

**ΔΙΚΤΥΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ-ΚΥΠΡΟΥ**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ  
ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ "ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑ" (ΚΥΠΡΟΣ)**

**Β. Χρυσάνθου**

**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
67100 Ξάνθη**

**Λευκωσία, Ιούνιος 2003**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **Ταμιευτήρας "Γερμασόγεια":**

- Βορειοανατολικά της Λεμεσού
- Χωρητικότητα:  $13 \times 10^6 \text{ m}^3$

### **Λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα:**

- Έκταση:  $122.5 \text{ km}^2$
- Εδαφοκάλυψη: δάση (57.7%)  
θάμνοι (33.7%)  
καλλιέργειες (5.8%)  
αστικές περιοχές (1.8% )  
μη σημαντική βλάστηση (1%)
- Μέγιστο υψόμετρο: 1400 m
- Μήκος του κυρίου υδατορεύματος: 25 km

## ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΟΧΗΣ - ΑΠΟΡΡΟΗΣ

(Γιακουμάκης και Τσακίρης, 1992)

- Απλοποιημένο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου για τη ζώνη ριζοστρώματος του εδάφους

$$S_n' = S_{n-1} + N_n - E_{pn}$$

Εάν  $S_n' < 0$ , τότε  $S_n = 0$ ,  $h_{on} = 0$  και  $IN_n = 0$

Εάν  $0 \leq S_n' \leq S_{max}$  τότε  $S_n = S_n'$ ,  $h_{on} = 0$  και  $IN_n = 0$

Εάν  $S_n' > S_{max}$  τότε  $S_n = S_{max}$ ,  $h_{on} = k(S_n' - S_{max})$

και  $IN_n = k'(S_n' - S_{max})$  ( $k' = 1 - k$ )

$N$ : ύψος βροχής [mm]

$E_p$ : δυνητική εξατμισοδιαπνοή [mm]

$S$ : διαθέσιμη εδαφική υγρασία [mm]

$S_{max}$ : μέγιστη εδαφική υγρασία [mm]

$h_o$ : ύψος απορροής [mm]

$IN$ : βαθιά διήθηση [mm]

$n$ : χρονικό βήμα

$k, k'$ : συντελεστές αναλογίας

- Δυνητική εξατμισοδιαπνοή: μέθοδος ακτινοβολίας
- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή: μέθοδος Penman- Monteith

# 1<sup>ο</sup> ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

(Schmidt, 1992)

$$\varphi_r = Cr\rho Au_r \sin a$$

$\varphi_r$ : ροή της ορμής λόγω σταγόνων [kg m/s<sup>2</sup>]

**C**: συντελεστής εδαφοκάλυψης

**r**: ένταση βροχής [m/s]

**$\rho$** : πυκνότητα νερού [kg/m<sup>3</sup>]

**A**: επιφάνεια υπολεκάνης [km<sup>2</sup>]

**$u_r$** : μέση ταχύτητα πτώσης σταγόνων [m/s]

**a**: κλίση εδαφικής επιφάνειας [°]

$$\varphi_f = qrbu$$

$\varphi_f$ : ροή της ορμής λόγω επιφανειακής ροής [kg m/s<sup>2</sup>]

**q**: επιφανειακή απορροή ανά μονάδα πλάτους [m<sup>3</sup>/(s m)]

**b**: πλάτος υπολεκάνης [m]

**u**: μέση ταχύτητα ροής [m/s]

$$q_{rf} = (1.7E - 1.7)10^{-4}$$

$$E = (\varphi_r + \varphi_f) / \varphi_{cr}$$

$q_{rf}$ : στερεοπαροχή λόγω βροχής και επιφανειακής απορροής ανά μονάδα πλάτους [kg/(m s)]

$\varphi_{cr}$ : κρίσιμη ροή της ορμής [kg m/s<sup>2</sup>]

$$q_t = c_{max} \rho_s q$$

$$c_{max} = \frac{\varphi_r + \varphi_f}{\rho_s A w^2} \sin a$$

$q_t$ : μεταφορική ικανότητα της επιφανειακής απορροής σε φερτές ύλες [kg/(m s)]

$c_{max}$ : συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]  
(μέγιστη μεταφορά φερτών υλών)

$\rho_s$ : πυκνότητα φερτών υλών [kg/m<sup>3</sup>]

