

# ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

# Γενικά

Σημασία του χιονιού στην υδρολογία:

Τήξη χιονιού

- Πηγή επιφανειακού νερού
- Επαναφόρτιση υπόγειων υδροφορέων
- Η προσωρινή αποθήκευση νερού αυξάνει την υστέρηση μεταξύ κατακρήμνισης και απορροής
- Το χιόνι μειώνει τον ρυθμό απορροής και διευκολύνει την επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων

- Επιδρά σημαντικά στο κλίμα

# Γενικά

(1) Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια και (2) Απορροή από λιώσιμο χιονιού → 2 συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου

- Πυκνότητα χιονιού = 10 – 50 % = % όγκου χιονιού που θα έπιανε το ισοδύναμο νερό του.

Καινούριο χιόνι → 10 %

- Θερμική ποιότητα,  $Q_t = \frac{\text{θερμ} \rightarrow 1 \text{ cm}^3 \text{ νερού από χιόνι}}{\text{θερμ} \rightarrow 1 \text{ cm}^3 \text{ νερού από παγο στους } 0^\circ\text{C}}$

$$Q_t = 0.95 - 1.0$$

εκτός όταν λιώνει  $Q_t = 0.7 - 0.8$

- Αλλαγή πυκνότητας (η πυκνότητα μεγαλώνει λόγω συμπίεσης ή από λιώσιμο)

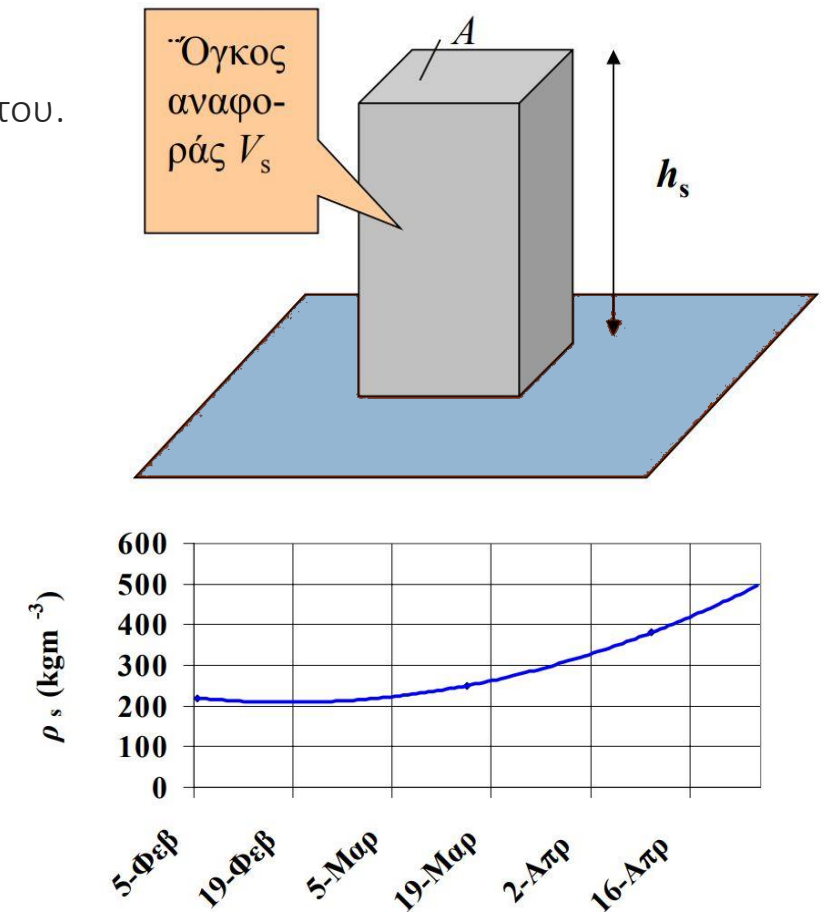
$$\Delta D = \frac{P \cdot D}{WE} \cdot \left(\frac{D}{10}\right)^{0.35}$$

$\Delta D$  = αλλαγή βάθους χιονιού

$P$  = ισοδύναμο νερό καινούριου χιονιού

$D$  = αρχικό βάθος χιονιού

$WE$  = ισοδύναμο νερό χιονιού



Από περιοχή Manitoba (Dingman, 1994, σ. 162)

