

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
“ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ”

---

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ  
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ  
ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ  
ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ– ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ  
ΤΟΥ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ»**

**Μαρία Κοψιαύτη,      Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός**

**Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτριος Κουτσογιάννης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Μάρτιος 2009**

# Στόχος εργασίας

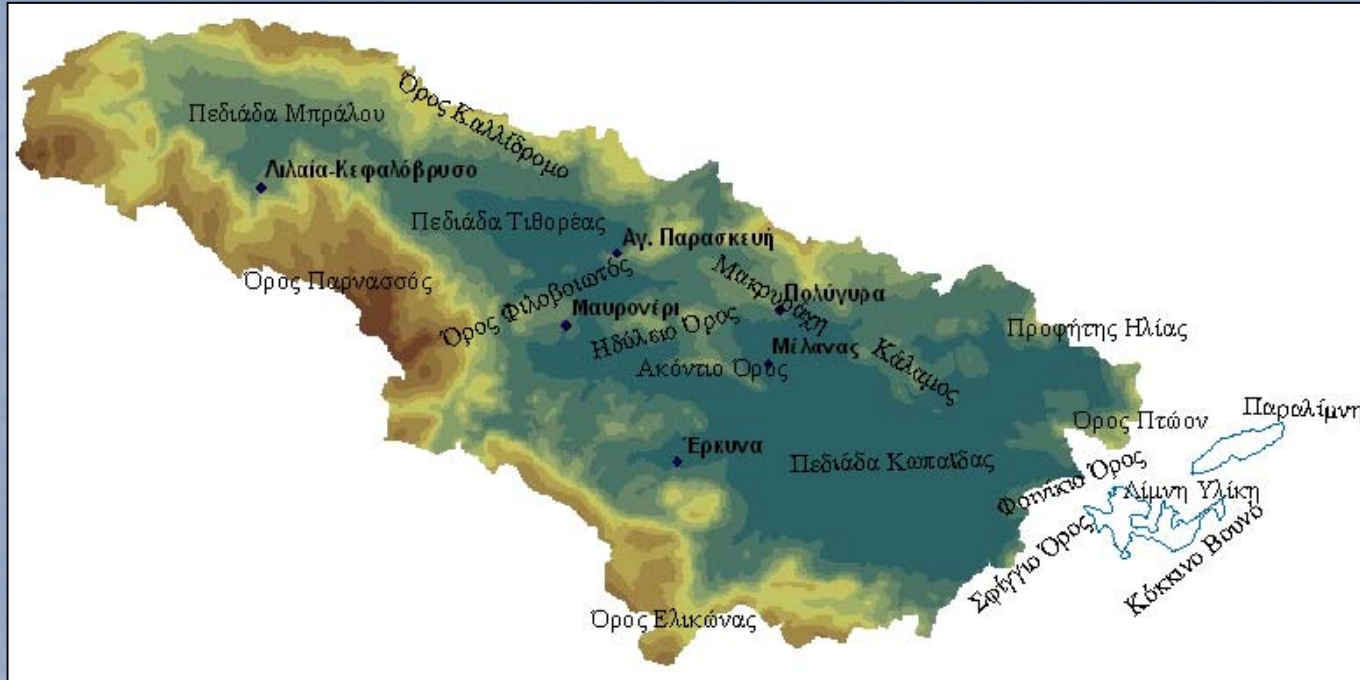
---

**Διερεύνηση για τη βελτίωση της σχηματοποίησης και παραμετροποίησης του υπόγειου συστήματος της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού**

## **Επιμέρους στόχοι:**

- ➔ Αρχή φειδωλής παραμετροποίησης (principle of parsimony)
- ➔ Σχηματοποίηση με βάση τη φυσική πραγματικότητα
- ➔ Αξιοποίηση διαθέσιμων υδρογεωλογικών πληροφοριών

# Περιοχή μελέτης



- Λεκάνη απορροής: 1930 km<sup>2</sup>
- Υδρογραφικό δίκτυο: 152,7 km
- Βοιωτικός Κηφισός: 95,0 km
- Υπολεκάνες: 13
- Βασικές πηγές: 6

# Προηγούμενες προσεγγίσεις

---

## 1. Μοντέλο MODFLOW (Περλέρος, 1998 για Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)

- Δεν εξετάζει αναλυτικά τις επιφανειακές υδρολογικές διεργασίες και τις ανθρώπινες επεμβάσεις.
- Διαχωρισμός υδροφορέα σε πολλές ορθογώνιες περιοχές (7252 κύτταρα):
  - Υπολογιστικός φόρτος.
  - Χρονοβόρα συνεργασία με διαχειριστικά συστήματα.

## 2. Υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ (Efstratiadis et al., 2008)

- Διαχωρισμός υδροφορέα χωρίς ιδιαίτερη φυσική ερμηνεία.
- Μεγάλος αριθμός παραμέτρων υπογείου συστήματος (διαφορετικές για κάθε ένα από τα 30 κύτταρα).



