



ΟΔΥΣΣΕΥΣ

NAMA

ΕΜΠ

ΔΕΥΑΚ

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ

MDS



Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006  
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ  
ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΟΔΥΣΣΕΥΣ

Τεύχος 18

Έκθεση Τελικού Ελέγχου

Αθήνα  
Δεκέμβριος  
2006

*Ι. Βαζίμας, Σ. Κοζάνης, Β. Graff, Γ. Καραβοκυρός*

## Συνεργαζόμενοι φορείς



NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων  
Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων



Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης  
Καρδίτσας



Αειφορική Δωδεκανήσου Α.Ε.



Άδωνις Κοντός και ΣΙΑ Ε.Ε. (Marathon Data Systems)

## Ενότητα Εργασίας 9

Ανάπτυξη λογισμικού - Υλοποίηση επιχειρησιακού  
προϊόντος

Τεύχος 18

Έκθεση τελικού ελέγχου

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η έκθεση τελικού ελέγχου εντάσσεται στην Ενότητα Εργασίας 9 με τίτλο "Ανάπτυξη λογισμικού – Υλοποίηση επιχειρησιακού προϊόντος" και αποτελείται από τρία μέρη: (α) τα αποτελέσματα της εγκατάστασης του πρωτοτύπου στους φορείς-χρήστες των περιοχών Καρδίτσας και Καλύμνου, (β) τα αποτελέσματα του beta-testing, δηλαδή της δοκιμής του λογισμικού ώστε να ελεγχθεί η ορθότητα, η πληρότητα, τα θέματα ασφάλειας και η ποιότητα του και (γ) τα αποτελέσματα του ελέγχου και αξιολόγησης του τελικού προϊόντος που διενήργησε η εταιρία SOGREAH.

## **ABSTRACT**

The final report is part of Work Package 9 with title "Software development – Implementation of operational product" and includes three parts: (a) the conclusions from the installation of the prototype for the organisations of Karditsa and Kalymnos; (b) beta testing results, including the trial of software so its correctness, plenitude, subjects of safety and quality are checked and (c) the results of the inspection and evaluation of the final product by SOGREAH.

**1.**

**Αποτελέσματα εγκατάστασης του πρωτοτύπου  
στους φορείς – χρήστες των περιοχών  
Καρδίτσας και Δωδεκανήσου**

# 1 Αποτελέσματα εγκατάστασης του πρωτοτύπου στους φορείς-χρήστες Καρδίτσας και Καλύμνου

---

## 1.1 Εισαγωγή

Οι ΔΕΥΑ Καρδίτσας και Καλύμνου συμμετείχαν στις πιλοτικές εφαρμογές του ερευνητικού προγράμματος. Μέρος του ερευνητικού προγράμματος ήταν η εγκατάσταση και προσαρμογή των λογισμικών του ερευνητικού προγράμματος (*Υδρογαία*) σε υπολογιστές των φορέων καθώς και η εκπαίδευση εξειδικευμένου προσωπικού στη χρήση τους. Οι εργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν σε Η/Υ που επελέγησαν από τους αρμόδιους φορείς-χρήστες των περιοχών Καρδίτσας και Καλύμνου, την περίοδο πραγματοποίησης των ημερίδων στις παραπάνω περιοχές.

## 1.2 Εγκατάσταση *Υδρογαίας* – Εκπαιδευτικό Σεμινάριο

Τα λογισμικά της *Υδρογαίας* παραδόθηκαν στους φορείς σε μορφή CD εγκατάστασης που περιελάμβανε την εγκατάσταση των λογισμικών, τις οδηγίες χρήσης τους στην ελληνική και αγγλική γλώσσα, τη θεωρητική τεκμηρίωση των μοντέλων και αρχεία επίδειξης (demo) των μοντέλων της *Υδρογαίας*.

Έγινε πλήρης εγκατάσταση των λογισμικών σε επιλεγμένους υπολογιστές και διαπιστώθηκε η καλή λειτουργία όλων των λογισμικών που απαρτίζουν το πακέτο. Ορισμένες παρατηρήσεις των φορέων-χρηστών που αφορούσαν την διαδικασία εγκατάστασης καταγράφηκαν για ανάλυση και πιθανή αξιοποίησή τους στην μελλοντική βελτίωση του προϊόντος.

