

Διάλεξη στα πλαίσια του μαθήματος:
«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»
9^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

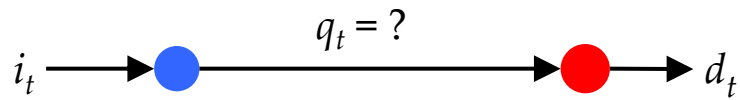
Προσομοίωση και βελτιστοποίηση της διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιανουάριος 2012

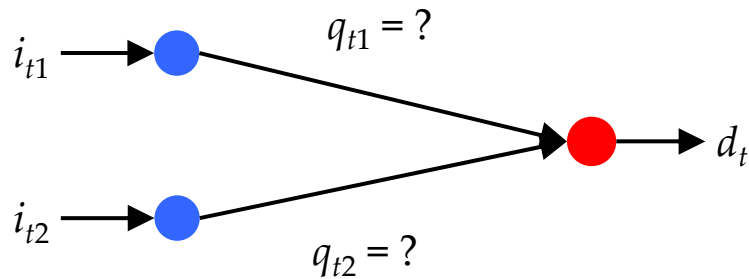
Η έννοια της συστημικής προσέγγισης στη διαχείριση των υδατικών πόρων

- ❑ **Ορισμός συστήματος:** Προσδιορισμός (γεωγραφικών) ορίων και συνιστωσών φυσικού συστήματος, και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.
- ❑ **Σχηματοποίηση:** Μετασχηματισμός συνιστωσών πραγματικού συστήματος σε συνιστώσες ενός εννοιολογικού μοντέλου που αναπαριστά το εν λόγω σύστημα.
- ❑ **Μοντελοποίηση:** Μαθηματική διατύπωση εξισώσεων δυναμικής και περιορισμών (φυσικών και λειτουργικών) σχηματοποιημένου μοντέλου.
- ❑ **Δεδομένα εισόδου:** Χαρακτηριστικά μεγέθη (στατικά δεδομένα) και χρονοσειρές (δυναμικά δεδομένα) που απαιτούνται από το μαθηματικό μοντέλο.
- ❑ **Παραμετροποίηση:** Ορισμός μεταβλητών ελέγχου (παραμέτρων) που περιγράφουν εναλλακτικές διαχειριστικές πολιτικές.
- ❑ **Προσομοίωση:** Αναπαράσταση της δυναμικής λειτουργίας του συστήματος, μέσω εξισώσεων και λογικών εκφράσεων, κωδικοποιημένων σε γλώσσα υπολογιστή.
- ❑ **Βελτιστοποίηση:** Συστηματική διαδικασία αναζήτησης της πλέον πρόσφορης διαχειριστικής πολιτικής, η οποία υλοποιείται ως μια διαδοχή από εναλλακτικές αποφάσεις και αποτιμήσεις των επιπτώσεων κάθε απόφασης, βάσει κριτηρίων που εκφράζονται από κατάλληλους αριθμητικούς δείκτες (μέτρα επίδοσης).
- ❑ **Υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων:** Κριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων μοντέλου και προσαρμογές, στα πλαίσια της επιχειρησιακής λειτουργίας του συστήματος.

Στοιχώδεις μαθηματικές διατυπώσεις διαχειριστικών προβλημάτων



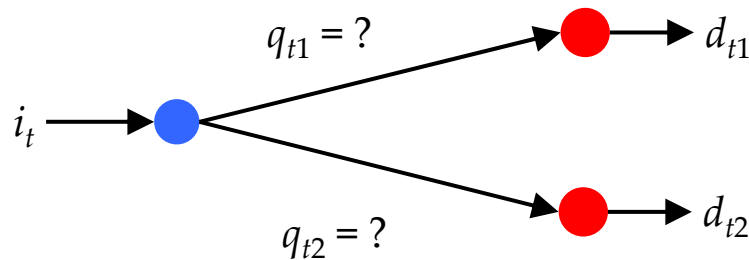
$$q_t = \min(i_t, d_t, u) \quad P(q_t < d_t) \geq a$$



$$q_{t1} \leq \min(i_{t1}, u_1) \quad P(q_{t1} + q_{t2} < d_t) \geq a$$

$$q_{t2} \leq \min(i_{t2}, u_2)$$

$$q_{t1} + q_{t2} \leq d_t$$



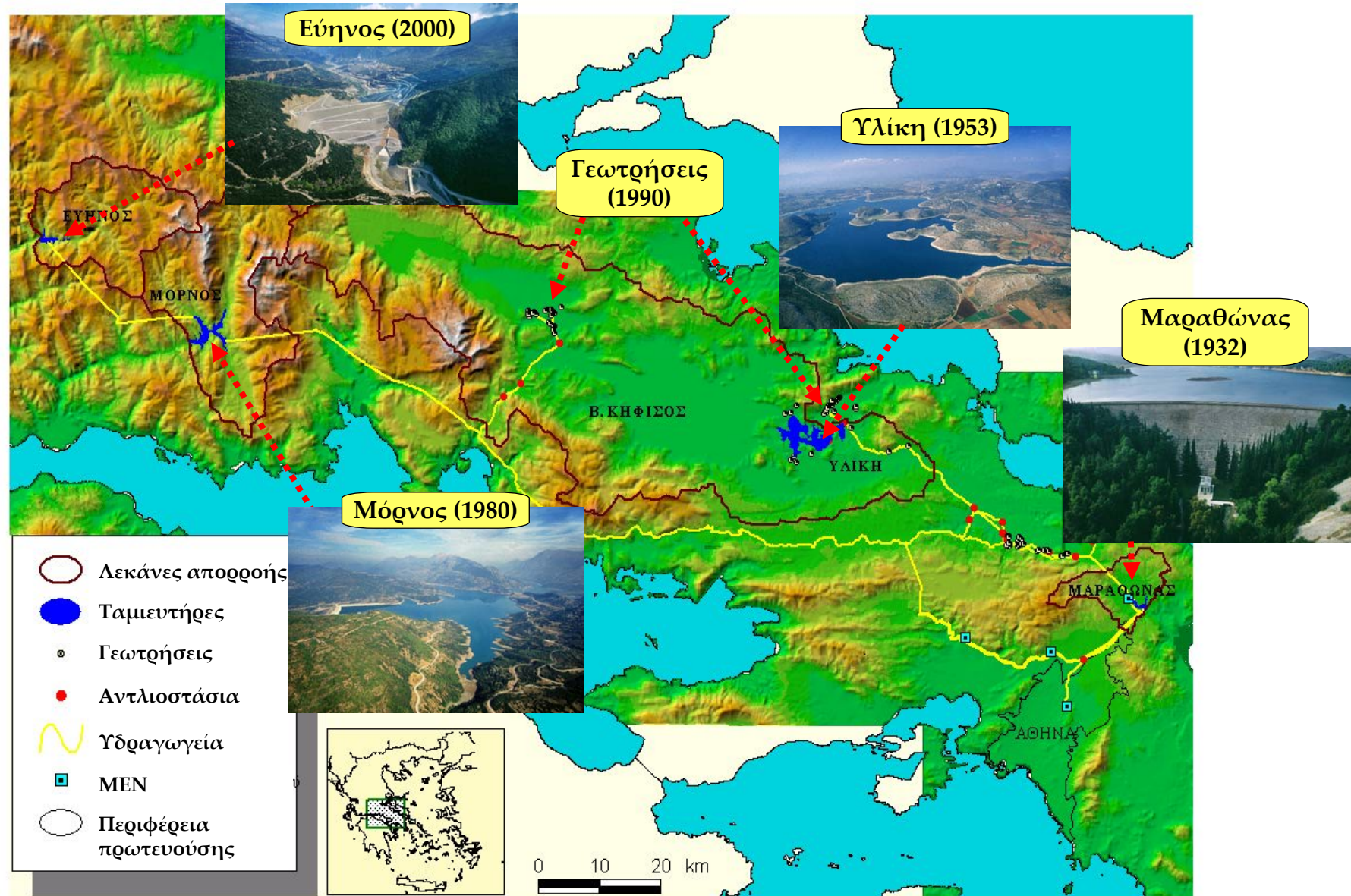
$$q_{t1} \leq \min(d_{t1}, u_1) \quad P(q_{t1} < d_{t1}) \geq a_1$$

