



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και  
Θαλάσσιων Έργων

Συνδυασμένη προσομοίωση  
υδρολογικών-υδρογεωλογικών  
διεργασιών και λειτουργίας  
υδροσυστήματος Δυτικής Θεσσαλίας

Διπλωματική εργασία: Αριστοτέλης Τέγος

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής

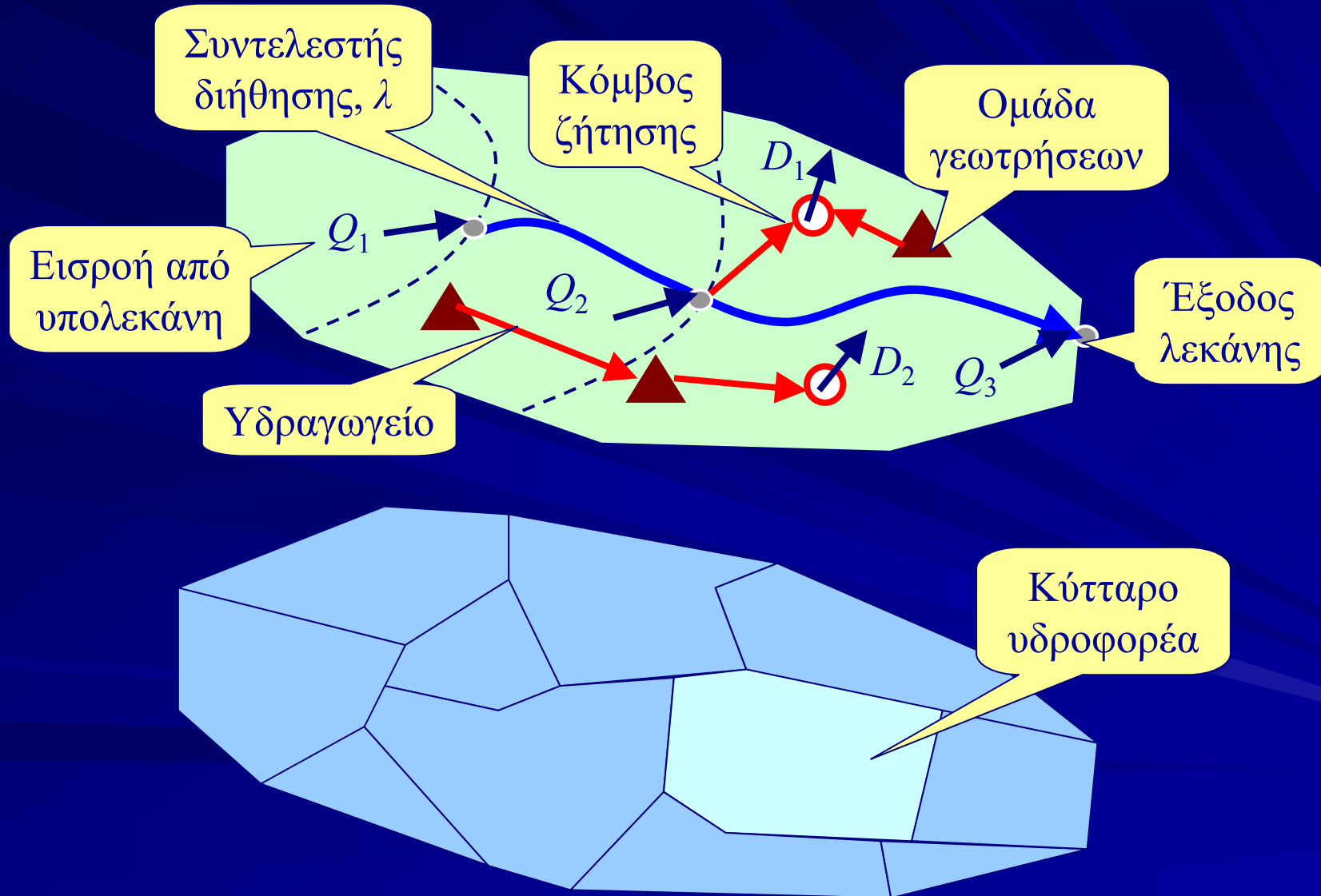
# Σκοπός της εργασίας

- Η προσομοίωση των υδρολογικών – υδρογεωλογικών διεργασιών και λειτουργίας του υδροσυστήματος της Δυτικής Θεσσαλίας.
- Στην περιοχή αναπτύσσονται εκτεταμένες αρδευτικές χρήσεις και επιβάλλεται η συνδυασμένη θεώρηση του επιφανειακού και υπόγειου υδροσυστήματος, καθώς και των βασικών έργων διαχείρισης υδατικών πόρων (αρδευτικό δίκτυο).
- Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ και αποτελεί την πρώτη ολοκληρωμένη εφαρμογή του παράλληλα με την ανάπτυξη του.
- Ορίστηκε αντικειμενική συνάρτηση με βάση 16 μετρήσεις πεδίου και άλλα μέτρα καλής προσαρμογής.
- Η περίοδος μελέτης είναι το 1972-1993, στην οποία υπάρχει ταυτόχρονη διαθεσιμότητα όλων των στοιχείων.

# Διάρθρωση εργασίας

1. Θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ
2. Σχηματοποίηση υδροσυστήματος Δυτικής Θεσσαλίας.
3. Συνιστώσες αντικειμενικής συνάρτησης
4. Περιγραφή διαδικασίας βαθμονόμησης
5. Αποτελέσματα
6. Συμπεράσματα

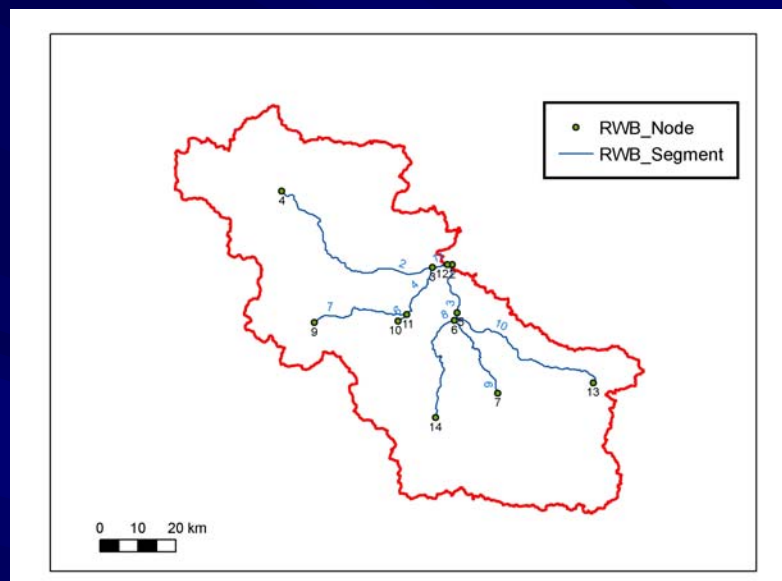
# Το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ



# Υδροσύστημα Δυτικής Θεσσαλίας

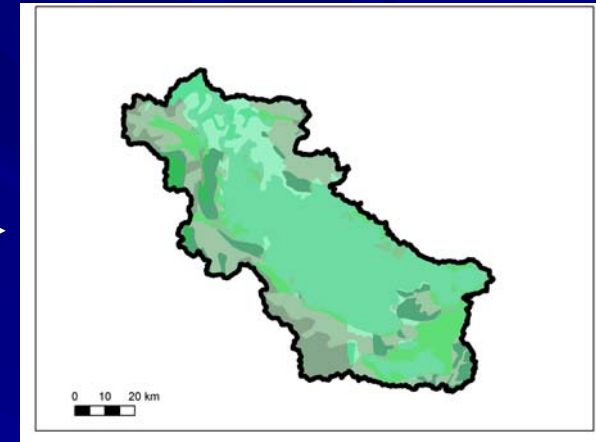
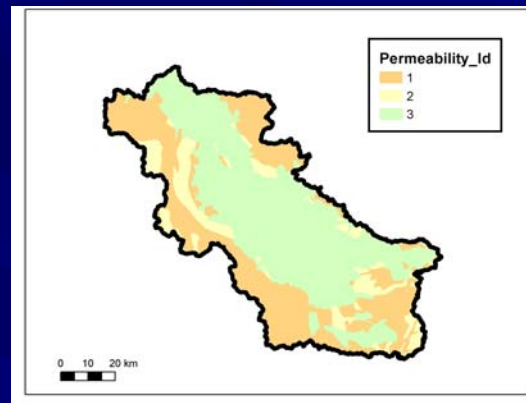
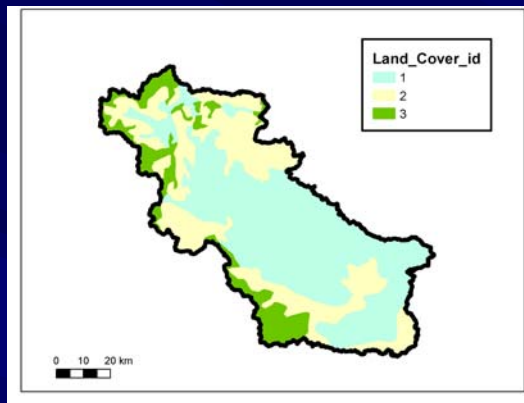
- Η περιοχή μελέτης έχει έκταση 6087 km<sup>2</sup> (Νομοί Καρδίτσας, Τρικάλων και μια μικρή έκταση Φθιώτιδας).
- Η έκταση της περιοχής καθορίστηκε από τις θέσεις υδρομετρικών και τη διαθεσιμότητα πρωτογενών μετρήσεων.
- Περιλαμβάνονται πέντε υδρομετρικοί σταθμοί σε διάφορες θέσεις του υδροσυστήματος όπου ελέγχθηκε η προσαρμογή του μοντέλου.
- Οι θέσεις μέτρησης καθορίζουν και το κατώφλι επιφανειακής συγκέντρωσης νερού, που απαιτείται για την αυτόματη χάραξη του υδρογραφικού δικτύου.

# Υδρογραφικό δίκτυο - Υπολεκάνες



- Με βάση της θέσης μέτρησης παροχής καθορίστηκε το υδρογραφικό δίκτυο του υδροσυστήματος.
- Προέκυψαν 13 κόμβοι (θέσεις μέτρησης, συμβολές).
- Ανάντη κάθε κόμβου χάραχθηκαν οι 12 λεκάνες απορροής με εφαρμογή εργαλείων ΣΓΠ.
- Για κάθε λεκάνη απορροής υπολογίστηκε η βροχόπτωση με την μέθοδο Thiessen και υψομετρική αναγωγή μηνιαίων δειγμάτων 19 βροχομετρικών σταθμών.

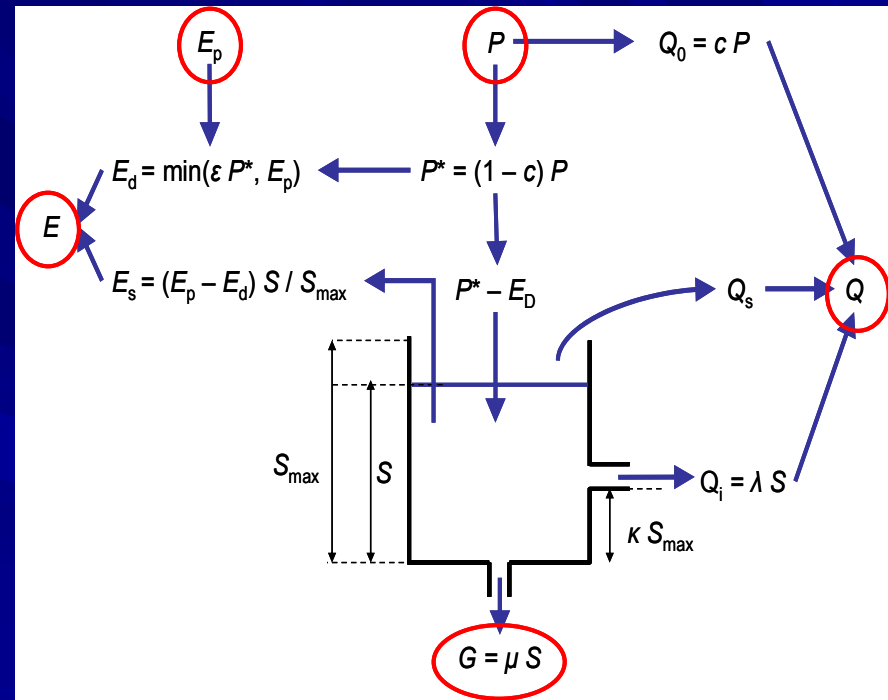
# Μονάδες υδρολογικής απόκρισης



- Ορίζεται η χωρική ενότητα της λεκάνης απορροής με κοινά υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά
- Σε κάθε ΜΥΑ ο μηχανισμός των υδρολογικών διεργασιών θεωρείται ενιαίος.
- Προσέγγιση της περιοχής μελέτης με 9 ΜΥΑ που αποτελούν την τομή των 3 κατηγοριών χρήσεων γης (αρδευόμενες, δασικές, εκτάσεις χαμηλής βλάστησης) και 3 κατηγοριών υδρολιθολογίας (περατά, ημιπερατά, αδιαπέρατα πετρώματα).

