερινού, καθώς και σε μικρά γεωγραφικά πλάτη πάνω και κάτω από αυτόν. Στις περιοχές των μεγαλύτερων γεωγραφικών πλατών, οι ηλιακές ακτίνες, αν και παρέχουν τα ίδια ποσά ενέργειας με αυτά των μικρότερων πλατών, προσπίπτουν πλάγια, με αποτέλεσμα η ενέργεια να πρέπει να κατανεμηθεί σε μεγαλύτερη έκταση. Έτσι, οι περιοχές κοντά στους πόλους δε θερμαίνονται το ίδιο με αυτές γύρω από τον Ισημερινό.

Θα ήταν αναμενόμενο με βάση τα παραπάνω, η θερμοκρασία του αέρα να μειώνεται ομαλά από τον Ισημερινό προς τους πόλους. Και επιπλέον, θα έπρεπε όλοι οι τόποι που βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος να έχουν την ίδια θερμοκρασία αέρα, την ίδια εποχή. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα, γιατί στη ρύθμιση της κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα πάνω στην επιφάνεια της γης επιδρούν κυρίως οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Το γεωγραφικό πλάτος. Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα μικρά γεωγραφικά πλάτη θερμαίνονται ισχυρότερα από τα μεγάλα. Ως εκ τούτου, η κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα, επηρεάζεται ανάλογα.
- Η διανομή ξηράς-θάλασσας. Η διαφορετική συμπεριφορά της ξηράς και της θάλασσας, ως προς τον τρόπο θερμάνσεως και ψύξεως, επιδρά διαφορετικά στη μεταβολή της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, τη θερμή περίοδο, οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας παρατηρούνται στο εσωτερικό των ηπειρωτικών εκτάσεων, ενώ την ψυχρή περίοδο, στις ίδιες περιοχές παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές.
- Το υψόμετρο. Περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο, δε μπορούν να παρουσιάζουν τις ίδιες τιμές θερμοκρασίας, με εκείνες που βρίσκονται πιο κοντά στο έδαφος. Το γεγονός αυτό καθιστά ανάλογη και την κατανομή των θερμοκρασιών πάνω από τις εν λόγω περιοχές.
- Οι επικρατούντες άνεμοι. Οι άνεμοι, κυρίως επειδή μπορούν να μεταφέρουν θερμές ή ψυχρές αέριες μάζες πάνω από μία περιοχή, είναι δυνατόν να επηρεάσουν την κατανομή των θερμοκρασιών του αέρα.
- Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους. Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους επιδρά στη διανομή της θερμοκρασίας, επειδή λαμβάνει διαφορετικά ποσά ενέργειας από τον ήλιο.
- Η φύση του εδάφους (ανάγλυφο). Έχει αποδειχθεί ότι η φύση του εδάφους διαμορφώνει τη διανομή της θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει επειδή π.χ. η άσφαλτος και γενικότερα το τσιμέντο που κυριαρχεί στις μεγάλες πόλεις, απορροφά πολύ μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας από ό,τι συμβαίνει στις δασικές ή στις ερημικές εκτάσεις. Γι' αυτό και η θερμοκρασία στο έδαφος είναι υψηλότερη εντός των αστικών περιοχών, σε σύγκριση με τις μη αστικές.
- Η παρουσία χιονιού ή πάγου. Οι επιφάνειες που καλύπτονται από χιόνι ή πάγο, ανακλούν έντονα την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό συνακόλουθα επηρεάζει την κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα, γιατί η επιφάνεια του εδάφους, λόγω της ανακλάσεως, δεν έχει υποστεί ισχυρή θέρμανση από τον ήλιο.
- Τα θαλάσσια ρεύματα. Τα θαλάσσια ρεύματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα θερμά, όπως είναι το ρεύμα του Κόλπου (Golf stream) και τα ψυχρά, όπως είναι το ρεύμα του Λαμπραντόρ (Labrador current). Τα θερμά ρεύματα, κατά την κίνησή τους προς τους πόλους, μεταφέρουν θερμά νερά σε ψυχρές περιοχές, διαμορφώνοντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας του

αέρα. Αντίστοιχα επιδρούν και τα ψυχρά, τα οποία κινούνται προς τον Ισημερινό, μεταφέροντας ψυχρά νερά σε θερμές περιοχές.

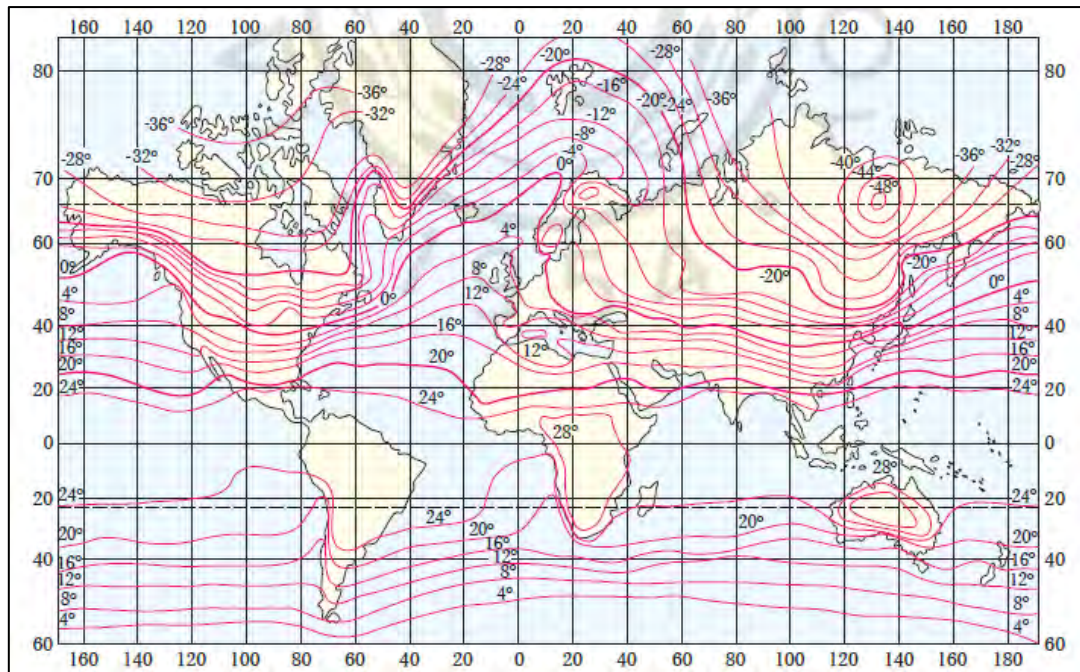
Η θερμοκρασία αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για τη μετεωρολογία. Προκειμένου λοιπόν να αποκτήσει κανείς μία γρήγορη και συγχρόνως σαφή εικόνα της κατανομής της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται η γραμμική σύνδεση των τόπων με τη βοήθεια των ισόθερων. [16]

## 4.2 Ισόθερμες καμπύλες

Ισόθερμη καμπύλη είναι η καμπύλη που ενώνει όλους τους τόπους με την ίδια θερμοκρασία. Αν η γη ήταν ομοιόμορφη ή ομοιογενής, τότε ο χάρτης των ισόθερων θα απεικόνιζε τις ισόθερμες παράλληλες με τον Ισημερινό, με τις τιμές τους να ελαττώνονται από τον Ισημερινό προς τους πόλους. Επειδή όμως εκεί που υπάρχει ωκεάνιο τμήμα, ακριβώς δίπλα υπάρχει ηπειρωτική έκταση και έπειτα εναλλάσσεται και πάλι με θαλάσσια περιοχή, η παραλληλία των ισόθερων αναιρείται εν μέρει, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια κάμψη στις ισόθερμες. Το χειμώνα αυτή η κάμψη παρατηρείται με φορά προς τον Ισημερινό, πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές. Το καλοκαίρι, οι ισόθερμες κάμπτονται προς τους πόλους, πάνω από τις ηπειρωτικές εκτάσεις.

Αυτό συμβαίνει επειδή η ξηρά γενικά συμπεριφέρεται διαφορετικά από τη θάλασσα. Συγκεκριμένα, η ξηρά παρουσιάζει μικρότερη θερμοχωρητικότητα από τη θάλασσα. Η τριπλάσια θερμοχωρητικότητα της θάλασσας σε σχέση με αυτή της ξηράς, την καθιστά λιγότερο ευμετάβλητη στη θερμοκρασία. Έτσι η ξηρά, θερμαίνεται ισχυρότερα από τη θάλασσα και αποκτά μεγαλύτερες μέγιστες τιμές θερμοκρασίας και αντίστοιχα ψύχεται εξίσου ισχυρά, με αποτέλεσμα να αποκτά ακόμη χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας συγκριτικά με τη θάλασσα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, στα γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα των 40°, στο νότιο ημισφαίριο, παρατηρείται μια σχεδόν παράλληλη κατανομή των ισόθερων, κάτι που συμβαίνει τόσο τη χειμερινή, όσο και τη θερινή περίοδο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι σε αυτά τα πλάτη, επικρατεί η ωκεάνια περιοχή έναντι της ηπειρωτικής, οπότε εφόσον δεν υπάρχει ανομοιογένεια στην κατανομή ξηράς – θάλασσας, οι ισόθερμες καμπύλες εμφανίζονται σχεδόν παράλληλες. [11]



**Εικόνα 4.2 Ισόθερμες καμπύλες (Ιανουάριος) [16]**

### 4.3 Μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα υπόκειται σε κανονικές και σε ακανόνιστες μεταβολές. Οι κανονικές οφείλονται στις διάφορες κινήσεις της γης και οι ακανόνιστες στην εναλλαγή των διαφόρων καιρικών καταστάσεων. Πιο σπουδαίες από τις κινήσεις αυτές είναι η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της, που γίνεται σε μία ημέρα και η περιφορά της γύρω από τον ήλιο που συμπληρώνεται σε ένα έτος. Για αυτό από τις κανονικές μεταβολές της θερμοκρασίας, σπουδαιότερες είναι η ημερήσια και η ετήσια μεταβολή.

#### 4.3.1 Ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα

Κατά τη διάρκεια του 24ώρου, οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι πολύ πιο βαθμιαίες πάνω από τη θάλασσα από ότι πάνω από την ξηρά. Η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως μικρότερη του ενός βαθμού Κελσίου και η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του νερού είναι εξίσου σταθερή σε συνθήκες ηρεμίας.

Σε ερημικές περιοχές στο εσωτερικό των ηπείρων, οι επιφανειακές θερμοκρασίες του αέρα μπορεί να διαφέρουν μεταξύ μέρας και νύκτας μέχρι και 20 βαθμούς Κελσίου. Κοντά στις ακτές όμως, η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διεύθυνση του ανέμου. Οι μεταβολές είναι μεγάλες αν ο άνεμος είναι από την ξηρά και μικρές αν είναι από τη θάλασσα. Τοπικές απόγειες και

θαλάσσιες αύρες, τείνουν επίσης να ελαττώσουν το εύρος της μεταβολής της θερμοκρασίας.

Γενικά, η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να είναι μεγαλύτερη όταν επικρατεί νηνεμία. Αν επικρατεί άνεμος, η ανάμιξη του αέρα γίνεται σε μεγαλύτερο βάθος. Έτσι, το κέρδος θερμότητας κατά την ημέρα και η απώλεια κατά τη νύκτα κατανέμεται σε μεγαλύτερο αριθμό μορίων των αερίων της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα το ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας να μειώνεται όταν επικρατούν άνεμοι.

Η νέφωση επίσης ελαττώνει το ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας σε οποιοδήποτε μέρος. Κατά τη διάρκεια της ημέρας τα σύννεφα απορροφούν μόνο μικρό μέρος της ακτινοβολίας από τον ήλιο. Το μεγαλύτερο μέρος ακτινοβολείται πίσω στο διάστημα και δεν φθάνει στην επιφάνεια της γης.

Αντίθετα τη νύκτα, τα σύννεφα απορροφούν την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που ακτινοβολείται προς τα επάνω από την επιφάνεια της γης και στη συνέχεια επανεκπέμπουν το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμικής ενέργειας πίσω στην επιφάνεια της γης. Με αυτό τον τρόπο ενεργούν σαν σκέπασμα και κρατούν ζεστή την επιφάνεια της γης. Έτσι η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης είναι σχετικά μικρή όταν επικρατεί νέφωση.

Ο τύπος της επιφάνειας του εδάφους και η ικανότητα του υποκείμενου υλικού να άγει θερμότητα προς και από την επιφάνεια, επηρεάζει το ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια. Όμως και το ανάγλυφο της γύρω περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο, γιατί η θερμοκρασία σε έναν τόπο μπορεί να επηρεάζεται και από τη ροή ζεστού ή κρύου αέρα από γειτονικές περιοχές.

Για παράδειγμα, η επιφάνεια του εδάφους ψύχεται κατά τη διάρκεια της νύκτας λόγω ακτινοβολίας. Επομένως, ο αέρας κοντά στην επιφάνεια ψύχεται και γίνεται πυκνότερος. Αν η επιφάνεια έχει κατωφέρεια, ο αέρας που ψύχθηκε ρέει σε χαμηλότερα επίπεδα σαν καταβατικός άνεμος. Το αντίθετο συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν ένας αναβατικός άνεμος φυσά προς το πάνω μέρος της κατωφέρειας. Θερμός αέρας στην θερμαινόμενη κατωφέρεια αντικαθίσταται από ψυχρότερο, πυκνότερο αέρα από χαμηλότερα επίπεδα.

Οι επιδράσεις του περιβάλλοντος είναι φανερές στις μεγάλες πόλεις. Σε ήσυχες, καθαρές νύκτες, η θερμοκρασία στο κέντρο μιας πόλης μπορεί να είναι περισσότερο από 5 βαθμούς Κελσίου ψηλότερη από εκείνη σε ανοικτές περιοχές. Οι ημερήσιες θερμοκρασίες επηρεάζονται επίσης και από τις δραστηριότητες στα κτίρια της πόλης.

Στη διάρκεια μιας κανονικής ημέρας (χωρίς σύννεφα και με νηνεμία) η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει, κατά κανόνα, απλή κύμανση που είναι γνωστή σαν ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας. Το μέγιστο σημειώνεται 1 –2 ώρες μετά τη μεσουράνηση του ήλιου και το ελάχιστο παρατηρείται λίγο μετά την ανατολή του ήλιου. Δηλαδή, τα μέγιστα και τα ελάχιστα συμβαίνουν τη στιγμή που το ποσό της

θερμότητας που δέχεται η επιφάνεια του εδάφους και ο αέρας γίνεται ίσο με εκείνο που ακτινοβολείται.

Όταν η μέρα δεν είναι κανονική, η ημερήσια καμπύλη της θερμοκρασίας είναι συνήθως ακανόνιστη. Έτσι η ώρα της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της θερμοκρασίας μπορεί να σημειωθεί σε διαφορετικές ώρες, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.

### **4.3.2 Ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα**

Η γη δεν περιστρέφεται μόνο γύρω από τον άξονά της, αλλά και γύρω από τον ήλιο και η περιστροφή αυτή διαρκεί ένα έτος. Ο άξονας της γης επίσης δεν είναι κάθετος στο επίπεδο περιστροφής, αλλά εμφανίζει μια κλίση. Εξαιτίας αυτού, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρει από εποχή σε εποχή, σε κάθε ημισφαίριο. Αυτό σημαίνει ότι και οι ώρες της ημέρας σε σχέση με τις ώρες της νύχτας διαφέρουν από εποχή σε εποχή σε κάθε ημισφαίριο. Όσο περισσότερες είναι οι ώρες της ημέρας σε έναν τόπο, τόσο περισσότερη ενέργεια λαμβάνει ο τόπος αυτός. Έτσι το Βόρειο ημισφαίριο είναι θερμότερο τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, γιατί λαμβάνει περισσότερη ενέργεια από το Νότιο. Αντίθετα το Δεκέμβριο, τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο, λαμβάνει το Νότιο ημισφαίριο περισσότερη ενέργεια, οπότε είναι θερμότερο εκείνη την εποχή.

### **4.3.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος**

Γενικά, η θερμοκρασία ελαττώνεται με το ύψος στην τροπόσφαιρα. Ο βαθμός ελάττωσης της θερμοκρασίας με το ύψος ονομάζεται κατακόρυφη θερμοβαθμίδα.

Κατά μέσον όρο, η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα στην τροπόσφαιρα είναι περίπου 6 βαθμοί Κελσίου ανά χιλιόμετρο. Αυτό σημαίνει ότι αν η θερμοκρασία στο μέσο επίπεδο της θάλασσας είναι 15 βαθμοί Κελσίου, θα κατέβει στους -15 βαθμούς Κελσίου στα 5 χλμ.

Στα κατώτερα στρώματα της στρατόσφαιρας η θερμοκρασία δεν αλλάζει με το ύψος. Η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα είναι μηδέν. Σε τέτοιες περιοχές η ατμόσφαιρα λέγεται ότι είναι ισόθερμη.

Σε ορισμένα μέρη της ατμόσφαιρας η θερμοκρασία αυξάνει με το ύψος. Τότε η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα είναι αρνητική. Αρνητική θερμοβαθμίδα σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος

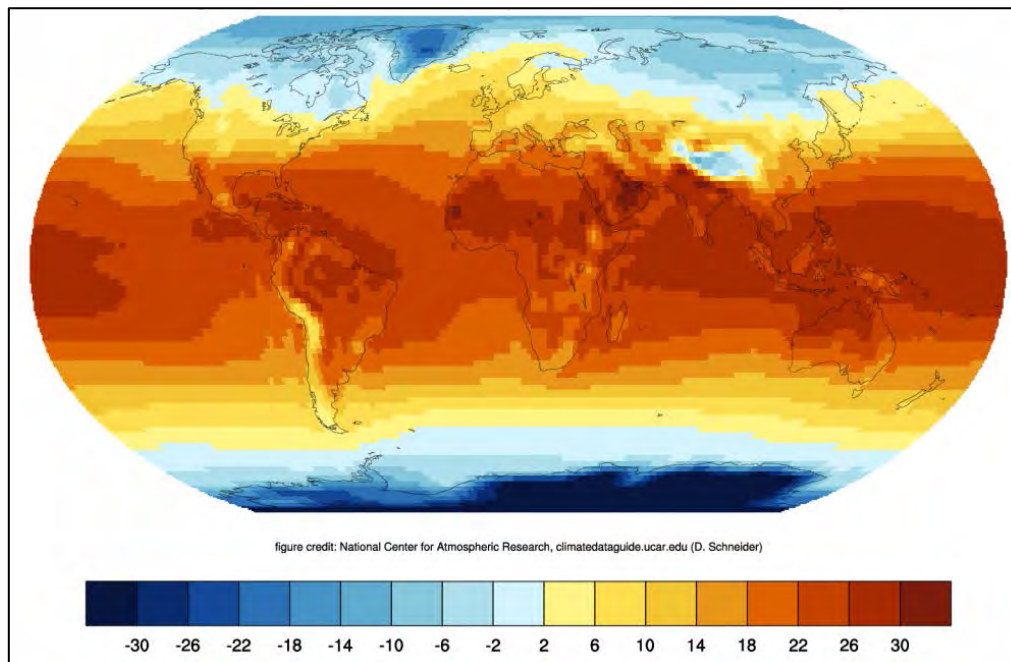
Φυσιολογικά, η θερμοκρασία ελαττώνεται με το ύψος στην τροπόσφαιρα. Η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα είναι κατά μέσον όρο θετική με τιμή γύρω στους 6 βαθμούς Κελσίου ανά χιλιόμετρο. Όμως, μερικές φορές η θερμοκρασία αυξάνει με το

ύψος για κάποια απόσταση κατακόρυφα. Λέγεται τότε ότι έχουμε αναστροφή θερμοκρασίας, δηλαδή η κανονική αλλαγή της θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα έχει αναστραφεί.

Κατά μέσον όρο, αναστροφή θερμοκρασίας συμβαίνει επίσης στο ανώτερο στρώμα της στρατόσφαιρας. Αντίθετα η θερμοκρασία στη μεσόσφαιρα ελαττώνεται με το ύψος, δηλαδή η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα είναι θετική. Στη θερμόσφαιρα η θερμοκρασία αυξάνει με το ύψος και έτσι η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα σε αυτή την περιοχή γίνεται αρνητική.

#### 4.3.4 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το γεωγραφικό πλάτος

Το σχήμα της γης επίσης προκαλεί μεταβολές στη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή η γη είναι περίπου σφαιρική, ο ήλιος στέλνει τις ακτίνες του σχεδόν κάθετα στις περιοχές γύρω από τον Ισημερινό, οι οποίες λαμβάνουν περισσότερη ενέργεια και είναι θερμότερες. Στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη οι ακτίνες πέφτουν πλάγια και μεταφέρουν το ίδιο ποσό ενέργειας σε μεγαλύτερη περιοχή, με αποτέλεσμα οι περιοχές αυτές να θερμαίνονται λιγότερο. [9]



**Εικόνα 4.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το γεωγραφικό πλάτος [20]**

## 4.4 Θερμοκρασιακά εύρη

### 4.4.1 Ημερήσιο θερμομετρικό εύρος

Ημερήσιο θερμομετρικό εύρος (ΗΘΕ), ονομάζεται η διαφορά μεταξύ της μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας και της ελάχιστης, που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

Το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τη νέφωση. Μια ισχυρή νέφωση, εκτός από το γεγονός ότι μετατοπίζει χρονικά το μέγιστο και το ελάχιστο της ημερήσιας πορείας της θερμοκρασίας, έχει σαν συνέπεια και τη σημαντική ελάττωση του ημερήσιου εύρους.
- Το υψόμετρο. Το ημερήσιο εύρος είναι γενικά αντιστρόφως ανάλογο του υψομέτρου.
- Το γεωγραφικό πλάτος. Το ημερήσιο εύρος αυξάνει από τους πόλους προς τον Ισημερινό. Το μέγιστο ημερήσιο εύρος παρατηρείται στις τροπικές περιοχές, όπου επιπρόσθετα επηρεάζεται από τη νέφωση και μπορεί κατά μέσο όρο να ξεπεράσει τους 12° C.
- Την εποχή. Η επίδραση της εποχής είναι μεγαλύτερη στις εύκρατες ζώνες και μικρότερη στον Ισημερινό.
- Τη φύση του εδάφους και τη βλάστηση. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν λόγω διαφορετικής θερμοχωρητικότητας και αγωγιμότητας. Έτσι, πάνω από ένα γυμνό έδαφος (έρημος, στέπα), το ημερήσιο εύρος μπορεί να πλησιάσει τους 30° C. Επίσης, η παρουσία χιονιού στο έδαφος, αυξάνει πολύ το ημερήσιο εύρος, ενώ αντίθετα η βλάστηση το ελαττώνει.
- Το ανάγλυφο. Στα κοίλα τμήματα ενός βουνού, το ημερήσιο εύρος είναι μεγαλύτερο παρά στις πλαγιές.
- Το βαθμό ηπειρωτικότητας. Οι ωκεάνιες μάζες αέρα όταν προσεγγίζουν την ξηρά, προκαλούν στο ημερήσιο εύρος μικρή ελάττωση. Γι' αυτό το λόγο, πάνω από τις θάλασσες, το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος είναι πολύ μικρό, περίπου 1 με 2° C.
- Την ανατάραξη. Στην περίπτωση μιας νήνεμης κατάστασης, το ημερήσιο εύρος είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι σε μια περίπτωση με ισχυρή ανατάραξη, οπότε και ελαττώνεται.

Συνοψίζοντας, για το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος, ισχύουν τα ακόλουθα:

- Είναι μεγαλύτερο πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές, από ότι πάνω από τις θαλάσσιες.
- Ελαττώνεται από τον Ισημερινό προς τους πόλους.
- Ελαττώνεται με το υψόμετρο της τοποθεσίας που εξετάζεται.



#### 4.4.2 Ετήσιο θερμομετρικό εύρος

Ετήσιο θερμομετρικό εύρος (ΕΘΕ), ονομάζεται η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα από τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα, στη διάρκεια ενός έτους.

Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος εξαρτάται από:

- Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Το ετήσιο εύρος αυξάνει με το γεωγραφικό πλάτος.
- Το υψόμετρο.
- Το ανάγλυφο του εδάφους.
- Το βαθμό ηπειρωτικότητας. Η μετατόπιση των μεγίστων και ελαχίστων πάνω από τις θάλασσες και τις παράκτιες περιοχές, εξηγείται από το ότι στις περιοχές αυτές, το φθινόπωρο είναι θερμότερο από την άνοιξη, ενώ παρατηρείται το αντίθετο στους ηπειρωτικούς σταθμούς.
- Την κατάσταση της ατμόσφαιρας.
- Την επικάλυψη του εδάφους.

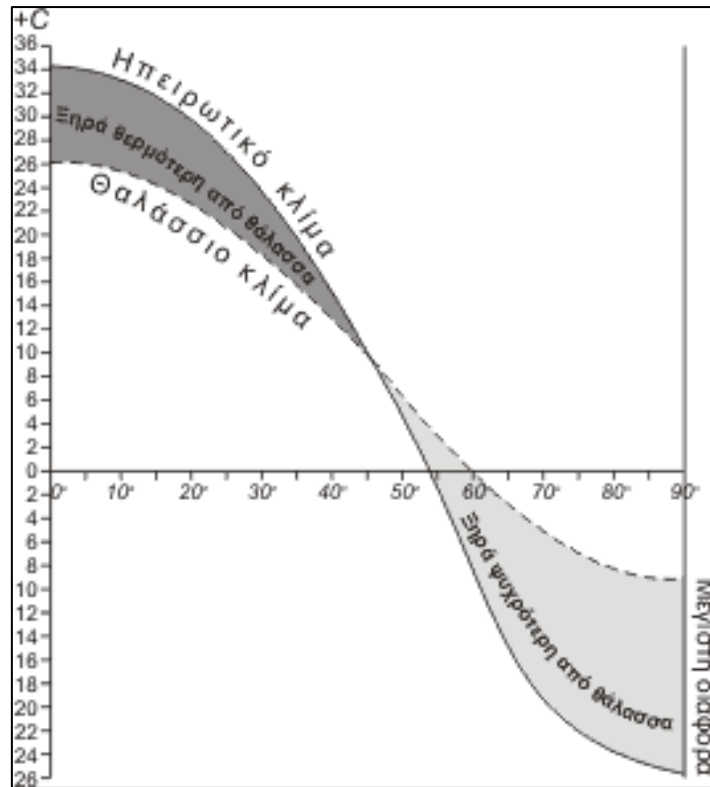
Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι για το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ισχύουν τα ακόλουθα:

- Είναι μεγαλύτερο πάνω από τις ηπείρους, σε σχέση με τους ωκεανούς.
- Αυξάνεται από τον Ισημερινό προς τους πόλους.

Βάσει του ετήσιου θερμομετρικού εύρους, έχει γίνει μια κλιματική ταξινόμηση σε τρεις τύπους.

Πιο αναλυτικά, το κλίμα χαρακτηρίζεται ως:

- Θαλάσσιο, αν το  $EΘΕ < 10^{\circ} C$
- Εύκρατο, αν  $10^{\circ} C < EΘΕ < 20^{\circ} C$
- Ηπειρωτικό, αν το  $EΘΕ > 20^{\circ} C$  [11]



**Εικόνα 4.4 Πορεία της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας σε ηπειρωτικό και θαλάσσιο κλίμα (J. Wagner 1979) [15]**

## 4.5 Όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του αέρα, χρησιμοποιούνται κυρίως θερμόμετρα που περιέχουν υγρό θερμομετρικό υλικό, όπως ο υδράργυρος και το οινόπνευμα. Υπάρχουν επίσης τα μεταλλικά θερμόμετρα, καθώς επίσης και τα θερμόμετρα με ηλεκτρική αντίσταση.

### 4.5.1 Ακροβάθμια θερμόμετρα

Τα θερμόμετρα που δίνουν ενδείξεις της μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής της θερμοκρασίας που παρατηρείται μέσα στο 24ωρο ονομάζονται ακροβάθμια και είναι τα εξής:

#### Θερμόμετρο μεγίστου.

Είναι υδραργυρικό θερμόμετρο με μία μικρή στένωση μεταξύ θερμομετρικού σωλήνα και δοχείου, που επιτυγχάνεται συνήθως με την τοποθέτηση μικρού κρυστάλλου από χαλαζία στο εσωτερικό του τριχοδιαμετρικού σωλήνα. Το εμπόδιο που δημιουργεί η στένωση στη φάση της ανόδου της θερμοκρασίας, το ξεπερνά ο

υδράργυρος λόγω της διαστολής που υφίσταται και της πίεσεως που ασκείται από το δοχείο προς το σωλήνα.

Όταν σημειωθεί το μέγιστο της θερμοκρασίας, ακολουθεί πτωτική τάση της θερμοκρασίας. Τότε εμφανίζεται ο καθοριστικός ρόλος της στένωσης του τριχοδιαμετρικού σωλήνα, με το να εμποδίζει τον υδράργυρο που βρίσκεται μέσα στο σωλήνα να επιστρέψει στο δοχείο του θερμομέτρου. Επιπλέον, για να αποφευχθεί η επιστροφή του υδραργύρου στο δοχείο λόγω βαρύτητας, τα θερμοόμετρα του τύπου αυτού τοποθετούνται οριζόντια.

#### Θερμόμετρο ελαχίστου

Το θερμόμετρο αυτό χρησιμεύει για τη μέτρηση της ελάχιστης θερμοκρασίας, έχει διαφοροποιημένο δοχείο (δύο συνεχόμενοι παράλληλοι κύλινδροι που συγκοινωνούν) και το ευαίσθητο θερμομετρικό υλικό που χρησιμοποιεί είναι καθαρό οινόπνευμα. Μέσα στο άχρωμο οινόπνευμα τοποθετείται μικρός κυλινδρικός δείκτης από σμάλτο, με διογκωμένα σφαιρικά τα δύο του άκρα, που επιτρέπουν όμως τη διόδο του οινόπνευματος.

Σε κάθε αύξηση της θερμοκρασίας, το διαστελλόμενο οινόπνευμα κυκλοφορεί ελεύθερα μεταξύ του δείκτη και των τοιχωμάτων του σωλήνα. Αντίθετα σε ελάττωση της θερμοκρασίας, η κατερχόμενη λόγω συστολής στήλη του οινόπνευματος, θα συναντήσει την κεφαλή του δείκτη και θα τη συμπαρασύρει προς τα κάτω. Ο δείκτης θα παρασυρθεί μέχρι το σημείο που θα σημειωθεί η ελάχιστη θερμοκρασία. Από εκεί και πέρα, η οινόπνευματική στήλη σε κάθε άνοδο της θερμοκρασίας θα κινηθεί ελεύθερα προς τα πάνω αφήνοντας το δείκτη στο σημείο όπου σημειώθηκε το ελάχιστο της θερμοκρασίας.



**Εικόνα 4.5** Θερμόμετρα ελαχίστου και μεγίστου [21]

## 4.5.2 Αυτογραφικό θερμόμετρο

Τα αυτογραφικά θερμόμετρα, είναι εκείνα τα όργανα που παρέχουν μία συνεχή καταγραφή των μεταβολών της θερμοκρασίας

Το ευαίσθητο μέρος του οργάνου συνήθως αποτελείται από ένα διμεταλλικό έλασμα, το οποίο είναι το αποτέλεσμα συγκολλήσεως δύο ταινιών από διαφορετικά μέταλλα, με μεγάλη διαφορά στο συντελεστή διαστολής.

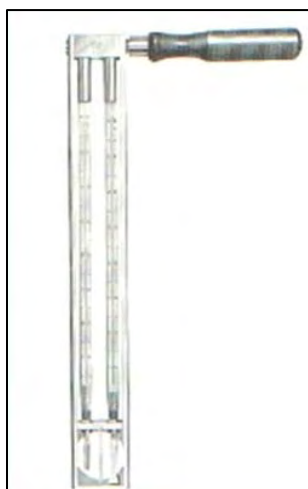
Το ένα άκρο του ευαίσθητου οργάνου στερεώνεται ακλόνητα πάνω σ' ένα σταθερό στέλεχος του οργάνου, ενώ το άλλο παραμένει ελεύθερο και συνδέεται με σύστημα μοχλών που καταλήγει μέσω ενός στελέχους σε γραφίδα. Κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί αλλαγή στην καμπυλότητα του ευαίσθητου μέρους του οργάνου, που μέσω των μοχλών μεταδίδεται στο στέλεχος και τη γραφίδα. Η μεταβολή αυτή καταγράφεται συνεχώς πάνω στην ταινία που περιβάλλει το περιστρεφόμενο τύμπανο. Μία πλήρης περιστροφή του τυμπάνου, το οποίο κινείται με ωρολογιακό μηχανισμό που βρίσκεται στο εσωτερικό, πραγματοποιείται είτε μέσα σε 24 ώρες (ημερήσιο), είτε σε μία εβδομάδα (εβδομαδιαίο).



**Εικόνα 4.6 Αυτογραφικό θερμόμετρο (θερμογράφος) [21]**

## 4.5.3 Περίστρεπτο θερμόμετρο

Το θερμόμετρο αυτό αποτελείται από ένα ξύλινο ή μεταλλικό πλαίσιο, πάνω στο οποίο τοποθετείται ένα υδραργυρικό θερμόμετρο που στρέφεται ελεύθερα γύρω από μία χειρολαβή. Η θερμοκρασία του αέρα προσδιορίζεται αφού στραφεί το όργανο για 1 με 2 λεπτά, σε ανοικτό μέρος και κάτω από σκιά, με την προϋπόθεση ότι η ένδειξη λαμβάνεται όσο τον δυνατόν γρηγορότερα σε σχέση με τη στιγμή της περιστροφής.

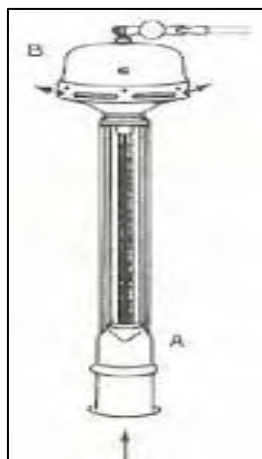


**Εικόνα 4.7 Περίστρεπτο θερμοόμετρο [15]**

#### **4.5.4 Αναρροφητικό θερμοόμετρο**

Το όργανο αυτό είναι ένα κοινό υδραργυρικό θερμοόμετρο τοποθετημένο μέσα σε έναν γυαλιστερό μεταλλικό σωλήνα, του οποίου το κάτω μέρος είναι ανοικτό. Το πάνω συγκοινωνεί με ένα μεταλλικό δοχείο, μέσα στο οποίο υπάρχει ένας ανεμιστήρας που μπορεί να τεθεί σε κίνηση, μέσω ελατηρίου ή με ηλεκτρικό ρεύμα ή με μπαταρίες. Στα πλευρά του μεταλλικού σωλήνα υπάρχει ένα άνοιγμα που επιτρέπει την ορατότητα στη θερμομετρική κλίμακα.

Όταν λειτουργεί ο ανεμιστήρας, τότε λόγω αναρρόφησης δημιουργείται ένα σταθερό ρεύμα αέρα ταχύτητας 2,5–3 m/s, μέσα στο οποίο βρίσκεται συνεχώς το δοχείο του θερμομέτρου. Μετά από διάστημα 2-3 λεπτά από τη στιγμή που λειτούργησε ο ανεμιστήρας, όταν η στήλη υδραργύρου αρχίζει να σταθεροποιείται, καταγράφονται τρεις διαδοχικές ενδείξεις και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους. [16]



**Εικόνα 4.8 Αναρροφητικό θερμοόμετρο [22]**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΥΓΡΟΣ ΑΕΡΑΣ

Το νερό αποτελεί ένα από τα κύρια συστατικά για την ύπαρξη της ζωής στη γη. Η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα δεν είναι σταθερή, αλλά παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, μεταβαλλόμενη από 0,2% στα ψυχρά ξηρά κλίματα έως και 5% στους υγρούς τροπικούς. Τα μεγέθη αυτά από πρώτη άποψη φαίνονται πολύ μικρά, αλλά για κάθε πρώτο λεπτό της ώρας σχεδόν 109 τόνοι νερού διοχετεύονται μέσα στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού αυτού προέρχεται από την εξάτμιση που συμβαίνει στους ωκεανούς

Ένα μόριο νερού, που βρίσκεται στην επιφάνεια ενός ωκεανού ή στο ριζικό σύστημα ενός φυτού, ακολουθεί έναν κύκλο ο οποίος είναι γνωστός ως υδρολογικός κύκλος. Ο υδρολογικός κύκλος συνοψίζει τις διεργασίες της εξάτμισης (ωκεανοί, λίμνες, ποταμοί) ή της διαπνοής (φυτά) που εφοδιάζουν την ατμόσφαιρα με υδρατμούς, τις διεργασίες της συμπύκνωσης που οδηγεί στον σχηματισμό νεφών, της βροχόπτωσης που επαναφέρει τα μόρια του νερού στην επιφάνεια της γης, της απορροής και της κατείσδυσης που τελικά οδηγούν το νερό στις χερσαίες υδροσυλλογές, στο υπέδαφος και στους ωκεανούς και έτσι ολοκληρώνεται ο υδρολογικός κύκλος [10]



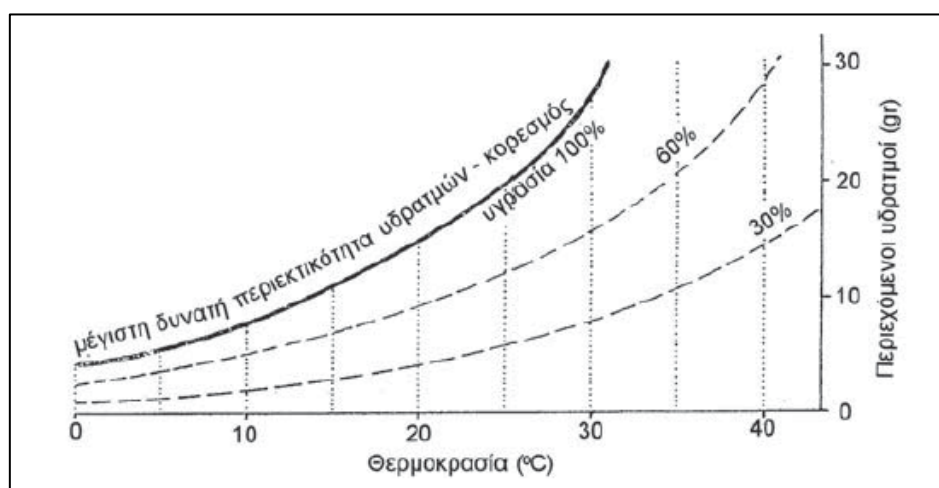
Εικόνα 5.1 Υδρολογικός κύκλος [18]

Υγρός αέρας ονομάζεται ο αέρας που αποτελείται από ξηρό αέρα και υδρατμούς. Η ποσότητα των υδρατμών του υγρού αέρα εκφράζεται με τον όρο υγρασία. Ο αέρας όμως δεν είναι δυνατόν να περιέχει απεριόριστη ποσότητα υδρατμών, αλλά για κάθε θερμοκρασία υπάρχει μια μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα υδρατμών. Όταν ο αέρας περιέχει τη μέγιστη τέτοια ποσότητα ονομάζεται κορεσμένος.

Στην Εικόνα 5.2 φαίνεται ότι όσο ψυχρότερος είναι ο αέρας τόσο μικρότερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει. Αν λοιπόν μια μάζα υγρού και θερμού αέρα ψυχθεί, θα φθάσει σε μια θερμοκρασία όπου δεν είναι δυνατόν πλέον να συγκρατήσει όλους τους υδρατμούς τους οποίους περιέχει. Οι υδρατμοί που περισσεύουν θα συμπυκνωθούν ως σταγονίδια πάνω στα αιωρούμενα μικροσωματίδια και θα δημιουργήσουν το νέφος. Αν συμπυκνωθούν πάνω σε ψυχρά αντικείμενα θα δημιουργήσουν τη δρόσο. Η θερμοκρασία στην οποία ο ακόρεστος αέρας καθώς ψύχεται φθάνει στο κορεσμό ονομάζεται σημείο δρόσου.

Η ποσότητα των υδρατμών που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται χρονικά και τοπικά. Οι μεγαλύτερες ποσότητες παρατηρούνται στις τροπικές περιοχές κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι μικρότερες ποσότητες στην επιφάνεια της γης παρατηρούνται στο εσωτερικό της Ανταρκτικής κατά τους μήνες του χειμώνα.

Η ποσότητα των υδρατμών μπορεί να εκφραστεί με διάφορους παραμέτρους που ονομάζονται υγρομετρικοί, μεταξύ των οποίων η τάση των υδρατμών και η σχετική υγρασία.



**Εικόνα 5.2 Μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα υδρατμών ανά χιλιόγραμμο αέρα για διάφορες θερμοκρασίες (στο ύψος της θάλασσας) [23]**

Από μετεωρολογική άποψη όπως συμπεραίνουμε, το νερό υπό μορφή υδρατμών είναι το σπουδαιότερο συστατικό της ατμόσφαιρας, καθώς οι υδρατμοί μπορούν να συμπυκνωθούν για να σχηματίσουν σύννεφα, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να



δώσουν βροχή, επιστρέφοντας με αυτόν τον τρόπο το νερό στη γη. Αυτή η διαδικασία όπως προαναφέρθηκε, είναι γνωστή σαν υδρολογικός κύκλος.

Για ορισμένη θερμοκρασία, η υγρασία παίζει σπουδαίο ρόλο στο αίσθημα της άνεσης ή της δυσφορίας το οποίο αισθανόμαστε. Το καλοκαίρι αισθανόμαστε άνετα αν κλιματίζουμε ένα χώρο με θερμοκρασία 27° C και υγρασία 55%. Μεγαλύτερη υγρασία προκαλεί το αίσθημα της δυσφορίας. [9],[23]

ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΥΣΦΟΡΙΑΣ (°C)													
Θερμ.	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
47	58												
43	54	58											
41	51	54	58										
40	48	51	55	58									
39	46	48	51	54	58								
38	43	46	48	51	54	58							
37	41	43	45	47	51	53	57						
36	38	40	42	44	47	49	52	56					
34	36	38	39	41	43	46	48	51	54	57			
33	34	36	37	38	41	42	44	47	49	52	55		
32	33	34	35	36	38	39	41	43	45	47	50	53	56
31	31	32	33	34	35	37	38	39	41	43	45	47	49
30	29	31	31	32	33	34	35	36	38	39	41	42	44
29	28	29	29	30	31	32	32	33	34	36	37	38	39
28	27	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	35
27	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	31
Κατηγορία	Δείκτης Δυσφορίας		Πιθανές θερμικές επιπτώσεις στην υγεία ανθρώπων που ανήκουν σε ομάδες υψηλού κινδύνου										
Εξαιρετικός Κίνδυνος	(54° C ή υψηλότερα)		Μεγάλη πιθανότητα θερμοπληξίας ή ηλίας.										
Κίνδυνος	(41 - 54° C)		Πιθανή ηλίας, μυϊκές κράμπες και/ή θερμική εξάντληση. Πιθανή και θερμοπληξία με παρατεταμένη έκθεση ή/και φυσική δραστηριότητα.										
Εξαιρετική Προσοχή	(32 - 41° C)		Πιθανή ηλίας, μυϊκές κράμπες και/ή θερμική εξάντληση με παρατεταμένη έκθεση ή/και φυσική δραστηριότητα.										
Προσοχή	(27 - 32° C)		Πιθανό αίσθημα κόπωσης με παρατεταμένη έκθεση ή/και φυσική δραστηριότητα.										

Εικόνα 5.3 Θερμικός δείκτης δυσφορίας και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία [23]



## 5.1 Φάσεις του νερού στην ατμόσφαιρα

Το νερό είναι η μόνη γνωστή ουσία στο σύστημα γης-ατμόσφαιρας που εκδηλώνεται και στις τρεις φάσεις την ίδια στιγμή. Η ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινηθούν τα μόρια του ύδατος καθορίζει και τη φάση στην οποία βρίσκεται το κάθε μόριο.

Η στερεή φάση, δηλαδή ο πάγος, χαρακτηρίζεται από χαμηλού επιπέδου κινητική ενέργεια, τα μόρια είναι διατεταγμένα σε προκαθορισμένη σειρά και δεν κινούνται ελεύθερα. Η υγρή φάση του νερού διακρίνεται για την ελεύθερη κυκλοφορία των μορίων. Τέλος, η αέρια φάση, δηλαδή οι υδρατμοί, διακρίνεται για το υψηλό επίπεδο κινητικής ενέργειας, την ελεύθερη κυκλοφορία των μορίων και τη δυνατότητα να καταλαμβάνουν ολόκληρο το χώρο που τους προσφέρεται. [10]

Το νερό μπορεί να μετατραπεί από τη μια φάση στην άλλη άμεσα ή έμμεσα. Οι διεργασίες αλλαγής φάσης είναι οι ακόλουθες. :

Αρχική Φάση	Τελική Φάση	Διεργασία
Πάγος	Νερό	Τήξη
Πάγος	Υδρατμοί	Εξάχνωση
Νερό	Υδρατμοί	Εξαέρωση ή Εξάτμιση
Νερό	Πάγος	Πήξη
Υδρατμοί	Νερό	Συμπύκνωση
Υδρατμοί	Πάγος	Απόθεση

*Πίνακας 5.1 Διεργασίες αλλαγής φάσης νερού [9]*

## 5.2 Νέφη

Οι παρατηρήσεις, ο χαρακτηρισμός και η κατηγοριοποίηση των νεφών, σε συνδυασμό και με άλλα μετεωρολογικά δεδομένα, παρέχει μια πρώτη εμπειρική εκτίμηση της συνοπτικής καιρικής κατάστασης, δηλαδή της γενικής μετεωρολογικής κατάστασης στο χώρο σε μια χρονική στιγμή, και της πιθανής εξέλιξής της στο εγγύς μέλλον. [8]

Ο όρος νέφωση αναφέρεται στο ποσοστό της έκτασης του ουρανού θόλου που είναι καλυμμένος με νέφη.

Είναι προφανές, ότι η νέφωση συνδέεται άμεσα με την ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα της ημέρας που ο ήλιος είναι ορατός και ανεμπόδιστα φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους η ενέργειά του.

Τα νέφη ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διαιρούνται, αντίστοιχα σε νέφη:

- Ατμοσφαιρικών διαταράξεων
- Ανοδικών ρευμάτων
- Ορεογραφικά
- Μετωπικά

Το μέγιστο ύψος των νεφών δεν ξεπερνά τα 15 χλμ. Ανάλογα με το ύψος των νεφών, διακρίνουμε τέσσερις ομάδες νεφών:

- τα κατώτερα
- τα μέσα
- τα ανώτερα
- τα κατακόρυφης ανάπτυξης

Τα νέφη μέσου ύψους βρίσκονται σε ύψος μεταξύ 2–7 χλμ. Τα νέφη μεγάλων υψών εντοπίζονται σε ύψη από ~7 χλμ. μέχρι την τροπόπαυση (~12 χλμ. στα μέσα πλάτη). Με τον όρο χαμηλά νέφη χαρακτηρίζονται νέφη που βρίσκονται μεταξύ του εδάφους και ύψους ~2 χλμ. [8], [11]

### 5.3 Ομίχλη

Η ομίχλη είναι ένα παρεδάφιο νέφος που περιορίζει την οριζόντια ορατότητα κάτω από 1 χλμ. Το νέφος αυτό αποτελείται από πολύ λεπτά υδροσταγονίδια, τα οποία προέρχονται από τη συμπύκνωση των υδρατμών του παρεδάφιου στρώματος του αέρα.

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού της ομίχλης διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους:

#### Ομίχλη ακτινοβολίας (radiation fog)

Ομίχλη που δημιουργείται από ψύξη λόγω ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και επομένως από ψύξη του επιφανειακού αέρα, τόση ώστε να είναι ικανή να προκαλέσει συμπύκνωση των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα.

#### Ομίχλη μεταφοράς (advection fog)

Ομίχλη που σχηματίζεται στο κατώτερο τμήμα μιας αέριας μάζας, η οποία κινείται πάνω από μια ψυχρότερη επιφάνεια.