$$q_{t1} \leq \min(d_{t2}, u_2) \quad P(q_{t2} < d_{t2}) \geq a_2$$

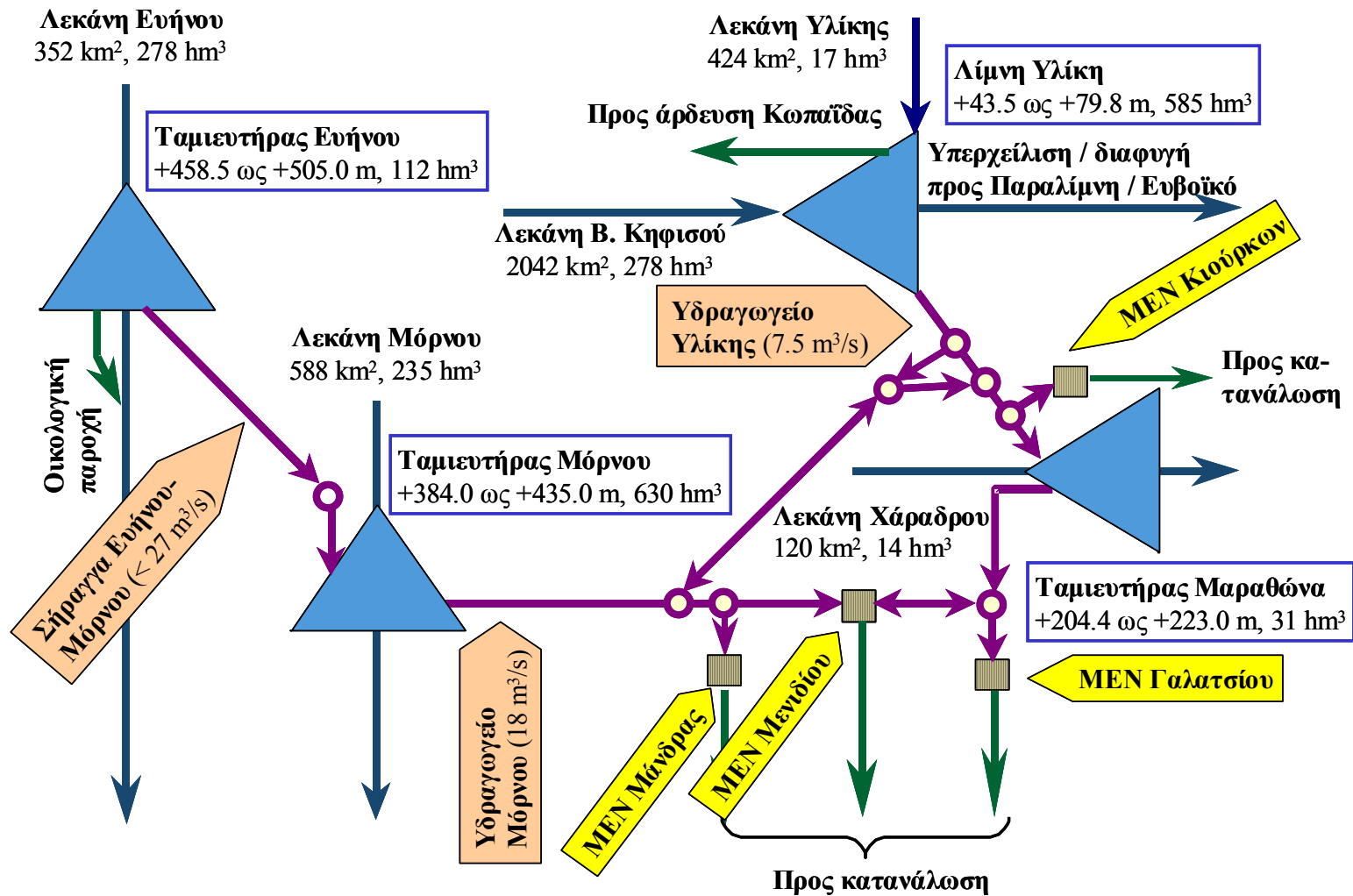
$$q_{t1} + q_{t2} \leq i_t$$

i_t : χρονοσειρά υδρολογικών εισροών, d_t : χρονοσειρά ζήτησης, q_t : χρονοσειρά εκροών (μεταβλητή ελέγχου), u : χωρητικότητα αγωγού (φυσικός περιορισμός), a : επιτρεπόμενη πιθανότητα αστοχίας (πιθανοτικός περιορισμός)

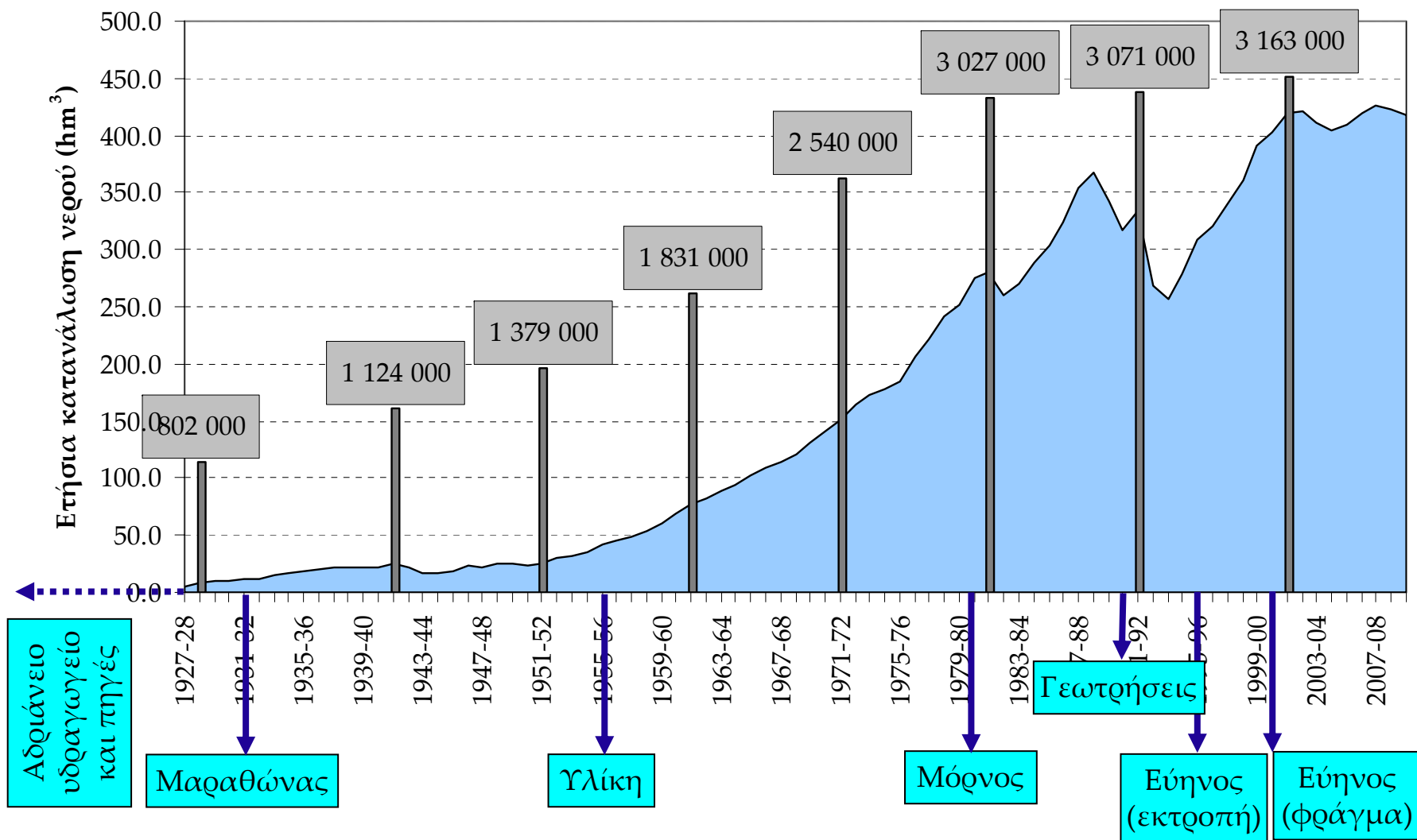
Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας



Γενική διάταξη και χαρακτηριστικά μεγέθη



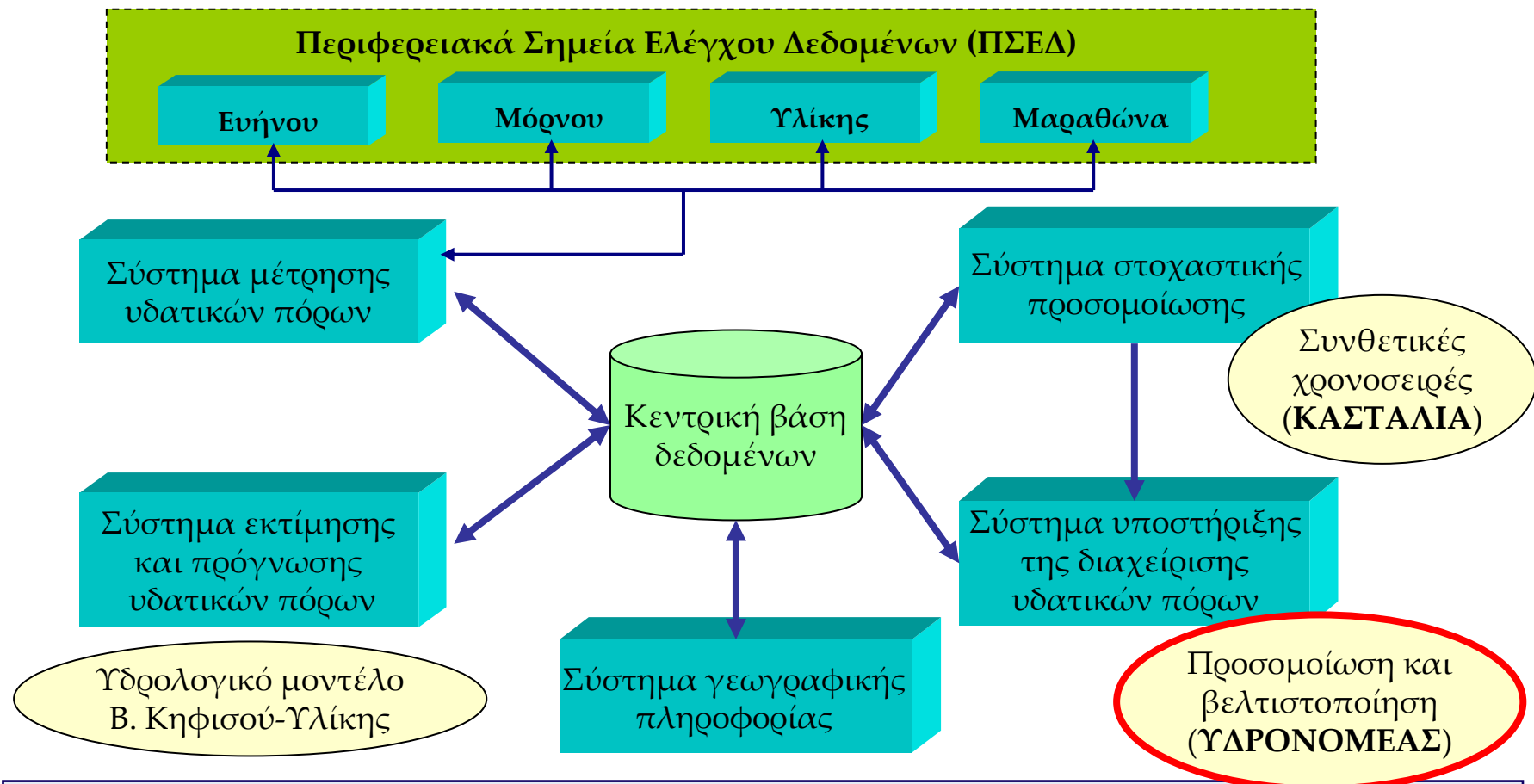
Εξέλιξη κατανάλωσης – πληθυσμού – υδρευτικών έργων



