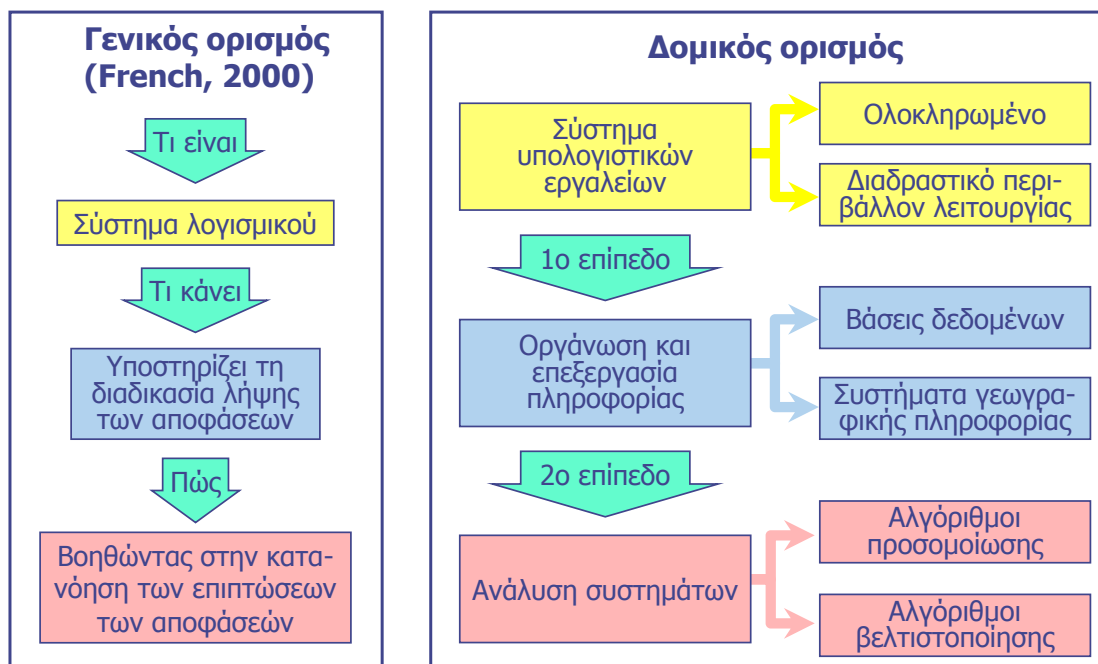


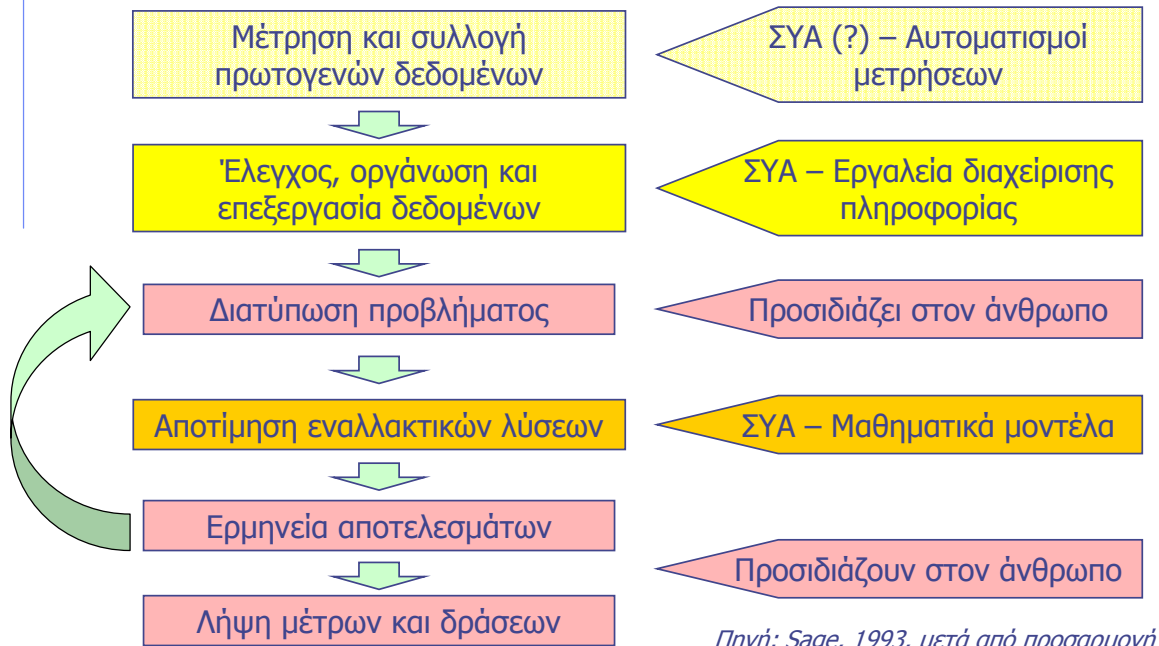
Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων

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

Ορισμοί των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (decision support systems, ΣΥΑ)



