

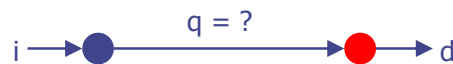
Αρχές ανάπτυξης μοντέλων διαχείρισης υδατικών πόρων – Ανάλυση προσφοράς και ζήτησης νερού

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Νίκος Μαμάσης & Δημήτρης Κουτσογιάννης
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

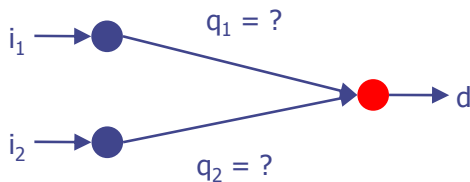
Μαθηματικά μοντέλα διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων

- ❑ **Καθορισμός ορίων υδροσυστήματος:** Από τα σημεία σύλληψης των υδατικών πόρων (θέσεις προσφοράς νερού) μέχρι τα φυσικά όρια της λεκάνης (εκβολή) ή την κεφαλή των δικτύων διανομής (θέσεις ζήτησης νερού).
- ❑ **Σχηματοποίηση μοντέλου:** Διαδικασία μετασχηματισμού των συνιστωσών του φυσικού υδροσυστήματος σε συνιστώσες του μαθηματικού μοντέλου που αναπαριστά το εν λόγω σύστημα.
- ❑ **Δεδομένα εισόδου:** Το σύνολο των στατικών και δυναμικών πληροφοριών (υδρολογικές εισροές, υδατικές ανάγκες, χαρακτηριστικά έργων, κλπ.) που απαιτούνται για τη διαμόρφωση του μαθηματικού μοντέλου.
- ❑ **Διατύπωση διαχειριστικού προβλήματος:** Προσδιορισμός μεταβλητών ελέγχου, που περιγράφουν εναλλακτικές πολιτικές λειτουργίας του υδροσυστήματος, και κριτηρίων αποτίμησης των εν λόγω πολιτικών.
- ❑ **Βελτιστοποίηση υδροσυστήματος:** Συστηματική διαδικασία αναζήτησης της πλέον πρόσφορης διαχειριστικής πολιτικής, που βασίζεται σε μια διαδοχή από εναλλακτικές αποφάσεις και αξιολογήσεις των επιπτώσεων κάθε απόφασης, ως προς κάποιο καθολικό μέτρο επίδοσης.

Στοιχειώδεις μαθηματικές διατυπώσεις του διαχειριστικού προβλήματος



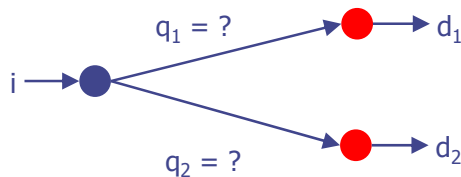
$$q = \min (i, d, u)$$



$$q_1 \leq \min (i_1, u_1)$$

$$q_2 \leq \min (i_2, u_2)$$

$$q_1 + q_2 \leq d$$



$$q_1 \leq \min (d_1, u_1)$$

$$q_2 \leq \min (d_2, u_2)$$

$$q_1 + q_2 \leq \min (i, d_1 + d_2)$$

i = προσφορά νερού, d = ζήτηση, q = παροχή, c = παροχεταιυτικότητα

Αρχές σχηματοποίησης υδροσυστημάτων: Συνιστώσες που αναπαρίστανται στα μοντέλα

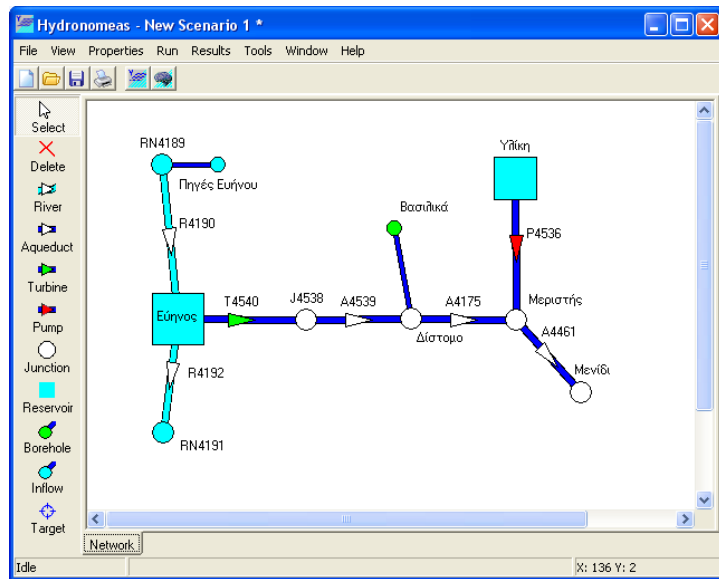
- ❑ συνιστώσες φυσικής προσφοράς νερού (λεκάνες απορροής, υδροφορείς)
- ❑ υδάτινα σώματα (ποτάμια, λίμνες, πηγές)
- ❑ οικοσυστήματα και προστατευόμενες περιοχές
- ❑ έργα σύλληψης και αποθήκευσης επιφανειακών υδατικών πόρων (φράγματα, λιμνοδεξαμενές, διατάξεις εκτροπής)
- ❑ έργα άντλησης υπόγειων υδατικών πόρων (γεωτρήσεις, πηγάδια)
- ❑ έργα μεταφοράς νερού (υδραγωγεία ανοικτά, υπό πίεση, σίφωνες)
- ❑ έργα διαχείρισης υδραγωγείων (αντλιοστάσια, ρυθμιστές ροής)
- ❑ έργα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (στρόβιλοι, αντλιοστρόβιλοι)
- ❑ έργα βελτίωσης της ποιότητας του νερού (μονάδες επεξεργασίας αδιύλιστου νερού, μονάδες αφαλάτωσης)
- ❑ περιοχές ή μεμονωμένες θέσεις ζήτησης νερού (χρήστες ή ομάδες χρηστών)

Παραδοσιακή θεώρηση: Ανάλυση κατά συνιστώσες → Δράσεις στο υδροσύστημα

Σύγχρονη θεώρηση: Ανάλυση σε κλίμακα υδροσυστήματος → Δράσεις στις συνιστώσες

Αρχές σχηματοποίησης υδροσυστημάτων: Δικτυακή απεικόνιση της τοπολογίας

- ❑ **Κόμβοι:** σημεία (ή περιοχές) προσφοράς ή ζήτησης νερού ή θέσεις αλλαγής της γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών μεγεθών του δικτύου
- ❑ **Κλάδοι:** στοιχεία μεταφοράς, που αντιπροσωπεύουν πραγματικές (αγωγοί) ή εννοιολογικές (εικονικές) διαδρομές του νερού



Παράδειγμα δικτυακής απεικόνισης συστήματος
υδατικών πόρων με το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

Αρχές σχηματοποίησης υδροσυστημάτων: Η έννοια της αφαίρεσης (abstraction)

- ❑ **Ορισμός-στόχος:** Περιορισμός της πολυπλοκότητας του φυσικού συστήματος, ώστε να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι συνιστώσες και διεργασίες που αφορούν στο συγκεκριμένο πρόβλημα (καθώς και οι αλληλεπιδράσεις τους).
- ❑ **Παραδείγματα:** Στα μοντέλα διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων δεν λαμβάνονται υπόψη συνιστώσες όπως η διανομή του υδρευτικού νερού εντός των οικισμών, η υδραυλική λειτουργία των υδραγωγείων και αντλιοστασίων, τα χαρακτηριστικά των υπερχειλιστών των φραγμάτων.
- ❑ **Πλεονεκτήματα:** Διευκολύνεται η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος και δεν απαιτείται η συλλογή των μη ουσιαστικών (αλλά τεράστιων σε έκταση) πληροφοριών.