Επίπεδα πολυπλοκότητας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

- Απαιτήση εξασφάλισης πολύ υψηλής αξιοπιστίας (99%, σε ετήσια βάση).
- Διαχείριση υπό καθεστώς αβεβαιότητας
 - υδροκλιματική αβεβαιότητα (μη προβλέψιμες εισροές).
 - αβεβαιότητα ως προς την εξέλιξη της κατανάλωσης.
 - αβεβαιότητα ως προς τη λειτουργικότητα κρίσιμων έργων.
- Εναλλακτικές διαχειριστικές επιλογές (= βαθμοί ελευθερίας συστήματος)
 - ως προς τις εκροές από τους υδατικούς πόρους (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις).
 - ως προς την κατανομή των εκροών στα υδραγωγεία.
- Υψηλό κόστος λειτουργίας υδραγωγείου Υλίκης και γεωτρήσεων (λόγω άντλησης) έναντι μηδενικού κόστους της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου και του υδραγωγείου Μόρνου (λειτουργία με βαρύτητα).
- Σημαντικές απώλειες από υπόγειες διαφυγές (κυρίως Υλίκη), υπερχειλίσσεις (Εύηνος) και διαρροές (κυρίως σε τμήματα υδραγωγείων υπό πίεση).
- Ανταγωνιστικές (ως προς την ύδρευση) χρήσεις νερού και περιορισμοί
 - διατήρηση περιβαλλοντικής παροχής $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ κατάντη φράγματος Ευήνου.
 - περιορισμός ρυθμιστικού όγκου Μαραθώνα για αποφυγή κινδύνου υπερχείλισης.
 - αρδευτικές (Κωπαΐδα, Δίστομο) και μικρές υδρευτικές χρήσεις.

Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ) για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας



Αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας» που εκπονήθηκε από το ΕΜΠ την περίοδο 1999-2004 (www.itia.ntua.gr/g/projinfo/14/).

Εφαρμογή διαδικτύου (<http://itia.ntua.gr/eydap/>)

Reservoir Details

| | |
|-----------------------------|--------|
| ID | 8038 |
| Name | Μόριου |
| Short Name | |
| Remarks | |
| Water Basin | |
| Water Division | |
| Political Division | |
| Type of (Imported from GIS) | 2 |
| Area (Imported from GIS) | 10.5 |
| Max volume | None |
| Dead volume | None |
| Minimum inflow | None |
| Maximum inflow | None |
| Mean inflow | None |
| Minimum runoff | None |
| Maximum runoff | None |
| Mean runoff | None |

Timeseries Details

| | |
|----------------------------|---|
| ID | 4959 |
| Related Station | None |
| Name | Υψος απορροής υποκαθένης Μόριου |
| Variable | Απορροή |
| Unit Of | mm |
| Precision | None |
| Time Zone | EET (UTC+0200) |
| Remarks | Ιστορική χρονοσειρά που χρησιμοποιείται από την Κοσμηλία. Υπολογίζεται από το ποσοστό του μετακινείας. Τύπος: Επεξεργασμένη |
| Instrument | None |
| Start Date | 1979/10/01 00:00 |
| End Date | 2003/09/01 00:00 |
| Time stamps properties | |
| Time scale | Μηνιαίο - 1 month(s) |
| Time stamps regularity | Time step is strict |
| Time stamps nominal offset | 0 minutes, 0 month |
| Time stamps reference | Instantaneous values |
| Actual offset of reference | 0 minutes, 1 month |

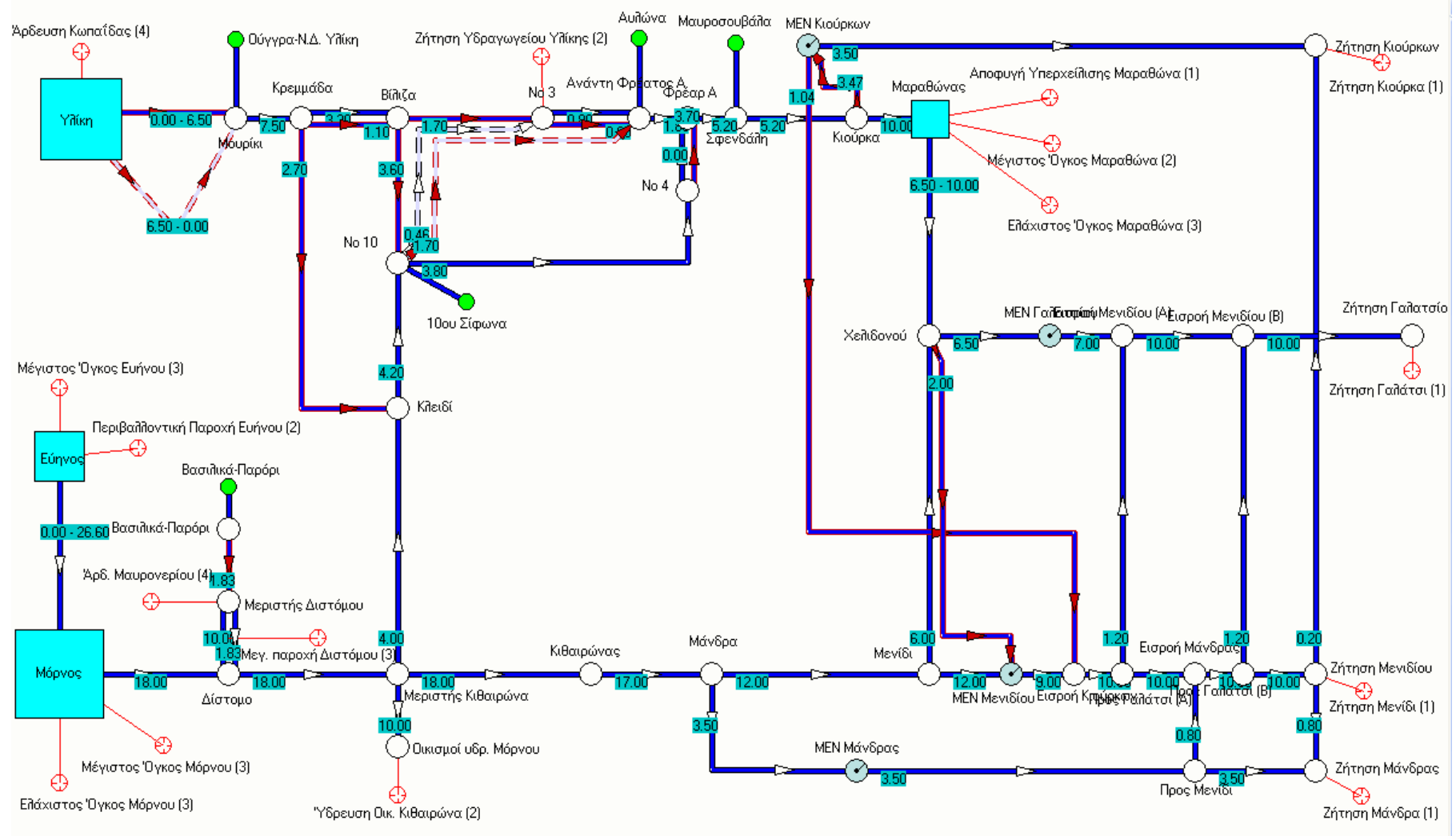
Αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου «Συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ» που εκπονήθηκε από το ΕΜΠ την περίοδο 2008-2011 (www.itia.ntua.gr/g/projinfo/152/).