Η εγκατάσταση του πληροφοριακού συστήματος συνοδεύτηκε από 2ήμερο σεμινάριο εκπαίδευσης στελεχών των αντίστοιχων ΔΕΥΑ, με αντικείμενο την εκπαίδευση τους στη χρήση του λογισμικού, ώστε αυτό να είναι αξιοποιήσιμο από τις Υπηρεσίες και μετά το πέρας του έργου.

Το πρόγραμμα του σεμιναρίου περιελάμβανε:

- Εγκατάσταση έκδοσης της *Υδρογαίας* σε Η/Υ των ΔΕΥΑ
- Οργάνωση αρχείων υδρολογικών δεδομένων στους Η/Υ των ΔΕΥΑ
- Εισαγωγή στη μαθηματική προσομοίωση συστημάτων υδατικών πόρων
- Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
- Συνοπτική Παρουσίαση του Λογισμικού *Υδρογαία*
- Εκπαίδευση στη χρήση των υδρολογικών μοντέλων της *Υδρογαίας* (*Υδρογνώμων, Πυθία, Ομβρος, Ζυγός, Κασταλία, Υδρόγειος*)
- Εκπαίδευση στη χρήση των ποιοτικών μοντέλων της *Υδρογαίας* (*Ρύπος, Ηριδανός, Λέρνη, Αλς*)
- Εκπαίδευση στη χρήση των μοντέλων διαχείρισης της *Υδρογαίας* (*Υδρονομέας, Ερμής, Δίψος*)

- Προβολή εκπαιδευτικών demo μοντέλων της Υδρογαίας

### 1.3 Αποτελέσματα – συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα εγκατάστασης του πρωτοτύπου στους φορείς-χρήστες Καρδίτσας και Καλύμνου είναι τα ακόλουθα:

- Η διαδικασία εγκατάστασης της *Υδρογαίας* στους φορείς-χρήστες Καρδίτσας και Καλύμνου, βοήθησε στον έλεγχο του τελικού προϊόντος και στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος.
- Τα προβλήματα που ανέκυψαν κατά την εγκατάσταση και πιθανές βελτιώσεις της διαδικασίας καταγράφηκαν και μεταφέρθηκαν στην συνέχεια στο διαδικτυακό λογισμικό διαχείρισης προβλημάτων (Bugzilla) που χρησιμοποιείται από την ομάδα ανάπτυξης λογισμικού του ερευνητικού έργου.
- Συνολικά, κατά την χρήση του πρωτοτύπου στους φορείς-χρήστες Καρδίτσας και Καλύμνου, καταγράφηκαν ορισμένες προτάσεις βελτίωσης στη χρήση των λογισμικών και ελάχιστα σφάλματα, τα οποία και επιλύθηκαν ή καταγράφηκαν για περαιτέρω διερεύνηση. Τα περισσότερα από αυτά αφορούσαν κοινά προβλήματα σχετικά με τη διεπιφάνεια χρήστη (user interface), ενώ σε μια περίπτωση παρατηρήθηκε αστάθεια το σύστημα (access violation των Windows) και διακοπή λειτουργίας του λογισμικού.
- Λόγω της ευχρηστίας, της ξεκάθαρης δομής και της υποστήριξης που παρέχει το ίδιο το λογισμικό, όλες οι φάσεις από την εγκατάσταση του λογισμικού, την εκτέλεση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκαν απρόσκοπτα.
- Μετά και από τη διεξαγωγή του σεμιναρίου εκπαίδευσης στελεχών των ΔΕΥΑ Καρδίτσας και Καλύμνου, οι φορείς-χρήστες των περιοχών εξοικειώθηκαν με τα λογισμικά και τις λειτουργίες τους και θα είναι σε θέση να το αξιοποιήσουν και μετά το πέρας του έργου.
- Τέλος με αφορμή την εγκατάσταση των λογισμικών έγινε ανταλλαγή απόψεων για θέματα που απασχολούν τους τοπικούς φορείς διαχείρισης υδατικών πόρων και τον τρόπο με τον οποίο τα προβλήματα που ανακύπτουν μπορούν να αντιμετωπιστούν.