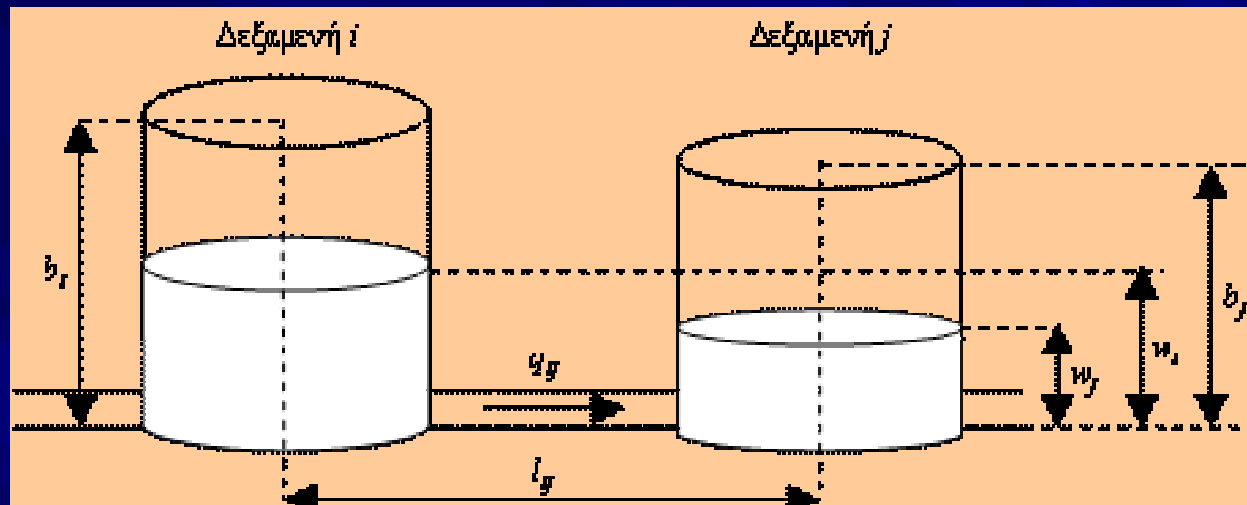
# Μοντέλο επιφανειακής υδρολογίας

- Αποτελεί γενίκευση του μοντέλου Thornthwaite
- Το μοντέλο έχει 6 παραμέτρους:
  - Χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας
  - Συντελεστής άμεσης απορροής
  - Συντελεστής στείρευσης κατείσδυσης
  - Συντελεστής στείρευσης υποδερμικής ροής
  - Στάθμη πραγματοποίησης υποδερμικής ροής
  - Άνω όριο πραγματοποίησης εξατμοδιαπνοής



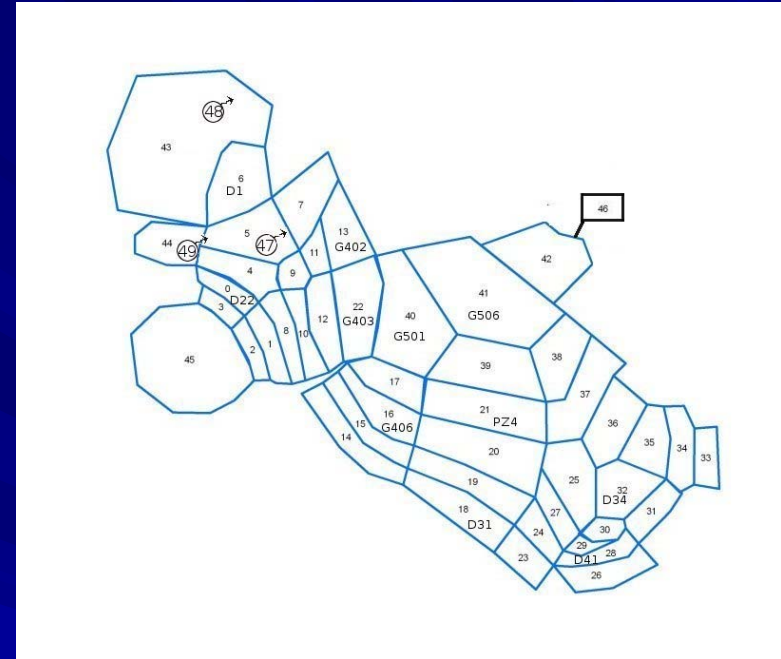


# Μοντέλο υπόγειας υδρολογίας



- Διακριτοποίηση με τη μορφή πολυγωνικών κυττάρων
- Χάραξη των κυττάρων με τρόπο ώστε οι ακμές τους να είναι παράλληλες με τις μέσες πιεζομετρικές γραμμές
- Χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε δεξαμενής, π.χ. το εμβαδόν της βάσης προκύπτουν από το ΣΓΠ, ενώ το ύψος νερού στην αρχή της προσομοίωσης ορίζεται από τον χρήστη.