Ερωτήματα σχετικά με το μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης του υδροσυστήματος

- ▶ 1. Ποια είναι η φιλοσοφία σχηματοποίησης του υδροσυστήματος;
- ▶ 2. Ποια δεδομένα απαιτούνται για την ολοκληρωμένη ανάλυσή του;
- ▶ 3. Πώς υλοποιείται η διαχείριση της υδρολογικής αβεβαιότητας και η εκτίμηση της αξιοπιστίας του συστήματος;
- ▶ 4. Πώς παράγονται οι εισροές και για ποιον χρονικό ορίζοντα αναφέρονται;
- ▶ 5. Πώς εκφράζονται οι κανόνες λειτουργίας του συστήματος; Πόσες παράμετροι απαιτούνται για τη διατύπωση της μακροχρόνιας διαχειριστικής πολιτικής του;
- ▶ 6. Αρκούν οι κανόνες λειτουργίας για να προσδιορίσουν πλήρως τις μεταβλητές υδατικού ισοζυγίου του συστήματος; Ποιοι περιορισμοί προκύπτουν;
- ▶ 7. Πώς υλοποιείται η προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος; Πώς η τήρηση των περιορισμών ανάγεται σε πρόβλημα γραμμικής βελτιστοποίησης;
- ▶ 8. Τι αποτελέσματα παράγει η προσομοίωση; Βάσει ποιων κριτηρίων αποτιμάται μια συγκεκριμένη διαχειριστική πολιτική;
- ▶ 9. Πώς διατυπώνεται το πρόβλημα καθολικής βελτιστοποίησης της επίδοσης του συστήματος; Τι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την επίλυσή του;
- ▶ 10. Σε ποια ερωτήματα «απαντά» το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων; Πώς έχει χρησιμοποιηθεί επιχειρησιακά;



Σχηματοποίηση υδροσυστήματος σε περιβάλλον Η/Υ (λογισμικό Υδρονομέας)





Δεδομένα εισόδου μοντέλου συστήματος

- Ταμιευτήρες
 - Χαρακτηριστικές στάθμες
 - Καμπύλες στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος
 - Υδρολογικές εισροές (λόγω απορροής και βροχόπτωσης)
 - Απώλειες λόγω εξάτμισης
 - Σχέσεις στάθμης-διαφυγών
 - Παράμετροι κανόνων λειτουργίας
 - Στάθμη στην έναρξη της προσομοίωσης (αρχική συνθήκη)
- Γεωτρήσεις
 - Αντλητική ικανότητα γεωτρήσεων
 - Παράμετροι κανόνων λειτουργίας
- Υδραγωγεία
 - Παροχευτικότητα
 - Απώλειες λόγω διαρροών
 - Μοναδιαίο κόστος μεταφοράς
- Αντλιοστάσια
 - Ειδική ενέργεια (ανά μονάδα όγκου)
 - Πάγιο κόστος ενεργοποίησης
 - Μοναδιαίο κόστος άντλησης
- Στόχοι και περιορισμοί
 - Τύπος στόχου (ύδρευση, άρδευση, παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας, αιχμής, ελάχιστη/μέγιστη στάθμη ταμιευτήρα, ελάχιστη/μέγιστη παροχή ποταμού ή υδραγωγείου)
 - Μηνιαίες και ετήσιες τιμές
 - Επίπεδο προτεραιότητας
 - Αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας
- Μέτρο επίδοσης
 - Μεταβλητές ελέγχου
 - Κριτήρια επίδοσης (μέσο ετήσιο κόστος, μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας, αξιοπιστία)
 - Συντελεστές βάρους στοχικής (αντικειμενικής) συνάρτησης



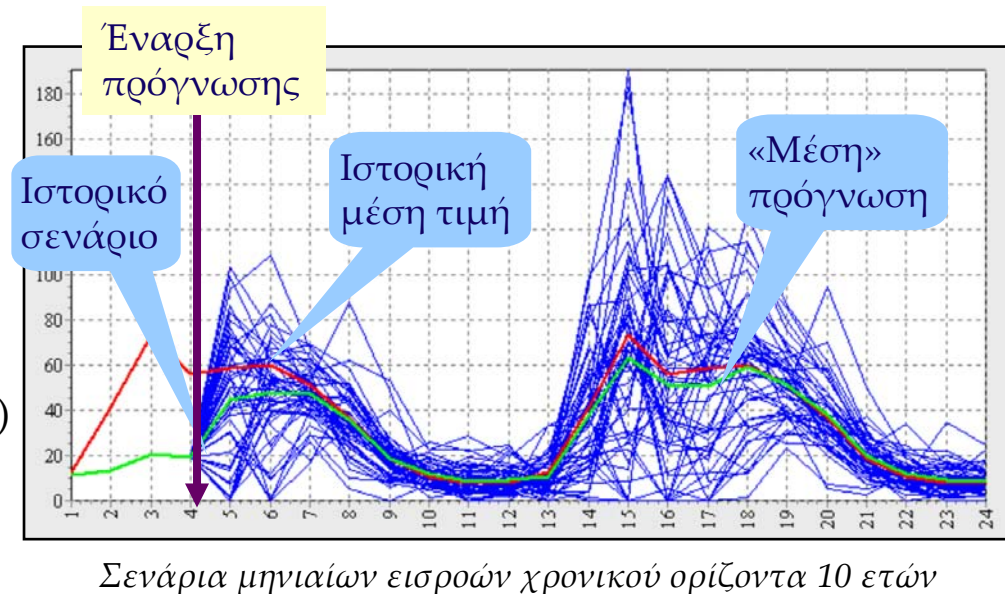
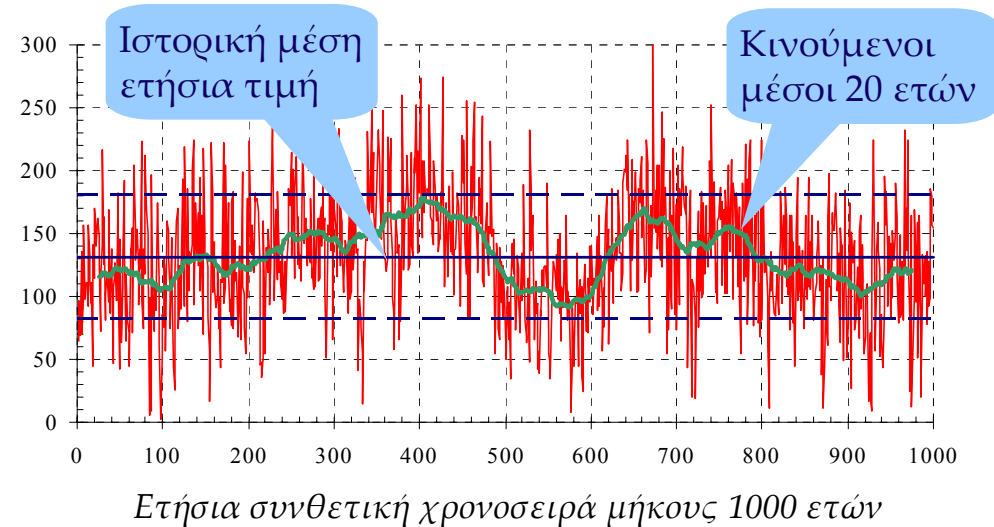
Διαχείριση υδρολογικής αβεβαιότητας μέσω στοχαστικής προσομοίωσης

- Ενώ για την ασφαλή διαχείριση του συστήματος θα ήταν επιθυμητή η γνώση των μακροχρόνιων εισροών, εξαιτίας της έντονα μη γραμμικής (χαοτικής) φύσης των υδροκλιματικών διεργασιών, είναι ανέφικτη η πραγματοποίηση προσδιοριστικών προγνώσεων για χρονικό ορίζοντα πέραν των λίγων ημερών.
- Η ανάλυση του συστήματος με χρήση ιστορικών εισροών αντενδείκνυται γιατί:
 - το μήκος τους είναι υπερβολικά μικρό για την εμπειρική εκτίμηση των ζητούμενων πιθανοτήτων αστοχίας (για $\alpha = 1\%$ απαιτείται δείγμα εκροών 1000 ως 10000 ετών).
 - η πιθανότητα επανάληψης των ίδιων χρονοσειρών στο μέλλον είναι μηδενική.
- Η στοχαστική προσέγγιση επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας του συστήματος με επαρκή ακρίβεια, χάρη στη χρήση χρονοσειρών συνθετικών εισροών που αναπαράγουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών.
- Ανάλογα με το διαχειριστικό πρόβλημα, υπάρχουν δύο τύποι προσομοίωσης:
 - *Μόνιμης κατάστασης*: εκτίμηση μακροχρόνιας αξιοπιστίας συστήματος σε συνθήκες σταθερής ζήτησης, όπου σε κάθε θέση παράγεται μία χρονοσειρά μεγάλου μήκους.
 - *Καταληκτική*: παράγεται ένα ικανό πλήθος σεναρίων πρόγνωσης των εισροών για χρονικό ορίζοντα λίγων ετών, με δεδομένες αρχικές συνθήκες, ενώ επιτρέπεται μεταβολή των χαρακτηριστικών του συστήματος – προκύπτει ένα δείγμα μεταβλητών εξόδου σε κάθε χρονικό βήμα (π.χ. αποθέματα, εκροές), βάσει του οποίου εκτιμάται η αντίστοιχη αξιοπιστία.



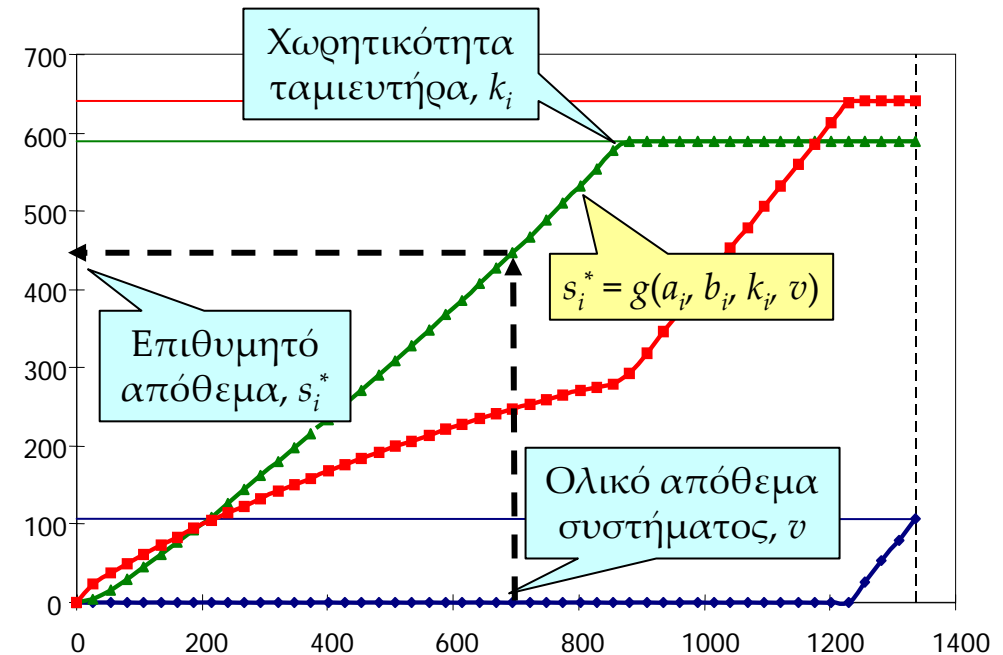
Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών

- Η γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών γίνεται με το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ, που υλοποιεί ένα στοχαστικό μοντέλο πολλών μεταβλητών και δύο χρονικών επιπέδων.
- Οι συνθετικές χρονοσειρές διατηρούν τα ακόλουθα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων, σε μηνιαία και ετήσια κλίμακα:
 - μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις και συμμετρίες·
 - χρονικές συσχετίσεις διαφόρων τύπων για πολλαπλές χρονικές υστερήσεις (αυτοσυσχετίσεις)·
 - ταυτόχρονες από κοινού (χωρικές) συσχετίσεις (ετεροσυσχετίσεις)·
 - μακροπρόθεσμη υδρολογική εμμονή (φαινόμενο Hurst).



Κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων

- Οι κανόνες λειτουργίας είναι νόμοι που ορίζουν το απόθεμα-στόχο κάθε ταμιευτήρα με βάση το αναμενόμενο απολήψιμο απόθεμα του συστήματος, τη συνολική ζήτηση νερού και τους περιορισμούς στάθμης.
- Οι κανόνες διατυπώνονται συναρτήσει έως δύο παραμέτρων ανά ταμιευτήρα, που μπορεί να μεταβάλλονται εποχιακά.
- Αν διατίθεται μια στοχαστική πρόγνωση των εισροών του τρέχοντος μήνα, εκτιμώνται οι αντίστοιχες επιθυμητές εκροές. Έτσι, επιτυγχάνεται δραστική μείωση των μεταβλητών ελέγχου, που είναι οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας (ανεξάρτητες του χρονικού ορίζοντα) και όχι οι εκροές ανά μήνα.
- Αν δεν υπάρχουν ουσιώδεις μεταβολές στα δεδομένα του συστήματος, η διαχείρισή του γίνεται με χρήση των βελτιστοποιημένων νομογραφημάτων, η μορφή των οποίων εξαρτάται αποκλειστικά από τα στατιστικά χαρακτηριστικά των εισροών και όχι από τις ίδιες τις τιμές των χρονοσειρών.





Κανόνες λειτουργίας γεωτρήσεων

- ❑ Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, οι γεωτρήσεις θεωρούνται εφεδρικοί υδατικοί πόροι.
- ❑ Ως προς τη μοντελοποίησή τους, οι γεωτρήσεις ομαδοποιούνται ώστε να αναπαριστούν τη συνολική απόληψη (άντληση) νερού από κάθε υδραυλικά ανεξάρτητο υπόγειο σύστημα (υδροφορέα).
- ❑ Εισάγονται δύο παράμετροι τύπου κατωφλίου ανά ομάδα γεωτρήσεων, που εκφράζουν κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων.
 - Αν το ποσοστό (= ολικό απόθεμα / ολική χωρητικότητα) υπερβαίνει το άνω όριο, τότε απαγορεύεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας και οι απολήψεις νερού πραγματοποιούνται αποκλειστικά από τους ταμιευτήρες.
 - Αν το ποσοστό είναι μικρότερο από το κάτω όριο, τότε επιβάλλεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας, ανεξαρτήτως κόστους.
 - Σε ενδιάμεσες τιμές, η ομάδα γεωτρήσεων ενεργοποιείται ή όχι με βάση οικονομικά κριτήρια (κατανάλωση ενέργειας).
- ❑ Η πολιτική λειτουργίας κάθε ομάδας γεωτρήσεων και οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων που επιλέγονται εξαρτώνται από επιπλέον παράγοντες όπως το απολήψιμο δυναμικό του υδροφορέα, η ποιότητα του νερού, και η ανταγωνιστικότητα με άλλες χρήσεις (π.χ. άρδευση).
- ❑ Γενικά, οι παράμετροι δεν αντιμετωπίζονται ως μεταβλητές ελέγχου.

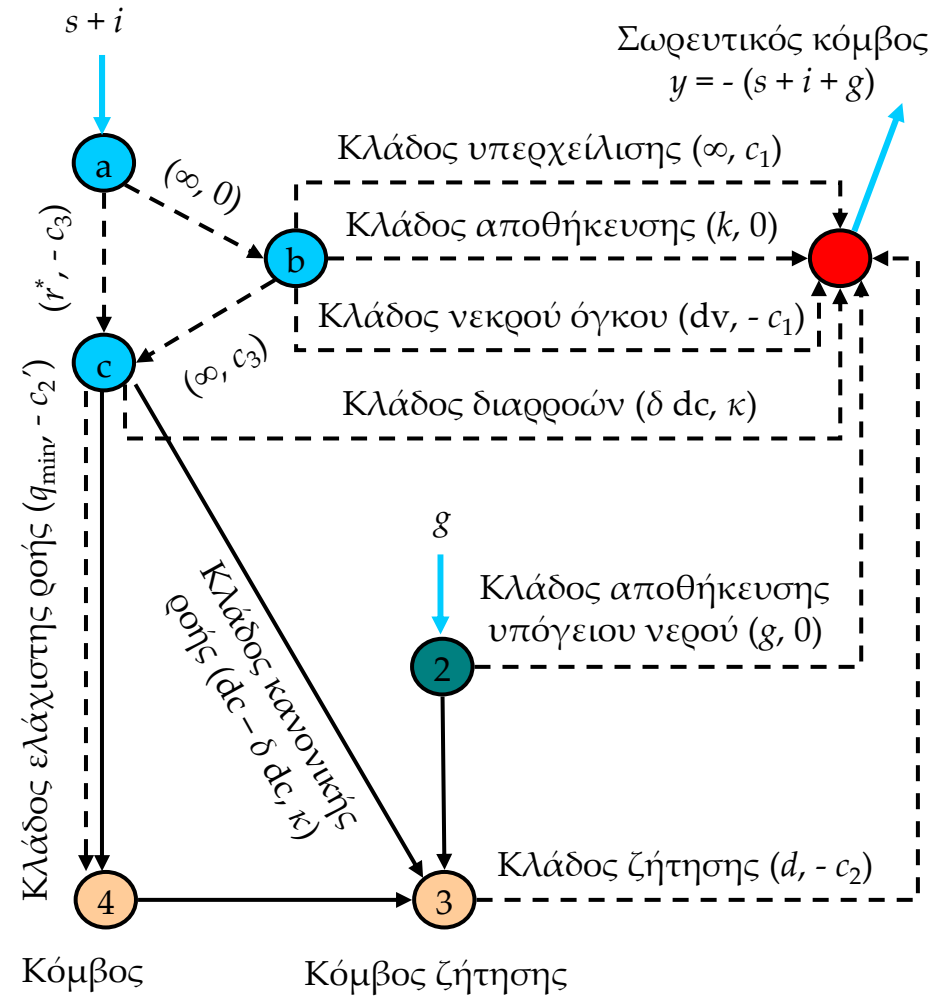
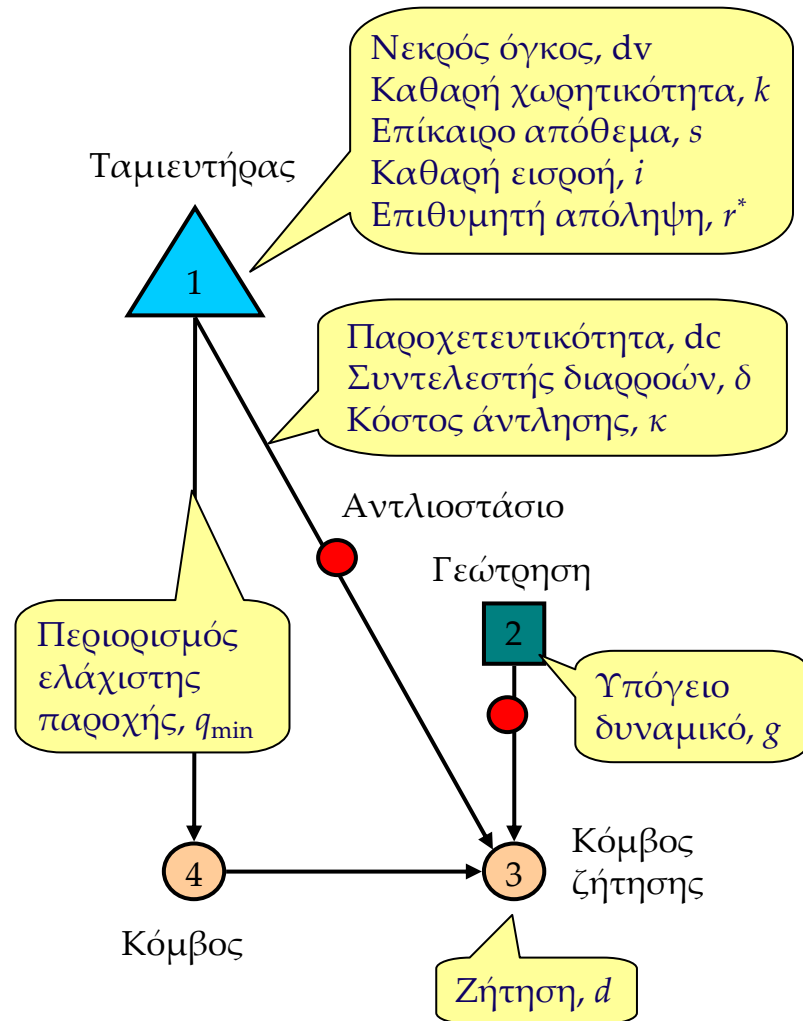


