

## 2. Η ατμόσφαιρα της Γης

*Στο δεύτερο κεφάλαιο καταρχήν αναφέρονται τα γενικά στοιχεία για τις λειτουργίες της ατμόσφαιρας και τις θεωρίες προέλευσης. Στη συνέχεια παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τη σύσταση της ατμόσφαιρας, τη σημασία του κάθε αερίου και τον τρόπο με τον οποίο τα αέρια εισέρχονται και απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα. Τέλος, περιγράφεται η κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας, η έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης και ο ρόλος της από οικολογική άποψη.*

### 2.1 Γενικά

Ατμόσφαιρα καλείται το λεπτό αεριώδες τμήμα που περιβάλλει τη Γη, το οποίο συγκρατείται λόγω της βαρύτητας και ακολουθεί τις κινήσεις της Γης. Η ατμόσφαιρα επιτελεί σημαντικές λειτουργίες για όλες τις διεργασίες του πλανήτη και ιδιαίτερα για τη ζωή πάνω στη Γη. Αποτελεί ασπίδα της Γης, προστατεύοντάς την από την εισβολή αστρικών σωμάτων, τα οποία εισερχόμενα στην ατμόσφαιρα καίγονται σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά φιλτράρουν επίσης την επιβλαβή ακτινοβολία, αστρική και ηλιακή (υπεριώδης). Δίνει τροφή στα φυτά (και έμμεσα στα ζώα), παρέχοντας το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης μετατρέπεται σε οργανική ύλη. Δίνει το απαραίτητο για την αναπνοή οξυγόνο στα (αερόβια) έμβια όντα. Αποτελεί τον κύριο θερμοστάτη του πλανήτη (δεύτερος είναι το νερό, κυρίως της θάλασσας) ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία σε επίπεδα που κάνουν τη Γη φιλόξενη στη ζωή. Είναι το μέσο στο οποίο συμβαίνουν σημαντικές διεργασίες ανταλλαγής ενέργειας και μάζας (Μαχαίρας & Μπαλαφούτης, 1985). Μια από τις σημαντικότερες συνέπειες αυτών των ανταλλαγών είναι ο κύκλος του νερού που παρέχει το καθαρό νερό που χρειάζονται τα έμβια όντα τα οποία ζουν στη στεριά. Η ατμόσφαιρα προκαλεί τους χρωματισμούς του ουρανού και των νεφών, ενώ συγχρόνως αποτελεί το μέσο διάδοσης του ήχου και της διάχυσης του φωτός.

### 2.2 Προέλευση και σύσταση της ατμόσφαιρας

Η σύσταση της ατμόσφαιρας κατά τον σχηματισμό της Γης πριν 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια διέφερε σημαντικά από τη σημερινή ατμόσφαιρα. Στην πορεία εξέλιξης της η ατμόσφαιρα πέρασε από διαφορετικές καταστάσεις και τελικά έφτασε στη σημερινή της μορφή. Οι επιστήμονες δεν είναι σίγουροι για την προέλευση της ατμόσφαιρας της Γης και για το θέμα έχουν προταθεί διάφορες θεωρίες. Η επικρατούσα άποψη θεωρεί ότι η Γη σχηματίστηκε διαμέσου διεργασιών κατά τις οποίες δεν πήραν μέρος αέρια αλλά στερεά υλικά και μετεωρίτες. Τα αέρια που ήταν παρόντα χάθηκαν σύντομα μετά τον σχηματισμό της Γης. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, εφόσον δεν υπήρχε ατμόσφαιρα με τον σχηματισμό της Γης, πιστεύεται ότι η ατμόσφαιρα σχηματίστηκε από συστατικά που προήλθαν από το εσωτερικό της, κυρίως από εκρήξεις ηφαιστειών. Τα αέρια που εκλύονται από τα ηφαίστεια αποτελούνται από υδρατμούς (85%), διοξείδιο του άνθρακα (10%) και άλλα αέρια, όπως το άζωτο και ο φωσφόρος (5%). Για να γίνει κατανοητό πώς προέκυψε η σημερινή ατμόσφαιρα είναι απαραίτητο να εξετάσουμε την ατμόσφαιρα ως ενότητα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα με τα ακόλουθα στοιχεία:

1. ατμόσφαιρα (ο χώρος πάνω από την επιφάνεια της Γης),

2. λιθόσφαιρα (το στερεό επιφανειακό στρώμα της Γης),
3. υδρόσφαιρα (το συνολικό νερό στο σύστημα),
4. βιόσφαιρα (το σύνολο των φυτικών και ζωικών οργανισμών της Γης).