#### Ομίχλη βουνών (Hill fog)

Ο τύπος αυτός της ομίχλης σχηματίζεται όταν υγρός, σχετικά επιφανειακός αέρας κινείται ανοδικά στις πλαγιές ενός βουνού. Η ανοδική αυτή κίνηση του αέρα συνοδεύεται από αδιαβατική εκτόνωση και ψύξη του αέρα. Αν η ανοδική αυτή κίνηση του αέρα συνεχίζεται, τότε αυτός καθίσταται κορεσμένος και σχηματίζεται έτσι ομίχλη βουνού.

#### Ομίχλη εξάτμισης

Ομίχλη στην οποία ο κορεσμός προκαλείται μέσα σε μια ψυχρή και ευσταθή αέρια μάζα, λόγω ταχείας εξάτμισης από μια υποκείμενη θερμή υδάτινη επιφάνεια.

#### Ξηρή και Υγρή αχλύς (Haze and Mist)

Όταν ο περιορισμός της οριζόντιας ορατότητας είναι μεταξύ 1 και 2 χλμ. το νέφος αυτό λέγεται αχλύς. Τη διακρίνουμε σε ξηρή ή υγρή ανάλογα με το αν οφείλεται σε λεπτή σκόνη ή είναι υδρομετέωρο που αποτελείται από μικροσκοπικά αιωρούμενα υδροσταγονίδια.

Η υγρή αχλύς που περιέχει πολλές φορές και κονιορτούς ή καπνούς, σε περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, περιορίζει σημαντικά την ορατότητα και μπορεί έτσι να θεωρηθεί σαν ένα είδος ελαφράς ομίχλης. [9]

## **5.4 Βροχή και Χιόνι**

Όσο η υγροποίηση των υδρατμών προχωρεί μέσα σε ένα νέφος τόσο δημιουργούνται μεγαλύτερα υδροσταγονίδια. Επίσης, στα μεγαλύτερα ύψη όπου η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλότερη του μηδενός, τα υδροσταγονίδια γίνονται παγοκρυσταλλίδια τα οποία συνεχώς μεγαλώνουν. Όταν δημιουργηθούν σταγόνες τόσο βαριές ώστε να έχουν ταχύτητα πτώσης μεγαλύτερη από την ανοδική ταχύτητα του ρεύματος αυτά πέφτουν προς τη γη ως βροχή.

Οι σταγόνες που πέφτουν προς το έδαφος περνούν μέσα από θερμότερα στρώματα αέρα και μέρος τους εξατμίζεται και πάλι. Με αυτό τον τρόπο μια βροχή στα ανώτερα στρώματα είναι πιθανό να μη φτάσει ποτέ στο έδαφος. Στην περίπτωση που οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε θερμοκρασία λίγο κάτω από το μηδέν, σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι με μορφή χιονιού. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη που βρίσκεται η Ελλάδα, το χιόνι είναι συχνό στα μεγάλα ύψη ενώ στη στάθμη της θάλασσας παρουσιάζεται σπάνια. Αυτό συμβαίνει επειδή κατά την αργή πτώση του μέσω θερμότερου αέρα, το χιόνι τήκεται και φτάνει στα χαμηλά ύψη υπό τη μορφή μικρών σταγόνων (χιονόνερο). [23]

Ανάλογα με τον τρόπο που σχηματίζονται τα βροχοφόρα νέφη έχουμε τις εξής κατηγορίες βροχών:

- βροχές μεταφοράς,

- ορογραφικές βροχές και
- υφειακές βροχές

Η βροχή, τελικά, είναι μια από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους. Εκείνο που ενδιαφέρει, ιδιαίτερα είναι η ποσότητα του νερού που πέφτει σε μια επιφάνεια. Αυτή εκφράζεται με το «ύψος βροχής», που ορίζεται ως εκείνο το ύψος στο οποίο θα έφτανε στάθμη του νερού της βροχής αν έπεφτε πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια, αποκλείοντας τους παράγοντες της διαρροής, της απορρόφησης και της εξάτμισης.

Διεθνώς, μονάδα μέτρησης του ύψους βροχής είναι τα mm ή τα cm.

Στην πράξη, λέγοντας βροχή ύψους 1 mm εννοούμε τη βροχόπτωση εκείνη που απέδωσε ποσότητα νερού ίση με  $1 \text{ Kg/m}^2$  ή 1 ton/στρέμμα. Συνεπώς, ποσότητα βροχής 10 mm σημαίνει ποσότητα νερού ίση με  $10 \text{ Kg/m}^2$  ή 10 ton/στρέμμα.

Το ύψος αυτό προσδιορίζεται με μετεωρολογικά όργανα που λέγονται βροχόμετρα ή βροχογράφοι. Μια άλλη χρήσιμη βροχομετρική παράμετρος είναι η ένταση της βροχής που εκφράζεται με το ποσό της βροχής ανά μονάδα χρόνου.

Το χιόνι είναι το συνηθέστερο από τα στερεά υδροαποβλήματα. Αποτελείται από παγοκρυστάλλους που προέρχονται από ορισμένα νέφη που φθάνουν μέχρι το έδαφος χωρίς να λιώσουν. Αυτό προϋποθέτει το στρώμα του αέρα κάτω από το σύννεφο και μέχρι το έδαφος να έχει θερμοκρασία μικρότερη του μηδενός.

Οι παγοκρύσταλλοι αυτοί του χιονιού παρουσιάζουν πολύπλοκους, εξαγωνικούς συνήθως σχηματισμούς.

Όταν σε μια περιοχή το χιόνι δε λιώνει στο σύνολό του κατά τη διάρκεια του έτους και για πολλά έτη, τότε λέμε ότι στην περιοχή αυτή έχουμε το φαινόμενο των αιώνιων χιόνων.

Η γραμμή των αιώνιων χιόνων, δηλαδή η γραμμή που χωρίζει τις περιοχές με αιώνια χιόνια από εκείνες όπου δεν παρατηρείται αυτό το φαινόμενο, έχει μεγάλη σημασία, επειδή η τυχόν μετατόπιση της σημαίνει αξιόλογη κλιματική αλλαγή.

Το χιόνι μετριέται με το ύψος του χιονοστρώματος ή με το ισοδύναμο νερό που παίρνουμε όταν λιώσουμε το χιόνι που είναι τοποθετημένο μέσα στο βροχόμετρο.

## 5.5 Καταιγίδες και χαλάζι

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ζωή της υδροσταγόνας μέσα σε ένα σωρειτομελανία (νέφος κατακόρυφης ανάπτυξης). Επειδή τα ανοδικά ρεύματα είναι πολύ μεγάλα, οι σταγόνες δεν πέφτουν αν δεν αποκτήσουν μεγάλο μέγεθος. Τότε προκαλούν ραγδαία βροχή και δημιουργούν ισχυρότατα καθοδικά ρεύματα. Εξάλλου οι σταγόνες παρασυρόμενες σε μεγαλύτερα ύψη δημιουργούν παγοσφαιρίδια, το χαλάζι, το οποίο

είναι δυνατόν να πέσει και να ανέρθει επανειλημμένα εντός του ανοδικού ρεύματος αποκτώντας συνεχώς όλο και μεγαλύτερο μέγεθος μέχρι να πέσει στη γη.

Ως προς τη γεωγραφική κατανομή του χαλαζιού, η μέγιστη συχνότητα εμφανίζεται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Στις Ισημερινές περιοχές λιώνει καθώς εγκαταλείπει το νέφος και δεν προλαβαίνει να φτάσει στο έδαφος.

Η χαλαζόπτωση είναι μικρής έντασης με αυστηρό τοπικό χαρακτήρα και παρακολουθεί την κίνηση του καταιγιδοφόρου νέφους.

Τα ισχυρά ανοδικά ρεύματα μαζί με τα σταγονίδια μεταφέρουν στο σωρειτομελανία και ηλεκτρικά φορτία. Για την αποφόρτιση αυτών των φορτίων ξεσπούν ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ των τμημάτων του νέφους (αστραπές) ή μεταξύ νέφους και γης (κεραυνοί).

Η διάμετρος μιας καταιγίδας είναι της τάξης των λίγων χιλιομέτρων και γι' αυτό μια καταιγίδα μπορεί να είναι ένα τελείως τοπικό φαινόμενο, σε μια ζώνη μικρού πλάτους προς τη διεύθυνση κατά την οποία τη μεταφέρει ο άνεμος. Η καταιγίδα διαλύεται μετά από λίγο από τα καθοδικά ρεύματα τα οποία η ίδια δημιουργεί.

Οι ισχυρές αναταράξεις και τα ρεύματα του σωρειτομελανία είναι επικίνδυνα για τα αεροπλάνα, τα οποία αποφεύγουν τις καταιγίδες είτε επειδή γνωρίζουν τη θέση τους από μετεωρολογικές παρατηρήσεις, είτε γιατί τις ανιχνεύουν με το ραντάρ καιρού, το οποίο και διαθέτουν σήμερα τα περισσότερα αεροσκάφη. [9],[23]

## 5.6 Όργανα μέτρησης βροχής-χιονιού

Τα βροχόμετρα είναι όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής, εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση, και βοηθητικά τη χιονόπτωση, δίνοντας την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση και το ισοδύναμο ύψος νερού μιας χιονόπτωσης ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα (συνήθως 8ωρο, 12ωρο ή 24ωρο), με την ανάγνωση της ένδειξης από έναν παρατηρητή.

Ο κλασικός τύπος βροχόμετρου είναι κυλινδρικός σε σχήμα και αποτελείται από το συλλέκτη, το χωνί και τον αποδέκτη (Εικόνα 5.4). Ο συλλέκτης είναι ένας κύλινδρος αρκετά ψηλός, με κατακόρυφα τα εσωτερικά του τοιχώματα, που καταλήγει στο χωνί, του οποίου το άνοιγμα έχει την ίδια διάμετρο με αυτήν του συλλέκτη. Η κλίση των τοιχωμάτων του χωνιού είναι τουλάχιστον 45° για να προλαβαίνει τις απώλειες νερού που μπορεί να προκληθούν κατά την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής. Το χωνί καταλήγει στον αποδέκτη που έχει στενή είσοδο και προστατεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία για να ελαχιστοποιείται η απώλεια νερού από εξάτμιση.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι βροχόμετρων είναι το ογκομετρικό και το δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο. Τα ογκομετρικά βροχόμετρα γνωστής διατομής του συλλέκτη συνοδεύονται από ειδικούς ογκομετρικούς σωλήνες. Στα δεκαπλασιαστικά βροχόμετρα η επιφάνεια του συλλέκτη είναι δεκαπλάσια από την επιφάνεια της διατομής του αποδέκτη, έτσι που το ύψος βροχής που φτάνει στο συλλέκτη γίνεται δέκα φορές μεγαλύτερο στον αποδέκτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της ακρίβειας των μετρήσεων.

Όταν μαζί με τη βροχή πέφτει και χαλάζι, το νερό που προέρχεται από το λιώσιμο των χαλαζόκοκκων μετρείται μαζί με τη βροχή. Το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις που σημειώνεται ελαφρά χιονόπτωση.



**Εικόνα 5.4 Τυπικό βροχόμετρο [24]**

Σε περιπτώσεις μέτριας μέχρι βαριάς χιονόπτωσης, για τη μέτρηση του ισοδύναμου νερού από το λιώσιμο του χιονιού χρησιμοποιείται το χιονόμετρο. Αυτό είναι απλό κυλινδρικό δοχείο, με συλλεκτική επιφάνεια ίση με το συνηθισμένο βροχόμετρο και ύψος 35 cm.

Για το χιόνι, εκτός από το ισοδύναμο νερό, μετρείται κάθε μέρα, εφόσον υπάρχει, το ύψος του νέου χιονιού με τη χρήση ειδικού ξύλινου πλαισίου διαστάσεων 60 cm x 60 cm και το συνολικό ύψος του χιονιού στο έδαφος με τη χρήση βαθμολογημένης μεταλλικής ράβδου.

Ο βροχογράφος είναι όργανο συνεχούς καταγραφής της βροχόπτωσης σε ειδικές ταινίες (ημερήσιες, εβδομαδιαίες ή μηνιαίες) από όπου μπορούν να εξαχθούν, εκτός από τις ημερήσιες ποσότητες βροχής, η διάρκεια κάθε βροχερής περιόδου και η αντίστοιχη ποσότητα βροχής, οι ποσότητες βροχής σε διάφορα χρονικά διαστήματα. [9], [24]



**Εικόνα 5.5 Βροχογράφος**

### **5.7 Όργανα μέτρησης σχετικής υγρασίας**

Το υγρόμετρο, το οποίο καλείται επίσης και ψυχρόμετρο, αποτελείται από δύο πανομοιότυπα συνηθισμένα υδραργυρικά θερμομέτρα. Όμως το δοχείο του ενός από αυτά διατηρείται συνέχεια υγρό με τη χρήση ειδικού υφάσματος και αποσταγμένου νερού, για αυτό και καλείται θερμομέτρο υγρού δοχείου. Το άλλο καλείται θερμομέτρο ξηρού δοχείου και είναι το ίδιο θερμομέτρο που χρησιμοποιείται για τη λήψη της θερμοκρασίας του αέρα.

Από το δοχείο που διατηρείται υγρό, γίνεται εξάτμιση ανάλογα με την υπάρχουσα σχετική υγρασία του αέρα και λόγω της ψύξης που παράγεται, οι ενδείξεις του είναι πιο χαμηλές από τις ενδείξεις του θερμομέτρου ξηρού δοχείου. Από τις ενδείξεις των δύο αυτών θερμομέτρων και με τη βοήθεια ειδικών πινάκων υπολογίζονται η σχετική υγρασία του αέρα, η τάση των υδρατμών και το σημείο δρόσου.



**Εικόνα 5.6 Υγρόμετρο [25]**

Ο υγρογράφος, εφοδιασμένος με ειδικά επεξεργασμένη δέσμη τριχών, που έχει την ιδιότητα να αυξομειώνει το μήκος της ανάλογα με τη σχετική υγρασία του αέρα, καταγράφει συνεχώς αυτό το μετεωρολογικό στοιχείο σε ημερήσια ή εβδομαδιαία ταινία. Τοποθετείται μέσα στο μετεωρολογικό κλωβό. Από τις ταινίες μπορούν να εξαχθούν οι τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα στις διάφορες ώρες του 24ώρου καθώς και οι ακραίες τιμές. Ο υγρογράφος συνδυάζεται και με το θερμογράφο σε σύνθετο όργανο, τον θερμοϋγρογράφο. [9]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΙ ΓΗΙΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

#### 6.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος είναι η κύρια πηγή ενέργειας της γης, η οποία επηρεάζει με τη σειρά της τη γήινη ατμόσφαιρα, θέτοντας σε κίνηση τα διάφορα μετεωρολογικά συστήματα και προκαλώντας γενικότερα διάφορες ατμοσφαιρικές διαδικασίες.

Κατά το πέρασμα της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα της γης, η ακτινοβολία αυτή υφίσταται:

- ανάκλαση και διάχυση στο διάστημα από νέφη και από μόρια ξηρού αέρα, σκόνη και υδρατμούς (25%) και
- απορρόφηση από νέφη και από μόρια ξηρού αέρα, σκόνη και υδρατμούς (25%).

Το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια της γης ως άμεση και ως διάχυτη ακτινοβολία. Από αυτήν,

- το 5% ανακλάται και διαχέεται από την επιφάνεια της γης και
- το 45% απορροφάται από αυτή.

Η ακτινοβολία που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμότητα και επανεκπέμπεται με διάφορους τρόπους.

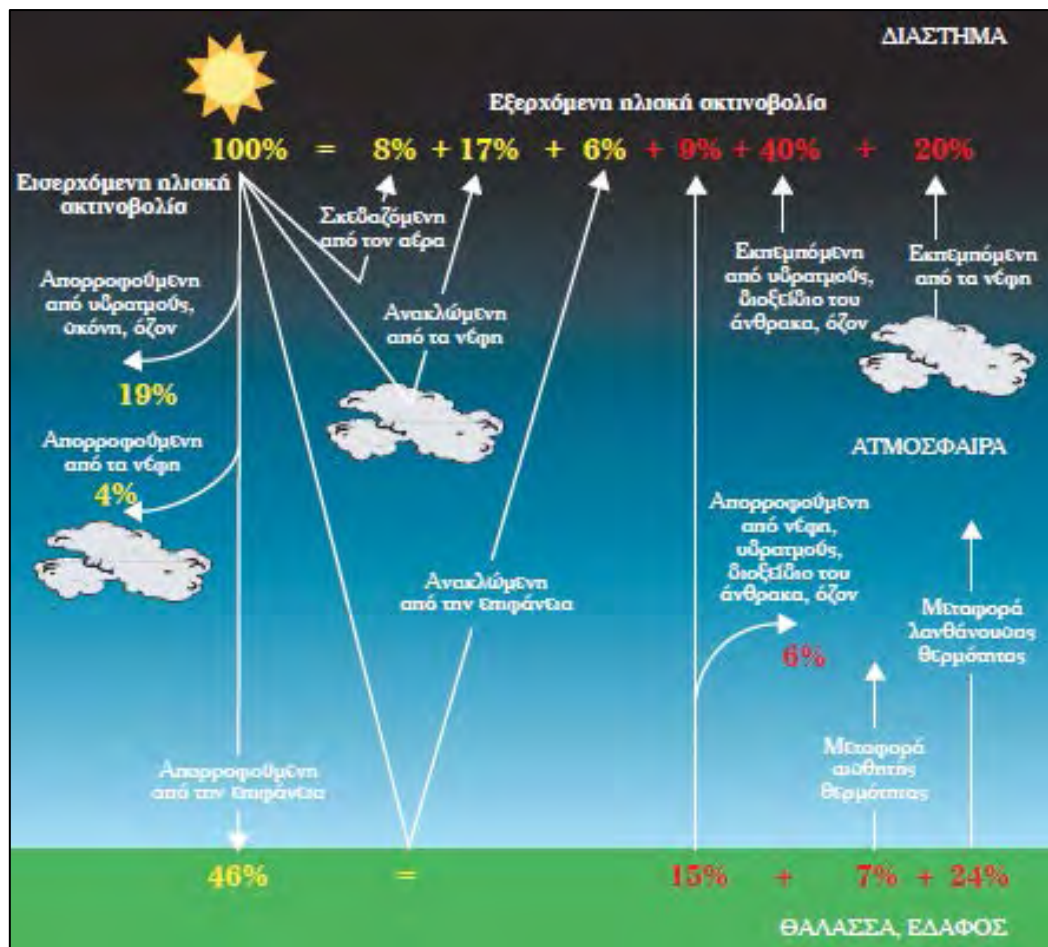
Οι μεταβολές αυτές που υφίσταται η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανέμων, νεφών και υετού (δηλαδή βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.ά.). Τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας θερμαίνονται εξαιτίας της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος. Το έδαφος θερμαίνει ελαφρά τον αέρα και συγκεκριμένα τα κατώτερα στρώματά του, τα οποία βρίσκονται σε άμεση επαφή με τη γη, μέσω της διαδικασίας της αγωγής (conduction), επειδή ο αέρας είναι μονωτής και δε μπορεί να θερμανθεί απευθείας από τις ηλιακές ακτίνες που τον διαπερνούν. Η θερμότητα διαδίδεται στον αέρα με ανάμειξη, όταν μία μάζα διαστέλλεται λόγω θερμάνσεως και ανυψώνεται, επειδή γίνεται αραιότερη από τον περιβάλλοντα αέρα.

Με τους ανέμους, η θερμότητα μεταδίδεται στον αέρα οριζόντια μέσω της διαδικασίας της μεταφοράς (convection). Υπάρχει ακόμη ένας τρόπος διαδόσεως της θερμικής ενέργειας του ήλιου κι αυτός είναι με ακτινοβολία (radiation), όπου η ενέργεια διαδίδεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Επομένως, η αγωγή και η μεταφορά για τη διάδοση της ενέργειας απαιτούν την παρουσία μάζας. Αντιθέτως, η ακτινοβολία που δεν απαιτεί κάτι τέτοιο, αποτελεί τον βασικό τρόπο διαδόσεως ενέργειας από τον ήλιο, αφού το μεσοπλανητικό διάστημα μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν κενό.

Από την ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος, μόνο το ένα δισεκατομμυριοστό περίπου έρχεται στη γη. Ο ήλιος εκτός από ενέργεια, παρέχει επίσης ζέστη και φως. Από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, το 46% αυτής απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους, το 23% από την ατμόσφαιρα και το υπόλοιπο 31% εκπέμπεται και πάλι προς το διάστημα από το σύστημα γη-ατμόσφαιρα, όπως προκύπτει από μετρήσεις με τη βοήθεια δορυφόρων.

Από το 46% της ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους, το 24% μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα και τα νέφη με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας, το 7% μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή αισθητής θερμότητας και από το εναπομείναν 15%, το 6% απορροφάται από τα νέφη, τους υδρατμούς, το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον, ενώ το 9% επανεκπέμπεται προς το διάστημα. Στο διάστημα καταλήγει επίσης ένα ποσοστό 40%, που εκπέμπεται από τους υδρατμούς, το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον και ένα 20% που εκπέμπεται από τα νέφη.

Το συνολικό ποσό της ενέργειας που εξέρχεται προς το διάστημα, ισούται με το συνολικό ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Επομένως, η επιφάνεια της γης αποτελεί συγχρόνως τον κύριο αποδέκτη της ηλιακής θερμότητας και τη βασική πηγή θερμάνσεως της ατμόσφαιρας. Αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό παρατηρώντας την Εικόνα 6.1, η οποία απεικονίζει τη διαδρομή της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη γη και η οποία στη συνέχεια ακολουθεί διάφορες διαδρομές και επιστρέφει πάλι στο διάστημα.

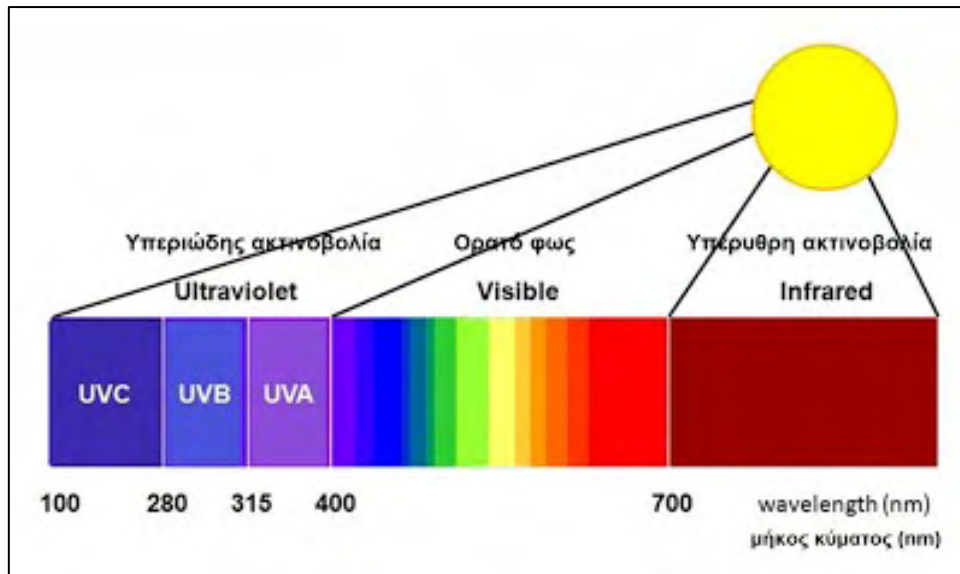


Εικόνα 6.1 Πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα [16]

Αποτέλεσμα των διαφόρων διεργασιών που πραγματοποιούνται στα διάφορα στρώματα του ήλιου, είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που έχει μεγάλο φασματικό εύρος. Εκτός από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ο ήλιος εκπέμπει και σωματιδιακή, η οποία αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια (ηλιακός άνεμος), που απορροφώνται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (πάνω από τα 100 χλμ.) και επηρεάζουν τα διάφορα κυρίως οπτικά φαινόμενα. Στην Εικόνα 6.2, παρουσιάζεται η διάκριση της ηλιακής ακτινοβολίας σε τύπους ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος εκφρασμένο σε νανόμετρα, το γνωστό ηλιακό φάσμα (solar spectrum).

