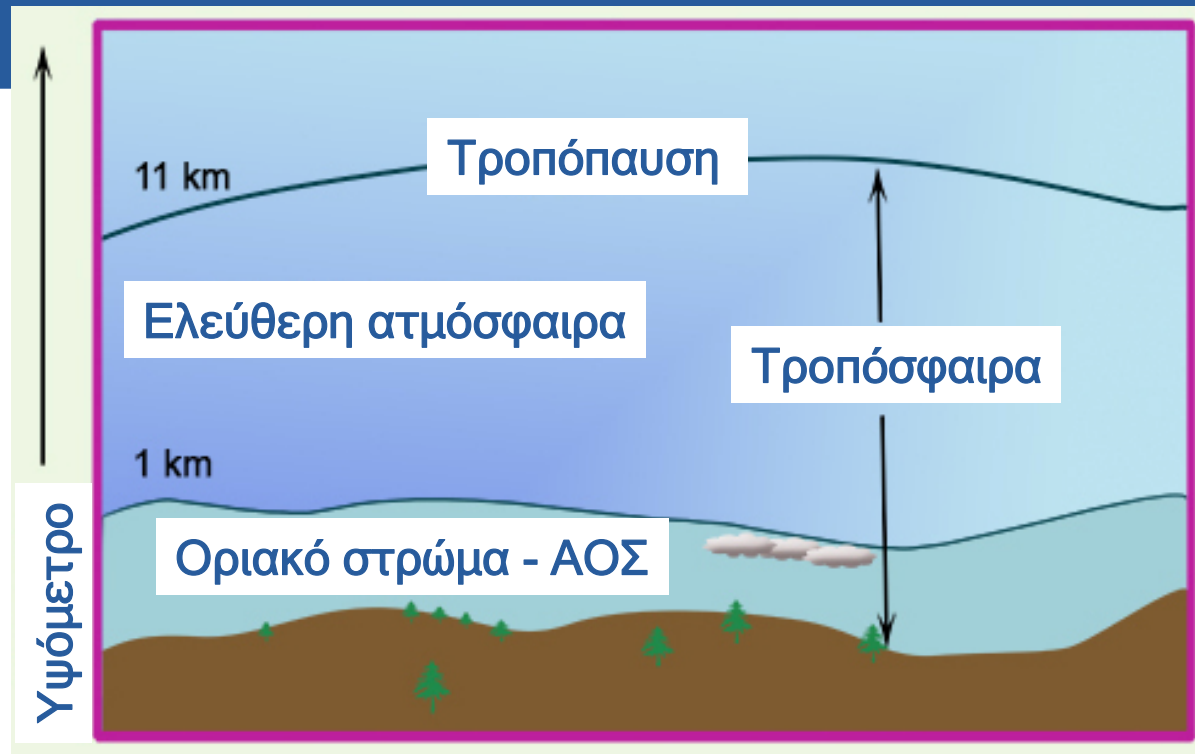


Εργαστήριο Κατεύθυνσης
Φυσικής Περιβάλλοντος - Μετεωρολογίας

ΑΣΚΗΣΗ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας



ΑΟΣ είναι το κατώτερο τμήμα της τροπόσφαιρας το οποίο συνορεύει με την επιφάνεια της Γης και επηρεάζεται άμεσα από την παρουσία της σε χρονική κλίμακα από 10 - 100 λεπτά.

Εκτείνεται από 500 έως 1500 μετρά.

Διαφορές ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος και ελεύθερης ατμόσφαιρας

Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (ΑΟΣ) είναι:

- περισσότερο τυρβώδες
- με μεγαλύτερη τριβή
- με ταχύτερη διασπορά ρύπων
- με μη γεωστροφικούς ανέμους ενώ στην ελεύθερη ατμόσφαιρα συνήθως είναι γεωστροφικοί

Στην ελεύθερη ατμόσφαιρα η επίδραση της τριβής μπορεί να παραληφθεί και η κίνηση του αέρα μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν ιδανικό ρευστό.