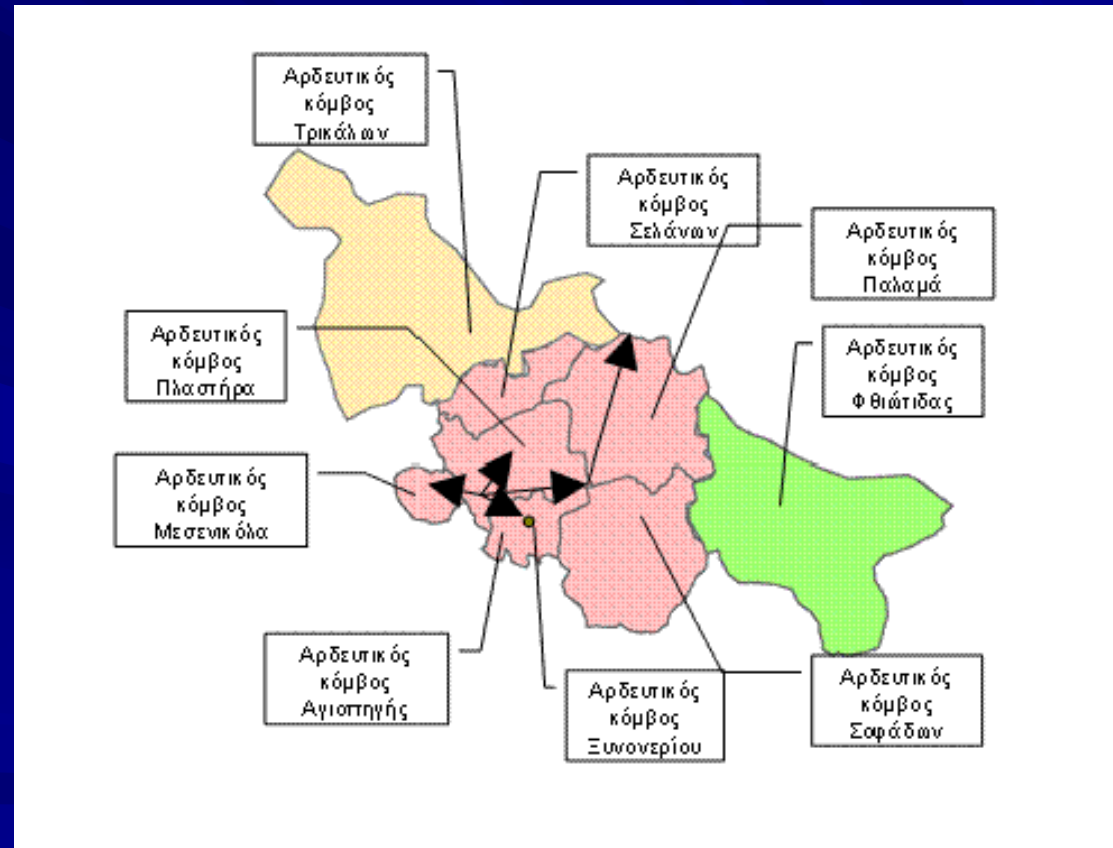
# Σχηματοποίηση υδροφορέα



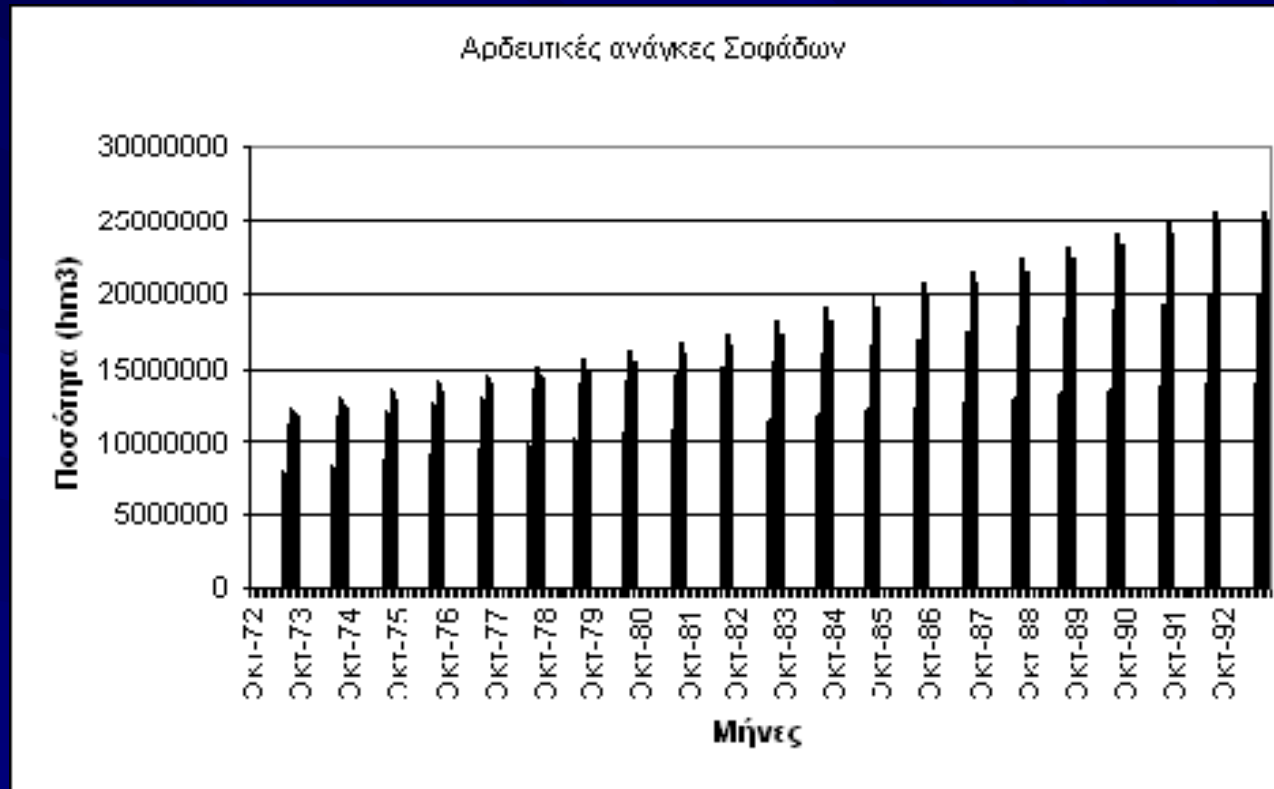
- Με βάση μελέτη της Sogreah (1971-1978) και την εγκατάσταση 40 γεωτρήσεων παρατήρησης στάθμης διακριτοποιήθηκε ο πεδινός υδροφορέας σε 46 κύτταρα.
- Τοποθέτηση γεωτρήσεων συγκεκριμένης δυναμικότητας σε κάθε κύτταρο του υδροφορέα.

# Αρδευτικό σύστημα Δυτικής Θεσσαλίας

- Χάραξη αρδευτικού δικτύου με αγωγούς (πραγματικούς ή εικονικούς) με βάση τα έργα διαχείρισης υδατικών πόρων (δίκτυο λίμνης Πλαστήρα)
- Προκύψαν 9 αρδευτικοί κόμβοι



# Εξέλιξη αρδευτικής ζήτησης



- Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών για κάθε κόμβο ζήτησης για τα 1972, 1982, 1993 και γραμμική παρεμβολή για τα ενδιάμεσα χρόνια.

# Ορισμός αντικειμενικής συνάρτησης

- Επειδή ο αριθμός των παραμέτρων είναι πολύ μεγάλος κρίθηκε αναγκαίος ο ταυτόχρονος έλεγχος πολλών κριτηρίων καλής προσαρμογής:
  - των συντελεστών προσδιορισμού των υδρογραφημάτων στις 5 θέσεις μέτρησης παροχής
  - της μεροληψίας στην αναπαραγωγή της μέσης τιμής
  - της μεροληψίας στην αναπαραγωγή της μέσης τιμής στις πηγές του Κεφαλόβρυσου
  - των συντελεστών προσδιορισμού των παρατηρήσεων στάθμης στις 11 γεωτρήσεις του πεδινού υδροφορέα
  - του μέτρου αναπαραγωγής της φυσικής συμπεριφοράς των υπογείων κυττάρων για τα οποία δεν υπάρχουν μετρήσεις.

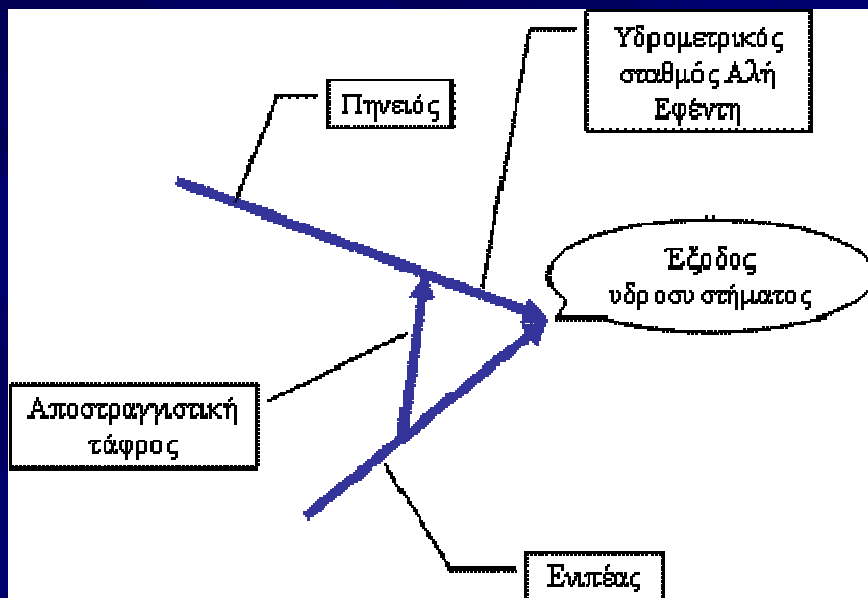
# Περιγραφή διαδικασίας βαθμονόμησης

- Ημιαυτόματη διαδικασία όπου επιλέγονται κάθε φορά οι παράμετροι προς βελτιστοποίηση
- Αρχικά, ρυθμίστηκαν οι παράμετροι του επιφανειακού μοντέλου (46 συνολικά) και προσεγγίστηκε η βέλτιστη λύση όσον αφορά τις αποκρίσεις της επιφανειακής απορροής.
- Στη συνέχεια με γνωστή τη τιμή της κατείσδυσης στον υπόγειο υδροφορέα ρυθμίστηκαν οι παράμετροι του (υδραυλική αγωγιμότητα και απλοποιητικά ενιαίο πορώδες)