Η ατμόσφαιρα αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο με μικρές ποσότητες άλλων αερίων, όπως υδρατμούς και διοξείδιο του άνθρακα. Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν σύννεφα υγρού νερού και κρυστάλλων πάγου. Αν και η ατμόσφαιρα εκτείνεται προς τα πάνω για πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα, σχεδόν το 99% της ατμόσφαιρας περιέχεται εντός 80 km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Δεν υπάρχει πεπερασμένο ανώτερο όριο στην ατμόσφαιρα, αλλά γίνεται ολοένα αραιότερη και τελικά συγχωνεύεται με το κενό διάστημα που περιβάλλει όλους τους πλανήτες.

Ο Πίνακας 2.1 δείχνει την αναλογία κατ' όγκο των διαφόρων αερίων του αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης. Όπως παρατηρούμε, το άζωτο καταλαμβάνει περίπου το 78% και το οξυγόνο περίπου το 21% του συνολικού όγκου. Εάν αφαιρεθούν όλα τα υπόλοιπα αέρια, οι εν λόγω αναλογίες αζώτου και οξυγόνου διατηρούνται σχεδόν σταθερές σε ύψος περίπου 80 km. Κοντά στην επιφάνεια της Γης, παρατηρείται ένα ισοζύγιο στη συγκέντρωση των αερίων, δηλαδή όσα μόρια ενός αερίου καταστρέφονται σε μια χρονική στιγμή, αλλά τόσα μόρια του αερίου αυτού δημιουργούνται στον ίδιο χρόνο.

### 1. Μόνιμα αέρια

Αέριο	Σύμβολο	% ξηρού αέρα (σε όγκο)
Άζωτο	N <sub>2</sub>	78.08
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	20.95
Αργό	Ar	0.93
Νέον	Ne	0.0018
Ήλιο	He	0.0005
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	0.00006
Ξένο	Xe	0.000009

### 2. Μεταβλητά αέρια (και σωματίδια)

Αέριο	Σύμβολο	% ξηρού αέρα (σε όγκο)
Υδρατμοί	H <sub>2</sub> O	0 έως 4
Διοξείδιο του Άνθρακα	CO <sub>2</sub>	0.035 (335)*
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	0.00017 (1.7)*
Οξείδιο του Αζώτου	N <sub>2</sub> O	0.00003 (0.3)*
Όζον	O <sub>3</sub>	0.000004 (0.04)*
Σωματίδια (σκόνη, αιθάλη, κ.λπ.)		0.000001 (0.01)*
Χλωροφθοράνθρακες	CFC	0.00000001 (0.001)*

\*Σημείωση: Για τα αέρια με πολύ μικρές συγκεντρώσεις, αντί της εκατοστιαίας αναλογίας χρησιμοποιούνται σχέσεις που συνδέουν όγκους ή μάζα. Συνήθως αυτές εκφράζουν συγκεντρώσεις σε μέρη ανά εκατομμύριο ή πολλαπλάσια αυτού. Διεθνώς αυτά τα μεγέθη εκφράζονται σε ppm, ppmm, ppb. Έτσι, για το διοξείδιο του άνθρακα, τα 335 ppm δηλώνουν ότι σε ένα εκατομμύριο μόρια αέρα τα 335 είναι μόρια CO<sub>2</sub>.

**Πίνακας 2.1** Σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης.

#### 2.2.1 Άζωτο

Είναι το αφθονότερο ατμοσφαιρικό αέριο και αποτελεί το 78% του όγκου της ατμόσφαιρας. Αποτελεί απαραίτητο συστατικό όλων των ζωντανών οργανισμών και χρησιμοποιείται από αυτούς για την

παραγωγή ενός αριθμού συνθέτων οργανικών μορίων, όπως είναι τα αμινοξέα, οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα (DNA, RNA). Σχεδόν στο σύνολό του, το άζωτο βρίσκεται στην ατμόσφαιρα με μικρές μόνο ποσότητες στη βιόσφαιρα και σε μικρές αποθέσεις βιολογικής προέλευσης. Το άζωτο είναι αδρανές και χρησιμεύει στην ατμόσφαιρα κυρίως στην αραίωση του οξυγόνου, μειώνοντας έτσι τη δραστηριότητά του, με αποτέλεσμα όλες οι οξειδώσεις στη φύση, η καύση και η σήψη, να προχωρούν με τη γνωστή μικρή φυσική τους ταχύτητα. Ο κύκλος του αζώτου αντιπροσωπεύει έναν από τους πλέον σημαντικούς κύκλους θρεπτικών που συναντάμε στα γήινα οικοσυστήματα. Το άζωτο απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα με φυσικές και βιολογικές διεργασίες που ονομάζονται αζωτοδέσμευση. Κατά τη φυσική αζωτοδέσμευση το άζωτο της ατμόσφαιρας με την απορρόφηση ενέργειας των κεραυνών ενώνεται με το οξυγόνο ή το υδρογόνο, σχηματίζοντας νιτρικά ιόντα ή αμμωνία που μεταφέρονται στο έδαφος με τη βροχή. Η βιολογική αζωτοδέσμευση συμβαίνει με τη δράση των βακτηριδίων του εδάφους, τα βακτήρια μετατρέπουν το ατμοσφαιρικό άζωτο σε νιτρικά ιόντα, μέρος των οποίων μεταφέρεται στα φυτά. Το άζωτο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τη σήψη φυτικού και ζωικού υλικού. Ο κύκλος του αζώτου αντιπροσωπεύει έναν από τους πλέον σημαντικούς κύκλους θρεπτικών που συναντάμε στα γήινα οικοσυστήματα.