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελείται από τρεις περιοχές:

- Υπεριώδεις ακτίνες οι οποίες ασκούν μεγάλη επίδραση στις βιοχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στα φυτά.
- Τα φωτεινά κύματα, τα οποία δημιουργούν τον φωτισμό.
- Υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία είναι αόρατη και υπεύθυνη για το αίσθημα θερμότητας.



**Εικόνα 6.2 Ηλιακό φάσμα (σε nm) [27]**

Το σύνολο σχεδόν της ενέργειας του ηλιακού φάσματος διανέμεται ως εξής: 9% υπεριώδεις, 45% ορατό και 46% υπέρυθρο.

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας, εξασθενεί λόγω διαχύσεως, ανακλάσεως και απορροφήσεως.

Η διάχυση (diffusion) δημιουργείται στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφορετικών μέσων, όπως ο αέρας και το νέφος. Εκεί, η ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις, τόσο οριζόντια και κατακόρυφα, όσο και προς τυχαίες γωνίες. Η διάχυση που προκαλείται από τα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας, εξαρτάται από το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα μόρια του οξυγόνου και του αζώτου για παράδειγμα, προκαλούν διάχυση στη μικρού μήκους κύματος ορατή ακτινοβολία, δηλαδή στο μπλε και στο ιώδες. Έτσι εξηγείται το χρώμα του ουρανού, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα νέφη αποτελούνται από συμπυκνωμένους υδρατμούς, δηλαδή από υδροσταγονίδια και παγοκρυστάλλους. Αυτά διαχέουν την ηλιακή ακτινοβολία σε όλο το εύρος του ορατού φάσματος, γι' αυτό και το χρώμα των νεφών είναι λευκό.

Η ανάκλαση (reflection) μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση της διάχυσης. Και σε αυτήν την περίπτωση, το φαινόμενο αυτό απαντάται στη διαχωριστική επιφάνεια νεφών και ατμοσφαιρικού αέρα, μόνο που η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία παραμένει στον αέρα και διαφεύγει τελικά και πάλι προς το διάστημα με την ίδια γωνία προσπτώσεως.

Η απορρόφηση (absorption) δεν προκαλεί μεταβολή στη διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει με τη διάχυση και την ανάκλαση. Με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, προκαλείται θέρμανση. Το οξυγόνο και το όζον απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Όπως

προαναφέρθηκε, εξαιτίας της απορροφήσεως της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας από το όζον στην ατμόσφαιρα, φτάνει τελικά στο έδαφος η λιγότερο επιβλαβής ακτινοβολία για τους ζώντες οργανισμούς. Οι υδρατμοί και δευτερευόντως το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον, προκαλούν απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τέλος, απορρόφηση προκαλούν και τα αιωρούμενα σωματίδια. [9], [16], [26]

## 6.2 Ηλιοφάνεια

Θεωρητική διάρκεια ηλιοφάνειας είναι ο χρόνος από την ανατολή ως τη δύση του ήλιου. Μετρείται σε ώρες και είναι διαφορετική κάθε μέρα. Η πραγματική διάρκεια ηλιοφάνειας είναι μικρότερη από την αντίστοιχη θεωρητική, γιατί ελαττώνεται από την παρουσία νέφωσης και επηρεάζεται από την τοπογραφία κάθε τόπου.

Για την διαμόρφωση της πραγματικής ηλιοφάνειας επεμβαίνουν οι εξής παράγοντες:

- Το γεωγραφικό πλάτος (Καθορίζει την διάρκεια της ημέρας).
- Το ανάγλυφο (Οι κορυφές ορέων δέχονται περισσότερη ακτινοβολία από τις κοιλάδες).
- Η νέφωση (αυξάνει τη λευκαύγεια και την απορρόφηση).
- Το υψόμετρο (στα μέσα γεωγραφικά πλάτη η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει περίπου 5-15% για κάθε 1000 μέτρα αύξησης του υψομέτρου).
- Οι ρυπάνσεις της ατμόσφαιρας (τα αέρια απορροφούν εκλεκτικά θερμική ακτινοβολία και προκαλούν ελάττωση της ηλιοφάνειας). [26]

## 6.3 Γήινη ακτινοβολία

Η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία, η οποία απορροφάται από την επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε θερμότητα. Η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης είναι 15°C. Η επιφάνεια της γης εκπέμπει με μορφή ακτινοβολίας τη θερμότητα που δέχεται. Θεωρείται ότι η γη ακτινοβολεί ως μέλαν σώμα θερμοκρασία 300° Kelvin. Η ακτινοβολία αυτή καλείται γήινη ακτινοβολία, βρίσκεται στην περιοχή των μηκών κύματος 4,0 μm μέχρι 80 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στο υπέρυθρο, γι' αυτό και καλείται επίσης ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα μήκους κύματος βρίσκεται γύρω στα 10 μm.

Συστατικά της ατμόσφαιρας της γης τα οποία απορροφούν σχετικά μικρές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας (μικρού μήκους κύματος), απορροφούν και εκπέμπουν έντονα και επιλεκτικά τη μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία.

Οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα απορροφούν έντονα σχεδόν όλα τα μήκη κύματος της γήινης ακτινοβολίας, εκτός από την περιοχή μεταξύ 8 μm και 13 μm, μέσα από την οποία γήινη ακτινοβολία διαφεύγει στο διάστημα. Για το λόγο αυτό, η περιοχή αυτή καλείται «ατμοσφαιρικό παράθυρο».

Τα νέφη επίσης, όταν υπάρχουν, απορροφούν έντονα τη γήινη ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος και έχουν μικρή ανακλαστικότητα σε αυτή, σε αντίθεση με τη μεγάλη τους ανακλαστικότητα για την ηλιακή ακτινοβολία.

Η γήινη ακτινοβολία που απορροφάται από την ατμόσφαιρα επανεκπέμπεται και πάλι ως μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, μέρος της οποίας επανέρχεται στην επιφάνεια της γης, η οποία τελικά δέχεται μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία από τον ήλιο και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα. Μέρος της ακτινοβολίας της ατμόσφαιρας διαφεύγει στο διάστημα.

Οι διεργασίες που σχετίζονται με τη γήινη ακτινοβολία συμβαίνουν συνέχεια, μέρα και νύχτα, ενώ στο μη φωτιζόμενο από τον ήλιο μέρος της γης (νύχτα) παύει να υπάρχει η ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, σε κάθε τόπο το ισοζύγιο της ενέργειας είναι θετικό την ημέρα (θέρμανση) και αρνητικό τη νύχτα (ψύξη). [9]

## 6.4 Ισοζύγιο ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

Γεωλογικές μαρτυρίες μας πείθουν ότι υπήρξαν περίοδοι (γεωλογικές εποχές) που ο πλανήτης μας ήταν θερμότερος ή ψυχρότερος απ' ότι σήμερα. Με άλλα λόγια, αυτό σημαίνει ότι υπήρξαν περίοδοι με σημαντικές μεταβολές μεταξύ της εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας στον πλανήτη μας, δηλαδή μεταβολές στο μέσο ενεργειακό ισοζύγιο.

Η έρευνα έχει δείξει ότι οι μεταβολές αυτές πραγματοποιήθηκαν με βραδύ ρυθμό, έτσι ώστε η εκάστοτε «καθαρή ακτινοβολία» (η διαφορά εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας) σε ετήσια βάση να ήταν πολύ μικρή. Ως εκ τούτου μικρό θα ήταν και το αποτέλεσμα, δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη μας.

Σήμερα είναι γενικώς αποδεκτό, ότι σε ετήσια βάση ο πλανήτης μας ακτινοβολεί προς το διάστημα περίπου το ίδιο ποσό ενέργειας που δέχεται.

Γνωρίζουμε επίσης ότι στα γεωγραφικά πλάτη 0-35° και των δύο ημισφαιρίων, απορροφάται περισσότερη ενέργεια από όση ακτινοβολείται στο διάστημα. Υπάρχει δηλαδή πλεόνασμα ενέργειας στις περιοχές αυτές της γης, ενώ στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και στους πόλους υπάρχει έλλειμμα ενέργειας.

Αυτό το ανισοζύγιο ενέργειας απαιτεί την ύπαρξη μηχανισμών μεταφοράς ενέργειας από τα μικρά στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, τα συστήματα ψηλών και χαμηλών πιέσεων και τα ωκεάνια ρεύματα.

Με τον τρόπο αυτό, η μέση ετήσια θερμοκρασία του παρεδάφιου στρώματος της ατμόσφαιρας διατηρείται σταθερή, στους 15°C περίπου. Όταν όμως διαταράσσεται το μέσο αυτό ισοζύγιο (έξαρση του φαινομένου του ατμοσφαιρικού θερμοκηπίου) διαταράσσεται και η σταθερότητα της τιμής αυτής της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. [9],[15]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΑΝΕΜΟΣ

Ο άνεμος είναι αέρας σε κίνηση και οι κινήσεις του τείνουν να εξισορροπήσουν τις αντιθέσεις στη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Βέβαια, η εξισορρόπηση αυτή δε μπορεί ποτέ να επιτευχθεί, αφού συνεχώς νέες αντιθέσεις εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα, με συνέπεια ο άνεμος να είναι ένας πολύ σημαντικός ρυθμιστής στην ατμόσφαιρα.

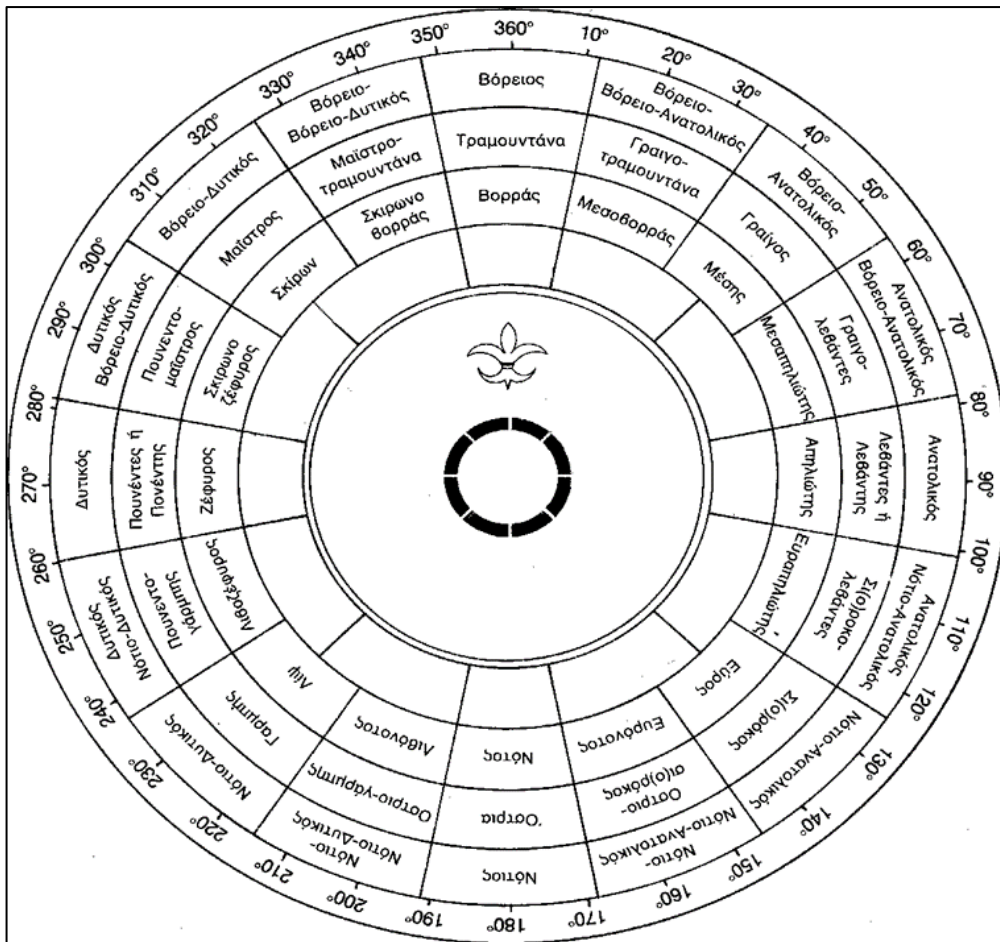
Ο άνεμος εκφράζει την κίνηση του αέρα κατά την οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια έννοια, ενώ οι κατακόρυφες κινήσεις ενός όγκου αέρα ονομάζονται κατακόρυφα ρεύματα. Παρόλο που οι κατακόρυφες κινήσεις του αέρα είναι σημαντικές για το σχηματισμό των νεφών και της βροχόπτωσης, η ποσότητα του αέρα που κινείται κατακόρυφα είναι ασήμαντη σε σύγκριση με εκείνη που μεταφέρεται από τον άνεμο. Πρέπει να τονιστεί επίσης ότι οι κατακόρυφες κινήσεις αερίων μαζών δε χαρακτηρίζονται με τον όρο «άνεμος», αλλά με τους όρους «ανοδικά» και «καθοδικά ρεύματα αέρα».

Το βασικό αίτιο δημιουργίας του ανέμου είναι η διαφοροποίηση χωρικά της ατμοσφαιρικής πίεσης, που οφείλεται στην ανομοιόμορφη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Πιο συγκεκριμένα, κινείται από περιοχή υψηλών πιέσεων σε περιοχή χαμηλών πιέσεων, προκειμένου να εξισορροπήσει τις πιέσεις στις δύο περιοχές. Όσο ισχυρότερη είναι η βαροβαθμίδα, τόσο ισχυρότερος είναι και ο άνεμος. Πρακτικά, όσο πυκνότερες είναι οι ισοβαρείς καμπύλες σε έναν μετεωρολογικό χάρτη, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ένταση του ανέμου.

Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο χαρακτηριστικά κίνησης: από τη διεύθυνση και από την ταχύτητά του. Η διεύθυνση του ανέμου ορίζει το σημείο του ορίζοντα από το οποίο έρχεται ο αέρας. Η διεύθυνση εκφράζεται είτε σε μοίρες (από 0 έως 360 μοίρες) με αρχή το μαγνητικό βορρά, είτε με σύμβολα ανεμολογίου (ανεμορρόμβοι) ή ονομαστικά. Στην πράξη προσδιορίζεται με βάση τα 8 ή 16 κύρια σημεία του ορίζοντα: Βόρειος (0 ή 360°), Ανατολικός (90°), Νότιος (180°), Δυτικός (270°), στη συνέχεια ορίζονται τα 4 ενδιάμεσα σημεία και τέλος, τα επόμενα 8 ενδιάμεσα.

Επίσης, ο άνεμος χαρακτηρίζεται και ως λείος όταν δεν παρουσιάζει αυξομειώσεις στην έντασή του, ριπαίος όταν η έντασή του μεταβάλλεται ανά σύντομα χρονικά διαστήματα, μεταβλητός όταν η έντασή του μεταβάλλεται και σταθερός, όταν διατηρεί σταθερή τη διεύθυνσή του για μεγάλο χρονικό διάστημα





Εικόνα 7.1 Ανεμολόγιο [11]

Η ταχύτητα του ανέμου εκφράζεται σε διάφορες μονάδες. Οι πιο κοινές είναι τα m/sec, τα km/h, τα mi/h, οι κόμβοι (knots), που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση του αέρα στην ξηρά και ιδίως στην ελεύθερη ατμόσφαιρα και η εμπειρική κλίμακα Beaufort, η οποία κυρίως χρησιμοποιείται στη ναυτιλία και η οποία δίνεται με διαβαθμίσεις της έντασης του ανέμου σε κόμβους. Συνήθως παρουσιάζει μέγιστο κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν είναι πιο έντονες οι διαφοροποιήσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης και της θερμοκρασίας.

Η γεωγραφική κλίμακα της κίνησης του αέρα είναι ιδιαίτερα μεταβλητή, αφού περιλαμβάνει ανέμους με καθαρά τοπικό χαρακτήρα και με πολύ μικρή περιοχή δράσης, μέχρι ανέμους που έχουν πλανητική δράση.

## 7.1 Δυνάμεις που ρυθμίζουν την κίνηση του ανέμου

Είναι γνωστό από τη Φυσική ότι το αίτιο της κίνησης κάθε σώματος είναι μία δύναμη. Στην προκειμένη περίπτωση ως σώμα θεωρούμε τις διάφορες αέριες μάζες.

Οι δυνάμεις που ρυθμίζουν την κίνηση των αερίων μαζών, δηλαδή του ανέμου, είναι:

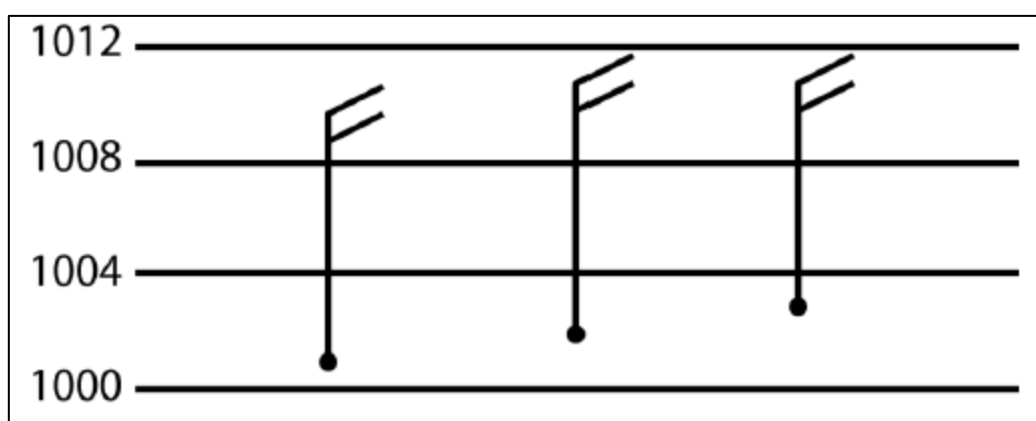
### Η δύναμη βαροβαθμίδας ( $F_p$ ).

Ο άνεμος κινείται από περιοχές υψηλών πιέσεων σε περιοχές χαμηλών πιέσεων, με ταχύτητα που καθορίζεται από την οριζόντια βαροβαθμίδα, η οποία εκφράζει το μέτρο της διαφοράς της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ δύο σημείων, που απέχουν μεταξύ τους ορισμένη απόσταση.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της πίεσης μεταξύ δύο σημείων, δηλαδή όσο πιο κοντά βρίσκονται δύο διαδοχικές ισοβαρείς, τόσο πιο έντονη θα είναι η βαροβαθμίδα και τόσο πιο ισχυρός θα είναι ο άνεμος. Αντίθετα, όσο πιο μακριά βρίσκονται οι διαδοχικές ισοβαρείς τόσο μικρότερη θα είναι η βαροβαθμίδα και ο άνεμος θα έχει πολύ μικρή ένταση.

Η βαροβαθμίδα, όπως και κάθε άλλη δύναμη, χαρακτηρίζεται από την έντασή της και από τη διεύθυνσή της. Η διεύθυνση της δύναμης αυτής, είναι πάντοτε από την υψηλότερη προς τη χαμηλότερη πίεση και κάθετη προς τις ισοβαρείς. Επομένως, η αρχική τάση του ανέμου θεωρείται ότι πνέει παράλληλα προς τη βαροβαθμίδα και κάθετα προς τις ισοβαρείς.

Η δύναμη βαροβαθμίδας αποτελεί δηλαδή τη δύναμη, η οποία καθορίζει την ταχύτητα και την αρχική διεύθυνση της κίνησης του ανέμου.



**Εικόνα 7.2 Δύναμη βαροβαθμίδας [10]**

### Η δύναμη Coriolis ή εκτροπτική ή γεωστροφική δύναμη ( $F_C$ )

Η εκτροπτική δύναμη, η οποία οφείλεται στην περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της, αποτελεί το βασικό λόγο αλλαγής της διεύθυνσης κίνησης του αέρα. Η συγκεκριμένη δύναμη αναγκάζει τον άνεμο, αλλά και οποιοδήποτε ελεύθερα κινούμενο αντικείμενο επάνω στη γη, να εκτρέπεται προς τα δεξιά της κίνησής του στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Στον Ισημερινό η επίδραση της δύναμης αυτής είναι μηδενική και αποκτά τη μέγιστη τιμή στους πόλους. Δρα με γωνία  $90^\circ$  στην οριζόντια διεύθυνση του ανέμου και είναι ανάλογη με την οριζόντια ταχύτητα.

Επομένως, όταν η βαροβαθμίδα θέτει σε κίνηση τα μόρια του αέρα, ο προκαλούμενος άνεμος εκτρέπεται ολοένα και περισσότερο προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά μέχρι τελικά να γίνει παράλληλος προς τις ισοβαρείς, που σημαίνει ότι ο άνεμος γίνεται κάθετος προς τη διεύθυνση της βαροβαθμίδας και η δύναμη Coriolis γίνεται ίση και αντίθετη προς τη βαροβαθμίδα. Στην περίπτωση αυτή, η δύναμη της βαροβαθμίδας εξουδετερώνει τη δύναμη Coriolis και επομένως δεν παρατηρείται άλλη εκτροπή.

### Η δύναμη της τριβής ( $F_T$ )

Εμφανίζεται στα χαμηλά τμήματα της τροπόσφαιρας, γιατί αναπτύσσεται λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους και της θάλασσας, πάνω από την οποία κινείται η αέρια μάζα. Το μέτρο της είναι ανάλογο της ταχύτητας με την οποία κινείται η αέρια μάζα και έχει φορά αντίθετη της ταχύτητας.

### Η φυγόκεντρη δύναμη ( $F_\Phi$ )

Είναι η δύναμη με την οποία αντιδρά κάθε σώμα, το οποίο κινείται σε κυκλική τροχιά. Είναι ανάλογο της κεντρομόλου επιτάχυνσης και της ακτίνας καμπυλότητας της τροχιάς. [9], [10], [11], [16]

## **7.2 Είδη ανέμων**

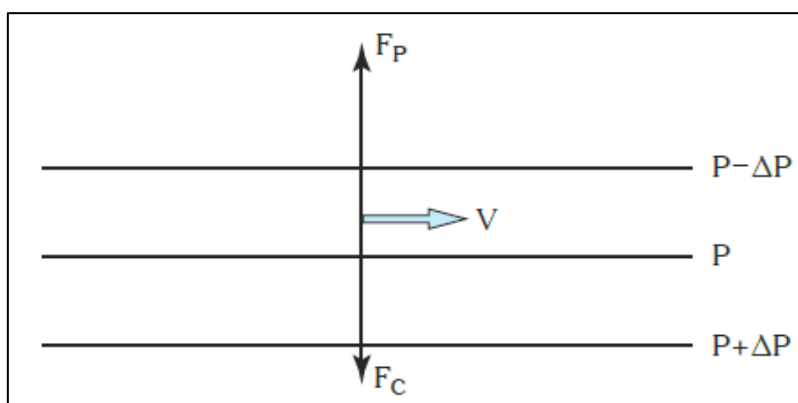
Τα είδη ανέμων τα οποία υπάρχουν είναι τρία:

- Ο γεωστροφικός άνεμος
- Ο άνεμος βαροβαθμίδας
- Ο φαινόμενος άνεμος

### 7.2.1 Γεωστροφικός άνεμος

Ο γεωστροφικός άνεμος είναι εκείνος ο οποίος είναι απαλλαγμένος από τη δύναμη της τριβής. Αυτό μπορεί να συμβεί σε μεγάλο ύψος, όπου το ανάγλυφο του εδάφους σταματά να επιδρά στην κίνηση της αέριας μάζας. Τότε, αν οι ισοβαρείς είναι παράλληλες, ο ατμοσφαιρικός αέρας δέχεται την επίδραση της δύναμης βαροβαθμίδας ( $F_P$ ), που τον μετακινεί από τις υψηλές στις χαμηλές πιέσεις. Εφόσον καταργείται η δύναμη της τριβής, θα πρέπει η δύναμη Coriolis ( $F_C$ ) να αντισταθμίζει τη δύναμη βαροβαθμίδας προκειμένου να επέλθει ισορροπία, με αποτέλεσμα να είναι κάθετη στις ισοβαρείς με φορά προς τις υψηλές πιέσεις.