Δραστηριότητες στη λήψη αποφάσεων και υποστήριξη από τα ΣΥΑ



Τυπικές εφαρμογές ΣΥΑ στη διαχείριση των υδατικών πόρων

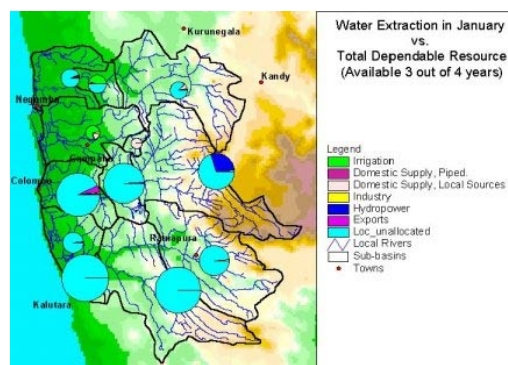
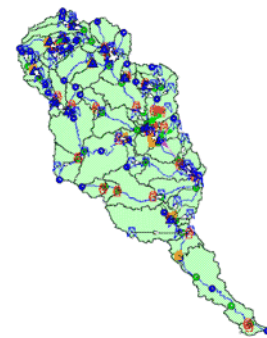
- ❑ Διαχείριση υδροσυστημάτων
- ❑ Έλεγχος λειτουργίας ταμιευτήρων (για την εξυπηρέτηση στόχων υδροδότησης, παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, ελέγχου ρύπανσης)
- ❑ Διαχείριση ποταμών (με χρήση υδραυλικών-υδροδυναμικών μοντέλων)
- ❑ Έλεγχος πλημμυρών και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (σε λεκάνες ποταμών αλλά και αστικές λεκάνες)
- ❑ Διαχείριση υδροφορέων και συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών
- ❑ Διαχείριση συστημάτων διανομής νερού (δίκτυα ανοιχτών και κλειστών αγωγών, αντλιοστάσια, κλπ.)
- ❑ Έλεγχος βλαβών ή διαρροών σε δίκτυα ύδρευσης
- ❑ Έλεγχος ρύπανσης σε λεκάνες απορροής και Δέλτα ποταμών
- ❑ Διαχείριση μη σημειακών πηγών ρύπανσης σε γεωργικές περιοχές

Χαρακτηριστικές πτυχές των ΣΥΑ

- Αναπτύσσονται από:
 - Πανεπιστήμια-ερευνητικά κέντρα
 - Εταιρείες λογισμικού
- Τα περισσότερα εμπορικά προϊόντα έχουν:
 - Υψηλό κόστος (συχνά συνδυάζεται με παροχή υπηρεσιών συμβούλου)
 - Κλειστό κώδικα (δεν επιδέχονται τροποποιήσεις στα μοντέλα)
- Απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για την:
 - Ανάπτυξη και λειτουργία
 - Συντήρηση και επέκταση
 - Συνεχή προσαρμογή στις νέες μεθοδολογικές και τεχνολογικές εξελίξεις
- Απαιτούν χρόνο για:
 - Εκμάθηση τεχνολογιών και εργαλείων
 - Συλλογή, τυποποίηση και οργάνωση δεδομένων
 - Προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις και πρακτικές

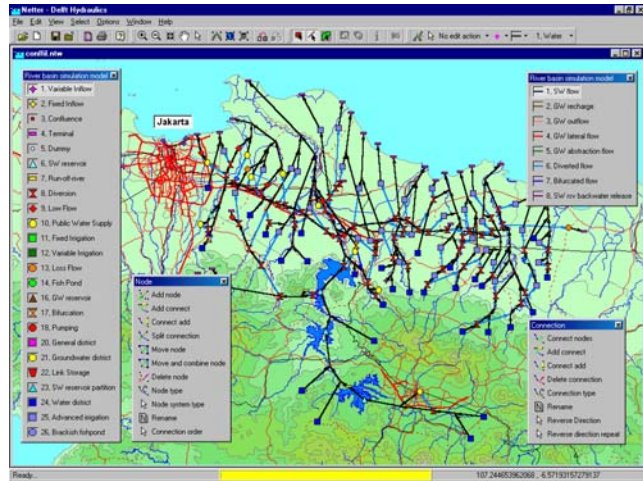
Το μοντέλο MIKE-BASIN (DHI Software)

- Αξιοποιεί τις δυνατότητες του ArcGIS, σε συνδυασμό με υδρολογικά μοντέλα, για την παροχή διαχειριστικών λύσεων στην κλίμακα λεκάνης απορροής.
- Υποστηρίζει πολλαπλές χρήσεις νερού και απλούς κανόνες διαχείρισής τους. Εφόσον υπάρχει έλλειμμα για την ικανοποίηση της συνολικής ζήτησης, τροφοδοτεί τους χρήστες κατά προτεραιότητα.
- Εναλλακτικά, χρησιμοποιεί κανόνες διαχείρισης των απολήψεων, που ορίζονται μέσω μακροεντολών σε γλώσσα Visual Basic.
- Με χρήση του ενσωματωμένου επιλυτή (solver) του Excel, παρέχεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης των κανόνων.
- Για συστήματα μεγάλων ποταμών, ενσωματώνει μοντέλα διόδευσης.