**2.**

**Αποτελέσματα του beta-testing**

## 2 Beta testing

---

### 2.1 Εισαγωγή

Η δοκιμή του λογισμικού (Software testing) είναι η διαδικασία που εφαρμόζεται για να ελεγχθεί η ορθότητα, η πληρότητα, τα θέματα ασφάλειας και η ποιότητα εν γένει του λογισμικού που έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Οι τυπικές διαδικασίες για τον έλεγχο του λογισμικού εφαρμόζονται μεταξύ άλλων για την γενικότερη διασφάλιση της ποιότητας κατά την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων.

### 2.2 Επίπεδα ελέγχων

Σύμφωνα με τις γενικές γραμμές της τεχνολογίας λογισμικού, εφαρμόζονται τέσσερα επίπεδα ελέγχων κατά την διαδικασία παραγωγής λογισμικού:

- **Δοκιμές υπομονάδων λογισμικού (Unit testing):** Οι δοκιμές γίνονται επί μεμονωμένων αλγορίθμων με μεθοδολογίες που δεν απαιτούν αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Κατά τον έλεγχο αυτόν παρέχονται τα δεδομένα ενός προβλήματος καθώς και η λύση του και έτσι δοκιμάζεται αν ο αλγόριθμος οδηγεί σωστά στα αναμενόμενα αποτελέσματα.
- **Δοκιμές ολοκλήρωσης (Integration testing):** Δοκιμές που γίνονται επί των μονάδων αλληλεπίδρασης με τους χρήστες.
- **Δοκιμές συστημάτων (System testing tests):** Ελέγχονται οι μονάδες αλληλεπίδρασης (user interface) σε ολοκλήρωση με των υπομονάδων λογισμικού ως προς την ικανοποίηση των απαιτήσεων του σχεδιασμού.
- **Δοκιμές αποδοχής από τους χρήστες:** Το τελευταίο στάδιο της ανάπτυξης όπου εντοπίζονται λάθη που προέκυψαν ενδεχομένως από λάθος σχεδιασμό:
  - **Δοκιμές «Άλφα» (Alpha testing):** Οι δοκιμές «Άλφα» γίνονται συνήθως στον χώρο της εταιρείας που αναπτύσσει το λογισμικό, συνήθως από ομάδες προγραμματιστών.
  - **Δοκιμές «Βήτα» (Beta testing):** Οι δοκιμές «Βήτα» γίνονται κατόπιν επιλογής ενός τυχαίου αλλά και αντιπροσωπευτικού δείγματος χρηστών μετά την κατάρτιση ενός προγράμματος “Beta testing”. Το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει την διανομή μίας ειδικής έκδοσης του λογισμικού (“Beta version”), εκτός του χώρου της εταιρείας. Οι χρήστες που συμμετέχουν στο πρόγραμμα δοκιμών «Βήτα», αναφέρουν τα σφάλματα λογισμικού “bugs” τα οποία καταγράφονται σε μία βάση δεδομένων, αξιολογούνται κατάλληλα και ανατίθενται τέλος σε προγραμματιστές για την απάλειψή τους.

Τα τρία πρώτα επίπεδα δοκιμών και ελέγχων καθώς και οι δοκιμές «Άλφα» για την παραγωγή του λογισμικού της «Υδρογαίας» έχουν πραγματοποιηθεί από τις ομάδες ανάπτυξης του λογισμικού. Στην παρούσα έκθεση αναλύονται οι διαδικασίες και τα αποτελέσματα από τις δοκιμές «Βήτα» για το λογισμικό «Υδρογαία».



## 2.3 Υποδομή

Η υποδομή ανάπτυξης λογισμικού που καταρτίστηκε διευκολύνει τόσο τα τέσσερα επίπεδα ελέγχων που παρουσιάστηκαν καθώς όσο την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των ελέγχων «Βήτα». Μεταξύ άλλων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαλεία:

