



Κεφ. 6 : ατμ. υγρασία

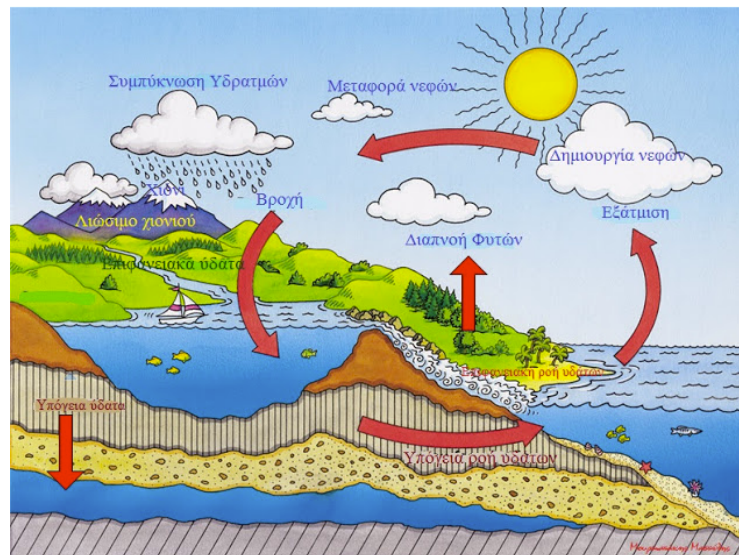
Περίληψη

Νερό: κύκλος και φάσεις

- Το νερό είναι το ουσιαστικότερο συστατικό της γης για την ύπαρξη της ζωής.
- Το νερό ακολουθεί μια πορεία η οποία περιέχει την εξάτμιση, τη συμπύκνωση, τη βροχόπτωση, την απορροή και την διήθηση, γνωστή ως **υδρολογικός κύκλος**.

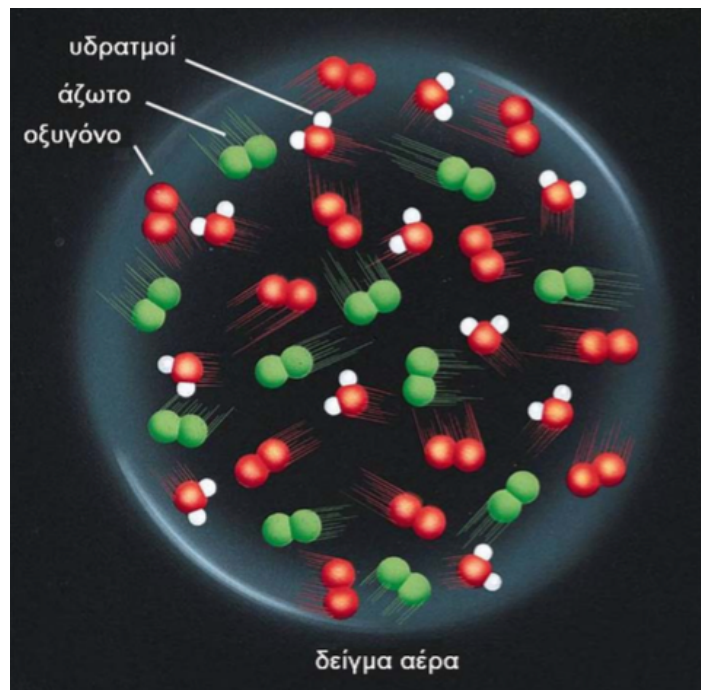
Το νερό στην ατμόσφαιρα εκδηλώνεται στις 3 φάσεις:

- Η **αέρια** φάση είναι οι υδρατμοί
- Η **υγρή** φάση έχει τη μορφή βροχής ή ομίχλης ή υδροσταγονιδίων νεφών
- Η **στερεή** φάση εμφανίζεται σαν χιόνι, χαλάζι ή παγοκρύσταλλοι νεφών



Η τάση ή πίεση των υδρατμών (e)

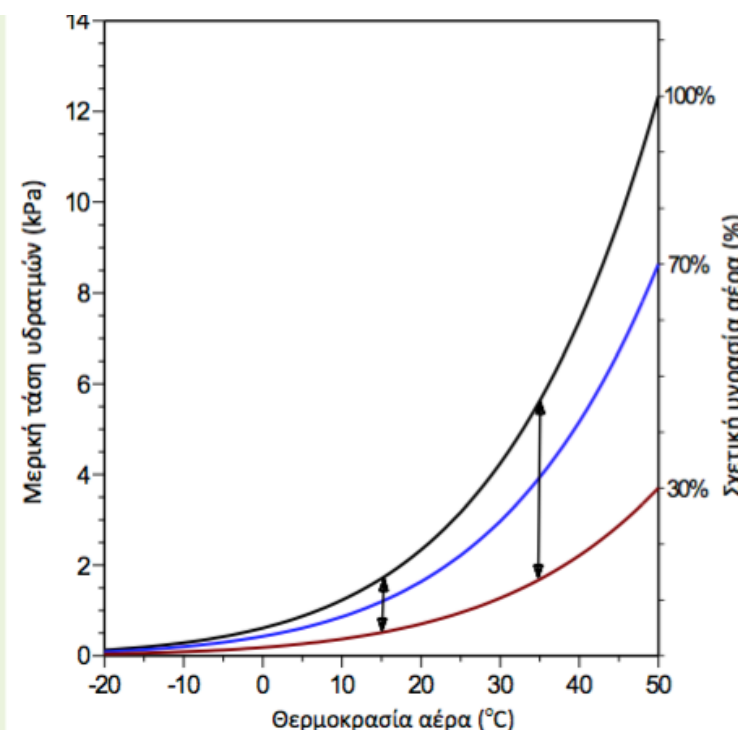
- Η ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται μεταξύ [0, 4%] κατ'όγκον .
- Η ατμοσφαιρική πίεση είναι προϊόν της μερικής πίεσης των αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα όπως N_2 , O_2 , H_2O .
- Η πραγματική πίεση των υδρατμών ονομάζεται τάση των ατμών, συμβολίζεται με το e και μετρείται σε μονάδες πίεσης ($1 \text{ hPa} = 1 \text{ mb}$)



Η τάση ή πίεση των υδρατμών (e)

- Σε περίπτωση αφθονίας υδρατμών, η ατμόσφαιρα μπορεί να συγκρατεί μόνο μια ορισμένη **μέγιστη ποσότητα** η οποία αυξάνεται όταν αυξάνει η θερμοκρασία του αέρα. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται μέγιστη τάση των ατμών (e_s) και τότε ο αέρας χαρακτηρίζεται 100% κορεσμένος. Αν υπερβεί τον κορεσμό, ο αέρας συμπυκνώνει τους επιπλέον υδρατμούς.

$$RH = e/e_s(T) \times 100$$



Συνεπώς:

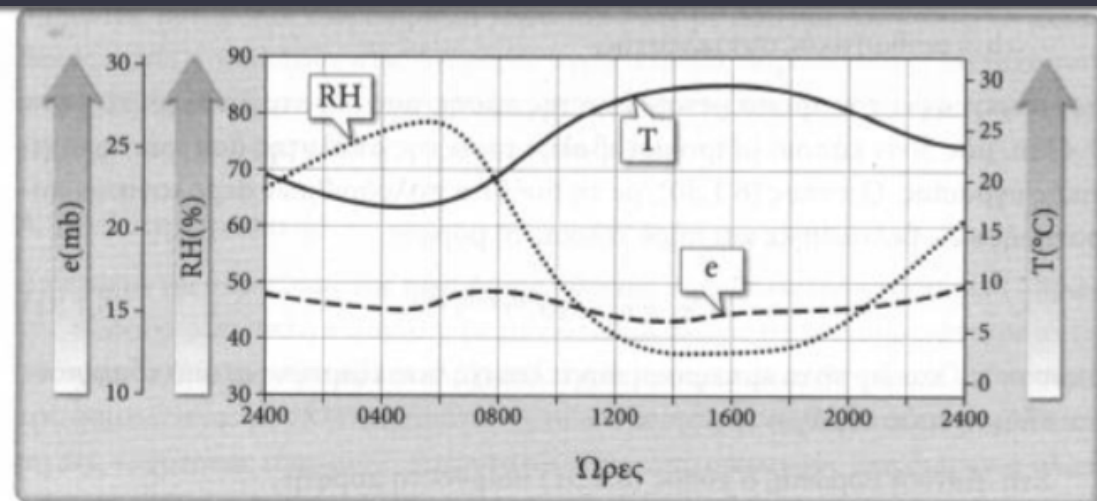
όσο θερμότερος είναι ο αέρας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει (αυξάνει η e_s).

Η σχετική υγρασία του αέρα (RH)

- Είναι η πιο συνήθης έκφραση της ατμοσφαιρικής υγρασίας και δείχνει πόσο μακριά είναι ο κορεσμός. Η ευφορία ή δυσφορία των οργανισμών εξαρτάται από αυτήν. Εκφράζει το πηλίκο των υδρατμών που υπάρχουν σε μια δεδομένη στιγμή στην ατμόσφαιρα, ως προς το μέγιστο ποσό που θα μπορούσε να συγκρατήσει ο αέρας κάτω από τις ίδιες συνθήκες (P και T).
- Είναι μέγεθος σχετικό και υπολογίζεται αν διαιρεθούν οι τρέχουσες με τις τιμές κορεσμού μιας υγρομετρικής παραμέτρου. Π.χ.

$$RH = (e / e_s) \times 100$$

- Όσο μεγαλώνει η T, τόσο αυξάνει η κορεσμένη τάση υδρατμών (e_s). Από την παραπάνω εξίσωση, αύξηση της T συνεπάγεται μείωση της RH. Συνεπώς, η ημερήσια αλλά και η ετήσια πορεία της **RH** είναι **αντίστροφη** αυτής της T.

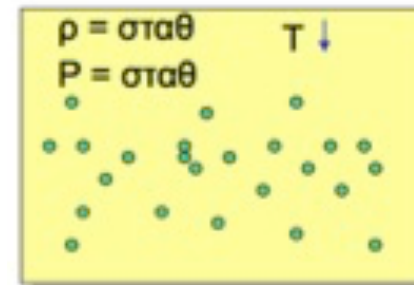


Σχήμα 6.1.1. Ημερήσια πορεία της RH, e και T (κατά Ward, 1975).

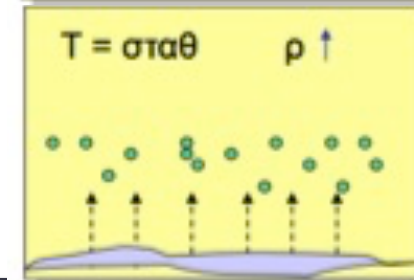
Η θερμοκρασία δρόσου (T_d)

- Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου εκφράζει την θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψυχθεί ο ατμοσφαιρικός αέρας για να **κορεστεί** (αρχίζει η συμπύκνωση με σχηματισμό δρόσου) χωρίς την προσθήκη άλλων υδρατμών υπό σταθερή πίεση. Δύο τρόποι:

1. Να μειωθεί η θερμοκρασία κρατώντας σταθερή την ποσότητα των υδρατμών.