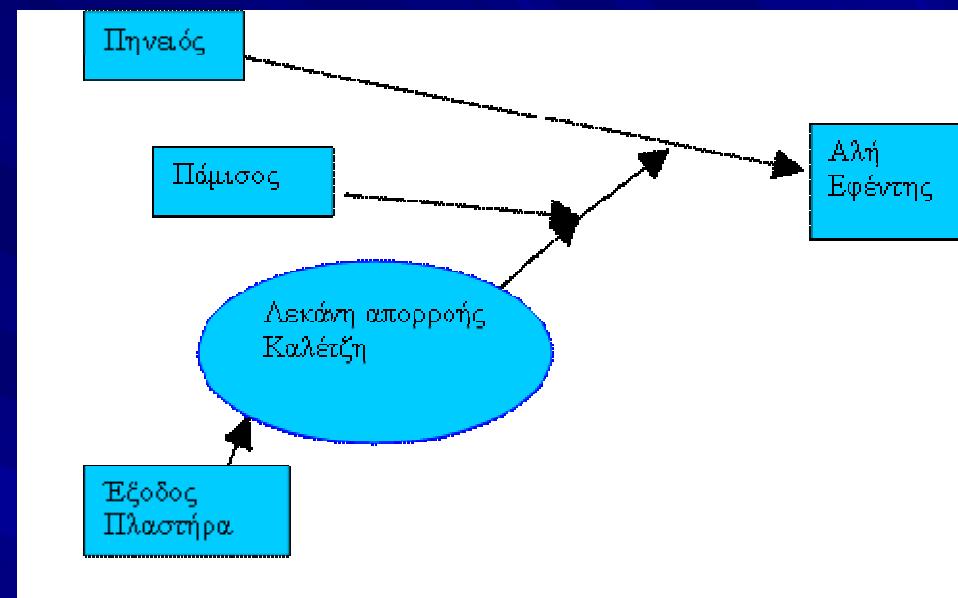
# Η διαλεκτική σχέση σηματοποίησης-βαθμονόμησης (1)

- Μετά τη πρώτη φάση προσαρμογής παρατηρήθηκαν σημαντικές αποκλίσεις τους χειμερινούς μήνες στη θέση Αλή Εφέντη και μη φυσική συμπεριφορά κυττάρων στον ανάντη υδροφορέα (απουσία πηγών για αναρρύθμιση του υπογείου υδροφορέα).
- Πραγματοποιήθηκαν τρεις τροποποιήσεις στο αρχικό υδροσύστημα
  - Διάκριση χειμερινής και θερινής λειτουργίας υδροσυστήματος
  - Τροποποίηση σηματοποίησης κοντά στον Αλή Εφέντη για τη διόδευση πλημμυρικών απορροών του Ενιπέα.
  - Προσθήκη πηγών Προδρόμου-Γοργύριου (Δήμος Κόζιακας Τρικαλων) για την αναρρύθμιση του υδροφορέα στα κύτταρα που συσσωρεύονταν σημαντικά μεγάλες ποσότητες νερού.

# Η διαλεκτική σχέση σηματοποίησης-βαθμονόμησης (2)



Σχηματοποίηση  
περιοχής Αλή Εφέντη

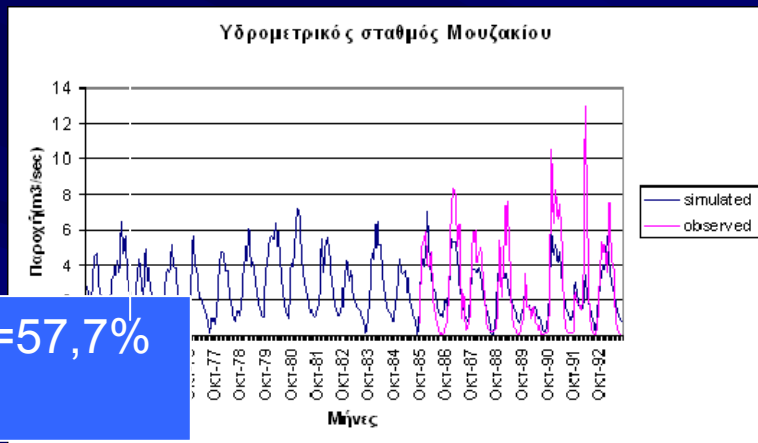


Χειμερινή λειτουργία  
υδροσυστήματος

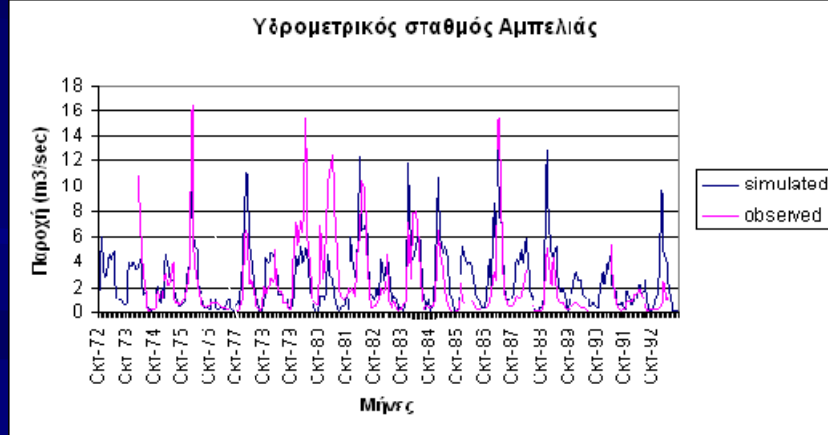
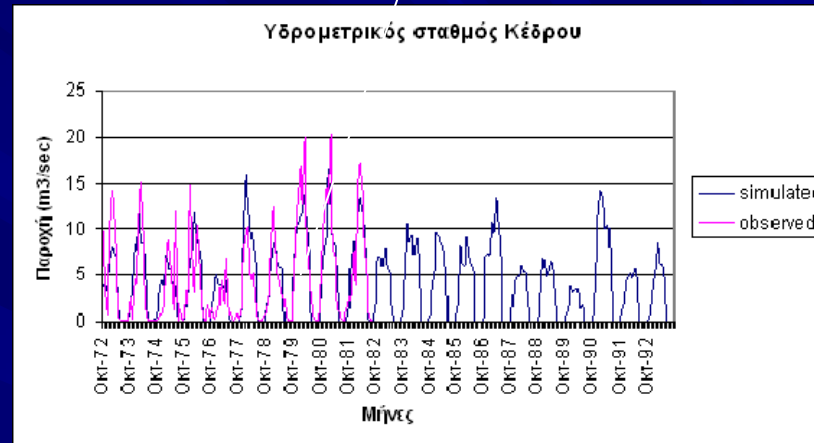