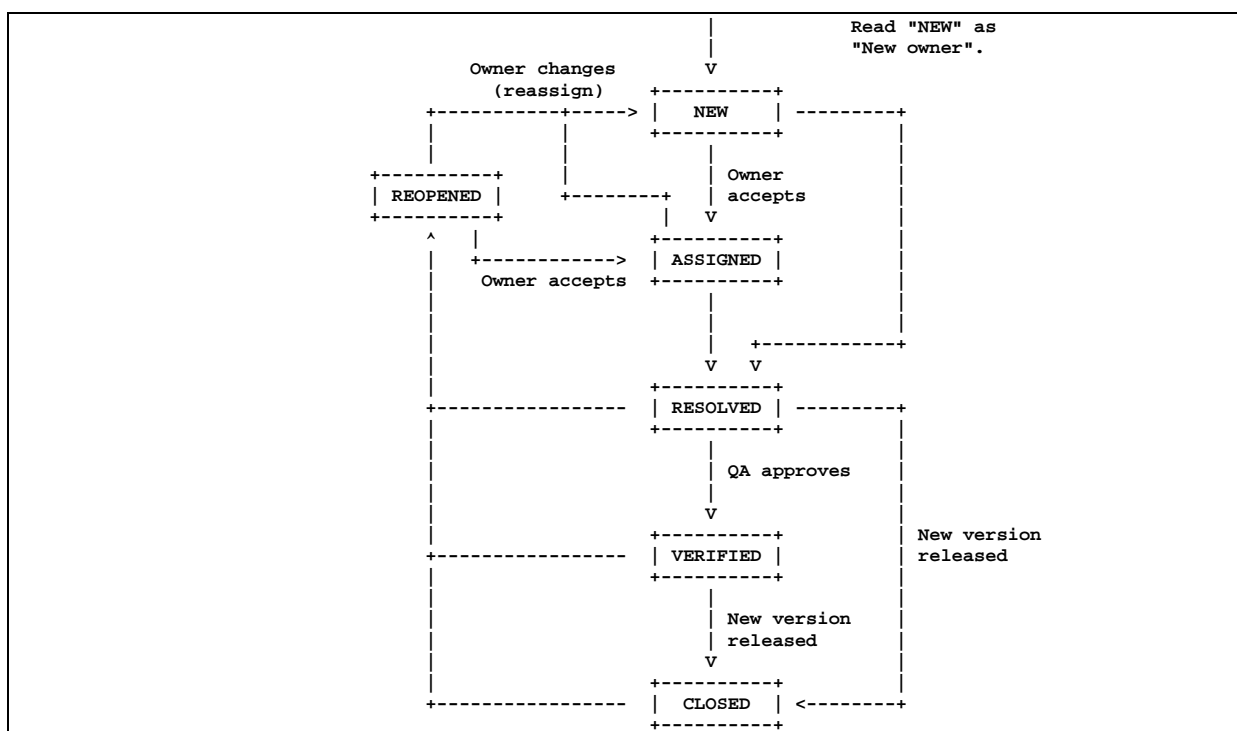
- **Εργαλεία ανάπτυξης λογισμικού** (Γλώσσα προγραμματισμού). Επιλέχθηκε το περιβάλλον *Delphi 7* της *Borland* σε συνδυασμό με: *Zeos Components* για την επικοινωνία με την βάση δεδομένων, *Rave Reports* για την αυτόματη δημιουργία εκθέσεων.
- **Εργαλεία ανάπτυξης της βάσης δεδομένων**. Ως σύστημα βάσης δεδομένων χρησιμοποιείται η *PostgreSQL* έκδοση 8. Η ανάπτυξη του σχήματος της βάσης πραγματοποιείται με το εργαλείο σχεδιασμού: “*Power Designer*” έκδοση 11.1.
- **Εργαλεία συγγραφής οδηγιών χρήσης**. Επιλέχθηκε η εφαρμογή “*Help and Manual*” έκδοση 4. Το συγκεκριμένο εργαλείο παράγει τόσο τις οδηγίες χρήσης για το λογισμικό (Help files) όσο και τον τυπωμένο οδηγό χρήσης (User manual).
- **Εργαλεία Profiling**. Επιλέχθηκε το λογισμικό *AQTime* έκδοση 4, το οποίο παρέχει δυνατότητες όπως Profiling για την μέτρηση των επιδόσεων των λογισμικών, έλεγχος διαχείρισης της μνήμης για την εύρεση Memory leaks, κλπ.
- **Σύστημα παρακολούθησης και καταχώρησης τρεχουσών εκδόσεων** (Concurrent Versions System). Επιλέχθηκε το εργαλείο “*CVS*” το οποίο είναι εγκατεστημένο σε κεντρικό server. Ο κώδικας του λογισμικού αποθηκεύεται κεντρικά στον CVS server, οι προγραμματιστές ενημερώνουν τον κώδικα προσθέτοντας τις επίκαιρες εκδόσεις. Το σύστημα βοηθάει στην αντιμετώπιση ταυτοχρόνων επικαιροποιήσεων από διαφορετικούς προγραμματιστές στις ίδιες μονάδες λογισμικού και την εύρεση των διαφορών μεταξύ των εκδόσεων. Οι προγραμματιστές μπορούν να ανατρέξουν σε παλιότερες εκδόσεις του κώδικα και να βρουν προσθήκες που προκάλεσαν δυσλειτουργίες.
- **Σύστημα παρακολούθησης και καταχώρησης σφαλμάτων λογισμικού** (Bug tracking system). Επιλέχθηκε το εργαλείο “*Bugzilla*”. Ο bugzilla είναι εγκατεστημένος σε κεντρικό server και είναι προσβάσιμος μέσω της ιστοσελίδας: <https://bugzilla.itia.ntua.gr/>  
Το σύστημα διευκολύνει την καταχώρηση bugs ανά προϊόντα και μονάδες, την ανάθεση σε προγραμματιστές και την παρακολούθηση των σταδίων επίλυσής των. Το σύστημα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το εργαλείο CVS. Οι προγραμματιστές μπορούν να πραγματοποιήσουν γενικά ερωτήματα στην βάση δεδομένων του bugzilla να διατηρήσουν λίστες με τα bugs που τους αναλογούν κλπ.
- **Σύστημα συνεργασίας ομάδων** (Group ware). Χρησιμοποιείται ο παγκόσμιος ιστός και συγκεκριμένα μία εφαρμογή τύπου “wiki”. Η πρόσβαση στο wiki γίνεται μέσω της ιστοσελίδας <http://www.itia.ntua.gr/twiki/bin/view/Main/WebHome>  
Ειδικές πληροφορίες μάλιστα για το ερευνητικό πρόγραμμα «Οδυσσεύς» από το οποίο προέκυψε το λογισμικό «Υδρογαία» βρίσκονται εδώ: <http://www.itia.ntua.gr/twiki/bin/viewauth/Odysseus/WebHome> (η πρόσβαση είναι ελεγχόμενη με ειδικούς λογαριασμούς χρήστη).  
Η ομάδα των προγραμματιστών και των υπευθύνων (managers) εν γένει για το ερευνητικό πρόγραμμα επικοινωνεί μέσω των ιστοσελίδων, γράφει προδιαγραφές και καταχωρεί τα προσχέδια των εκθέσεων (reports) στο εργαλείο wiki.