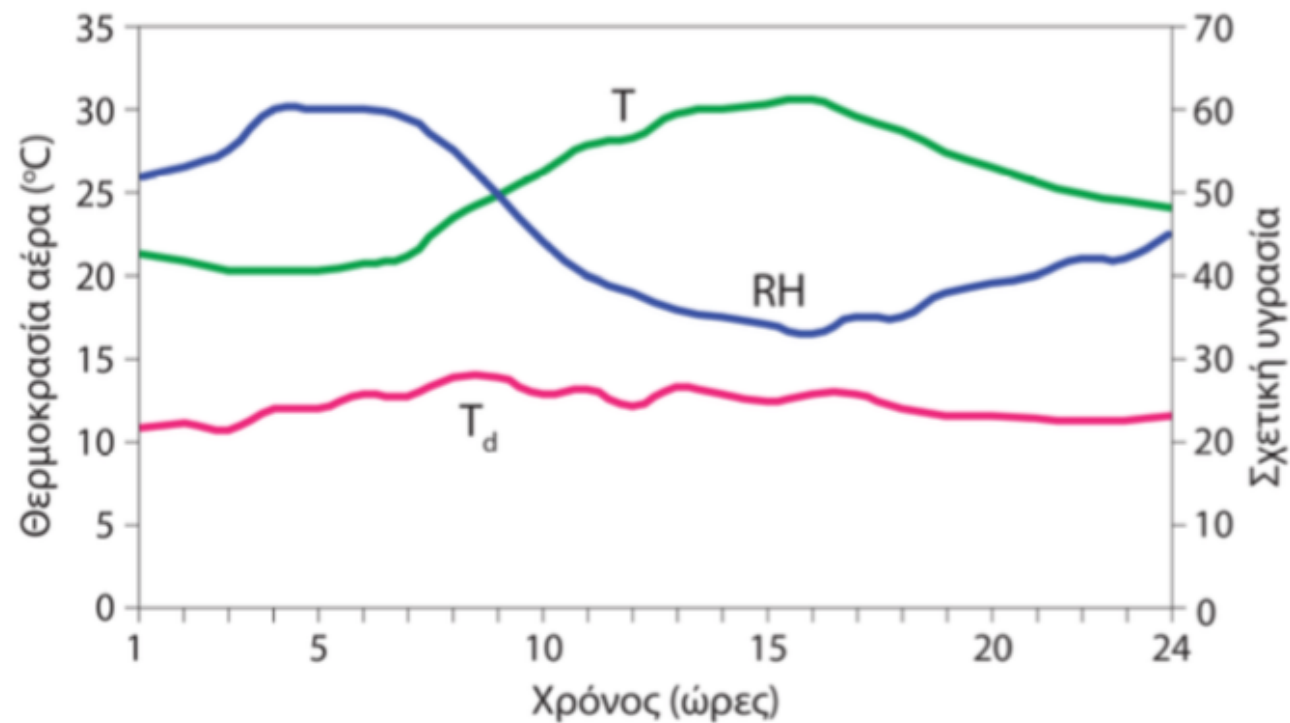
2. Να αυξηθεί η ποσότητα των υδρατμών κρατώντας σταθερή την θερμοκρασία.



Όσο **πιο υγρός** είναι ο αέρας, τόσο **υψηλότερη θα είναι η T_d** και αντίστροφα.

- Αποτελεί καλύτερο δείκτη της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς, αφού δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις, όπως παρουσιάζει η RH με την T μέσα στο 24ωρο.

Ημερήσια σχετική υγρασία, θερμοκρασία αέρα & δρόσου



Σχήμα 5.3 Ημερήσια πορεία της Σχετικής Υγρασίας (RH), της Θερμοκρασίας (T) και της Θερμοκρασίας του Σημείου Δρόσου (Td) στη Θεσσαλονίκη (1-9-97).

Πορεία προς την κατάσταση κορεσμού (βίντεο)

ΠΡΙΝ

e

$$RH < 100\%$$

Ρυθμός συμπύκνωσης

ENTERING
CONDENSATION
RATE

ΜΕΤΑ

Μερική πίεση ή τάση = τάση κορεσμού

$$RH = 100\%$$

$$T = T_d$$

$$e = e_s$$

Ρυθμός εξάτμισης

EXITING
EVAPORATION
RATE

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

$$e_s = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27T}{T + 237.3} \right]$$

NO NET CHANGE

$$T_d = \frac{237.3 \left(\frac{\ln(RH/100)}{17.27} + \frac{T}{237.3 + T} \right)}{1 - \left(\frac{\ln(RH/100)}{17.27} + \frac{T}{237.3 + T} \right)}$$

Εξάτμιση (Ε)

- **Εξάτμιση**: Η μεταφορά του νερού από την υγρή στην αέρια μορφή, η οποία γίνεται από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Αντιθέτως, η απευθείας μετατροπή του νερού από την στερεή στην αέρια μορφή λέγεται **εξάχνωση**.

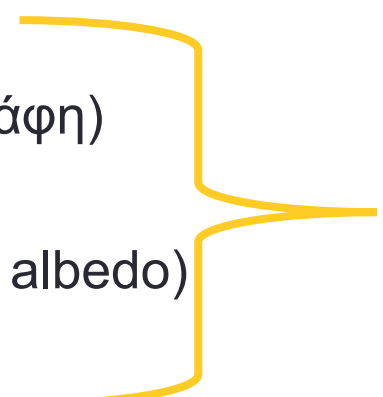
Η μετάβαση του νερού από τη μια φάση στην άλλη συνοδεύεται από δέσμευση ή απελευθέρωση ενέργειας, η οποία είναι γνωστή ως **λανθάνουσα θερμότητα** και παρουσιάζει τις παρακάτω μορφές:

- α) Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης: ενέργεια που δεσμεύεται από τον αέρα για τη μετατροπή του ύδατος σε υδρατμούς ($= -600 \text{ cal/gr}$).
- β) Λανθάνουσα θερμότητα εξάχνωσης: ενέργεια που δεσμεύεται κατά τη μετατροπή του πάγου σε υδρατμούς, χωρίς να μεσολαβεί η υγρή φάση ($= -680 \text{ cal/gr}$).
- γ) Λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης: ενέργεια που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα όταν οι υδρατμοί μεταβαίνουν **από την αέρια στην υγρή φάση— συμπυκνώνονται** ($= +600 \text{ cal/gr}$).

Εξάτμιση (Ε)

Η εξάτμιση εξαρτάται από:

1. Επιφάνεια του εξατμιζόμενου νερού (ανάλογη σχέση)
2. Θερμοκρασία (ανάλογη σχέση)
3. Υγρασία του αέρα (**αντίστροφη** σχέση)
4. Ταχύτητα του ανέμου (ανάλογη σχέση)
5. Ατμοσφαιρική πίεση (**αντίστροφη** σχέση)
6. Αλμυρότητα του νερού
7. Βάθος υδάτινου σώματος
8. Υγρασία του εδάφους (ανάλογη σχέση)
9. Τριχοειδή ανύψωση (ανάλογη, μεγαλύτερη στα λεπτόκοκκα εδάφη)
10. Βάθος του υπόγειου υδροφορέα (**αντίστροφη** σχέση)
11. Χρώμα εδάφους (μεγαλύτερη στα σκουρόχρωμα εδάφη λόγω albedo)
12. **Πυκνότητα βλάστησης** (**αντίστροφη** σχέση)

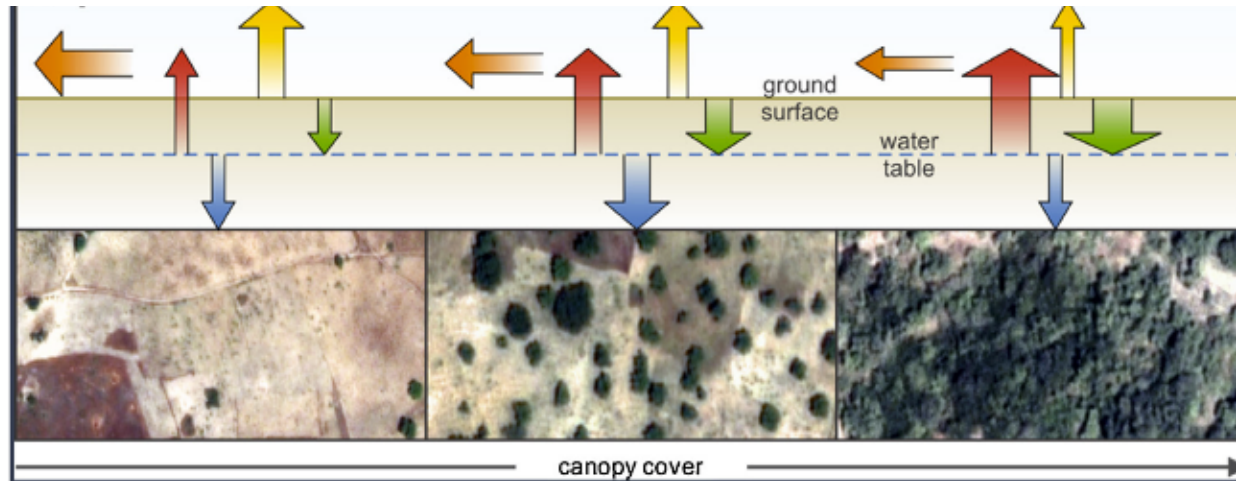


Ε από εδαφική
επιφάνεια

Εξάτμιση εδάφους

■ surface runoff ■ transpiration + interception ■ groundwater recharge ■ soil evaporation ■ infiltration

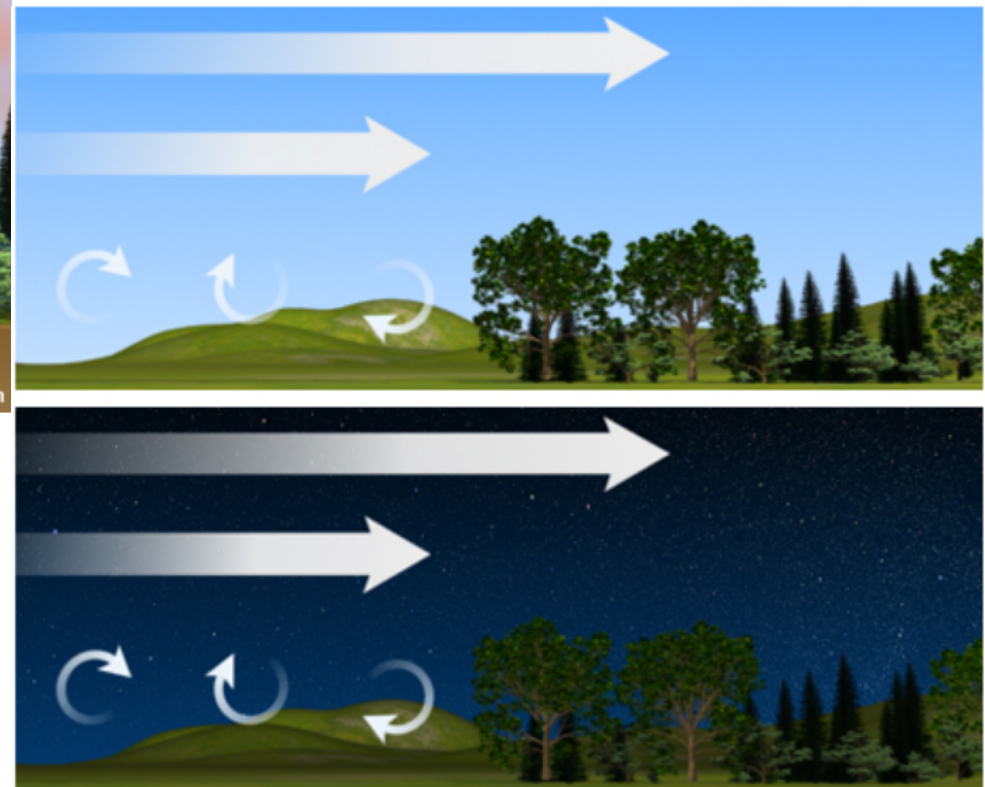
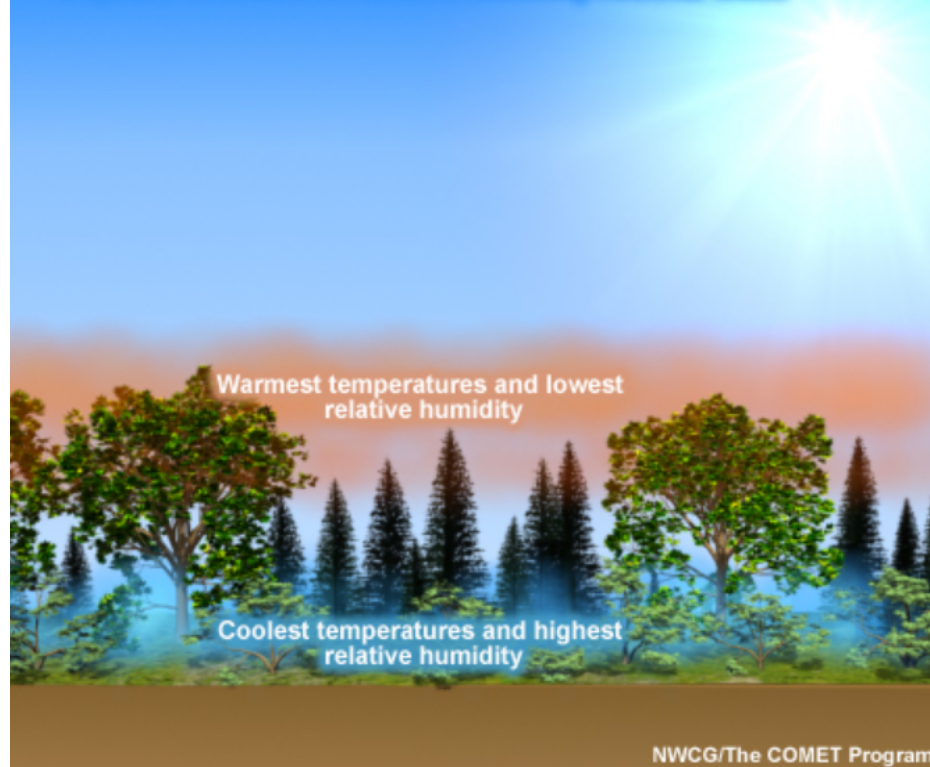
Απορροή επιφ. Διαπνοή Βαθιά διήθηση Εξάτμιση εδάφους Διήθηση



Η Ε εδάφους είναι μικρότερη στην πυκνότερη βλάστηση γιατί τα φυτά:

- μπλοκάρουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο έδαφος και μειώνουν την θερμοκρασία αέρα (κατά την ημέρα).
- ανακόπτουν την πνοή του ανέμου.
- αυξάνουν την υγρασία του παρεδάφιου αέρα με την διαπνοή (ημέρα).
- μειώνουν την εδαφική υγρασία λόγω υδατοκατανάλωσης των φυτών.