# Γενικά

- Πυκνότητα νέου χιονιού  $\rho_N = 0,05 + \left(\frac{T_\alpha}{100}\right)^2$  για  $T_\alpha > 0^\circ\text{C}$   
 $\rho_N = 0,05$  για  $T_\alpha \leq 0^\circ\text{C}$

- Βάθος νέου χιονιού  $D_N = \frac{P}{\rho_N}$

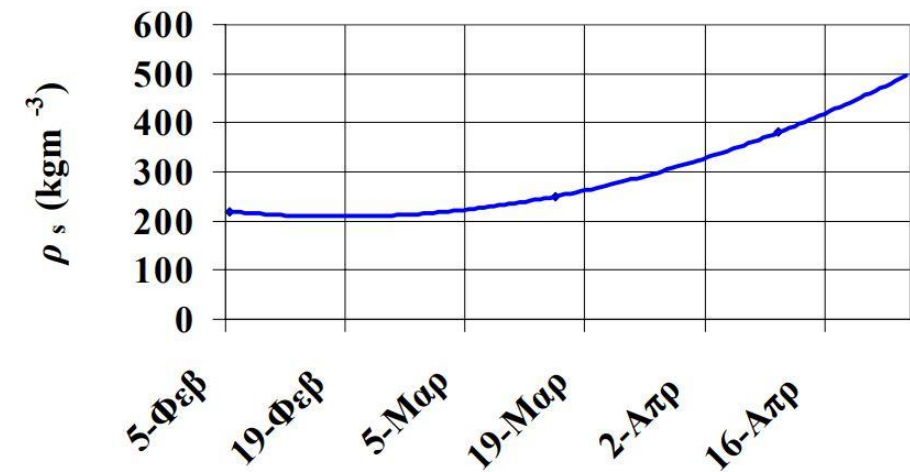
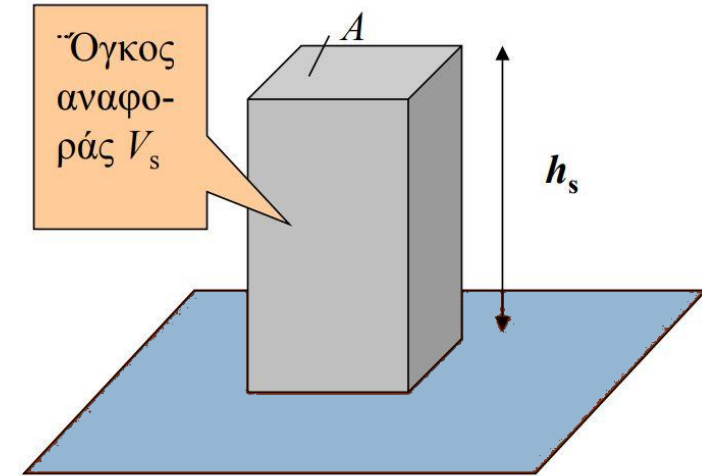
- Νέο Βάθος

$$D_2 = D_1 - \Delta D + D_N$$

- Ισοδύναμο νερό

$$WE_2 = WE_1 + P$$

- Πυκνότητα  $\rho_2 = \frac{WE_2}{D_2}$



Από περιοχή Manitoba (Dingman, 1994, σ. 162)

# Μετρικές ιδιότητες χιονιού ως υλικό

- Πορώδες:  $\varphi = (V_a + V_w)/V_s$
- Περιεκτικότητα σε νερό:  $\theta = V_w/V_s$
- Πυκνότητα χιονιού [ML-3]:  $\rho_s = (M_i + M_w)/V_s$

- Ισοδύναμο ύψος νερού [L]:

$$hm = [V_w + Vi(\rho_i/\rho_w)]/A = hs(\rho_s/\rho_w)$$

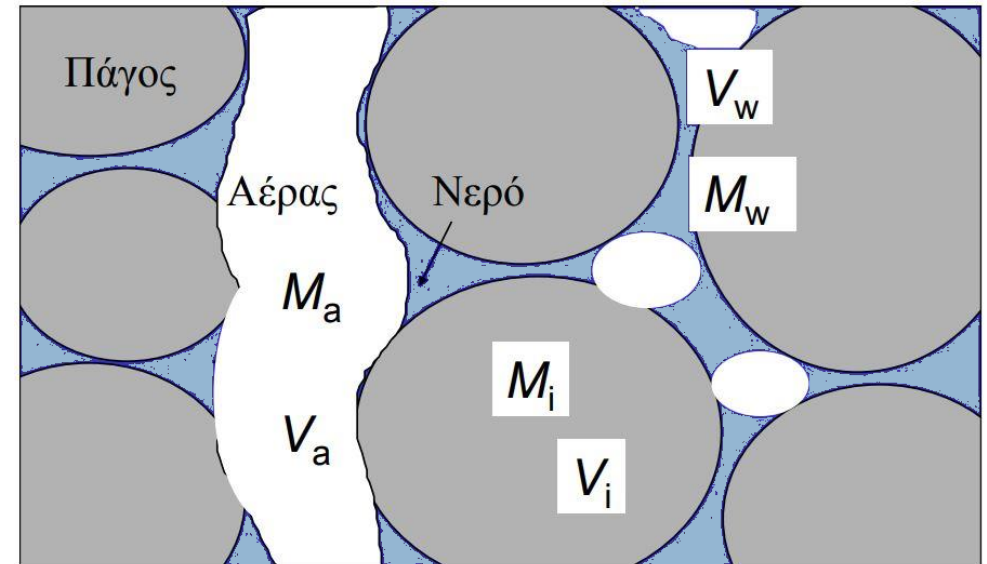
όπου  $\rho_s/\rho_w$  = σχετική πυκνότητα

– Μεγέθη:  $V$  = όγκος,  $M$  = μάζα,  $A$  = έκταση,

$\rho$  = πυκνότητα

– Δείκτες:  $s$  = χιόνι,  $i$  = πάγος,  $w$  = νερό,

$a$  = αέρας,  $m$  = τήξη



Ιδεατή τομή χιονοκάλυψης

# Θερμική Ενέργεια

Θερμική Ενέργεια (Cold Content): θερμότητα που χρειαζόμαστε για να ανεβάσουμε τη θερμοκρασία του χιονιού στο σημείο που θα αρχίσει να λιώνει.

$$Q_{CC} = - \int_0^D \rho_p \cdot C_s \cdot T_p \cdot dz \quad , \quad \text{cal/cm}^2$$

$D$  = βάθος χιονιού, cm

$\rho_p$  = πυκνότητα, gr/cm<sup>3</sup>

$T_p$  = θερμοκρασία, °C < 0 °C

$C_s$  = ειδική θερμότητα, cal/(gr · °C)  $\approx 0,5$

Μέση τιμή:  $Q_{CC} = -\bar{\rho}_p \cdot C_s \cdot \bar{T}_p \cdot D$

# Θερμική ποιότητα (Thermal Quality), $\Theta$

Ολική ενέργεια για λιώσιμο χιονιού

$$\left. \begin{aligned} Q_o &= \rho_p \cdot D \cdot \underbrace{L_{ms}}_{\substack{\text{λανθάνουσα} \\ \text{θερμότητα του} \\ \text{χιονιού}}} + Q_{CC} \\ Q &= \rho_p \cdot D \cdot \underbrace{L_m}_{\substack{\text{λανθάνουσα} \\ \text{θερμότητα του} \\ \text{πάγου στους } 0^\circ \text{C}}} \end{aligned} \right\} \Theta = \frac{Q_o}{Q} = \frac{\rho_p \cdot D \cdot L_{ms} + Q_{CC}}{\rho_p \cdot D \cdot L_m} = \frac{\rho_p \cdot D \cdot L_{ms} - \rho_p \cdot C_s \cdot T_p \cdot D}{\rho_p \cdot D \cdot L_m}$$