## 2.4 Μεθοδολογία

Η διενέργεια των δοκιμών «Βήτα» βασίζεται αφενός στην γενικότερη μεθοδολογία παραγωγής λογισμικού και αφετέρου δε στην κατάρτιση του κατάλληλου προγράμματος beta testing.

### 2.4.1 Αντιμετώπιση μεμονωμένων bug

Η αντιμετώπιση μεμονωμένων bug περνάει από διάφορα στάδια. Κρίσιμα στάδια θεωρούνται η ανακάλυψη του bug (State: new), η ανάθεση του bug (State: assigned), η επίλυσή του (State: resolved) και το οριστικό κλείσιμο (State: closed). Ως χρονική στιγμή επίλυσης ενός bug (resolved) θεωρείται αυτή της μεταφοράς των αλλαγών στον κώδικα στο σύστημα CVS. Ο κύκλος ζωής εν γένει ενός bug λήγει με την παραγωγή νέας έκδοσης λογισμικού (New version released). Για τον σκοπό αυτό τα bugs ομαδοποιούνται με την χρήση κάποιων “Tracking bugs” τα οποία πρέπει να κλείνουν οριστικά πριν τις νέες εκδόσεις. Ο κύκλος ζωής ενός bug μπορεί να απεικονιστεί στο παρακάτω σχήμα τύπου “State transition”:



Σχήμα 2.1: State transition του κύκλου ζωής ενός bug

### 2.4.2 Κατάρτιση προγράμματος beta testing

Το πρόγραμμα beta testing περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια

1. Κατάρτιση δειγμάτων (ομάδων) χρηστών. Τα δείγματα των χρηστών που συμμετείχαν στο πρόγραμμα παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί.
2. Κατασκευή εκδόσεων λογισμικού που χαρακτηρίζονται ως beta. Οι εκδόσεις αυτές έχουν περάσει τα τρία πρώτα επίπεδα ελέγχων καθώς και το στάδιο των δοκιμών «Άλφα». Οι εκδόσεις αυτές έχουν έναν περιορισμένο χρόνο ζωής, συνήθως 3-5 μήνες από την ημερομηνία της έκδοσης. Οι εκδόσεις εγγράφονται σε οπτικά μέσα (CD-ROMs) και εγκαθίστανται με λογισμικό εγκατάστασης.

