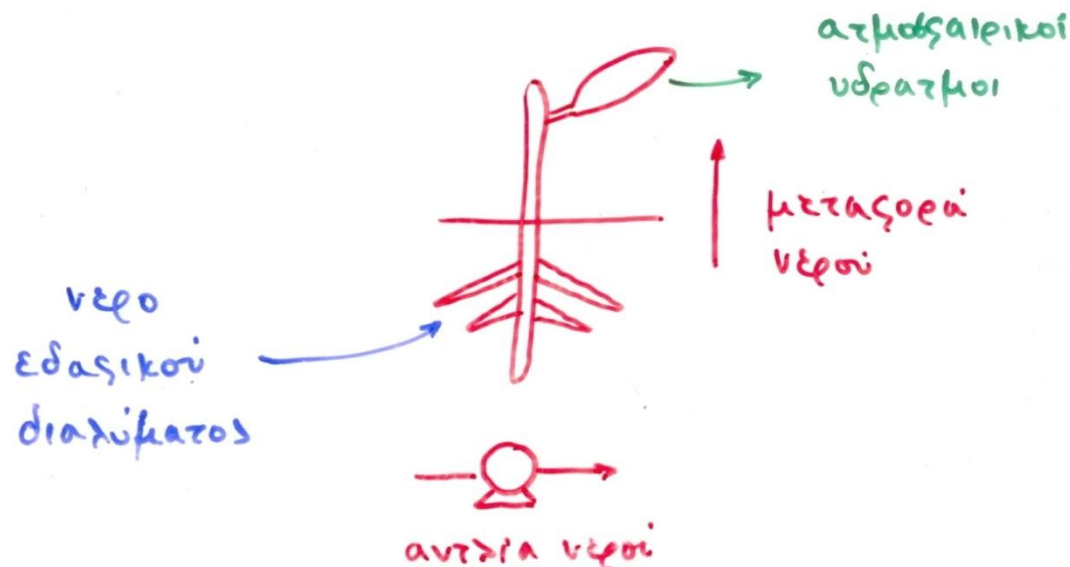


Η λειτουργικότητα του νερού στο φυτό

Το φυτό είναι **αντλία νερού**:
παραλαμβάνει νερό από το εδαφικό διάλυμα
σε υγρή μορφή
και το μεταφέρει στην ατμόσφαιρα
σε αέρια μορφή



το δυναμικό του νερού στο φυτό Ψ_w

είναι η ελεύθερη ενέργεια του νερού
που περιέχεται στη μονάδα του όγκου (J.m^{-3})

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ J.m}^{-3}$$

**παράγοντες που τροποποιούν
το δυναμικό του νερού στο φυτό:**

- η συγκέντρωση των διαλυμένων υλικών
- η πίεση
- η βαρύτητα

Το δυναμικό των διαλυμένων υλικών Ψ_s
είναι η αλλαγή που προκαλούν
οι διαλυμένες ενώσεις
στην ελεύθερη ενέργεια του νερού

Τα διαλυμένα υλικά μειώνουν την ελεύθερη
ενέργεια του νερού γιατί το αραιώνουν
(1 mol διαλύματος έχει λιγότερα μόρια νερού από
1 mol νερού)

Το Ψ_s λέγεται και ωσμωτικό δυναμικό
Είναι ανεξάρτητο από τη φύση
των διαλυμένων υλικών

$$\Psi_s = -RTC_s$$

C_s : mol ολικών διαλυμένων συστατικών. Kg^{-1} νερού

1 Kg νερού = 1 L νερού

$$R = 0,00832 \text{ L.MPa.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$T \text{ (σε K)} = 273 + ^\circ\text{C}$$

$$RT = 0,00832 (273+^\circ\text{C}) \text{ L.MPa.mol}^{-1}$$

το δυναμικό που οφείλεται στη βαρύτητα Ψ_g
είναι η αλλαγή που προκαλεί η βαρύτητα
στην ελεύθερη ενέργεια του νερού

$$\Psi_g = \rho_w \cdot g \cdot h = (0.01 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{-1}) (h \cdot \text{m})$$