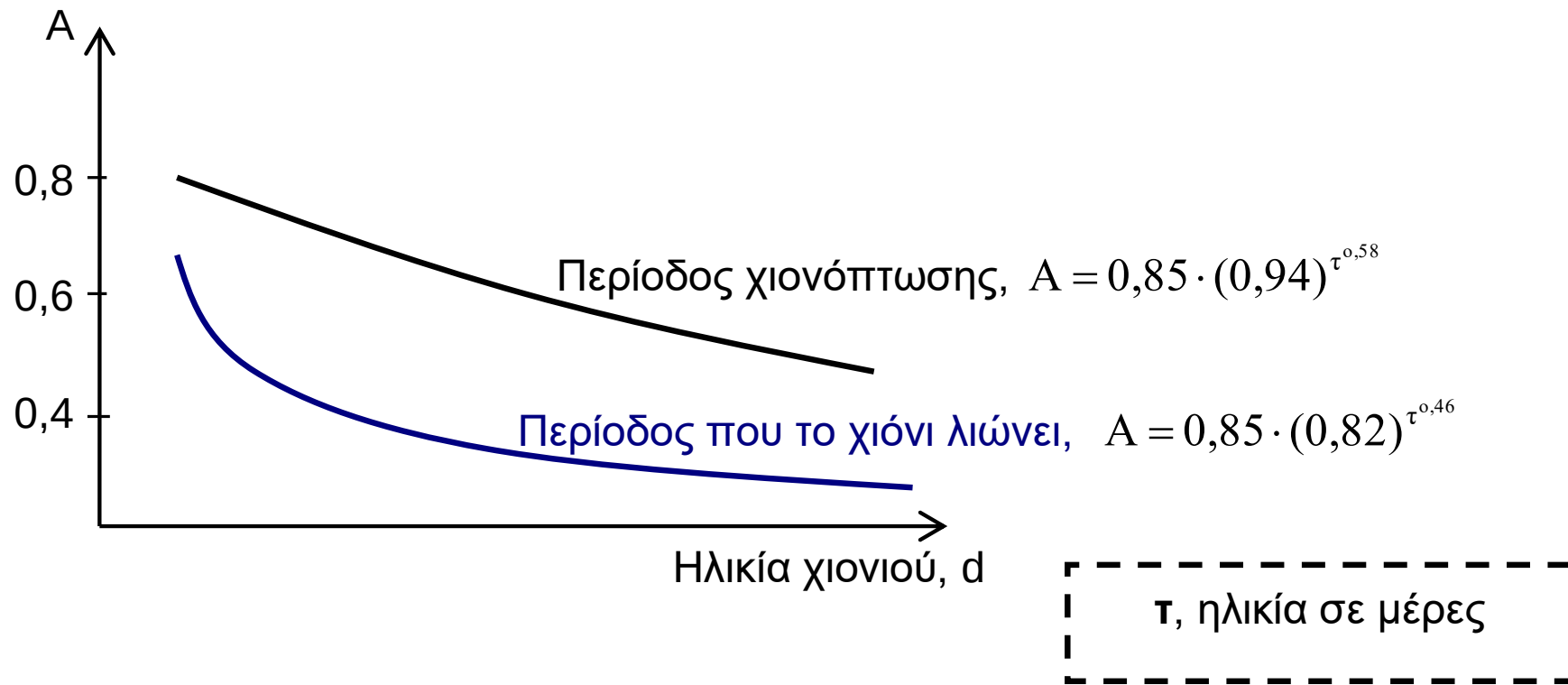
Liquid water content

$$\therefore \Theta = \frac{L_{ms}}{L_m} - \frac{C_s \cdot T_p}{L_m}$$

$$\frac{L_{ms}}{L_m} = 1 - \frac{W}{100}, \text{ όπου } W = \% \text{ βάρους νερού (νερό που συγκρατείται στο πορώδες του χιονιού)}$$

$$\text{Όταν } T_p = 0^\circ \text{C} \rightarrow \Theta = \frac{L_{ms}}{L_m} \rightarrow W = 100 \cdot (1 - \Theta)$$

