Η Ορθολογική Διαχείριση Υδρολογικών Λεκανών
Προς τη Βιώσιμη Ανάπτυξη της Δυτικής Ελλάδας

Πανεπιστήμιο Πατρών – Ενδοπανεπιστημιακό Δίκτυο ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ
Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας – Τμήμα Δυτικής Ελλάδας
Πάτρα, 12 Ιουνίου 2010

Μερικά θέματα μεθοδολογίας στη διαχείριση των υδατικών πόρων υπό το πρίσμα των σύγχρονων γνώσεων και αναγκών

Δημήτρης Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
www.itia.ntua.gr/dk/ – dk@itia.ntua.gr

Παρουσίαση διαθέσιμη στο Διαδίκτυο: http://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/987/

Ο Stanislaw Ulam και η πασιέντσα

STAN ULAM, JOHN VON NEUMANN, *and the* MONTE CARLO METHOD

by Roger Eckhardt

The Monte Carlo method is a statistical sampling technique that over the years has been applied successfully to a vast number of scientific problems. Although the computer codes that implement Monte Carlo have grown ever more sophisticated, the essence of the method is captured in some unpublished remarks Stan made in 1983 about solitaire.

"The first thoughts and attempts I made to practice [the Monte Carlo method] were suggested by a question which occurred to me in 1946 as I was convalescing from an illness and playing solitaires. The question was what are the chances that a Canfield solitaire laid out with 52 cards will come out successfully? After spending a lot of time trying to estimate them by pure combinatorial calculations, I wondered whether a more practical method than "abstract thinking" might not be to lay it out say one hundred times and simply observe and count the number of successful plays. This was already possible to envisage with the beginning of the new era of fast computers, and I immediately thought of problems of neutron diffusion and other questions of mathematical physics, and more generally how to change processes described by certain differential equations into an equivalent form interpretable as a succession of random operations. Later...[in 1946, I] described the idea to John von Neumann and we began to plan actual calculations."

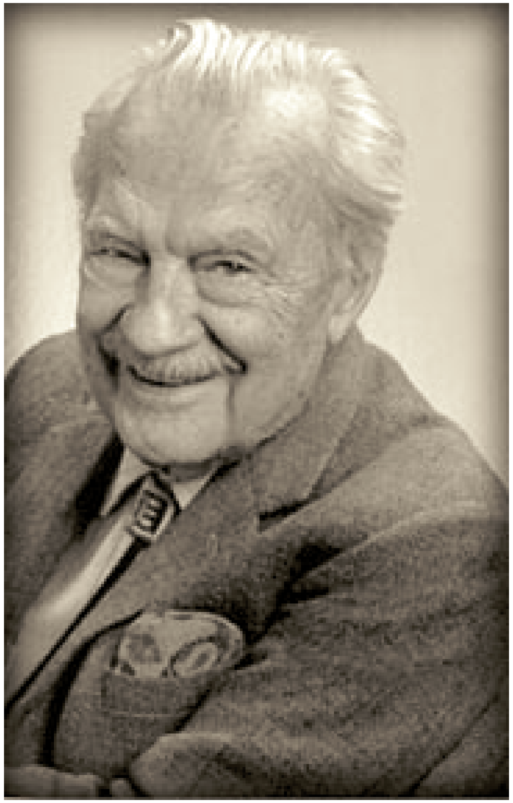
Von Neumann was intrigued. Statistical sampling was already well known in mathematics, but he was taken by the idea of doing such sampling using the newly developed electronic computing techniques. The approach seemed especially suitable for exploring the behavior of neutron chain reactions in fission devices. In particular, neutron multiplication rates could be estimated and used to predict the explosive behavior of the various fission weapons then being designed.

In March of 1947, he wrote to Robert Richtmyer, at that time the Theoretical Division Leader at Los Alamos (Fig. 1). He had concluded that "the statistical approach is very well suited to a digital treatment," and he outlined in some detail how this method could be used to solve neutron diffusion and multiplication problems in fission devices for the case "of 'inert' criticality" (that is, approximated as momentarily static config-

Stanislaw Ulam (13 Απριλίου 1909 – 13 Μαΐου 1984): Πολωνοαμερικανός μαθηματικός. Από το 1943 εργάστηκε στο Los Alamos National Laboratory (Manhattan Project υπό τον Robert Oppenheimer)

Πηγή: Eckhardt (1989)

Ο Nicholas Metropolis και η ληξιαρχική πράξη γέννησης της μεθόδου Μόντε Κάρλο



Nicholas Metropolis (11 Ιουνίου 1915 – 17 Οκτωβρίου 1999): Ελληνοαμερικανός φυσικός. Από τον Απρίλιο 1943 εργάστηκε στο Manhattan Project στο Los Alamos.

JOURNAL OF THE AMERICAN STATISTICAL ASSOCIATION

Number 247 SEPTEMBER 1949 *Volume 44*

THE MONTE CARLO METHOD

NICHOLAS METROPOLIS AND S. ULAM
Los Alamos Laboratory

We shall present here the motivation and a general description of a method dealing with a class of problems in mathematical physics. The method is, essentially, a statistical approach to the study of differential equations, or more generally, of integro-differential equations that occur in various branches of the natural sciences.

ALREADY in the nineteenth century a sharp distinction began to appear between two different mathematical methods of treating physical phenomena. Problems involving only a few particles were studied in classical mechanics, through the study of systems of ordinary differential equations. For the description of systems with very many particles, an entirely different technique was used, namely, the method of statistical mechanics. In this latter approach, one does not concentrate on the individual particles but studies the properties of *sets of particles*. In pure mathematics an intensive study of the properties of

Ολοκλήρωση συναρτήσεων: Κλασική αριθμητική μέθοδος

Στην αριθμητική ολοκλήρωση μιας μεταβλητής, ένα ορισμένο ολοκλήρωμα προσεγγίζεται με τη σχέση

$$\int_0^1 f(u)\, du \approx \sum_{n=0}^{m} w_n f\left(\frac{n}{m}\right)$$

όπου m είναι ένας θετικός ακέραιος και τα βάρη w_n είναι $1 / (2m)$ για τις ακραίες τιμές (0 και m) του n και $1 / m$ για όλες τις ενδιάμεσες τιμές. Αντίστοιχα, για αριθμητική ολοκλήρωση διανυσματικής μεταβλητής διάστασης s στο χώρο $I^s := [0, 1]^s$, η σχέση είναι

$$\int_{I^s} f(\boldsymbol{u})\, d\boldsymbol{u} \approx \sum_{n_1=0}^{m} \dots \sum_{n_s=0}^{m} w_{n_1} \dots w_{n_s} f\left(\frac{n_1}{m}, \dots, \frac{n_s}{m}\right)$$

Οι υπολογιστικοί κόμβοι σχηματίζουν ορθογωνικό κάναβο με ισοδιάσταση $1/m$. Ο αριθμός τους είναι $N = (m + 1)^s$ και το υπολογιστικό σφάλμα $O(m^{-2}) = O(N^{-2/s})$.

Ολοκλήρωση συναρτήσεων: Μέθοδος Monte Carlo

Στην ολοκλήρωση Monte Carlo, οι N υπολογιστικοί κόμβοι λαμβάνονται στην τύχη (όχι σε κανονικό κάναβο) και ο συντελεστής βάρους είναι 1 / N, οπότε (Niederreiter, 1992)

$$\int_{I^s} f(\boldsymbol{u})\, d\boldsymbol{u} \approx \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} f(\boldsymbol{x}_n)$$

όπου $\mathbf{x}_1, \ldots, \mathbf{x}_N$ είναι ανεξάρτητα τυχαία σημεία στο I^s. Για τυχόν πεδίο ολοκλήρωσης B η σχέση γίνεται

$$\int_{B} f(\boldsymbol{u})\, d\boldsymbol{u} \approx \frac{\lambda(B)}{N} \sum_{n=1}^{N} f(\boldsymbol{x}_n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} f(\boldsymbol{x}_n)\, U\{\mathbf{x}_n \in B\}$$

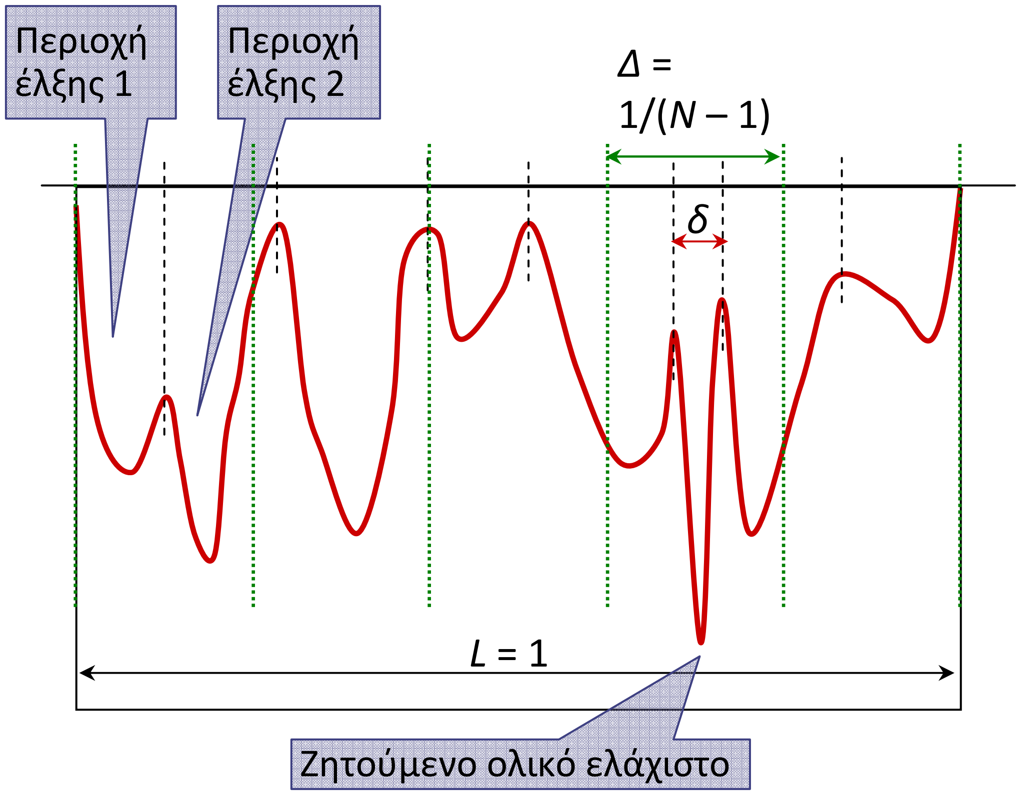
όπου $\lambda(B)$ είναι η πιθανότητα το τυχαίο σημείο $\mathbf{x}_i$ να ανήκει στο B και $U\{\mathbf{x}_n \in B\} = 1$ αν $\mathbf{x}_n \in B$ ή 0 αν $\mathbf{x}_n \notin B$. Το υπολογιστικό σφάλμα είναι $O(N^{-1/2})$

Παρατήρηση: Το υπολογιστικό σφάλμα **δεν εξαρτάται από τη διάσταση** s.