Daytime Variation in Relative Humidity Around Trees

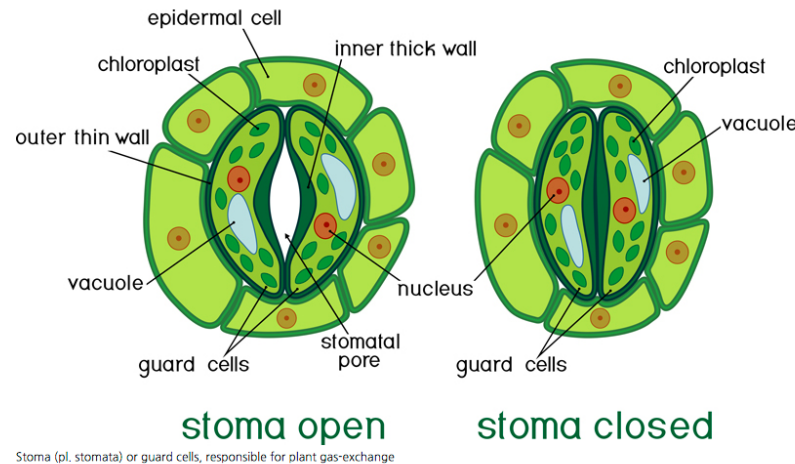


The COMET Program / Michael Baker

Wind effects on temperature and relative humidity near the ground

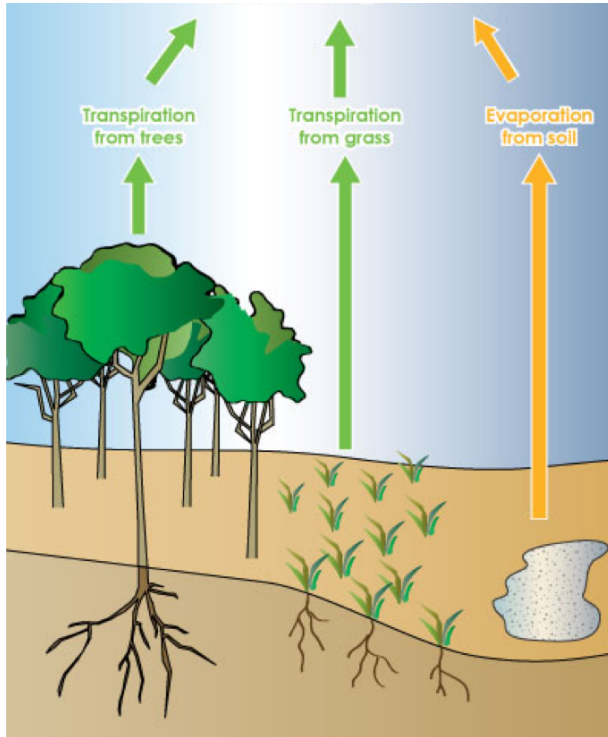
Πηγή: <http://stream1.cmatc.cn/pub/comet/FireWeather/S290Unit5TemperatureandRelativeHumidityRelationships/comet/fire/s290/unit5/print.htm>

Εξατμισοδιαπνοή (ET)



- Το φυτό, αφού συγκρατήσει τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά, αποβάλλει το νερό (με μορφή υδρατμών) από τα στόματα των φύλλων (**διαπνοή**).
- Τα φυτά χρησιμοποιούν μόνο το 0,2 % του νερού που απορροφούν με τις ρίζες για την δημιουργία των ιστών τους, ενώ το υπόλοιπο (99,8 %) είναι η διαπνοή.
- Η διαπνοή μειώνεται όταν η διαθεσιμότητα του νερού είναι περιορισμένη (ξηρασία), και μηδενίζεται κατά την διάρκεια της νύχτας που τα στόματα κλείνουν.

Εξατμισοδιαπνοή (ET)



- Παράλληλα, λαμβάνει χώρα και **εξάτμιση** από τις επιφάνειες φυτών και εδάφους.
- **Εξατμισοδιαπνοή** είναι η ποσότητα του νερού που οφείλεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών τμημάτων φυτού και εδάφους κατά τη διάρκεια μιας περιόδου.

Εξατμισοδιαπνοή (ET)

- Δυναμική ή μέγιστη Εξατμισοδιαπνοή (PET, P= potential): αποτελεί την ET από εδαφικές επιφάνειες, συνήθως πλήρως και ομοιόμορφα καλυμμένες από αναπτυσσόμενη χλωρίδα, με επαρκή υγρασία στο μέγιστο ρυθμό. Μπορεί να αναφέρεται και σε επιφάνεια λίμνης.
- Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (ET_o): η εξατμισοδιαπνοή από μια ιδεατή επιφάνεια καλυμμένη πλήρως από την καλλιέργεια αναφοράς (γρασίδι 15cm) που βρίσκεται σε συνθήκες ενεργού ανάπτυξης χωρίς ασθένειες και χωρίς έλλειψη νερού.
- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AET, A=actual ή ET_{c_{rop}}): αναφέρεται στην πραγματική ET κάθε καλλιέργειας με την μείωση της εδαφικής υγρασίας.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ΕΤ

- Μετεωρολογικοί / κλιματικοί
- Εδαφικοί
- Φυτικοί

🌐 Ηλιακή ακτινοβολία (ανάλογη σχέση)

🌐 Θερμοκρασία (ανάλογη)

🌐 Άνεμος (ανάλογη)

🌐 Γεωγραφικό πλάτος (*αντίστροφη* σχέση)

🌐 Υγρασία αέρα (*αντίστροφη* σχέση)

🌐 **Ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας**

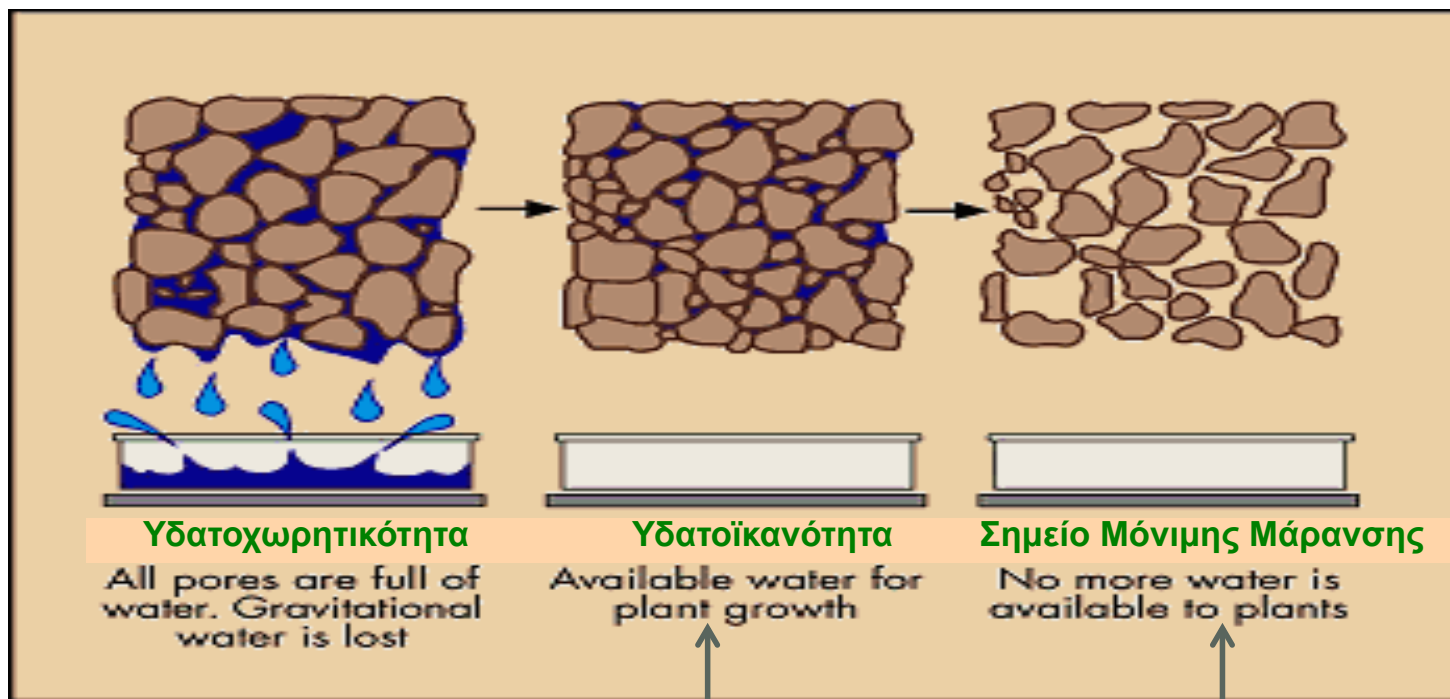
🌐 **Πυκνότητα / είδος βλάστησης**

🌐 **Στάδιο ανάπτυξης των φυτών (k_c)**

PET

AET

Εδαφική υγρασία



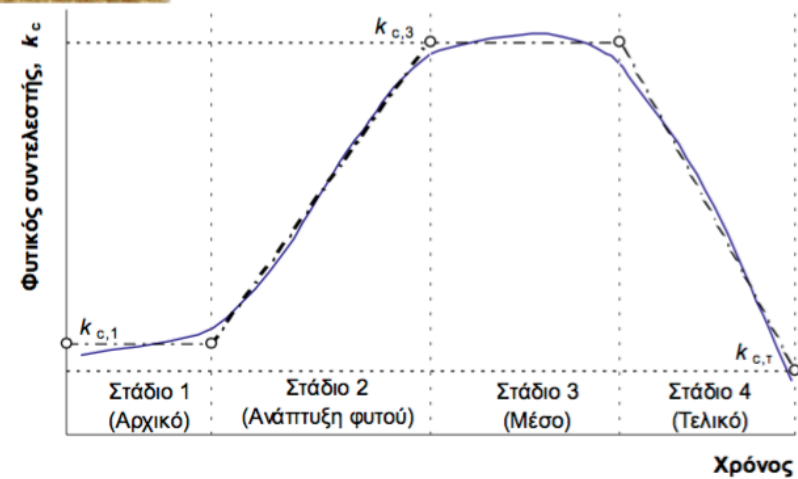
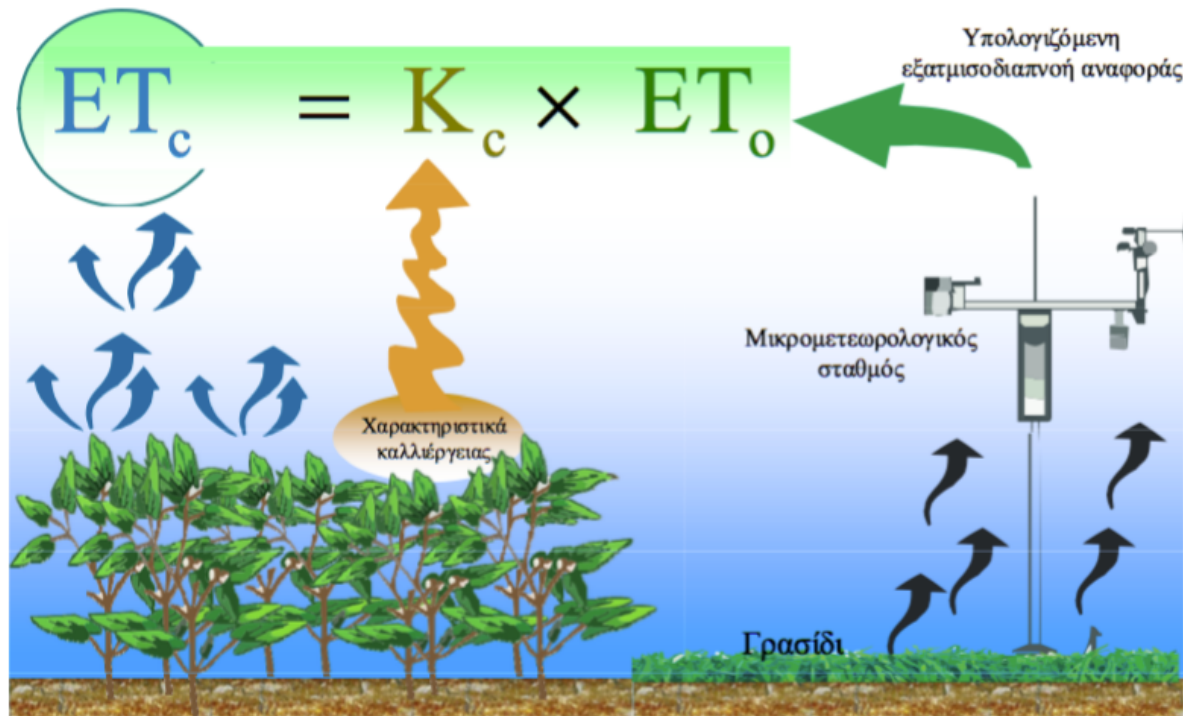
ΥΔΑΤΟΪΚΑΝΟΤΗΤΑ:

Είναι η ποσότητα του νερού που παραμένει στο έδαφος από την κατάσταση κορεσμού μετά από 48ωρη στράγγιση. Είναι το νερό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να το διαθέσει για τα φυτά.