Τοποθέτηση προβλήματος προσομοίωσης

- Η γνώση των επιθυμητών αποθεμάτων (ή απολήψεων) δεν επαρκεί για τον προσδιορισμό όλων των μεταβλητών ελέγχου του συστήματος (πραγματικά αποθέματα και απολήψεις, υπερχειλίσσεις, παροχές υδραγωγείων) εφόσον:
 - οι επιθυμητές απολήψεις δεν μπορούν να διοχετευτούν κατάντη εξαιτίας των φυσικών περιορισμών των υδραγωγείων (ανεπαρκής παροχετευτικότητα).
 - δεν υπάρχει μονοσήμαντος τρόπος μεταφοράς των απολήψεων από τις πηγές στην κατανάλωση, αλλά εναλλακτικές διαδρομές, και μάλιστα με διαφορετικό κόστος.
 - το σύστημα εξυπηρετεί αντικρουόμενους στόχους με ορισμένη σειρά προτεραιότητας.
 - η συνολική ζήτηση νερού υπερβαίνει τα συνολικά τρέχοντα αποθέματα.
- Προκύπτει ένα σύνθετο πρόβλημα διαχείρισης των ροών του υδροσυστήματος σε κάθε μήνα, για το οποίο τίθενται οι εξής απαιτήσεις, σε σειρά ιεραρχίας:
 - αυστηρή ικανοποίηση των φυσικών περιορισμών των τεχνικών έργων.
 - ικανοποίηση των στόχων και διαχειριστικών περιορισμών, σύμφωνα με την σειρά προτεραιότητας που έχει οριστεί.
 - ελαχιστοποίηση της απόκλισης μεταξύ των πραγματικών και επιθυμητών απολήψεων, ώστε να τηρείται κατά το δυνατόν πιστότερα η πολιτική διαχείρισης που επιβάλλουν οι κανόνες λειτουργίας.
 - ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των υδατικών πόρων κατά μήκος του δικτύου των υδραγωγείων, γεωτρήσεων και αντλιοστασίων.



Μετασχηματισμός σχηματοποιημένου μοντέλου σε μοντέλο διγράφου



Βελτιστοποίηση κατανομής ροών δικτύου

- Η μηνιαία κατανομή των μεταβλητών ελέγχου του υδροσυστήματος και η τήρηση των φυσικών και διαχειριστικών περιορισμών ανάγεται σε πρόβλημα βελτιστοποίησης, το οποίο επιλύεται σε κάθε χρονικό βήμα (μήνας).
- Διατύπωση προβλήματος: ελαχιστοποίηση πραγματικού και εικονικού κόστους μεταφοράς νερού, σε ένα μετασχηματισμένο δίκτυο (διγράφος)
- Χαρακτηριστικά μεγέθη διγράφου: χωρητικότητες και εικονικά κόστη κλάδων, «εισροές» ανάντη κόμβων (αυτοματοποιημένη διαδικασία υπολογισμού)
- Δεδομένα εισόδου: διαθέσιμοι υδατικοί πόροι (αποθέματα + εισροές – απώλειες), επιθυμητές απολήψεις βάσει των κανόνων λειτουργίας, επίκαιρη ζήτηση
- Μεταβλητές ελέγχου: «παροχές» κλάδων διγράφου, που αντιστοιχούν σε όλες τις μεταβλητές του υδατικού ισοζυγίου του υδροσυστήματος
- Περιορισμοί: εξισώσεις συνέχειας κόμβων και «χωρητικότητες» κλάδων, που αντιπροσωπεύουν είτε φυσικά άνω όρια (παροχετευτικότητα υδραγωγείων, χωρητικότητες ταμιευτήρων) ή επιθυμητά όρια (π.χ. ζήτηση, ελάχιστη παροχή)
- Τύπος προβλήματος: γραμμικό, με πολλές μεταβλητές και περιορισμούς
- Αλγόριθμος επίλυσης: ειδική εκδοχή της μεθόδου simplex, κατάλληλη για πολύ μεγάλου μεγέθους προβλήματα αλλά με αραιά μητρώα περιορισμών.
- Πλεονεκτήματα: ακριβής και γρήγορη λύση

Αποτελέσματα προσομοίωσης

Balance sheets

Reservoirs | Nodes | Conduits | Energy

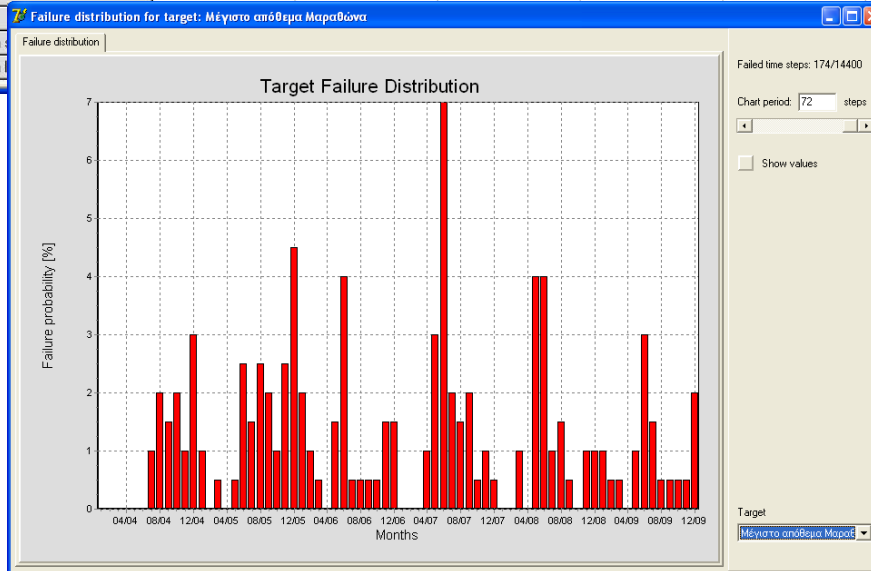
| | Υάλη | Μόρφος | Εύηνος | Μαραθώνα | TOTAL |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Subcatchment runoff | 23.24 (24.03) | 15.02 (13.02) | 19.31 (17.93) | 1.37 (1.73) | 58.94 |
| Rainfall | 0.12 (0.40) | 0.08 (0.29) | 0.03 (0.09) | 0.02 (0.07) | 0.24 |
| Aqueduct inflow | | 4.42 (7.14) | | 11.89 (2.69) | 16.31 |
| River inflow | | | | | 0.00 |
| Aquifer inflow | | | | | 0.00 |
| External inflow | | | | | 0.00 |
| Returned water | | | | | 0.00 |
| Leakage | 2.82 (4.46) | | | | 2.82 |
| Evaporation | | | | | 0.00 |
| Conduit outflow | 6.30 (4.85) | 5.08 (9.42) | 4.42 (7.14) | 1.06 (3.20) | 16.86 |
| River outflow | | | 1.29 (4.42) | | 1.29 |
| Water supply | | | | | 0.00 |
| Irrigation | | | | | 0.00 |
| Spill | 17.14 (26.98) | 18.61 (24.66) | 14.61 (13.50) | 12.65 (5.93) | 63.01 |
| System loss | | | | | 0.00 |
| Storage usage | -2.90 (21.11) | -4.17 (17.22) | -0.98 (5.24) | -0.44 (3.08) | -8.49 |
| Verification | -0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |

From Date: Ιανουάριος 2004
To Date: Δεκέμβριος 2009
Calculate

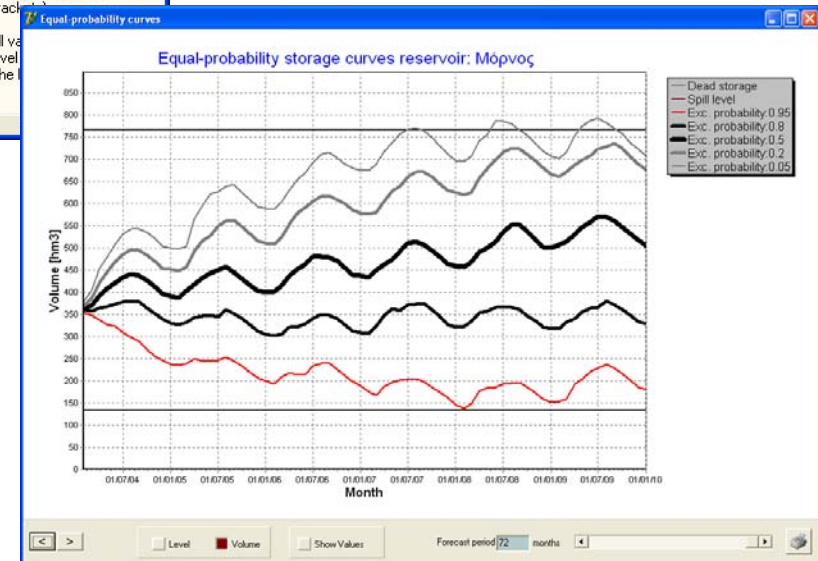
Results for the period 1/2004 to 12/2009 (72 months), based on the last simulation. Last simulation period: 1/1/2004 - 31/12/2009.

All values represent the monthly mean and standard deviation value (in brackets).