Συμπέρασμα: Συγκρίνοντας τα υπολογιστικά σφάλματα των δύο μεθόδων, προκύπτει ότι η μέθοδος Monte Carlo είναι προτιμότερη για $s > 4$.

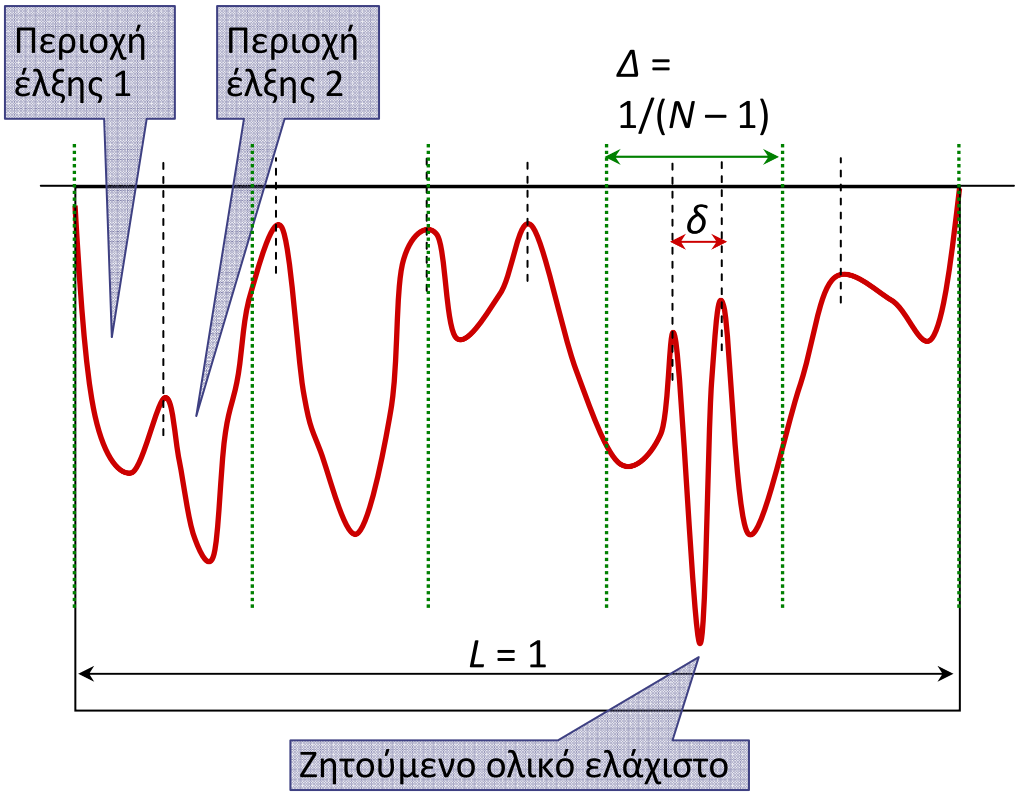
Τελική παρατήρηση: Για μεγάλη διαστατικότητα s, π.χ. > 20, η κλασική μέθοδος είναι ανέφικτη, ενώ η μέθοδος Monte Carlo θα δώσει πάντα λύση.

Τυπικό πρόβλημα βελτιστοποίησης βαθμωτής μεταβλητής: Ντετερμινιστική θεώρηση



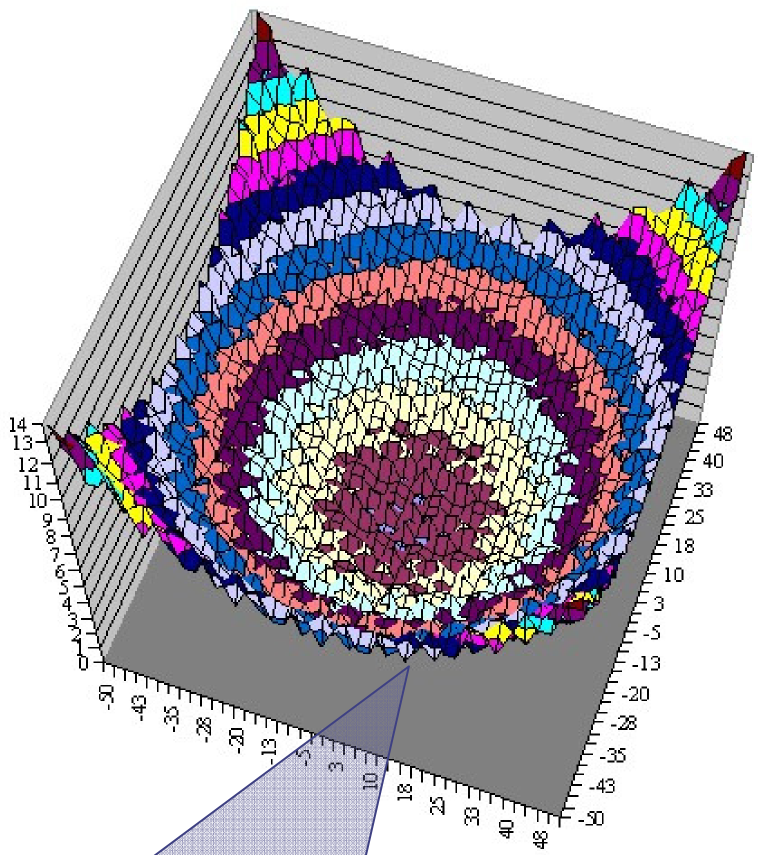
- Υπόθεση 1: Διατίθεται αποτελεσματικός ντετερμινιστικός αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης που ξεκινώντας από ένα αρχικό σημείο θα προσδιορίσει το τοπικό ακρότατο που βρίσκεται στην αντίστοιχη περιοχή έλξης
- Υπόθεση 2: Για τον προσδιορισμό του ολικού ακροτάτου θα χρειαστεί ένα σύνολο αρχικών σημείων N, με ισαποχή Δ κατά μήκος του άξονα
- Συμπέρασμα: Θα βρεθεί το ολικό ακρότατο μόνο όταν $\Delta \leq \delta$
- Άρα $N_{\text{ελάχιστο}} \approx 1/\delta$

Τυπικό πρόβλημα βελτιστοποίησης βαθμωτής μεταβλητής: Πιθανοτική θεώρηση



- Υπόθεση 1: Ίδια όπως στη ντετερμινιστική θεώρηση
- Υπόθεση 2: Παίρνουμε ένα πλήθος *N* αρχικών σημείων στην τύχη
- Συμπέρασμα: Η πιθανότητα να βρεθεί το ελάχιστο με μια δοκιμή είναι 1/*δ*. Η πιθανότητα να βρεθεί με *N* σημεία διαλεγμένα στην τύχη είναι $p_\varepsilon = 1 - (1 - \delta)^N \approx 1 - e^{-\delta N}$
- Άρα, ακόμη και με λίγα σημεία, υπάρχει πιθανότητα (όχι βεβαιότητα) να βρούμε το ελάχιστο

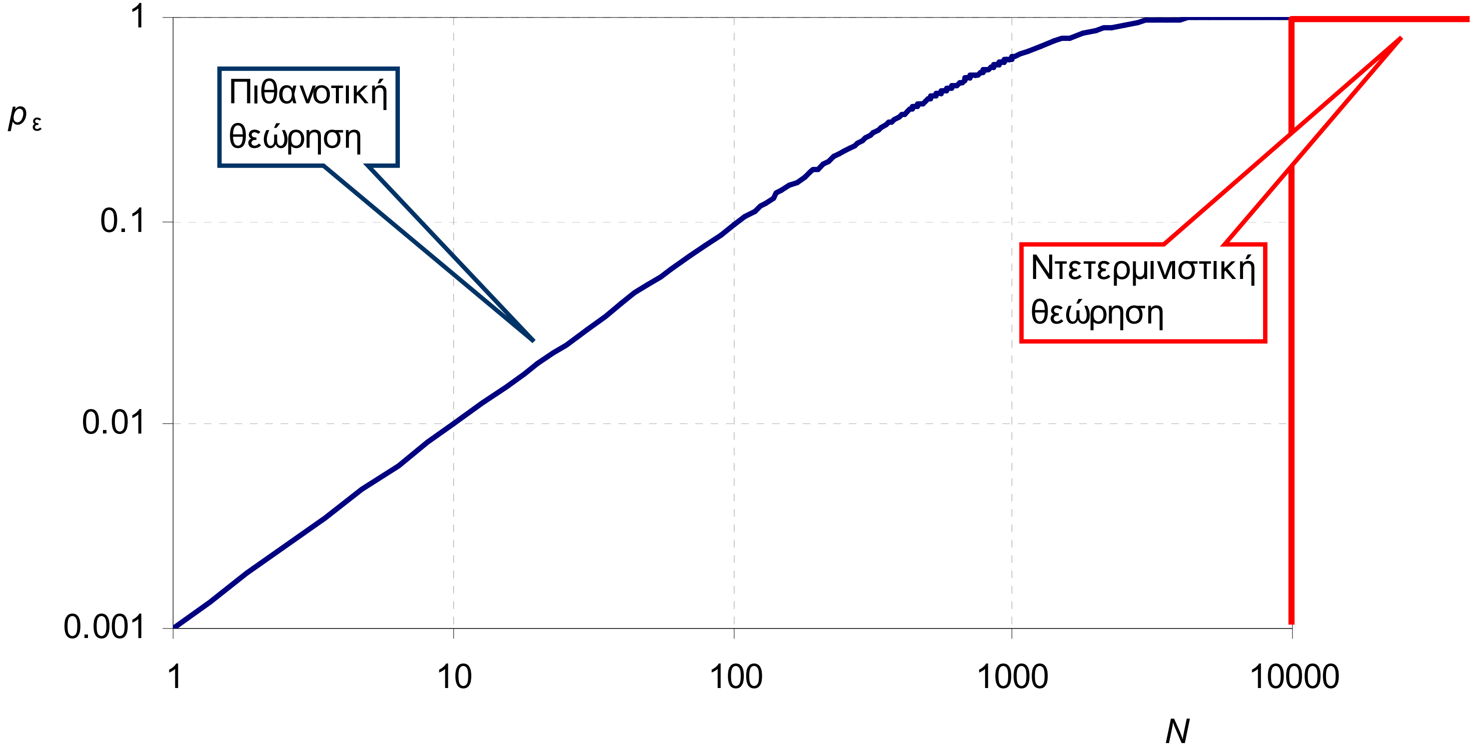
Από τη βαθμωτή στη διανυσματική μεταβλητή



Συνάρτηση Griewank (για n = 2)
$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = (x_1^{\ 2} + x_2^{\ 2} + \ldots + x_n^{\ 2})/400$
$- \cos(x_1/\sqrt{1}) \cos(x_2/\sqrt{2}) \ldots \cos(x_n/\sqrt{n}) + 1$