ΣΗΜΕΙΟ ΜΟΝΙΜΗΣ ΜΑΡΑΝΣΗΣ:

Είναι το ποσό του νερού που υπάρχει στο έδαφος όταν τα φυτά μαραίνονται οριστικά. Είναι το νερό που δεν μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά για να εξισορροπήσουν την διαπνοή (πρέπει να ασκήσουν υποπίεση > 15 Atm)

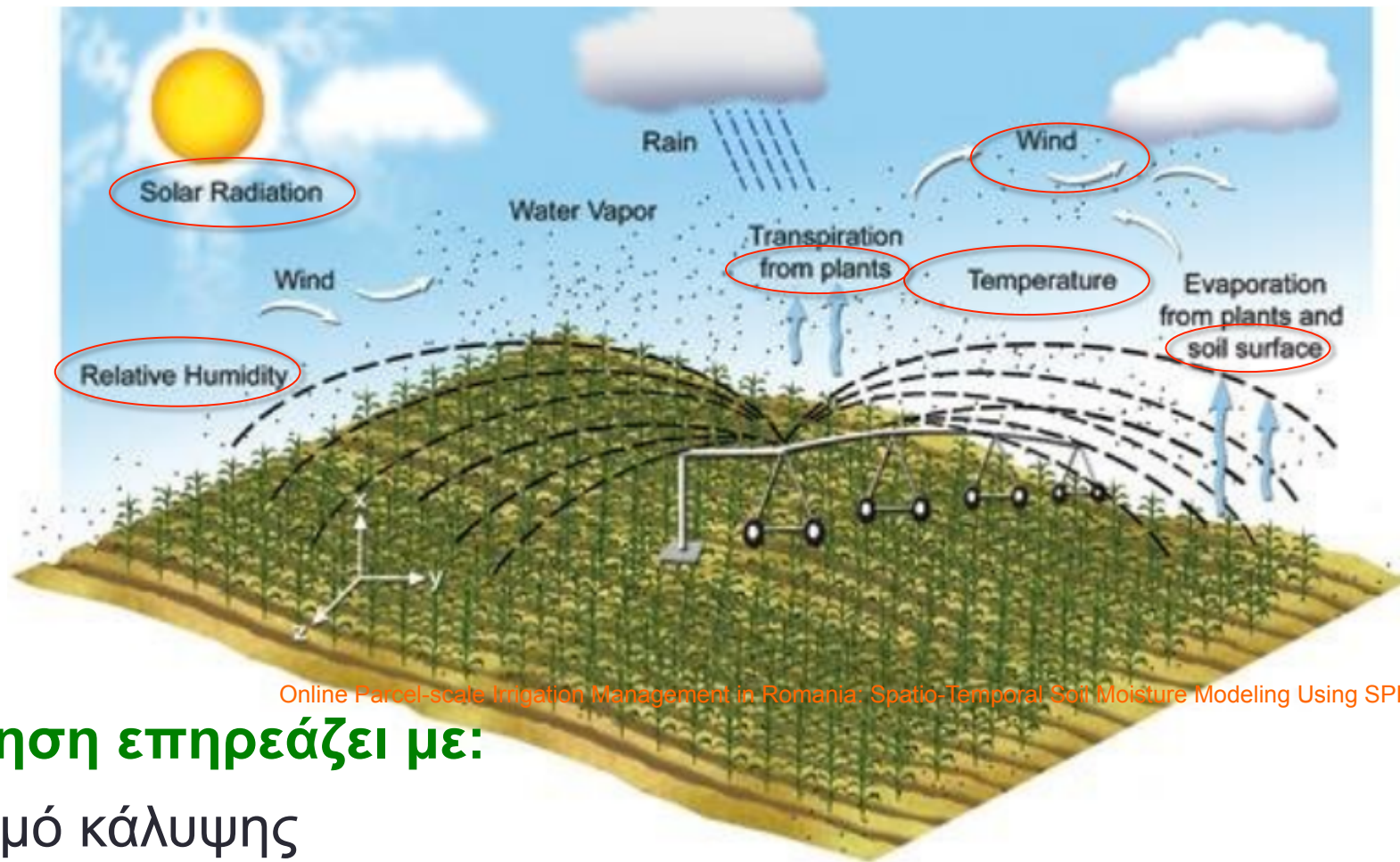
Φυτικός συντελεστής



Πηγή: Τεχνική Υδρολογία, Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., 2016.

Σχ. 3.8 Σχηματικό διάγραμμα της τυπικής εποχιακής μεταβολής του φυτικού συντελεστή k_c για μια αρδευόμενη ετήσια καλλιέργεια.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ET



Βλάστηση επηρεάζει με:

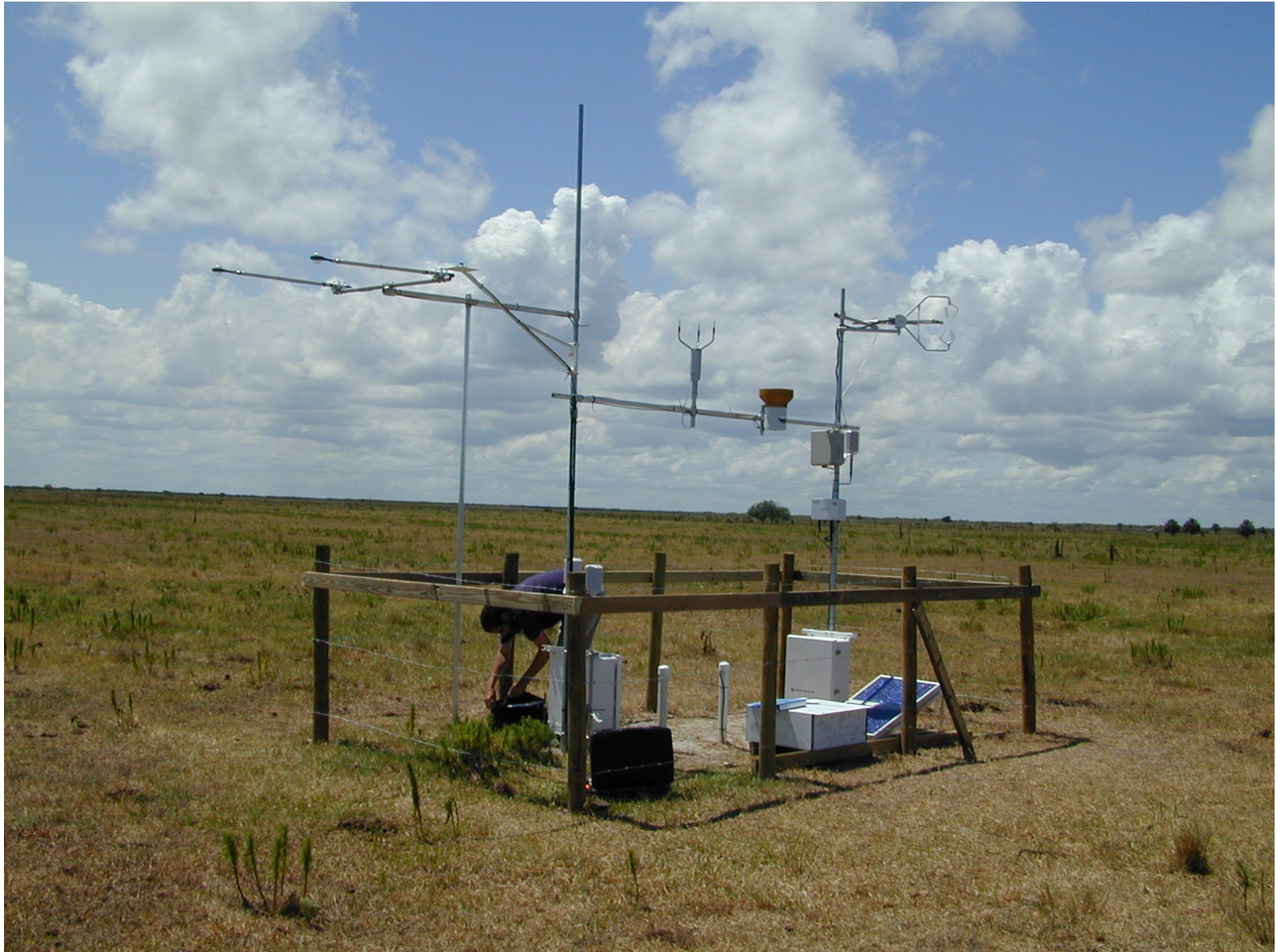
- 🌐 Βαθμό κάλυψης
- 🌐 Δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI: Leaf Area Index, NDVI, κ.ά.)
- 🌐 Σχήμα και μέγεθος φύλλου
- 🌐 Είδος φυτού (ύψος και χρώμα υπέργειου τμήματος & ρίζες)
- 🌐 Αντίσταση φυτοκόμης στην διαπνοή

Μέτρηση ΕΤ με λυσίμετρο

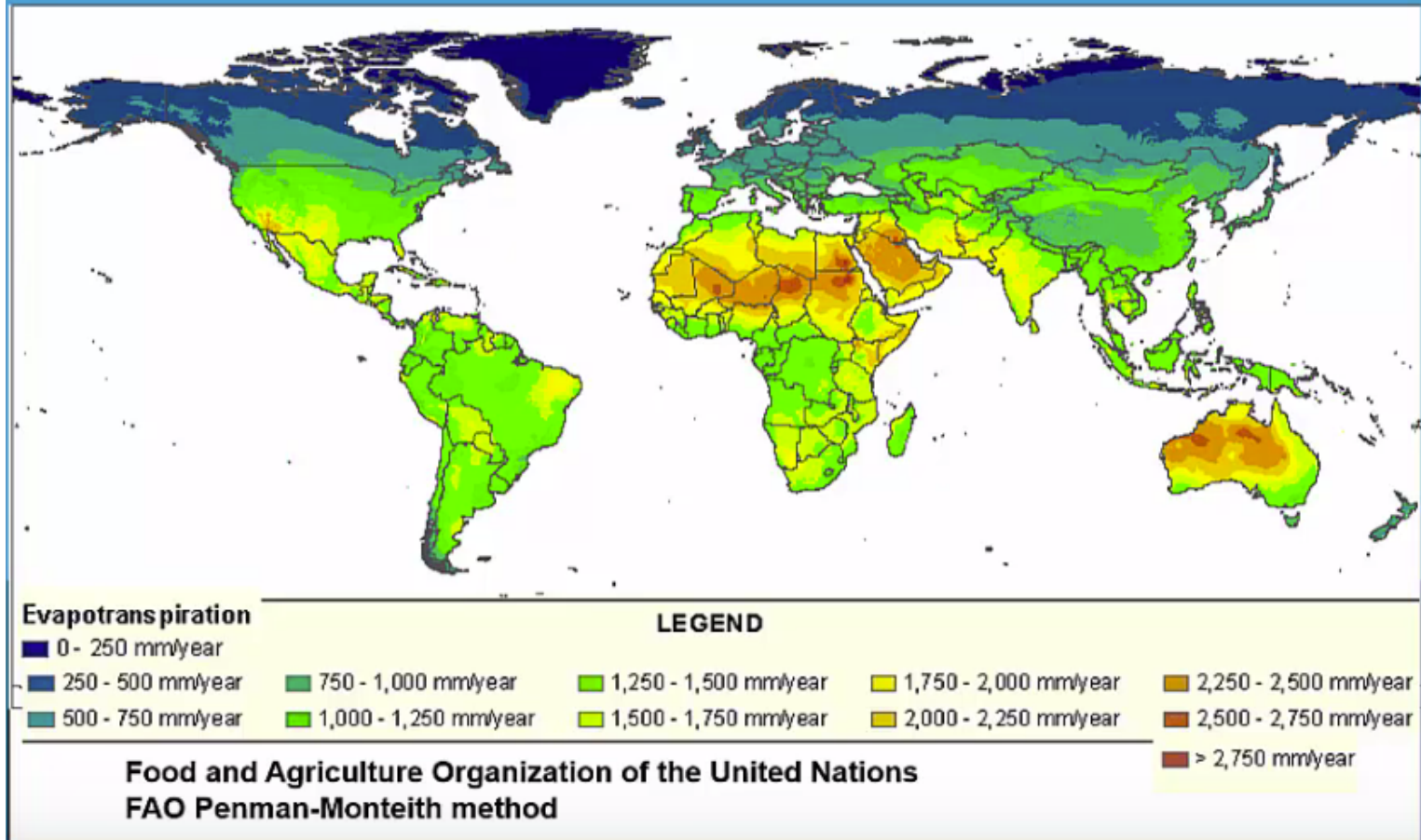


Πηγή: <https://lysimeter.info/>

Μέτρηση ET με τυρβώδη συνδιακύμανση (Eddy Covariance)