Αρχές σχηματοποίησης υδροσυστημάτων: Η έννοια της τυποποίησης (classification)

- ❑ **Ορισμός-στόχος:** Ενοποίηση στοιχείων με παρόμοια χαρακτηριστικά σε εννοιολογικά αντικείμενα (συνιστώσες) του μαθηματικού μοντέλου, με κοινές ιδιότητες.
- ❑ **Παραδείγματα:** Στη συνήθη χρονική κλίμακα των διαχειριστικών μοντέλων, όπου οι υδραυλικές διεργασίες δεν επηρεάζουν τη δυναμική του συστήματος, οι αγωγοί με βαρύτητα και οι καταθλιπτικοί αγωγοί μπορούν να θεωρηθούν ενιαία αντικείμενα, δηλαδή στοιχεία μεταφοράς νερού με πεπερασμένη παροχетеυτικότητα.
- ❑ **Πλεονεκτήματα:** Περιορίζεται ο πολυμορφισμός, παρέχεται ένας κοινός τρόπος χειρισμού των αντικειμένων και τυποποιείται η ζητούμενη πληροφορία εισόδου του μοντέλου.

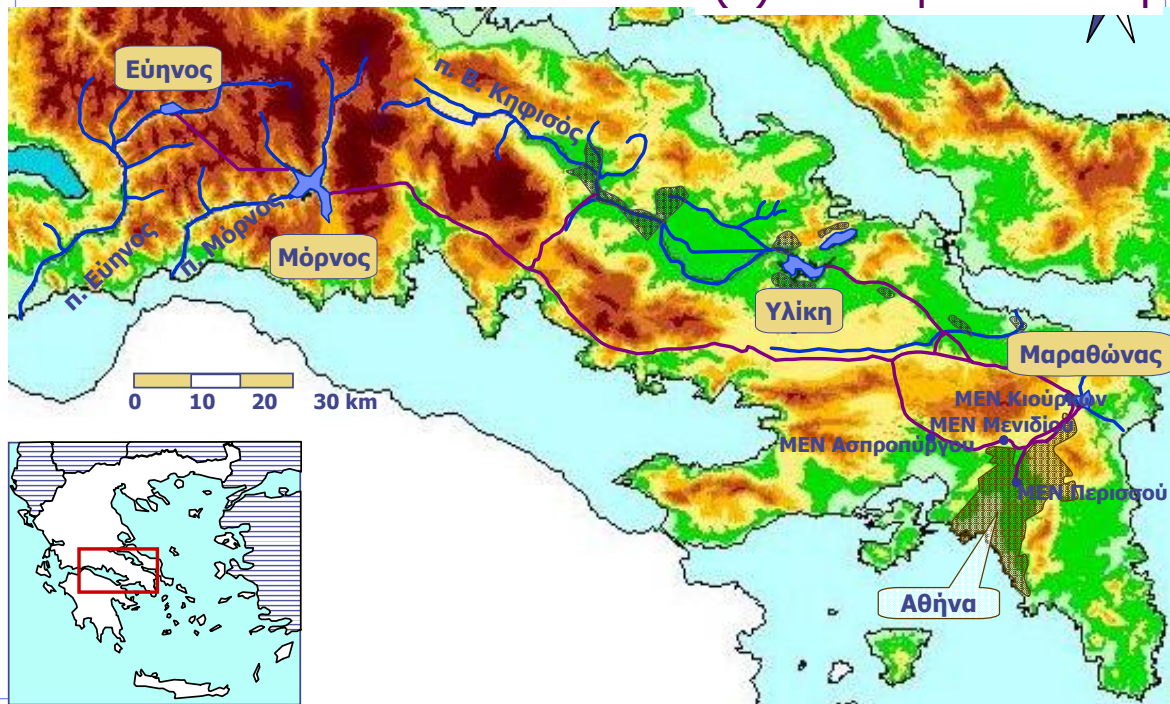
Πηγή: Karavokiros et al., 2002

Αρχές σχηματοποίησης υδροσυστημάτων: Η έννοια της απλοποίησης (simplification)

- ❑ **Ορισμός-στόχος:** Σύμπτυξη συνιστωσών, εφόσον οι επιμέρους διαφορές στα χαρακτηριστικά τους δεν επηρεάζουν την λειτουργία του μοντέλου, ούτε τη διαχειριστική πρακτική.
- ❑ **Παραδείγματα:** Ομαδοποίηση γεωτρήσεων που υδρομαστεύουν μια ευρύτερη περιοχή σε ένα εννοιολογικό αντικείμενο που υλοποιεί τη συνολική άντληση από τον συγκεκριμένο υδροφόρα, ενοποίηση των επιμέρους τμημάτων ενός υδραγωγείου σε ένα στοιχείο μεταφοράς.
- ❑ **Πλεονεκτήματα:** Εξοικονομείται σημαντικός χώρος στη μνήμη και περιορίζεται ο υπολογιστικός φόρτος, προς όφελος της υπολογιστικής επίδοσης του μοντέλου.

Πηγή: Karavokiros et al., 2002

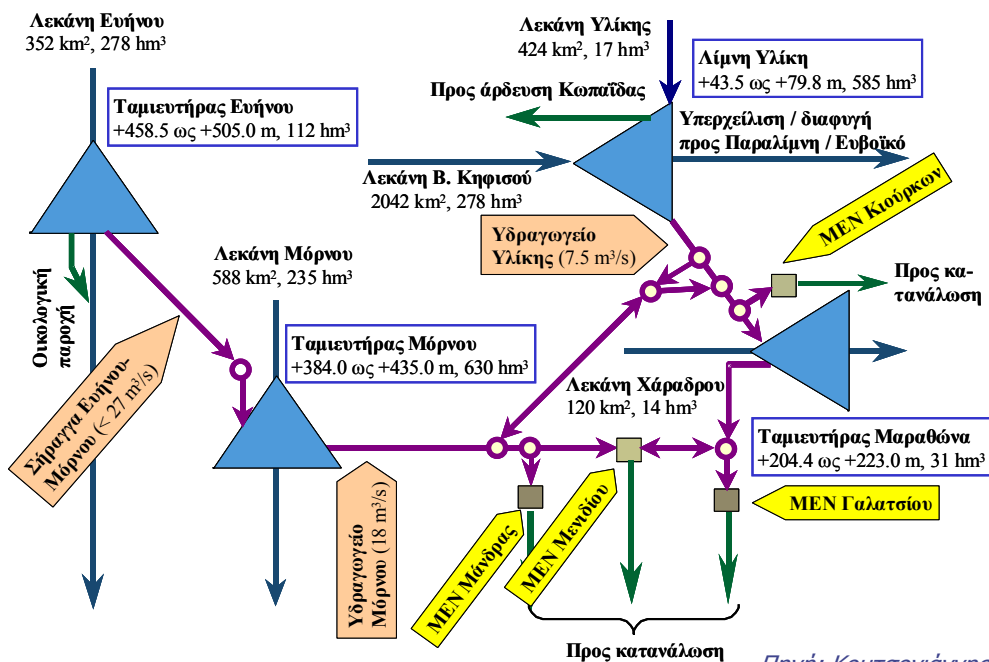
Σύστημα υδατικών πόρων ύδρευσης Αθήνας: (α) Φυσική απεικόνιση