ρ_w είναι η πυκνότητα του νερού

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας

h είναι το ύψος του νερού

$$\rho_w \cdot g = 0,01 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{-1}$$

a_w : η ενεργότητα του νερού

(1- a_w είναι το μη-διαθέσιμο νερό)

$$\Psi_w \text{ (MPa)} = 0,462 \cdot (273 + ^\circ\text{C}) \cdot \ln a_w$$

$$a_w = \exp \left[\frac{\Psi_w}{0,462(273 + ^\circ\text{C})} \right]$$

Καθαρό νερό $\Rightarrow \Psi_s = 0 \text{ MPa}$

$$\Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$a_w = e^0 = 1$$

**Διάλυμα που περιέχει 0,1 mol σακχαρόζης
σε 1 L νερού στους 20 °C**

$$RT_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,00832 \cdot (273 + 20) = 2,438 \text{ L.MPa.mol}^{-1}$$

$$\Psi_s = -(2,438 \text{ L.MPa.mol}^{-1})(0,1 \text{ mol.L}^{-1}) = -0,2438 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p = (-0,2438) + 0 = -0,2438 \text{ MPa}$$

$$a_w = \exp \left[\frac{-0,2438}{0,462(273 + 0)} \right] = 0,9982$$

κύτταρο σε σπαργή

- το εσωτερικό του κυττάρου είναι κορεσμένο με νερό
- έχει τον μέγιστο όγκο του
- ασκείται η μέγιστη εσωτερική πίεση στο κυτταρικό τοίχωμα

πίεση σπαργής Ψ_p (υδροστατική πίεση)

κύτταρο σε σπαργή

- το κυτταρικό τοίχωμα βρίσκεται στη μέγιστη διάταση
- η πίεση που ασκεί το κυτταρικό τοίχωμα αντισταθμίζει το ωσμωτικό δυναμικό του κυτταρικού χυμού και σταματάει η καθαρή εισροή νερού

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

$$\Psi_w = 0$$

$$\Psi_s = \Psi_p$$

κύτταρο σε πλασμόλυση

- η απώλεια νερού οδηγεί
σε μείωση του χυμοτοπιακού όγκου
και σε αύξηση του κυτταρικού χυμού
- όλο και λιγότερη πίεση ασκείται στο
κυτταρόπλασμα από το κυτταρικό τοίχωμα

κύτταρο σε πλασμόλυση

- ο κυτταρικός όγκος ελαχιστοποιείται σε μία τιμή κάτω από την οποία το κυτταρικό τοίχωμα δεν μπορεί να συρρικνωθεί περισσότερο
→ σημείο μηδενικής σπαργής
- το κυτταρόπλασμα αρχίζει να απομακρύνεται από το κυτταρικό τοίχωμα
→ κατάσταση αρχόμενης πλασμόλυσης

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

$$\Psi_w = \Psi_s$$

$$\Psi_p = 0$$

Μεταξύ θέσεων που διαφέρουν στο δυναμικό του νερού, υπάρχει **διαφορά δυναμικού του νερού $\Delta\Psi_w$**

- υπάρχει η τάση να κινηθεί το νερό από τη θέση με το υψηλότερο δυναμικό προς τη θέση με το χαμηλότερο δυναμικό
- κάθε διαφορά δυναμικού προσφέρει τη δυνατότητα για μείωση αυτής της διαφοράς
- η διαφορά δυναμικού του νερού στο κύτταρο μειώνεται με μεταφορά νερού ή με μεταφορά ωσμωτικά ενεργών υλικών

Η ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται

- **από την περιεκτικότητά της σε υγρασία**
- **και από τη θερμοκρασία της**

και τα δύο είναι μεταβλητά μεγέθη

Το δυναμικό του νερού της ατμόσφαιρας εξαρτάται από:

- τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας
- τον βαθμό (ποσοστό) κορεσμού της ατμόσφαιρας σε νερό

Επομένως, το φυτό περιβάλλεται από αέριο περιβάλλον με διάφορη περιεκτικότητα σε νερό

Το αέριο περιβάλλον αναγκάζει το φυτό να χάνει νερό με γρήγορο ρυθμό

Το φυτό της ξηράς πρέπει να διατηρεί την ενυδάτωση των ιστών του στο κατάλληλο επίπεδο, αναπληρώνοντας αυτές τις απώλειες νερού προς την ατμόσφαιρα