Evaporating power of the atmosphere (ET_o) in mm/year



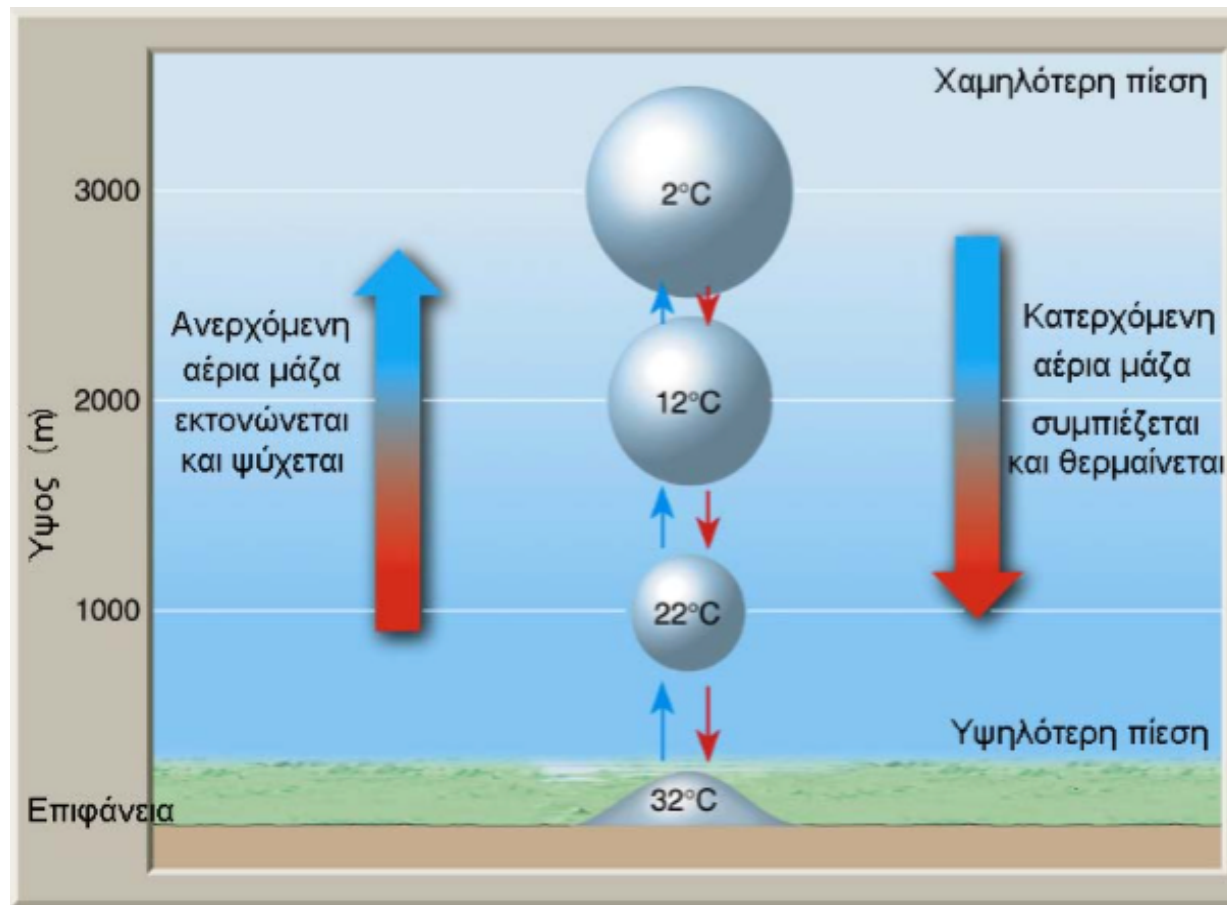
Ρόλος ET

- Σημαντική συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου αφού συνεισφέρει στο 15% της ατμοσφαιρικής υγρασίας.
- Βοηθά στην μεταφορά των θρεπτικών από το έδαφος στα φυτά.
- Διατηρεί ιδανική θερμοκρασία στο έδαφος και στα φυτά.

Συμπυκνώσεις μεγάλης κλίμακας: Νέφη και νέφωση

- **Συμπύκνωση** = διεργασία με την οποία οι υδρατμοί μεταβαίνουν από την αέρια φάση στην υγρή ή στερεή φάση.
- **Νέφος** = κάθε ορατό σύνολο υδροσταγονιδίων ή παγοκρυσταλλίων ή μίγμα και των δύο αυτών συστατικών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.
- Τα νέφη σχηματίζονται υπό **3 προϋποθέσεις**:
 - Υδρατμοί
 - Υγροσκοπικοί πυρήνες συμπύκνωσης
 - Ψύξη με 3 μηχανισμούς:
 - i. ακτινοβολία,
 - ii. μεταφορά σε ψυχρότερη περιοχή,
 - iii. αδιαβατική ανύψωση-ψύξη.

Αδιαβατική ανύψωση-ψύξη αέριας μάζας



Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/> στους «Συνδέσμους»-eclass

([video](#))

Νέφωση

- Είναι το τμήμα της επιφάνειας του ουρανού που καλύπτεται από νέφη. Μετράται με προσωπική εκτίμηση, με βάση μια κλίμακα με όγδοα [0, 8]. Έτσι νέφωση **0** δηλώνει ανέφελο ουρανό, ενώ **8/8** δηλώνει ουρανό εντελώς νεφοσκεπή.
- Η νέφωση είναι το **αντίστροφο** της ηλιοφάνειας. Ηλιοφάνεια είναι το χρονικό διάστημα της ημέρας κατά το οποίο ο ήλιος λάμπει χωρίς να καλύπτεται από νέφη.

Είδη νεφών



Σχήμα 4.33 Συνοπτικός ατλαντας νεφών με τις περιγραφές και τα σύμβολα των βασικών νεφικών συστημάτων που επικρατούν στην ατμόσφαιρα (τροποποίηση από NOAA/NWS and NASA Sky Watcher Chart).

Νέφος κατακόρυφης ανάπτυξης

Πηγή: Katsafados, P., Manromatidis, I., 2015. Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή. [ebook]

Συμπυκνώσεις μικρής κλίμακας

Σχηματίζονται υπό τις παρακάτω συνθήκες :

-  α) αίθριος νυχτερινός ουρανός (έντονη νυχτερινή ακτινοβολία)
-  β) άπνοια ή υποπνέων άνεμος
-  γ) συνεχής τροφοδοσία του αέρα με υδρατμούς
-  δ) μεγάλη τιμή της σχετικής υγρασίας του παρεδάφιου αέρα
-  ε) κοίλο ανάγλυφο
-  στ) μεγάλη αφετική ικανότητα των επιφανειών και θερμική τους μόνωση από το έδαφος

Συμπυκνώσεις μικρής διάρκειας

1. Δρόσος λέγεται ο σχηματισμός υδροσταγονιδίων πάνω σε στερεά σώματα της επιφάνειας του πλανήτη με απ' ευθείας συμπύκνωση των υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα λόγω ψύξης.

$$T_E < T_d > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{δρόσος}$$



Πηγή: <http://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/dew>

2. Πάχνη. Όταν η θερμοκρασία κατεβαίνει κάτω από τους 0°C αντί δρόσου εμφανίζεται πάχνη, η οποία αποτελείται από παγοκρυστάλλους, γι' αυτό μπορεί να είναι καταστρεπτική για τα φυτά.

$$T_E < T_d < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{πάχνη}$$



Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frost_01.JPG

όπου T_E : θερμοκρασία επιφάνειας, π.χ. φύλλων

Δρόσος και πάχνη για την Γεωργία

- 1+. Σε περιόδους ξηρασίας, όπου τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι ελάχιστα, η δρόσος συμβάλει σημαντικά στην αναπλήρωση του εξατμιζόμενου νερού των φυτών.
- 2+. α) καθυστερεί την έναρξη της διαπνοής κατά τις πρώτες πρωϊνές ώρες λόγω παρουσίας δρόσου στα φύλλα.
β) μετέπειτα αυξάνει την ατμοσφαιρική υγρασία λόγω εξάτμισης της δρόσου.
γ) μειώνει την θερμοκρασία των φυτικών οργάνων.
- 3--. Αλλά η δρόσος ευνοεί την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών.

Η πάχνη είναι καταστρεπτική για τα φυτά ιδιαίτερα τα θερμοφιλα κατά την άνοιξη. Πρέπει ν' αντιμετωπίζεται σαν αποτέλεσμα του παγετού.

Φαινόμενο πάχνης



<https://www.ecoweather.gr/yetos>

3. Ομίχλη

- **Ομίχλη:** νέφος που εφάπτεται της γης ή βρίσκεται σε μικρή απόσταση απ' αυτή και περιορίζει την ορατότητα κάτω από 1 km. Στην περίπτωση που ο περιορισμός της οριζόντιας ορατότητας είναι μεταξύ 1 km και 2 km, το νέφος αυτό λέγεται **αχλύς**.

Η ομίχλη ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού της διακρίνεται στους παρακάτω τύπους:

- **ομίχλη ακτινοβολίας** - όταν η ψύξη οφείλεται σε ακτινοβολία.
- **ομίχλη μεταφοράς** - όταν θερμές και υγρές αέριες μάζες κινούνται πάνω από ψυχρές επιφάνειες.
- **ομίχλη ανάμιξης** - όταν αέριες μάζες αναμιγνύονται.
- **μετωπική ομίχλη ή ομίχλη βροχής** - όταν οι σταγόνες βροχής πέφτοντας στη ψυχρή αέρια μάζα εξατμίζονται.
- **ομίχλη αναστροφής** - δημιουργείται λόγω θερμοκρασιακής αναστροφής.
- **ομίχλη κλιτύος**
- **θαλάσσιος καπνός**



rime

Παγωμένη ομίχλη ή αργυρόπαγος
<https://www.ecoweather.gr/yetos>

Ομίχλη για την Γεωργία

- Θετική η σημασία της ομίχλης για τα φυτά, γιατί:
 1. **+ επιβραδύνει την ακτινοβολία θερμότητας** από το έδαφος και αποτρέπει την δημιουργία πάχνης και **παγετού** κατά τη διάρκεια τη νύχτας.
 2. **+** μπορεί να συνεισφέρει στην τροφοδοσία της βλάστησης και του εδάφους **με νερό με την υγραποίησή της**, ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές.
 3. **+ μειώνει την ET** κατά την διάρκεια της ημέρας.
- **Αρνητικές επιδράσεις**
 - στην υγιεινή των καλλιεργειών, ευνοώντας την μόλυνση των φυτών από μύκητες.
 - σε δραστηριότητες του ανθρώπου, όπως η αεροπλοΐα, ναυσιπλοΐα, οι τηλεπικοινωνίες κ.ά.

Υδατώδη ατμοσφ. κατακρημνίσματα

- Υδατώδη ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ονομάζονται οι διάφορες μορφές μεριδίων νερού, σε στερεή ή υγρή φάση, που πέφτουν στην ατμόσφαιρα και φθάνουν, τελικά, στην επιφάνεια του εδάφους. Τα σπουδαιότερα είναι: η **βροχή**, το **χιόνι**, το **χιονόνερο** και το **χαλάζι**.