### 2.2.2 Οξυγόνο

Το σπουδαιότερο αέριο για τη ζωή στη Γη είναι το οξυγόνο και δεν υπήρχε στην πρώτη ατμόσφαιρα. Τα μόρια των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα περιέχουν οξυγόνο που έχει απελευθερωθεί με τις ηφαιστειακές εκρήξεις διαμέσου της λιθόσφαιρας και της υδρόσφαιρας. Η σημερινή αφθονία του στην ατμόσφαιρα σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση, τη διεργασία των φυτών με την οποία είναι ικανά να παρασκευάζουν την «τροφή» τους με πρώτες ύλες διοξειδίου του άνθρακα, νερό και φως, εκλύοντας οξυγόνο ως παράγωγο αυτής της διεργασίας. Η εμφάνιση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα (περίπου 2 δισεκατομμύρια χρόνια μετά τον σχηματισμό της Γης) ήταν αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης θαλάσσιων οργανισμών και σήμανε την αρχή μιας μεγάλης ατμοσφαιρικής, γεωλογικής και βιολογικής εξέλιξης που έχει οδηγήσει στη σημερινή ατμόσφαιρα και γεωλογική εικόνα της Γης και στην ποικιλία των μορφών ζωής που εξαρτώνται από το οξυγόνο. Το ατμοσφαιρικό οξυγόνο καταναλώνεται με την αναπνοή οργανισμών, την αποσύνθεση νεκρών οργανισμών κάτω από την επίδραση βακτηριδίων, την καύση οργανικών ουσιών (π.χ. πυρκαγιές δασών, καύση πετρελαίου) και διάφορες οξειδωτικές αντιδράσεις. Κατά συνέπεια, αν δεν ανανεωνόταν με τον ίδιο ρυθμό, η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα θα μειωνόταν. Νέες ποσότητες οξυγόνου δημιουργούνται από τις φωτοσυνθετικές αντιδράσεις των φυκιών στη θάλασσα και των φυτών στη στεριά.

### 2.2.3 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) στη γήινη ατμόσφαιρα θεωρείται ιχνοστοιχείο και αντιπροσωπεύει μόλις το 0,035%. Εισέρχεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από τη σήψη των φυτών, αλλά προέρχεται επίσης από τις εκρήξεις των ηφαιστείων, την εκπονή των ζώων, την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και την αποψίλωση των δασών. Η απομάκρυνσή του από την ατμόσφαιρα γίνεται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης εκ μέρους των φυτών, ενώ επίσης τεράστιες ποσότητες  $\text{CO}_2$  διαλύονται άμεσα στα νερά των ωκεανών ή δεσμεύονται από το φυτοπλαγκτόν. Η συγκέντρωση κυμαίνεται εποχικά αλλά και τοπικά. Η διακύμανση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εποχική ανάπτυξη των φυτών στο βόρειο ημισφαίριο. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στον βορρά μειώνονται κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, καθώς το καταναλώνουν τα φυτά, και αυξάνονται το φθινόπωρο και τον χειμώνα με την αποσύνθεση των φυτών. Στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις είναι γενικά υψηλότερες. Πεντακόσια εκατομμύρια χρόνια πριν, το διοξείδιο του

άνθρακα ήταν 20 φορές περισσότερο από ό,τι σήμερα. Κατά τη διάρκεια της Ιουράσιας Περιόδου, μειώθηκε κατά 4 έως 5 φορές, στη συνέχεια παρατηρήθηκε αργή μείωση και περίπου πριν 49 εκατομμύρια χρόνια ταχεία μείωση. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών, έχουν προκαλέσει αύξηση της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 35% από την αρχή της εποχής της εκβιομηχάνισης. Έως και το 40% των αερίων που εκπέμπονται από ορισμένες ηφαιστειακές δραστηριότητες είναι διοξείδιο του άνθρακα. Οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> από τις ανθρώπινες δραστηριότητες ανέρχονται σήμερα περίπου σε 27 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και είναι πολύ περισσότερες από τις ποσότητες που εκλύονται από τα ηφαίστεια. Εκτιμήσεις δείχνουν ότι οι ωκεανοί δεσμεύουν 50 φορές περισσότερο CO<sub>2</sub> σε σχέση με την ατμόσφαιρα. Παρά τη διαλυτική ικανότητα των ωκεανών, το CO<sub>2</sub> παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση της συγκέντρωσης αυτού στην ατμόσφαιρα της Γης, η οποία υπερβαίνει το 10% κατά τα τελευταία πενήντα έτη (Ahrens, 2003).