Ο άνεμος που δημιουργείται από την ισορροπία των δυο αυτών δυνάμεων, ονομάζεται γεωστροφικός άνεμος και είναι παράλληλος στις ισοβαρείς, με τις υψηλές πιέσεις στα δεξιά του για το βόρειο ημισφαίριο και αριστερά του για το νότιο.



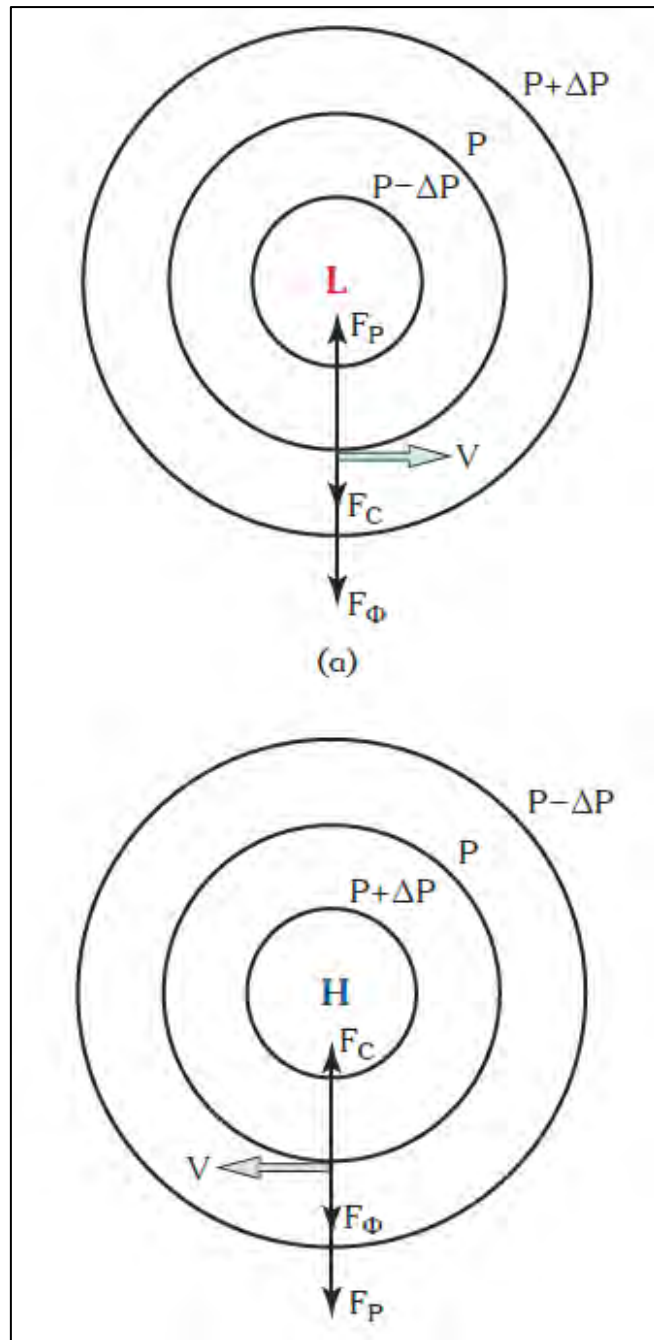
Εικόνα 7.3 Απεικόνιση γεωστροφικού ανέμου για το βόρειο ημισφαίριο [16]

### 7.2.2 Άνεμος Βαροβαθμίδας

Αν οι ισοβαρείς καμπύλες δεν είναι ευθύγραμμες αλλά καμπύλες, τότε εκτός από την επίδραση της δύναμης βαροβαθμίδας ( $F_P$ ) και της δύναμης Coriolis ( $F_C$ ), υπάρχει και η επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης ( $F_\Phi$ ).

Στην περίπτωση ενός κέντρου χαμηλών πιέσεων, η δύναμη βαροβαθμίδας έχει φορά προς το κέντρο και αντισταθμίζεται από τη δύναμη Coriolis και τη φυγόκεντρη δύναμη. Ο άνεμος πνέει εφαπτομενικά στις ισοβαρείς και έχει την ορθή φορά για το βόρειο ημισφαίριο.

Στην περίπτωση ενός κέντρου υψηλών πιέσεων, η δύναμη βαροβαθμίδας έχει φορά από το κέντρο προς την περιφέρεια και η δύναμη Coriolis αντισταθμίζεται από αυτή και τη φυγόκεντρη δύναμη. Ο άνεμος πνέει εφαπτομενικά στις ισοβαρείς και έχει την αντίθετη φορά για το βόρειο ημισφαίριο.



**Εικόνα 7.4** Απεικόνιση ανέμου βαροβαθμίδας για το βόρειο ημισφαίριο, (α) γύρω από κέντρο χαμηλών πιέσεων και (β) γύρω από κέντρο υψηλών πιέσεων [16]

### 7.2.3 Φαινόμενος άνεμος

Ο άνεμος που μετρούν τα όργανα του πλοίου ενώ αυτό κινείται, ονομάζεται φαινόμενος άνεμος. Η διεύθυνση και η έντασή του, υπολογίζονται από τη συνισταμένη του διανύσματος που παριστάνει τον αληθή άνεμο και του διανύσματος του ανέμου που οφείλει την ύπαρξή του στην κίνηση του πλοίου. Άρα ο αληθής άνεμος, ισούται με τον φαινόμενο μείον τον άνεμο λόγω κίνησης του πλοίου.

Έτσι, προκειμένου να υπολογιστεί ο αληθής άνεμος από τον φαινόμενο και από τα στοιχεία που αφορούν την ταχύτητα και την πορεία του πλοίου, χρησιμοποιείται το αβάκιο. Σχεδιάζεται αρχικά το διάνυσμα που παριστάνει την ταχύτητα και την πορεία του πλοίου και προστίθεται γραφικά ο φαινόμενος άνεμος. [9]

### 7.3 Τοπικοί άνεμοι

Οι τοπικοί άνεμοι πνέουν με κανονικότητα, προερχόμενοι από μια ορισμένη διεύθυνση, κατά το χρονικό διάστημα που αρχίζει αργά το πρωί και φτάνει μέχρι το απόγευμα και μετά από έναν εφησυχασμό, από μια σχεδόν αντίθετη διεύθυνση κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες.

Ένας τέτοιος ημερήσιος κύκλος του ανέμου δείχνει την ύπαρξη θερμικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, η οποία δημιουργείται από βαροβαθμίδα που προκαλείται από τη διαφορετική θέρμανση του αέρα, λόγω των γειτονικών ψυχρών και θερμών επιφανειών. Πολλά φαινόμενα μέσης κλίμακας είναι αποτέλεσμα της θερμής κυκλοφορίας. Οι μικρές κλίμακας κινήσεις του αέρα είναι πάρα πολύ σημαντικές για την κατανόηση του κλίματος και των κλιματικών αντιθέσεων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Τα τοπικά συστήματα ανέμων εμφανίζονται εντονότερα, όταν η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας εξασθενεί και όταν τα καιρικά συστήματα που επικρατούν δεν είναι αξιόλογα. Παραδείγματα θερμικής κυκλοφορίας αποτελούν η θαλάσσια και η απόγεια αύρα, οι άνεμοι βουνών και κοιλάδων και οι μουσώνες. [10]

#### Θαλάσσια Αύρα

Θαλάσσια αύρα είναι ο άνεμος που πνέει από τη θάλασσα προς τη ξηρά κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αίθριο συνήθως καιρό, σαν αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θαλάσσιου νερού και της παρακείμενης ξηράς (ταχύτερη θέρμανση της ξηράς από τη θάλασσα).

#### Απόγειος Αύρα

Απόγειος αύρα είναι ο άνεμος που πνέει από τη ξηρά προς τη θάλασσα κατά τη διάρκεια της νύκτας, σαν αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ ξηράς και θάλασσας (ταχύτερη ψύξη της ξηράς από τη θάλασσα).

#### Καταβατικός Άνεμος (Αύρα των βουνών)

Καταβατικός είναι ο άνεμος που πνέει κατά μήκος της πλαγιάς, από την κορυφή προς τους πρόποδες του βουνού. Προκαλείται από τη μεγαλύτερη πυκνότητα του αέρα κατά μήκος της πλαγιάς σε σχέση με αυτή σε κάποια απόσταση, οριζόντια από αυτόν, λόγω της επιφανειακής ψύξης της πλαγιάς.

### Αναβατικός Άνεμος (Αύρα των κοιλάδων)

Αναβατικός είναι ο άνεμος που πνέει κατά μήκος της πλαγιάς, από τους πρόποδες προς την κορυφή του βουνού. Προκαλείται από τη μικρότερη πυκνότητα του αέρα κατά μήκος της πλαγιάς σε σχέση με αυτή σε κάποια απόσταση, οριζόντια από αυτόν, λόγω επιφανειακής θέρμανσης της πλαγιάς. [9]

## **7.4 Όργανα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου**

Η διεύθυνση καθώς και η ταχύτητα του ανέμου, μπορούν να προσδιοριστούν με τη χρησιμοποίηση ανεμομετρικών οργάνων ή έστω να εκτιμηθούν με κάποια συστηματική παρατήρηση. Τα όργανα αυτά, με τα οποία μετρούνται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, είναι οι ανεμοδείκτες, τα ανεμόμετρα και οι ανεμογράφοι.

### **7.4.1 Ανεμοδείκτες**

Οι πιο συνηθισμένοι ανεμοδείκτες αποτελούνται από έναν κατακόρυφο περιστρεφόμενο άξονα, που στο άκρο του περιστρέφεται κάθετα οριζόντιο στέλεχος. Στο ένα άκρο του στελέχους υπάρχουν ένα ή δύο πτερύγια που σχηματίζουν γωνία 20° και στο άλλο άκρο υπάρχει αντίβαρο για σωστή κατανομή.



**Εικόνα 7.5 Ανεμοδείκτης [28]**

Όταν πνέει άνεμος, ασκείται πίεση πάνω στα πτερύγια, με αποτέλεσμα το βέλος να στρέφεται προς τη διεύθυνση του ανέμου.

Το σύστημα ένδειξης της διεύθυνσης του ανέμου μπορεί να είναι μηχανικό ή ηλεκτρικό. Η διεύθυνση του ανέμου είναι δυνατό να καταγράφεται σε ταινία καταγραφικού συστήματος, οπότε έχουμε τον αυτογραφικό ανεμοδείκτη.

Άλλος τύπος ανεμοδείκτη είναι το ανεμούριο. Αυτό αποτελείται από υφασμάτινο σάκο κουλουροκωνικής διατομής στα δύο άκρα του, που φουσκώνει με τον αέρα και προσανατολίζεται προς τη διεύθυνση πνοής του ανέμου. Χρησιμοποιείται κυρίως σε αεροδρόμια ή αυτοκινητοδρόμους. [21]



**Εικόνα 7.6 Ανεμούριο [18]**

### **7.4.2 Ανεμόμετρα**

Ανεμόμετρα ονομάζονται τα όργανα που μετρούν την ένταση του ανέμου. Για συνοπτικής κλίμακας μετρήσεις χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ταχύτητας, από τα οποία τα πιο γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα. Αυτά αποτελούνται από έναν κατακόρυφο άξονα, στην κορυφή του οποίου υπάρχουν 3 ή 4 οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι, στα άκρα των οποίων είναι στερεωμένα 3 ή 4 αντίστοιχα ημισφαιρικά ή κωνικά κύπελλα.

Επειδή η δύναμη λόγω του ανέμου είναι μεγαλύτερη στην κοίλη πλευρά του κυπέλλου απ' ότι στην κυρτή, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών καταγράφεται μέσω του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα.



Ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν, είναι ότι δεν υπάρχει συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή στη μείωση της έντασης του ανέμου. Τα κύπελλα θα εξακολουθήσουν να περιστρέφονται λόγω αδράνειας, ακόμη και αν ο άνεμος σταματήσει απότομα. Έτσι, αν σημειωθεί μία ξαφνική αύξηση στην ένταση του ανέμου (ριπή) πριν σταματήσουν τα κύπελλα, η ένδειξη του οργάνου θα είναι πιο μεγάλη από την πραγματική ένταση του ανέμου.



**Εικόνα 7.7** Ανεμόμετρο [29]

### 7.4.3 Ανεμογράφοι

Για μετεωρολογικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι ανεμογράφων. Ένας από αυτούς είναι ο τριαξονικός ανεμογράφος. Αποτελείται από κατακόρυφο άξονα που στην κορυφή του έχει ένα σύστημα 3 αξόνων, καθέτων ανά δύο μεταξύ τους. Στην άκρη κάθε άξονα στρέφεται από μία προπέλα με τέσσερα ελάσματα. Ένας μετρητής μετρά έναν ορισμένο αριθμό παλμών για κάθε περιστροφή. Στις εξόδους καθενός από τους 3 άξονες μπορεί να εφαρμοστεί κατάλληλο πρόγραμμα, έτσι ώστε να παρέχονται οι στιγμιαίες και μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, η σταθερή απόκλιση, ροές, σημαντικές διορθώσεις για τριβή, αδράνεια κ.λπ.

Οι ανεμογράφοι αυτοί είναι μεγάλης ακρίβειας. Έχουν συμμετρική απόκριση, είτε όταν συμβαίνει μείωση, είτε όταν συμβαίνει αύξηση της εντάσεως του ανέμου. [16]



**Εικόνα 7.8 Ανεμογράφος [30]**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ

Το ανθρώπινο γένος ανέκαθεν προσπαθούσε να κατανοήσει τους περίπλοκους νόμους που διέπουν τους μηχανισμούς του σύμπαντος. Οι αρχαιότεροι πολιτισμοί που δε διέθεταν το απαραίτητο υπόβαθρο γνώσεων, δημιουργούσαν θεότητες και μύθους, προκειμένου να εξηγήσουν τον τυχαίο και ανεξήγητο γι' αυτούς κόσμο. Αργότερα, παρατηρώντας προσεκτικά τη φύση και μελετώντας τους μηχανισμούς της, επινόησαν ορισμένες μεθόδους για την πρόβλεψη κάποιων περιοδικών φυσικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα τις αλλαγές των εποχών και τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων. Με το πέρασμα των χρόνων οι θεότητες αντικαταστάθηκαν από κύκλους, σχήματα, αριθμούς και μαθηματικές σχέσεις.

Σήμερα ενώ η μια θεωρία ανατρέπει την άλλη και το ένα πρότυπο αντικαθιστά το άλλο, εκείνο που παραμένει σταθερό είναι ότι οι νόμοι της φύσης είναι μαθηματικοί. Το 1587, ο Ισαάκ Νεύτωνας στο βιβλίο «Οι Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας» διατύπωσε την άποψη ότι η φύση έχει νόμους και τους νόμους αυτούς μπορούμε να τους αποκαλύψουμε και να τους περιγράψουμε με μαθηματικές μεθόδους. Ο Νεύτωνας περιέγραψε τους φυσικούς νόμους χρησιμοποιώντας πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες όχι μόνο συσχέτιζαν διάφορες φυσικές παραμέτρους μεταξύ τους, αλλά επιπλέον υπολόγιζαν και τους ρυθμούς μεταβολής αυτών, δηλαδή τις παραγώγους. Οι εξισώσεις που περιέχουν ρυθμό μεταβολής είναι γνωστές σαν διαφορικές εξισώσεις και αποτελούν το βασικό μαθηματικό εργαλείο για την περιγραφή των κινήσεων της ατμόσφαιρας. Η λύση των εξισώσεων αυτών είναι μοναδική εάν οι αρχικές τιμές όλων των μεγεθών που αποτελούν το σύστημα είναι γνωστές με ακρίβεια.

Η ατμόσφαιρα και η γη μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν ένα κλειστό σύστημα, το οποίο ακολουθεί μία μοναδική και θεωρητικά προβλέψιμη πορεία. Από μία γνωστή αρχική κατάσταση της ατμόσφαιρας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή (που γίνεται από τις παρατηρήσεις καιρού) προσδιορίζεται η μελλοντική της κίνηση, δηλαδή γίνεται πρόγνωση μονοσήμαντα ορισμένη.

#### 8.1 Ιστορική αναδρομή

Το 1922 ο μαθηματικός Λιούις Φράι Ρίτσαρντσον συνέλαβε την ιδέα της περιγραφής των φυσικών διαδικασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της υδροδυναμικής και των ρευστών. Στο έργο του «Η πρόβλεψη του καιρού με αριθμητικές μεθόδους» περιέγραφε τις μαθηματικές μεθόδους μέσω των οποίων ο άνθρωπος θα μπορούσε να προβλέψει την εξέλιξη του καιρού με τα τεχνικά μέσα της εποχής. Η υλοποίηση της ιδέας του απαιτούσε την

ύπαρξη μεγάλου αριθμού ανθρώπων, οι οποίοι χρησιμοποιώντας χαρτί, μολύβι και αριθμομηχανές γραφείου, θα επέλυναν τις μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τις κινήσεις της ατμόσφαιρας και θα προέβλεπαν την εξέλιξη του καιρού. Υπολόγισε ότι θα απαιτούνταν 64.000 άνθρωποι ώστε να επιτευχθεί πρόβλεψη του καιρού με την ίδια ταχύτητα με την οποία αυτός εξελίσσεται στην πραγματικότητα. Είχε ακόμη διατυπώσει την άποψη, ότι ίσως στο μακρινό μέλλον το ανθρώπινο γένος θα είχε τη δυνατότητα να υλοποιεί τους υπολογισμούς γρηγορότερα από ότι προχωράει ο καιρός.

Στα επόμενα χρόνια μέχρι και το 1960, ο επιστημονικός κόσμος περιφρονούσε την πρόγνωση. Για τους περισσότερους η πρόγνωση δεν αποτελούσε επιστήμη. Ήταν μια εμπειρική δουλειά που γινόταν από πρακτικούς μετεωρολόγους, οι οποίοι μέσω εμπειρίας αντιλαμβάνονταν τον καιρό της επόμενης ημέρας. Εκείνη την εποχή ο Λόρεντζ, ο οποίος εργαζόταν στο Μ.Ι.Τ. (Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης), είχε μια τελείως διαφορετική άποψη: «Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, είναι γνωστές εδώ και πολύ καιρό. Αφού η αριθμητική θεωρία σχεδιάζει ακριβείς διαδρομές για διαστημόπλοια και πυραύλους και προβλέπει τις ακριβείς τροχιές των πλανητών, γιατί να μην χρησιμοποιηθεί και στην πρόβλεψη του καιρού;»

Τα προβλήματα που συνάντησε ο Λόρεντζ ήταν πολλά και πάνω από όλα είχε να αντιμετωπίσει το επιστημονικό κατεστημένο που θεωρούσε τις απόψεις του ακραίες. Όμως μετά από συνεχείς προσπάθειες και με τα ελάχιστα τεχνολογικά μέσα της εποχής, κατάφερε με τον πρωτόγονο υπολογιστή του να δημιουργήσει ένα απλό μοντέλο της ατμόσφαιρας, που έμελλε να αποτελέσει τον πρόγονο των σημερινών ατμοσφαιρικών μοντέλων.

Στα επόμενα χρόνια ο επιστημονικός κόσμος γέμισε όλο και περισσότερες ελπίδες για τη δυνατότητα πρόγνωσης του καιρού. Ακολούθησαν αρκετές προσπάθειες, έως ότου το 1980 η αριθμητική πρόγνωση του καιρού γίνει αναμφισβήτητη πραγματικότητα. Οι μεγαλύτερες επιτυχίες στην ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων καιρού εκείνη την περίοδο, σημειώθηκαν στο Ρέντινγκ της Αγγλίας, όπου στεγαζόταν και συνεχίζει να στεγάζεται το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (E.C.M.W.F.- European Center for Mesoscale Weather Forecasts). Οι Ευρωπαίοι έδειξαν την πρωτοπορία τους στο συγκεκριμένο τομέα εγκαθιστώντας τον υπερ-υπολογιστή CRAY και προσλαμβάνοντας το καλύτερο επιστημονικό προσωπικό των κρατών μελών του ECMWF.

Στην άλλη άκρη του ωκεανού ανάλογες προσπάθειες κατέβαλαν και οι Αμερικάνοι. Ο υπερ-υπολογιστής που διέθεταν - ένας Cyber 205 της Control Data - εκτελούσε εκατομμύρια πράξεις το δευτερόλεπτο και επέλυσε τα συστήματα των 500.000 εξισώσεων του μοντέλου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα ήταν πλέον αρκετά ικανοποιητικά.

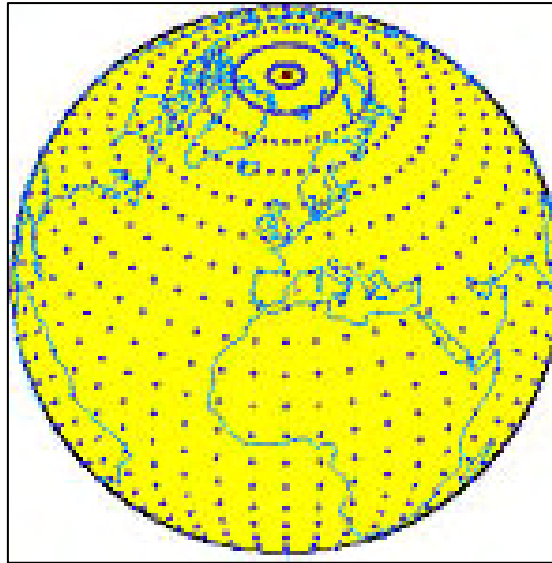
Από τότε μέχρι σήμερα η πρόοδος που έχει σημειωθεί θεωρείται αλματώδης. Σε αυτό έχει συμβάλει σημαντικά και η εξέλιξη των υπερ-υπολογιστών, οι οποίοι σήμερα διαθέτουν έναν μεγάλο αριθμό επεξεργαστών, τεραστίων δυνατοτήτων. Η ταχύτητα ενός μόνο επεξεργαστή μετριέται πλέον σε Megaflop, δηλαδή ένα εκατομμύριο πράξεις το δευτερόλεπτο.

Η ατμόσφαιρα προσομοιώνεται συνεχώς με πιο ρεαλιστικό τρόπο, αφού οι αριθμητικές μέθοδοι διαρκώς βελτιώνονται, το πλέγμα των σημείων γίνεται ολοένα και πιο πυκνό, τα υπό μελέτη στρώματα της ατμόσφαιρας αυξάνονται, εισάγονται λεπτομερείς πληροφορίες ορογραφίας, βλάστησης και τύπου εδάφους κτλ. Με τον τρόπο αυτό τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε είναι όλο και πιο αξιόπιστα και πιο αναλυτικά. Θα πρέπει να τονιστεί ωστόσο, ότι με τα μοντέλα καιρού η επιστήμη απλά προσπαθεί να προσεγγίσει ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα όσο καλύτερα μπορεί.

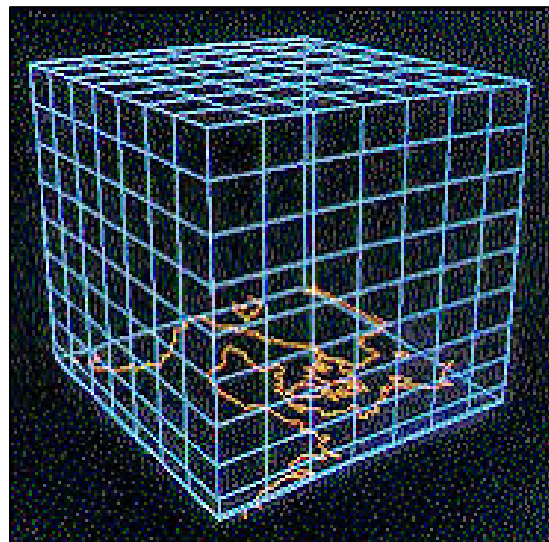
## **8.2 Μετάπτωση της ατμόσφαιρας από συνεχές σε διακριτό μέσο**

Η συμπεριφορά της ατμόσφαιρας καθορίζεται από ένα σύνολο φυσικών νόμων που μπορούν να εκφραστούν από μαθηματικές εξισώσεις. Ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο πρόγνωσης, είναι στην ουσία ένα σύστημα προσομοίωσης των φυσικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Οι παραπάνω διαδικασίες προσεγγίζονται από διαφορικές εξισώσεις, η επίλυση των οποίων οδηγεί στην πρόγνωση του καιρού.