Α. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, Δ. Κουτσογιάννης

Σχηματοποίηση υδροσυστήματος, προσφορά, ζήτηση

Σύστημα υδατικών πόρων ύδρευσης Αθήνας: (β) Σχηματοποίηση

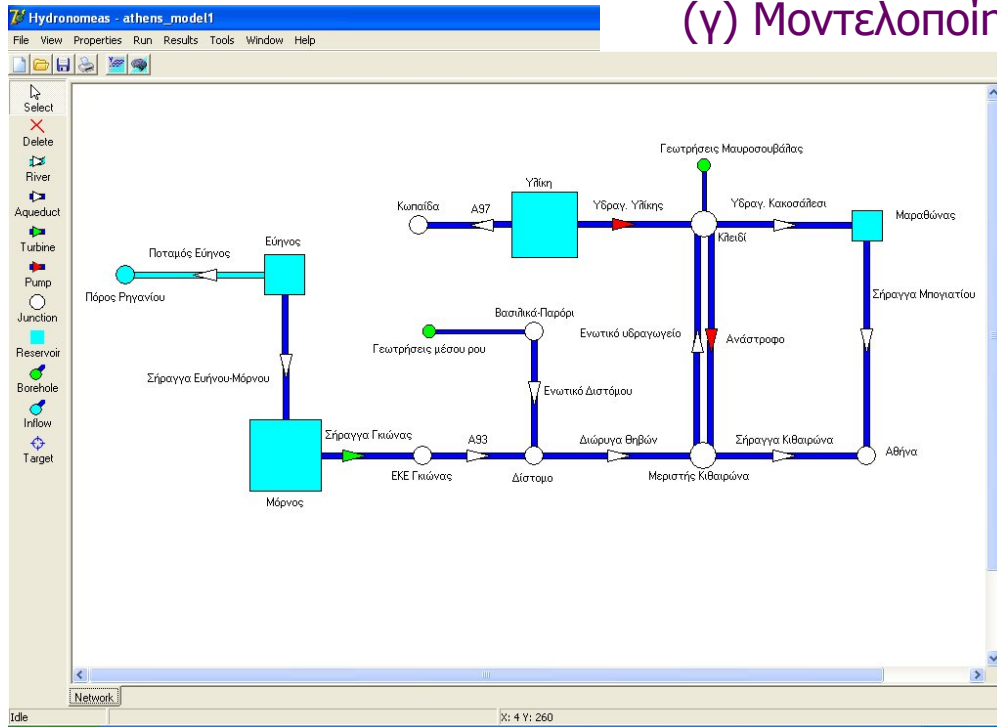


Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002

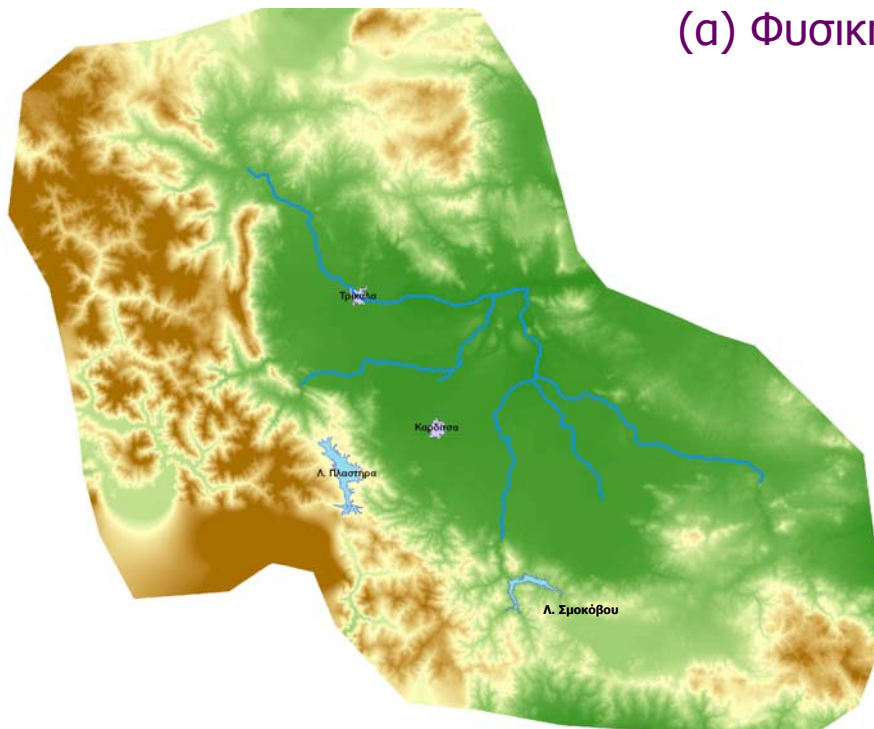
Α. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, Δ. Κουτσογιάννης

Σχηματοποίηση υδροσυστήματος, προσφορά, ζήτηση

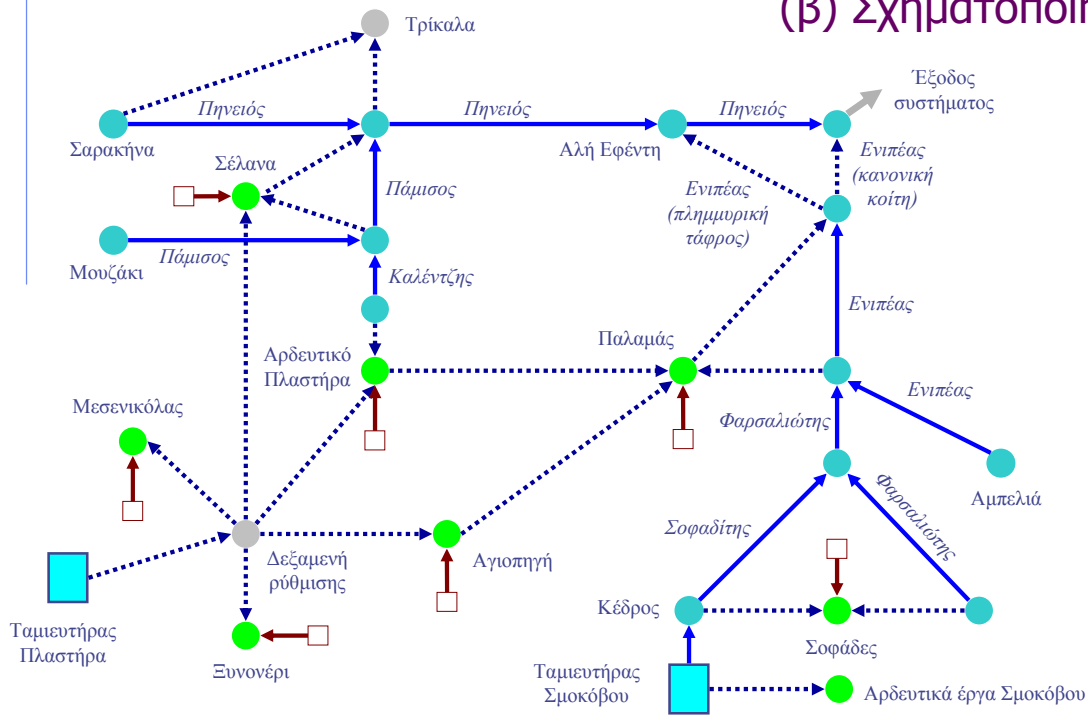
Σύστημα υδατικών πόρων ύδρευσης Αθήνας: (γ) Μοντελοποίηση