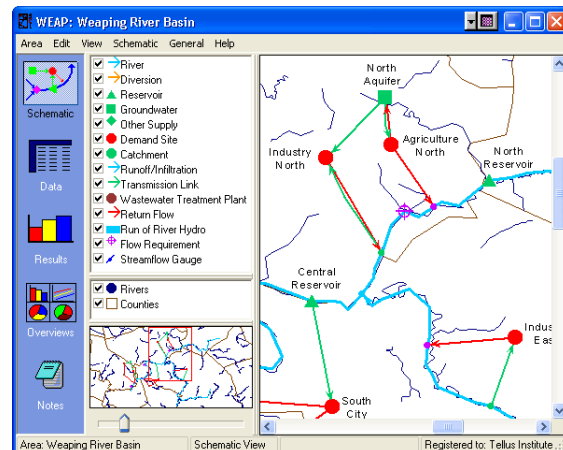
Το μοντέλο RIBASIM (Delft Hydraulics)

- ❑ Αναπαριστά τη συμπεριφορά λεκανών απορροής κάτω από διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες, εκτιμώντας και αξιολογώντας μέτρα σχετικά με τις υποδομές και τον τρόπο διαχείρισης και λειτουργίας του συστήματος.
- ❑ Συνδυάζεται με το λογισμικό HYMOS της ίδιας εταιρείας, που υποστηρίζει μια βάση δεδομένων, καθώς και με υδρολογικά (SACRAMENTO) και ποιοτικά μοντέλα (DELWAQ).
- ❑ Υποστηρίζει οποιοδήποτε χρονικό βήμα προσομοίωσης.
- ❑ Προσομοιώνει τις εκροές των βιομηχανιών, την αποστράγγιση από τη γεωργία, και την κατάντη επαναχρησιμοποίηση του νερού.
- ❑ Επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση της ποιότητας του νερού και των φερτών σε ποταμούς και ταμιευτήρες.



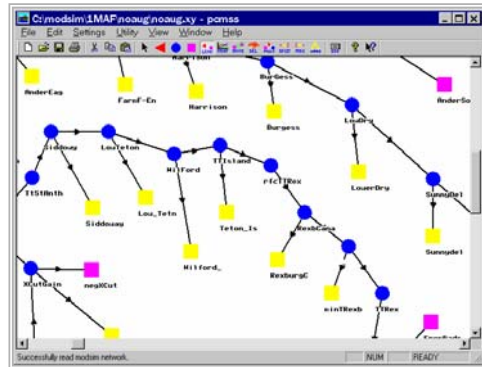
Το μοντέλο WEAP (Stockholm Environment Institute)

- ❑ Απλή σύλληψη μοντέλου, που απευθύνεται σε μη εξειδικευμένους χρήστες.
- ❑ Με τη βοήθεια εργαλείων συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας, δημιουργείται ένα σενάριο αναφοράς, στο οποίο βασίζονται υποθετικά (what if-) σενάρια. Τα τελευταία ξεκινούν από την ίδια χρονική στιγμή και μπορούν να διαφοροποιηθούν σε μια σειρά από δεδομένα εισόδου.
- ❑ Για κάθε χρήση νερού ορίζονται προτεραιότητες απόληψης από συγκεκριμένους υδατικούς πόρους, για τη συνολική ζήτηση ή για κάποιο ποσοστό της.
- ❑ Υπολογίζονται η προσφορά και ζήτηση νερού, η απορροή, η διήθηση, οι αρδευτικές ανάγκες, οι παροχές και τα αποθέματα, τα ρυπαντικά φορτία, οι ποιοτικές παράμετροι των ποταμών, κ.ά.



Το μοντέλο MODSIM (Colorado State University)

- Υποστηρίζει πολύ πληρέστερο μαθηματικό υπόβαθρο, σε σύγκριση με τα κοινά εμπορικά πακέτα, και είναι **ελεύθερα διαθέσιμο** στο Διαδίκτυο.
- Λειτουργεί σε μηνιαίο, εβδομαδιαίο ή ημερήσιο βήμα, με κατάλληλη προσαρμογή των δεδομένων εισόδου.
- Το μοντέλο προσομοίωσης, δηλαδή η κατανομή των ροών του υδροσυστήματος, διαμορφώνεται ως πρόβλημα δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού, εισάγοντας εικονικά κόστη στους κλάδους.
- Επιτρέπει διαχρονική μεταβολή των περιορισμών του συστήματος.
- Για την συνδυασμένη ανάλυση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων συνδέεται με το μοντέλο MODRSP (παραλλαγή του MODFLOW), ενώ για την προσομοίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, λειτουργεί σε συνδυασμό με το μοντέλο QUAL2E, που πραγματοποιεί μονοδιάστατη ανάλυση σε ποταμούς.