Η ατμόσφαιρα ως γνωστόν είναι ένα συνεχές μέσο. Ωστόσο οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της την αντιμετωπίζουν σαν ένα μέσο που αποτελείται από διακριτά σημεία (grid points) (Εικόνα 8.1). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα τρισδιάστατο πλέγμα σημείων (Εικόνα 8.2), πάνω στο οποίο πραγματοποιούνται όλοι οι απαιτούμενοι υπολογισμοί. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν τελικά αφορούν μόνο τα συγκεκριμένα σημεία. Για τα υπόλοιπα ο υπολογιστής έχει πλήρη άγνοια.

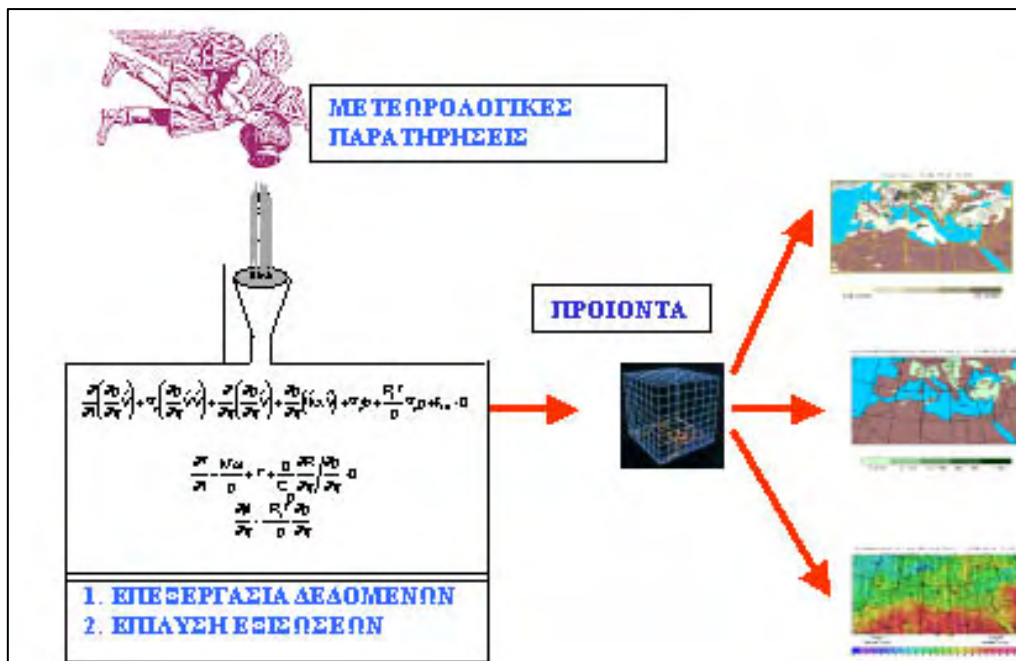


**Εικόνα 8.1** Στην αριθμητική πρόγνωση η ατμόσφαιρα είναι ένα μέσο που αποτελείται από διακριτά σημεία (grid points) [5]

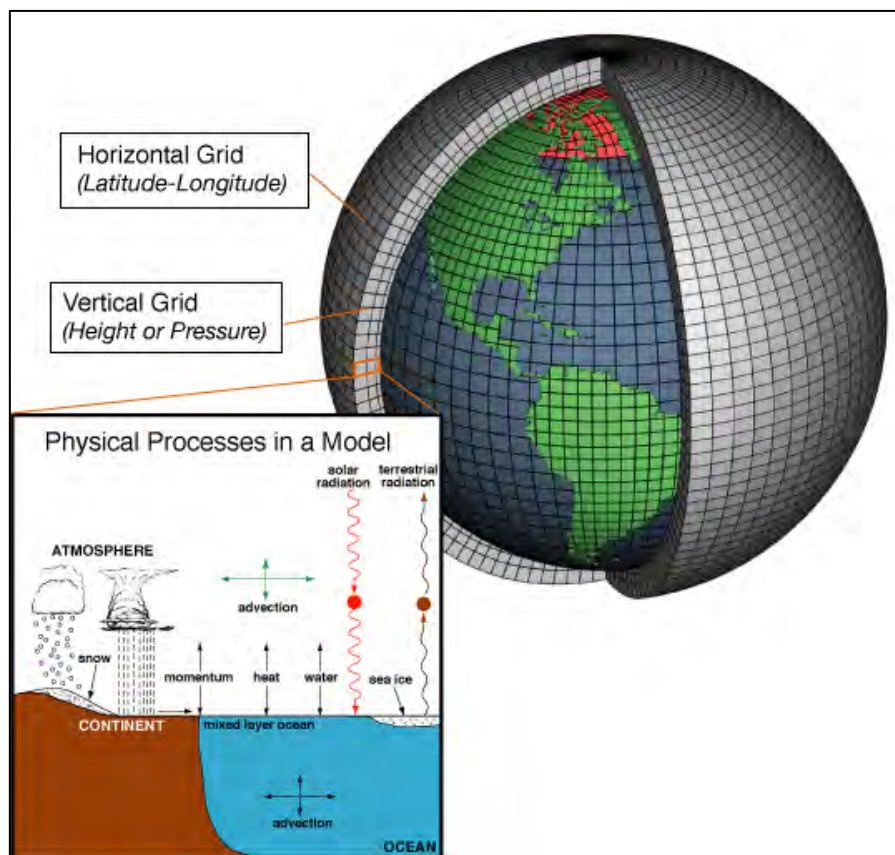


**Εικόνα 8.2** Τρισδιάστατο πλέγμα διακριτών σημείων ατμοσφαιρικού μοντέλου [5]

Ακόμη γίνεται η παραδοχή ότι ο χρόνος δεν είναι συνεχής, αλλά ότι τα πάντα συμβαίνουν σε διακριτές χρονικές στιγμές. Θεωρούμε λοιπόν ότι ο χρόνος κυλά με πολύ μικρά χρονικά βήματα της τάξης των λίγων δευτερολέπτων. Βέβαια η πρόβλεψη του καιρού για ένα τόσο μικρό χρονικό βήμα ίσως να μην είναι σημαντική. Η συνεχής όμως επανάληψη των υπολογισμών οδηγεί τελικά στην πρόγνωση του καιρού για την επόμενη ημέρα ή για την επόμενη εβδομάδα. Στην ουσία δηλαδή, αυτό που γίνεται είναι εκατομμύρια συνεχώς επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί, βασισμένοι πάνω σε σαφείς κανόνες. Αυτό είναι και το αντικείμενο που γνωρίζει να κάνει καλά ένας υπολογιστής. [5]



Εικόνα 8.3 Βασικά μέρη ενός αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης καιρού [5]



Εικόνα 8.4 Σχηματική απεικόνιση αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης του καιρού [18]

### 8.3 Βασικές εξισώσεις αριθμητικών μοντέλων

Οι βασικές εξισώσεις που διέπουν την εξέλιξη της ατμόσφαιρας και των οποίων η επίλυση πραγματοποιείται στα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης του καιρού, είναι οι εξής:

- Ο 2ος νόμος του Νεύτωνα (διατήρηση της ορμής)
- Ο 1ος νόμος της θερμοδυναμικής
- Η εξίσωση συνέχειας και
- Η εξίσωση διατήρησης της υγρασίας

$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x$ $\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y$ $\frac{\partial w}{\partial t} = -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$	$\longrightarrow$	<b>2ος νόμος Newton</b>
$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \longrightarrow \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$	$\longrightarrow$	<b>εξίσωση συνέχειας</b>

u, v, w: συνιστώσες ανέμου, f: παράμετρος Coriolis, p: πίεση, F: τριβή  
T: θερμοκρασία,

Εικόνα 8.5 Βασικές εξισώσεις αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης καιρού[31]

$p = \rho RT$	<b>καταστατική εξίσωση</b>
$Q = C_p \frac{dT}{dt} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt}$	<b>1ος νόμος της θερμοδυναμικής</b>
$\frac{\partial q}{\partial t} = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - w \frac{\partial q}{\partial z} + E - P$	<b>διατήρησης της υγρασίας</b>

q: σχετική υγρασία, E= εξατμισοδιαπνοή, P: βροχή

Εικόνα 8.6 Βασικές εξισώσεις αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης καιρού[31]



Ωστόσο δεν υπάρχει αναλυτική λύση για τις εξισώσεις που περιγράφουν την εξέλιξη της ατμόσφαιρας (μη γραμμικές, μερικές διαφορικές). Οπότε αυτό που μπορεί να γίνει είναι ένα από τα εξής:

- εύρεση ακριβούς αναλυτικής λύσης απλοποιημένης μορφής των εξισώσεων
- δημιουργία ενός απλοποιημένου φυσικού μοντέλου για το οποίο μπορούν να επιλυθούν οι εξισώσεις
- αριθμητική επίλυση των βασικών εξισώσεων (επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών σε διακριτά σημεία-grid points) [31]

Περισσότερα θα αναφερθούν παρακάτω.

## 8.4 Πολυεπεξεργαστικά συστήματα

Η αριθμητική πρόγνωση στράφηκε πολύ γρήγορα στη χρήση υπερ-υπολογιστών για δύο λόγους:

- Τα μετεωρολογικά μοντέλα είναι γενικά μεγάλοι (χρονοβόροι) κώδικες, αφού για την εκτέλεσή τους απαιτείται ένα μεγάλο πλήθος επεξεργασιών και υπολογισμών ενός τεράστιου όγκου δεδομένων.
- Τα αποτελέσματα των μετεωρολογικών μοντέλων πρέπει να παρέχονται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα στα τμήματα επεξεργασίας και μελέτης αυτών, προκειμένου να εξαχθούν έγκαιρα τα τελικά συμπεράσματα της πρόγνωσης και στη συνέχεια να διοχετευθούν στους τελικούς αποδέκτες. Για παράδειγμα, η πρόβλεψη ενός καταστροφικού φαινομένου από το αριθμητικό μοντέλο, θεωρείται μη εκμεταλλεύσιμη πληροφορία αν χρονικά έπεται του φαινομένου.

Ουσιαστική λύση στο πρόβλημα του χρόνου εκτέλεσης επήλθε τα τελευταία χρόνια και δεν ήταν καθόλου τυχαίο ότι συνέπεσε χρονικά με τη σημαντική πρόοδο που σημειώθηκε στο χώρο των υπερ-υπολογιστών. Με τις δυνατότητες και τα μέσα που διέθετε πλέον ο χώρος της πληροφορικής, η αριθμητική πρόγνωση σημείωσε σημαντικά βήματα, αφού δημιουργήθηκε η υποδομή για ανάπτυξη και εφαρμογή πολύ αξιόπιστων ατμοσφαιρικών μοντέλων που μπορούσαν να προσομοιώνουν πλέον την ατμόσφαιρα με πολύ ρεαλιστικό τρόπο.

Οι υπερ-υπολογιστές (ή αλλιώς παράλληλες μηχανές ή πολυεπεξεργαστικά συστήματα), είναι ειδικοί υπολογιστές που αναπτύχθηκαν με στόχο την εκτέλεση μεγάλων προγραμμάτων όπως τα μετεωρολογικά μοντέλα. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά δε διαφέρουν από τα αντίστοιχα των μονοεπεξεργαστικών συστημάτων. Για παράδειγμα διαθέτουν μνήμη, σκληρούς δίσκους, λειτουργικό σύστημα UNIX κτλ.

Η ουσιαστική τους διαφορά είναι ότι δε διαθέτουν μόνο έναν, αλλά αρκετούς επεξεργαστές, οι οποίοι εξασφαλίζουν στο χρήστη αρκετά μεγάλη υπολογιστική ισχύ και κατά συνέπεια γρήγορη επεξεργασία. Οι επεξεργαστές αυτοί συνεργάζονται για την επίτευξη ενός κοινού σκοπού, δηλαδή για την επίλυση ενός προβλήματος σε όσο το δυνατό συντομότερο χρονικό διάστημα. Για την σωστή συνεργασία των επεξεργαστών, οι τελευταίοι ανταλλάσσουν μηνύματα και πληροφορίες μεταξύ τους μέσω ενός ταχύτατου εσωτερικού δικτύου.

Η παράλληλη υπολογιστική μηχανή που διαθέτει αυτή τη στιγμή η EMY για τις ανάγκες της αριθμητικής πρόγνωσης είναι η HP-CONVEX SPP –1600, η οποία διαθέτει τους επεξεργαστές HP PA-RISC PA 7200 και ένα υποσύστημα ιεραρχικής μνήμης δύο επιπέδων. Το υποσύστημα αυτό παρέχει πολύ γρήγορη πρόσβαση για κάθε επεξεργαστή σε κάθε διεύθυνση μνήμης του συστήματος. Το συγκεκριμένο υπολογιστικό σύστημα διαθέτει 16 επεξεργαστές υπολογιστικής ισχύος 240 MF ο καθένας. Δηλαδή ο κάθε επεξεργαστής έχει τη δυνατότητα να εκτελεί 240 εκατομμύρια πράξεις το δευτερόλεπτο. Κατά συνέπεια η συνολικά διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς της μηχανής είναι  $16 \times 240 = 3840$  MF. Ανήκει στην κατηγορία των Shared Memory μηχανών, δηλαδή οι 16 επεξεργαστές της διαμοιράζονται μια κοινή μνήμη αντί να διαθέτει ο καθένας τη δική του.

Η ιδέα της παράλληλης επεξεργασίας είναι σχετικά απλή : Η χρήση περισσότερων του ενός επεξεργαστών για τη λύση ενός μοναδικού προβλήματος. Κατά τον ίδιο τρόπο που δέκα για παράδειγμα εργάτες βάζουν ένα σπίτι πολύ γρηγορότερα απ' ότι ένας, έτσι 2, 16, ή 64 επεξεργαστές μπορούν να επιλύσουν το ίδιο πρόβλημα πολύ γρηγορότερα απ' ότι ένας.

Ωστόσο η αυτόματη κατανομή του φόρτου εργασίας, από το ίδιο το υπολογιστικό σύστημα στους επεξεργαστές δεν είναι η πιο αποδοτική. Σε αυτή την περίπτωση οι επεξεργαστές απασχολούνται ανομοιόμορφα και κατά συνέπεια το αποτέλεσμα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικό. Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος απαιτείται η παρέμβαση ειδικών προγραμματιστών στο σειριακό κώδικα του μοντέλου και η μετατροπή του σε παράλληλο, χρησιμοποιώντας ειδικές βιβλιοθήκες παράλληλου προγραμματισμού (MPI, PVM κτλ.).

Στο πρόγραμμα «ΣΚΙΡΩΝ» το παραπάνω έργο υλοποιήθηκε από το τμήμα πληροφορικής του πανεπιστημίου Αθηνών. Αυτό που επιτυγχάνεται τελικά με τη μέθοδο αυτή, είναι η διάσπαση του αρχικού προβλήματος σε ένα αριθμό όμοιων υποπροβλημάτων. Στη συνέχεια ο κάθε επεξεργαστής ασχολείται αποκλειστικά με την επίλυση του δικού του υποπροβλήματος ταυτόχρονα με τους υπόλοιπους. [5]

## 8.5 Μοντέλα στατιστικών αποτελεσμάτων

Επειδή τα μοντέλα πρόβλεψης που βασίζονται στις εξισώσεις για την ατμοσφαιρική δυναμική δεν καθορίζουν απόλυτα τις καιρικές συνθήκες, έχουν

αναπτυχθεί οι στατιστικές μέθοδοι για να προσπαθήσουν να διορθώσουν τις προβλέψεις. Τα στατιστικά μοντέλα δημιουργήθηκαν βασισμένα στα τρισδιάστατα πεδία, που παρήχθησαν από τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού, από παρατηρήσεις της επιφάνειας και τις κλιματολογικές συνθήκες για συγκεκριμένες τοποθεσίες. Αυτά τα στατιστικά μοντέλα συνολικά αναφέρονται ως μοντέλα στατιστικών αποτελεσμάτων (MOS- Model Output Statistics).

Η μέθοδος αυτή των στατιστικών μοντέλων, συνίσταται στον καθορισμό μιας στατιστικής σχέσης μεταξύ της πρόβλεψης και των μεταβλητών από το αριθμητικό μοντέλο σε ορισμένους χρόνους προβολής. Η εφαρμογή γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως με την μέθοδο perfect prog.

Το μοντέλο των στατιστικών αποτελεσμάτων διαφέρει από την τεχνική του perfect prog, η οποία υποθέτει ότι τα αποτελέσματα της αριθμητικής πρόγνωσης καιρού είναι τέλεια. Το μοντέλο στατιστικών αποτελεσμάτων (MOS) μπορεί να διορθώσει τοπικές επιδράσεις που δεν μπορούν να επιλυθούν από το μοντέλο εξαιτίας της ανεπαρκούς ανάλυσης του δικτύου, καθώς και τις προκαταλήψεις του μοντέλου. Επειδή το MOS λειτουργεί από το αντίστοιχο παγκόσμιο ή τοπικό μοντέλο, η παραγωγή του είναι γνωστή ως μεταδιαδικασία. Οι παράμετροι πρόγνωσης μέσα στο MOS περιλαμβάνουν μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, ποσοστιαίες αλλαγές της βροχής μέσα σε μια περίοδο αρκετών ωρών, την αναμενόμενη ετήσια βροχόπτωση, την περίπτωση που η ετήσια βροχόπτωση θα παγώσει στη φύση, την περίπτωση καταιγίδων, νέφωσης, και επιφανειακών ανέμων.

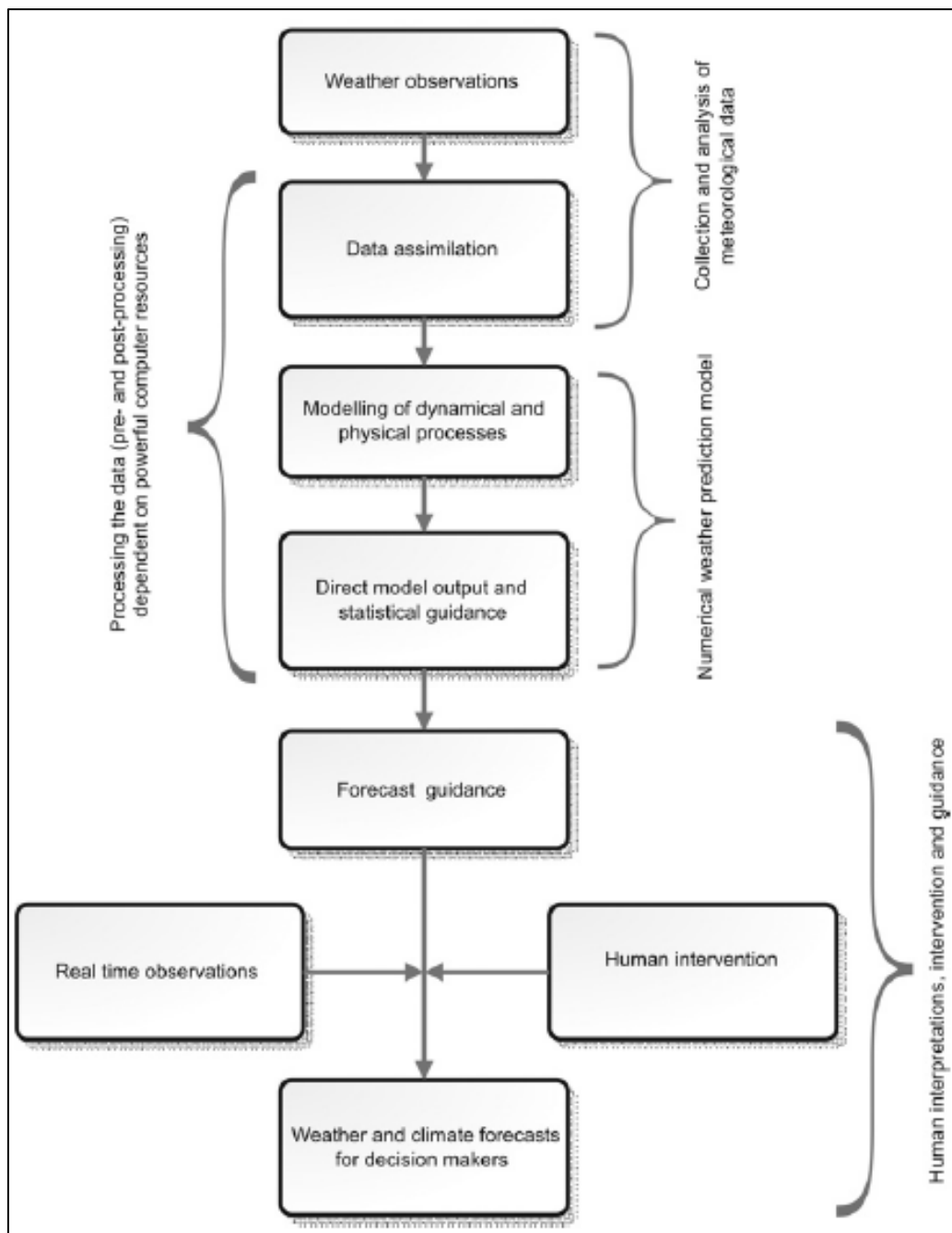
Η τεχνική MOS είναι στην πραγματικότητα, ο προσδιορισμός των «σχετικών με τον καιρό» στατιστικών ενός αριθμητικού μοντέλου. Για παράδειγμα, ίσως να θέλουμε να μάθουμε τι ποσοστό της βροχόπτωσης συμβαίνει όταν το μοντέλο προβλέπει 80% σχετική υγρασία, ή ποια είναι η καλύτερη εκτίμηση του επιφανειακού ανέμου σε ένα αεροδρόμιο, όταν ένα μοντέλο προβλέπει έναν συγκεκριμένο γεωστροφικό άνεμο 1000 mb σε εκείνο το σημείο. [18], [32]

## 8.6 Φάσεις πρόγνωσης καιρού μέσω αριθμητικών μοντέλων

Η πρόβλεψη του καιρού περιλαμβάνει τη μετατροπή των δεδομένων από τις παρατηρήσεις σε προβλέψεις, μέσω ενός αριθμητικού μοντέλου, σε τρεις βασικές φάσεις:

- Η πρώτη φάση είναι η συλλογή και ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων για τον προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών του μοντέλου όσο το δυνατόν ακριβέστερα, χρησιμοποιώντας τεχνικές αφομοίωσης δεδομένων.

- Η δεύτερη φάση απαιτεί τη χρήση ντετερμινιστικών αριθμητικών προγνωστικών μοντέλων, βασισμένων στις δυναμικές και φυσικές διεργασίες της ατμόσφαιρας, για την προβολή των αρχικών συνθηκών του συστήματος σε μελλοντικές καταστάσεις. Η φυσική περιγραφή περιλαμβάνει γενικά όλες τις διαδικασίες, εκτός από τις δυναμικές, τα κατακρημνίσματα και τη συμπεριφορά από τα σύννεφα, οι οποίες εκφράζονται με αριθμητικά μοντέλα. Αυτές οι φυσικές διεργασίες αφορούν κυρίως την εισερχόμενη ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) και εξερχόμενη γήινη(μεγάλου μήκους κύματος) ακτινοβολία, τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην επιφάνεια της γης.
- Η τρίτη φάση αφορά τη μετατροπή των παραγόμενων προϊόντων από τα αριθμητικά μοντέλα, σε πληροφορίες πρακτικής αξίας για τους χρήστες. Τα παράγωγα του μοντέλου - κυρίως ντετερμινιστικές προβλέψεις - χρησιμοποιούνται επί του παρόντος, είτε άμεσα, είτε ύστερα από επεξεργασία με στατιστικές μεθόδους, με σκοπό την παραγωγή προβλέψεων που μπορούν να ερμηνευτούν και να τροποποιηθούν από τους προγνώστες, χρησιμοποιώντας την κατανόηση των μετεωρολογικών αρχών που διαθέτουν και ενσωματώνοντας τις πρόσφατες παρατηρήσεις. Τα οφέλη ενός συστήματος πρόβλεψης σε ένα συγκεκριμένο χρήστη εξαρτώνται όχι μόνο από την εγγενή ικανότητα της ίδιας της πρόβλεψης αλλά και από τη γνώση του τρόπου με τον οποίο ο χρήστης επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες, καθώς και από το πόσο ευαίσθητες είναι οι δραστηριότητές του στον καιρό.