# Λευκαύγεια (Albedo, A)



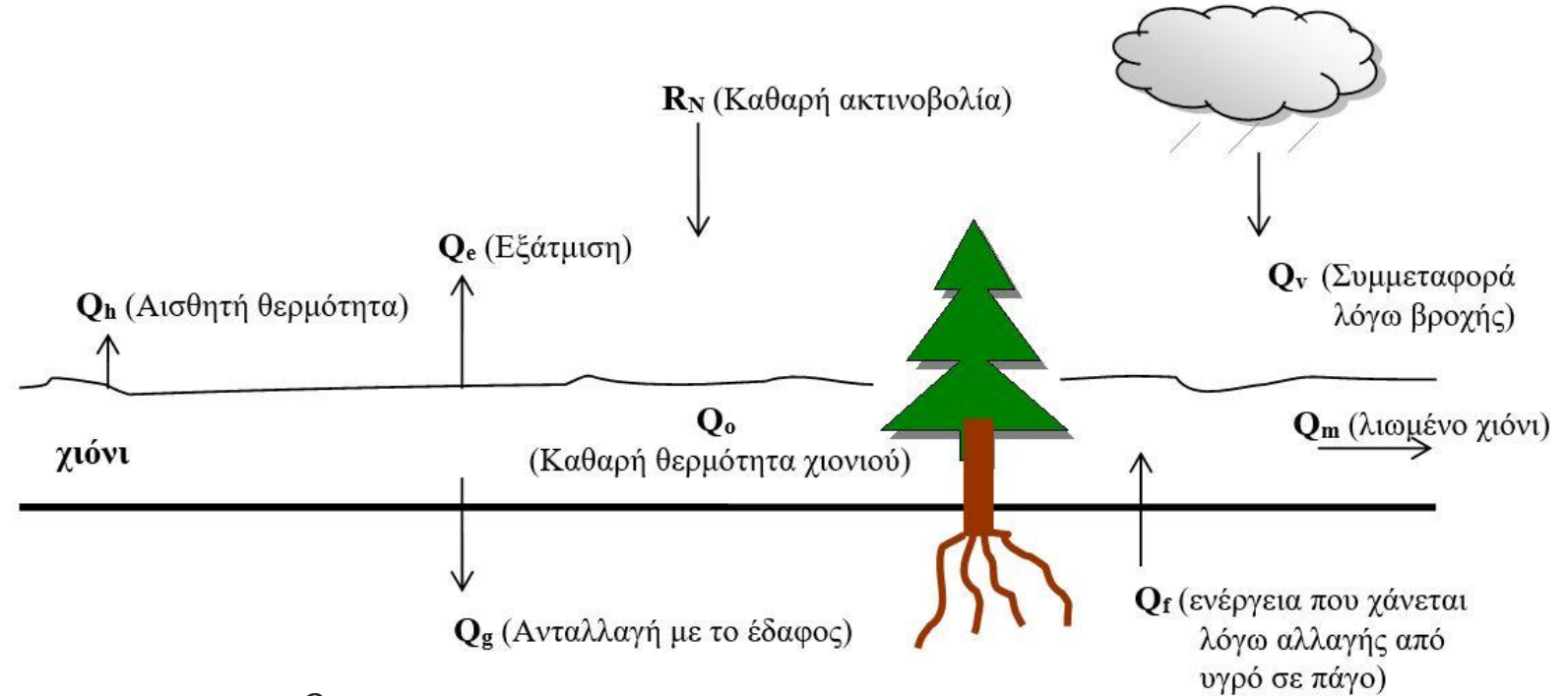
# Ισοζύγιο Ενέργειας

$$Q_o = R_N + Q_V - Q_e - Q_h - Q_g + Q_f$$

$$Q_m = Q_o - Q_{cc}$$

$$Q_m > 0 \text{ για να λιώσει το χιόνι}$$

$$\left. \begin{aligned} H_m &= \frac{Q_o}{L_m \cdot \rho_w \cdot \Theta} \\ L_m &= 80 \text{ cal/gr} \\ \rho_w &= 1 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned} \right\} \text{ ύψος λιωμένου χιονιού, } \frac{H_m}{\text{cm/χρόνο}} = \frac{Q_o}{80 \cdot \Theta}$$



# Ισοζύγιο Ενέργειας

α)  $R_N \rightarrow$  μετρήσεις

β)  $Q_v = C_p \cdot \rho_w \cdot p \cdot T_p$

$C_p$  = ειδική θερμότητα = 0,5 cal/(gr · °C), για χιόνι ή = 1,0 /(gr · °C), για βροχή

$T_p$  = θερμοκρασία βροχής

$p$  = ύψος βροχής

γ)  $Q_e = \rho_w \cdot L_e \cdot E$ , και  $E = \frac{K_1}{6} \cdot \left[ \frac{0,622}{p} \right] \cdot (z_a \cdot z_b)^{-\frac{1}{6}} \cdot (e_s - e_a) \cdot u_b$

όπου,  $p$  = ατμοσφαιρική πίεση

$a$  = επίπεδο χιονιού

$b$  = επίπεδο ανεμόμετρου

δ)  $Q_h = B \cdot Q_e = C_B \cdot p \cdot \frac{T_a - T_s}{e_a - e_s} \cdot Q_e$ , με  $C_B = 0,61 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$