Το CO<sub>2</sub> είναι ισχυρό θερμοκηπικό αέριο, διότι έχει την ικανότητα να παγιδεύει μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Εκτός από το CO<sub>2</sub>, θερμοκηπική συμπεριφορά παρουσιάζουν επίσης οι υδρατμοί, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και οι χλωροφθοράνθρακες.

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) αποτελούν μια ομάδα θερμοκηπικών αερίων που έχουν παρουσιάσει επίσης σημαντική αύξηση. Εκτός από τη θερμοκηπική τους δράση (αύξηση της θερμοκρασίας), επιδρούν σημαντικά στην καταστροφή του ατμοσφαιρικού όζοντος.

#### 2.2.4 Υδρατμοί

Οι υδρατμοί που περιέχει η ατμόσφαιρα προέρχονται κυρίως από την εξάτμιση των υδάτινων επιφανειών και τη διαπνοή των φυτών. Η ποσότητά τους μεταβάλλεται με τον τόπο και τον χρόνο. Στην τροπική περιοχή μπορεί να πλησιάζουν και το 4% του όγκου της ατμόσφαιρας, ενώ στις πολικές περιοχές αγγίζουν σχεδόν το 0%. Οι λειτουργίες της εξάτμισης και συμπύκνωσης καθορίζουν κυρίως τις διάφορες ατμοσφαιρικές λειτουργίες και αποτελούν μαζί με τις θερμικές μεταβολές τους βασικούς παράγοντες της δημιουργίας των σπουδαιότερων ατμοσφαιρικών διαταράξεων. Οι υδρατμοί διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία απορρόφησης και εκπομπής της ακτινοβολούμενης ενέργειας στην ατμόσφαιρα. Οι διεργασίες των μεταβολών των μορφών του νερού και των μεταβολών της περιεκτικότητας των διαφόρων περιοχών της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς αποτελούν σημαντικές πηγές θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Γενικά οι υδρατμοί είναι ένα από τα σπουδαιότερα, αν όχι το σπουδαιότερο αέριο της ατμόσφαιρας.

#### 2.2.5 Όζον

Το ατμοσφαιρικό όζον (97% της συνολικής πλανητικής ποσότητας) εντοπίζεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, όπου και σχηματίζεται από διάσπαση μορίων οξυγόνου, απελευθερώνοντας έτσι ατομικό οξυγόνο, το οποίο στη συνέχεια ενώνεται με άλλα μόρια οξυγόνου σχηματίζοντας το όζον (O<sub>3</sub>) υπό την επίδραση των ισχυρών υπεριώδων ακτινών που υπάρχουν στο ηλιακό φως. Οι αντιδράσεις φωτοδιάσπασης απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, το οποίο διαφορετικά θα έφτανε στην επιφάνεια της Γης. Είναι γνωστό ότι οι υψηλής ενέργειας υπεριώδεις ακτίνες προκαλούν βλάβες στο DNA των ζώντων οργανισμών. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι το όζον της ατμόσφαιρας αποτελεί την απαραίτητη ασπίδα για την ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στην επιφάνεια της Γης.

Τα τελευταία χρόνια οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επιδράσει αρνητικά στην ύπαρξη του στρατοσφαιρικού όζοντος. Το όζον μπορεί να καταστραφεί από οξείδια του αζώτου και ρίζες χλωρίου. Τα πρώτα προέρχονται από τις καύσεις των μηχανών υπερηχητικών αεροσκαφών και τα δεύτερα από τους χλωροφθοράνθρακες. Οι ρίζες χλωρίου είναι χημικές ενώσεις που δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα

πριν το 1930. Έχουν χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικές ουσίες στα ψυγεία και τα κλιματιστικά και ως προωθητικά στα σπρέι. Όταν διαφύγουν στην ατμόσφαιρα και ανεβούν ψηλά στη στρατόσφαιρα, φωτοδιασπώνται δίνοντας χλώριο, το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με το όζον, αλλά και με το ατομικό οξυγόνο, μειώνοντας τη συγκέντρωσή τους. Έτσι, η χρήση των χλωροφθορανθράκων θεωρείται κυρίως υπεύθυνη για τη δραστική μείωση της συγκέντρωσης όζοντος την άνοιξη πάνω από την Ανταρκτική, φαινόμενο που ονομάζεται «τρύπα του όζοντος». Οι κίνδυνοι που προκαλούνται από τους χλωροφθοράνθρακες έγιναν γνωστοί τη δεκαετία του 1980 και το 1989 υπογράφηκε μια διεθνής συμφωνία, γνωστή ως Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, για τη μείωση της χρήσης και των εκπομπών χλωροφθορανθράκων. Φαίνεται ότι ήδη η συμφωνία έχει αποδώσει καρπούς, αφού παρατηρήθηκαν σημεία ανάκαμψης στη συγκέντρωση του στρατοσφαιρικού όζοντος πάνω από την Ανταρκτική.