Χαρακτηριστικό παράδειγμα ΣΥΑ: Το λογισμικό Υδρονομέας

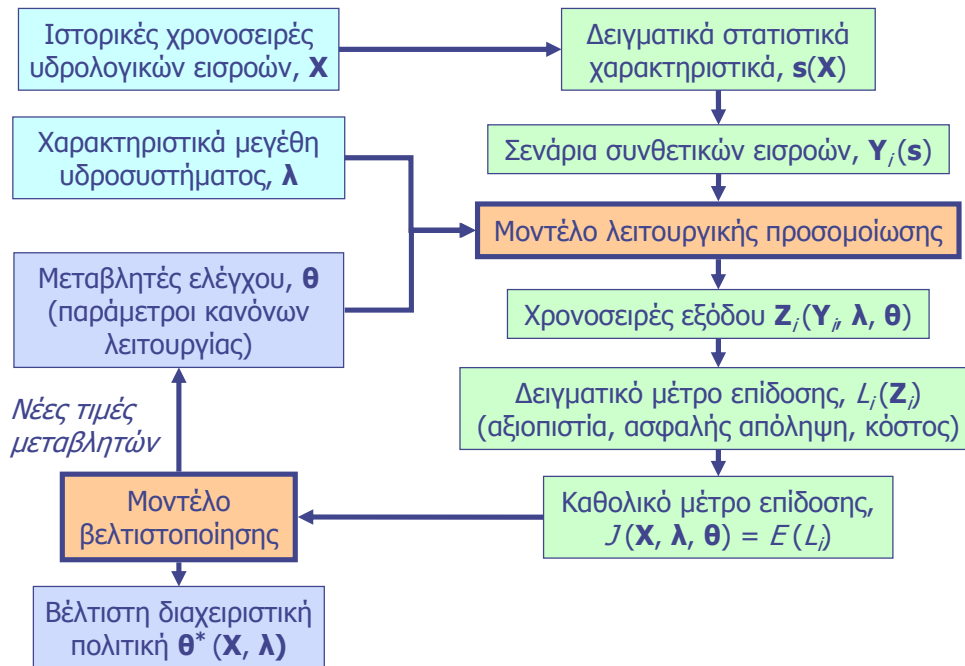
Τι είναι ο Υδρονομέας;

- ❑ Λογισμικό **προσομοίωσης** και **βελτιστοποίησης** υδροσυστημάτων κάθε κλίμακας και τοπολογίας, που αναπαριστά:
 - ❑ χαρακτηριστικά του **φυσικού συστήματος** (υδρολογικές εισροές)·
 - ❑ τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των **υδραυλικών έργων**·
 - ❑ **υδατικές ανάγκες** και **λειτουργικούς περιορισμούς**.
- ❑ Εντοπίζει την πλέον πρόσφορη πολιτική διαχείρισης, με τη μορφή **κανόνων λειτουργίας** των κύριων υδραυλικών έργων
- ❑ Απαντά σε ερωτήματα όπως:
 - ❑ Ποια είναι η **μακροπρόθεσμη (ασφαλής) απόδοση** ενός υδροσυστήματος;
 - ❑ Με ποιο επίπεδο **αξιοπιστίας** μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι και περιορισμοί στη χρήση νερού (ποσοτικοί, ενεργειακοί, περιβαλλοντικοί);
 - ❑ Ποιο είναι το **ελάχιστο κόστος** λειτουργίας του συστήματος;
 - ❑ Ποιο είναι το **ενεργειακό όφελος** του συστήματος από την παραγωγή πρωτεύουσας και δευτερεύουσας υδροηλεκτρικής ενέργειας;
 - ❑ Ποιες είναι οι επιπτώσεις **υδροκλιματικών αλλαγών** στο υδροσύστημα;
 - ❑ Ποιες είναι οι επιπτώσεις **αλλαγών ή έκτακτων περιστατικών** στο δίκτυο;

Ιστορικό του λογισμικού

- ❑ **1989-1991**: Η πρώτη εφαρμογή πληροφορικής (σε MS-DOS) στη Ελλάδα για διαχείριση υδατικών πόρων. Εκτίμηση ασφαλούς δυναμικού Μόρνου-Υλίκης και σχεδιασμός έργων Ευήνου μέσω στοχαστικής προσομοίωσης.
- ❑ **1993-1995**: Πιλοτικό μοντέλο διαχείρισης ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας (σε Windows 95/UNIX). Παραμετροποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων και βελτιστοποίηση παραμέτρων με γενετικούς αλγορίθμους.
- ❑ **1997-1999**: Λογισμικό γενικού σκοπού (σε Delphi), υποστηριζόμενο από μια σχεσιακή βάση δεδομένων (σε Access). Πιλοτική εφαρμογή στα υδροσυστήματα Αθήνας και Αχελώου-Θεσσαλίας. Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων και υδροηλεκτρικών έργων.
- ❑ **1999-2003**: Επιχειρησιακό εργαλείο διαχείρισης του υδροσυστήματος της ΕΥΔΑΠ, ενταγμένο σε ΣΥΑ. Βελτιστοποίηση δύο επιπέδων (γραμμική για κατανομή ροών δικτύου, μη γραμμική για έλεγχο αξιοπιστίας και κόστους). Λειτουργία μοντέλου υπό μορφή στοχαστικής πρόγνωσης.
- ❑ **2003-2007**: Ανάπτυξη λογισμικού εμπορικού προσανατολισμού, στα πλαίσια του υπολογιστικού συστήματος ΥΔΡΟΓΑΙΑ. Εφαρμογή στα υδροσυστήματα Δυτικής Θεσσαλίας και Καλύμνου.