Υπερ - παραμετροποίηση

## Στάδια εργασίας

---

- ➔ **Συγκέντρωση διαθέσιμων δεδομένων (μελέτες, χάρτες, υδρολογικές μετρήσεις κλπ.)**
- ➔ **Χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών:**
  - Σχηματοποίηση επιφανειακού συστήματος
  - Σχηματοποίηση υπόγειου συστήματος
  - Σχηματοποίηση υδροσυστήματος
- ➔ **Εφαρμογή υπολογιστικού συστήματος ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ**
  - Εισαγωγή γεωγραφικών πληροφοριών
  - Παραμετροποίηση συστημάτων
  - Εισαγωγή αρχικών και οριακών συνθηκών
  - Ρύθμιση και επαλήθευση υπομοντέλων

# Υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

---

## Υπομοντέλα:

- Επιφανειακού συστήματος → Εννοιολογικό – Ημικατανεμημένο
- Υπόγειου συστήματος → Εννοιολογικό – Ημικατανεμημένο
- Υδροσυστήματος → Αρδεύσεις, υδρεύσεις, γεωτρήσεις

## Δεδομένα εισόδου

- Βροχόπτωση, δυνητική εξατμοδιαπνοή για υδρολογικά έτη 1984 - 1994

## Επιφανειακό σύστημα

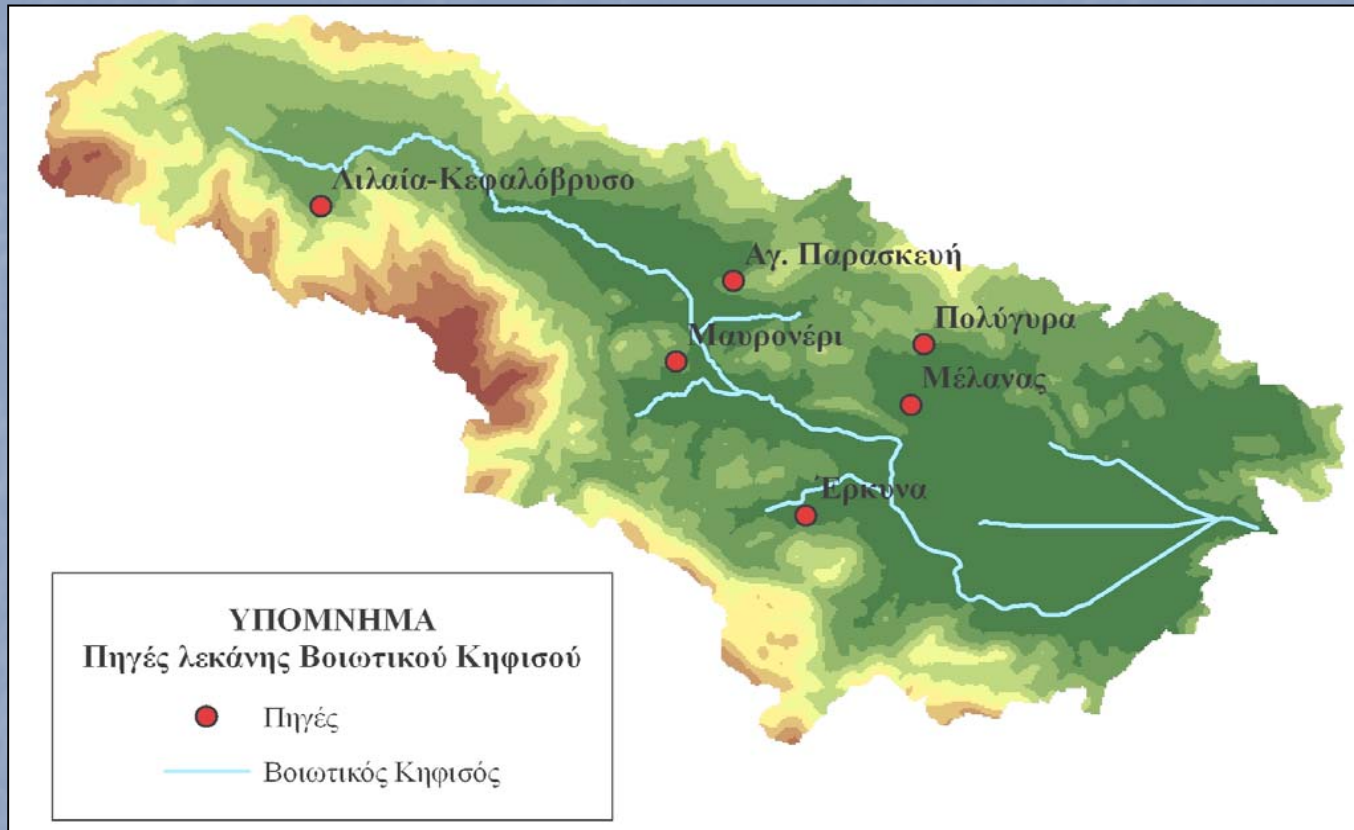
- Διαμέριση λεκάνης σε
  - 13 υπολεκάνες
  - 6 κατηγορίες Μ.Υ.Α. (κλίση, διαπερατότητα)
- 78 δεξαμενές εδαφικής υγρασίας
- Αρχικές συνθήκες
  - 78 μηδενικές στάθμες δεξαμενών
  - 30 στην προηγούμενη προσέγγιση**
- Παράμετροι
  - 36 (6 για κάθε κατηγορία Μ.Υ.Α.)

# Υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

## Υπόγειο σύστημα

- Διαμέριση υδροφορέα σε  $\Rightarrow$  40 κύτταρα (4 για διαφυγές λεκάνης)  
**30 στην προηγούμενη προσέγγιση**
- βάσει  $\Rightarrow$  40 υπόγειες δεξαμενές
- διαπερατών, αδιαπερατών, ημιπερατών σχηματισμών
  - εδαφικού ανάγλυφου
- Αρχικές συνθήκες  $\Rightarrow$  36 αρχικές στάθμες δεξαμενών  
**28 στην προηγούμενη προσέγγιση**
- Οριακές συνθήκες  $\Rightarrow$  Αδιαπέρατα όρια μεταξύ κυττάρων
- Παράμετροι  $\Rightarrow$  Υδραυλική αγωγιμότητα  $K$ , πορώδες  $n$
- Ομαδοποίηση παραμέτρων  $\Rightarrow$  3 τιμές  $K$  βάσει διαπερατότητας (**έναντι 30**)  
3 τιμές  $n$  βάσει διαπερατότητας (**έναντι 28**)  
4 τιμές  $K$  κυττάρων διαφυγών (**έναντι 2**)  
6 τιμές  $K$  για τις 6 πηγές