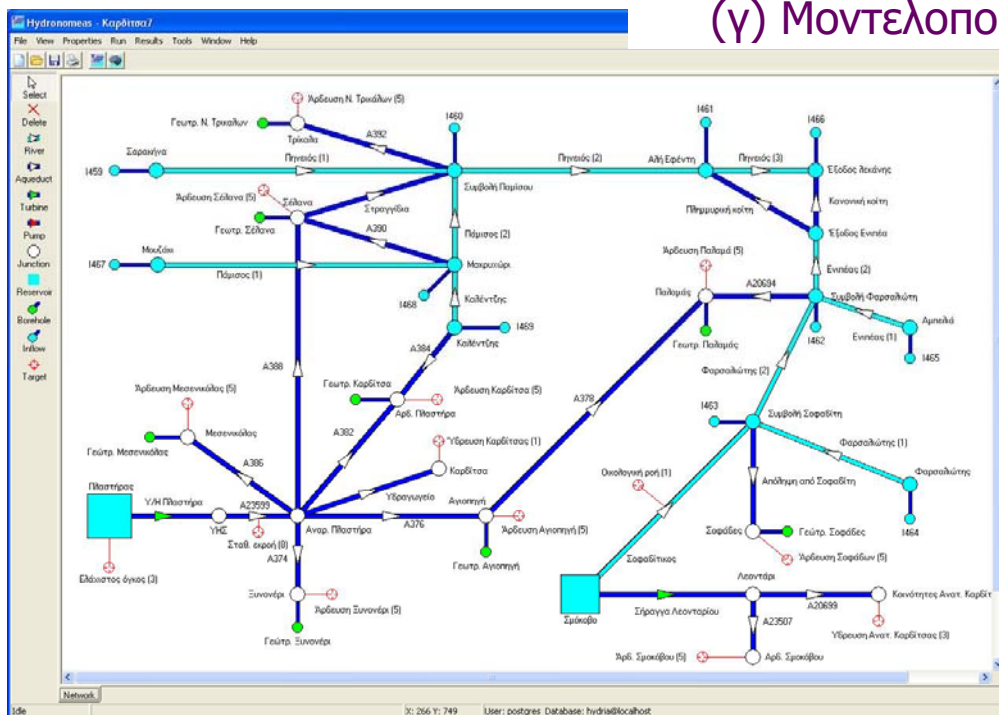
Υδροσύστημα Δυτικής Θεσσαλίας: (α) Φυσική απεικόνιση



Υδροσύστημα Δυτικής Θεσσαλίας: (β) Σχηματοποίηση

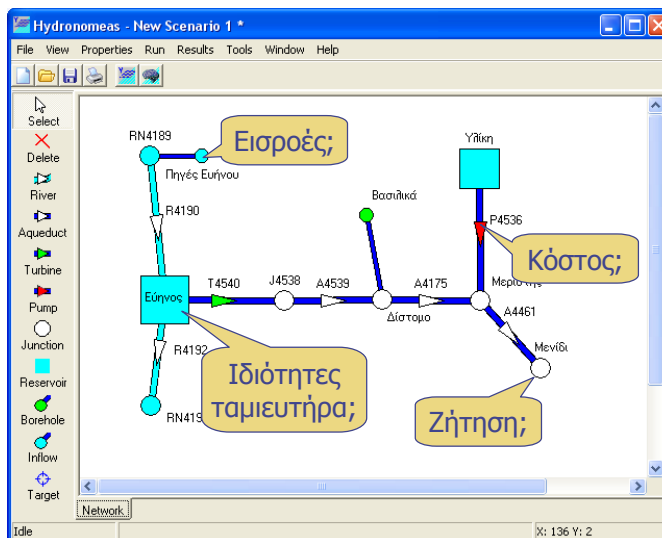


Υδροσύστημα Δυτικής Θεσσαλίας: (γ) Μοντελοποίηση



Τυπικά δεδομένα εισόδου μαθηματικών μοντέλων διαχείρισης υδατικών πόρων

- ❑ Τοπολογία μαθηματικού μοντέλου υδροσυστήματος (κόμβοι, κλάδοι)
- ❑ **Φυσική προσφορά νερού (υδρολογικές εισροές)**
- ❑ **Ζήτηση νερού – χρήσεις**
- ❑ Χαρακτηριστικά μεγέθη τεχνικών έργων
- ❑ Λειτουργικοί περιορισμοί
- ❑ Οικονομικά δεδομένα
- ❑ Ενεργειακά δεδομένα
- ❑ Ποιοτικά δεδομένα
- ❑ Κανόνες λειτουργίας
- ❑ Κριτήρια επίδοσης



Φυσική προσφορά νερού: Παρουσία νερού στη γη

Μορφή νερού	Συνολική ποσότητα (km ³)	Ποσοστό (%)	Ποσότητα γλυκού νερού (km ³)	Ποσοστό (%)
Ωκεανοί	1 338 000 000	96.54	-	-
Παγετώνες, μόνιμα χιόνια, υπόγειοι πάγοι	24 364 100	1.758	24 364 100	69.55
Υπόγεια νερά και εδαφική υγρασία	23 416 500	1.690	10 546 500	30.11
Λίμνες και έλη	187 870	0.014	102 470	0.293
Ατμοσφαιρικό νερό	12 900	0.0009	12 900	0.037
Ποταμοί	2 120	0.0002	2 120	0.006
Βιολογικό νερό	1 120	0.0001	1 120	0.003
Σύνολο	1 385 985 622	100.0	35 029 210	100.0

Πηγή: Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999, σ. 36, 48

Φυσική προσφορά νερού: Μέσες ετήσιες διακινήσεις νερού στη γη

Επιφάνεια αναφοράς	Έκταση (10 ⁹ km ³)	Διακίνηση	Όγκος (10 ³ km ³)	Ύψος (mm)	Παροχή (km ³ /s)	Ποσοστό επί των κατάκρημνισμάτων (%)
Επιφάνεια γης	510.0	Κατακρημνίσματα = εξατμοδιαπνοή	577	1131	18.28	100.0
Ωκεανοί	361.1	Κατακρημνίσματα	458	1268	14.51	100.0
		Εξάτμιση	505	1399	16.00	110.3
Ξηρά	148.9	Κατακρημνίσματα	119	799	3.77	100.0
		Εξατμοδιαπνοή	72	484	2.28	60.5
		Επιφανειακή απορροή	44.7	300	1.42	37.6
		Υπόγεια απορροή	2.3	16	0.07	1.9