Κατακόρυφη δομή του οριακού στρώματος

Επιφανειακό στρώμα (0-100m)

- πολύ έντονη τύρβη
- έντονη κατακόρυφη βαθμίδα θερμοκρασίας-ανέμου-υγρασίας

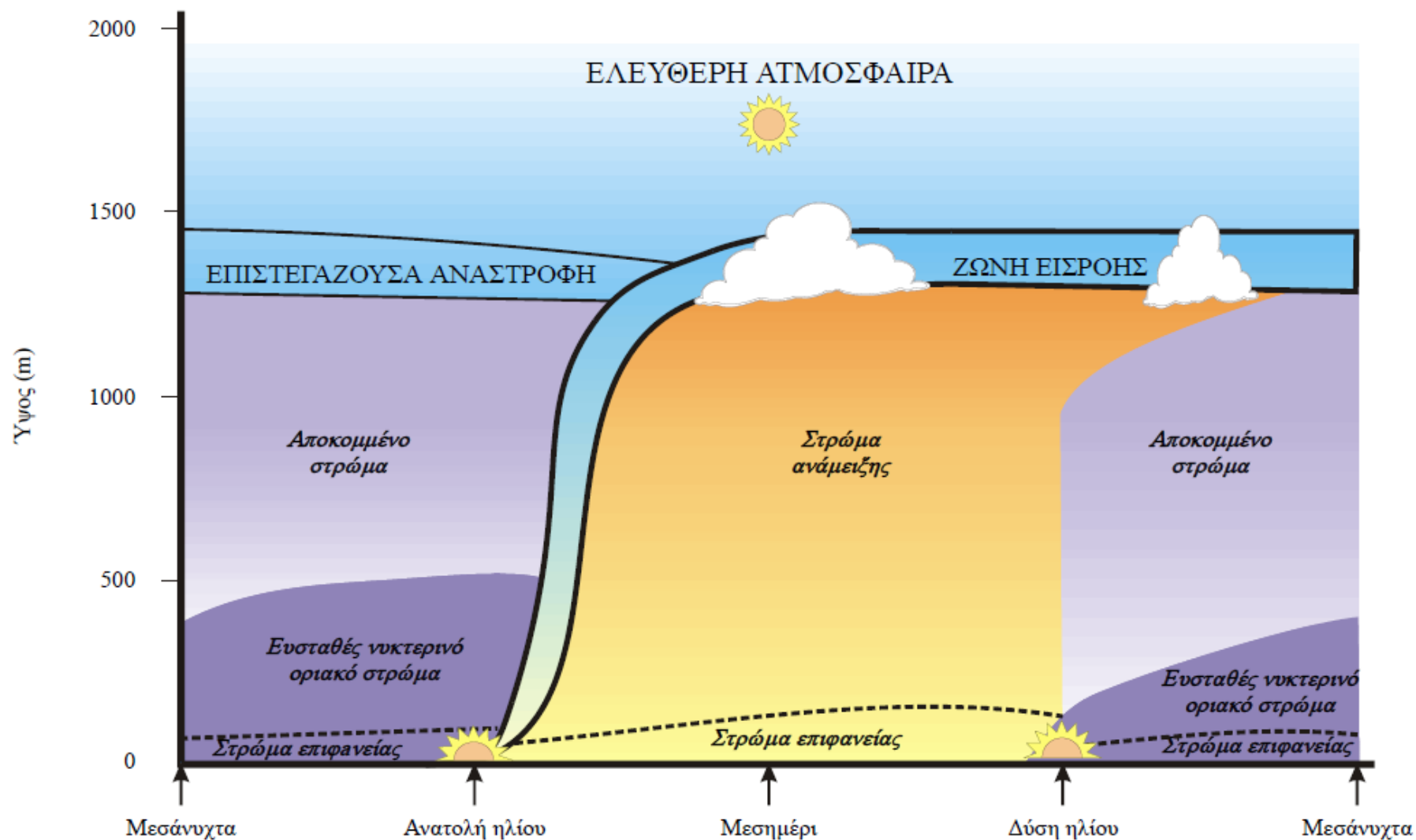
Στρώμα ανάμιξης (100m-1km)