Στο επιφανειακό στρώμα της ατμόσφαιρας το όζον αποτελεί στοιχείο του φωτοχημικού νέφους που αποτελεί ρυπογόνο αέριο. Προκαλεί ερεθισμό στα μάτια και στον λαιμό και ζημιές στα φυτά.

Τα επίπεδα του μεθανίου έχουν αυξηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες με ρυθμούς μέχρι 1% ετησίως. Η φυσική του προέλευση είναι τα έλη και η σήψη των φυτών, ενώ η παρατηρούμενη αύξηση οφείλεται στις μεγάλες μονάδες εκτροφής βοοειδών και στις εκτεταμένες καλλιέργειες ρυζιού.

### 2.2.6 Ατμοσφαιρικά αιωρήματα

Στην ατμόσφαιρα αιωρούνται στερεά σωματίδια σε συγκεντρώσεις που ποικίλλουν και προέρχονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Οι άνεμοι παρασύρουν και μεταφέρουν σωματίδια εδάφους, κονιορτό και μόρια χλωριούχου νατρίου, στάχτη και αιθάλη από δασικές πυρκαγιές, στάχτη από ηφαίστεια (Φλόκας & Χρονοπούλου, 2010).

Κάποια από τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν ευεργετικά αποτελέσματα. Αυτά λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών και οδηγούν στον σχηματισμό των νεφών. Τα σωματίδια ανθρωπογενούς προέλευσης (και ορισμένα φυσικής προέλευσης) είναι ρύποι. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το διοξείδιο του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και οι υδρογονάνθρακες.

Με τη δράση της ηλιακής ενέργειας και τη χημική αντίδραση των παραπάνω αερίων παράγεται το όζον. Η χρήση θειούχων καυσίμων, όπως είναι το κάρβουνο και τα υγρά καύσιμα που περιέχουν θείο, απελευθερώνουν με την καύση τους διοξείδιο του θείου και δημιουργείται θειικό οξύ το οποίο με τη βροχή αποτίθεται στην επιφάνεια του εδάφους και στη βλάστηση σαν όξινη βροχή. Η όξινη βροχή αποτελεί σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα στις βιομηχανικές περιοχές που προξενεί βρογχίτιδα και αναπνευστικά προβλήματα αλλά και ξήρανση δένδρων στα δασικά οικοσυστήματα.

## 2.3 Κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας

Το κατακόρυφο προφίλ της ατμόσφαιρας μάς δείχνει ότι αυτή μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορα στρώματα. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από αλληπάλγηλα 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 διάφορα στρώματα με βάση τα θερμικά τους χαρακτηριστικά. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα ακόλουθα στρώματα, ξεκινώντας από την επιφάνεια της Γης ([Σχήμα 2.1](#)):

- Τροπόσφαιρα ( $0 \leq H \leq 11$  km)
- Στρατόσφαιρα ( $11 \leq H \leq 47$  km)