# Θέσεις ελέγχου του μοντέλου

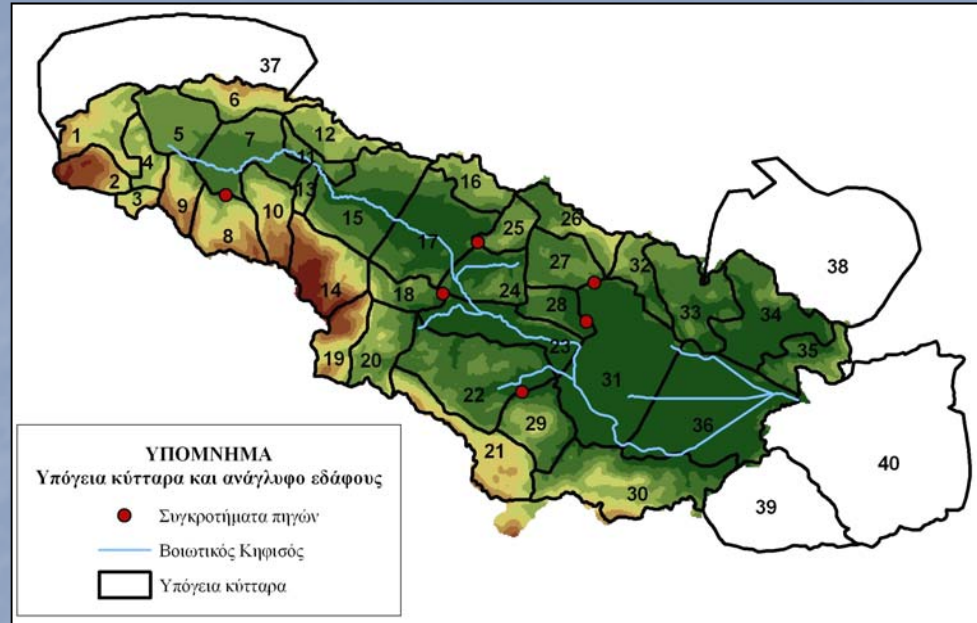
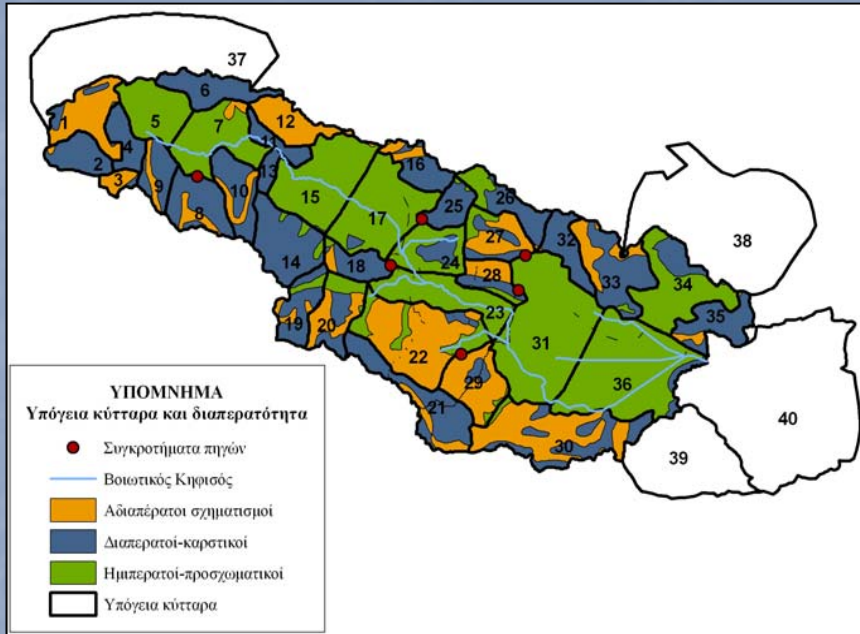


- ⇒ Θέσεις 6 μεγάλων πηγών
- ⇒ Έξοδος λεκάνης απορροής

⇒ Σύγκριση μετρημένων – προσομοιωμένων τιμών



# Υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ



Ικανοποίηση στόχων μοντέλου:

- ➔ Μείωση παραμέτρων υπογείου συστήματος κατά 83%
- ➔ Λεπτομερής και ρεαλιστική προσομοίωση

# Διαδικασία βαθμονόμησης και επαλήθευσης

---

**Βαθμονόμηση:**

Χειροκίνητη – αυτόματη (υβριδική)

**Διαδικασία βαθμονόμησης:**

Ρύθμιση με αρχικές και οριακές συνθήκες



Εντοπισμός προβληματικών σημείων (υδρογραφήματα κλπ.)