- καλά αναμεμειγμένο
- έντονη τύρβη

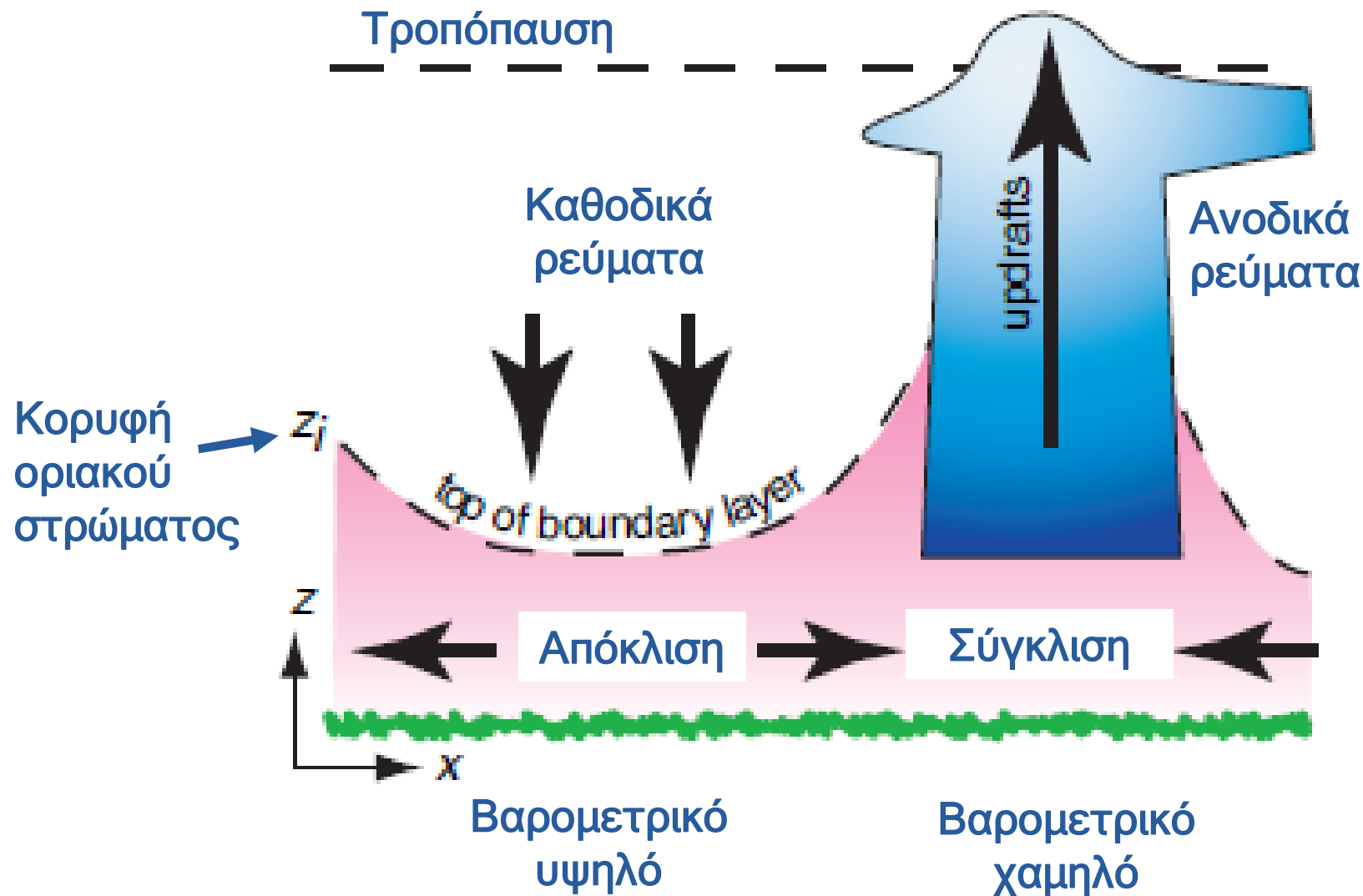
Ζώνη εισροής

- αναστροφή
- διαλείπουσα τύρβη

Ημερήσια πορεία ύψους και δομής του ΑΟΣ



Ύψος ΑΟΣ μεταξύ επιφανειακών κέντρων υψηλής και χαμηλής πίεσης



Ύψος ανάμιξης

Καθορίζει το επίπεδο μέσα στο οποίο επιτυγχάνεται η διάχυση και η διασπορά των ρύπων.