Ρυθμός ανανέωσης επιφανειακών νερών: 2.12 km³/44.7 km³ ανά έτος = **17 ημέρες**

Ρυθμός ανανέωσης υπόγειων νερών: Επειδή το 25-50% της απορροής οφείλεται στα υπόγεια νερά, ο εν λόγω ρυθμός εκτιμάται σε: 10546 km³/25 km³ ανά έτος = **420 έτη**

Φυσική προσφορά νερού: Κατηγορίες υδατικών πόρων

- ❑ **Βροχόπτωση:** Άμεση χρήση του νερού που προέρχεται από τα κατακρημνίσματα (π.χ. από τα φυτά, οικιακή χρήση με συλλογή σε στέρνες).
- ❑ **Απόληψη από ποτάμια:** Απόληψη της διαθέσιμης παροχής μέσω διατάξεων υδροληψίας (π.χ. αναχώματα, ρουφράκτες).
- ❑ **Απόληψη από (εξωποτάμιες) λιμνοδεξαμενές:** Εκτροπή και αποθήκευση μέρους της βασικής ροής, περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης πλημμυρικής ροής.
- ❑ **Απόληψη από ταμιευτήρες:** Δυνατότητα ενδοετήσιας ή και υπερετήσιας ρύθμισης της παροχής, καθώς και διαχείρισης των πλημμυρών.
- ❑ **Απόληψη από υδροφορείς:** Οι υδροφορείς συμπεριφέρονται, πρακτικά, ως ταμιευτήρες υπερετήσιας εξίσωσης, αλλά με πολύ βραδείς ρυθμούς ανανέωσης και σημαντικό (λόγω της άντλησης) κόστος.
- ❑ **Αφαλάτωση:** Απεριόριστη διαθεσιμότητα νερού αλλά πολύ υψηλό κόστος.
- ❑ **Επαναχρησιμοποίηση υποβαθμισμένων νερών:** Περιορισμένη εφαρμογή, κυρίως για αρδευτική χρήση και εμπλουτισμό υδροφορέων.

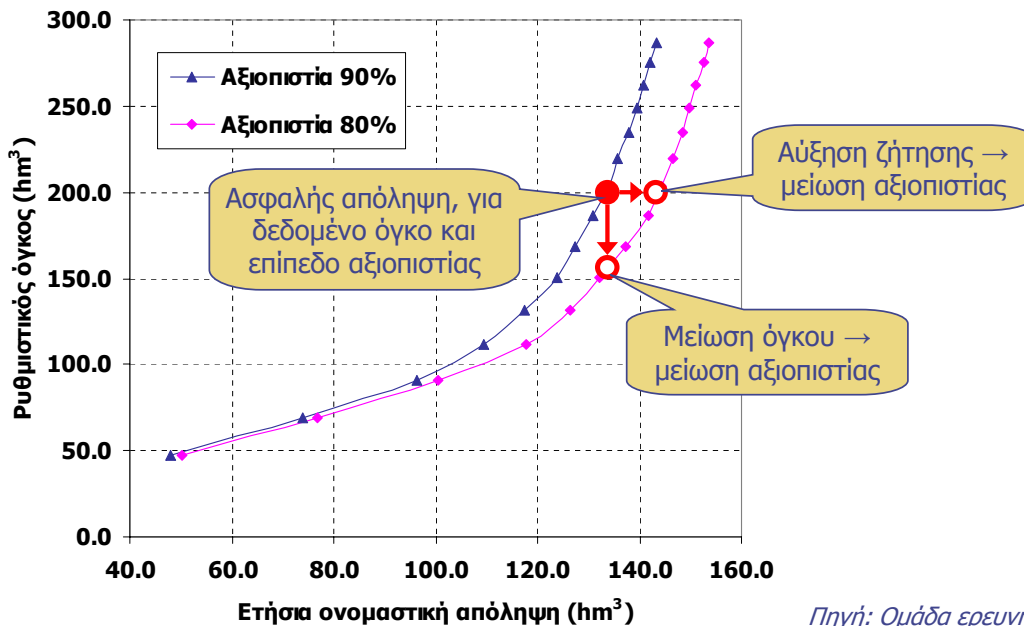
Φυσική προσφορά νερού: Χαρακτηριστικά μεγέθη επιφανειακών νερών

- ❑ **Μέση ετήσια απορροή:** Δίνει τη μέση εικόνα του επιφανειακού υδατικού δυναμικού μιας λεκάνης.
- ❑ **Ετήσια τυπική απόκλιση απορροής:** Δίνει, μαζί με τη μέση τιμή, την εικόνα της μεταβλητότητας του υδατικού δυναμικού της λεκάνης.
- ❑ **Μέση απορροή ξηρότερου μήνα:** Σε συνδυασμό με την αντίστοιχη ζήτηση, καθορίζει αν μια περιοχή είναι ελλειμματική ή όχι.
- ❑ **Μέση θερινή παροχή:** Χρησιμοποιείται για τον ορισμό της ελάχιστης διατηρητέας παροχής κατάντη φραγμάτων.
- ❑ **Μηνιαία χρονοσειρά απορροής:** Θεμελιώδης υδρολογική πληροφορία σε μελέτες σχεδιασμού και διαχείρισης υδροσυστημάτων που περιλαμβάνουν έργα ταμίευσης.
- ❑ **Πλημμυρική παροχή αιχμής:** Χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση αντιπλημμυρικών έργων, για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς.
- ❑ **Πλημμυρικό υδρογράφημα:** Χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση υπερχειλιστή φράγματος.

Φυσική προσφορά νερού: Υδρολογική αβεβαιότητα και αξιοπιστία

- ❑ Η **υδρολογική αβεβαιότητα** οφείλεται στην πολύπλοκη συμπεριφορά των φυσικών διεργασιών, που καθιστά ανέφικτη την πραγματοποίηση ασφαλών προγνώσεων για χρονικό ορίζοντα πέρα των λίγων ημερών.
- ❑ Λόγω της αβεβαιότητας, οι εισροές ενός υδροσυστήματος μπορούν να θεωρηθούν **τυχαίες μεταβλητές**, με συνέπεια οι αντίστοιχες εκροές (και κάθε άλλη μεταβλητή, π.χ. αποθέματα) να είναι επίσης τυχαίες μεταβλητές.
- ❑ Τα μεμονωμένα έργα ή συστήματα αξιοποίησης των υδατικών πόρων μπορούν να εξασφαλίσουν μια συγκεκριμένη **ασφαλή επίδοση** (π.χ., απόληψη, ενέργεια), δηλαδή επίδοση για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας.
- ❑ Η **αξιοπιστία** είναι πιθανοτικό μέγεθος, που ορίζεται ως η πιθανότητα επίτευξης της τιμής-στόχου που έχει τεθεί, που εμπειρικά υπολογίζεται καταμετρώντας τη συχνότητα των αστοχιών σε ένα πεπερασμένο δείγμα.
- ❑ Η αξιοπιστία διαφοροποιείται ανάλογα με το **σκοπό** και τη **σημασία** του υδροσυστήματος (π.χ., το υδροσύστημα της Αθήνας λειτουργεί με αξιοπιστία 99% - επιτρέπεται αστοχία μία φορά, κατά μέσο όρο, στα 100 έτη -, ενώ τα αρδευτικού σκοπού υδροσυστήματα μελετώνται με αξιοπιστία 80%).