Αλλαγές σε:

- Επιλεγμένες παραμέτρους για ρύθμιση
- Αρχικές συνθήκες
- Οριακές συνθήκες



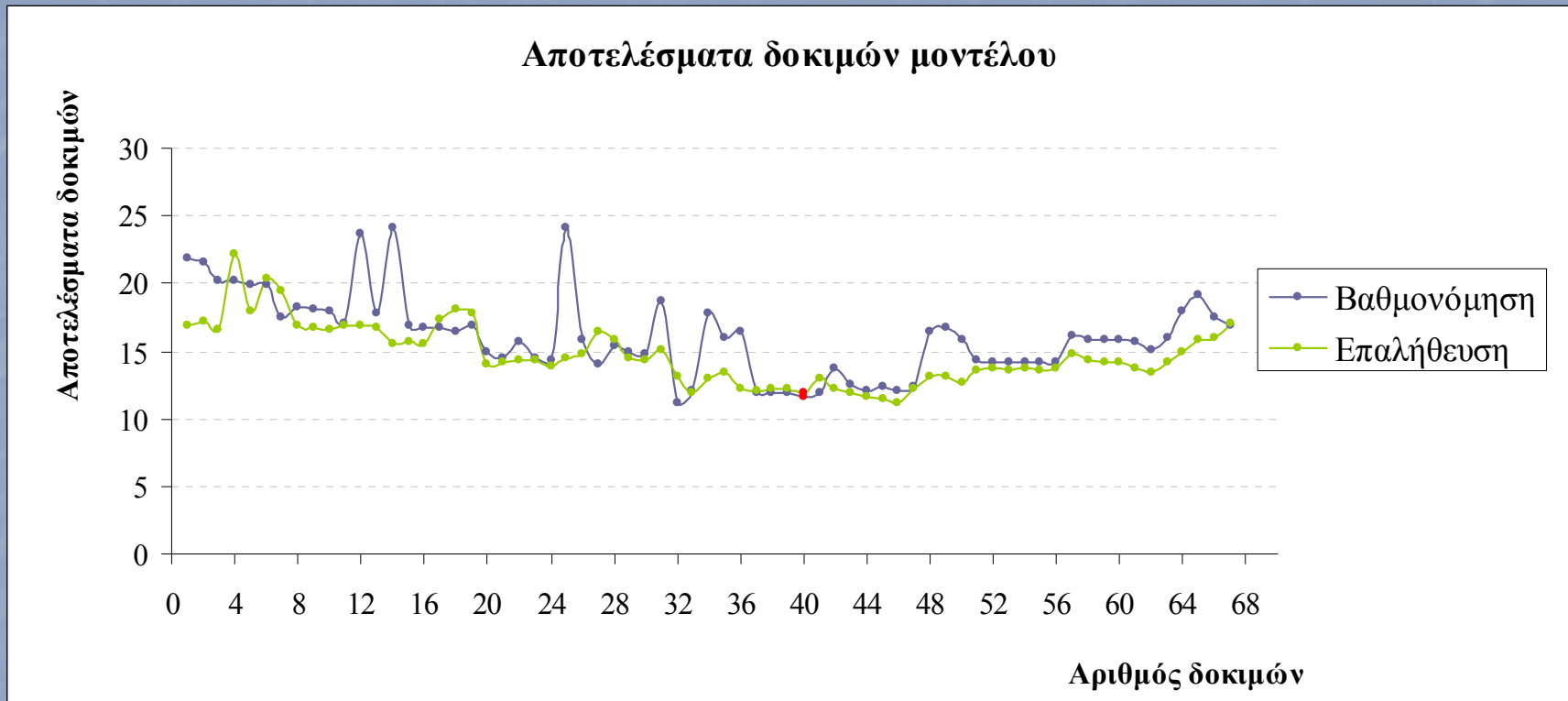
Ρύθμιση μοντέλου με νέες συνθήκες



Σταδιακή βελτίωση του αποτελέσματος

**Αξιοποίηση υδρολογικής εμπειρίας του χρήστη  
και γνώσης των χαρακτηριστικών της περιοχής**

# Χειροκίνητη – αυτόματη βαθμονόμηση



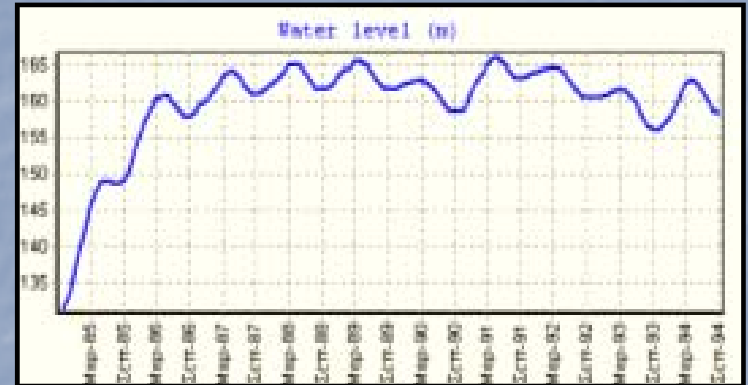
## Βελτίωση αποτελέσματος μοντέλου

- ➔ Καθοδική τάση διαγράμματος
- ➔ Ταύτιση τιμών βαθμονόμησης – επαλήθευσης (μέτρο επίδοσης)

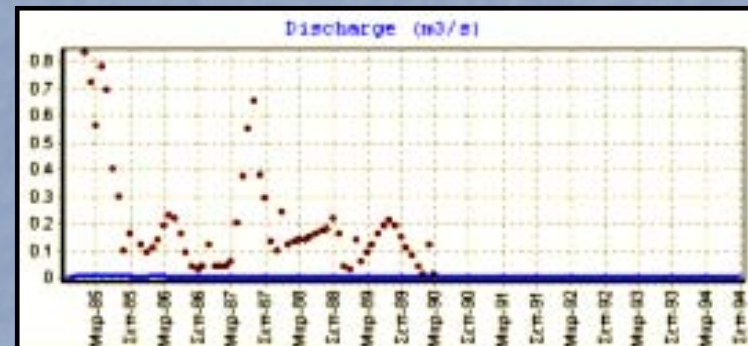
# Διαδικασία δοκιμών

Προβληματικά σημεία αποτελεσμάτων:

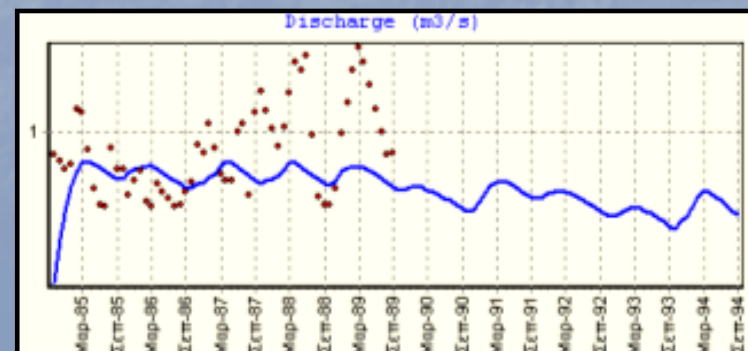
Ανοδικές ή καθοδικές τάσεις  
διαγραμμάτων



Μηδενική παροχή πηγών ή  
υψηλές στάθμες



Μη ομαλή διακύμανση



# Διαδικασία δοκιμών

---

## Προβλήματα

Μεγάλη αποθήκευση υδάτων



## Επεμβάσεις

Αλλαγές σε ύψος πυθμένα και στάθμη δεξαμενών



Αποσύνδεση ορεινών – πεδινών δεξαμενών (όχι σε επαφή)

Ανοδικές – καθοδικές τάσεις



Ορισμός ποινής (trend penalty)



Αλλαγές σε όρια παραμέτρων

Μηδενική παροχή πηγής



Αλλαγές σε πυθμένα δεξαμενής

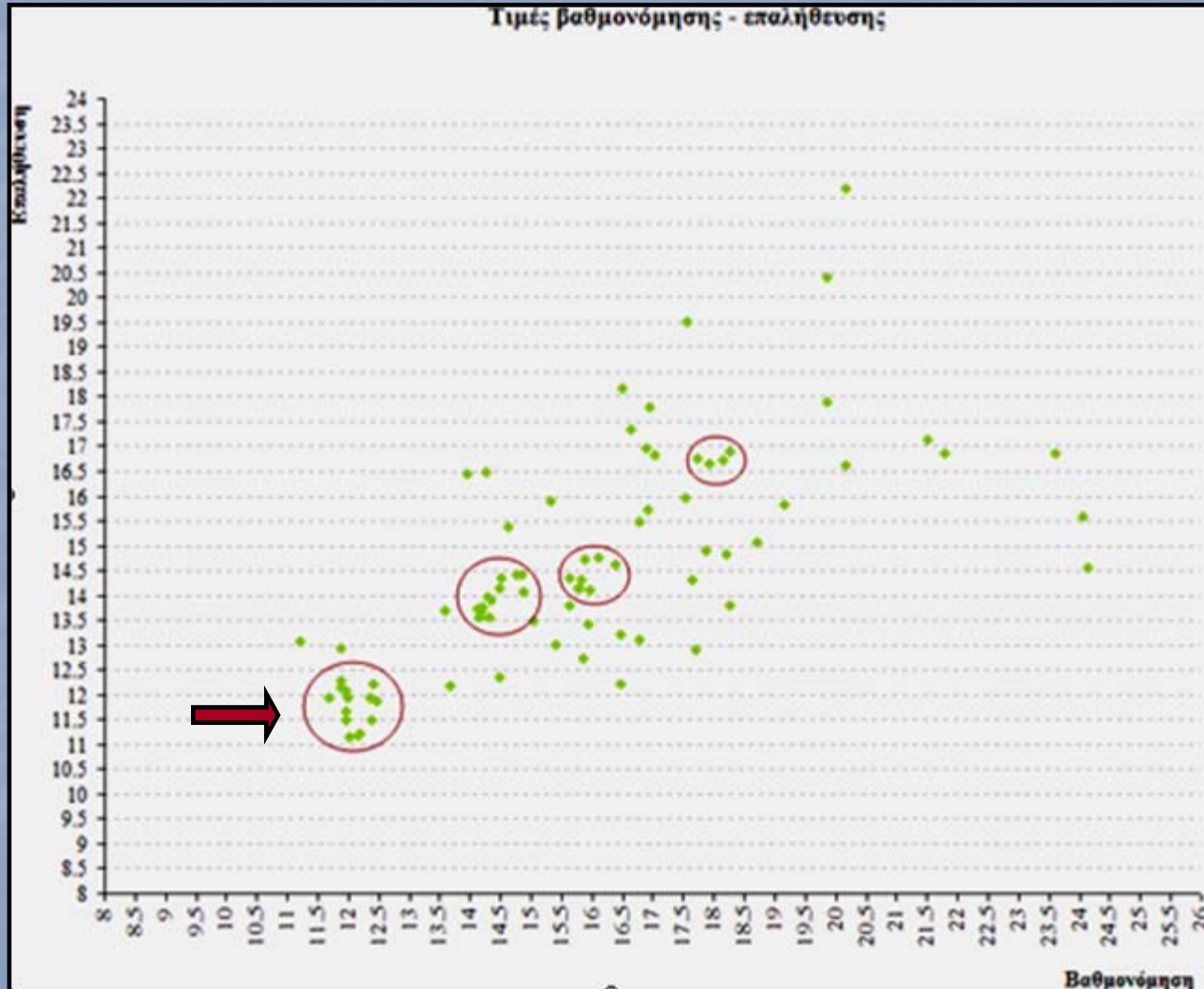


Ορισμός αδιαπέρατων ορίων

Ρύθμιση με διαφορετικές κάθε φορά παραμέτρους

Οι αλλαγές δεν είναι αυθαίρετες, αλλά βασίζονται σε γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης

# Χειροκίνητη – αυτόματη βαθμονόμηση



«Καλύτερο»  
υδρολογικά  
αποτέλεσμα



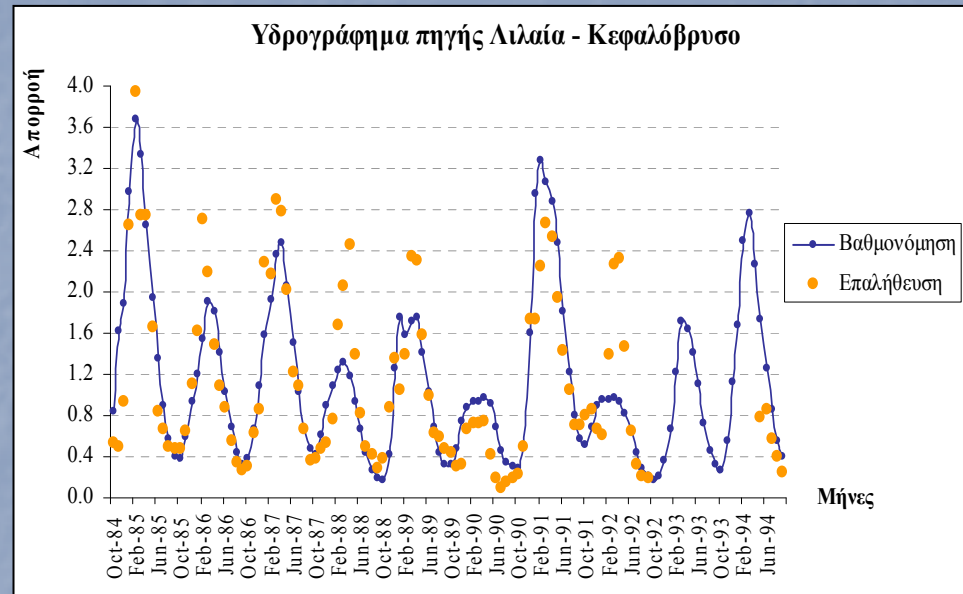
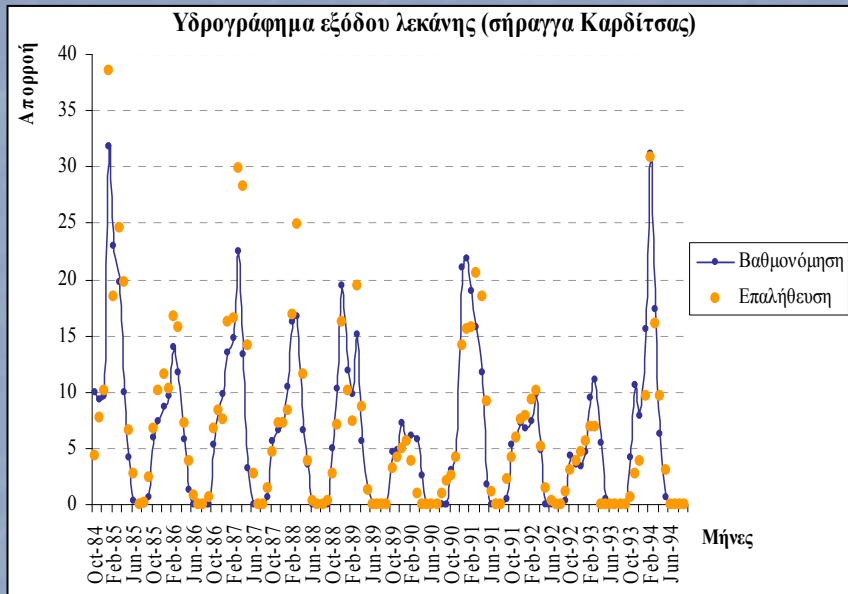
Επιλογή από  
ομάδα καλών  
αποτελεσμάτων