Μέσα υδατικά ισοζύγια κόμβων, ταμιευτήρων και υδραγωγείων – Ενεργειακά ισοζύγια αντλιοστασίων, γεωτρήσεων και στροβίλων



Πρόγνωση πιθανοτήτων αστοχίας



Καμπύλες πρόγνωσης αποθεμάτων και παροχών



Αξιολόγηση διαχειριστικών πολιτικών

- Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων εντάσσονται στις εξής κατηγορίες:
 - συγκεντρωτικά μεγέθη υδροσυστήματος, σε μέση ετήσια βάση (ολικά κόστη/οφέλη, ολική παραγωγή/κατανάλωση ενέργειας, ολικές απώλειες λόγω υπερχείλισης).
 - υδατικά και ενεργειακά ισοζύγια.
 - πιθανότητες αστοχίας και ελλείμματα.
 - καμπύλες πρόγνωσης αποθεμάτων και παροχών.
- Για την αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης διαχειριστικής πολιτικής, ελέγχονται τα ακόλουθα αριθμητικά κριτήρια επίδοσης:
 - μέση ετήσια κατανάλωση νερού σε επιλεγμένους κόμβους και ταμιευτήρες.
 - μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων στόχων και περιορισμών.
 - μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων στόχων και περιορισμών.
 - μέσο ετήσιο έλλειμμα επιλεγμένων στόχων και περιορισμών.
 - μέγιστο ετήσιο έλλειμμα επιλεγμένων στόχων και περιορισμών.
 - μέση ετήσια οικονομική επίδοση υδροσυστήματος (άθροισμα κόστους-οφέλους).
 - μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας.
 - ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας.
 - μέσες ετήσιες απώλειες λόγω υπερχείλισης.



Βελτιστοποίηση διαχειριστικής πολιτικής

- Διατυπώνεται ένα καθολικό μέτρο επίδοσης, με στάθμιση των κριτηρίων σε μια ενιαία αριθμητική έκφραση, με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών βάρους.
- Οι μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος βελτιστοποίησης είναι οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας (αδιάστατες, με εύρος διακύμανσης από 0 έως 1).
- Δεν εισάγονται άλλοι περιορισμοί εκτός από τα εφικτά όρια των παραμέτρων.
- Η προς βελτιστοποίηση συνάρτηση είναι έντονα μη γραμμική ως προς τις μεταβλητές ελέγχου, δημιουργώντας μια μη κυρτή επιφάνεια απόκρισης, με πολλαπλά τοπικά ακρότατα και ποικίλες γεωμετρικές ιδιαιτερότητες.
- Σε τέτοιου τύπου προβλήματα:
 - δεν υπάρχει αναλυτική λύση, ούτε υπολογιστική διαδικασία (αλγόριθμος) που να εγγυάται τον εντοπισμό της ολικά βέλτιστης λύσης με πεπερασμένο αριθμό δοκιμών.
 - η δυσχέρεια του προβλήματος αυξάνει εκθετικά με το πλήθος των παραμέτρων.
 - κλασικές αριθμητικές τεχνικές (π.χ. μέθοδοι κλίσης) κινδυνεύουν να εγκλωβιστούν εύκολα σε κάποιο από τα τοπικά ακρότατα της συνάρτησης.
 - εφαρμόζονται υβριδικές εξελικτικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούν έναν πληθυσμό τυχαίων σημείων που εξερευνούν ταυτόχρονα διαφορετικές περιοχές του εφικτού χώρου, εξελισσόμενα βάσει προσδιοριστικών και στοχαστικών κανόνων.
 - σκοπός μιας τέτοιας διαδικασίας είναι ο εντοπισμός μιας πρόσφορης (και όχι κατ' ανάγκη της ολικά βέλτιστης) λύσης, με λογικό αριθμό δοκιμών.

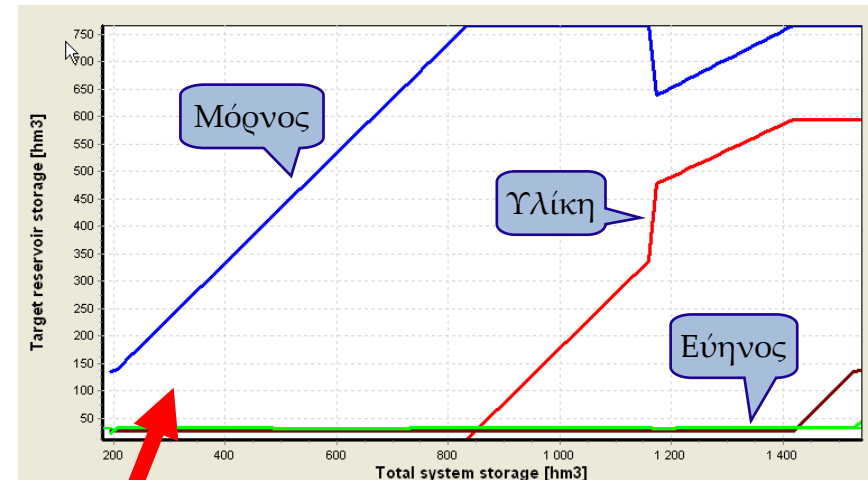


Πρακτικά ερωτήματα σχετικά με το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

- ❑ Ποια είναι η μέγιστη ετήσια δυνατότητα απόληψης από τους ταμιευτήρες και τις γεωτρήσεις, για δεδομένο υδρολογικό καθεστώς και δεδομένη αξιοπιστία; Με ποια πολιτική και ποιο κόστος εξασφαλίζεται η παραπάνω απόληψη;
- ❑ Ποια είναι η βέλτιστη πολιτική διαχείρισης για την κάλυψη της υδρευτικής ζήτησης με υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας, για μακροχρόνιο χρονικό ορίζοντα; Ποιο είναι το ελαχιστοποιημένο κόστος της πολιτικής αυτής;
- ❑ Πώς θα εξελιχθεί η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων τους επόμενους μήνες, για εναλλακτικά σενάρια εισροών; Ποια είναι η επίπτωση στο μέλλον (π.χ. σε ορίζοντα 10 ετών) ενός συγκεκριμένου διαχειριστικού μέτρου;
- ❑ Ποιες είναι οι επιπτώσεις ενός υπό μελέτη έργου (π.χ. νέου αγωγού, ενίσχυση υδραγωγείου, αντλιοστασίου, κτλ.) καθώς και ο χρόνος ένταξης του συστήμα;
- ❑ Πόσο εφικτή, από την άποψη ποσοτικής επάρκειας σε νερό, είναι η επέκταση των δραστηριοτήτων της ΕΥΔΑΠ (π.χ. υδροδότηση άλλων περιοχών);
- ❑ Ποιες είναι οι επιπτώσεις ενός αρνητικού κλιματικού σεναρίου (έμμονη ξηρασία, κλιματική «αλλαγή») και πώς αυτό πρέπει να αντιμετωπιστεί;
- ❑ Πόσο επαρκείς είναι οι υφιστάμενες πηγές και τα αντίστοιχα έργα για την κάλυψη ειδικών συνθηκών ή έκτακτων περιστατικών (π.χ. μακροχρόνια βλάβη τμημάτων υδραγωγείων);

Πρόβλημα 1: Μεγιστοποίηση απολήψεων

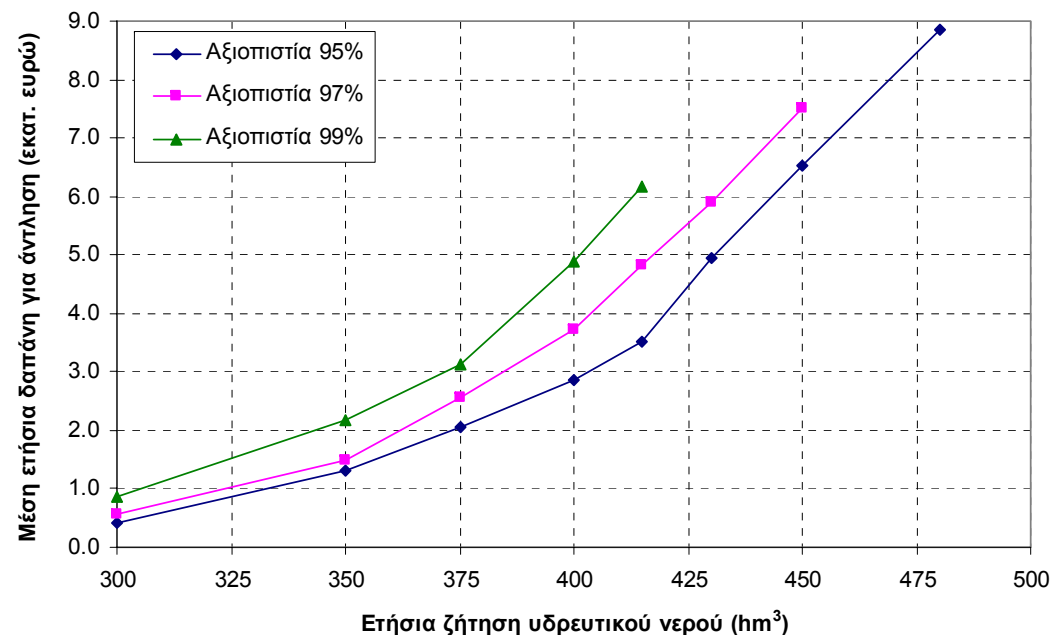
- ❑ Ζητείται η μεγιστοποιημένη υδρευτική απόληψη από τους υδατικούς πόρους, για επίπεδο αξιοπιστίας 99%.
- ❑ Για τα υδραγωγεία θεωρούνται άπειρη παροχετευτικότητα και ποσοστό απωλειών λόγω διαρροών ίσο με 13%.
- ❑ Εξετάζονται εναλλακτικές πολιτικές λειτουργίας των γεωτρήσεων.