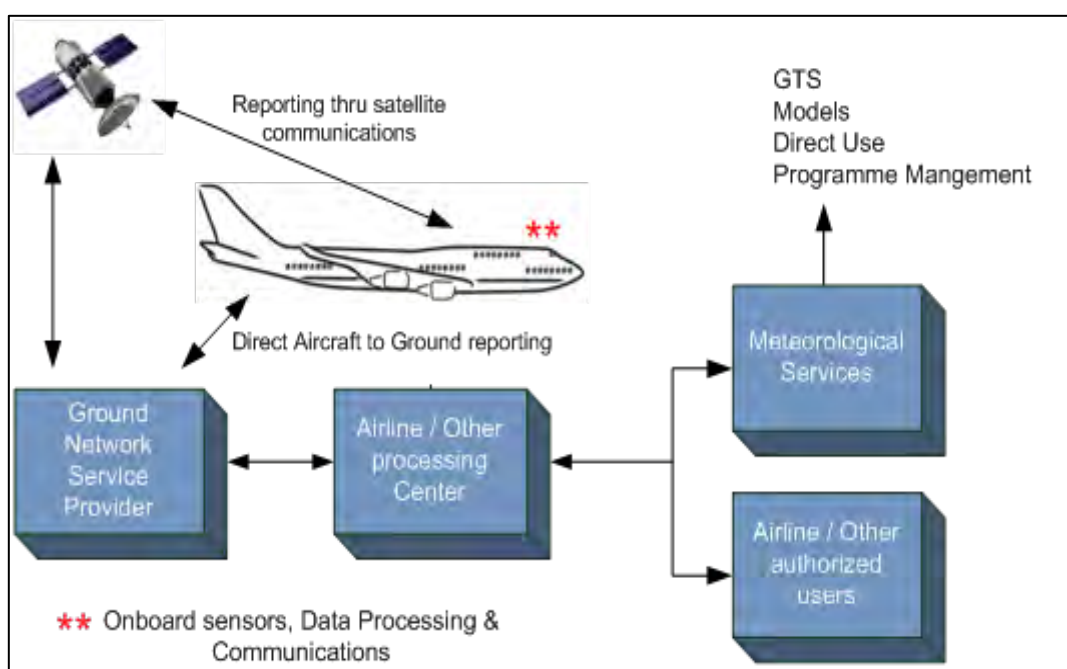
**Εικόνα 8.7 Φάσεις πρόγνωσης καιρού με αριθμητικά μοντέλα [33]**

### 8.6.1 Πρώτη Φάση - Φάση εισαγωγής

Όσο ακριβέστερα μπορεί να περιγραφεί η αρχική ή η τρέχουσα καιρική κατάσταση, τόσο καλύτερα τα μοντέλα αριθμητικών προβλέψεων είναι σε θέση να προβλέψουν μια μελλοντική κατάσταση. Η ακρίβεια της αρχικής κατάστασης μπορεί να βελτιωθεί αυξάνοντας την ποσότητα καθώς και την ποιότητα των επιφανειακών παρατηρήσεων και των παρατηρήσεων στα ανώτερα στρώματα αέρα και βελτιώνοντας τη διαδικασία αφομοίωσης δεδομένων.

### 8.6.1.1 Δεδομένα παρατηρήσεων

Τα δεδομένα των παρατηρήσεων περιλαμβάνουν συμβατικές επιτόπιες επιφανειακές παρατηρήσεις και παρατηρήσεις στα ανώτερα στρώματα του αέρα. Για την πραγματοποίηση των τελευταίων χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες, όπως το σύστημα AMDAR, το οποίο συλλέγει μετεωρολογικά δεδομένα μέσω της χρήσης ενσωματωμένων αισθητήρων στα αεροσκάφη και στη συνέχεια τα μεταδίδει στους σταθμούς εδάφους μέσω δορυφόρου.[33], [34]



Εικόνα 8.8 Τρόπος λειτουργίας του συστήματος AMDAR [34]

### 8.6.1.2 Επιφανειακές παρατηρήσεις

Η ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου παρατηρητικού δικτύου είναι και θα είναι το δίκτυο παρατήρησης επιφανείας, που παρέχει δεδομένα θερμοκρασίας επιφανείας, υγρασίας, αέρα και πίεσης μέσω περισσότερων από 12.000 ημερήσιων αναφορών (κατά το 2004) από συμβατικούς και αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς στην ξηρά. Η κάλυψη του δικτύου αυτού το 2004 σε σχέση με το επιθυμητό ελάχιστο επίπεδο ωστόσο, ήταν ανεπαρκής, αντιπροσωπεύοντας έναν παγκόσμιο μέσο όρο μόλις 77%. Μελέτες των επιπτώσεων των επιφανειακών δεδομένων που πραγματοποιήθηκαν στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων (ECMWF), διαπίστωσαν ότι η απουσία παρατηρήσεων επιφανειακής πίεσης οδήγησε σε μεγάλα σφάλματα πρόβλεψης.

Οι μελέτες αυτές ανέδειξαν δηλαδή το γεγονός ότι τα δεδομένα επιφάνειας αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία του σημερινού συστήματος παρατήρησης. Προκειμένου λοιπόν να βελτιωθεί η ακρίβεια των αρχικών συνθηκών του μοντέλου, απαιτούνται οργανωμένες προσπάθειες για την αύξηση του αριθμού των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών στις ανεπαρκείς περιοχές, σε συνδυασμό με τη χρήση αξιόπιστων συστημάτων επικοινωνίας.

Ιδιαίτερα σημαντικές είναι επίσης και οι παρατηρήσεις που προέρχονται από πλοία εθελοντικής παρατήρησης (Voluntary observing ships - VOS), στα σημεία εκείνα της θάλασσας που οι πλωτοί σταθμοί μέτρησης είναι αραιοί και η συλλογή δεδομένων περιορισμένη.

### **8.6.1.3 Παρατηρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας**

Οι επιτόπιες παρατηρήσεις για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης δομής της ατμόσφαιρας διεξάγονται με τη χρήση ραδιοβολίδων. Τα όργανα αυτά, προσαρτημένα σε ένα αερόστατο γεμάτο υδρογόνο, λαμβάνουν μετρήσεις πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας σε διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Οι ανοδικές και πλευρικές κινήσεις του μπαλονιού εντοπίζονται χρησιμοποιώντας ένα παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης, για τον υπολογισμό της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου στις διάφορες στρώσεις.

Τα στοιχεία για τα ανώτερα στρώματα αέρα που διαθέτει το ECMWF διαφέρουν σημαντικά κατά τα τελευταία 50 χρόνια. Συνολικά, 802 παρατηρήσεις ανώτερου αέρα ήταν διαθέσιμες τον Οκτώβριο του 1961. Αυτές οι αναφορές ήταν κατά κύριο λόγο (97%) από το βόρειο ημισφαίριο, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία. Ο αριθμός των διαθέσιμων εκθέσεων στη συνέχεια άρχισε να αυξάνει σημαντικά, φτάνοντας τις 1874 τον Ιανουάριο του 1976, με περίπου 15% να προέρχονται από το νότιο ημισφαίριο.

### **8.6.1.4 Δεδομένα AMDAR**

Το πρόγραμμα συλλογής και αναμετάδοσης μετεωρολογικών δεδομένων μέσω αεροσκαφών, είναι ένα οικονομικά αποδοτικό μέσο χρήσης εμπορικών αεροσκαφών για την απόκτηση ουσιωδώς περισσότερων δεδομένων στην κάθετη διάσταση της ατμόσφαιρας και σε περιοχές με αραιά δεδομένα. Αυτό το πρόγραμμα εισήχθη από τον WMO το 1998 και αποδείχθηκε μεγάλη επιτυχία. Ο μέσος ημερήσιος αριθμός αναφορών αυξήθηκε από περίπου 9000 τον Οκτώβριο του 1996 σε περισσότερους από 28.000 τον Οκτώβριο του 2004.

Σήμερα, το παγκόσμιο σύστημα AMDAR του WMO (Μάιος 2017) παράγει πάνω από 700.000 παρατηρήσεις υψηλής ποιότητας ανά ημέρα, όπως θερμοκρασίας αέρα και ταχύτητας - κατεύθυνσης ανέμου, μαζί με τις απαιτούμενες πληροφορίες θέσης

και χρόνου, ενώ αυξανόμενος είναι και ο αριθμός μετρήσεων υγρασίας και στροβιλισμού.

Τα δεδομένα που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για μια σειρά μετεωρολογικών εφαρμογών, όπως η δημόσια πρόγνωση καιρού, η παρακολούθηση και πρόβλεψη του κλίματος, τα συστήματα έκτακτης προειδοποίησης για τους καιρικούς κινδύνους και κυρίως η παρακολούθηση και η πρόβλεψη του καιρού με σκοπό την υποστήριξη της αεροπορικής βιομηχανίας.

### **8.6.1.5 Δορυφορικά δεδομένα**

Υπήρξε σημαντική αύξηση της ποσότητας και της ποιότητας των δορυφορικών παρατηρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικά, το ECMWF χρησιμοποίησε έως και 28 δορυφορικές πηγές δεδομένων το 2005. Σημαντικότερη όμως είναι η αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα στα κύρια κέντρα πρόγνωσης.

Οι δορυφορικές παρατηρήσεις είναι η πηγή των δεδομένων ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται τώρα άμεσα σε διαδικασίες αφομοίωσης δεδομένων. Όλες οι ατμοσφαιρικές διεργασίες υποκινούνται τελικά από την ηλιακή ενέργεια και η ακριβής αναπαράσταση του ενεργειακού ισοζυγίου μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητη τόσο για την πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών όσο και για την κλιματική έρευνα. Επίσης, ο τρόπος με τον οποίο οι δορυφορικές παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται επί του παρόντος στην αριθμητική πρόγνωση, έχει επεκτείνει το εύρος των προβλέψεων για τις καιρικές συνθήκες.

### **8.6.1.6 Αφομοίωση δεδομένων – Data assimilation**

Η διαδικασία αφομοίωσης δεδομένων αποτελεί σημαντικό στοιχείο της πρώτης φάσης της πρόβλεψης του καιρού. Στα πρώτα χρόνια της αριθμητικής πρόβλεψης του καιρού, τα δεδομένα καιρού αναλύθηκαν σύμφωνα με τις αρχές της βέλτιστης παρεμβολής. Η τελική ανάλυση ήταν ένας σταθμισμένος συμβιβασμός μεταξύ των παρατηρήσεων και των λεγόμενων πεδίων πρώτης εκτίμησης (first-guess fields). Ωστόσο, αυτή η μέθοδος είχε ορισμένες αδυναμίες.

Σημαντικές βελτιώσεις στην πρόβλεψη επιτεύχθηκαν με την εισαγωγή της διαδικασίας τρισδιάστατης μεταβλητής αφομοίωσης (3D VAR) το 1996, ακολουθούμενη από την τετραδιάστατη παραλλαγή (4D VAR) το 1997. Το σύστημα VAR λειτουργεί σύμφωνα με μια διαδικασία, που τροποποιεί τα σφάλματα παρασκηνίου χρησιμοποιώντας τη δυναμική του μοντέλου κατά την περίοδο αφομοίωσης. Το τετραδιάστατο σύστημα VAR επεκτείνει τον τρισδιάστατο προκάτοχό του, συμπεριλαμβάνοντας τη χρονική διάσταση. Σε αυτή τη διαδικασία



αφομοίωσης, όλα τα δεδομένα μέσα σε μια περίοδο 12 ωρών χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα σε μία παγκόσμια (επαναληπτική) διαδικασία εκτίμησης. Το 4D VAR στοχεύει να βρει τη δωδεκάωρη πρόβλεψη που ταιριάζει καλύτερα στις διαθέσιμες παρατηρήσεις.

Στη συνεδρίαση της επιτροπής Βασικών Συστημάτων του WMO που πραγματοποιήθηκε στην Αγία Πετρούπολη το 2005, προκηρύχθηκαν είκοσι συστάσεις για την εξέλιξη και την περαιτέρω βελτίωση του συστήματος. Οι προτάσεις αυτές απαιτούν τη βαθμονόμηση των οργάνων και πιο έγκαιρα δεδομένα με μεγαλύτερη χρονική και χωρική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, οι δορυφορικές υπηρεσίες θα πρέπει να συνεχίσουν να παρέχουν και να βελτιώνουν τα κατακόρυφα προφίλ της θερμοκρασίας του αέρα και της ακτινοβολίας, τις θερμοκρασίες της θάλασσας, την υγρασία και τα προφίλ ανέμου, τα δεδομένα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, τις εκτιμήσεις των κατακρημνισμάτων και την κατανομή των αερολυμάτων.

### 8.6.2 Δεύτερη φάση – Αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού

Έξι βασικές εξισώσεις χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των δυναμικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα. Δύο είναι οι διαγνωστικές εξισώσεις: πρώτον, μια εξίσωση της κατάστασης δίνει τη σχέση μεταξύ πίεσης, πυκνότητας και θερμοκρασίας και δεύτερον, μια υδροστατική εξίσωση περιγράφει τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας αέρα και της μείωσης της πίεσης με το ύψος. Η υδροστατική εξίσωση είναι μια προσέγγιση της πραγματικής ατμόσφαιρας και ισχύει μόνο για οριζόντιες κλίμακες μεγαλύτερες από 20 χλμ.

Οι τέσσερις άλλες (προγνωστικές) εξισώσεις είναι:

- η εξίσωση κίνησης, η οποία περιγράφει την κίνηση των σωματιδίων του αέρα στην ατμόσφαιρα,
- η θερμοδυναμική εξίσωση, η οποία περιγράφει τις αδιαβατικές θερμοκρασιακές μεταβολές ενός σωματιδίου αέρα κατά τη διάρκεια κάθετων μετατοπίσεων και
- η εξίσωση για τη διατήρηση της υγρασίας, η οποία λαμβάνει υπόψη τις απώλειες ή τα κέρδη που οφείλονται σε συμπύκνωση, κατακρήμνιση και εξάτμιση.

Επιπλέον, όλες οι φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα λόγω της αλληλεπίδρασής τους με την επιφάνεια της γης περιλαμβάνονται στα μοντέλα πρόβλεψης. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, την εξερχόμενη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, τις αναταράξεις, την τριβή, τον σχηματισμό, την εμφάνιση και την επίδραση των σύννεφων και την απορρόφηση της ενέργειας από τις επιφάνειες ξηράς και νερού.

### 8.6.3 Τρίτη φάση – Φάση εξαγωγής

Η τρίτη και η τελευταία φάση της διαδικασίας πρόγνωσης καιρού αποσκοπεί στη μετατροπή των παραγώγων του μοντέλου σε χρήσιμες και κατανοητές πληροφορίες. Η πρόγνωση μπορεί να προέλθει είτε απευθείας από τα παράγωγα του μοντέλου είτε ύστερα από στατιστικές τροποποιήσεις αυτών.

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, η σωστή αξιολόγηση των ωφελειών μιας πρόγνωσης για έναν συγκεκριμένο χρήστη, δεν εξαρτάται μόνο από την εγγενή ικανότητα των προβλέψεων, αλλά απαιτεί επίσης γνώση των αναγκών του χρήστη και της ευπάθειας στον καιρό. [33]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Η οριζόντια περιοχή ενός μοντέλου είναι είτε παγκόσμια, καλύπτοντας το σύνολο της γης, είτε τοπική καλύπτοντας μόνο ένα μέρος της γης. Τα τοπικά μοντέλα (επίσης γνωστά ως περιορισμένης ζώνης μοντέλα, ή LAMS) επιτρέπουν τη χρήση της απόστασης του πλέγματος λεπτότερα από τα παγκόσμια μοντέλα, διότι οι διαθέσιμοι υπολογιστικοί πόροι επικεντρώνονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή, αντί σε ολόκληρο τον κόσμο. Αυτό επιτρέπει στα τοπικά μοντέλα την επίλυση σαφώς μικρότερης κλίμακας μετεωρολογικών φαινομένων, που δε μπορούν να αναπαρασταθούν στο αραιότερο πλέγμα του παγκόσμιου μοντέλου. Τα τοπικά μοντέλα χρησιμοποιούν ένα παγκόσμιο μοντέλο για να καθορίσουν συνθήκες στα όρια του χώρου, ώστε να μπορέσουν τα συστήματα που βρίσκονται έξω από το χώρο του τοπικού μοντέλου να μετακινηθούν μέσα στην περιοχή αυτή. [18]

#### 9.1 Παγκόσμια μοντέλα

Τα βασικά παγκόσμια αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού στην επιφάνεια της γης που υπάρχουν είναι τα ακόλουθα, εκ των οποίων τα πέντε πρώτα θεωρούνται ως τα πλέον αξιόπιστα:

- ECMWF (Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων).
- GFS (Παγκόσμιο Σύστημα Πρόγνωσης) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α.
- NOGAPS ή NAVGEM του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ.
- GEM (Παγκόσμιο Περιβαλλοντικό Multiscale Μοντέλο) του Καναδά.
- UKMO της Αγγλικής μετεωρολογικής Υπηρεσίας.
- GM (Global weather forecast model) της Γερμανικής μετεωρολογικής Υπηρεσίας.
- JMA (Global weather forecast model) της Ιαπωνικής μετεωρολογικής Υπηρεσίας.
- NWS (National Weather Service USA).
- USAF (US Air Force).

#### ECMWF Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων

Το ECMWF (Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων) ή Ολοκληρωμένο Σύστημα Πρόγνωσης (IFS), είναι ένας ανεξάρτητος οργανισμός που υποστηρίζεται από 20 ευρωπαϊκά κράτη μέλη και 14 συνεργαζόμενα κράτη και ιδρύθηκε το 1975.

Διαθέτει ένα από τα μεγαλύτερα συγκροτήματα υπερ-υπολογιστών στην Ευρώπη και δίνει τα αποτελέσματα μόνο στις εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες των κρατών – μελών του. Δημιουργεί μεσοπρόθεσμες προγνώσεις καιρού για τις επόμενες 10 ημέρες, καθώς και μηνιαίες και ετήσιες, με ανάλυση 16 χλμ.

Στην Ελλάδα, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται από την ΕΜΥ σε συνδυασμό με το τοπικό μοντέλο COSMO.



**Εικόνα 9.1 Οι υπερ-υπολογιστές του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων [36]**

#### GFS Παγκόσμιο σύστημα πρόβλεψης καιρού

Το GFS (Παγκόσμιο Σύστημα Πρόγνωσης) διευθύνεται από την NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. Το μοντέλο δίνει τέσσερις ανανεωμένες προγνώσεις την ημέρα (0,6,12,18 ώρα UTC ή GMT δηλαδή ώρα Γκρήνουιτς).

Το μοντέλο αυτό δημιουργεί δύο αποτελέσματα. Υψηλής ανάλυσης για τις επόμενες 7 ημέρες και Μεσαίας ανάλυσης για τις επόμενες 16 ημέρες και καλύπτει περίοδο 16 ημερών. Ασφαλώς δε θεωρούνται αξιόπιστες προβλέψεις μεγαλύτερες των 10 ημερών. Το μοντέλο είναι ένα φασματικό μοντέλο με οριζόντια ανάλυση περίπου 27 χλμ. για τις πρώτες 8 ημέρες. Πρόσφατα υπήρξε σχετική αναβάθμιση και η ανάλυση αυξήθηκε σε περίπου 13 χλμ. έως τις 10 ημέρες.

#### NOGAPS ή NAVGEM

Το NOGAPS που αντικαταστάθηκε το 2013 από το Naval Oceanography Portal NAVGEM (Navy Global Environmental Model), είναι ένα μοντέλο καιρού για να υποστηρίξει το Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α., σε όλη την υδρόγειο. Έχει πολύ καλές

επιδόσεις σε πρόγνωση τροπικών καταιγίδων και κυκλώνων. Δίνει ανάλυση σε πλέγμα 1 μοίρας \* 1 μοίρας.

## 9.2 Τοπικά μοντέλα

Τα τοπικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού που συνήθως τρέχουν για την Ελλάδα και τα οποία απεικονίζουν καλύτερα και με μεγαλύτερη ανάλυση τις περιοχές της Ελλάδας, είναι τα ακόλουθα:

- Bolam και MM5 του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, με ανάλυση 6-7 χλμ. για την Ελλάδα και 2 χλμ. για την Αττική.
- COSMO της EMY, με ανάλυση 7 χλμ. για 36 ώρες.
- SKIRON/ETA του ΕΛΚΕΘΕ (ΠΟΣΕΙΔΩΝ) της EMY & του Πανεπιστημίου Αθηνών, με ανάλυση 10 χλμ. για 3 ημέρες.
- Αίολος (WRFARW) με ανάλυση 9 χλμ. και για την Αττική 3 χλμ. για 3 ημέρες.
- SuperForecast (εμπορική ονομασία του windfinder) με ανάλυση 12 χλμ. για 72 ώρες.

### BOLAM – MM5 και WRF του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

Έχει την πιο υψηλή ανάλυση για την Ελλάδα που φθάνει στα 6 χλμ. για 6 ημέρες. Παίρνει στοιχεία από το Αμερικάνικο μοντέλο GFS.

### COSMO της EMY

Παίρνει στοιχεία από το Ευρωπαϊκό παγκόσμιο μοντέλο ECMWF , καθώς και από το Γερμανικό GM και δίνει ατμοσφαιρική πίεση, ταχύτητες ανέμου, θερμοκρασία, υγρασία και νεφοκάλυψη (βροχή / χιόνι κλπ.). Έχει ανάλυση 7 χλμ. και καλύπτει 36 ώρες.

### SKIRON/ETA του ΕΛΚΕΘΕ (ΠΟΣΕΙΔΩΝ) της EMY & του Πανεπιστημίου Αθηνών

Παίρνει στοιχεία από το παγκόσμιο μοντέλο GFS με ανάλυση 10 χλμ. για 3 ημέρες και καλύπτει μόνο την ΝΑ Μεσόγειο. Δίνει ατμοσφαιρική πίεση, ταχύτητες ανέμου, θερμοκρασία, υγρασία και νεφοκάλυψη (βροχή / χιόνι κλπ.).

### Αίολος ( WRFARW)

Το χρησιμοποιούν οι ιστοσελίδες [www.kairos.gr](http://www.kairos.gr) και [www.weather.gr](http://www.weather.gr) με ανάλυση 9 χλμ. και 3 χλμ. για την Αττική, για 3 ημέρες.

### Windfinder SuperForecast (εμπορική ονομασία του windfinder)

Η γερμανική ιστοσελίδα [www.windfinder.com](http://www.windfinder.com), έχει δημιουργήσει και ένα περιφερειακό μοντέλο με την εμπορική ονομασία SuperForecast, με ανάλυση 12 χλμ. και έως 3 ημέρες, που καλύπτει την Ευρώπη. Είναι διαφορετικό μοντέλο από το απλό forecast και μπορεί να δείχνει και εντελώς διαφορετική πρόγνωση. [35]

### 9.3 Σύστημα ΣΚΙΡΩΝ

Το κύριο μέρος του συστήματος βασίζεται στο διεθνώς δοκιμασμένο, σε επίπεδο εφαρμογών, ατμοσφαιρικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού ETA, το οποίο αναπτύχθηκε αρχικά στο Πανεπιστήμιο του Βελιγραδίου και αργότερα στο Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Προγνώσεων (NCEP) των ΗΠΑ.