**Μέτρο επίδοσης:**  
Βαθμονόμηση:  
11,684

Επαλήθευση:  
11,922

# Τελικά υδρογραφήματα στα σημεία ελέγχου

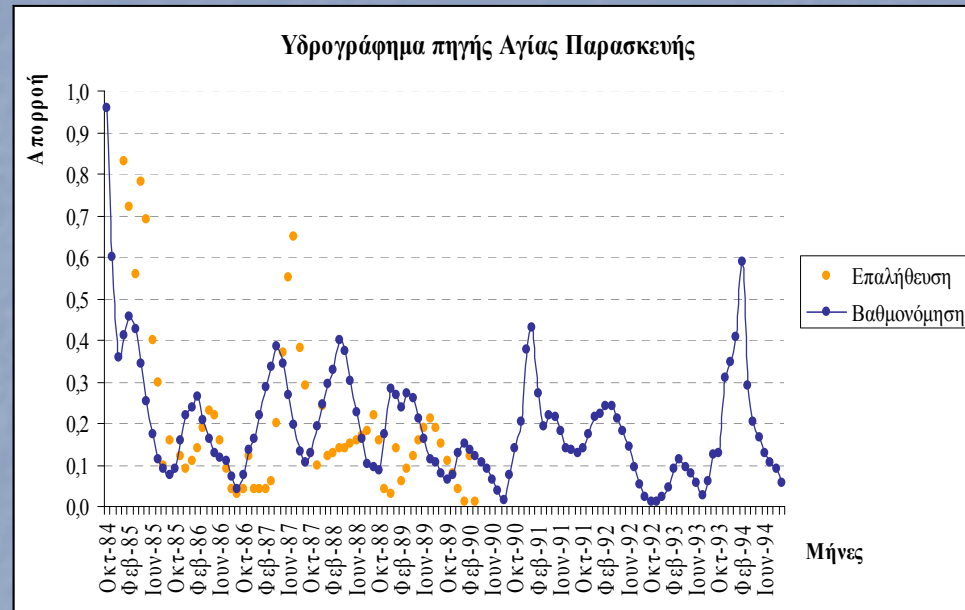
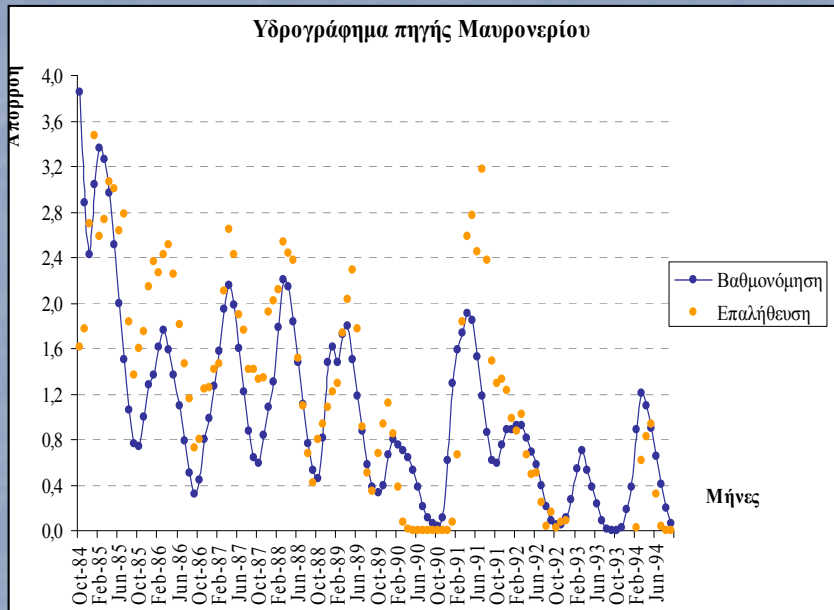


## Τιμή αποτελεσματικότητας μοντέλου

Έξοδος λεκάνης (σήραγγα Καρδίτσας)		
Παρούσα εφαρμογή		2008
Βαθμονόμηση	0,859	0,87
Επαλήθευση	0,765	0,76

Λιλαία - Κεφαλόβρυσος		
Παρούσα εφαρμογή		2008
Βαθμονόμηση	0,752	0,806
Επαλήθευση	0,581	0,607

# Τελικά υδρογραφήματα στα σημεία ελέγχου



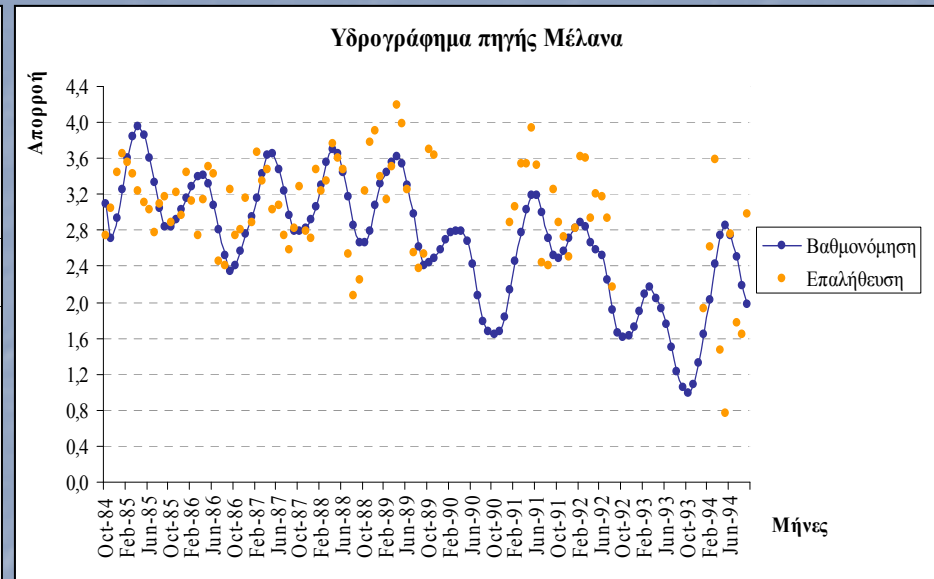
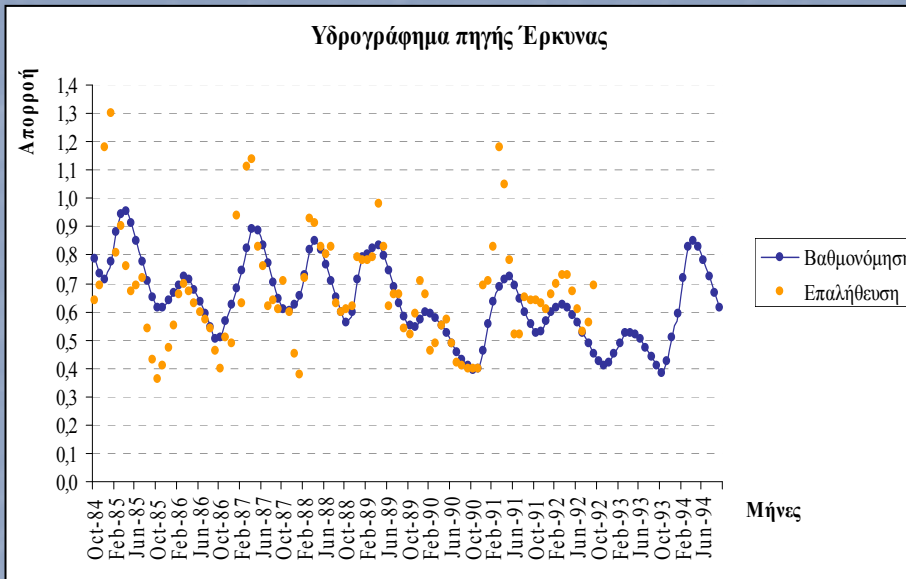
## Τιμή αποτελεσματικότητας μοντέλου