Φυσική προσφορά νερού: Σχέση χωρητικότητας-ασφαλούς απόληψης-αξιοπιστίας



Φυσική προσφορά νερού: Διαχειριστικές όψεις των επιφανειακών νερών

	Ποτάμια	Λιμνοδεξαμενές	Ταμιευτήρες
Αποθηκευτική ικανότητα	Μηδενική	Μικρή	Μεγάλη
Διαχείριση ξηρασιών	Όχι	Για λίγους μήνες	Υπερετήσια
Διαχείριση πλημμυρών	Όχι	Όχι	Ναι
Απαιτούμενες υποδομές	Στοιχειώδεις	Περιορισμένες	Σημαντικές
Χρήσεις νερού	Άρδευση, ύδρευση	Άρδευση, ύδρευση	Όλες οι χρήσεις
Χωρική κλίμακα εξυπηρέτησης χρήσεων	Τοπική	Τοπική	Κλίμακα υδροσυστήματος
Έλεγχος λειτουργίας	Συχνά κανένας	Απλός	Σύνθετος
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Μικρές (;)	Μικρές	Σημαντικές
Χαρακτηριστικό υδρολογικό μέγεθος	Μέση θερινή παροχή	Μέση ετήσια βασική ροή	Μέση ετήσια απορροή
Λόγος ασφαλούς απόληψης προς μέση ετήσια απορροή	Εξαιρετικά μικρός	Μικρός	Μεγάλος

Φυσική προσφορά νερού: Χαρακτηριστικοί ορισμοί υπόγειων νερών

- ❑ **Δυνητικά ή δυναμικά αποθέματα:** Το σύνολο των νερών που εκτιμάται ότι κατεισδύουν στα καρστικά συστήματα και σε πορώδεις υδροφορείς και μπορούν να υπολογιστούν έμμεσα, από τις παροχές των πηγών.
- ❑ **Ρυθμιστικά αποθέματα:** Τα αποθέματα που μπορούν να εκτιμηθούν από τη μέση υπερετήσια πιεζομετρία τους και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων τους (υδραυλική αγωγιμότητα, αποθηκευτικότητα).
- ❑ **Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα:** Στην περίπτωση των δυνητικών αποθεμάτων, επειδή η προσέγγισή τους είναι πολύ γενικευμένη, θεωρείται ότι τα διαθέσιμα δεν μπορούν να ξεπεράσουν γενικά το 40%. Στην περίπτωση των ρυθμιστικών αποθεμάτων, αν δεν επηρεάζουν κατόντη έργα ή δεν εκφορτίζονται στη θάλασσα, τα διαθέσιμα αποθέματα μπορούν να φτάσουν έως και το 80% του συνόλου. Στις περιπτώσεις που εκφορτίζονται στη θάλασσα, η δυνατότητα αναρρύθμισης των δυναμικών ή ρυθμιστικών αποθεμάτων περιορίζεται αισθητά.

Πηγή: ΥΠΑΝ κ.ά., 2003

Φυσική προσφορά νερού: Πλεονεκτήματα εκμετάλλευσης υπόγειων νερών

- ❑ Δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή ταμιευτήρων, αφού οι υδροφορείς πρακτικά συμπεριφέρονται ως **ταμιευτήρες υπερετήσιας ρύθμισης**.
- ❑ Πολλές φορές οι υδροφορείς αναπτύσσονται κάτω από τις εκτάσεις όπου γίνεται η κατανάλωση του νερού, οπότε αποφεύγεται η κατασκευή **μεγάλων έργων μεταφοράς**.
- ❑ Οι γεωτρήσεις εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών μπορούν να κατασκευάζονται και να λειτουργούν αυτόνομα και ανεξάρτητα, κάτι που ευνοεί τη **σταδιακή ανάπτυξη** του συστήματος εκμετάλλευσης.
- ❑ Κατά κανόνα, η **ποιότητα** των υπόγειων υδατικών πόρων είναι καλύτερη από αυτήν των επιφανειακών (αν και η εκτεταμένη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, καθώς και η διείσδυση της θάλασσας έχει υποβαθμίσει την ποιότητά τους).

Φυσική προσφορά νερού: Διαχειριστικές όψεις των υπόγειων νερών

- ❑ Η άντληση του υπόγειου νερού, επειδή συχνά γίνεται από μεγάλα βάθη, συνεπάγεται σημαντική **ενεργειακή**, άρα και **οικονομική**, επιβάρυνση.
- ❑ Η **ταπείνωση της στάθμης** των φρεάτιων οριζόντων ή της πίεσης των περιορισμένων υδροφορέων αυξάνει το κόστος άντλησης σε γραμμική αναλογία και προκαλεί ποικίλα προβλήματα (π.χ. καθιζήσεις εδαφών).
- ❑ Σε **καρστικά υδροσυστήματα** με έντονες αλληλεπιδράσεις επιφανειακών και υπόγειων νερών, η υπερεκμετάλλευση των τελευταίων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της απορροής των υδατορευμάτων, λόγω μείωσης της παροχής ή και πλήρους στέρησης των πηγών (και αντίστροφα, η μείωση της παροχής ενός ποταμού λόγω π.χ. παρεμβολής φράγματος περιορίζει την τροφοδοσία του κατάντη υδροφορέα μέσω των διηθήσεων).
- ❑ Σε **παράκτιες περιοχές**, εξαιτίας των αντλήσεων μετακινείται η διεπιφάνεια που σχηματίζεται ανάμεσα στο υπόγειο γλυκό νερό και το νερό της θάλασσας, με συνέπεια το τελευταίο να προωθείται προς την ξηρά και, στη συνέχεια, να αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο (υφάλμυρο ή αλμυρό).
- ❑ Επειδή η **ρύπανση** των υπόγειων νερών εξελίσσεται με ιδιαίτερα βραδείς ρυθμούς, η κακή διαχείρισή τους μπορεί να οδηγήσει σε πρακτικά μη αναστρέψιμα αποτελέσματα.

Φυσική προσφορά νερού: Παράδειγμα συνδυασμένης χρήσης υδατικών πόρων



Φυσική προσφορά νερού: Εκτίμηση υδατικών πόρων

- Απευθείας εκτίμηση απορροής από **επεξεργασία δειγμάτων στάθμης-παροχής** (μειονέκτημα: ο περιορισμένος αριθμός αξιόπιστων υδρομετρικών σταθμών, με συνεχή καταγραφικά όργανα).
- Έμμεση εκτίμηση απορροής από το **υδατικό ισοζύγιο** ταμιευτήρων.
- «**Μεταφορά**» **υδρολογικής πληροφορίας** από γειτονικές λεκάνες, με εμπειρικές μεθόδους αναγωγής της μετρημένης απορροής (μειονέκτημα: προϋποθέτει χονδροειδείς παραδοχές, όπως π.χ. εξίσωση των συντελεστών απορροής).
- Προσαρμογή **εννοιολογικών υδρολογικών μοντέλων** σε λεκάνες με μετρήσεις, με παραμέτρους που εκτιμώνται με βάση παρατηρημένα δείγματα παροχής, στάθμης υδροφορέα κλπ., μέσω τεχνικών βελτιστοποίησης (μειονέκτημα: οι εγγενείς αβεβαιότητες του προβλήματος βαθμονόμησης).
- Εφαρμογή εννοιολογικών μοντέλων σε **λεκάνες χωρίς μετρήσεις**, με θεώρηση τυπικών τιμών των παραμέτρων τους (μειονέκτημα: απαιτεί μεγάλη εμπειρία, καθώς δεν υπάρχει έλεγχος της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου).
- Εφαρμογή **κατανεμημένων μοντέλων «φυσικής βάσης»**, με παραμέτρους που εκτιμώνται από στοιχεία πεδίου (μειονέκτημα: απαιτείται τεράστιος όγκος πληροφορίας, ώστε να περιγραφεί η χωρική ετερογένεια των διεργασιών).