- Αν α είναι η υπερεπιφάνεια έλξης στο χώρο s διαστάσεων (= μέγεθος διανυσματικής μεταβλητής) και τα χαρακτηριστικά μήκη της ανά διάσταση είναι δ_1, δ_2, …, δ_s, τότε:
- Με τη ντετερμινιστική θεώρηση (αρχικά σημεία σε κάναβο με ισαποχή) θα βρεθεί το ακρότατο μόνο αν $N_{\text{ελάχιστο}} \approx 1/(\min_i \delta_i)^s$
- Με την πιθανοτική θεώρηση όπου τα αρχικά σημεία διαλέγονται στην τύχη, υπάρχει πάντα πιθανότητα να βρεθεί το ακρότατο, ίση με
$p_\varepsilon = 1 - (1 - \alpha)^N \approx 1 - e^{-\alpha N}$

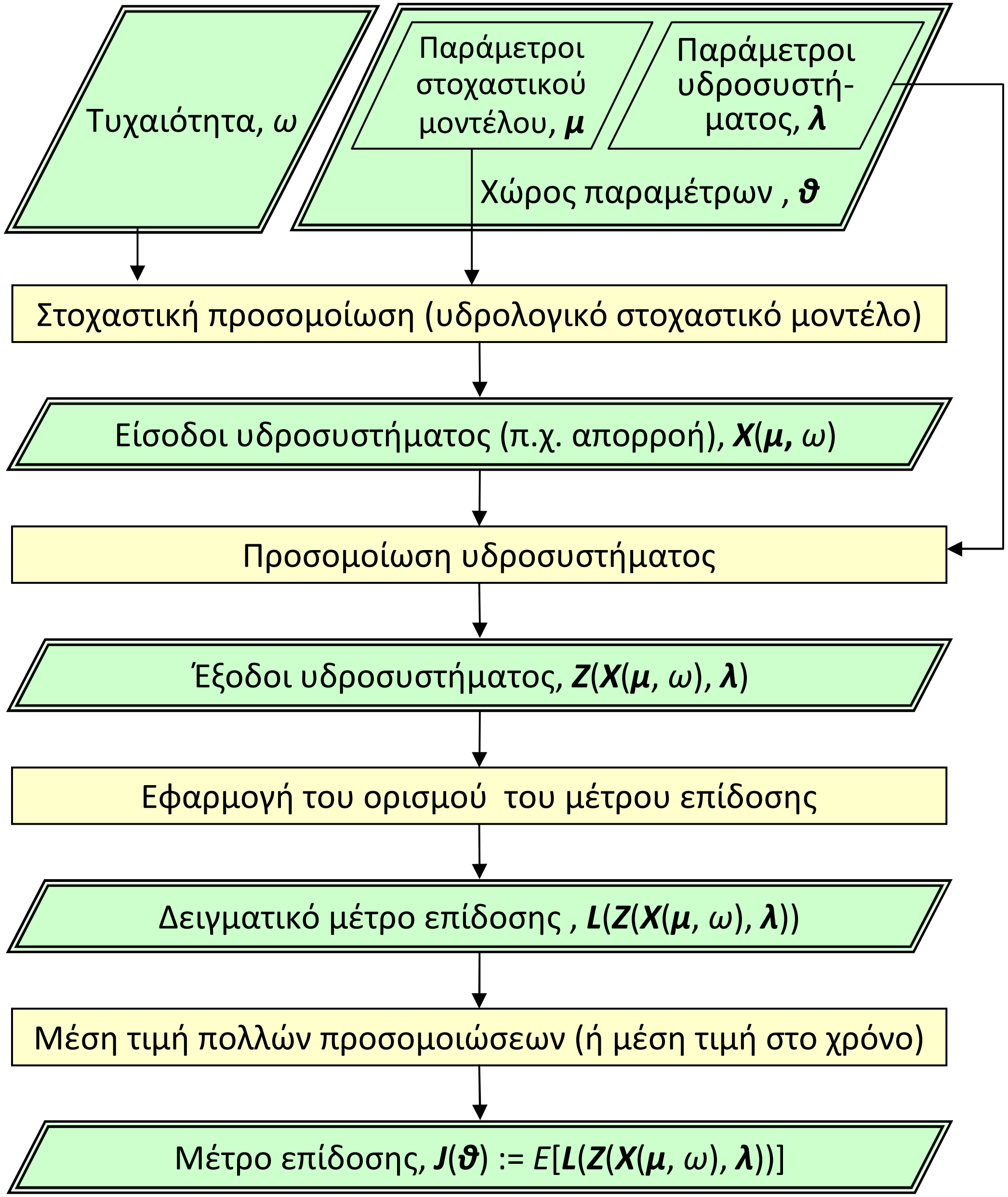
Σύγκριση πιθανοτικής και ντετερμινιστικής θεώρησης: αριθμητικό παράδειγμα



- Πρόβλημα δύο μεταβλητών με υποτιθέμενη επιφάνεια έλξης $\alpha = \delta_1\, \delta_2 = (1/10)\ (1/100) = 1/1000$
- Ντετερμινιστική θεώρηση: $N_{ελάχιστο} \approx 1/\ (1/100)^2 = 10\ 000$
- Πιθανοτική (Μόντε Κάρλο) θεώρηση $p_\varepsilon = 1 - (1 - 1/1000)^N \approx 1 - e^{-N/1000}$

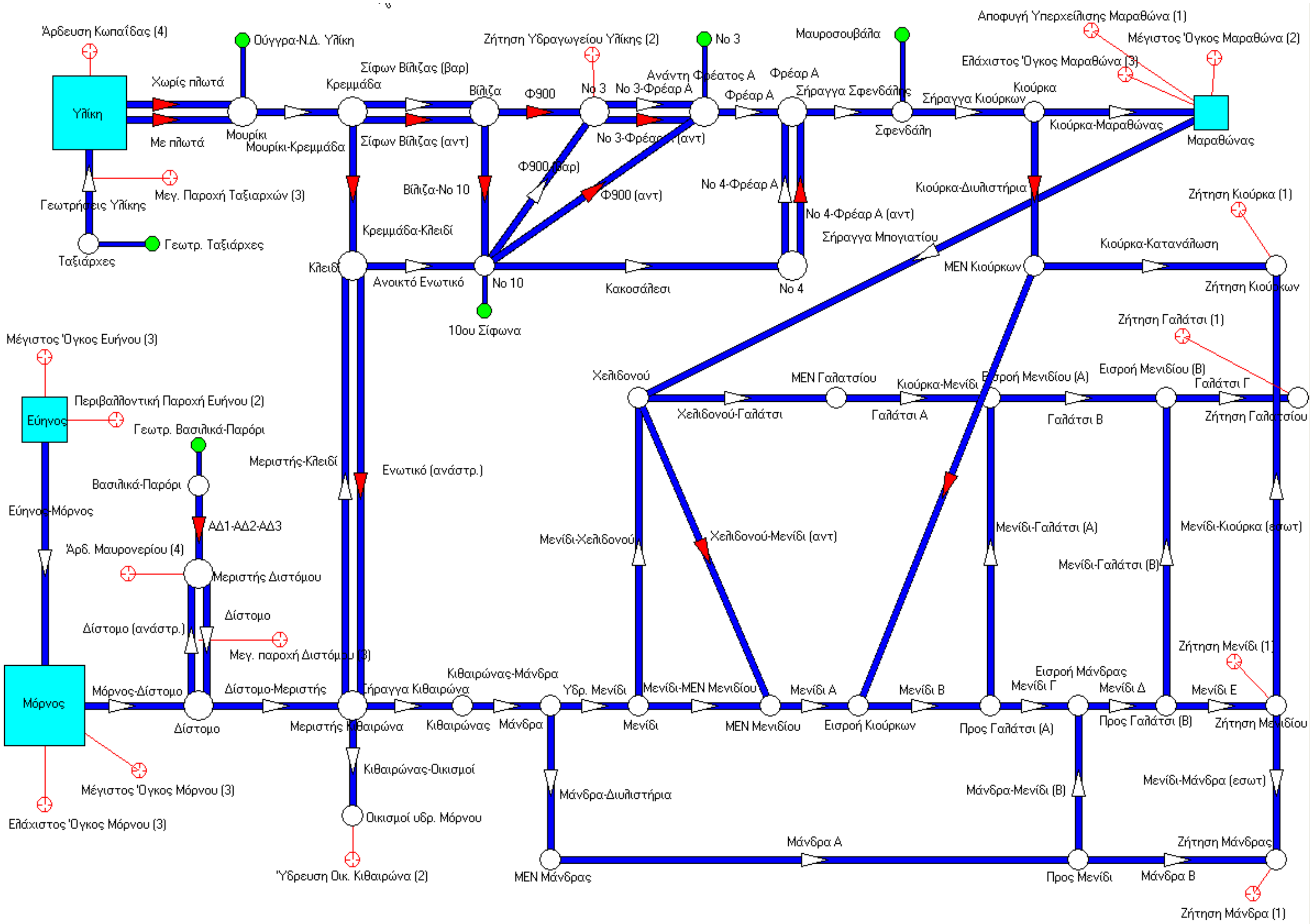
Υδροσυστήματα και γενική μεθοδολογία στοχαστικής βελτιστοποίησης

- Από μαθηματική άποψη, η διαχείριση των υδροσυστημάτων είναι πρόβλημα βελτιστοποίησης διανυσματικής μεταβλητής μεγάλης διαστατικότητας (διάνυσμα μεταβλητών ελέγχου)
- Στις εισόδους των υδροσυστημάτων ή στις σχέσεις εισόδων-εξόδων υπεισέρχονται τυχαίοι (μη προβλέψιμοι) παράγοντες
- Η στοχαστική (Μόντε Κάρλο) προσομοίωση προσφέρει τη μόνη εφικτή λύση προσδιορισμού οποιασδήποτε συνάρτησης επίδοσης
- Η στοχαστική βελτιστοποίηση προσφέρει τη μόνη εφικτή λύση προσδιορισμού της βέλτιστης επίδοσης



Πηγή: Koutsoyiannis & Economou, 2003

Πόσες είναι οι μεταβλητές ελέγχου σε ένα τυπικό πρόβλημα διαχείρισης υδροσυστήματος;

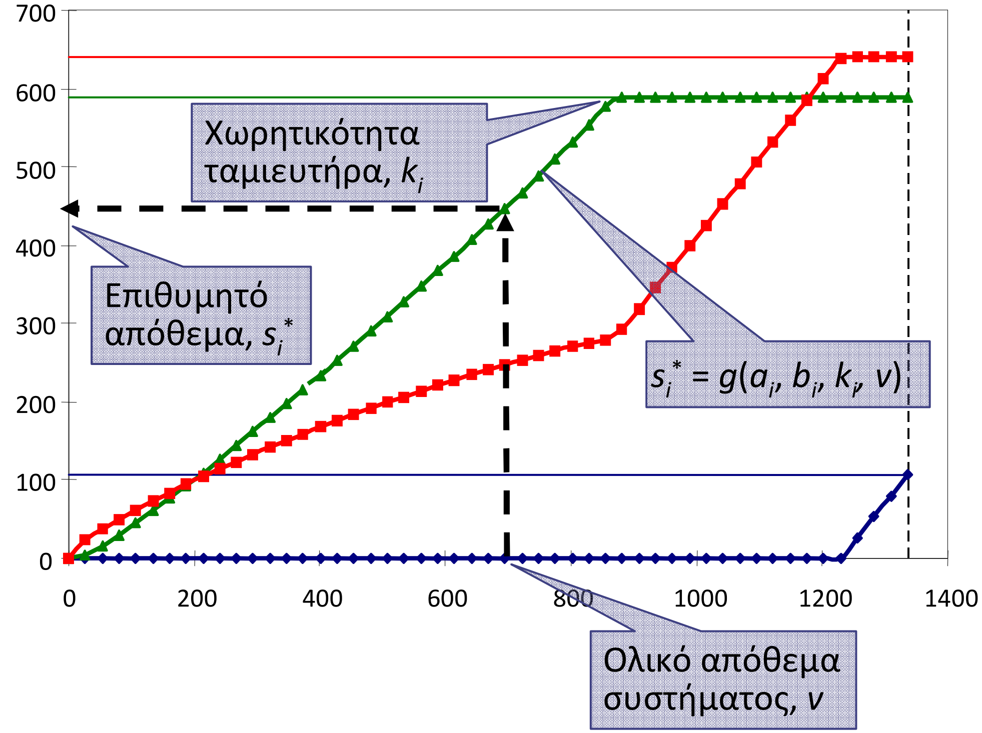


Συμβατική απάντηση για το παράδειγμα του **υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας** για χρονικό ορίζοντα ελέγχου 10 ετών:

60 κλάδοι × 120 μήνες = 7200 μεταβλητές

Από τον πληθωρισμό των μεταβλητών ελέγχου στη **φειδώ** ως βασική αρχή μοντελοποίησης

- Η πληθωρική χρήση μεταβλητών ελέγχου σιωπηρώς προϋποθέτει γνώση των μελλοντικών εισροών, πράγμα αδύνατο
- Ο προσδιορισμός τόσο μεγάλου αριθμού μεταβλητών είναι επισφαλής και ανώφελος
- Η επιστημονική μέθοδος συστήνει τη **φειδωλή χρήση** μεταβλητών ελέγχου
- Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση παραμετρικών κανόνων λειτουργίας, όπου οι μεταβλητές ελέγχου είναι οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας



- Το συγκεκριμένο παράδειγμα (γράφημα) δίνει την **παραμετροποίηση** της λειτουργίας ενός συστήματος ταμιευτήρων στη βάση δύο παραμέτρων ανά ταμιευτήρα (βλ. Nalbantis & Koutsoyiannis, 1997)
- Οι παράμετροι εξαρτώνται αποκλειστικά από τα στατιστικά χαρακτηριστικά των εισροών και όχι από τις ίδιες τις τιμές τους

Αντικαθιστώντας την κυρίαρχη αλλά ασυνεπή μεθοδολογία με νέα ολοκληρωμένη θεώρηση

Κλασική θεώρηση	**Ασυνέπεια**	**Νέα θεώρηση**
Δεδομένες χρονοσειρές εισόδου	Η διαχείριση γίνεται για το μέλλον: Το μέλλον είναι αβέβαιο και η περιγραφή του μέσω χρονοσειρών αδύνατη	Δεδομένες **παράμετροι** στοχαστικού μοντέλου προσομοίωσης
Μεταβλητές ελέγχου: οι παροχές στους κλάδους του δικτύου	Η πληθωρική μοντελοποίηση αντίκειται στην αρχή της φειδούς και είναι άνευ νοήματος λόγω του αβέβαιου μέλλοντος	**Παραμετροποίηση**: μεταβλητές ελέγχου είναι οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας
Απλουστευμένη αναπαράσταση	Η απλούστευση στην αναπαράσταση του συστήματος, της λειτουργίας του (π.χ. διακριτοποίηση, αποφυγή πιθανοτικών περιορισμών) και της επίδοσής του, ακυρώνει το βέλτιστο των λύσεων	Πιστή αναπαράσταση συστήματος και της επίδοσής του μέσω στοχαστικής **προσομοίωσης**
Χρήση γραμμικού ή δυναμικού προγραμματισμού	Τα προβλήματα υδροσυστημάτων δεν είναι γραμμικά (εκτός από ορισμένα υπο-προβλήματα) Ο δυναμικός προγραμματισμός είναι εντελώς ακατάλληλος	Μη γραμμική στοχαστική **βελτιστοποίηση**

Εφαρμογή 1: Η επιτυχημένη χρήση της μεθοδολογίας στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

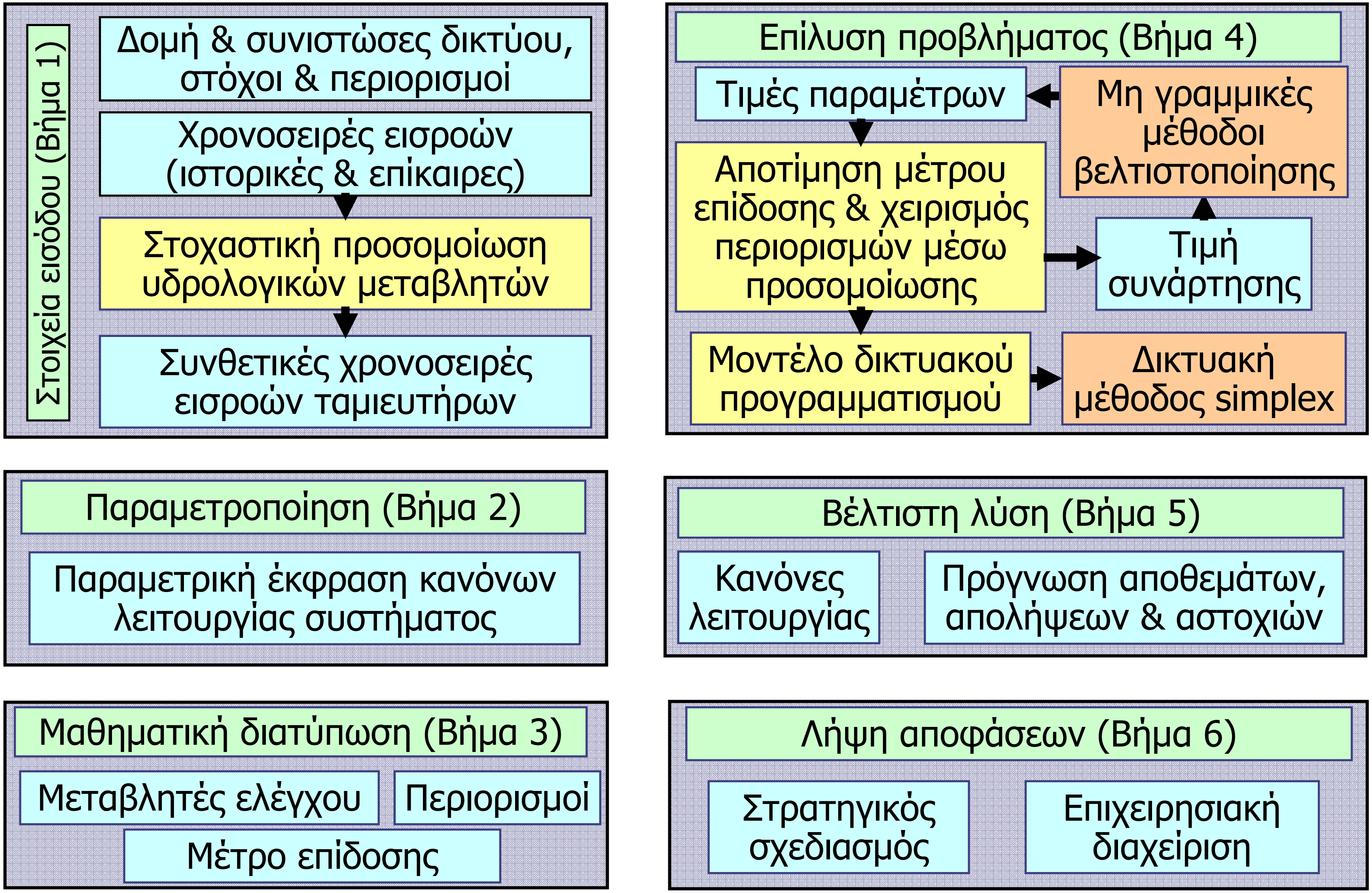
Πιλοτική λειτουργία: 2000

Πρώτο διαχειριστικό σχέδιο του συστήματος: Κουτσογιάννης κ.ά. (2000)

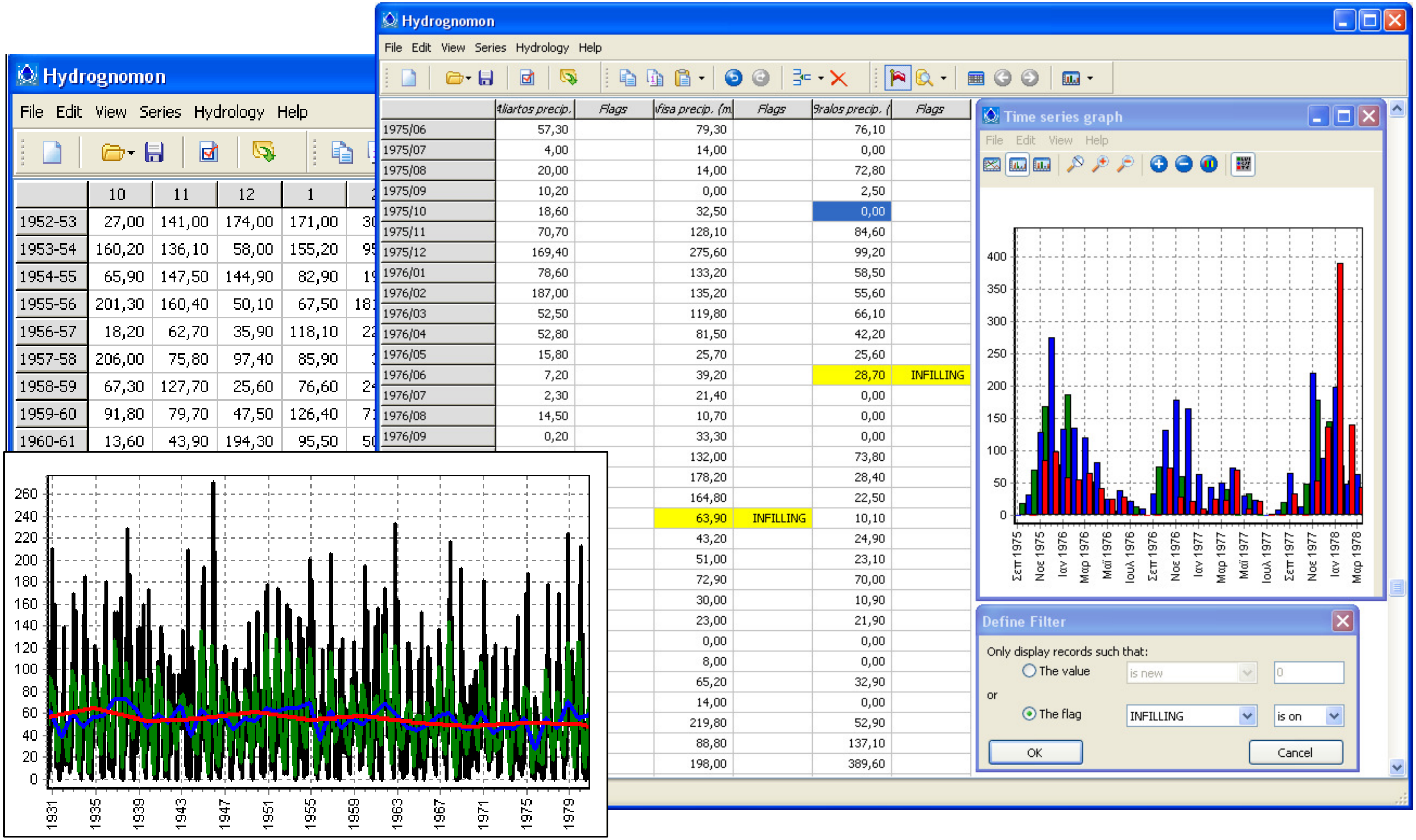
Ολοκλήρωση συστήματος: Ναλμπάντης κ.ά. (2004)