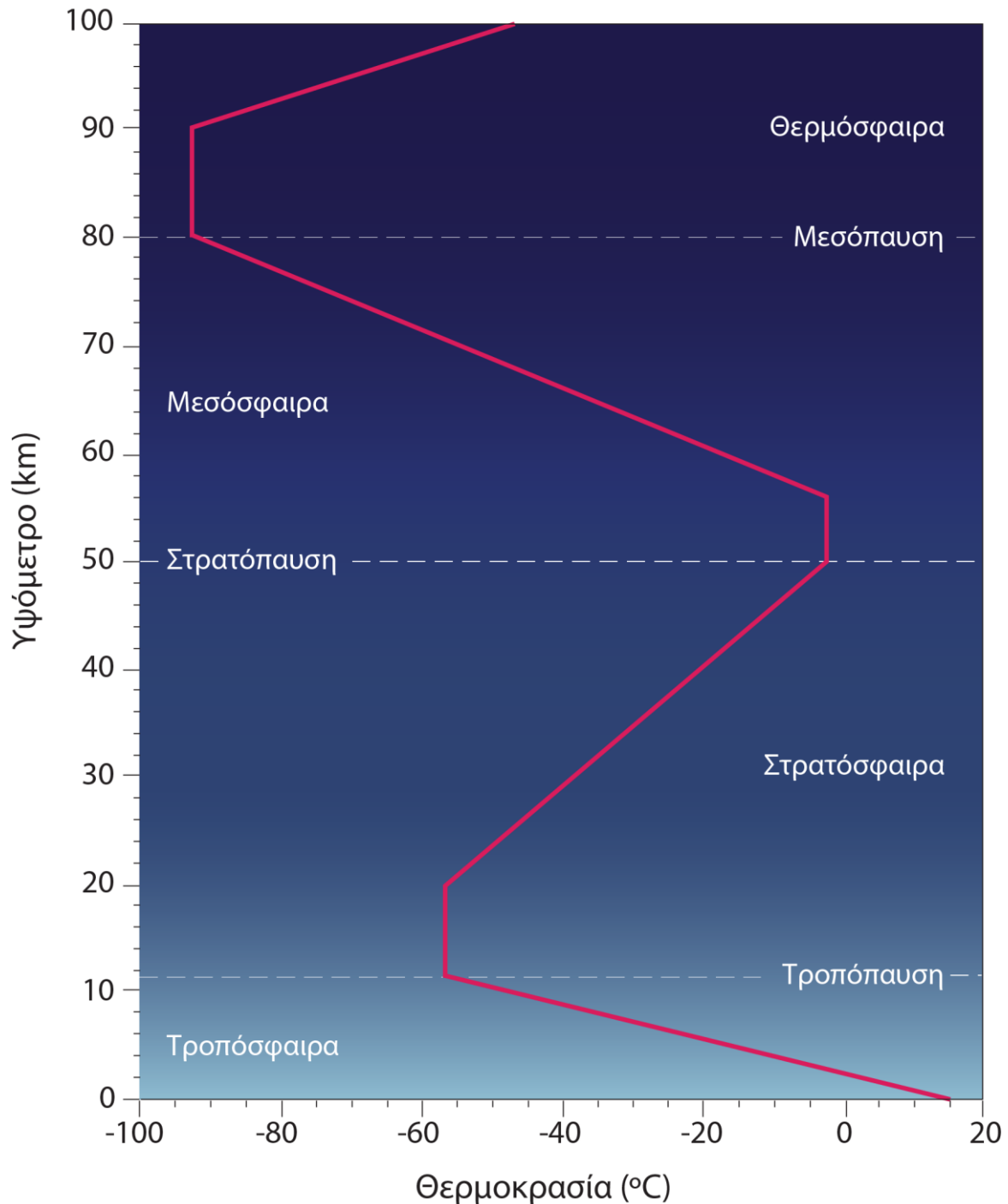
- Μεσόσφαιρα ( $47 \leq H \leq 84.9$  km)
- Θερμόσφαιρα ( $84.9 \leq H$  km)

Μεταξύ των στρωμάτων αυτών παρεμβάλλονται τρεις μεταβατικές ζώνες οι οποίες φέρουν τα ονόματα:

- Τροπόπαυση ( $H = 11$  km)
- Στρατόπαυση ( $H = 47$  km)
- Μεσόπαυση ( $H = 84.9$  km)

Η θερμοκρασία παρουσιάζει μια συνεχή ελάττωση από την επιφάνεια της Γης μέχρι ένα ύψος περίπου 11 km. 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  $6,5^{\circ}\text{C}$  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 km μέσα σε λίγες μόνο ημέρες.

Επάνω από τα 11 km 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.



**Σχήμα 2.1** Τα στρώματα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με το μέσο προφίλ της θερμοκρασίας του αέρα.

Το ισόθερμο στρώμα που χωρίζει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα ονομάζεται τροπόπauση. Το ύψος της τροπόπauσης ποικίλλει 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 τροπόπauση βρίσκεται υψηλότερα το καλοκαίρι και χαμηλότερα το χειμώνα σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη. Σε μερικές περιοχές η τροπόπauση 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 και τους 100 κόμβους (1 κόμβος = 1,9 km/h).

Σε ύψος περίπου 20 km μέσα στην στρατόσφαιρα, η θερμοκρασία του αέρα αρχίζει να αυξάνεται 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 γίνει κατανοητό ότι σε τέτοια υψόμετρα οι θερμοκρασίες παραμένουν αρκετά κάτω του μηδενός. Για παράδειγμα, σε ύψος 30 km οι θερμοκρασίες κατά μέσο όρο κυμαίνονται γύρω στους  $-36^{\circ}\text{C}$ .