Χρήσεις νερού

- **Καταναλωτικές:** Χρήσεις που απαιτούν την **απόληψη/εκροή** συγκεκριμένης ποσότητας νερού, η οποία εξέρχεται από το φυσικό υδατικό σύστημα και της οποίας μόνο ένα μέρος επιστρέφει στο εν λόγω σύστημα (άμεσα ή έμμεσα), με διαφοροποιημένη την ποιοτική του κατάσταση.
- **Μη καταναλωτικές:** Χρήσεις στις οποίες το νερό χρησιμοποιείται χωρίς να μεταβάλλονται τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του και χωρίς να απομακρύνεται από το φυσικό υδατικό σύστημα. Οι ζητήσεις μη καταναλωτικού χαρακτήρα αντιμετωπίζονται ως **δεσμεύσεις/περιορισμοί**, των οποίων οι κύριες επιπτώσεις εμφανίζονται στην αναρρύθμιση των διαθέσιμων ποσοτήτων και τις ποιοτικές προδιαγραφές που απαιτούνται.

- Ύδρευση
- Άρδευση
- Κτηνοτροφία
- Βιομηχανία
- Ψύξη ΑΗΣ

- Παραγωγή Υ/Η ενέργειας
- Ιχθυοκαλλιέργεια
- Περιβαλλοντικές χρήσεις (για τήρηση ορίων ποιότητας νερού και προστασία οικοσυστημάτων)

Αστική (υδρευτική) χρήση: Συνιστώσες και παράγοντες που την επηρεάζουν

- **Συνιστώσες αστικής χρήσης:**
 - Οικιακή χρήση μονίμων κατοίκων
 - Εποχιακή οικιακή χρήση (παραθεριστικές περιοχές)
 - Τουριστική χρήση (ξενοδοχειακές μονάδες, ενοικιαζόμενα δωμάτια)
 - Βιομηχανική/βιοτεχνική χρήση
 - Δημόσια/δημοτική χρήση (νοσοκομεία, δημόσιες υπηρεσίες, σχολεία)
 - Μη οικιακή γεωργική χρήση (π.χ. μικρής έκτασης καλλιέργειες)
 - Απώλειες κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού
- **Παράγοντες που επηρεάζουν την αστική κατανάλωση:**
 - Εξέλιξη πληθυσμού – μετανάστευση
 - Βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο
 - Τιμολογιακή πολιτική και άλλα μέτρα ελέγχου της ζήτησης
 - Παλαιότητα αγωγών και πολιτική συντήρησης δικτύου διανομής

Αστική (υδρευτική) χρήση: Χαρακτηριστικά μεγέθη και επισημάνσεις

- **Χαρακτηριστικά μεγέθη:**
 - Οικιακή κατανάλωση: 200 L/d/κάτοικο (μαζί με τις απώλειες)
 - Τουριστική κατανάλωση: 300 L/d/κλίνη
 - Ετήσια κατανάλωση στην Αθήνα: 400 hm³ (~ 100 m³/κάτοικο)
- **Διαχειριστικές όψεις της υδρευτικής χρήσης:**
 - Είναι η χρήση νερού με τη **μεγαλύτερη προτεραιότητα** (σε περίπτωση μη επαρκούς διαθεσιμότητας νερού, ικανοποιείται πρώτη σε ιεραρχία).
 - Προϋποθέτει πολύ **υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας** όσον αφορά στη λειτουργία ενός υδροσυστήματος (π.χ. 99% για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας).
 - Εκτός από την ποσοτική της διάσταση, εισάγει και διάφορους **ποιοτικούς περιορισμούς** στη διαχείριση των υδατικών πόρων.
 - Παρουσιάζει σχετικά **μικρή ελαστικότητα** (δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια αυξομειώσεων την κατανάλωσης).

Αρδευτική χρήση: Ορισμοί και δεδομένα υπολογισμού

- ❑ **Θεωρητικές ανάγκες καλλιέργειας σε νερό:** Συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την πλήρη ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Εκτιμάται με βάση τη **δυναμική εξατμοδιαπνοή** της καλλιέργειας αναφοράς.
- ❑ **Αρδευτικές ανάγκες καλλιέργειας:** Ποσότητα που πρέπει να δοθεί μέσω των αρδευτικών έργων στην καλλιέργεια για την πλήρη ανάπτυξή της (= θεωρητικές ανάγκες – βροχόπτωση + απώλειες δικτύων).
- ❑ **Ζήτηση νερού για άρδευση μιας περιοχής:** Συνολική απαίτηση απόληψης νερού για την ικανοποίηση, όλων ή εν μέρει, των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών μιας περιοχής μελέτης.

- Θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Ηλιοφάνεια
- Ταχύτητα ανέμου
- Βροχόπτωση

- Είδη καλλιεργειών
- Στάδια ανάπτυξης
- Φυτικοί συντελεστές
- Μέθοδοι άρδευσης
- Καλλιεργούμενες εκτάσεις
- Ποσοστά απωλειών



Αρδευτική
ζήτηση

Πηγή: ΥΠΑΝ κ.ά., 2003

Αρδευτική χρήση: Χαρακτηριστικά μεγέθη στην Ελλάδα

- ❑ Η άρδευση αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή νερού (~ 84%).
- ❑ Οι αρδευόμενες εκτάσεις ανέρχονται σε 13.2×10^6 στρέμματα, που εξυπηρετούνται κατά 40% από συλλογικά και κατά 60% από ιδιωτικά έργα.
- ❑ Οι εν λόγω εκτάσεις καλύπτουν το 33% της καλλιεργούμενης επιφάνειας της Ελλάδας (μέσος ευρωπαϊκός όρος ~ 10%).
- ❑ Οι εκτιμήσεις των θεωρητικών αναγκών γίνονται με τη μέθοδο Penman-Monteith (με πλήρη υδρομετεωρολογικά δεδομένα ή τη χρήση τυπικών τιμών).
- ❑ Σύμφωνα με την ΚΥΑ Φ16/6631/2-6-89 (ΦΕΚ Β 428), οι καλλιέργειες ταξινομούνται σε 9 κατηγορίες, για τις οποίες καθορίζονται όρια χρήσης νερού ανά στρέμμα, για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου.
- ❑ Μέση ετήσια αρδευτική ζήτηση (λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες στα δίκτυα): $600 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$ (= 600 mm).

Πηγές: ΥΠΑΝ κ.ά., 2003· Μαλάμος & Ναλμπάντης, 2005

Κτηνοτροφική χρήση

- Γενικά, οι ζητήσεις για την κτηνοτροφία είναι μικρές, ωστόσο οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητα των νερών εξαιτίας των λυμάτων τους.
- Τα προβατοειδή και αιγοειδή καλύπτουν τις ανάγκες τους κυρίως από φυσικές πηγές, λόγω του επικρατούντος χαρακτήρα της ελεύθερης βοσκής τους.
- Τα βοοειδή, χοίροι, ιπποειδή, πουλερικά και κουνέλια καλύπτουν τις ανάγκες τους από οργανωμένα δίκτυα ύδρευσης, λόγω της πιο συγκεκριμένης χωρικά εκτροφής τους.