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

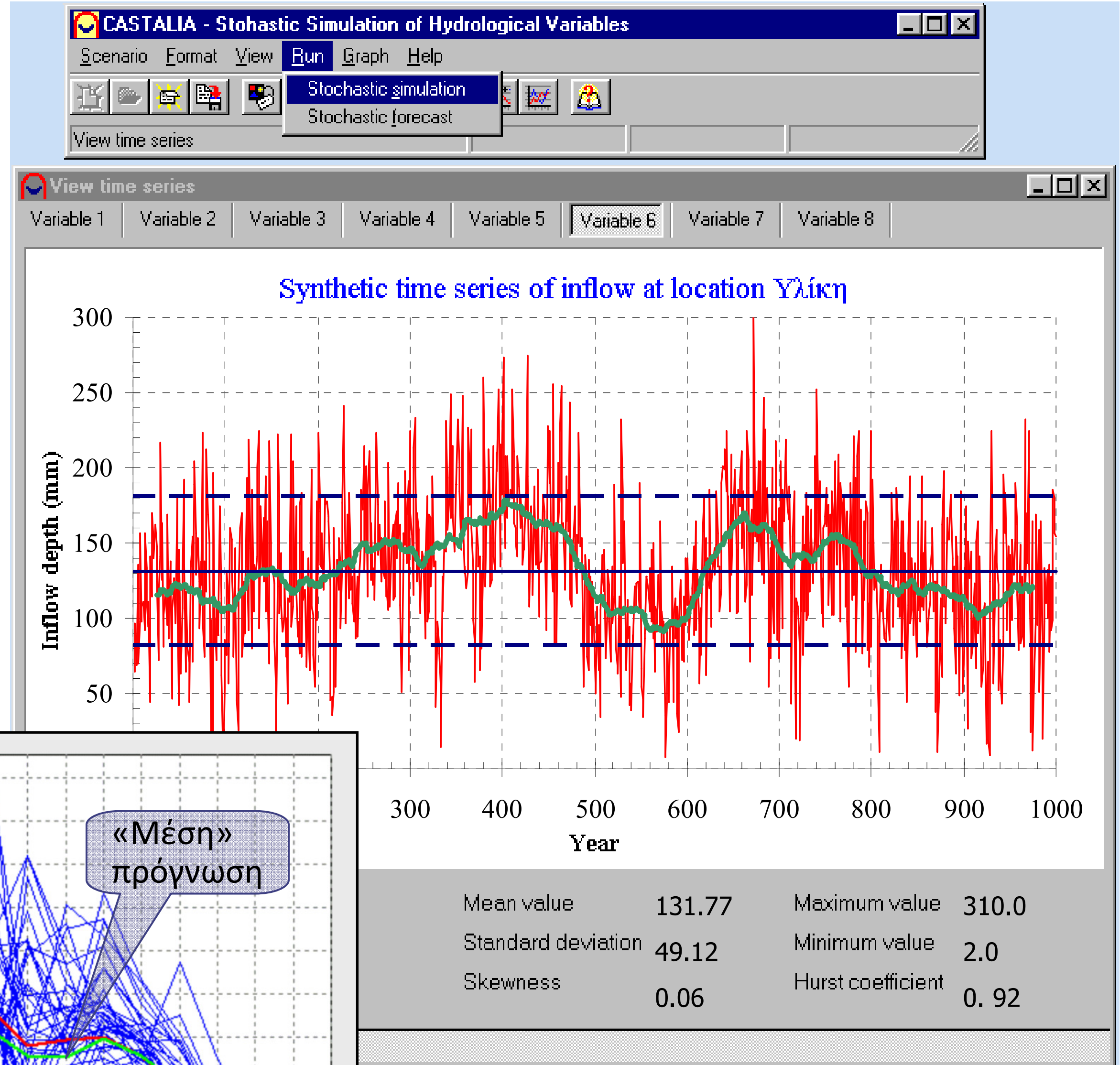
Διάγραμμα ροής μοντέλου διαχείρισης - Σύνοψη

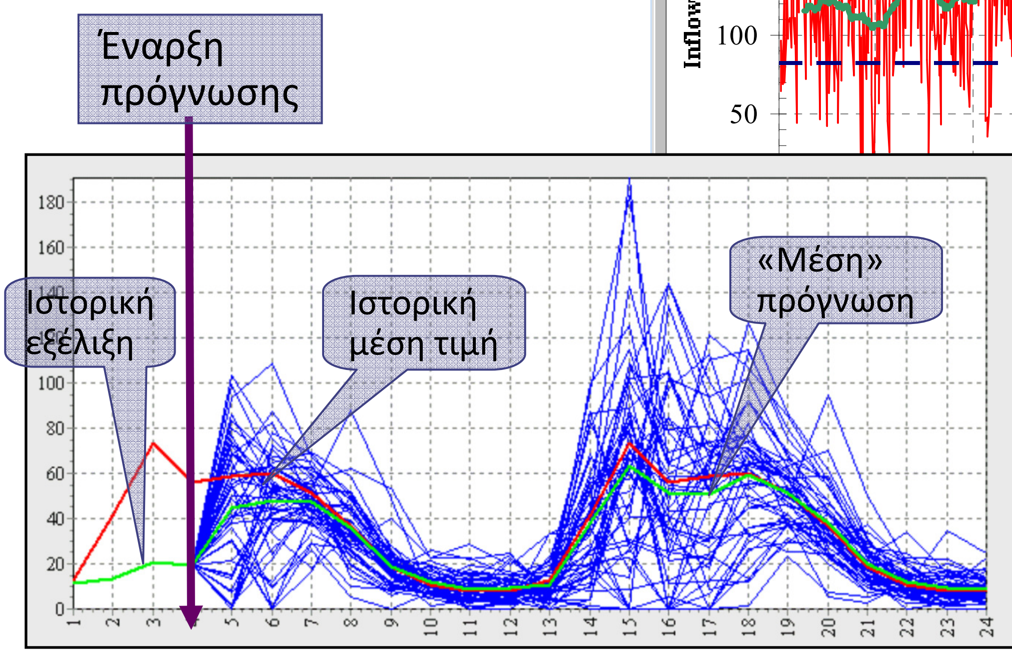


ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ: Πρόγραμμα διαχείρισης και επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων

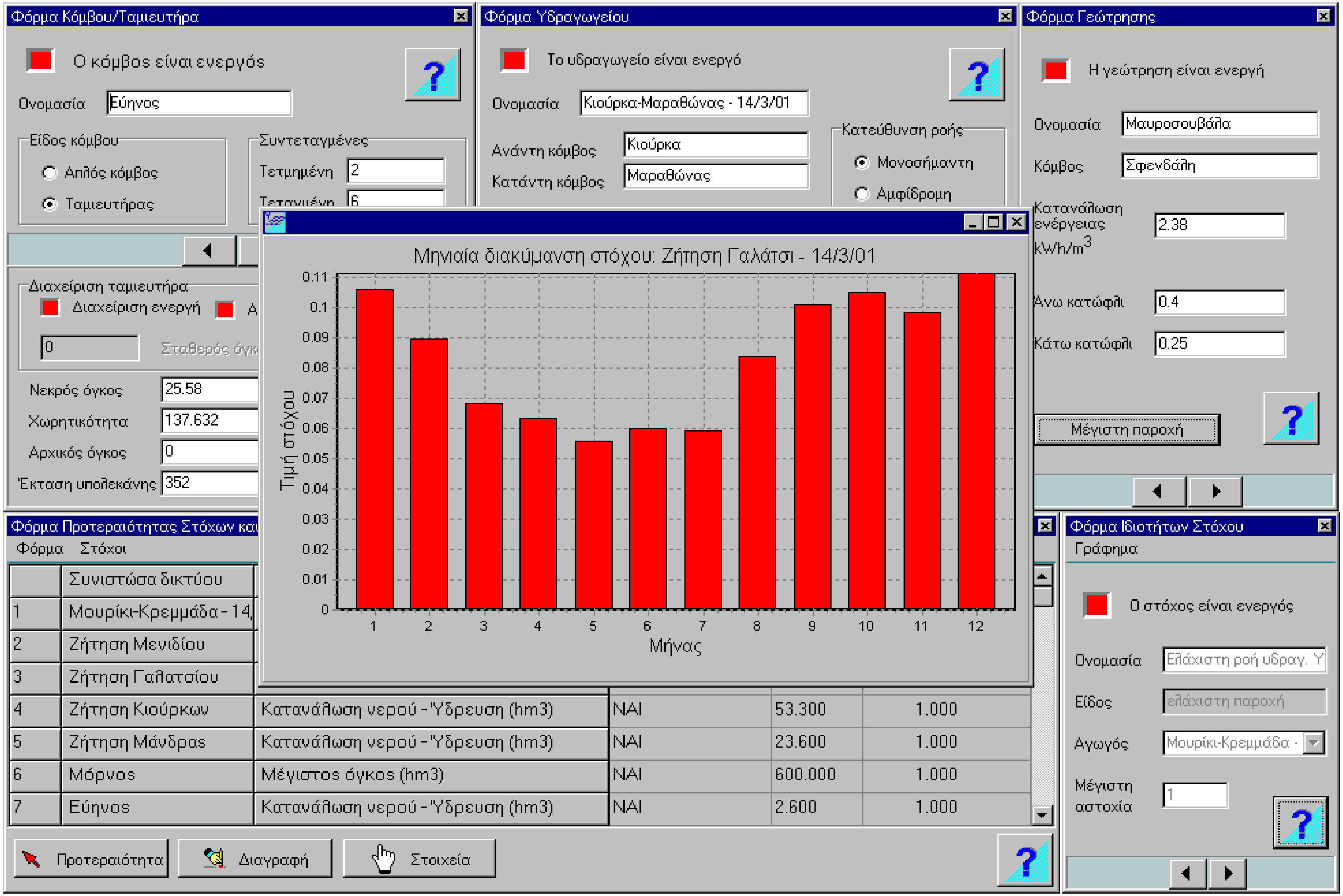


ΚΑΣΤΑΛΙΑ: Πρόγραμμα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών



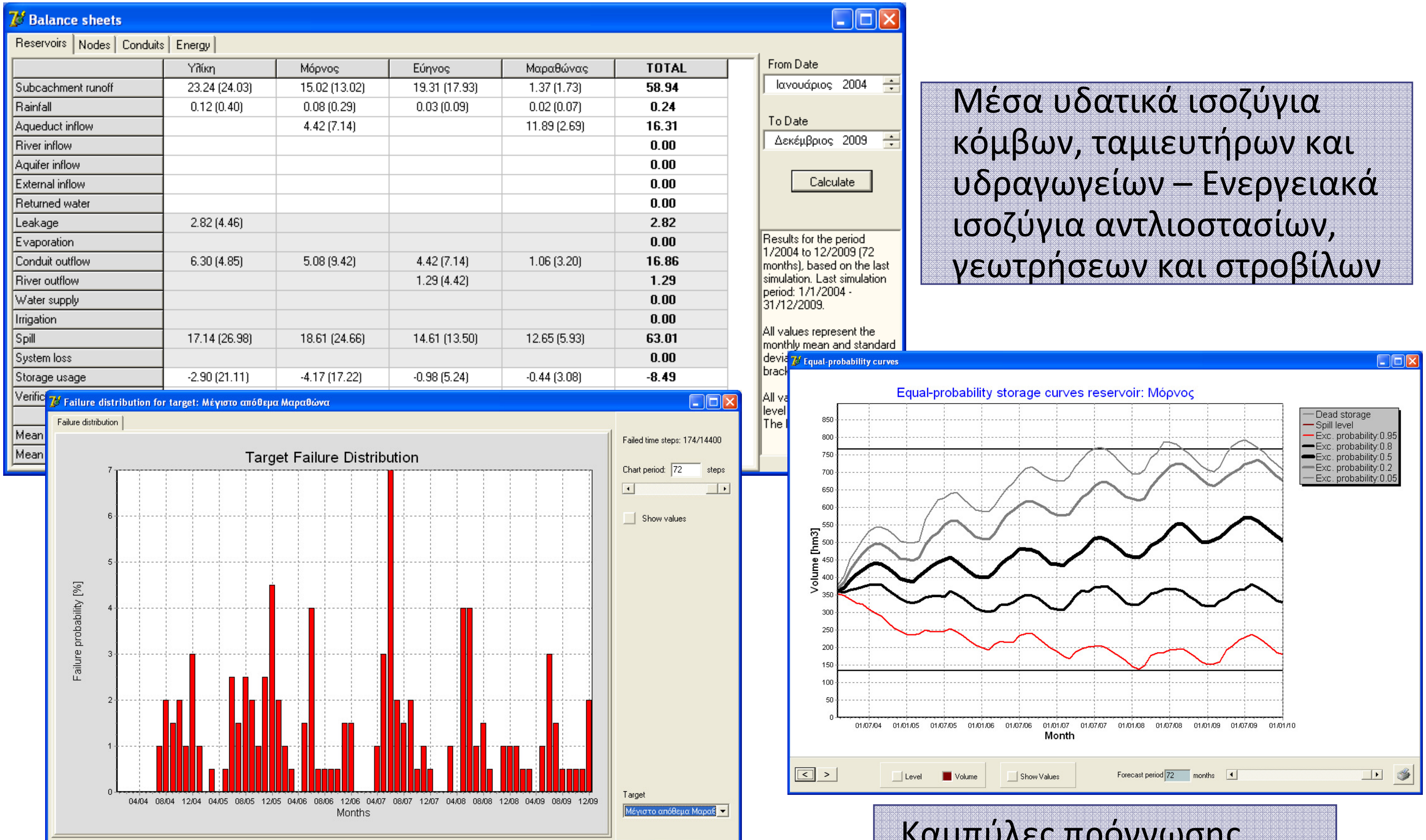


ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Ανάλυση υδροσυστήματος



Βλ. λεπτομέρειες στους: Koutsoyiannis and Economou (2003); Koutsoyiannis *et al.* (2002, 2003); and Efstratiadis *et al.* (2004)

ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Αποτελέσματα προσομοίωσης



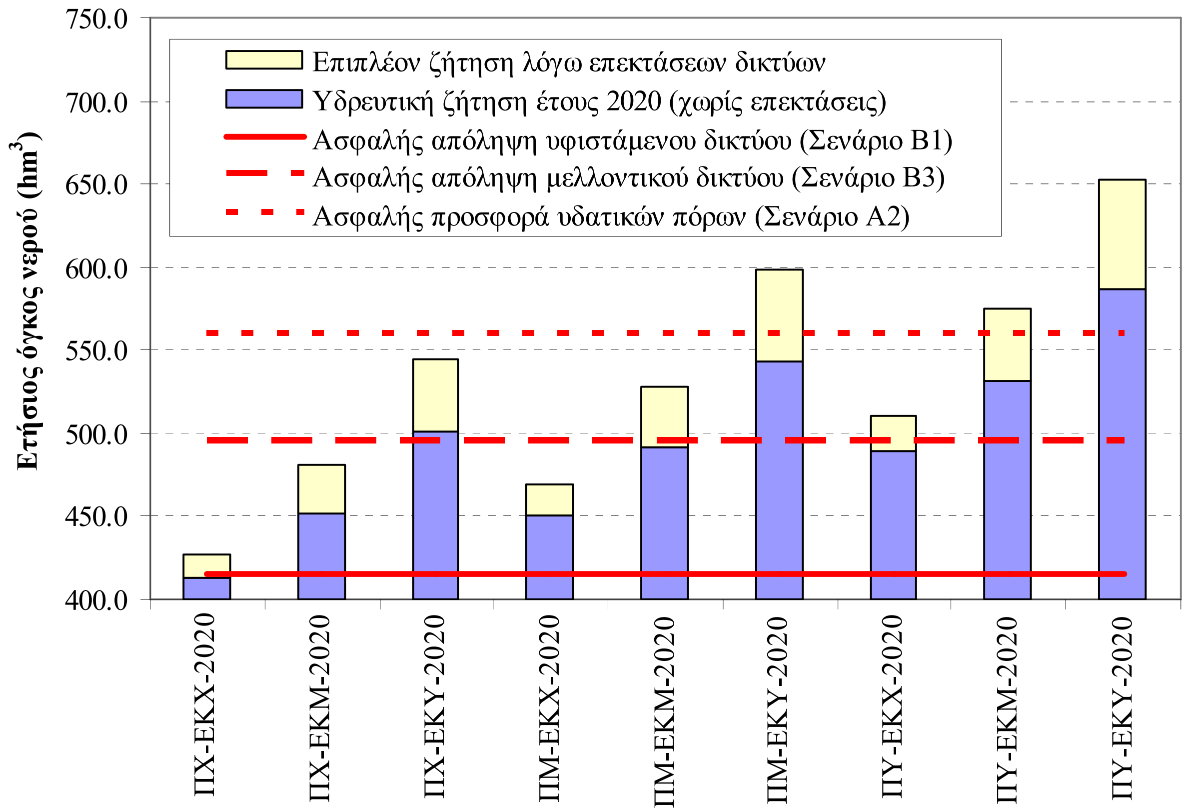
Μέσα υδατικά ισοζύγια κόμβων, ταμιευτήρων και υδραγωγείων – Ενεργειακά ισοζύγια αντλιοστασίων, γεωτρήσεων και στροβίλων

Πρόγνωση πιθανοτήτων αστοχίας

Καμπύλες πρόγνωσης αποθεμάτων και παροχών

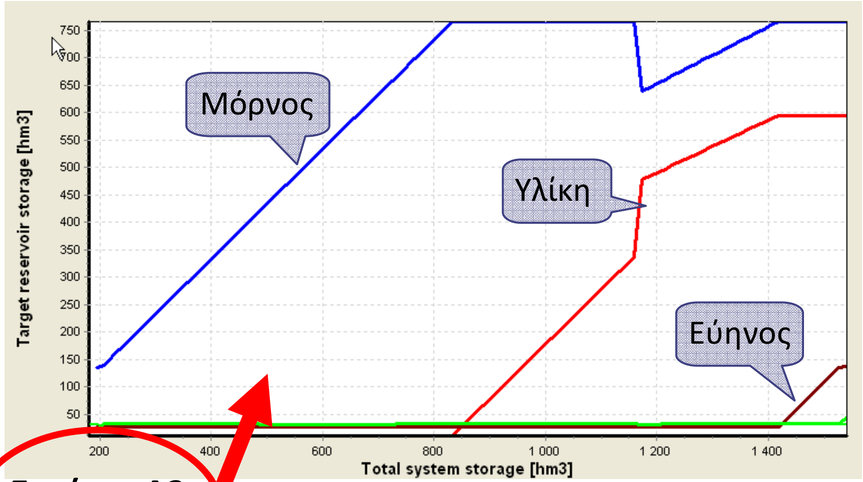
ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και στρατηγικός προγραμματισμός

- Προσδιορίζεται η αξιόπιστη υδρευτική απόληψη του υδροσυστήματος, για επίπεδο αξιοπιστίας 99%.
- Εξετάζονται τρία σενάρια ανάπτυξης του δικτύου των εξωτερικών υδραγωγείων (Β1: υφιστάμενο, Β3: μελλοντικό με έργα ενίσχυσης και μειωμένες διαρροές, Α2: χωρίς περιορισμούς παροχετευτικότητας).
- Για κάθε σενάριο επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας, θεωρώντας κανονική λειτουργία των γεωτρήσεων.
- Τα αποτελέσματα ελέγχονται ως προς διάφορα επίπεδα υδρευτικής ζήτησης για το έτος 2020, που έχουν διαμορφωθεί με βάση την εξέλιξη του πληθυσμού, της ειδικής κατανάλωσης και του δικτύου διανομής της ΕΥΔΑΠ.



ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και προσδιορισμός ενεργειακού κόστους

- Αναζητείται η μεγιστοποιημένη υδρευτική απόληψη από τους υδατικούς πόρους, για επίπεδο αξιοπιστίας 99%.
- Εξετάζονται τέσσερις πολιτικές λειτουργίας των γεωτρήσεων



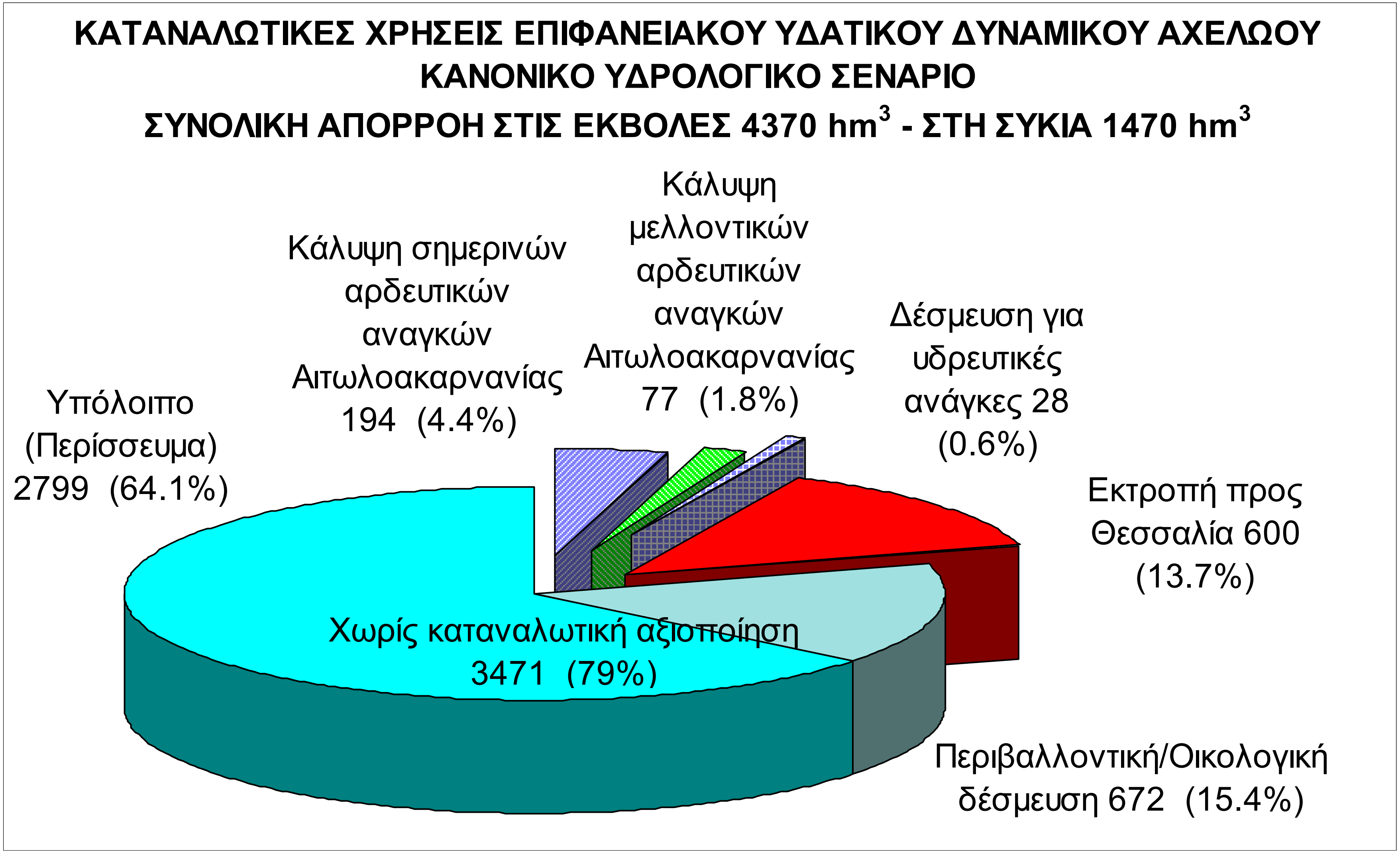
Σενάριο Α2

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

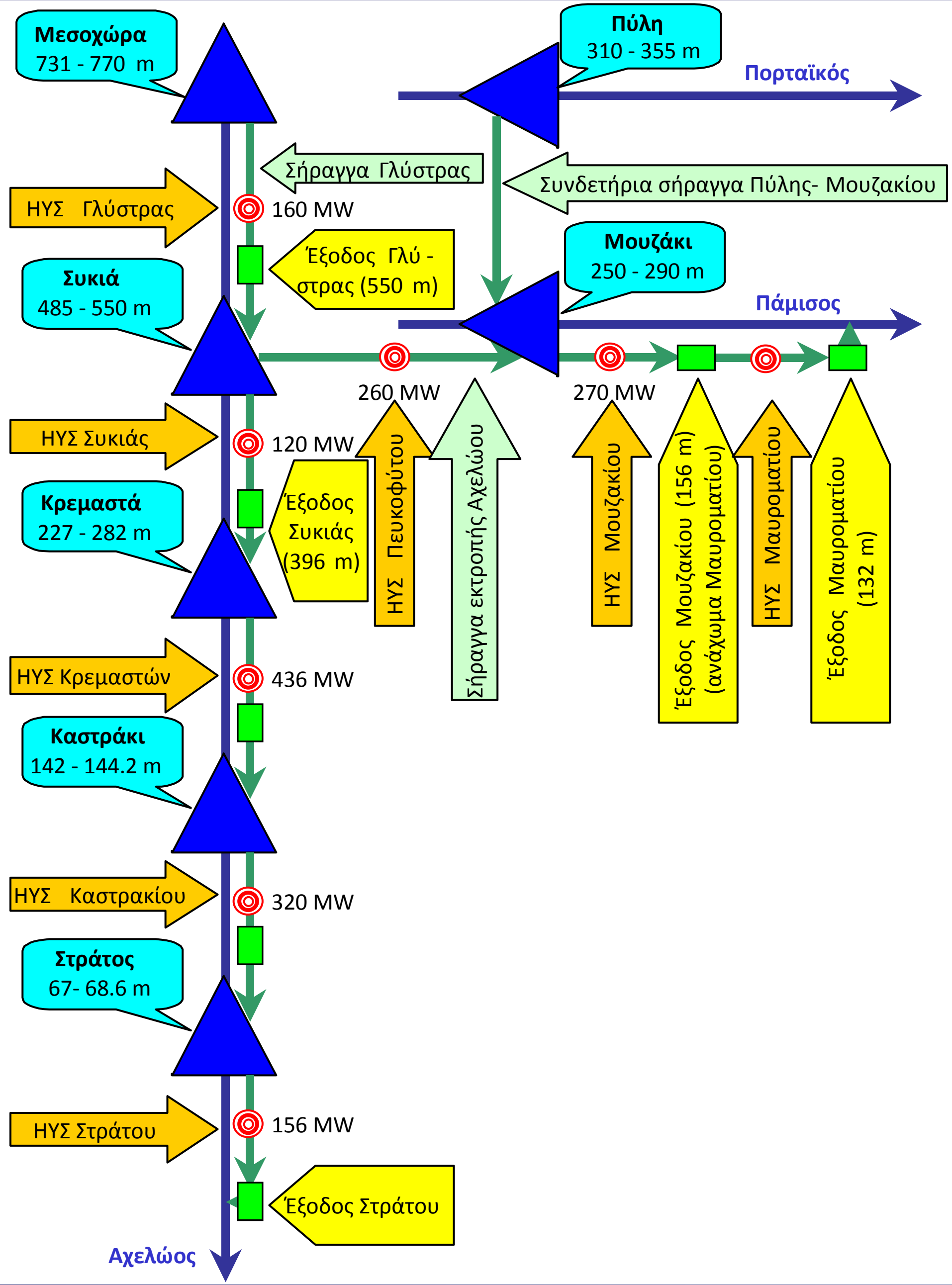
Εφαρμογή 2: Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός των έργων εκτροπής Αχελώου

- Η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε (στην πρώτη μορφή της) στη μελέτη Κουτσογιάννη (1996) για την επαναθεώρηση της Γενικής Διάταξης των Έργων Εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία (ρυθμιστικοί όγκοι, υδροηλεκτρικοί σταθμοί):
  - Συνολική μελέτη του υδροσυστήματος Αχελώου-Θεσσαλίας
  - Κυριαρχία της συνιστώσας υδροηλεκτρικής παραγωγής με αντιστρεπτές ενεργειακές μονάδες
- Αν και το έργο της εκτροπής είναι καθευατό αμφιλεγόμενο, αλλά και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα έχουν αμφισβητηθεί στο σύνολό τους—και από ορισμένους δεν θεωρούνται καν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας—θα πρέπει να σημειωθεί ότι:
  - Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα όχι μόνο προσφέρουν (εξ ορισμού) ανανεώσιμη ενέργεια αλλά **σε αντίθεση** με τα μικρά, καθώς και τις αιολικές και ηλιακές μονάδες, προσφέρουν τη δυνατότητα **ρύθμισης** και ανάληψης των **αιχμών** της ζήτησης και μάλιστα σε μεγάλη κλίμακα
  - Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα με αντιστρεπτές μονάδες είναι **τα μόνα** που προσφέρουν τη δυνατότητα **αποθήκευσης** ενέργειας, απαραίτητη προϋπόθεση για ανάπτυξη **κάθε** άλλης μορφής ανανεώσιμης ενέργειας
  - **Άρα δεν υπάρχει ανανεώσιμη ενέργεια χωρίς μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα με αντιστρεπτές μονάδες**

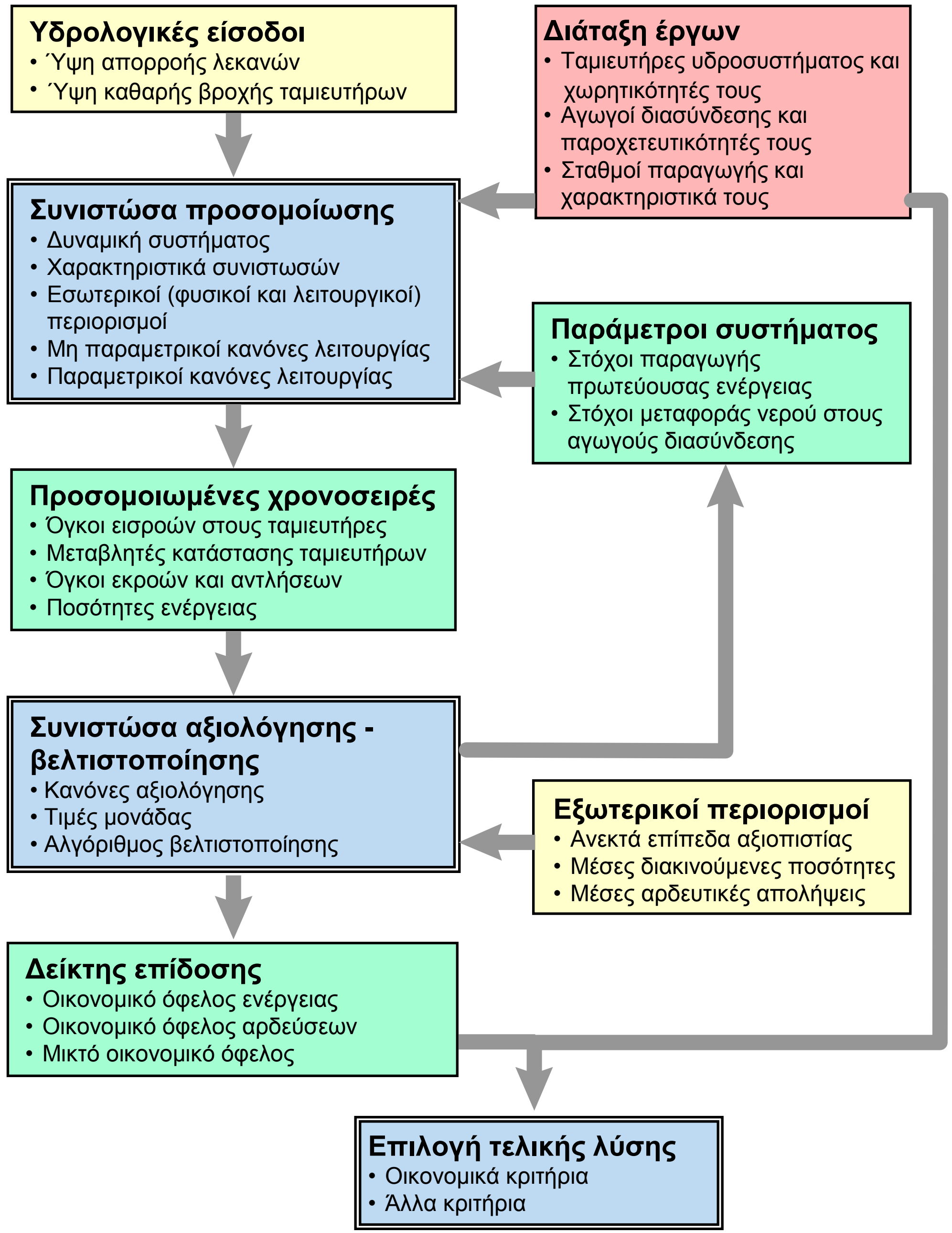
Υδατικό δυναμικό Αχελώου και αξιοποίησή του