Πηγή: NOAA

- Είναι γνωστό ότι οι υδροσταγόνες, που δημιουργούνται μέσα στα νέφη, είναι το αποτέλεσμα της συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων ή και παγοκρυσταλλίων. Αν οι σταγόνες αυτές ή οι παγοκρύσταλλοι, στην κάθοδο τους, περνούν από ατμοσφαιρικά στρώματα, που τις διατηρούν στην υγρή φάση, και φθάνουν στο έδαφος προτού εξατμισθούν, τότε δημιουργείται βροχή. Η δημιουργία βροχής από ένα νέφος εξαρτάται κυρίως από τα παρακάτω:
 1. ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των γειτονικών στοιχείων του νέφους,
 2. συνύπαρξη των τριών φάσεων του νερού στο νέφος,
 3. ύπαρξη σχετικών αναταρακτικών κινήσεων και
 4. ύπαρξη ανομοιόμορφου ηλεκτρικού φορτίου στα στοιχεία του νέφους.

Βροχή

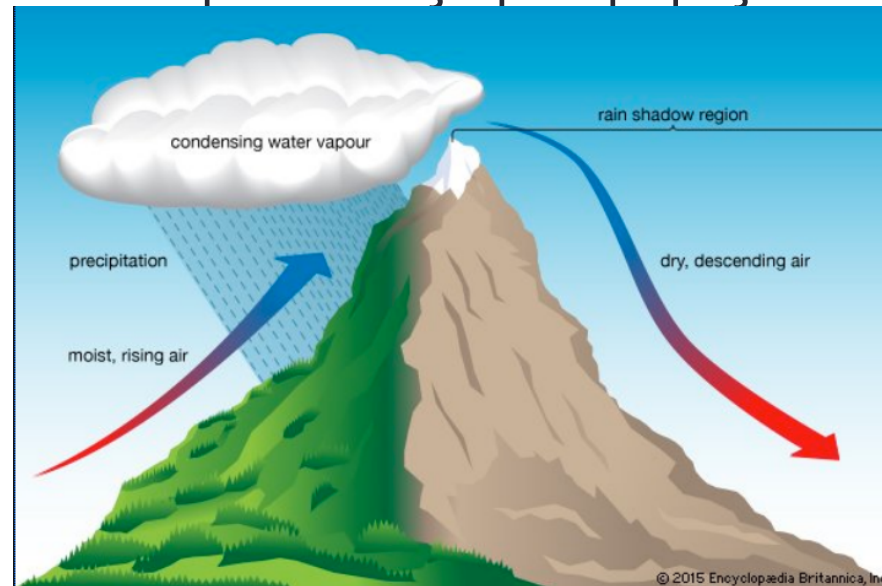
- **Ύψος βροχής** (h) ορίζεται η στάθμη ή ποσότητα του νερού της βροχής, αν αυτή έπεφτε σε μια οριζόντια επιφάνεια (δεν λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η απορρόφηση, η εξάτμιση και η απορροή).
- Το ποσοστό της βροχής που **εισχωρεί στο έδαφος** εκφράζει την **αποτελεσματικότητά της**.
- **Ένταση** ή **ραγδαιότητα** (i) της βροχής είναι η ποσότητα της βροχής στη μονάδα του χρόνου.

$$i = h / \Delta t$$

- Όταν η **ένταση της βροχής είναι μεγάλη** και το ποσό νερού που συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερο από τη διηθητική του ικανότητα, το πλεονάζον νερό, είτε λιμνάζει είτε απορρέει, ανάλογα με την κλίση του εδάφους. Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουν και οι βροχές που έχουν **μικρή ένταση** αλλά **μεγάλη διάρκεια**, διότι λόγω αυξημένης ενυδάτωσης του εδάφους αδυνατούν να απορροφήσουν περισσότερο νερό.
- **Ωφέλιμη** βροχή είναι ό,τι απομένει στο ριζόστρωμα μετά τις απώλειες της απορροής, **βαθιάς διήθησης** ή εξάτμισης. Συχνές ελαφριές βροχές είναι ~ 100% ωφέλιμες.

Είδη βροχών, ορογραφική βροχή & **ομβροσκιά**

- 1) **βροχές μεταφοράς**: σχηματίζονται από κατακόρυφη ή οριζόντια μεταφορά.
- 2) **βροχές υφειακές ή μετωπικές**: αποδίδονται στην ανάμιξη ή εκτόνωση αερίων μαζών που σημειώνονται κατά τις ανοδικές κινήσεις κοντά στα θερμά και ψυχρά μέτωπα.
- 3) **βροχές ορογραφικές**: οφείλονται στην εκτόνωση της αέριας μάζας κατά την διάρκεια ανοδικών κινήσεων στις προσήνεμες πλευρές των βουνών.



Στην προσήνεμη πλευρά του βουνού δημιουργούνται σύννεφα και βρέχει, και ο ξηρός και θερμός αέρας στην υπήνεμη πλευρά θα φέρει αίθριο καιρό. Η υπήνεμη πλευρά ενός βουνού, που είναι φτωχή σε υετό, ονομάζεται **ομβροσκιά**, ενώ η προσήνεμη ονομάζεται **ομβροπλευρά**.

Στην Ελλάδα, η οροσειρά της Πίνδου (δυτική πλευρά) είναι ομβροπλευρά, ενώ η θεσσαλική πεδιάδα είναι ομβροσκιά.

Ζημιές από βροχή

1. Στο στάδιο ωρίμανσης των καρπών, μια βροχή μπορεί να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση της ποσότητας και της ποιότητας του φυτικού προϊόντος.
2. Στο στάδιο της επικονίασης, δημιουργεί προβλήματα στα ανεμόφιλα φυτά με αποτέλεσμα να παρατηρείται σημαντική μείωση της καρπώδεσης.
3. Ισχυρή βροχή προκαλεί σημαντική διάβρωση του εδάφους (ιδιαίτερα σε ορεινές αποψιλωμένες δασικές περιοχές).
4. Σε συνθήκες συνεχών βροχοπτώσεων, διευκολύνεται η μόλυνση των φυτών από μύκητες και άλλα παθογόνα, σε συνδυασμό με την κατάλληλη **θερμοκρασία** αέρα.



Σχήμα 1. Αποξήρανση τμήματος σταφυλιού, λόγω θραύσης της επιδερμίδας των ραγών 10 ημέρες μετά τη βροχόπτωση (Φωτ. Κεχαγιάς Γ., Εγχειρίδιο εκτιμητικής για τα αμπελοειδή, ΕΛΓΑ, 2003).



Σχήμα 3. Γκρι μούχλα σε αμπελώνα λόγω του μύκητα *Botrytis cinerea* μετά από βροχόπτωση (Φωτ. Walker A.S., Genoscope, 2012).

Αίτια για την δημιουργία υγρασίας στο φύλλωμα

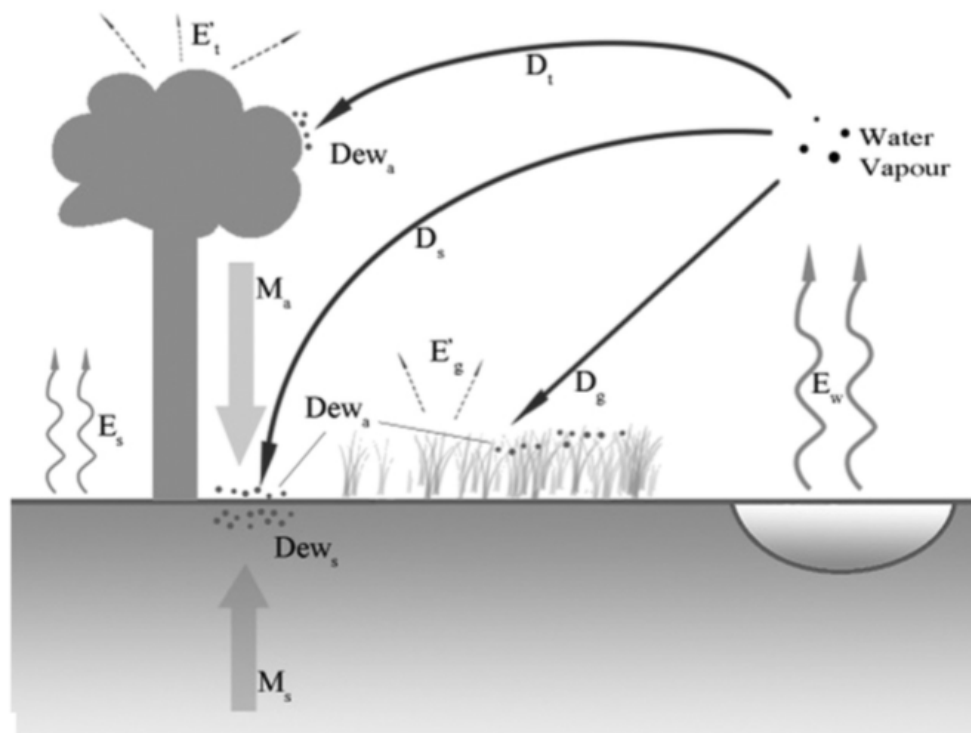


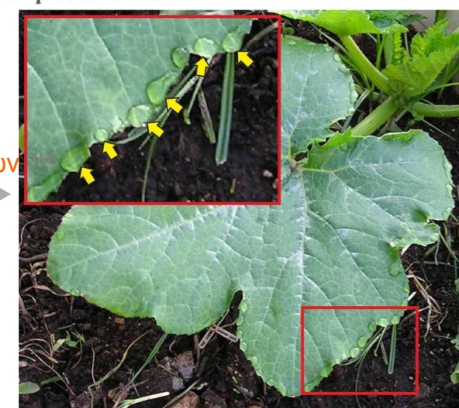
Fig. 7. A diagram of dew formation. E_s , evaporation of soil; E_w , evaporation of water body; E_t , transpiration of trees; E_g , transpiration of grasses; D_t , the condensation process for water vapor at trees canopy; D_s , the condensation process for water vapor at soil surface; D_g , the condensation process for water vapor at leaves of grasses; M_a , the vapor in air; M_s , the moving trace of water vapor in soil layers; Dew_s , the net soil dew; Dew_a , the atmosphere dew.

Πηγή: Formation and influencing factors of dew in sparse elm woods and grassland in a semi-arid area, Wang et al., Acta Ecologica Sinica 37(3), 2017.

<https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/AFPGM129/> open eclass Φυσιολογία Φυτών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Πηγές της υγρασίας:

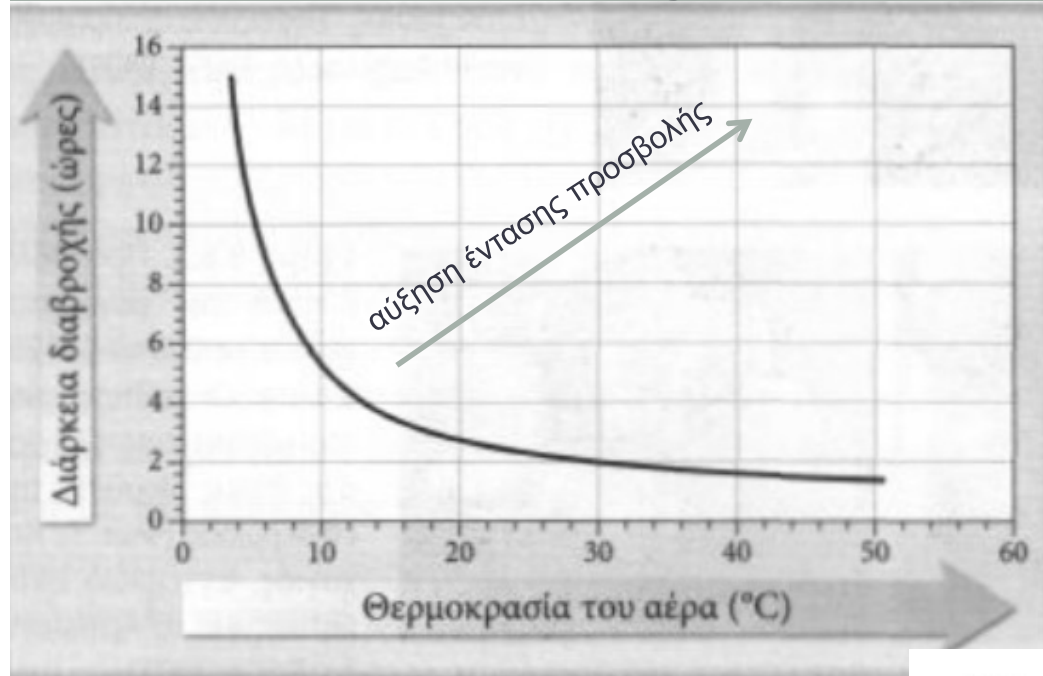
- Νερό κατακράτησης στην φυτοκόμη από βροχή ή ομιχλοβροχή
- Κατακράτηση νερού άρδευσης
- Δρόσος από την ατμόσφαιρα (dew_a -fall) και το έδαφος (dew_s -rise) στα φύλλα και στο έδαφος (σχήμα πάνω)
- Σταγονόρροια (σχήμα δεξιά)



Εικόνα 6.7. Σταγονόρροια στα φύλλα κολοκυθιάς (ένθετη-βέλη). Η λειτουργία αυτή παρατηρείται τη νύχτα ή σε περιβάλλοντα με υψηλή σχετική υγρασία (π.χ. σε θερμοκήπια), όταν η διασπορά περιορίζεται.