Είναι μεταβλητό στο χώρο και το χρόνο και εξαρτάται από την εποχή, την ώρα της ημέρας, τη συνοπτική κατάσταση και την τραχύτητα του εδάφους.

Έχει μεγάλη σημασία σε πλήθος εφαρμογών (π.χ. κατασκευή μοντέλων διασποράς ρύπων).

Στρώμα ανάμιξης χαμηλού ύψους παγιδεύει τους ρύπους κοντά στην επιφάνεια και δημιουργεί δυσμενείς συνθήκες για τους κατοίκους.

Μέθοδοι υπολογισμού ύψους ανάμιξης

- Έμμεσα από ραδιοβολίσεις θερμοκρασίας, υγρασίας, ανέμου
- Με την τηλεπισκοπική μέθοδο LIDAR (Light Detection And Ranging) η οποία βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας λέιζερ στην ατμόσφαιρα και ακολούθως, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας λέιζερ.

Για όλες τις μεθόδους υπολογισμού ανώτερο όριο για το ύψος ανάμιξης είναι τα **4000 μέτρα**. Εάν δεν βρεθεί μέχρι αυτό το ύψος τότε θεωρείται ότι δεν υφίσταται.

Δυναμική θερμοκρασία

Δυναμική θερμοκρασία (θ) μιας αέριας μάζας ορίζεται ως η θερμοκρασία που θα είχε κατά την αδιαβατική εκτόνωση ή συμπίεση της από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας σε πίεση $p_0=1000\text{hPa}$

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{R/c_p}$$

c_p : ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση ($1004 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)

R : σταθερά ιδανικού αερίου για ξηρό αέρα ($287 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)

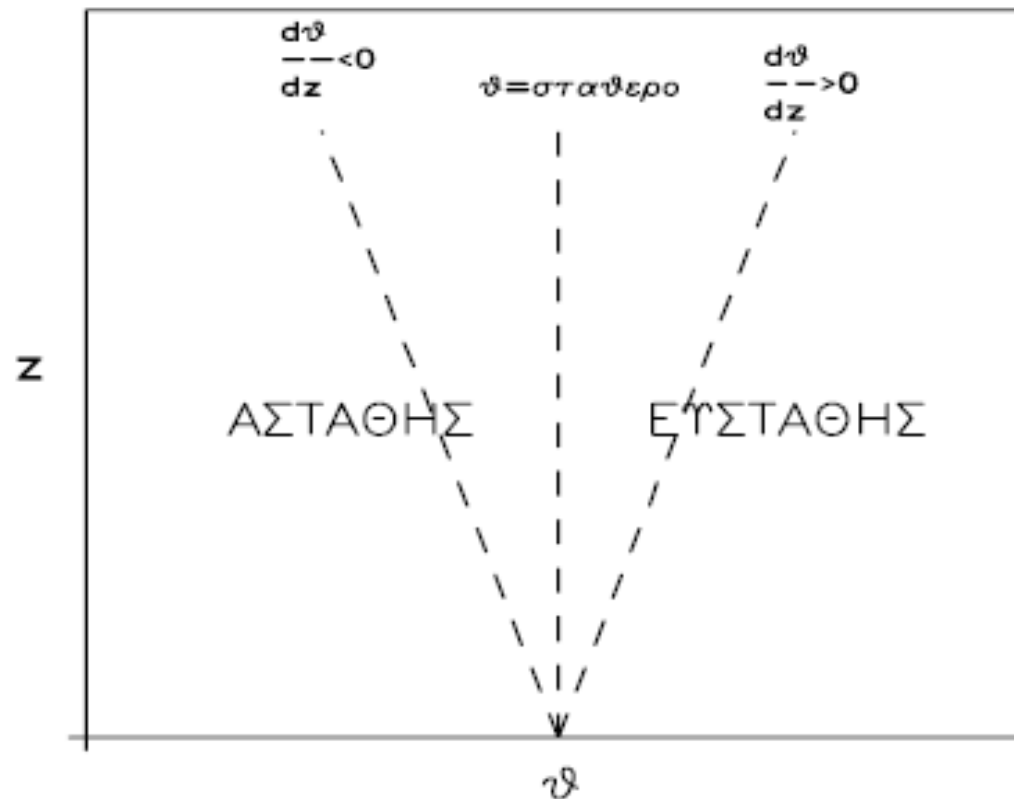
p : πίεση (hPa)