Κατηγορίες ζώων	Κατά κεφαλήν ανάγκες (L/d)
Βοοειδή	70.0
Προβατοειδή	15.0
Αιγοειδή	15.0
Χοίροι	15.0
Ιπποειδή	70.0
Κουνέλια	2.0
Πουλερικά	0.5

Πηγή: ΥΠΑΝ κ.ά., 2003

Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

- Το 1996, το **18.4%** της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας προερχόταν από υδροηλεκτρικά έργα (στην Ελλάδα 9.1% το έτος 2005).
- Η Υ/Η ενέργεια αποτελεί, μαζί με την αιολική, τη μοναδική πηγή που είναι **ανανεώσιμη** και, ταυτόχρονα, **οικονομικά βιώσιμη**.
- Από όλες τις μορφές ενέργειας, είναι αυτή με τη **μεγαλύτερη απόδοση**, καθώς ο σχετικός συντελεστής ξεπερνά το 85% (οφείλεται μόνο στις υδραυλικές απώλειες στον αγωγό προσαγωγής και τις τριβές στους στροβίλους).
- Τα Υ/Η έργα είναι τα πλέον πρόσφορα για την κάλυψη των **αιχμών** της ζήτησης (η ενεργοποίηση ενός υδροστροβίλου απαιτεί ελάχιστα λεπτά, ενώ μιας θερμοηλεκτρικής μονάδας πολλές ώρες).
- Οι Υ/Η ταμιευτήρες, λόγω του μεγέθους τους αλλά και των **πολλαπλών σκοπών** που εξυπηρετούν (παραγωγή ενέργειας, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, κλπ.), θεωρούνται κομβικές συνιστώσες ενός υδροσυστήματος.

Από διαχειριστική σκοπιά, η επίδοση ενός Υ/Η έργου αποτιμάται με όρους **πρωτεύουσας ενέργειας αιχμής**, ενέργειας δηλαδή που είναι συνεχώς διαθέσιμη τις ώρες αιχμής της ζήτησης, και έχει υψηλή οικονομική αξία (τουλάχιστον διπλάσια της δευτερεύουσας).

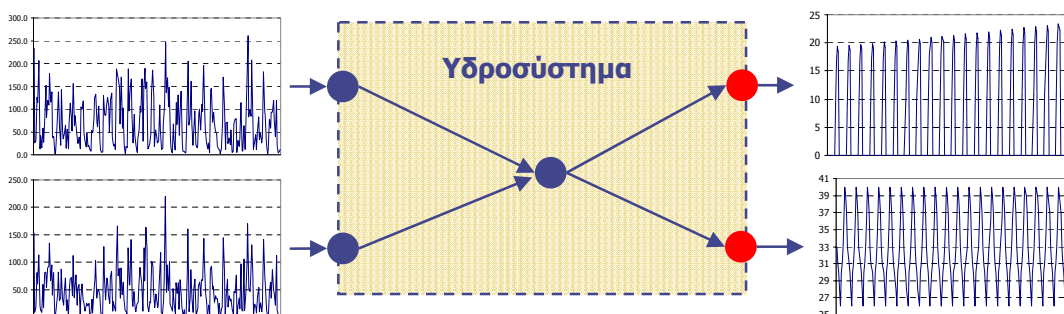
Ελάχιστη διατηρητέα παροχή ποταμών

- ❑ Παροχή νερού που πρέπει να εξασφαλίζεται κατόπιν των έργων αξιοποίησης ενός υδατορεύματος, με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας και τη διατήρηση του υδατικού οικοσυστήματος.
- ❑ Συνήθως, εκφράζεται ως ποσοστό μιας χαρακτηριστικής τιμής της φυσικής παροχής του υδατορεύματος (μέση ετήσια, μέση ελάχιστη θερινή).
- ❑ Σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60 ΕΕ απαιτείται λεπτομερέστερη διερεύνηση, με χρήση μαθηματικών προσομοιώσεων της αφομοιωτικής ικανότητας του ποταμού, ώστε να εξασφαλίζεται καλή ποιοτική κατάσταση.

Φράγμα (σε φάση λειτουργίας ή μελέτης)	Μέση ετήσια παροχή (m ³ /s)	Ελάχιστη διατηρητέα παροχή (m ³ /s)
Αγ. Δημητρίου (Εύηνος)	8.9	1.0 (όλο το έτος)
Σμοκόβου (Σοφαδίτης)	5.3	0.7-1.1 (Απρ.-Σεπτ.)
Μεσοχώρας (Αχελώος)	23.5	1.5 (όλο το έτος)
Συκιάς (Αχελώος)	46.6	5.0 (όλο το έτος)
Αποσελέμη	0.365	0.015 (όλο το έτος)

Ορισμός του διαχειριστικού προβλήματος

- ❑ Για δεδομένη **προσφορά** και **ζήτηση** νερού («φορτίσεις» υδροσυστήματος):
 - ποια είναι η βέλτιστη πολιτική **απολήψεων** από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους και ποια η βέλτιστη πολιτική **μεταφοράς** των απολήψεων από τις πηγές στην κατανάλωση («αποκρίσεις» υδροσυστήματος)
 - ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση νερού για τις διάφορες χρήσεις, με την απαιτούμενη **ιεραρχία** και το απαιτούμενο επίπεδο **αξιοπιστίας**, να τηρούνται οι **λειτουργικοί, ποιοτικοί** και **περιβαλλοντικοί** περιορισμοί, να μεγιστοποιούνται τα **οφέλη** από τις διάφορες χρήσεις και να ελαχιστοποιείται το **κόστος λειτουργίας** του υδροσυστήματος.



- Karavokiros, G., A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, Determining management scenarios for the water resource system of Athens, *Proceedings, Hydrorama 2002, 3rd International Forum on Integrated Water Management*, March 2002, 175-181, Water Supply and Sewerage Company of Athens, Athens, 2002.
- Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Δ. Κουτσογιάννης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: NAMA, Τεύχος 9, 91 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2007.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καραβοκυρός, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, Ι. Ναλμπάντης, Ε. Ρόζος, Χ. Καρόπουλος, Α. Νασίκας, Ε. Νεστορίδου, και Α. Νικολόπουλος, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας — Έτος 2002–2003, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 14, 215 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2002.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 2, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.
- Μιμίκου, Μ. Α., *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, Έκδοση 2, Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994.
- Μαλάμος, Ν., και Ι. Ναλμπάντης, Ανάλυση των πρακτικών διαχείρισης της ζήτησης νερού, *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: NAMA, Τεύχος 15, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούνιος 2005.
- Ομάδα ερευνητικού έργου Πλαστήρα 2002, Συνοπτική έκθεση, *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Τεύχος 1, 23 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002.
- ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, και ΚΕΠΕ, Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, *Συμπλήρωση της ταξινόμησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων στα υδατικά διαμερίσματα της χώρας*, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 549 σελίδες, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα, Ιανουάριος 2003.