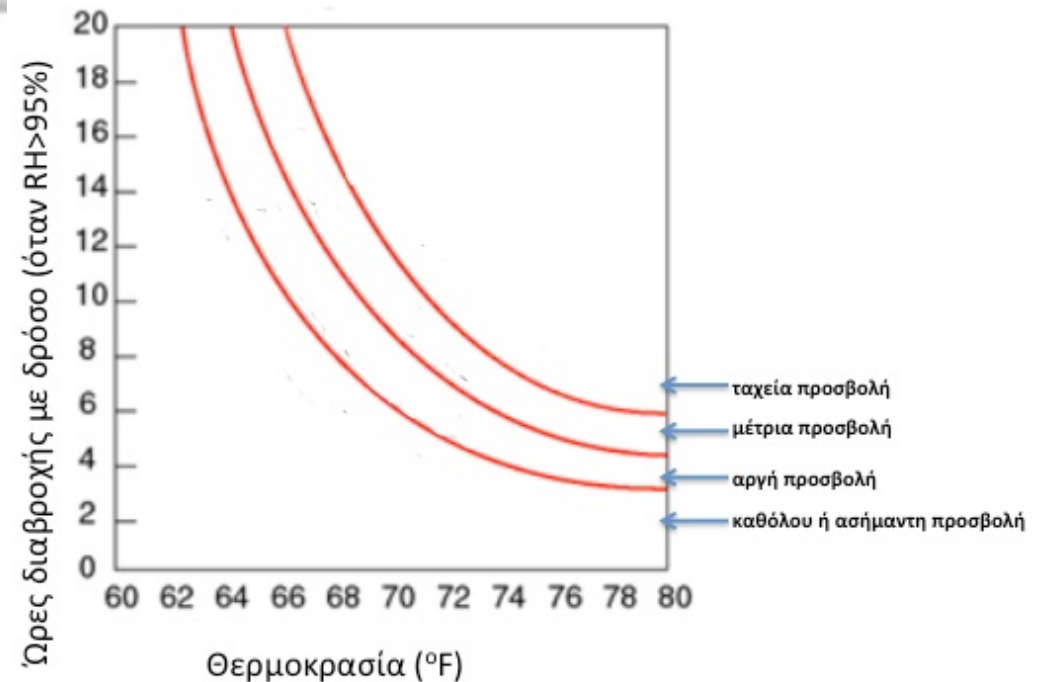
Σταγονόρροια ανιόντος
χυμού κατά την νύχτα

Ζημιές από υγρασία ένταση



Χρόνος διαβροχής & Θερμοκρασία αέρα

Σχήμα 6.6.3. Σχέση θερμοκρασίας του αέρα (°C) και διάρκειας διαβροχής φύλλων (ώρες) για την εκδήλωση προσβολής ωιδίου της αμπέλου (κατά Orlandini)



Ζημιές από υγρασία

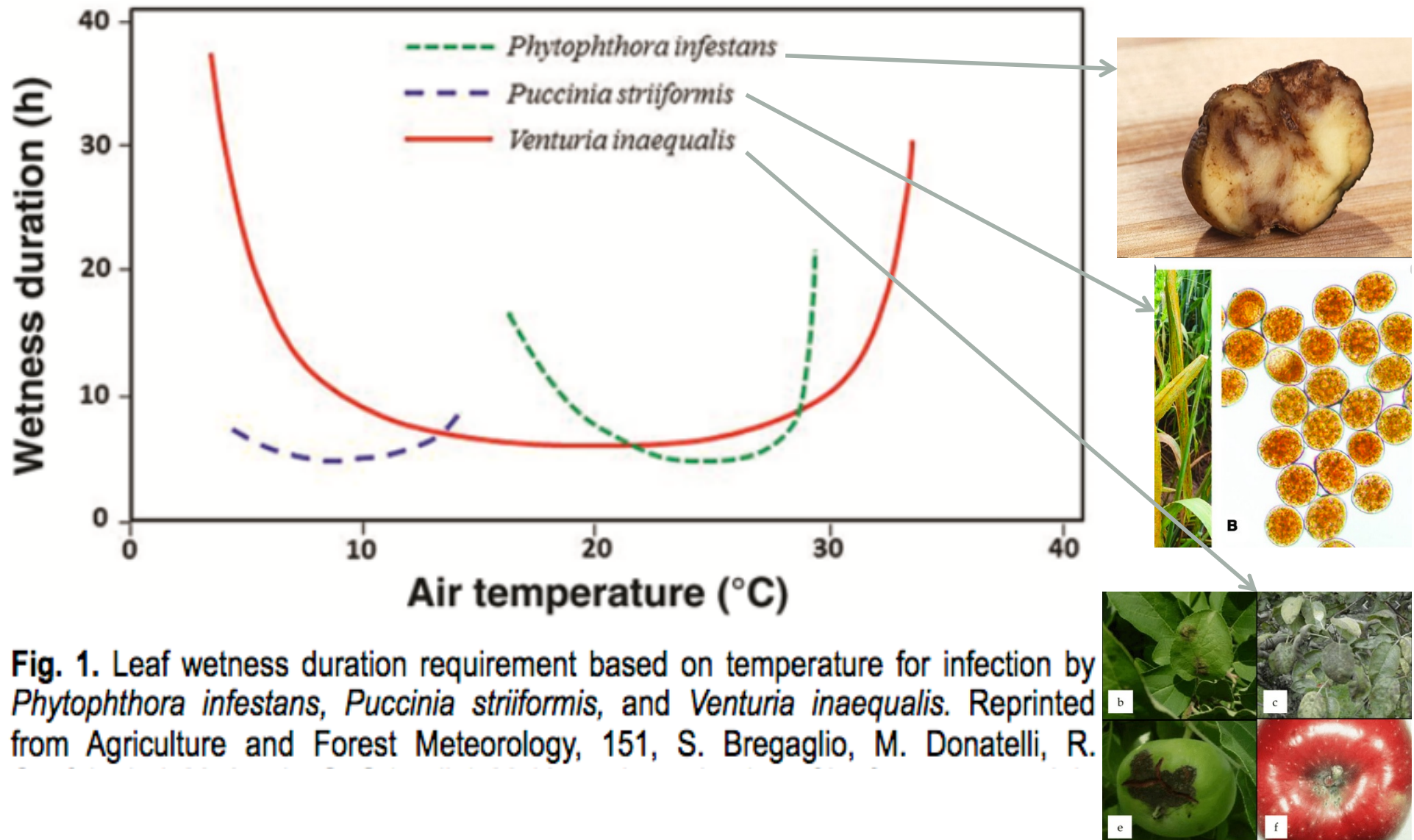


Fig. 1. Leaf wetness duration requirement based on temperature for infection by *Phytophthora infestans*, *Puccinia striiformis*, and *Venturia inaequalis*. Reprinted from Agriculture and Forest Meteorology, 151, S. Bregaglio, M. Donatelli, R.

Ζημιές από υγρασία ένταση



Ταχύτητα ανέμου & Ανομβρία

Αισθητήρες υγρασίας φύλλου



Fig. 6. Examples of commercially available leaf wetness sensors. 1. Decagon Devices (<http://www.decagon.com/products/sensors/environmental-sensors/leaf-wetness-sensor/>); 2. Environdata (http://www.environdata.com.au/leaf_wetness_sens); 3. Spectrum Technologies, Inc. ([http://www.specmeters.com/search/?key word=leaf %20wetness&perpage=12&match=AND&F_Sort=2](http://www.specmeters.com/search/?key%20word=leaf%20wetness&perpage=12&match=AND&F_Sort=2)); 4. Netsens ([http:// www.netsens.it/en/leaf-wetness-sensor.php](http://www.netsens.it/en/leaf-wetness-sensor.php)); 5. OnSet HOB0 Dataloggers ([http:// www.onsetcomp.com/products/sensors/leaf-wetness](http://www.onsetcomp.com/products/sensors/leaf-wetness)); 6. Campbell Scientific ([http:// www.campbellsci.ca/237-l](http://www.campbellsci.ca/237-l)); 7. RainWise Inc. ([http://www.rainwise.com/products/ detail.php?ID=6764](http://www.rainwise.com/products/detail.php?ID=6764)); 8. Global Water (<http://www.globalw.com/products/lw100.html>).

Μέτρηση βροχής με ραντάρ



Χαλάζι

Πηγή: <https://www.accuweather.com/en/weather-news/how-to-recognize-a-radar-confirmed-tornado/328885>

*A strong supercell thunderstorm drops hail behind the Doppler radar at New Underwood, South Dakota.
(Photo/Eric Kurth, NOAA/NWS/ER/WFO/Sacramento)*

Η **ανακλαστικότητα** των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνδέεται με την ραγδαιότητα της βροχόπτωσης (i) αλλά και την χαλαζόπτωση. Η **πόλωση** τους έχει σχέση με το **σχήμα**, **μέγεθος**, **κατεύθυνση** και **φύση** των υδάτινων κατακρημνισμάτων (π.χ. όταν η διάμετρος των υδροσταγονιδίων αυξάνεται, οι σταγόνες πλαταίνουν με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πιο μεγάλη ανακλαστικότητα σε οριζόντια πόλωση απ' ό,τι σε κατακόρυφη. Εκτός από τα επίγεια, τα ραντάρ τοποθετούνται σε αεροπλάνα αλλά και δορυφόρους. Το πρώτο ραντάρ βροχόπτωσης που τοποθετήθηκε σε δορυφόρο είναι το TRMM.

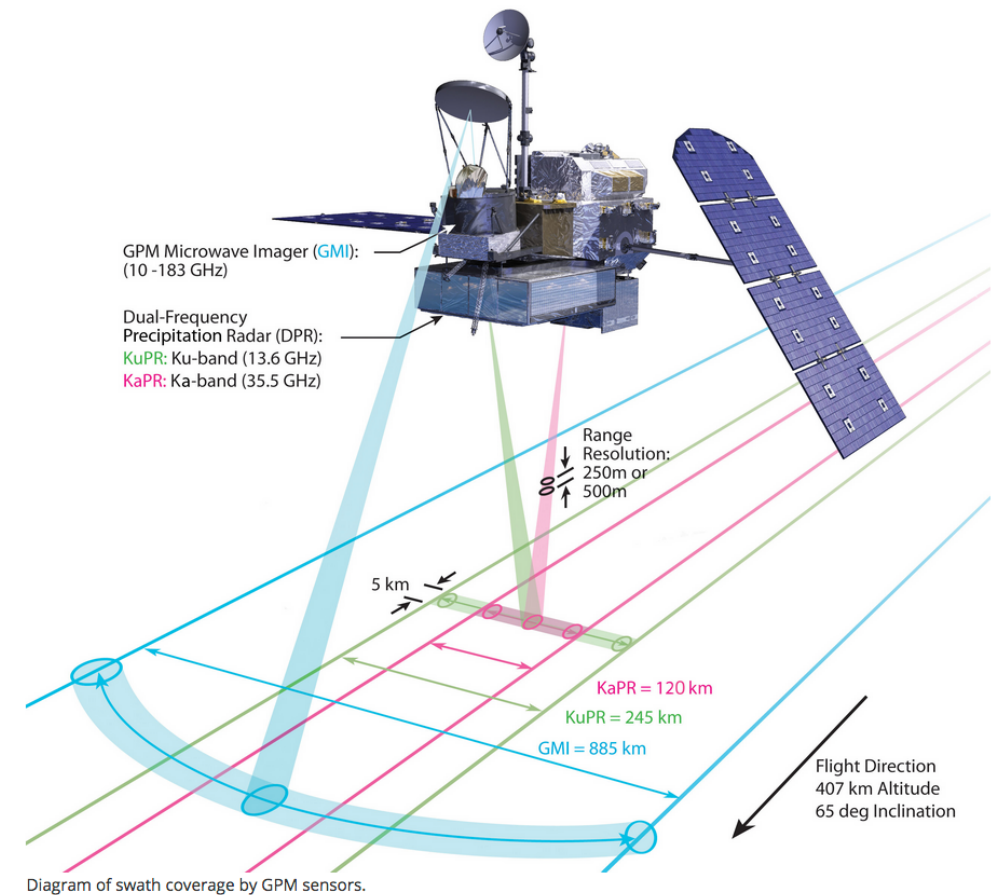
Μέτρηση βροχής με ραντάρ

Ραντάρ Αερομεταφερόμενα



Πηγή: http://users.ntua.gr/dkoutso/courses/hydrometeo/EMP_RADAR_2009.pdf

Ραντάρ Δορυφόρου



Πηγή: <https://gpm.nasa.gov/image-gallery/diagram-swath-coverage-gpm-sensors>

Χιόνι

Το χιόνι συμβαίνει ως εξής: όταν οι παγοκρύσταλλοι μεγεθυνθούν και εγκαταλείψουν το νέφος, φθάνουν χωρίς να λιώσουν στο έδαφος. Οι παγοκρύσταλλοι του χιονιού είναι λευκοί εξαγωνικοί με μέση διάμετρο από 1-3 mm.