# Αναπαραγωγή μετρημένων παροχών (1)

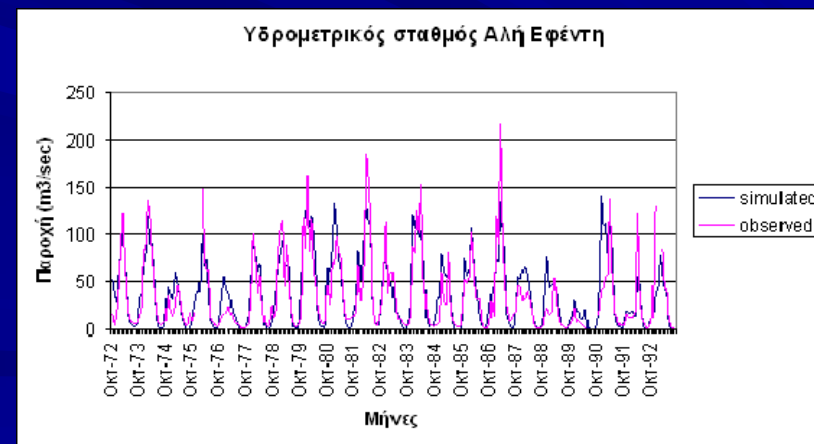
$R_b=68,7\%$



$R_e=57,7\%$

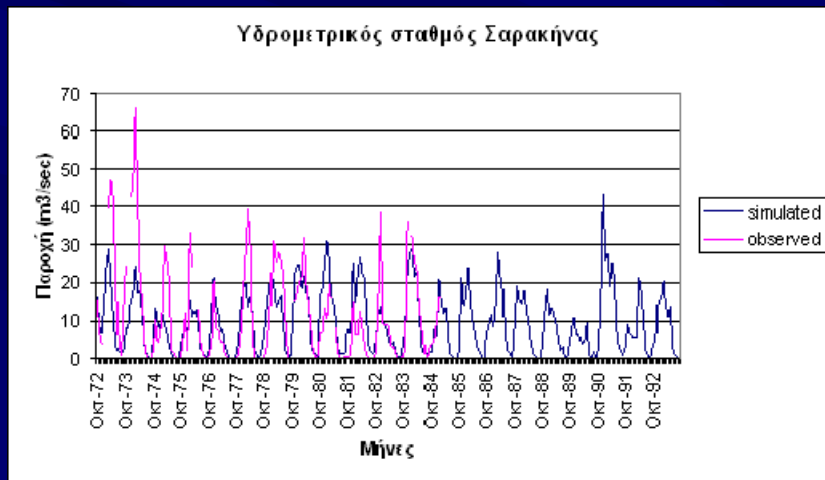


$R_b=38,5\%$   
 $R_e=24,1\%$



$R_b=81\%$   
 $R_e=61,2\%$

# Αναπαραγωγή μετρημένων παροχών (2)

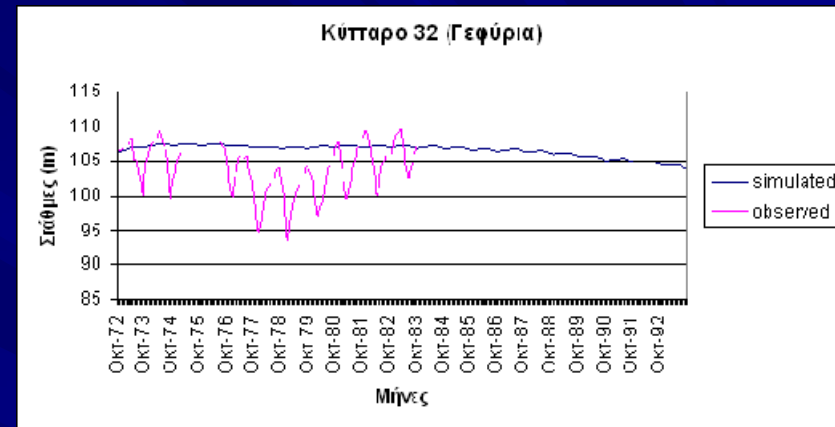
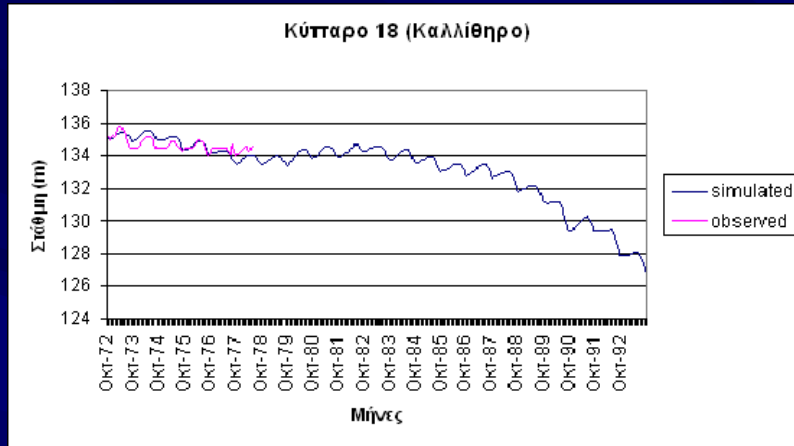


$R\beta=37,4\%$   
 $R\varepsilon=83,9\%$



$Q\mu=2.5 \text{ m}^3/\text{sec}$

# Στάθμες υπογείου νερού



- Επειδή οι σημειακές μετρήσεις υπόγειας στάθμης δεν μπορούν να αντιστοιχηθούν στις μεταβολές της στάθμης των κυττάρων μεγάλης έκτασης ζητούμενο είναι η προσέγγιση της διακύμανσης μεταξύ των παρατηρημένων και προσομοιωμένων χρονοσειρών, ταυτόχρονα με το έλεγχο του συντελεστή προσδιορισμού στα κύτταρα με παρατηρήσεις στάθμης και τον έλεγχο των τάσεων στα κύτταρα που δεν υπάρχουν μετρημένες στάθμες.

# Βελτιστοποιημένες παράμετροι μοντέλου επιφανειακής υδρολογίας

- Προέκυψαν παράμετροι που είναι συμβατές με τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.
- Τα αδιαπέρατα πετρώματα (ΜΥΑ 1, 2, 3) παρουσιάζουν μικρούς συντελεστές στείρευσης κατείσδυσης.
- Οι δασικές εκτάσεις (ΜΥΑ 3, 6, 9) παρουσιάζουν μεγάλες δεξαμενές εδαφικής υγρασίας (αυξημένη δυνατότητα κατακράτησης νερού)
- Τα περατά πετρώματα (ΜΥΑ 4, 5, 6) εμφανίζουν μεγάλους συντελεστές στείρευσης κατείσδυσης.