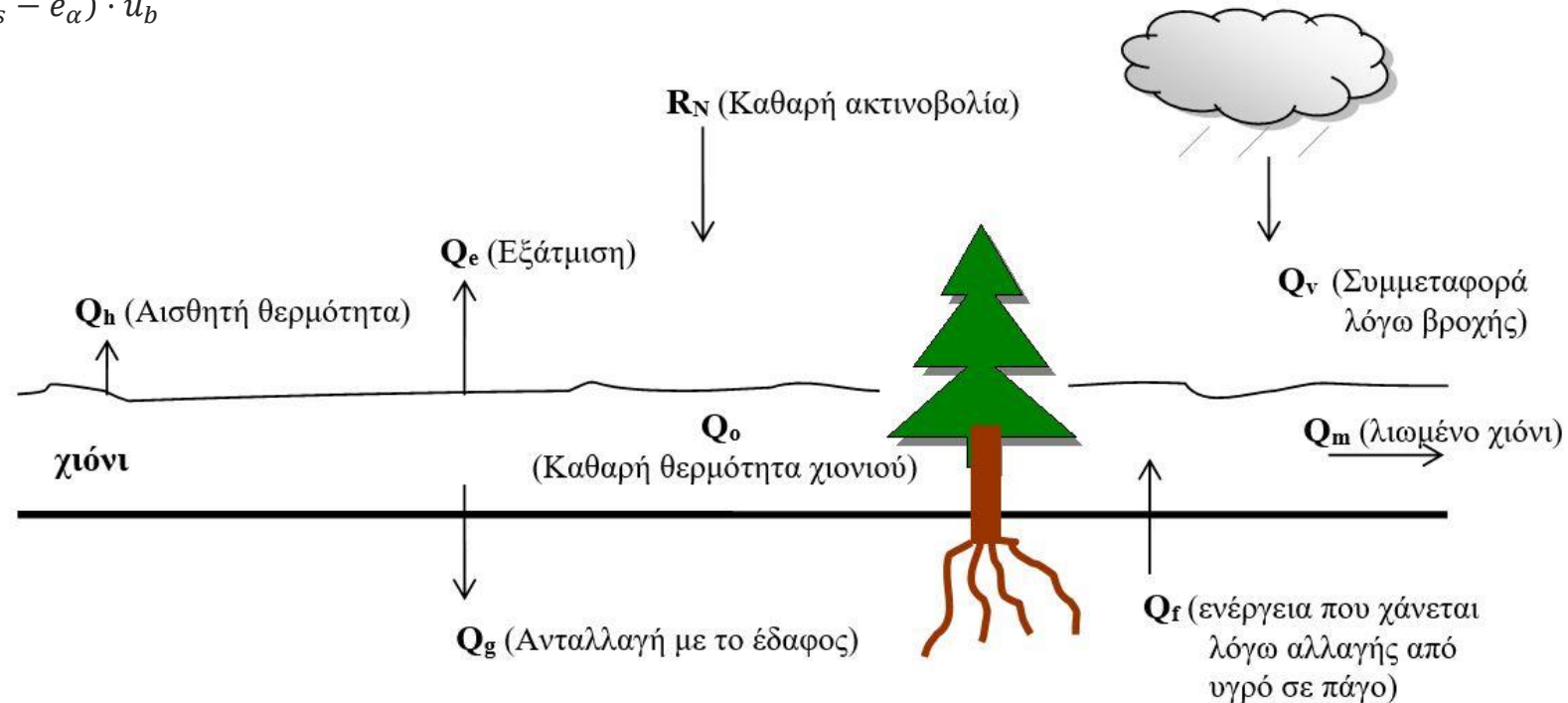
ε)  $Q_g = -K \cdot \frac{dT}{dz}$

όπου,  $K$  = θερμική αγωγιμότητα εδάφους

$Q_g \approx 10^{-3} - 2 \text{ ly / day}$

στ)  $Q_f = \frac{\rho_p \cdot D \cdot W \cdot L_m}{\Delta t}$

$$Q_o = R_N + Q_v - Q_e - Q_h - Q_g + Q_f$$



# Παράδειγμα (1)

Αρχικό βάθος = 60 cm

$\rho_s = 0,5 \text{ gr/cm}^3$

$T_s = -2 \text{ }^\circ\text{C}$

Βροχή:  $T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$

$p = 0,25 \text{ cm/hr}$

$u = 4 \text{ Km/hr}$

α) Σε πόση ώρα θα αρχίσει το χιόνι να λιώνει;