Μαυρονέρι		
Παρούσα εφαρμογή		2008
Βαθμονόμηση	0,571	0,693
Επαλήθευση	0,360	0,601

Αγία Παρασκευή		
Παρούσα εφαρμογή		2008
Βαθμονόμηση	0,367	0,724
Επαλήθευση	-	-



# Τελικά υδρογραφήματα στα σημεία ελέγχου

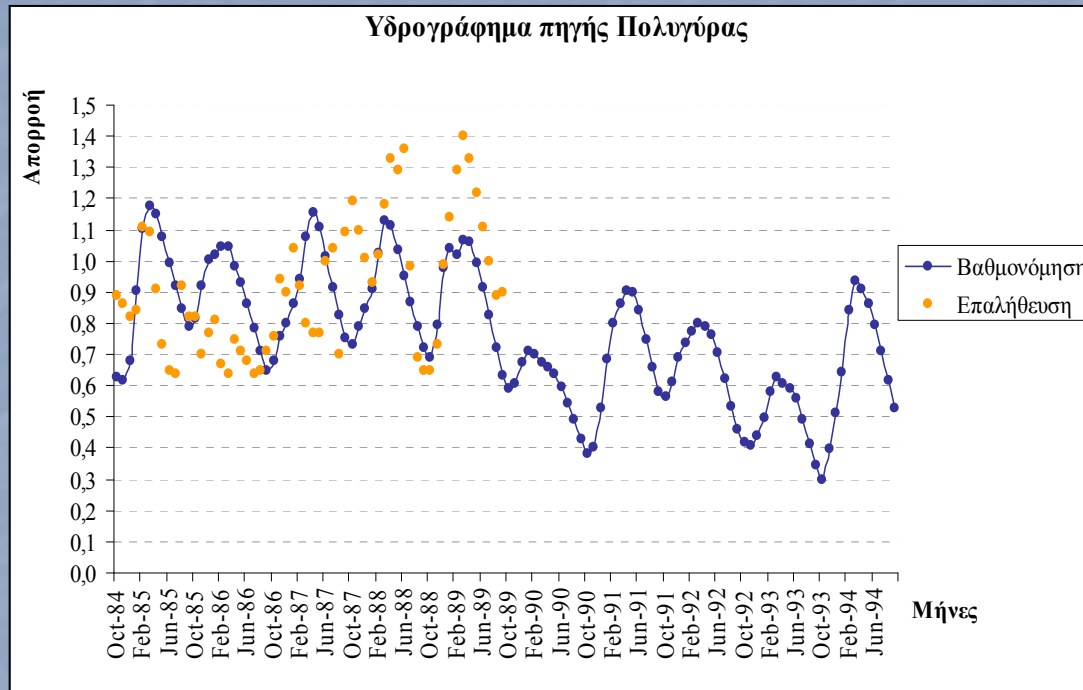


## Τιμή αποτελεσματικότητας μοντέλου

Έρκυνα		
Παρούσα εφαρμογή		2008
Βαθμονόμηση	0,402	0,431
Επαλήθευση	0,245	0,458

Μέλανας		
Παρούσα εφαρμογή		2008
Βαθμονόμηση	-0,022	0,265
Επαλήθευση	0,092	0,095

# Τελικά υδρογραφήματα στα σημεία ελέγχου



Τιμή αποτελεσματικότητας μοντέλου

Πολυγύρα		
Παρούσα εφαρμογή		<b>2008</b>
Βαθμονόμηση	-0,024	<b>0,372</b>
Επαλήθευση	-	-

# Παρατηρήσεις

---

- ➔ Ικανοποιητικά αποτελέσματα στην έξοδο της λεκάνης (πολύ κοντά στην προηγούμενη προσέγγιση)
- ➔ Αποκλίσεις στις μεγάλες καρστικές πηγές  
Πολύπλοκοι μηχανισμοί, δύσκολη πρόβλεψη συμπεριφοράς
- ➔ Πολύ ικανοποιητική η τελική διακύμανση σε διαγράμματα αποθήκευσης με αρχικά ανοδικές τάσεις

## **Άλλα προβλήματα - δυσκολίες:**

- ➔ Μεγάλες υψομετρικές διαφορές στη λεκάνη απορροής, απότομες αλλαγές αναγλύφου
- ➔ Έλλειψη μετρήσεων (κατακρημνίσεις) κυρίως για την περίοδο επαλήθευσης

# Συμπεράσματα

---

## Ικανοποιούνται οι αρχικοί στόχοι;

→ Ικανοποιητική η αποτελεσματικότητα του μοντέλου στην έξοδο  
Καλή διακύμανση υδρογραφημάτων

→ Ικανοποίηση αρχής φειδωλής παραμετροποίησης  
**Μείωση παραμέτρων υπόγειου συστήματος κατά 83%**

## Αλλά ταυτόχρονα:

→ **Αύξηση λεπτομέρειας στην αναπαράσταση των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης**

# Προτάσεις

---

## → Διερεύνηση διαφορετικών τρόπων διαμέρισης του υδροφορέα

Βάσει αναγλύφου (σε κύτταρα ορεινών και πεδινών περιοχών)

Βάσει γεωλογίας (πιο αδρομερής ή πιο λεπτομερής)

## → Ρύθμιση μοντέλου με ημερήσιο βήμα (διόδευση κλπ.)

**Σας Ευχαριστώ**