Γενικό πλαίσιο παραμετροποίησης - στοχαστικής προσομοίωσης - βελτιστοποίησης



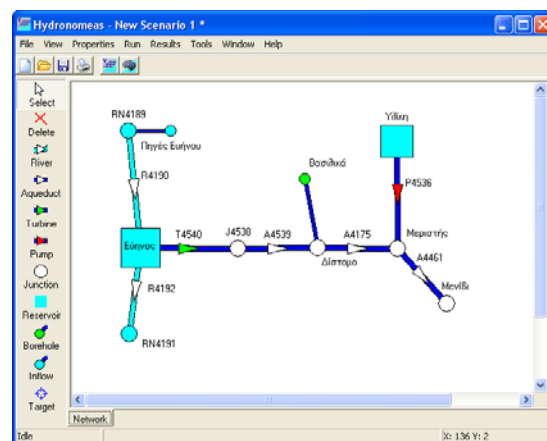
Σχηματοποίηση υδροσυστήματος

□ Συστατικά δικτύου

- Κόμβοι
- Ταμιευτήρες
- Υδατορεύματα
- Υδραγωγεία
- Θέσεις εισροής νερού
- Γεωτρήσεις
- Υδροστρόβιλοι
- Αντλιοστάσια

□ Ιδιότητες δικτύου

- Καμπύλες στάθμης-όγκου-επιφάνειας
- Υπόγειες διαφυγές ταμιευτήρων
- Καμπύλες ύψους πτώσης-παροχής
- Καμπύλες ύψους πτώσης-ειδικής ενέργειας
- Διαρροές υδραγωγείων
- Κόστη αντλιοστασίων και γεωτρήσεων

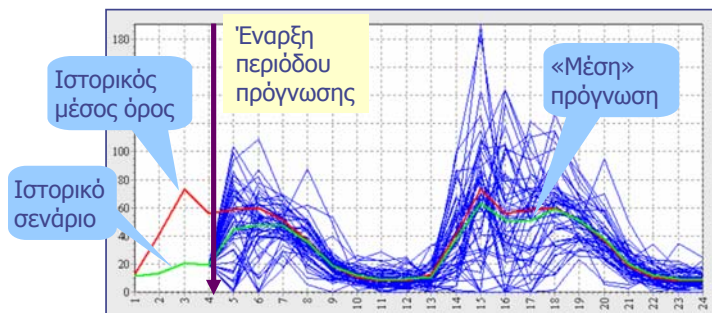


Τα χαρακτηριστικά του δικτύου (π.χ. παροχетеυτικότητα υδραγωγείων) μπορούν να μεταβάλλονται διαχρονικά, αποτυπώνοντας έτσι την πραγματική εξέλιξη ενός υδροσυστήματος.

Σενάρια πρόγνωσης εισροών

- Ιστορικά ή συνθετικά σενάρια, τα οποία αναφέρονται σε:
 - εισροές σε ταμιευτήρες (λόγω απορροής και βροχοπτώσης)·
 - απώλειες λόγω εξάτμισης από την επιφάνεια ταμιευτήρων·
 - σημειακές εισροές σε κόμβους του υδρογραφικού δικτύου.
- Τα συνθετικά σενάρια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
 - μεμονωμένα σενάρια (= μία χρονοσειρά για κάθε μεταβλητή), μεγάλου μήκους, για **προσομοίωση μόνιμης κατάστασης**·
 - πολλαπλά σενάρια πρόγνωσης, με κοινή ημερομηνία έναρξης, για **καταληκτική προσομοίωση**.

Η χρήση των συνθετικών χρονοσειρών επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας, με αποτίμηση όλων των δεδομένων εξόδου του μοντέλου με όρους πιθανοτήτων.