Το αίτιο της δημιουργίας της αναστροφής στη στρατόσφαιρα είναι η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων  $\text{O}_3$  στα ύψη αυτά. 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 km και σχηματίζουν την οζονόσφαιρα, αλλά το μέγιστο όριο της θερμοκρασίας συναντάται σε ύψος 50 km. Ο λόγος είναι ότι στο ύψος αυτό η ατμόσφαιρα είναι πολύ αραιότερη σε σχέση με τα 25 km και έτσι η απορρόφηση της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει πολύ περισσότερο τη θερμοκρασία του αραιού αέρα. Εξαιτίας δε της αραιότητας του αέρα δεν είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας προς τα χαμηλότερα ύψη.

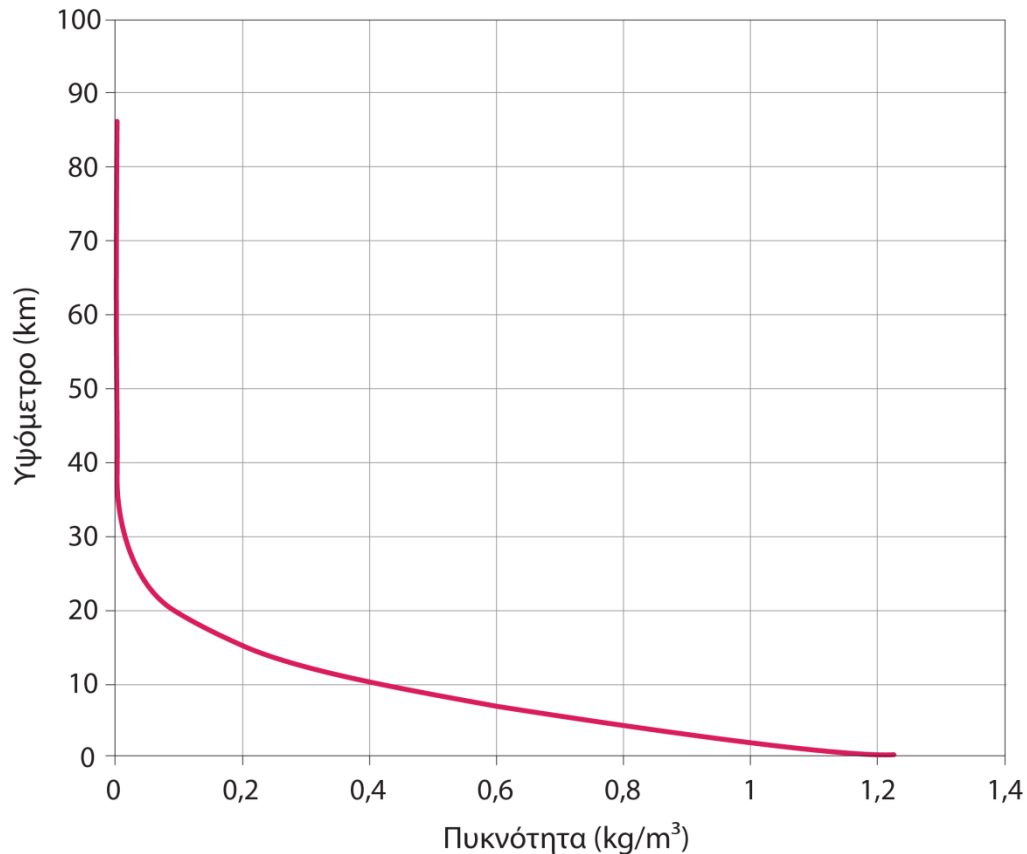
Επάνω από τη στρατόσφαιρα υπάρχει η μεσόσφαιρα. Η ενδιάμεση ισόθερμη επιφάνεια, σε ύψος περίπου 50 km, που χωρίζει τα δύο αυτά στρώματα ονομάζεται στρατόπαυση. Ο αέρας εδώ είναι εξαιρετικά αραιός και η ατμοσφαιρική πίεση πολύ χαμηλή, μόλις 1 hPa ([Σχήμα 2.1](#)), που σημαίνει ότι το 99,9% της ατμοσφαιρικής 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 km, όπου η θερμοκρασία του αέρα απόκτα τη μικρότερη κατά μέσο όρο τιμή των  $-90^{\circ}\text{C}$ .

Το αμέσως επόμενο υπερκείμενο στρώμα ονομάζεται θερμόσφαιρα. Το όριο που ξεχωρίζει το κατώτερο ψυχρό στρώμα της μεσόσφαιρας από τη θερμή θερμόσφαιρα ονομάζεται μεσόπαυση. Στη θερμόσφαιρα τα μόρια του οξυγόνου απορροφούν ηλιακή ενέργεια και θερμαίνουν τον αέρα. Επειδή όμως είναι πολύ λίγα, η απορρόφηση μικρής ποσότητας ενέργειας μπορεί να προκαλέσει μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας.