Η αναπλήρωση αυτού του νερού πρέπει να γίνει με ανάλογο ρυθμό

Διαπνευστική λειτουργία (ή διαπνοή):

η απώλεια του νερού από τα υπέργεια μέρη (κυρίως από τα φύλλα) προς την ατμόσφαιρα με εξάτμιση

Η εξάτμιση του νερού από τα υπέργεια φυτικά μέρη εντείνεται

- **με τη μείωση της υγρασίας της ατμόσφαιρας**
- **με την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας**

Το κύριο διαπνευστικό όργανο του φυτού είναι το φύλλο

**Οι διαπνευστικές απώλειες του νερού
είναι πολύ μεγάλες**

Από το νερό που απορροφάται από τη ρίζα

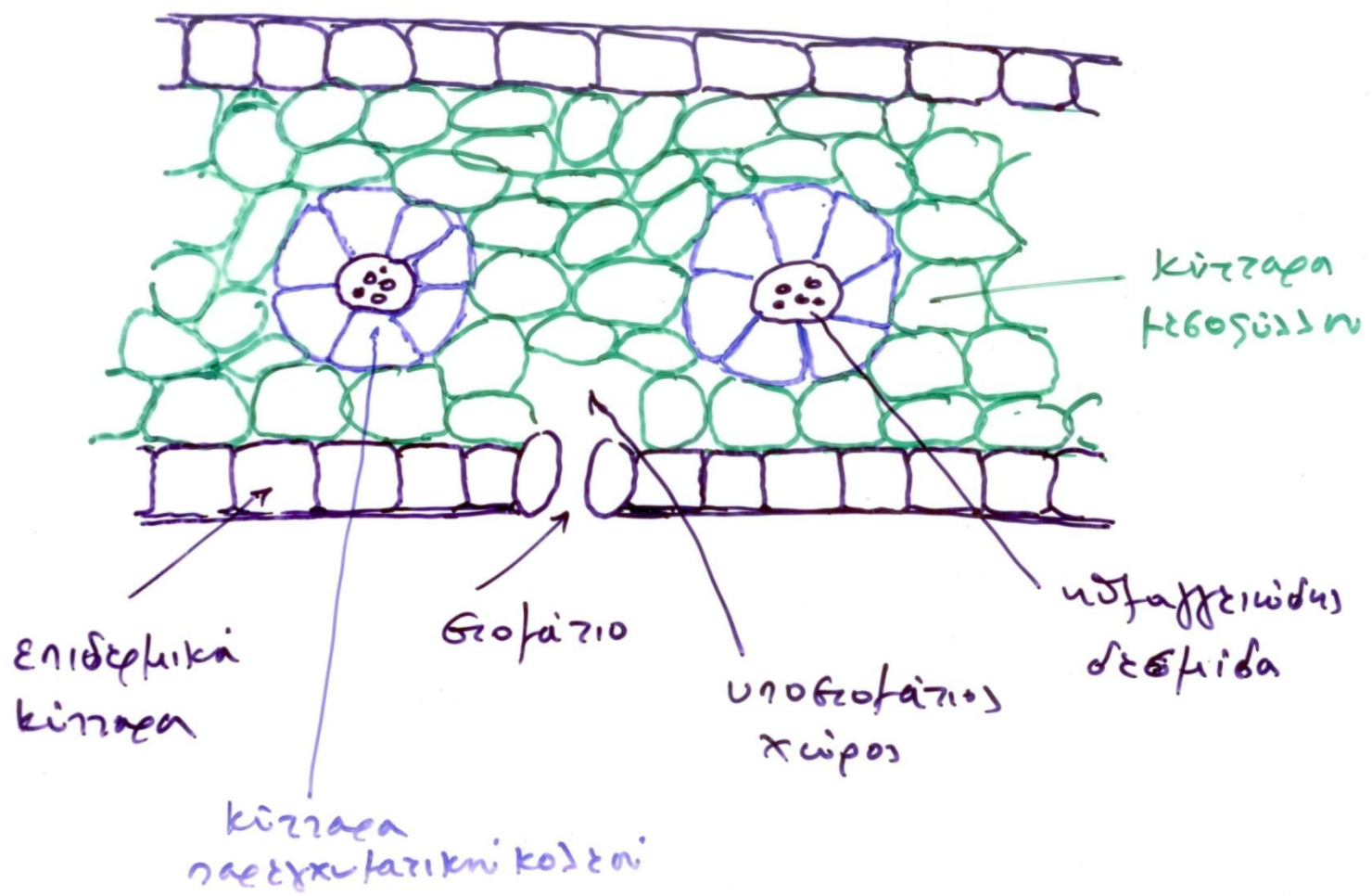
- περίπου το 98% χάνεται με τη
διαπνευστική λειτουργία
- το υπόλοιπο 2% χρησιμοποιείται από το φυτό