Διαμόρφωση στόχων και περιορισμών

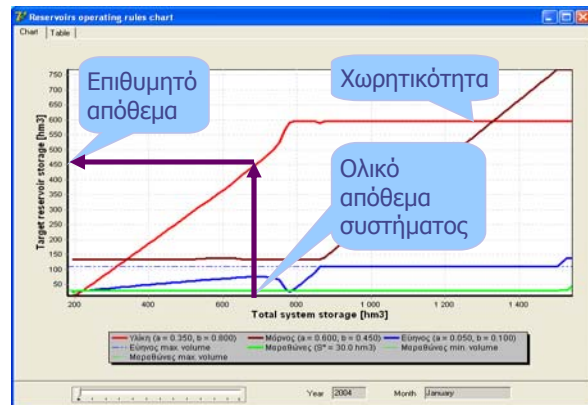
- Ορίζονται στόχοι και περιορισμοί από τις εξής κατηγορίες:
 - επιθυμητή απόληψη νερού για άρδευση, ύδρευση ή άλλη χρήση (αναφέρεται σε κόμβο ή ταμιευτήρα)·
 - αποφυγή απωλειών νερού λόγω υπερχείλισης ταμιευτήρα·
 - διατήρηση του αποθέματος ταμιευτήρα μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης επιθυμητής τιμής·
 - διατήρηση παροχής μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης επιθυμητής τιμής·
 - παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας σε στρόβιλο.
- Για κάθε στόχο και περιορισμό εισάγονται τα ακόλουθα μεγέθη:
 - μηνιαία τιμή στόχου (διαχρονικά ή εποχιακά μεταβαλλόμενη)·
 - επίπεδο προτεραιότητας (1 έως 10)·
 - ποσοστό επιστροφής του καταναλισκόμενου νερού σε συγκεκριμένο κόμβο του υδροσυστήματος (μόνο για καταναλωτικούς στόχους).

Δεν απαιτείται από τον χρήστη να προκαθορίσει τον τρόπο μεταφοράς νερού ή την κατανομή των υδατικών πόρων στο δίκτυο, για την ικανοποίηση των στόχων και περιορισμών. Η λειτουργία αυτή υλοποιείται από το **μοντέλο προσομοίωσης**.

Παραμετροποίηση κανόνων λειτουργίας

Κανόνες ταμιευτήρων:

- Καθορίζουν το επιθυμητό απόθεμα κάθε ταμιευτήρα, με βάση το ολικό αναμενόμενο απολήψιμο απόθεμα και τη συνολική ζήτηση.
- Εισάγονται μία ή δύο παράμετροι ανά ταμιευτήρα, που μπορεί να μεταβάλλονται εποχιακά.
- Οι κανόνες περιγράφονται μέσω εύχρηστων νομογραφημάτων.



Κανόνες γεωτρήσεων:

- Εισάγονται δύο παράμετροι ανά γεώτρηση, που εκφράζουν κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων (= ολικό απόθεμα / ολική χωρητικότητα).
- Αν το ποσοστό υπερβαίνει το άνω όριο, τότε απαγορεύεται η χρήση της γεώτρησης, ενώ αν είναι μικρότερο από το κάτω επιβάλλεται η χρήση της, ανεξαρτήτως κόστους.

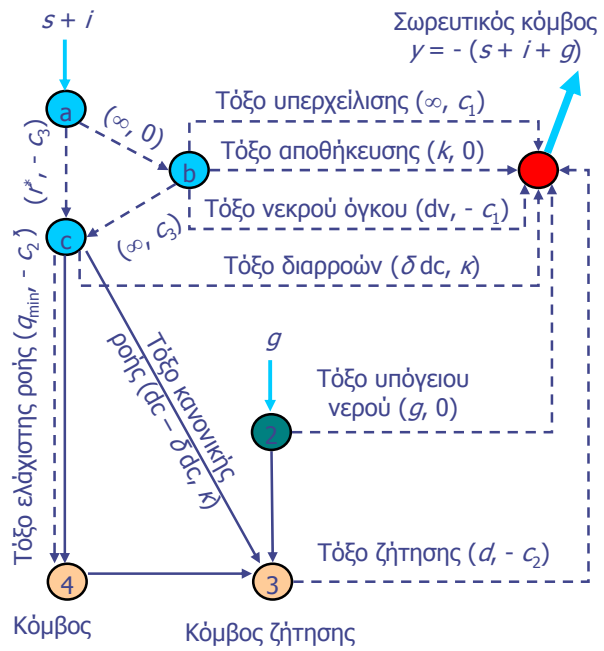
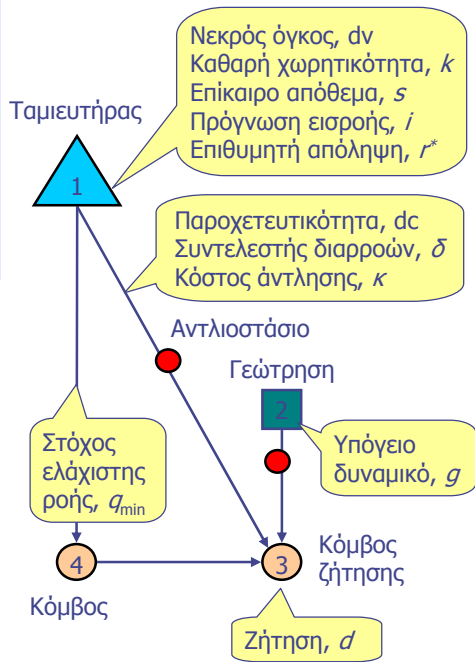
Κανόνες υδροστροβίλων:

- Εισάγεται μία παράμετρος, που εκφράζει την επιθυμητή παραγωγή ενέργειας (και συνακόλουθα την αντίστοιχη εκροή), ως ποσοστό την εγκατεστημένης ισχύος.