$w$ : ταχύτητα καθίζησης αιωρούμενων σωματιδίων [m/s]

Εισροή φερτών υλών στο κύριο υδατόρευμα μιας υπολεκάνης

Εάν  $q_{rf} > q_t$ , τότε  $ES = q_t$

Εάν  $q_{rf} \leq q_t$ , τότε  $ES = q_{rf}$

**ES**: στερεοπαροχή προς το κύριο υδατόρευμα μιας υπολεκάνης

## 2<sup>ο</sup> ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

(Poesen, 1985)

$$q_{rs} = C(KE)r_s^{-1} \cos a$$

$$q_r = q_{rs} [0.301 \sin a + 0.019 D_{50}^{-0.22} (1 - e^{-2.42 \sin a})]$$

$q_{rs}$ : μάζα αποσπασθέντων σωματιδίων ανά μονάδα επιφάνειας [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

$q_r$ : μεταφερόμενη μάζα αποσπασθέντων σωματιδίων προς τα κατόντη μιας κλιτύος ανά μονάδα πλάτους [ $\text{kg}/\text{m}$ ]

$C$ : συντελεστής εδαφοκάλυψης

$KE$ : κινητική ενέργεια της βροχής [ $\text{J}/\text{m}^2$ ]

$r_s$ : αντίσταση του εδάφους στην απόσπαση σωματιδίων λόγω βροχής [ $\text{J}/\text{kg}$ ]

$a$ : κλίση εδαφικής επιφάνειας [ $^\circ$ ]

$D_{50}$ : διάμεση διάμετρος σωματιδίων [ $\text{m}$ ]

$$q_f = r q_t \quad (\text{Nielsen et al., 1986})$$

$q_f$ : μεταφορά φερτών υλών λόγω επιφανειακής απορροής [ $\text{m}^3/(\text{s m})$ ]

$q_t$ : μεταφορική ικανότητα της επιφανειακής απορροής σε φερτές ύλες [ $\text{m}^3/(\text{s m})$ ]

$r$ : λόγος παράσυρσης

$$q_t = 0.04 \frac{(2g/f)^{1/6}}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)^2 g^{1/2} D_{50}} q^{5/3} s^{5/3} \quad (\text{Engelund and Hansen, 1967})$$

$q_t$ : [ $\text{m}^3/(\text{s m})$ ]

$q$ : επιφανειακή απορροή ανά μονάδα πλάτους [ $\text{m}^3/(\text{s m})$ ]

$s$ : κλίση γραμμής ενέργειας

$g$ : επιτάχυνση της βαρύτητας [ $\text{m/s}^2$ ]

$f$ : συντελεστής τριβής

$\rho_s$ : πυκνότητα φερτών υλών [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\rho$ : πυκνότητα νερού [ $\text{kg/m}^3$ ]

$$q_{rf} = q_r + q_f$$

$q_{rf}$ : στερεοπαροχή λόγω βροχής και επιφανειακής απορροής

# ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ ΣΕ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΑ

(Yang and Stall, 1976)

$$\log c_t = 5.435 - 0.286 \log \frac{wD_{50}}{\nu} - 0.475 \log \frac{u_*}{w} + \\ + (1.799 - 0.409 \log \frac{wD_{50}}{\nu} - 0.314 \log \frac{u_*}{w}) \log \left( \frac{us}{w} - \frac{u_{cr}s}{w} \right)$$

$$\frac{u_{cr}}{w} = \frac{2.5}{\log(u_* D_{50} / \nu) - 0.06} + 0.66, \text{ \acute{o}ταν } 1.2 < u_* D_{50} / \nu < 70$$

$$\frac{u_{cr}}{w} = 2.05, \text{ \acute{o}ταν } \frac{u_* D_{50}}{\nu} \geq 70$$

$c_t$ : ολική συγκέντρωση φερτών υλών κατά βάρος [ppm]

$w$ : ταχύτητα καθίζησης αιωρούμενων σωματιδίων [m/s]

$D_{50}$ : διάμεση διάμετρος κόκκων [m]

$\nu$ : κινηματικό ιξώδες νερού [m<sup>2</sup>/s]

$u_*$ : διατμητική ταχύτητα ή ταχύτητα τριβής [m/s]

$u$ : μέση ταχύτητα ροής [m/s]

$u_{cr}$ : κρίσιμη μέση ταχύτητα ροής [m/s]