# Βελτιστοποιημένες παράμετροι μοντέλου υπόγειας υδρολογίας

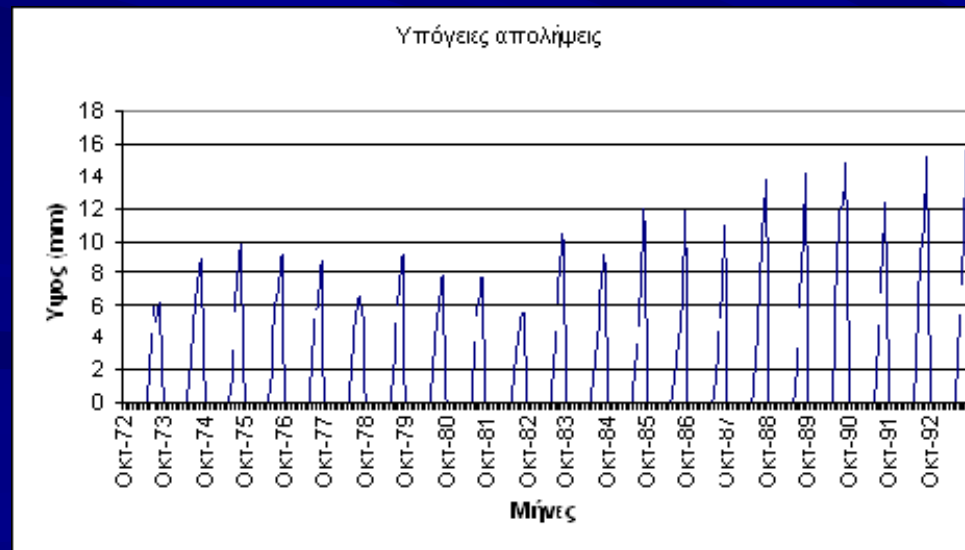
- Μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας στον ανάντη υδροφορέα (Νομός Τρικάλων) και μικρότερες στον κατάντη.
- Συμβατό με τις παρατηρήσεις της Sogreah.
- Σημαντικές συντελεστές διήθησης στο Πηνειό, Ενιπέα και στον Ανάντη κλάδο του Σοφαδίτη που επιβεβαιώνουν τις εκτιμήσεις της Sogreah.

# Ανάλυση μεγεθών υδατικού ισοζυγίου (1)

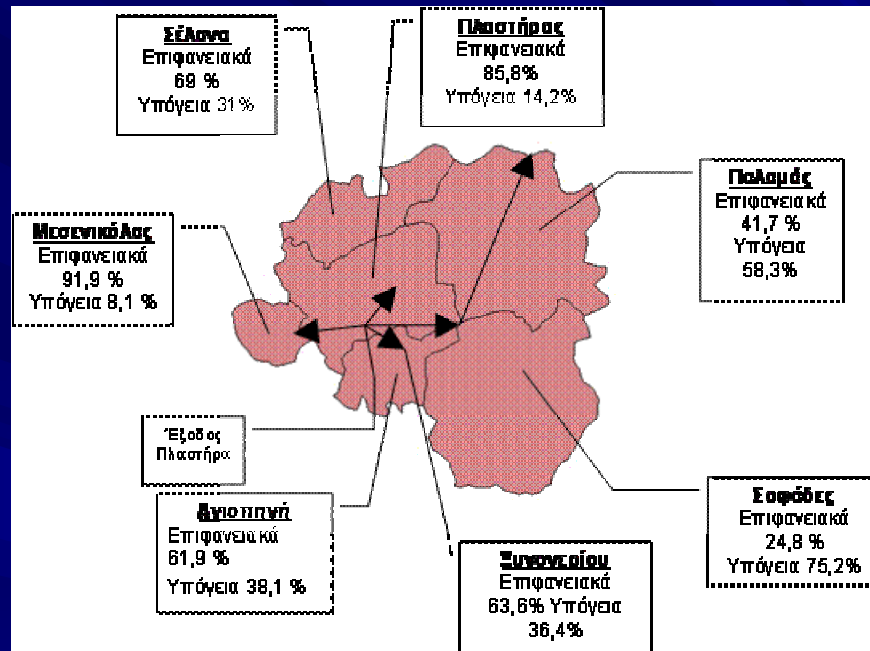
- Από τα 842,2 mm της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στη λεκάνη, τα 476,0 mm είναι απώλειες λόγω εξατμοδιαπνοής, ποσοστό δηλαδή 56,5%, που είναι τυπικό για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες.
- Η συνολική απορροή, επιφανειακή και υπόγεια, ανέρχεται σε 275,5 mm, συνεπώς ο υπερετήσιος συντελεστής απορροής της λεκάνης εκτιμάται σε  $275,5 / 842,2 = 32,7\%$ , τιμή που είναι τυπική για τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (επικράτηση ημιπερατών πετρωμάτων).
- Επισημαίνεται ότι ο αντίστοιχος συντελεστής στη γειτονική λεκάνη του Αχελώου κυμαίνεται στα επίπεδα του 70%, λόγω του υγρού κλίματος, σε συνδυασμό με την έντονης ανάπτυξη αδιαπέρατων σχηματισμών (φλύσχης).

# Ανάλυση μεγεθών υδατικού ισοζυγίου (2)

- Οι συνολικές υδατικές ανάγκες της λεκάνης καλύπτονται σε ποσοστό 46,1% από γεωτρήσεις, 21,4% από επιφανειακά νερά (απολήψεις από υδατορεύματα) και 32,5% από νερά του Πλαστήρα, κάτι που αποδεικνύει την κρισιμότητα του μοναδικού έργου ταμίευσης στην περιοχή και την ανάγκη ορθολογικής του διαχείρισης.



# Κατανομή αρδευτικών απολήψεων

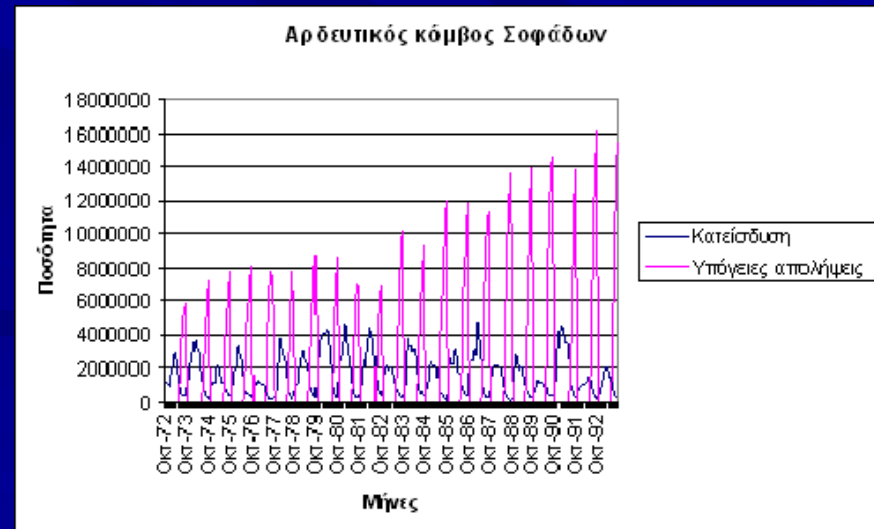
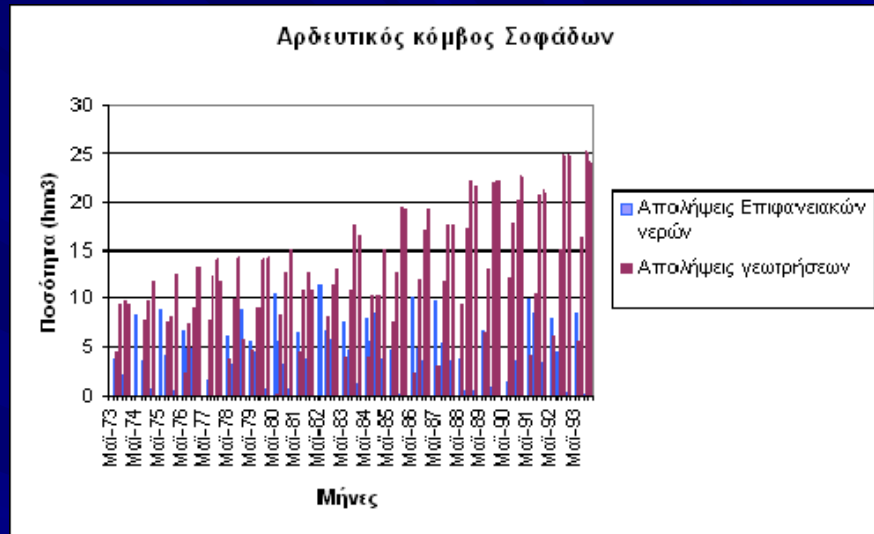