Τοποθέτηση του προβλήματος προσομοίωσης

- Η γνώση των επιθυμητών απολήψεων δεν επαρκεί για τον προσδιορισμό όλων των μεταβλητών του υδροσυστήματος, δηλαδή των πραγματικών απολήψεων και της κατανομής τους στο δίκτυο, εφόσον:
 - οι επιθυμητές απολήψεις αντικρούουν τους περιορισμούς στο κατάντη δικτύου·
 - προκύπτουν εναλλακτικές διαδρομές νερού, με διαφορετικό κόστος·
 - τίθεται ανάγκη συμβιβασμού πολλαπλών και αντικρουόμενων στόχων·
 - η συνολική ζήτηση νερού είναι μεγαλύτερη από την συνολική προσφορά.
- Για το χειρισμό του προβλήματος διαμορφώνεται ένα **μοντέλο διγράφου**, που ικανοποιεί ιεραρχικά τις ακόλουθες προϋποθέσεις:
 - αυστηρή τήρηση των φυσικών περιορισμών του συστήματος·
 - τήρηση των λειτουργικών στόχων, κατά σειρά προτεραιότητας·
 - τήρηση συνέπειας μεταξύ των πραγματικών και των επιθυμητών απολήψεων·
 - ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του νερού.
- Τα παραπάνω εξασφαλίζονται με τον ορισμό κατάλληλων τιμών **μεταφορικής ικανότητας** και **μοναδιαίου κόστους** στους κλάδους.
- Η επίλυση γίνεται βήμα-προς-βήμα, με ειδική εκδοχή της μεθόδου simplex.

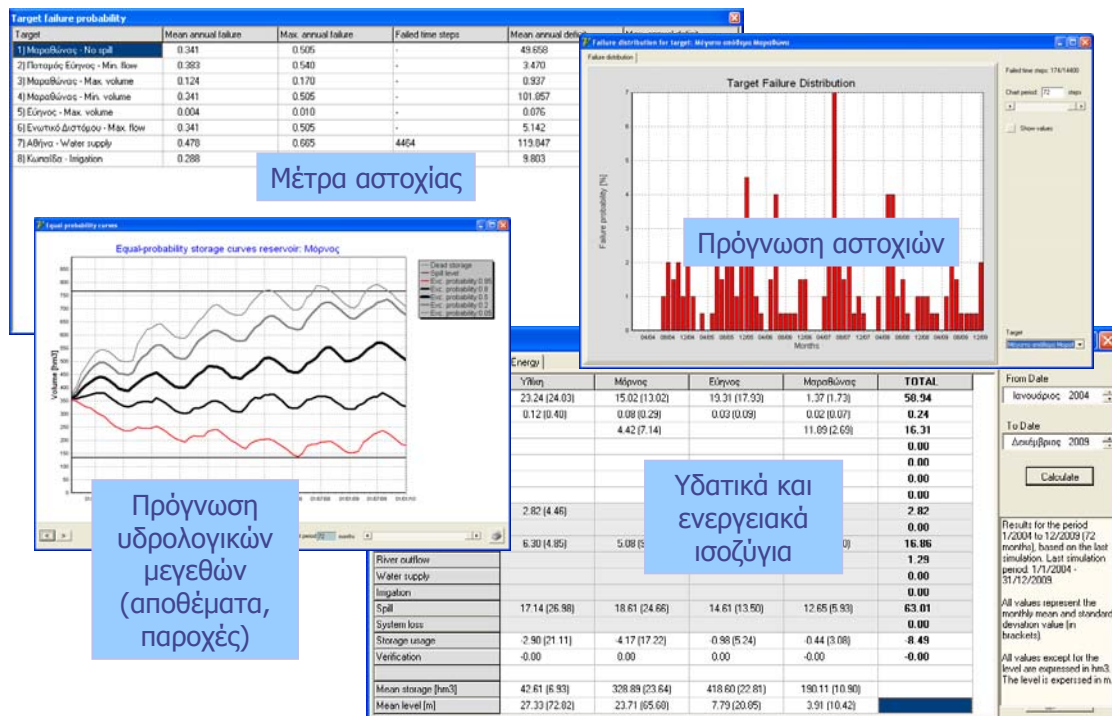
Παράδειγμα διαμόρφωσης μοντέλου διγράφου



Συνιστώσες πραγματικού συστήματος

Συνιστώσες μοντέλου διγράφου

Αποτελέσματα προσομοίωσης



Κριτήρια επίδοσης υδροσυστήματος

- **Ορισμός:** Αριθμητικοί δείκτες, μέσω των οποίων αξιολογείται η διαχειριστική πολιτική, όπως εκφράζεται από τους κανόνες λειτουργίας.
- **Μέτρα αστοχίας:**
 - μέση και μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας·
 - μέση μηνιαία πιθανότητα αστοχίας·
 - μέσο και μέγιστο ετήσιο έλλειμμα.
- **Οικονομικοί δείκτες:**
 - μέσο ετήσιο κόστος λειτουργίας υδραγωγείων, αντλιοστασίων και γεωτρήσεων·
 - μέσο ετήσιο ενεργειακό κόστος/όφελος.
- **Λοιποί δείκτες:**
 - μέση ετήσια κατανάλωση νερού·
 - μέση ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας·
 - μέσες ετήσιες απώλειες λόγω υπερχειλίσης.