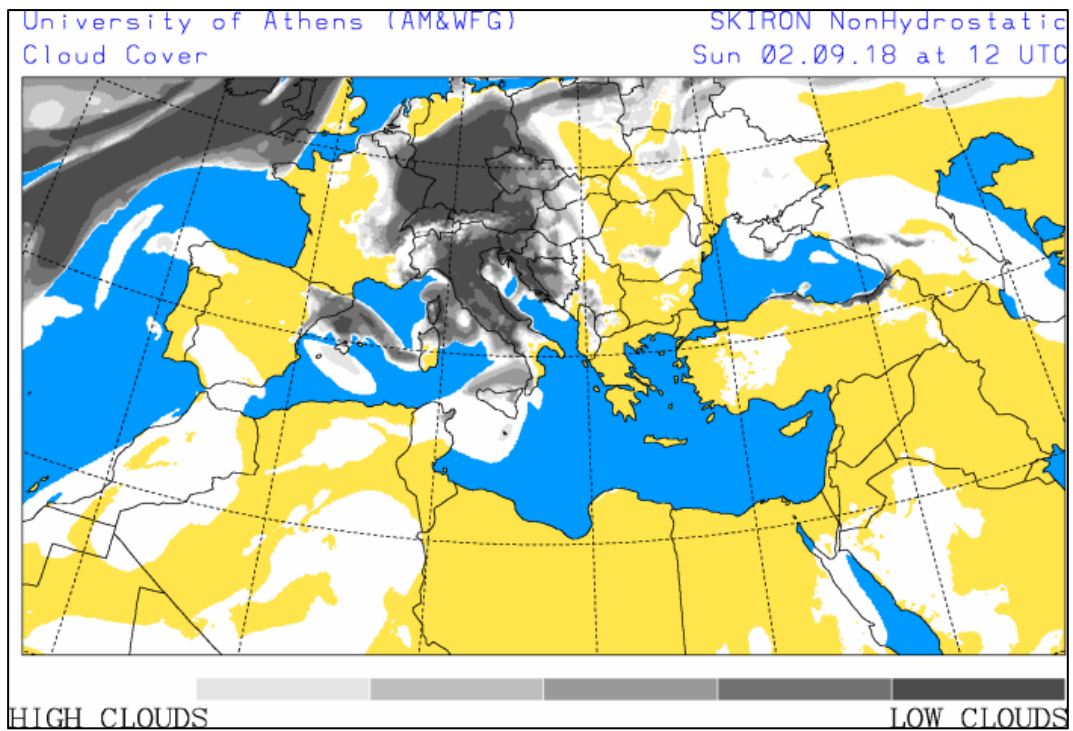
Το Σύστημα ΣΚΙΡΩΝ αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου "Ανάπτυξη ενός συστήματος πρόγνωσης καιρού μεγάλης ακρίβειας σε υπολογιστές υψηλών επιδόσεων" του ΕΠΕΤ ΙΙ. Κατά τη διάρκεια του έργου, το μοντέλο ETA αναπτύχθηκε περαιτέρω στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, με σκοπό την εφαρμογή του στην περιοχή της Μεσογείου, δίνοντας μάλιστα πολύ καλά αποτελέσματα στην πρόγνωση ακραίων καιρικών φαινομένων. Ακολουθώντας τις σημερινές τάσεις της μετεωρολογικής κοινότητας, ο κώδικας του μοντέλου παραλληλοποιήθηκε πλήρως και μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα κατανεμημένης μνήμης.

Το ολοκληρωμένο Σύστημα πρόγνωσης καιρού ΣΚΙΡΩΝ έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί επιχειρησιακά στην ΕΜΥ, γεγονός που επιτρέπει στην ΕΜΥ να είναι πιο αυτοδύναμη και να παρέχει βελτιωμένη πρόγνωση καιρού για τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο, να παρέχει προϊόντα υπηρεσιών υψηλών απαιτήσεων σε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς, όσον αφορά την έγκαιρη πρόβλεψη ακραίων καιρικών φαινομένων (επεισοδίων ρύπανσης, θυελλωδών ανέμων, έντονων βροχοπτώσεων ή χιονοπτώσεων, παγετού) με σκοπό την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και τεχνολογικών κινδύνων, να παρέχει υψηλής ευκρίνειας προγνώσεις για εφαρμογές των Ενόπλων Δυνάμεων και να μπορεί να υποστηρίξει και να προωθήσει το ολοκληρωμένο σύστημα πρόγνωσης καιρού στη διεθνή αγορά.

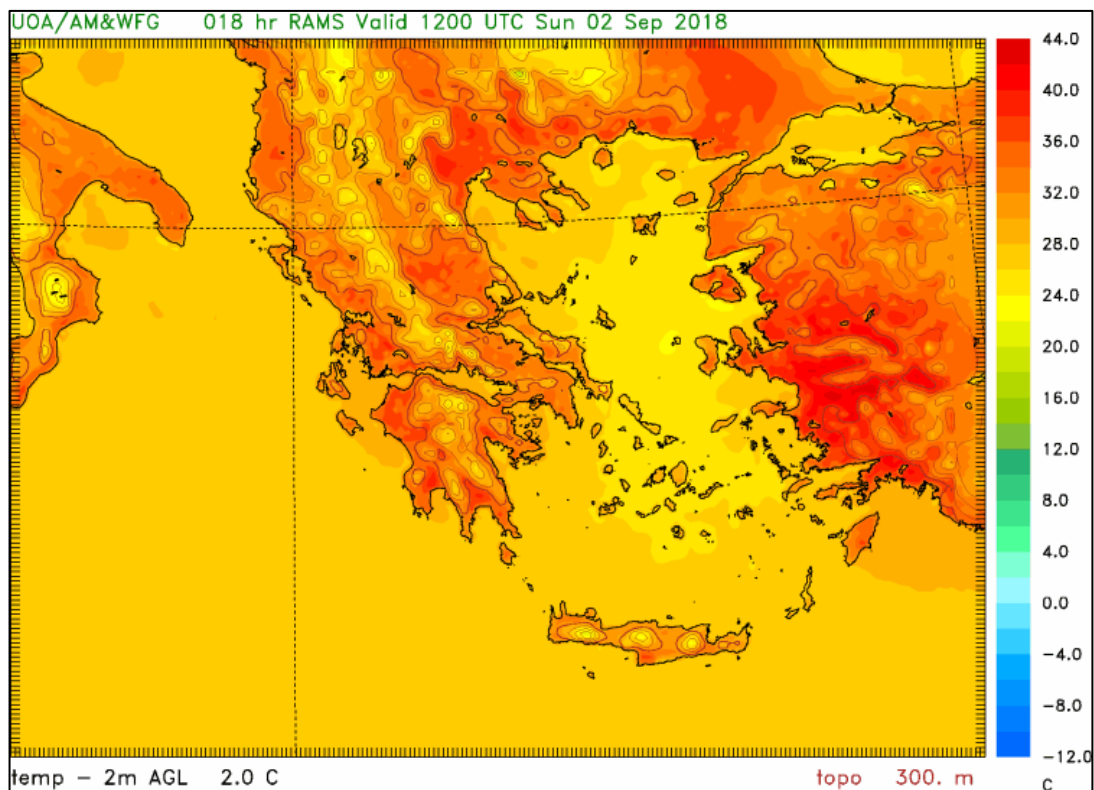
Στην ΕΜΥ, το σύστημα ΣΚΙΡΩΝ εφαρμόζεται στην παράλληλη πλατφόρμα HP/SPP1600 EXEMPLAR χρησιμοποιώντας 16 CPUs. Η υπολογιστική πλατφόρμα που διαθέτει η ΕΜΥ είναι η ισχυρότερη αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα και χρηματοδοτήθηκε από το παραπάνω έργο.

Το Σύστημα ΣΚΙΡΩΝ χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς σκοπούς στο Εργαστήριο Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Επίσης, χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων (MEDUSE: για την πρόγνωση παραγωγής-μεταφοράς-εναπόθεσης σκόνης στη Μεσόγειο, MAMCS: για τη μελέτη του κύκλου του υδραργύρου στην Ευρώπη).

Για την πραγματοποίηση του έργου έχουν συνεργαστεί το Τμήμα Φυσικής και το Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, η ΕΜΥ, το Εργαστήριο Υπολογιστών Υψηλών Επιδόσεων Αθηνών (ΕΡΥΥΕΑ) και οι εταιρείες Brainware A.E. και ITC A.E. [37]



**Εικόνα 9.2** Νεφοκάλυψη στην περιοχή της Μεσογείου (Πανεπιστήμιο Αθηνών – ΣΚΙΡΩΝ) [38]



**Εικόνα 9.3** Χάρτης θερμοκρασίας στον Ελλαδικό χώρο (Πανεπιστήμιο Αθηνών – Σκίρων) [38]

## 9.4 Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα πρόγνωσης καιρού και κατάστασης θαλασσών που λειτουργεί επιχειρησιακά στο Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ). Το προγνωστικό σύστημα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ περιλαμβάνει ειδική έκδοση του συστήματος ΣΚΙΡΩΝ, με το data assimilation system LAPS και SKIRON/DUST. Πρόσφατα παραδόθηκε η αναβάθμιση του συστήματος POSEIDON από τη Φάση I στη Φάση II στο ΕΛΚΕΘΕ. [38]

Το σύστημα πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ αναπτύχθηκε την περίοδο 1997-2000 στα πλαίσια του προγράμματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ-I. Ο πρωταρχικός στόχος ήταν ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου και υπολογιστικά αποτελεσματικού συστήματος για τη δημιουργία υψηλής ακρίβειας δεδομένων, ιδιαίτερα χρήσιμων για την πρόγνωση των τοπικών ατμοσφαιρικών συνθηκών και για την τροφοδοσία των προγνωστικών κυματικών και υδροδυναμικών μοντέλων καθώς και του προγνωστικού μοντέλου οικοσυστήματος του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ με αναλυτικά πεδία επιφανειακών ροών ορμής, υγρασίας, θερμότητας, ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος) και βροχόπτωσης.

Το σύστημα πρόγνωσης καιρού με τη δυνατότητα της λειτουργίας των επάλληλων πλεγμάτων είναι επιχειρησιακό από τον Οκτώβριο 1999, παρέχοντας τριήμερες (72 ώρες) προγνώσεις καιρού για δύο διαφορετικές περιοχές με διαφορετική ευκρίνεια. Το αραιό πλέγμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, της Μεσογείου και της Βόρειας Αφρικής, ενώ το πυκνό πλέγμα καλύπτει την Ανατολική Μεσόγειο.

Η κεντρική συνιστώσα του συστήματος είναι το σύστημα SKIRON/ETA, το οποίο είναι μια τροποποιημένη έκδοση του ατμοσφαιρικού μοντέλου ETA/NCEP.

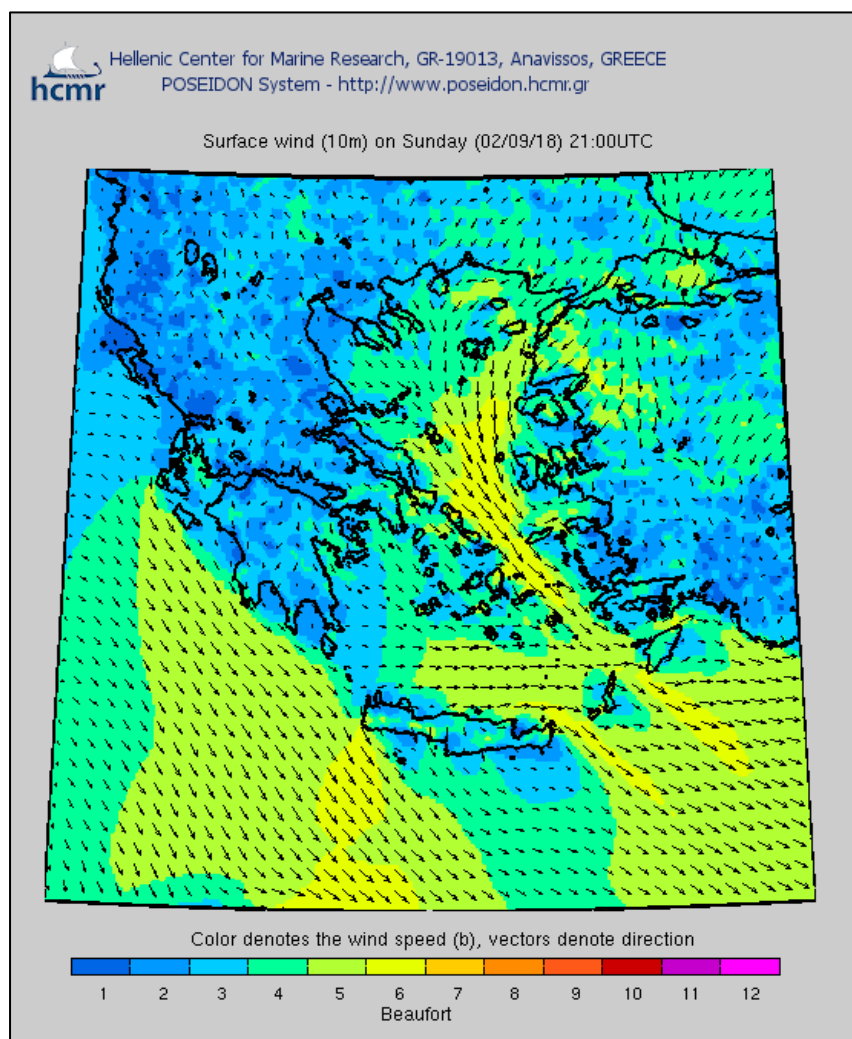
Στη διάρκεια της επιχειρησιακής λειτουργίας του συστήματος πραγματοποιήθηκαν διάφορες βελτιώσεις/τροποποιήσεις. Όμως, στα πλαίσια του προγράμματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ-II (2005-2008) και σε συνεργασία με την Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού του Πανεπιστημίου Αθηνών επιτεύχθηκε η σημαντικότερη αναβάθμιση του συστήματος, στην οποία συμπεριλαμβάνονται:

- Η εγκατάσταση της τελευταίας μη υδροστατικής έκδοσης του ατμοσφαιρικού μοντέλου SKIRON/ETA.
- Η ανάπτυξη μοντέρνων σχημάτων παραμετροποίησης των κύριων φάσεων του κύκλου ζωής της εδαφικής σκόνης για την εκτίμηση των διεργασιών παραγωγής, διάχυσης, μεταφοράς και εναπόθεσης, λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων σκόνης.
- Η εφαρμογή ενός τρισδιάστατου πακέτου αφομοίωσης δεδομένων, του Local Analysis Prediction System (LAPS), για την δημιουργία πεδίων ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας. Το σύστημα LAPS χρησιμοποιεί τα GFS/NCEP πεδία ανάλυσης παγκόσμιας κάλυψης προκειμένου να δημιουργήσει τρισδιάστατα



πεδία πρώτης εκτίμησης. Στη συνέχεια ενσωματώνει όλες τις διαθέσιμες επιφανειακές και ανώτερης ατμόσφαιρας παρατηρήσεις πραγματικού χρόνου, και τελικά παράγει πεδία ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας (περίπου 15 χλμ.) που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των αρχικών συνθηκών του ατμοσφαιρικού μοντέλου. Για τις πλευρικές συνθήκες χρησιμοποιούνται τα προγνωστικά πεδία GFS/NCEP που είναι διαθέσιμα ανά 3 ώρες.

Το σύστημα πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ-II λειτουργεί επιχειρησιακά από το Δεκέμβριο 2007 και εφαρμόζεται με οριζόντια ανάλυση  $1/20^\circ \times 1/20^\circ$  (~5 χλμ.) σε μια εκτεταμένη περιοχή που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Μεσόγειου, της Μαύρης Θάλασσας και μεγάλο μέρος της Βόρειας Αφρικής και της Ασίας. Στο κατακόρυφο χρησιμοποιούνται 50 επίπεδα που επεκτείνονται μέχρι το ύψος των 25 χλμ. περίπου. Επίσης χρησιμοποιούνται από το NCEP δεδομένα ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας, για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, του πάχους χιονιού και της κάλυψης από πάγο. Η διάρκεια προσομοίωσης έχει επεκταθεί σε 120 ώρες (5 ημέρες). [39]



**Εικόνα 9.4 Άνεμος επιφάνειας (10μ.) (Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ) [39]**

## 9.5 Παγκόσμιο σύστημα πρόβλεψης καιρού G.F.S.

Το Παγκόσμιο Σύστημα Πρόγνωσης (GFS) είναι ένα μοντέλο πρόγνωσης καιρού που παράγεται από τα Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης (NCEP). Δεκάδες μεταβλητές της ατμόσφαιρας και του εδάφους είναι διαθέσιμες μέσω αυτού του συνόλου δεδομένων, από τις θερμοκρασίες, τους ανέμους και τις βροχοπτώσεις έως την υγρασία του εδάφους και τη συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού όζοντος. Ολόκληρη η γη καλύπτεται από το GFS σε βασική οριζόντια ανάλυση 28 μιλίων (28 χιλιόμετρα) μεταξύ των σημείων πλέγματος, η οποία χρησιμοποιείται από τους επιχειρησιακούς προγνώστες που προβλέπουν καιρικές συνθήκες έως και 16 ημέρες στο μέλλον. Η οριζόντια ανάλυση πέφτει στα 44 μίλια (70 χιλιόμετρα) μεταξύ των σημείων πλέγματος, για προβλέψεις μεταξύ μιας εβδομάδας και δύο εβδομάδων.

Το μοντέλο GFS είναι ένα συζευγμένο μοντέλο, το οποίο αποτελείται από τέσσερα ξεχωριστά μοντέλα (μοντέλο ατμόσφαιρας, μοντέλο ωκεανών, μοντέλο εδάφους / εδάφους και μοντέλο θαλάσσιου πάγου), τα οποία συνεργάζονται για να παρέχουν μια ακριβή εικόνα των καιρικών συνθηκών. Οι αλλαγές πραγματοποιούνται τακτικά στο μοντέλο GFS για να βελτιώσουν την απόδοσή του και την ακρίβεια της πρόβλεψης. Πρόκειται για ένα διαρκώς εξελισσόμενο και βελτιωμένο μοντέλο καιρού. Τα στοιχεία με βάση το πλέγμα, είναι διαθέσιμα για λήψη μέσω του Εθνικού Αρχείου Επιχειρησιακών Αρχείων και του Συστήματος Διανομής (NOMADS) του NOAA. Τα προϊόντα πρόβλεψης και περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το GFS είναι διαθέσιμα στην αρχική σελίδα της ιστοσελίδας του GFS.

Πριν από τον Ιανουάριο του 2003, το GFS ήταν γνωστό ως μοντέλο GFS Aviation (AVN) και μοντέλο GFS Medium Range Forecast (MRF). Το GFS, είναι το μόνο παγκόσμιο μοντέλο που διαθέτει βάσει νομοθεσίας των Η.Π.Α. τα αποτελέσματα δωρεάν στο διαδίκτυο, επιτρέποντας έτσι την εκτέλεση εκατοντάδων περιοχικών μοντέλων σε όλο τον κόσμο, προς όφελος εκατοντάδων εκατομμυρίων χρηστών παγκοσμίως. [40]

## 9.6 Συμπεράσματα

Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των λειτουργικών συστημάτων αριθμητικής πρόγνωσης καιρού, βελτιώθηκαν σημαντικά τα τελευταία δέκα χρόνια. Αυτές οι εξελίξεις επιτεύχθηκαν κυρίως με τη βελτίωση των διαδικασιών αφομοίωσης δεδομένων, την εισαγωγή νέων ή βελτιωμένων τύπων παρατήρησης, την ενίσχυση των διαδικασιών φυσικής παραμετροποίησης καθώς και την βελτιωμένη κατακόρυφη και οριζόντια ανάλυση των μοντέλων. Περαιτέρω πρόοδος στην ποιότητα της πρόγνωσης κατά την επόμενη δεκαετία είναι πιθανή και θα πρέπει να επιτευχθεί με την αύξηση της χωρικής και χρονικής ανάλυσης των επιφανειακών παρατηρήσεων, σε περιοχές με αραιά δεδομένα. [33]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Η επίδραση των καιρικών φαινομένων στις αποδόσεις του δείκτη υψηλής κεφαλαιοποίησης του Χρηματιστηρίου Αξιών Αθηνών, Διπλωματική εργασία, Μάλλιου Γ., Πειραιάς 2013

[2] Wikipedia – Weather forecasting  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_forecasting](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_forecasting)

[3] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Γενική Κλιματολογία  
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc431e/th/Climatology.pdf>

[4] Met Office <https://www.metoffice.gov.uk/news/in-depth/d-day-70th-anniversary>

[5] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία <http://www.hnms.gr/emv/el/>

[6] Λαζαρίδου - Αθανασιάδου Μάρθα, ΤΕΙ Καβάλας, Τμήμα Δασοπονίας και διαχείρισης φυσικού περιβάλλοντος  
<http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/meteorologia.pdf>

[7] Space.com <https://www.space.com/17683-earth-atmosphere.html>

[8] Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Φυσικής, Η Ατμόσφαιρα της Γης  
<http://ph334.edu.physics.uoc.gr/book/Chapter1-ph334-2016.pdf>

[9] Μετεωρολογική Υπηρεσία, Στοιχεία Μετεωρολογίας, 2011

[10] Στάθης Δημ., Μαθήματα Δασικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2015

[11] Ψύχα Αικ., Σημειώσεις Ναυτικής Μετεωρολογίας

[12] National Geographic  
<https://www.nationalgeographic.org>

[13] Ελληνικό Εικονικό ACC (HvACC)  
<https://library.hvacc.org/about-hvacc>

[14] North Carolina Climate Office  
<https://climate.ncsu.edu/edu/Structure>

[15] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Γενική Κλιματολογία  
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc431e/th/Climatology.pdf>

[16] Ψύχα Αικ., Μηνογιάννης Μ., Ναυτική Μετεωρολογία, Αθήνα 2016

- [17] Space.com <https://www.space.com/17816-earth-temperature.html>
- [18] Wikipedia <https://www.wikipedia.org/>
- [19] Georgia State University  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/globair.html>
- [20] NCAR- National Center for Atmospheric Research  
<https://climatedataguide.ucar.edu/variables/atmosphere/air-temperature>
- [21] TEI Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης  
<https://eclass.teiimt.gr/modules/document/file.php/FD118/%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%9F/Lab9.pdf>
- [22] Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (TEI) Θεσσαλίας  
<http://e-class.teilar.gr/>
- [23] Υπουργείο Εθνικής Παιδείας Και Θρησκευμάτων, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας, Εισαγωγή στη Μετεωρολογία, Δεκέμβριος 2007
- [24] Μάρης Φ., Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης,  
Τεχνική Υδρολογία  
[https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/ENG111/2ο%20Κεφάλαιο%20Θεωρία\\_Κατακρημνίσματα.pdf](https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/ENG111/2ο%20Κεφάλαιο%20Θεωρία_Κατακρημνίσματα.pdf)
- [25] Noesis - Κέντρο Διάδοσης Επιστημών & Μουσείο Τεχνολογίας  
<https://www.noesis.edu.gr/επιστήμη-και-τεχνολογία/περιβάλλον/εκθετήριο/υγρόμετρο/>
- [26] Λαζαρίδου - Αθανασιάδου Μάρθα, TEI Καβάλας, Τμήμα Δασοπονίας και διαχείρισης φυσικού περιβάλλοντος  
[http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/iliaki\\_aktinovolvia.pdf](http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/iliaki_aktinovolvia.pdf)
- [27] Ηλιακό Φάσμα  
<https://sites.google.com/site/altereclass/eliako-phasma>
- [28] EVAL <http://www.eval.gr/>
- [29] Alibaba.com <http://italian.alibaba.com/>
- [30] Physic lessons  
[http://physiclessons.blogspot.com/2012/03/blog-post\\_874.html#.W6qYY2gzaUk](http://physiclessons.blogspot.com/2012/03/blog-post_874.html#.W6qYY2gzaUk)
- [31] Κοτρώνη Β., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εισαγωγή στην αριθμητική πρόγνωση καιρού – Μετεωρολογικά μοντέλα,  
<http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/hydrometeo/MeteoModelsSM.pdf>
- [32] Harry R. Glahn and Dale A. Lowry, “The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting”, 1972, Journal of Applied Meteorology

- [33] G.C. Schulze, “Atmospheric observations and numerical weather prediction”, 2007, South African Journal of Science
- [34] World Meteorological Organization  
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/GOS/ABO/AMDAR/About.html>
- [35] HellenicWeather  
<http://www.hellenicweather.com/eidi-prognostikon-montelon-kairoy>
- [36] ECMWF <https://www.ecmwf.int/>
- [37] Meteoclub <http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopedia/1466-systima-skyron>
- [38] Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής  
<http://forecast.uoa.gr/forecastnew.php>
- [39] Σύστημα Ποσειδών, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών  
[http://poseidon.hcmr.gr/listview\\_gr.php?id=114](http://poseidon.hcmr.gr/listview_gr.php?id=114)
- [40] NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration  
<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>