Όταν η συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα γίνει σε θερμοκρασία $<0^{\circ}\text{C}$, τότε αυτοί μεταβαίνουν απευθείας στη στερεή κατάσταση. Κατόπιν, με την ύπαρξη θερμού στρώματος αέρα ($T > 0^{\circ}\text{C}$) και το μερικό ή ολικό λιώσιμο των χιονονιφάδων, έχουμε τις παρακάτω **4 μορφές** στο έδαφος :



Χαλάζι

Το χαλάζι συμβαίνει ως εξής:

Στις ανώτερες περιοχές των χαλαζοφόρων νεφών (τύπου Cb), η θερμοκρασία είναι $< 0^{\circ}\text{C}$, με αποτέλεσμα να συμβαίνει αυτόματη πήξη των υδροσταγόνων του νέφους που βρίσκονται σε υπέρτηξη (**υπέρτηξη** είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα υγρό ή αέριο, παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη του σημείου πήξης του, παραμένει σε **υγρή** μορφή). Εξαιτίας των έντονων ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων, που επικρατούν στα νέφη, οι αρχικοί παγοκρύσταλλοι (χαλαζόκοκκοι) **συγκρούονται** με άλλα υδροσταγονίδια ή μεταξύ τους και αυξάνουν το μέγεθός τους.

Επιπρόσθετα, οι χαλαζόκοκκοι οι οποίοι ανεβαίνουν παγώνουν και στη συνέχεια μεταφέρονται στα κατώτερα στρώματα, όπου οι θερμοκρασίες είναι θετικές, και έτσι **λιώνουν** και δημιουργείται ένα υγρός μανδύας γύρω τους, ο οποίος στη συνέχεια **παγώνει** όταν μεταφέρονται εκ νέου στα ανώτερα στρώματα. Επομένως, και αυτή η διεργασία αυξάνει το μέγεθος του χαλαζόκοκκου.

Όταν οι χαλαζόκοκκοι αυτοί αποκτήσουν τέτοιο μέγεθος που τα ανοδικά ρεύματα αδυνατούν να τα συγκρατήσουν, τότε αυτοί εγκαταλείπουν το νέφος και εάν φτάσουν στην επιφάνεια του εδάφους, πριν λιώσουν, δημιουργείται το φαινόμενο του χαλαζιού.

Ζημιές από χαλάζι



Εικόνα 3. Χαλαζόκοκκοι στους οποίους διακρίνονται οι διαδοχικοί μανδύες



Σχήμα 1. (πάνω αριστερά) μεγάλος χαλαζόκοκκος ασυνήθιστου σχήματος, (πάνω δεξιά) χαλάζι που καλύπτει το έδαφος, (κάτω) χαλαζόκοκκοι διαφόρων διαστάσεων (NOAA 2012).



Εικόνα 2. Χαλαζόκοκκος οπού διακρίνεται η σύμπτυση παγοκρυστάλλων



Σχήμα 2. Καταστροφή καρπών και φυλλώματος μετά από χαλαζόπτωση (ABC 2012, Cornell University 2012).

Αντι-χαλαζικά μέτρα

1) **Επεμβάσεις διαφόρων ουσιών** στο χαλαζοφόρο νέφος όπως: εκρηκτική ύλη, ιωδιούχος άργυρος, ξηρός πάγος, αλάτι, ουρία ή νιτρικό αμμώνιο.

- Η επέμβαση στο νέφος με εκρηκτική ύλη δημιουργεί έκρηξη μέσα στο νέφος στοχεύοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας ώστε να προκληθεί τήξη (λιώσιμο) των χαλαζόκοκκων.
- Ο μηχανισμός δράσης των υπόλοιπων ουσιών είναι ο παρακάτω:
Με την είσοδο των υλικών σποράς στο νέφος δημιουργείται αυξημένος αριθμός τεχνητών παγοπυρήνων, οι οποίοι ανταγωνίζονται τους φυσικούς. Με δεδομένο ότι το συνολικό ποσό νερού στο νέφος παραμένει σταθερό, σχηματίζεται σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός χαλαζόκοκκων, μικρότερου όμως μεγέθους από αυτούς που θα σχηματίζονταν χωρίς την είσοδο στο νέφος των υλικών σποράς. Έτσι, οι χαλαζόκοκκοι που προέρχονται από νέφη με σπορά, είναι λιγότερο καταστρεπτικοί ή καθόλου, όταν κατά τη διαδρομή τους στην ατμόσφαιρα λιώσουν, οπότε πέφτουν στο έδαφος υπό μορφή βροχής.

Αντι-χαλαζικά μέτρα

2) Χρήση αντιχαλαζικών δικτύων

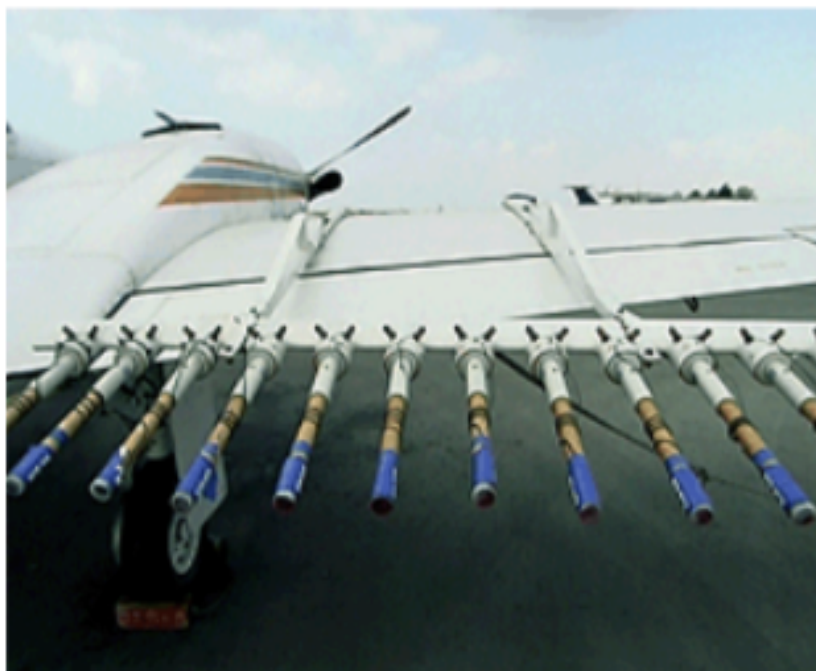
3) **Επιλογή ποικιλιών** με μεγάλη ανθεκτικότητα στο χαλάζι. Επίσης εφαρμογή **διαφόρων τεχνικών** π.χ. κλάδεμα, λίπανση, φυτοπροστατευτική επέμβαση κ.ά.

Η πρόβλεψη της χαλαζόπτωσης σε μια περιοχή γίνεται με ένα ισχυρής εμβέλειας **ραντάρ** που τοποθετείται σε κατάλληλη θέση και εντοπίζει κάθε νέφος ύποπτο για χαλαζόπτωση.



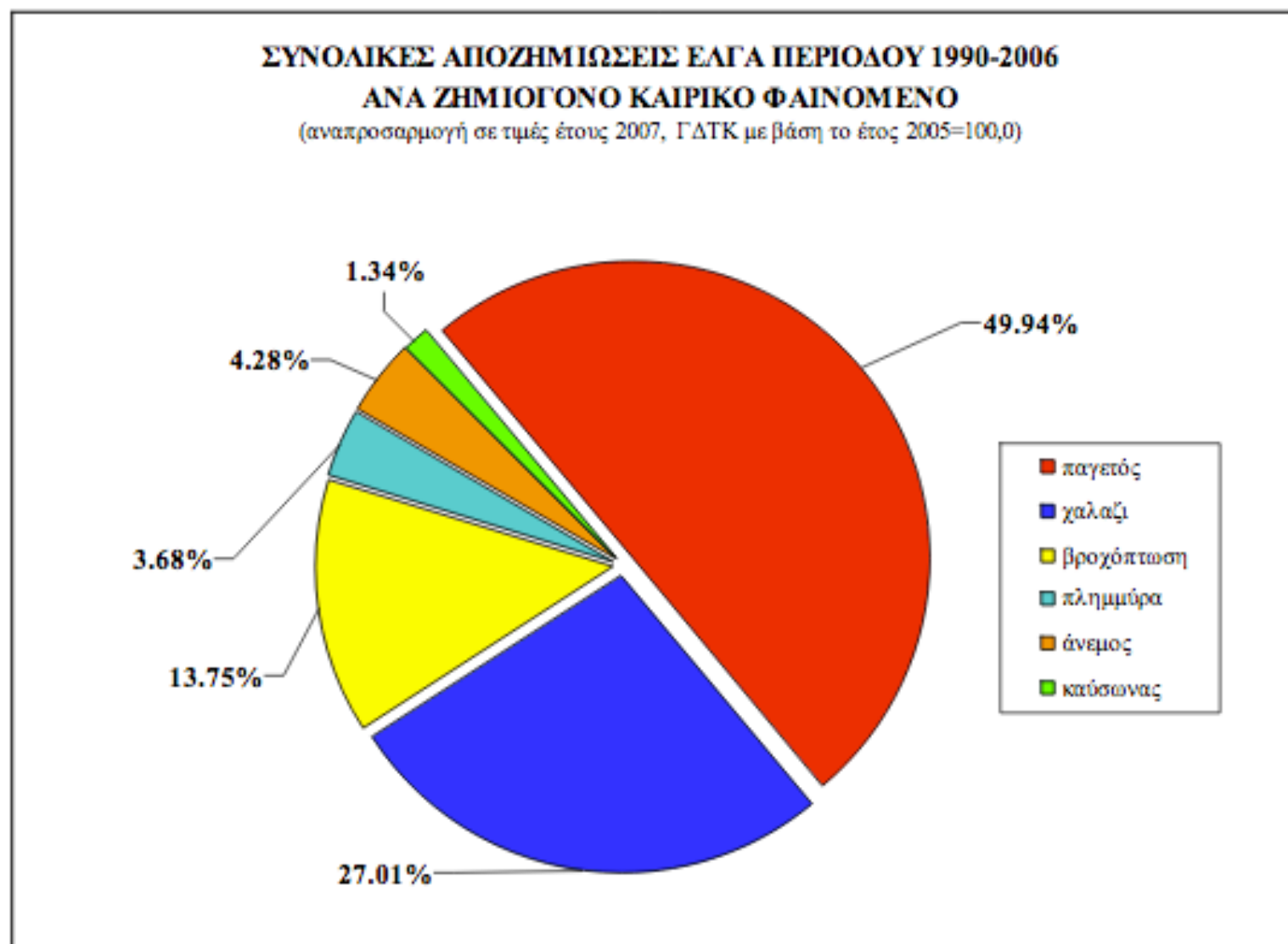
Σχήμα 4. Αντιχαλαζικά δίκτυα (Daleys 2012, FLTS 2012, Viewpoint 2012).

Αντι-χαλαζικά μέτρα



Σχήμα 5. Ειδικά εξοπλισμένο αεροσκάφος με φυσίγγια υλικού σποράς (3D GAA 2012).

Ζημιές από διάφορα καιρικά αίτια



Σχήμα 4.3: Συνολικές Αποζημιώσεις (ποσοστό %) ΕΛΓΑ περιόδου 1990-2006 για κάθε ζημιογόνο καιρικό φαινόμενο.