T : θερμοκρασία (K)

Δυναμική θερμοκρασία και συνθήκες ευστάθειας

Ευσταθής ατμόσφαιρα: η κατακόρυφη βαθμίδα της δυναμικής θερμοκρασίας είναι **θετική**

Ασταθής ατμόσφαιρα: η κατακόρυφη βαθμίδα της δυναμικής θερμοκρασίας είναι **αρνητική**



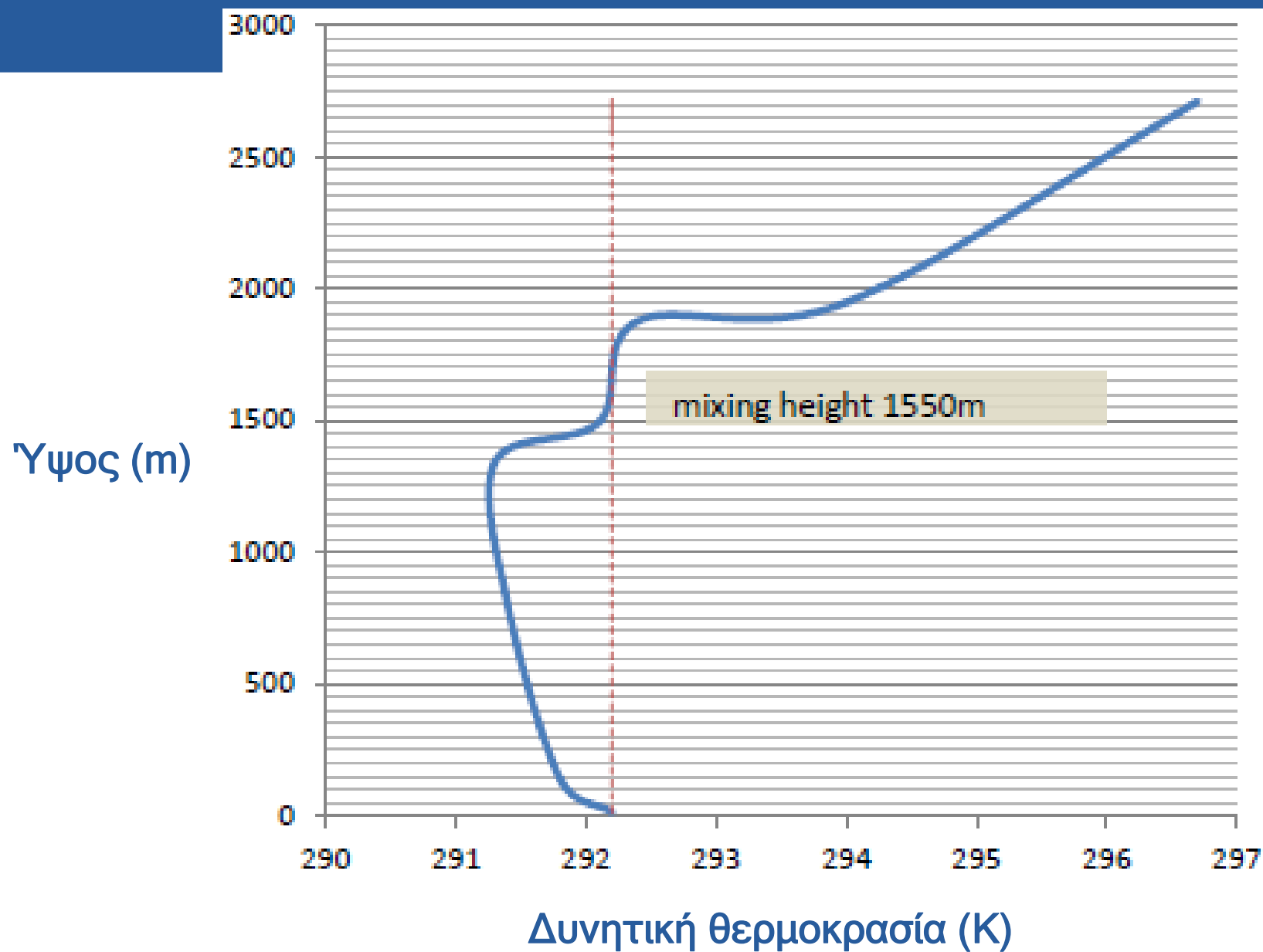
Μέθοδος Holzworth

Η μέθοδος Holzworth υπολογίζει το ύψος ανάμιξης ως το ύψος στο οποίο η κατατομή (προφίλ) της δυνητικής θερμοκρασίας τέμνει την ευθεία της ξηρής διαβατικής με αρχή τη μετρούμενη ή την αναμενόμενη μεγίστη θερμοκρασία στην επιφάνεια.

ή

Η μέθοδος Holzworth υπολογίζει το ύψος ανάμιξης ως το πρώτο ύψος το οποίο έχει την ίδια δυνητική θερμοκρασία με αυτήν της επιφάνειας.