## 2.4 Η ατμοσφαιρική πίεση

Ο αέρας είναι ευκίνητος, διασταλτός και άκρως συμπιεστός. Τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι πάρα πολύ πυκνότερα σε σχέση με τα ανώτερα. Το 50% σχεδόν της ολικής μάζας του αέρα βρίσκεται στα πρώτα πέντε περίπου χιλιόμετρα της ατμόσφαιρας. Και η μέση πυκνότητα μεταβάλλεται από περίπου  $1,125\text{ kg/m}^3$  στην επιφάνεια της Γης στα  $0,7\text{ kg/m}^3$  σε ύψος 5000 m ([Σχήμα 2.2](#)).





**Σχήμα 2.2** Η ελάττωση της πυκνότητας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το ύψος.

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

## 2.5 Η ατμόσφαιρα από οικολογική άποψη

Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζει καθοριστικά τις συνθήκες διαβίωσης φυτικών και ζωικών οργανισμών. Φως, θερμότητα, υγρασία, σύνθεση και κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα συνεπιδρούν σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες του περιβάλλοντος (Critchfield, 1974). Η επίδραση ενός παράγοντα γίνεται τότε μόνο αισθητή, όταν αυτός βρίσκεται στην περιοχή της ελάχιστης τιμής του. Οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί διαθέτουν μηχανισμούς προσαρμογής στην αντιμετώπιση των δυσμενών επιδράσεων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Goldberg et al., 2012). Με τον τρόπο αυτό οι οργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν σε ένα εύρος τιμών περιβαλλοντικών παραμέτρων πέραν των οποίων η ζωή τους είναι επισφαλής. Το εύρος αυτό διαφοροποιείται έντονα, ανάλογα με το είδος και την ποικιλία των φυτών ή το είδος και τις φυλές των ζώων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η χωροταξική κατανομή των διαφορετικών φυτών και ζώων στον πλανήτη, η οποία καθορίζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του έτους σε κάθε περιοχή. Οι μετεωρολογικές συνθήκες, που διαμορφώνονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους,

παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών (Φλόκας & Χρονοπούλου, 2010). Πολλές φορές οι ατμοσφαιρικές παράμετροι που προσδιορίζονται από ένα μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή δεν εκφράζουν τις μικρομετεωρολογικές συνθήκες που διαμορφώνονται στο περιβάλλον ενός δάσους. Οι μικρομετεωρολογικές συνθήκες στο δασικό περιβάλλον και στις γειτονικές περιοχές απαιτεί μετρήσεις και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Ο ρόλος των περιαστικών δασικών εκτάσεων, όπως και του αστικού πράσινου, είναι σημαντικός στη διαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών και ασκεί ευνοϊκή επίδραση στην αντιμετώπιση της θερμικής και χημικής ρύπανσης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος των πόλεων.

Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, στο οποίο αναπτύσσονται οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί, εκφράζεται ως συνδυασμός των επιμέρους μετεωρολογικών παραμέτρων. Αυτές όμως ασκούν μεμονωμένα ιδιαίτερες επιδράσεις στους έμβιους οργανισμούς και η βαρύτητά τους, ως προς τον ρόλο τους στην ανάπτυξη των φυτών και των ζώων, είναι διαφορετική. Ως παράδειγμα αναφέρεται η ηλιακή ακτινοβολία, που θεωρείται ότι είναι από τις θεμελιώδεις μετεωρολογικές παραμέτρους για την επιβίωση των έμβιων οργανισμών. Η ηλιακή ακτινοβολία δημιουργεί το κατάλληλο περιβάλλον από άποψη θερμοκρασίας για τη διατήρηση των βιολογικών διεργασιών τους και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη φωτοσύνθεση των φυτών και ασκεί σημαντικό ρόλο στην υδατική οικονομία της ατμόσφαιρας.

Από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα η βροχή παίζει σημαντικό ρόλο στη δασική παραγωγή, διότι εφοδιάζει το έδαφος με νερό που είναι απαραίτητο για την επιβίωση και ανάπτυξη των δασικών δένδρων (Ντάφης, 1986). Αντίθετα, ζημιές προκαλούν οι ισχυροί άνεμοι.

### [Ανακεφαλαίωση μαθήματος](#)

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ahrens, D.C. (2003). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Pacific Grove: Brooks Cole.
- Critchfield, H.J. (1974<sup>3</sup>). *General Climatology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Goldberg, V., Mayer, H., Schindler, D., Söhl, D. & Bernhofer, C. (2012). Entwicklungen in der forstlichen Meteorologie. *Agrar- und Forstmeteorologie*. Jahrgang 38, Heft 1/2, pp. 69-79.
- Μαχαίρας, Π. & Μπαλαφούτης, Χ. (1985). *Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με στοιχεία Βιοκλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Ντάφης, Σ. (1986). *Δασική Οικολογία*. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Φλόκας, Α. & Χρονοπούλου, Α. (2010). *Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.