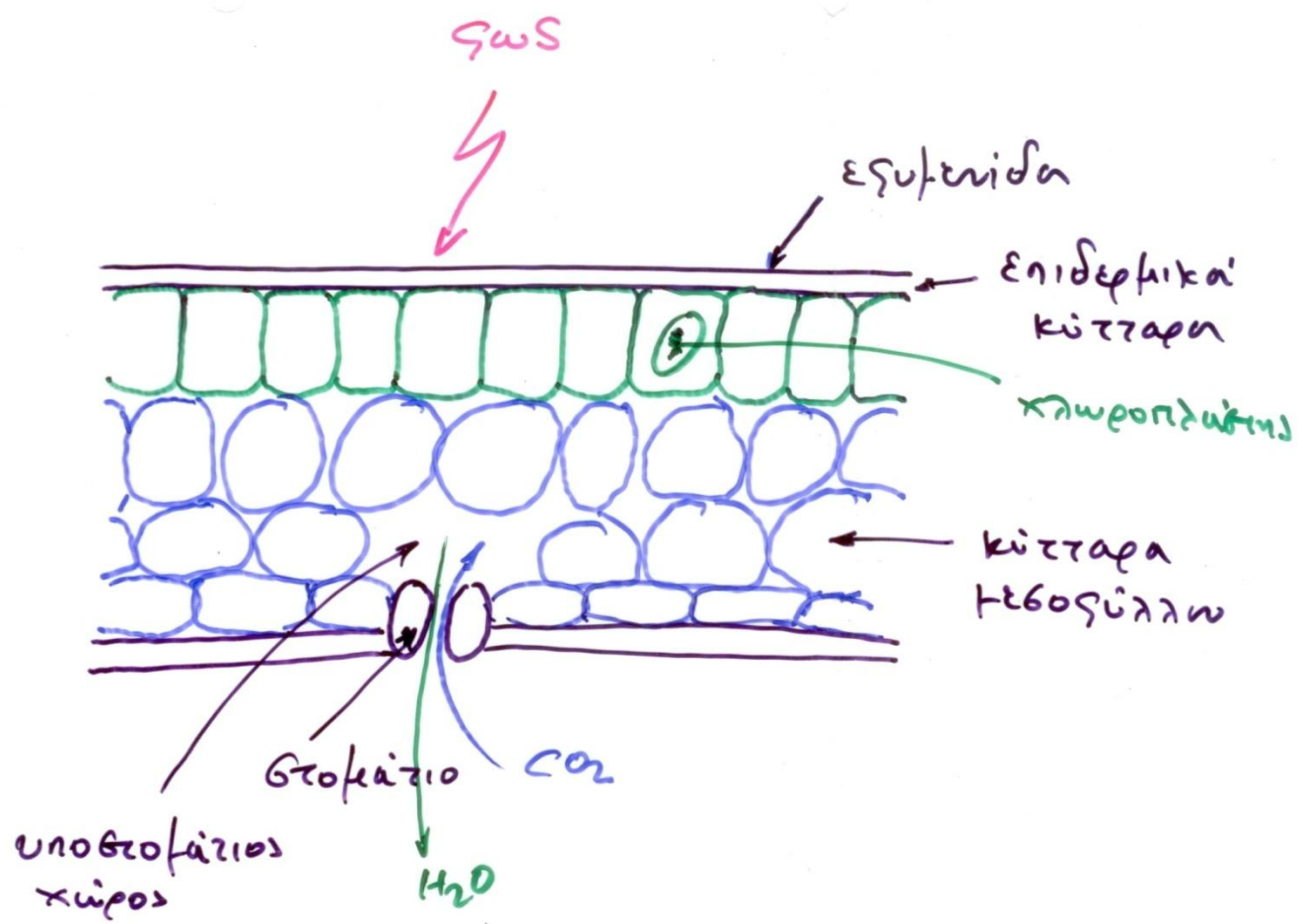
Η κινητήρια δύναμη της διαπνευστικής λειτουργίας είναι η διαφορά στο δυναμικό του νερού μεταξύ του υποστομάτιου χώρου και της ατμόσφαιρας