| Λειτουργία γεωτρήσεων | Εντατική | Κανονική | Περιορισμένη | Μηδενική |
|---|----------|-----------------|--------------|----------|
| Ανώφλι χρήσης γεωτρήσεων (%) | 80 | 40 | 20 | 0 |
| Κατώφλι χρήσης γεωτρήσεων (%) | 50 | 25 | 10 | 0 |
| Ασφαλής υδρευτική απόληψη (hm ³) | 610.0 | 560.0 | 510.0 | 430.0 |
| Μέση απόληψη από Μόρνο (hm ³) | 330.4 | 400.9 | 378.1 | 340.1 |
| Μέση απόληψη από Υλίκη (hm ³) | 183.6 | 140.6 | 128.8 | 93.5 |
| Μέση απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³) | 101.0 | 23.5 | 8.0 | 0.0 |
| Μέσες απώλειες λόγω διαφυγών (hm ³) | 82.7 | 113.8 | 125.4 | 143.9 |
| Ασφαλής εισροή στα διυλιστήρια (hm ³) | 530.7 | 487.2 | 443.7 | 374.1 |
| Μέση κατανάλωση ενέργειας (GWh) | 220.7 | 120.1 | 98.9 | 66.1 |

Πρόβλημα 2: Εκτίμηση ενεργειακού κόστους για διάφορα σενάρια ζήτησης-αξιοπιστίας

- Ζητείται η εκτίμηση της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και του σχετικού κόστους, για δεδομένη ετήσια υδρευτική ζήτηση και δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας.
- Το πρόβλημα εξετάζεται για το υφιστάμενο δίκτυο υδραγωγείων καθώς και για μια υποθετική μελλοντική διάταξη δικτύου, με αυξημένη παροχετευτικότητα και μειωμένες απώλειες λόγω διαρροών, θεωρώντας συνθετικές εισροές 2000 ετών.
- Διατυπώνεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης δύο κριτηρίων, ήτοι της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας (στοχική συνάρτηση) και της αξιοπιστίας (περιορισμός).
- Οι προς βελτιστοποίηση μεταβλητές ελέγχου είναι οι έξι παράμετροι λειτουργίας των ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης.
- Για τις γεωτρήσεις εισάγονται διαφορετικά κατώφλια ενεργοποίησης για κάθε σενάριο, ζήτησης, με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

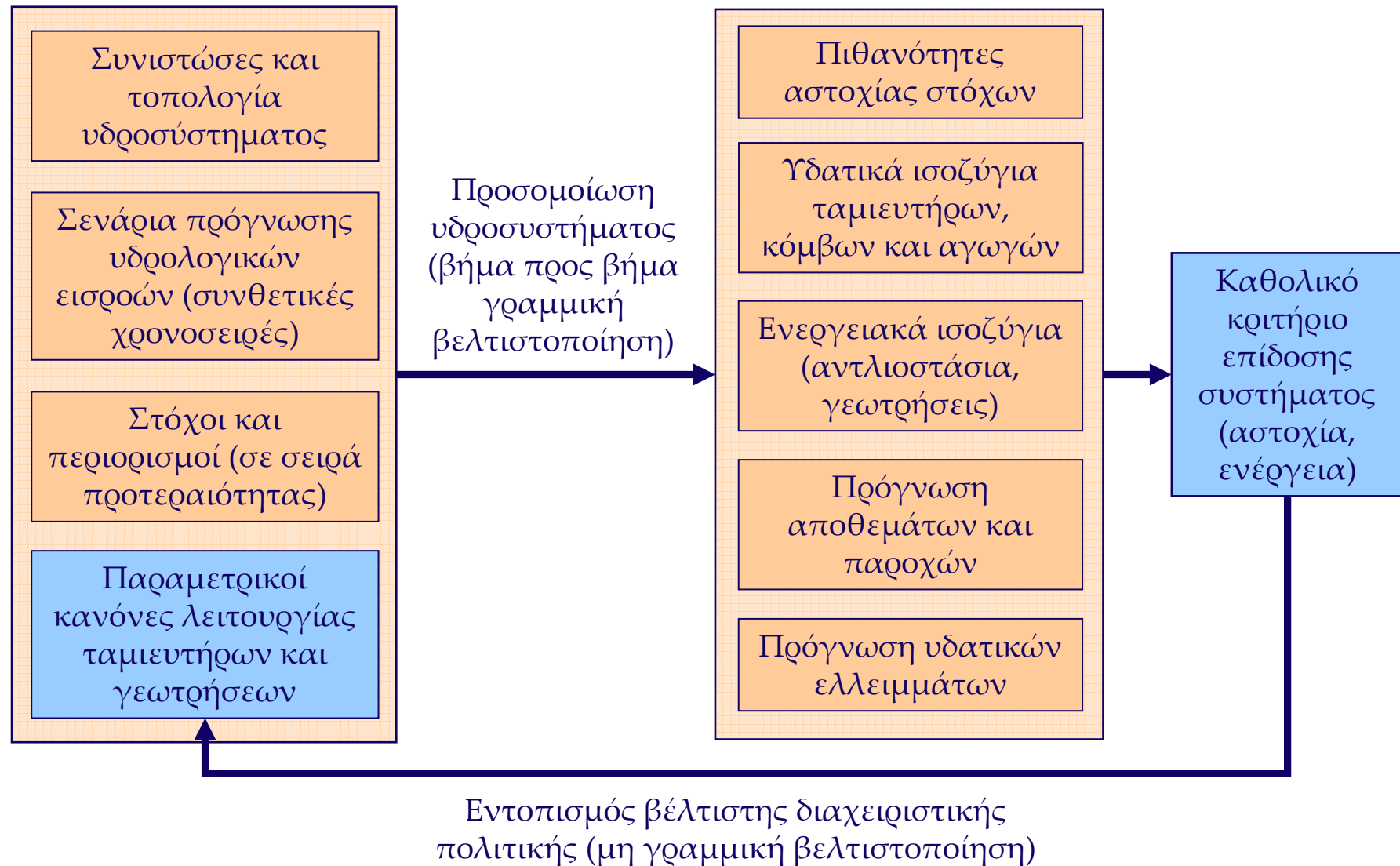


Πρόβλημα 3: Διερεύνηση σεναρίων διαχειριστικής πολιτικής έτους 2009

- ❑ Θεωρούνται οι συνθήκες αποθεμάτων της 1/3/2009 (σύνολο 770 hm³).
- ❑ Παράγονται 200 συνθετικά σενάρια εισροών, με χρονικό ορίζοντα του 2017.
- ❑ Εξετάζονται διάφορες πολιτικές απολήψεων από την Υλίκη και τις γεωτρήσεις.

| Σενάριο | Γ1 | Γ2 | Γ3 | Γ4 | Γ5 |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|
| Παροχευετικότητα υδραγωγείου Υλίκης (m ³ /s) | 7.5 | 3.0 | 2.0 | 0.0 | 7.5 |
| Υδρευτική χρήση Βασιλικών-Παρορίου | Καμία | Καμία | Καμία | Καμία | Πλήρης |
| Ετήσια αρδευτική ζήτηση Διστόμου | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 |
| Ετήσια υδρευτική ζήτηση Αθήνας (hm ³) | 430.0 | 430.0 | 430.0 | 430.0 | 410.0 |
| Μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας (%) | 4.0 | 8.5 | 12.5 | 21.0 | 1.5 |
| Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (GWh) | 123.4 | 80.5 | 69.4 | 58.6 | 80.3 |
| Πιθανότητα αστοχίας υδρολ. έτους 2009-10 (%) | 2.0 | 3.5 | 6.0 | 12.0 | 0.5 |
| <i>Μέσες τιμές Μαρτίου – Δεκεμβρίου 2009</i> | | | | | |
| Απόληψη από Μόρνο (hm ³) | 288.1 | 341.6 | 367.2 | 411.7 | 319.1 |
| Απόληψη από Υλίκη (hm ³) | 144.4 | 77.6 | 51.4 | 0.0 | 81.8 |
| Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³) | 2.7 | 21.3 | 21.7 | 25.3 | 10.8 |
| Κατανάλωση ενέργειας (GWh) | 161.0 | 82.3 | 62.4 | 32.7 | 104.7 |
| Κόστος κατανάλωσης ενέργειας (Μ€) | 12.9 | 6.6 | 5.0 | 2.6 | 8.4 |

Σύνοψη μεθοδολογίας



Περισσότερες πληροφορίες – Βιβλιογραφία

- Efstratiadis, A., D. Koutsoyiannis, and D. Xenos, Minimising water cost in the water resource management of Athens, *Urban Water Journal*, 1(1), 3-15, 2004.
- Koutsoyiannis, D., and A. Economou, Evaluation of the parameterization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems, *Water Resources Research*, 39(6), 1170, 1-17, 2003.
- Koutsoyiannis, D., A. Efstratiadis, and G. Karavokiros, A decision support tool for the management of multi-reservoir systems, *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4), 945-958, 2002.
- Koutsoyiannis, D., G. Karavokiros, A. Efstratiadis, N. Mamassis, A. Koukouvinos, and A. Christofides, A decision support system for the management of the water resource system of Athens, *Physics & Chemistry of the Earth*, 28(14-15), 599-609, 2003.
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, *Water Resources Research*, 33(9), 2165-2177, 1997.
- 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, ΤΥΠΥΘΕ - ΕΜΠ, Αθήνα, Ιανουάριος 2007.
- Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Ν. Μαμάσης, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2009, *Συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ*, Τεύχος 1, 116 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 2009.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Α. Ευστρατιάδης, Εμπειρία από την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας υδροσυστημάτων της Ελλάδας, *Πρακτικά της Ημερίδας "Μελέτες και Έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο"*, επιμέλεια Ε. Σιδηρόπουλος και Ι. Ιακωβίδης, Λευκωσία, 159-180, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2003.
- Μακρόπουλος, Χ., Α. Ευστρατιάδης, και Α. Κουκουβίνος, Εκτίμηση του χρηματοοικονομικού κόστους και προτάσεις ορθολογικής διαχείρισης του υδροσυστήματος, *Κοστολόγηση αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας*, 73 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2010.