3. Οι χρήστες εγκαθιστούν μόνοι τους την εφαρμογή χωρίς τεχνική υποστήριξη. Τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την εγκατάσταση καταγράφονται και μεταφέρονται στην συνέχεια στον bugzilla στο unit «εγκατάσταση».
4. Η καταγραφή των bug των λογισμικών γίνεται σε ειδικές φόρμες αναφοράς προβλημάτων – σφαλμάτων λογισμικού. Οι φόρμες αυτές τελικά καταχωρούνται στο σύστημα του bugzilla από εκπαιδευμένο προσωπικό. Υπόδειγμα της φόρμας αυτής περιλαμβάνεται σε παράρτημα. Ο bugzilla διευκολύνει την διαδικασία καταγραφής ελέγχοντας σε αρχικό στάδιο αν το πρόβλημα έχει ήδη καταγραφεί.

## 2.5 Ομάδες δοκιμών

Δύο υπερομάδες σχηματίστηκαν για την διενέργεια των δοκιμών:

- Η πρώτη υπερομάδα αποτελείται από τους εταίρους του έργου. Η καταγραφή των προβλημάτων γίνεται συστηματικά με χρήση των φορμών καταγραφής προβλημάτων. Οι επιμέρους ομάδες έχουν επιστημονικό υπόβαθρο και εμπειρία στις μελέτες διαχείρισης υδατικών πόρων – το αντικείμενο δηλαδή του λογισμικού της «Υδρογαίας».
- Η δεύτερη υπερομάδα αφορά τυχαίους χρήστες. Οι χρήστες αυτοί έλαβαν δοκιμαστικές εκδόσεις του λογισμικού με ημερομηνία λήξης από επιστημονικές συναντήσεις, ημερίδες και διημερίδες όπου παρουσιάστηκε η «Υδρογαία». Η επικοινωνία των χρηστών με την ομάδα παραγωγής του λογισμικού γίνεται με e-mail. Η καταγραφή των προβλημάτων σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι συστηματική, παρόλα αυτά εντοπίζονται μεμονωμένα σοβαρά bugs και καταγράφονται γενικότερες εντυπώσεις για το λογισμικό καθώς και προτάσεις για βελτιώσεις / ελλείψεις, κλπ.

Η βασική υπερομάδα αποτελείται από τις παρακάτω επιμέρους ομάδες:

1. **NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.:** Από τις επιμέρους ομάδες που ασχολούνται με την διαχείριση των υδατικών πόρων και με υδραυλικά έργα. Δοκιμάστηκε όλη η γκάμα λογισμικών. Εντοπίστηκαν αρκετά bugs σε διάφορα λογισμικά και αφού καταγράφηκαν, επιλύθηκαν.
2. **Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων:** Τα λογισμικά επαληθεύτηκαν και σε επίπεδο ορθότητας αποτελεσμάτων. Τμήματα λογισμικών (Ζυγός – Υδρογνώμων) τροποποιήθηκαν ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν στην εκπαίδευση από φοιτητές. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά, δεν δημιουργήθηκαν προβλήματα στην χρήση των λογισμικών.
3. **ΔΕΥΑ Καρδίτσας:** Η ΔΕΥΑ Καρδίτσας συμμετέχει στις πιλοτικές εφαρμογές του ερευνητικού προγράμματος. Έγινε πλήρη εγκατάσταση των λογισμικών και έτσι ελέγχθηκε το λογισμικό εγκατάστασης. Δόθηκε βάρος στα λογισμικά «Δίψος», «Υδρόγειος» και «Υδρονομέας». Ελάχιστα bugs καταγράφηκαν και επιλύθηκαν.
4. **ΔΕΥΑ Καλύμνου:** Η ΔΕΥΑ Καλύμνου συμμετέχει στις πιλοτικές εφαρμογές του ερευνητικού προγράμματος. Έγινε πλήρη εγκατάσταση των λογισμικών και έτσι ελέγχθηκε το λογισμικό εγκατάστασης. Δόθηκε βάρος στα λογισμικά «Δίψος», «Αλς» και «Υδρονομέας». Ελάχιστα bugs καταγράφηκαν και επιλύθηκαν.
5. **ΕΥΔΑΠ:** Εφαρμογές των λογισμικών «Υδρογνώμων», «Υδρόγειος» και «Υδρονομέας» στην περίπτωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Παρουσιάστηκαν δυσλειτουργίες στα συστήματα κατάρτισης ισοζυγίων του λογισμικού «Υδρογνώμων». Οι δυσλειτουργίες αυτές αντιμετωπίστηκαν.