β) Το προφίλ της παροχής

$$Q_o = R_N + Q_V - Q_e - Q_h - Q_g + Q_f$$

α)  $R_N = 0$  (βρέχει, σύννεφα)

$$Q_o = R_N + Q_V - Q_e - Q_h - Q_g + Q_f$$

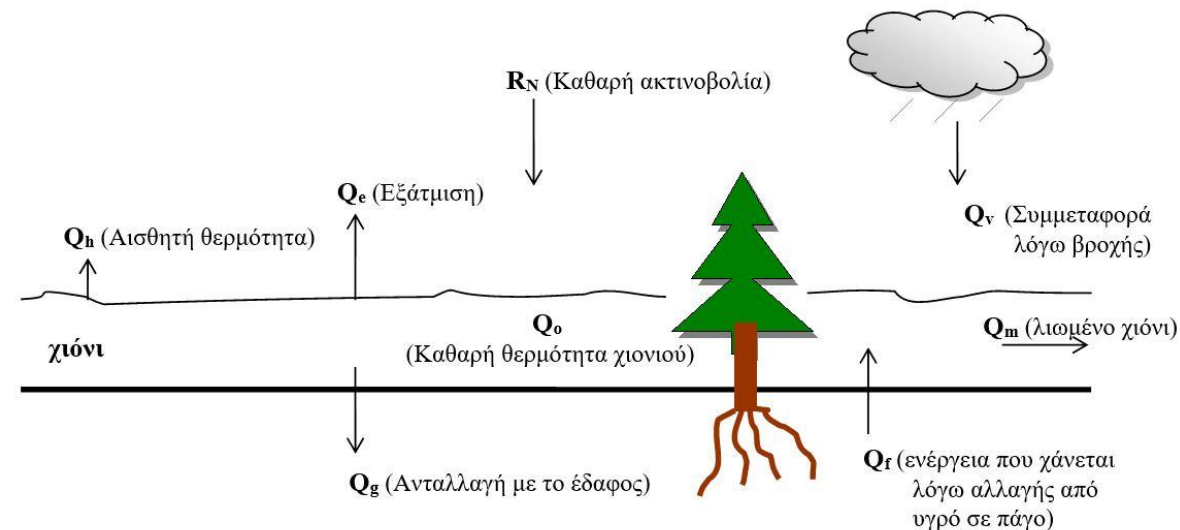
$$Q_v = C_p \cdot \tilde{n}_w \cdot p \cdot T_p = \left(1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \cdot \left(1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) \cdot \left(0,25 \frac{\text{cm}}{\text{hr}}\right) \cdot (2 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{hr}}$$

$$Q_h = C_B \cdot p \cdot \frac{T_a - T_s}{e_a - e_s} \cdot Q_e \rightarrow 0$$

$$E = \frac{K_1}{6} \cdot \left[\frac{0,622}{p}\right] \cdot (z_a \cdot z_b)^{-\frac{1}{6}} \cdot (e_s - e_a) \cdot u_b \rightarrow 0, \text{ αρα } Q_e \rightarrow 0$$

$Q_g, Q_f = \text{μικρά}$



# Παράδειγμα (2)

Αρχικό βάθος = 60 cm

$\rho_s = 0,5 \text{ gr/cm}^3$

$T_s = -2 \text{ }^\circ\text{C}$

Βροχή:  $T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$

$p = 0,25 \text{ cm/hr}$

$u = 4 \text{ Km/hr}$

α) Σε πόση ώρα θα αρχίσει το χιόνι να λιώνει;

β) Το προφίλ της παροχής

$$Q_o = R_N + Q_v - Q_e - Q_h - Q_g + Q_f$$

Από τα παραπάνω προκύπτει πως:

$$Q_o = Q_v = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{hr}}$$

Είναι:

$$Q_{cc} = -\rho_p \cdot C_s \cdot D \cdot T_p = -(0,5) \cdot (0,5) \cdot (60) \cdot (-2) = 30 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$$

$$t = \frac{Q_{cc}}{Q_o} = \frac{30}{0,5} = 60 \text{ hrs}$$

β) Το ύψος του λιωμένου χιονιού υπολογίζεται:  $H_m = \frac{Q_o}{80 \cdot \theta} = \frac{0,5}{(80) \cdot (1)} = 0,007 \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$

Το ύψος βροχής είναι  $0,25 \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$ .

Άρα προκύπτει:  $0,257 \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$