ο υποστομάτιος χώρος είναι κορεσμένος με υδρατμούς

η ατμόσφαιρα είναι ακόρεστη σε υδρατμούς, επομένως έχει πολύ χαμηλότερο δυναμικό νερού

έτσι δημιουργείται το διαπνευστικό ρεύμα των υδρατμών





Η διαφορά δυναμικού του νερού μέσα και έξω από τον στομάτιο πόρο είναι πολύ μεγάλη, περίπου **100 MPa**

Ο ρυθμός διαπνοής είναι ο ρυθμός μεταφοράς των υδρατμών από τους υποστομάτιους χώρους του μεσόφυλλου προς την ατμόσφαιρα

Εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ του δυναμικού του νερού του υποστομάτιου χώρου και του νερού της ατμόσφαιρας

**Οι διαπνευστικές απώλειες του νερού
πρέπει να αναπληρωθούν**

**Αυτό γίνεται με τη βοήθεια
του **ξυλώδους αγγειακού συστήματος****

Η μεταφορά του νερού μέσα στο ξυλώδες αγγειακό σύστημα

Το αγγειακό σύστημα του φυτού εξασφαλίζει τον εφοδιασμό όλων των οργάνων με νερό.

Η συνέχεια της στήλης του νερού μέσα στα αγγεία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την τροφοδοσία με νερό των οργάνων που διαπνέουν

Η συνέχεια της στήλης του νερού μπορεί να διακοπεί με εισαγωγή αέρα, οπότε δημιουργούνται φυσαλίδες αέρα μέσα στο αγγείο

Η φραγή του αγγείου από φυσαλίδες αέρα είναι δύσκολη

- **το αγγείο έχει προεξοχές εγκάρσιες του κυτταρικού τοιχώματος που εμποδίζουν τη συνένωση των φυσαλίδων σε μεγαλύτερες**
- **υπάρχει η δυνατότητα εκτροπής του ρεύματος του αγγείου στο γειτονικό αγγείο σε περίπτωση φραγής, από τα ανοίγματα επικοινωνίας στα τοιχώματα των αγγείων**

Το ΞΑΣ παρουσιάζει μικρή αντίσταση στην κίνηση του νερού

Η συγκέντρωση του χυμού του ΞΑΣ σε διαλυτά συστατικά είναι μικρή → το δυναμικό του νερού του χυμού έχει αρνητική τιμή που είναι κοντά στο μηδέν

**Στο ΞΑΣ μεταφέρεται νερό
με κατεύθυνση
από τη ρίζα στο φύλλο**

Πώς όμως μπαίνει το νερό στο ΞΑΣ;

Ο μηχανισμός εισόδου του νερού στα αγγεία του ξύλου

Τα αγγεία του ξύλου βρίσκονται στον κεντρικό κύλινδρο της ρίζας

Η περιφέρεια του κεντρικού κυλίνδρου περιβάλλεται από την ενδοδερμίδα

Τα κύτταρα της ενδοδερμίδας φέρουν σουβερίνη και λιγνίνη, που είναι αδιάβροχα υλικά και εμποδίζουν την κίνηση του νερού μέσα από τον αποπλασμικό χώρο της ενδοδερμίδας

Η είσοδος του νερού στον κεντρικό κύλινδρο από το φλοιώδες παρέγχυμα γίνεται μόνο συμπλασμικά, μέσα από τις κυτταροπλασματικές μεμβράνες των κυττάρων της ενδοδερμίδας

Τα ανόργανα ιόντα παραλαμβάνονται ενεργά και εισέρχονται στον κεντρικό κύλινδρο

Είναι ωσμωτικά ενεργά.