Τα κριτήρια σταθμίζονται σε ένα καθολικό μέτρο επίδοσης (στοχική συνάρτηση), που χρησιμοποιούνται από το **μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης** για τον εντοπισμό των παραμέτρων που αντιπροσωπεύουν την πλέον πρόσφορη διαχειριστική πολιτική.

Τελικές επισημάνσεις

- **Πλεονεκτήματα:**
 - ολοκληρωμένο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων·
 - ευελιξία ως προς την σχηματοποίηση·
 - ρεαλιστική αναπαράσταση διεργασιών υδροσυστήματος·
 - περιγραφή διαχειριστικών πολιτικών με χρήση πρακτικών κανόνων (νομογραφήματα ταμιευτήρων, όρια ενεργοποίησης γεωτρήσεων)·
 - ποσοτικοποίηση υδρολογικής αβεβαιότητας και ρίσκου – στοχαστική πρόγνωση υδρολογικών και διαχειριστικών μεγεθών·
 - βελτιστοποίηση λειτουργίας υδροσυστήματος, έναντι πληθώρας κριτηρίων αξιολόγησης (ποσοτικών, πιθανοτικών, οικονομικών, ενεργειακών)·
 - φειδωλή παραμετροποίηση, που επιτρέπει εξοικονόμηση υπολογιστικού φόρτου.
- **Πεδία εφαρμογής:**
 - μελέτες στρατηγικής διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων·
 - επιχειρησιακά σχέδια λειτουργίας υδροσυστημάτων (για λήψη αποφάσεων σε βραχύ χρονικό ορίζοντα)·
 - προγραμματισμός νέων έργων (στην κλίμακα υδροσυστήματος)·
 - διερεύνηση σεναρίων έκτακτης λειτουργίας (π.χ. βλάβης).

Σύνοψη των ΣΥΑ διαχείρισης υδατικών πόρων

- ❑ Τα λογισμικά της «αγοράς» υλοποιούν απλά μαθηματικά μοντέλα υδατικού ισοζυγίου, που απευθύνονται σε χρήστες περιορισμένης εμπειρίας.
- ❑ Η οργάνωση και οπτικοποίηση των δεδομένων γίνεται με την υποστήριξη συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας.
- ❑ Η σχηματοποίηση του υδροσυστήματος ακολουθεί τη λογική ενός δικτύου κόμβων και κλάδων.
- ❑ Οι υδρολογικές εισοδοί είναι είτε ιστορικές χρονοσειρές είτε πρότυπα του τύπου μέσες μηνιαίες τιμές, κανονικά-ξηρά-υγρά σενάρια εισροών, κλπ.
- ❑ Η διαχείριση των απολήψεων και παροχών βασίζεται σε κανόνες λειτουργίας, που συνήθως προσδιορίζονται εμπειρικά.
- ❑ Η χρήση της βελτιστοποίησης είναι από μηδενική ως περιορισμένη.
- ❑ Τα μοντέλα διαχείρισης υδροσυστημάτων συνδυάζονται με αδρομερείς εκδοχές υφιστάμενων μοντέλων προσομοίωσης φυσικών διεργασιών (υδρολογικών, υδρογεωλογικών, ποιοτικών, υδραυλικών).
- ❑ Πληθώρα υδροσυστημάτων παγκοσμίως έχουν σχεδιαστεί ή λειτουργούν με την υποστήριξη τέτοιων μοντέλων.

Αναφορές και δικτυακοί τόποι

Γενικές βιβλιογραφικές αναφορές

- ❑ French, S., *Decision Analysis and Decision Support Systems*, 3rd draft edition, 2000.
- ❑ Sage, A. P., Associates systems for decision support, *Information and Decision Technologies*, 19, 165-184, 1993.
- ❑ Watkins, D. W., and D. C. McKinney, Recent developments associated with decision support systems in water resources, *U.S. National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1991-1994*, Reviews of Geophysics, Vol. 33 Supplement 1995, American Geophysical Union, 1995.

Δικτυακοί τόποι

- ❑ <http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKEBASIN.aspx>
- ❑ <http://www.wldelft.nl/soft/ribasim/int/index.html>
- ❑ <http://www.weap21.org/>
- ❑ <http://modsim.engr.colostate.edu/>
- ❑ <http://www.odysseusproject.gr/>

Αναφορές και δικτυακοί τόποι (2)

Βιβλιογραφικές αναφορές του λογισμικού Υδρονομίας

- 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., 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.
- 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., 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., Reliability concepts in reservoir design, *The Encyclopedia of Water*, edited by J. H. Lehr, New York, 2004a.
- Koutsoyiannis, D., Stochastic simulation of hydrosystems, *The Encyclopedia of Water*, edited by J. H. Lehr, New York, 2004b.
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, *Water Resources Research*, 33(9), 2165-2177, 1997.