- Υψηλά ποσοστά επιφανειακών απολήψεων παρουσιάζουν οι κόμβοι του Πλαστήρα και του Μεσενικόλα.
- Το χαμηλότερο ποσοστό απολήψεων επιφανειακών νερών παρουσιάζεται στον κόμβο των Σοφάδων, που είναι ο μεγαλύτερος κόμβος κατανάλωσης του υδροσυστήματος της Καρδίτσας.



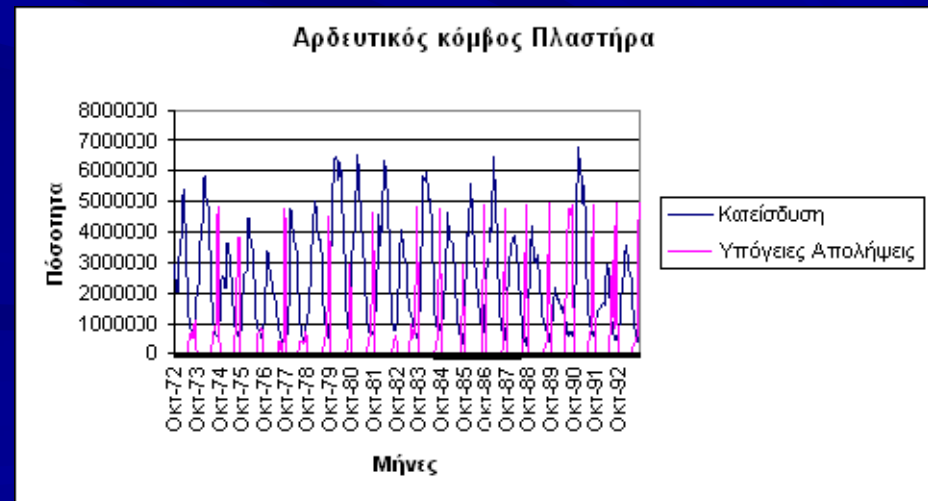
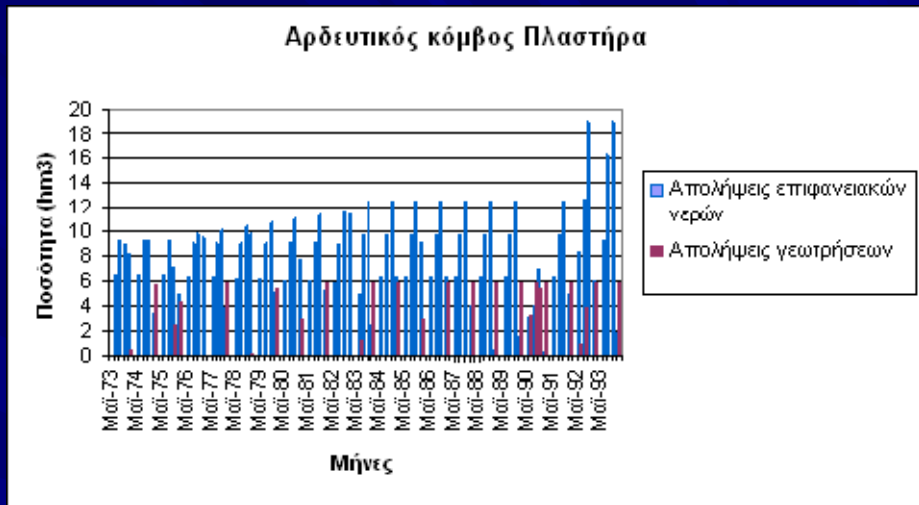
# Αρδευτικός κόμβος Σοφάδων

- Είναι ο μεγαλύτερος αρδευτικός κόμβος του υδροσυστήματος, η ζήτηση του συνεχώς αυξάνεται ενώ. Η ανεπάρκεια των επιφανειακών νερών διακρίνεται στα διπλανά διαγράμματα.



# Αρδευτικός κόμβος Πλαστήρα

- Το κύριο αρδευτικό δίκτυο Πλαστήρα τροφοδοτείται σε μεγάλο ποσοστό από το ταμιευτήρα.
- Παρά την κανονική επανατροφοδοσία του υπόγειου υδροφορέα, παρατηρείται πτώση στάθμης 3 μέτρων λόγω υπεράντλησης γειτονικών κελιών.



# Συμπεράσματα για το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

- Μικρός αριθμός παραμέτρων.
- Ολιστική προσέγγιση διεργασιών.
- Ευελιξία στην αξιοποίηση υδρολογικής πληροφορίας.
- Εξελιγμένη τεχνική βελτιστοποίησης

# Συμπεράσματα για το υδροσύστημα (1)

- Λίγες θέσεις μέτρησης με εκτεταμένα σφάλματα.
- Μεγάλος όγκος πληροφοριών για τη προσομοίωση του
- Κατά την περίοδο 1972-1993, οι αρδευτικές ανάγκες του υδροσυστήματος αυξάνονται συνεχώς, ενώ δεν ολοκληρώνονται τα αναγκαία έργα υποδομής, με συνέπεια να παρατηρείται υπερεκμετάλλευση του υπόγειου υδροφορέα.
- Η εξέλιξη της επανατροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την εξέλιξη των αρδευτικών αναγκών του κάθε κόμβου ζήτησης.

# Συμπεράσματα για το υδροσύστημα (2)

- Ο δυσμενέστερος κόμβος ως προς την κατανάλωση υπόγειων νερών είναι αυτός των Σοφάδων, που αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη αρδευόμενη έκταση της περιοχής.
- Η λίμνη Πλαστήρα αρδεύει πολλαπλάσια στρέμματα από το αρχικό σχεδιασμό της. Επιπλέον, έχουν κατασκευαστεί αρδευτικά έργα, όπως του Μεσενικόλα και του Ξυνονερίου, χωρίς να υπάρχει ολοκληρωμένο διαχειριστικό σχέδιο, με συνέπεια τη μη ορθολογική χρήση των αποθεμάτων του Πλαστήρα.