Μέθοδος Holzworth



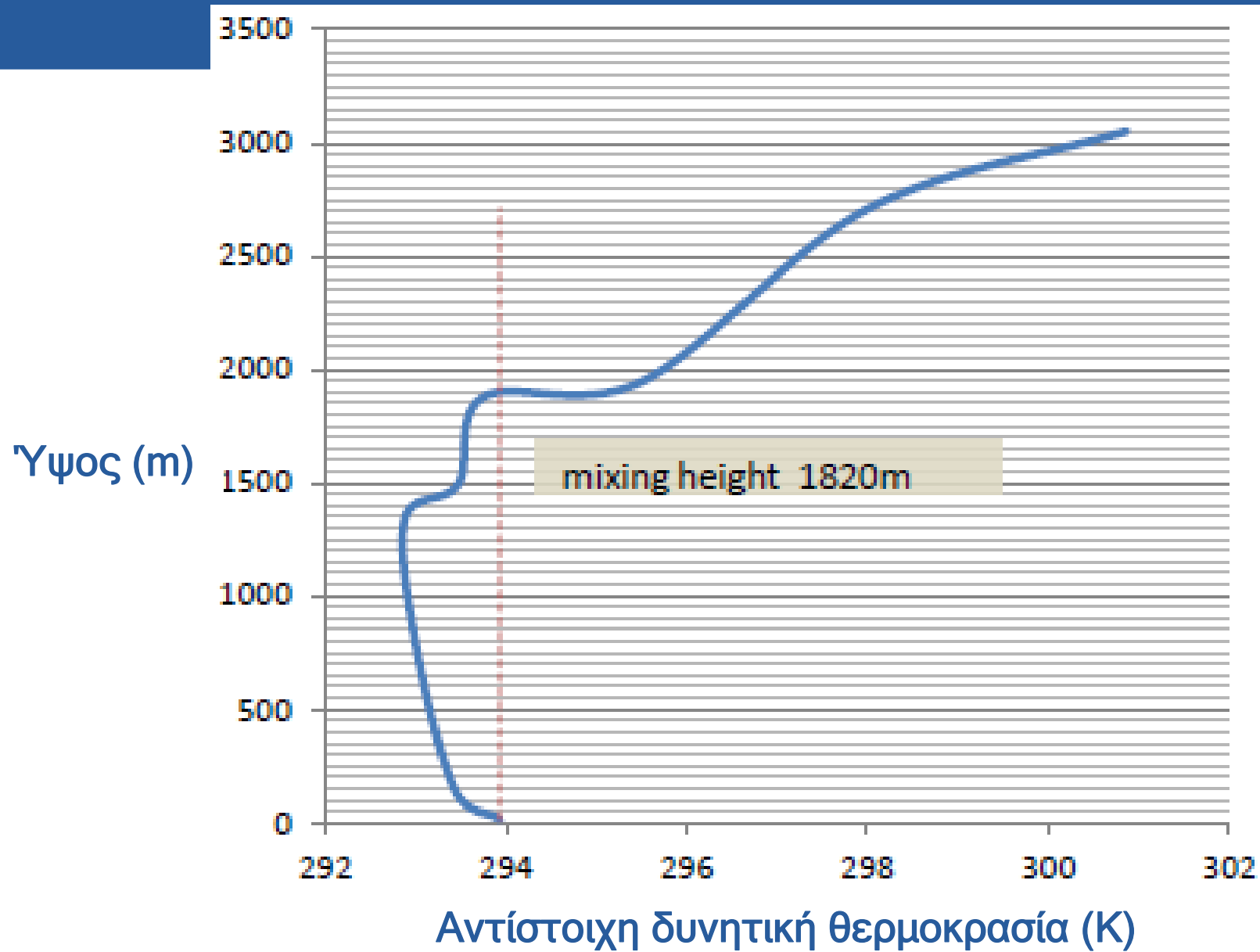
Μέθοδος Parcel

Μειονέκτημα της μεθόδου Holzworth είναι ότι θεωρεί την ατμόσφαιρα ξηρή χωρίς υδρατμούς.

Αυτό αντιμετωπίζεται στη μέθοδο Parcel χρησιμοποιώντας αντί της δυνητικής θερμοκρασίας την αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία (θ_v).

Η μέθοδος Parcel υπολογίζει το ύψος ανάμιξης ως το πρώτο ύψος όπου η αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία είναι ίση με την επιφανειακή.

Μέθοδος Parcel



Μέθοδος Parcel

Εάν τα δεδομένα ραδιοβόλσης δεν περιλαμβάνουν την αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία τότε υπολογίζεται:

$$r = 0.622 \left(\frac{e}{p - e} \right)$$

r: αναλογία μίγματος
p: πίεση (hPa)
e: τάση ατμών (hPa)

$$T_v = T \left(1 + \frac{r}{0.622} \right) (1 + r)$$

T_v : αντίστοιχη θερμοκρασία (K)
T: θερμοκρασία (K)
e: τάση ατμών (hPa)

$$\theta_v = T_v \left(\frac{1000}{p} \right)^{R/C_p}$$

θ_v : αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία (K)
 C_p : ειδική θερμότητα ($1004 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)
R: σταθερά ιδανικού αερίου ($287 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)

Μέθοδος Richardson

Η μέθοδος Richardson καθορίζει το ύψος ανάμιξης σαν το πρώτο ύψος όπου ο αριθμός Richardson (Ri_B) γίνεται ίσος ή υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή και συγκεκριμένα την τιμή 0.25

$$Ri_B = \frac{g \cdot z \cdot (\theta(z) - \theta(s))}{\theta(s) \cdot (u^2 + v^2)}$$

$\theta(z)$: δυνητική θερμοκρασία στο ύψος z (K)

$\theta(s)$: δυνητική θερμοκρασία στην επιφάνεια (K)

g : επιτάχυνση της βαρύτητας (9.8 m/s^2)

u : ζωνική συνιστώσα του ανέμου (m/s)

v : μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου (m/s)