Η συσσώρευσή τους στα αγγεία του ξύλου μειώνει το ωσμωτικό δυναμικό του χυμού των αγγείων

Ελαττώνεται το δυναμικό του νερού των αγγείων

Δημιουργείται διαφορά δυναμικού του νερού

**Εισέρχεται νερό στον κεντρικό κύλινδρο
από τα κύτταρα του φλοιώδους παρεγχύματος
μέσα από τις κυτταροπλασματικές μεμβράνες των
κυττάρων της ενδοδερμίδας**

**Οι υδρόφοβες αποθέσεις (λωρίδα Caspari) εμποδίζουν
την επιστροφή του νερού πίσω στα κύτταρα του
φλοιώδους παρεγχύματος**

**Η ρίζα απορροφάει το εδαφικό νερό
με αποτέλεσμα να εξαντλεί το έδαφος
από το απόθεμά του σε νερό**

**Γι'αυτό πρέπει να ποτίζουμε,
για να αναπληρώνουμε αυτές τις απώλειες**

Το εδαφικό νερό συγκρατείται από τους εδαφικούς πόρους

Όσο μικραίνει η διάμετρος του πόρου, τόσο αυξάνεται το δυναμικό του εδαφικού νερού (αυξάνουν οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού από τα σωματίδια του εδάφους και προστίθενται οι δυνάμεις έλξης των μορίων του νερού μεταξύ τους)

Με την προοδευτική μείωση της ποσότητας του εδαφικού νερού μειώνεται η διαθεσιμότητά του και το δυναμικό του μέχρι ένα **οριακό σημείο**

Η διεργασία της απορρόφησης του εδαφικού νερού

Το φυτό προσλαμβάνει νερό από το εδαφικό διάλυμα με απορρόφηση, με τη συμμετοχή της ρίζας

Η ρίζα είναι όργανο απορρόφησης νερού

Οι επιμέρους ρίζες οργανώνονται σε σύστημα, το ριζικό σύστημα

Αυτό είναι το απορροφητικό σύστημα του εδαφικού νερού

Η διεργασία της **απορρόφησης του εδαφικού νερού**
από το **ριζικό σύστημα**
ελέγχεται από τη **διαπνευστική λειτουργία**

Η ζώνη απορρόφησης του νερού από την ρίζα είναι μία περιοχή 0,5-10 cm από το ακρορίζιο

Η περιοχή της ρίζας με τον μεγαλύτερο ρυθμό πρόσληψης νερού είναι η ζώνη των ριζικών τριχιδίων

Τα ριζικά τριχίδια αυξάνουν την επιφάνεια απορρόφησης νερού από τα επιδερμικά κύτταρα της ρίζας

Η ζώνη απορρόφησης του νερού είναι περιοχή με διαμορφωμένα αγγεία του ξύλου, τα οποία εμφανίζουν περιορισμένη εναπόθεση σουβερίνης και λιγνίνης ώστε να ελαχιστοποιείται η αντίσταση στην κίνηση του νερού

Η μεριστωματική περιοχή της ρίζας χαρακτηρίζεται από μικρή απορρόφηση νερού $\Rightarrow$ δεν υπάρχουν διαφοροποιημένα αγγεία του ξύλου σ'αυτή την περιοχή, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί το νερό

**Όταν δεν επαρκεί το εδαφικό νερό
δημιουργείται έλλειμμα νερού στα φυτικά όργανα
και επέρχεται μαρανση πρώτα των φύλλων
και μετά των υπολοίπων υπεργείων οργάνων**

Το οριακό δυναμικό του εδαφικού νερού είναι $-1,5\text{MPa}$.

**Η ρίζα δεν μπορεί να το απορροφήσει
δεν αναπληρώνονται οι διαπνευστικές απώλειες
του φυτικού νερού**

**Αποτέλεσμα: η μάρανση του φυτού → **μόνιμο σημείο
μάρανσης****

**Το οριακό δυναμικό του εδαφικού νερού
αντιστοιχεί στη μέγιστη απορροφητική δύναμη
που αναπτύσσεται από τα κύτταρα του μεσοφύλλου**

**Μέσα στα αγγεία του ξύλου της ρίζας αναπτύσσεται
θετική υδροστατική πίεση, η ριζική πίεση**

κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,5 MPa

προκαλεί ανύψωση της στήλης του χυμού του αγγείου