$s$ : κλίση γραμμής ενέργειας



**Στερεοφορτίο (FLO) στην έξοδο του κύριου υδατορεύματος  
μιας υπολεκάνης**

**Εάν  $ESI > q_{ts}$ , τότε  $FLO = q_{ts}$**

**Εάν  $ESI \leq q_{ts}$ , τότε  $FLO = ESI$**

**$q_{ts}$ : μεταφορική ικανότητα του υδατορεύματος σε φερτές  
ύλες**

**ESI: στερεοπαροχή στο υδατόρευμα**

## ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΩΝ

### 1<sup>ο</sup> μαθηματικό μοντέλο

- α. υπομοντέλο βροχής-απορροής  
(δυναμική εξατμισοδιαπνοή)
- β. υπομοντέλο εδαφικής διάβρωσης (Schmidt)
- γ. υπομοντέλο μεταφοράς φερτών υλών σε υδατορεύματα  
(Yang and Stall)

### 2<sup>ο</sup> μαθηματικό μοντέλο

- α. υπομοντέλο βροχής-απορροής  
(πραγματική εξατμισοδιαπνοή)
- β. υπομοντέλο εδαφικής διάβρωσης (Poesen)
- γ. υπομοντέλο μεταφοράς φερτών υλών σε υδατορεύματα  
(Yang and Stall)

## **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ "ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑ"**

**Διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα:**

- Μηνιαία βροχομετρικά ύψη για τέσσερα έτη (1986 - 1989) από τρεις σταθμούς (S400, S428, S451)
- Μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας αέρα, σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας και ηλιοφάνειας για κάθε μήνα των τεσσάρων ετών (1986 - 1989) από ένα μετεωρολογικό σταθμό (S400)
- Μέσες ημερήσιες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για ένα έτος (1988) από ένα μετεωρολογικό σταθμό (S400)

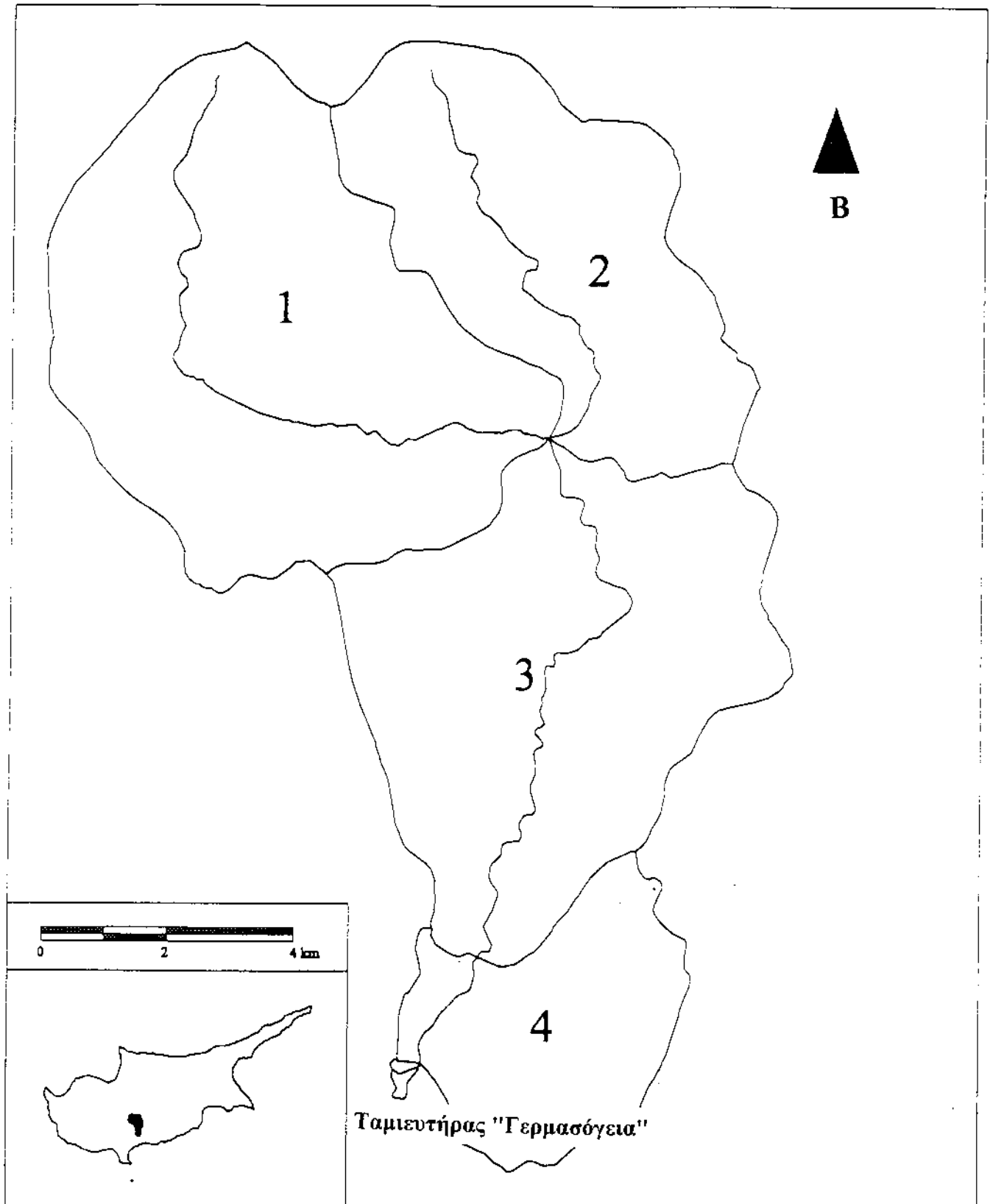
**Διαίρεση της λεκάνης σε τέσσερις φυσικές υπολεκάνες**

**Εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων σε κάθε υπολεκάνη χωριστά και για κάθε μήνα ενός έτους**

**Θεώρηση μόνο του κύριου υδατορεύματος κάθε υπολεκάνης**

# ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ "ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑ"

Κύρια υδατορεύματα υπολεκανών



## ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Έτος	YD [t] Schmidt	YA [t] Yang	DR [%]	YD [t] Poesen	YA [t] Yang	DR [%]
1986	113 000	32 000	28	111 000	92 000	83
1987	673 000	224 000	33	730 000	238 000	33
1988	618 000	238 000	38	590 000	268 000	45
1989	108 000	30 000	28	106 000	90 000	85
Μέση τιμή	378 000	131 000	32	384 000	172 000	61

**YD:** ετήσια ποσότητα εδαφικής διάβρωσης για την όλη λεκάνη απορροής [t]

**YA:** ετήσιο στερεοφορτίο στην έξοδο της λεκάνης απορροής λόγω εδαφικής διάβρωσης και διάβρωσης κοίτης υδατορευμάτων [t]

**DR:** βαθμός στερεοπαροχής (YA / YD)

YA (1<sup>ο</sup> μοντέλο) / YA (2<sup>ο</sup> μοντέλο) = 0.8

**Υπολογισθέν μέσο ετήσιο ύψος διάβρωσης:**

**1.24 mm (1<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**1.18 mm (2<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**Μετρηθέν μέσο ετήσιο ύψος διάβρωσης:**

**0.7 mm (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου)**

**Λόγος υπολογισμών προς μετρήσεις:**

**1.8 (1<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**1.7 (2<sup>ο</sup> μοντέλο)**

## Όγκος επιφανειακής απορροής

**Μέση τιμή των μετρηθέντων μηνιαίων όγκων επιφανειακής απορροής, για τα έτη 1986 - 1989, στον υδρομετρικό σταθμό "Φοινικάρια":**

**$1.43 \times 10^6 \text{ m}^3$**

**Λόγος της μέσης τιμής των υπολογισθέντων προς τη μέση τιμή των μετρηθέντων μηνιαίων όγκων επιφανειακής απορροής:**

**2.4 (1<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**2.5 (2<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**Λόγος της μέσης τιμής των υπολογισθέντων προς τη μέση τιμή των μετρηθέντων ετησίων όγκων επιφανειακής απορροής:**

**1.0 (1<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**1.1 (2<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**Ποσοστό συγκράτησης φερτών υλών του ταμιευτήρα  
"Γερμασόγεια":**

**100% (διάγραμμα Brune)**

**Ωφέλιμος χρόνος ζωής του ταμιευτήρα:**

**190 έτη (1<sup>ο</sup> μοντέλο)**

**146 έτη (2<sup>ο</sup> μοντέλο)**