Μέθοδος virtual Richardson

Για να συνυπολογιστεί και η επίδραση της υγρασίας στο ύψος ανάμιξης προτείνεται η χρησιμοποίηση της αντίστοιχης δυνητικής θερμοκρασίας στον υπολογισμό

$$v Ri_B = \frac{g \cdot z \cdot (\theta_v(z) - \theta_v(s))}{\theta_v(s) \cdot (u^2 + v^2)}$$

$\theta_v(z)$: αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία στο ύψος z (K)

$\theta_v(s)$: αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία στην επιφάνεια (K)

g : επιτάχυνση της βαρύτητας (9.8 m/s²)

u : ζωνική συνιστώσα του ανέμου (m/s)

v : μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου (m/s)

Ζωνική και μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου

Ζωνική συνιστώσα (u)

$$u = -V \cdot \sin\left(\phi \frac{\pi}{180}\right)$$

Μεσημβρινή συνιστώσα (v)

$$v = -V \cdot \cos\left(\phi \frac{\pi}{180}\right)$$

V : ταχύτητα ανέμου (m/s)

ϕ : διεύθυνση του ανέμου (σε μοίρες από το βορρά)

Μέθοδος βαθμίδας της θερμοκρασίας

Η μέθοδος βαθμίδας της θερμοκρασίας καθορίζει το ύψος ανάμιξης ως το ύψος στο οποίο η κατακόρυφη βαθμίδα της δυνητικής θερμοκρασίας παίρνει τη μέγιστη τιμή της.

$$\frac{d\theta}{dz} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{dz}$$

θ_i και θ_{i+1} οι δυνητικές θερμοκρασίες (σε kelvin) των επιπέδων i και $i+1$

dz : πάχος στρώματος (μέτρα)

$$dz = \frac{R}{g} \left(\frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \ln \left(\frac{p_i}{p_{i+1}} \right)$$

p_i και p_{i+1} οι πιέσεις (σε pascal) των επιπέδων i και $i+1$

T_i και T_{i+1} οι θερμοκρασίες (σε kelvin) των επιπέδων i και $i+1$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Δεν λαμβάνονται υπόψη οι βαθμίδες θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια μιας και λαμβάνουν σε πολλές περιπτώσεις μεγάλες τιμές μη ενδεικτικές του ύψους ανάμιξης.

Μέθοδος βαθμίδας της σχετικής υγρασίας

Η μέθοδος βαθμίδας της σχετικής υγρασίας καθορίζει το ύψος ανάμιξης ως το ύψος στο οποίο η κατακόρυφη βαθμίδα της σχετικής υγρασίας λαμβάνει την ελάχιστη τιμή της.

$$\frac{dRH}{dz} = \frac{RH_{i+1} - RH_i}{dz}$$

RH_i και RH_{i+1} οι σχετικές υγρασίες (%) των επιπέδων i και $i+1$

dz : πάχος στρώματος (μέτρα)

$$dz = \frac{R}{g} \left(\frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \ln \left(\frac{p_i}{p_{i+1}} \right)$$

p_i και p_{i+1} οι πιέσεις (σε pascal) των επιπέδων i και $i+1$

T_i και T_{i+1} οι θερμοκρασίες (σε kelvin) των επιπέδων i και $i+1$

Μέθοδος βαθμίδας της σχετικής υγρασίας

Επίσης, το ύψος ανάμιξης μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την κατακόρυφη κατανομή της σχετικής υγρασίας (RH). Έντονη μείωση της υγρασίας με το ύψος καθορίζει το ύψος ανάμιξης.

$$RH = \frac{e}{e_s} \cdot 100$$

$$e = 6.112 \cdot \exp\left(\frac{17.67T_d}{T_d + 243.5}\right) \qquad e_s = 6.112 \cdot \exp\left(\frac{17.67T}{T + 243.5}\right)$$

T_d : θερμοκρασία δρόσου (°C)

T : θερμοκρασία (°C)

e : τάση ατμών (hPa)

e_s : τάση ατμών στο κορεσμό (hPa)

Μετατροπές μονάδων

$$1 \text{ knot} = 0.5144 \text{ m/s}$$

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$