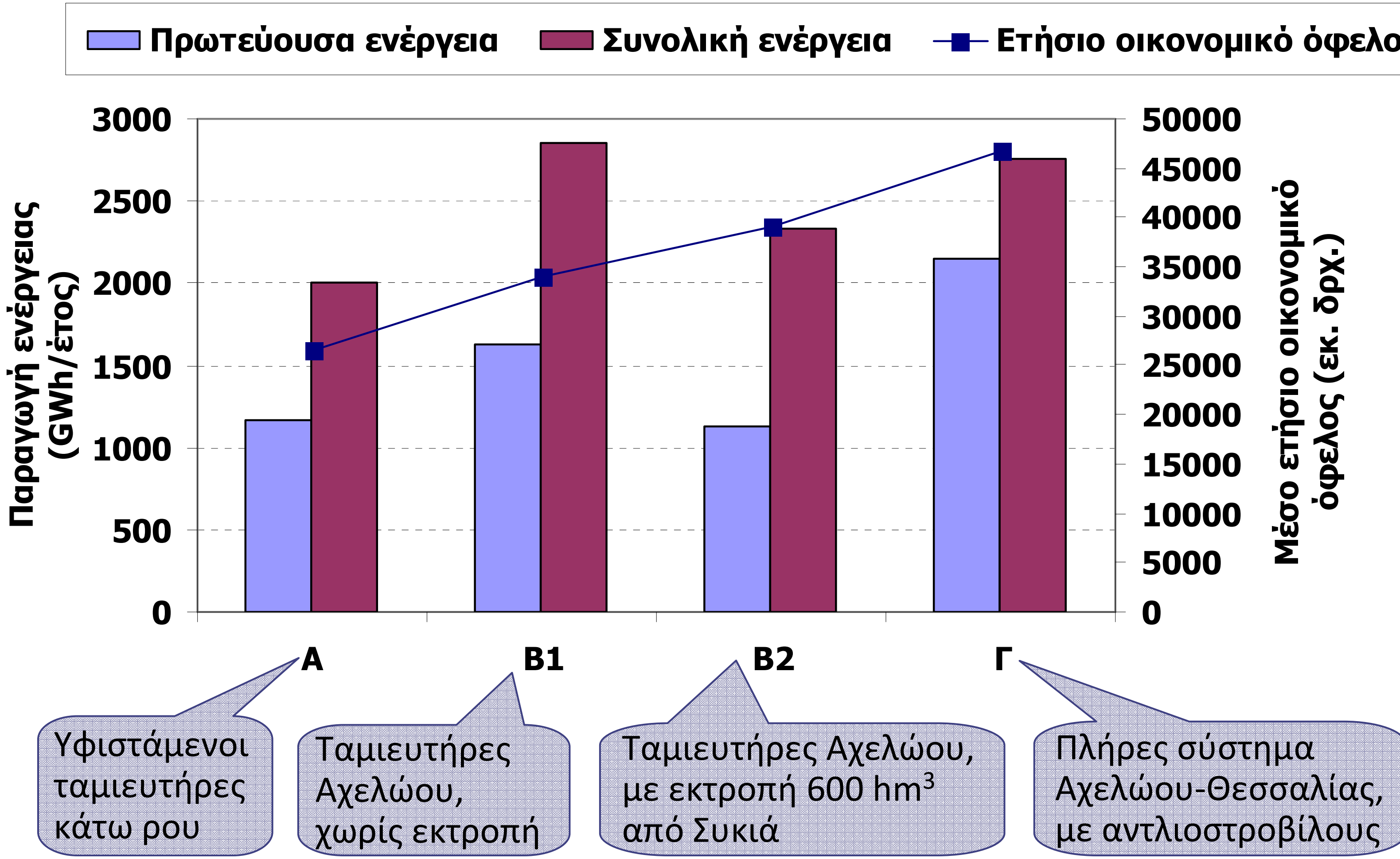
Σχηματοποίηση του υδροσυστήματος Αχελώου - Θεσσαλίας



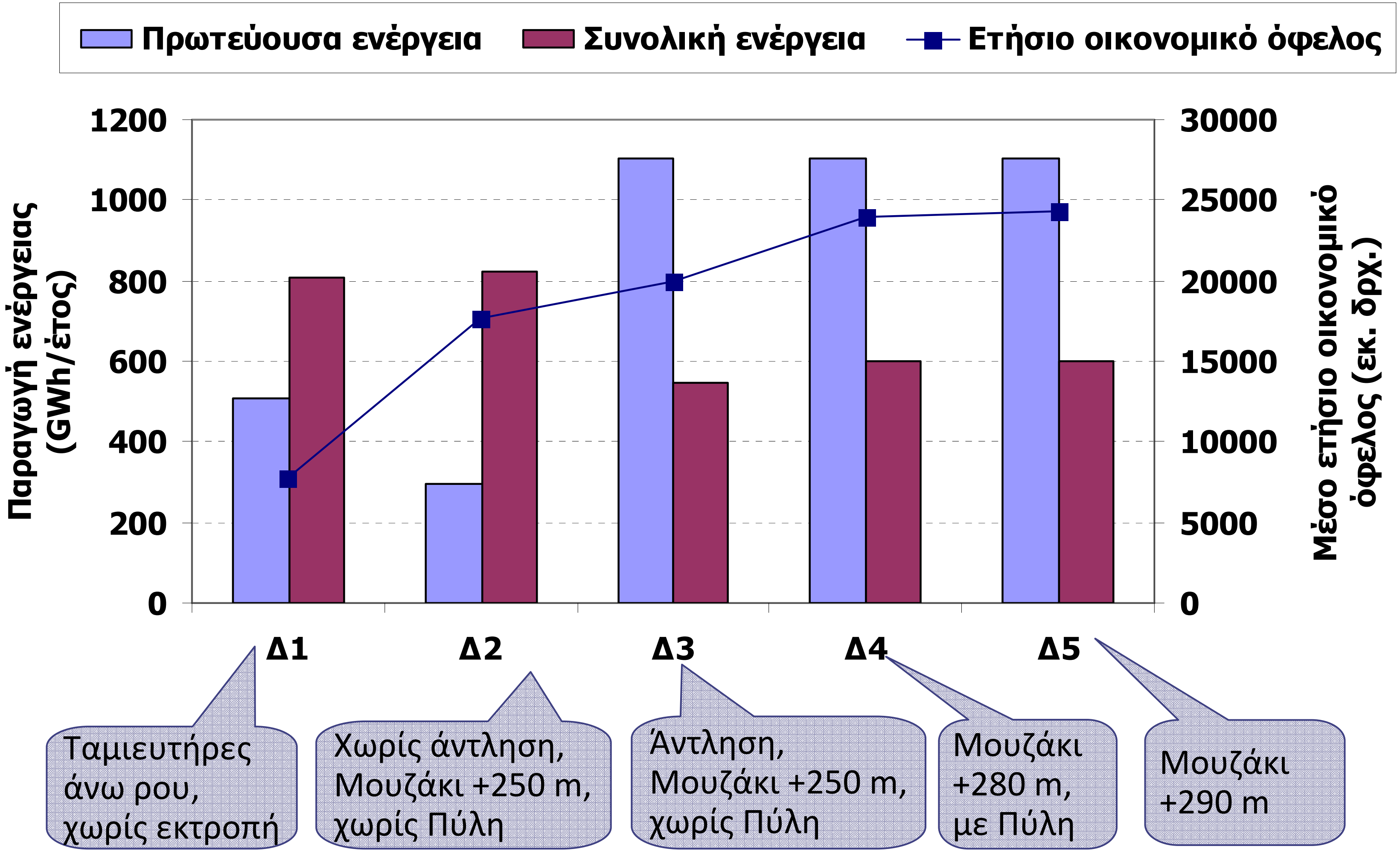
Διάρθρωση του συνολικού μαθηματικού μοντέλου του υδροσυστήματος Αχελώου-Θεσσαλίας



Εφαρμογή στο σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου – Θεσσαλίας: Αποτελέσματα για το συνολικό σύστημα



Εφαρμογή στο σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου – Θεσσαλίας: Αποτελέσματα για το άνω υποσύστημα



Συμπεράσματα

- Δύσκολα προβλήματα δεν λύνονται χωρίς «τύχη»
- Οι «βέλτιστες λύσεις» δεν έχουν νόημα αν η διατύπωση του προβλήματος δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα
- Αξιόπιστη υδροδότηση δεν γίνεται χωρίς μέθοδο, χωρίς ορίζοντα στο μέλλον και χωρίς κόστος
- Ανανεώσιμη ενέργεια δεν υπάρχει χωρίς μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα με αντιστρεπτές μονάδες

Αναφορές

- Eckhardt, R., Stan Ulam, John von Neumann and the Monte Carlo method, in *From Cardinals to Chaos*, ed. by N. G. Cooper, Cambridge University, NY., 1989.
- 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., A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, *Water Resources Research*, 36 (6), 1519–1533, 2000.
- Koutsoyiannis, D., Coupling stochastic models of different time scales, *Water Resources Research*, 37 (2), 379–392, 2001.
- Koutsoyiannis, D., and A. Economou, Evaluation of the parameterization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems, *Water Resources Research*, 39 (6), 1170, doi:10.1029/2003WR002148, 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 and Chemistry of the Earth*, 28 (14-15), 599–609, 2003.
- Metropolis, N. and S.Ulam, The Monte Carlo method, *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335–341, 1949.
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, *Water Resources Research*, 33 (9), 2165–2177, 1997.
- Niederreiter, H., *Random Number Generation and Quasi-Monte Carlo Methods*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1992.
- Κουτσογιάννης, Δ., Μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρων, *Γενική διάταξη έργων εκτροπής Αχελώου προς Θεσσαλία*, Ανάδοχος: Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου – Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων – Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Συνεργαζόμενοι: Γ. Καλαούζης, , Π. Μαρίνος, Δ. Κουτσογιάννης, 420 σελίδες, 1996.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καραβοκυρός, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, Ι. Ναλμπάντης, Δ. Γκριντζιά, Ν. Δαμιανόγλου, Α. Ξανθάκης, Σ. Πολιτάκη, και Β. Τσουκαλά, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2000-2001, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 5, 165 σελίδες, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.
- Ναλμπάντης, Ι., Ν. Μαμάσης, Δ. Κουτσογιάννης, και Α. Ευστρατιάδης, Τελική έκθεση, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 25, 135 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2004.