6. **Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου:** Εφαρμογή του λογισμικού «Υδρογνώμων» για την αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων από μετεωρολογικούς σταθμούς. Παρουσιάστηκαν bugs στην οπτικοποίηση των χρονοσειρών σε πίνακες. Τα bugs καταγράφηκαν και επιλύθηκαν.
7. **Υδροεξυγιαντική Α.Σ. Λαζαρίδης & ΣΙΑ Ε.Ε.:** Εφαρμογή του λογισμικού «Υδρογνώμων» στην διαχειριστική μελέτη του ΥΠΑΝ για τα νησιά του Αιγαίου. Εντοπίστηκαν διάφορα bug στα στάδια οπτικοποίησης των δεδομένων, γραμμικής παλινδρόμησης χρονοσειρών και στο υποσύστημα «Ζυγός». Τα bugs αυτά έχουν επιλυθεί.

## **2.6 Αποτελέσματα – συμπεράσματα**

Συνολικά κατά την διαδικασία του beta testing καταγράφηκαν περί τα 200 bugs. Από τα 200 bugs έχει επιλυθεί κατά τον χρόνο συγγραφής αυτής της έκθεσης ένα ποσοστό 95%, το υπόλοιπο 5% θα έχει επιλυθεί με την τελική παράδοση του έργου και με την παραγωγή των CD.

Το 65% των bugs αφορά κοινά προβλήματα σχετικά με το περιβάλλον χρήστη (user interface). Το 30% αφορά προβλήματα που μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια το σύστημα (access violation των windows), διακοπή λειτουργίας του λογισμικού κλπ. Ένα 5% αφορά σοβαρά προβλήματα σε αλγορίθμους και υπολογιστικές διαδικασίες, στα οποία δόθηκε ιδιαίτερη προτεραιότητα και είναι απολύτως ελεγχόμενα.

Εν τέλει η διαδικασία beta testing βοήθησε στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος και στην διασφάλιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Παράρτημα 1: υπόδειγμα φόρμας αναφοράς bug

Υδρογαία: Αναφορά σφαλμάτων λογισμικού (bug report)

Όνομα χρήστη:	
Ημ/α καταχώρησης:	
Λειτουργικό σύστημα:	

Λογισμικό στο οποίο παρουσιάστηκε το πρόβλημα:

- Υδρογνώμων     Υδρονομέας     Υδρόγειος     Δίψος     Ερμής     Άλς  
 Ρύπος     Λέρνη     Ηριδανός     Λογισμικό εγκατάστασης

Αριθμός έκδοσης λογισμικού:

Σύντομη περιγραφή του προβλήματος:

Εκτεταμένη περιγραφή του προβλήματος:

Στάδια (βήματα) για την αναπαραγωγή του προβλήματος:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Δευτερογενή προβλήματα που προέκυψαν:

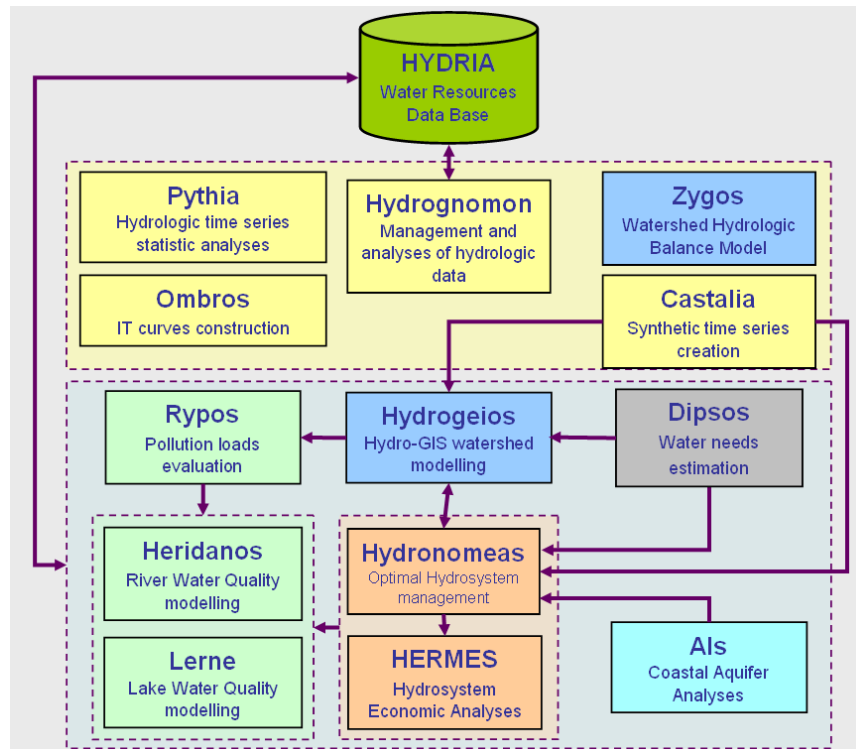
Δώστε μία βαθμολογία:

Σοβαρότητα προβλήματος (5 κρίσιμο)     1     2     3     4     5

Προτεραιότητα για την επίλυση (5: υψηλή)     1     2     3     4     5

**3.**

**Αποτελέσματα της αξιολόγησης και ελέγχου του  
τελικού προϊόντος που διενήργησε η  
SOGREAH.**



# INTEGRATED MANAGEMENT OF HYDROSYSTEMS IN CONJUNCTION WITH AN ADVANCED INFORMATION SYSTEM : ODYSSEUS PROJECT

## FINAL REPORT

JANUARY – 2007  
N°1 74 0462

---

## SOMMAIRE

---

SOMMAIRE .....	2
AVANT-PROPOS.....	3
INTEGRATED MANAGEMENT OF HYDROSYSTEMS IN CONJUNCTION WITH AN ADVANCED INFORMATION SYSTEM (ODYSSEUS).....	4
<b>1. LA CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS.....</b>	<b>5</b>
1.1. PRESENTATION DU GROUPE SOGREAH ET DE SES ACTIVITES DE MODELISATION ET DE RECHERCHE .....	5
1.2. CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS .....	7
<b>2. PRESENTATION GENERALE DES OUTILS DE MODELISATION : .....</b>	<b>8</b>
2.1. VUE D'ENSEMBLE DES OUTILS ET DES LIENS EXISTANT ENTRE EUX.....	8
2.2. CONTEXTE ADMINISTRATIF DU PROJET .....	9
2.3. VISITE DE SOGREAH A NAMA .....	10
<b>3. PRESENTATION DETAILLEE DES OUTILS ET ANALYSE DE LEUR UTILISATION EN SITUATIONS REELLES .....</b>	<b>11</b>
3.1. REMARQUES GENERALES .....	11
3.2. MODELE DE DEFINITION DES BESOINS : DIPSOS.....	12
3.3. MODULE HYDROLOGIQUE : HYDROGNOMON .....	13
3.4. MODULE EAU SOUTERRAINE : HYDROGEIOS.....	16
3.5. MODULE DE GESTION : HYDRONOMEAS .....	18
3.6. MODELES DE QUALITE : RYPOS, HERIDANOS, LERNE.....	20
3.7. MODELE DE CALCUL DES INTRUSIONS SALINES : ALS.....	21
3.8. MODELE ECONOMIQUE : HERMES .....	22
<b>4. COMPARAISON AVEC QUELQUES OUTILS CONCURRENTS .....</b>	<b>23</b>
4.1. PRESENTATION DE PLUSIEURS OUTILS CONCURRENTS DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU.....	23
4.2. PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE OUTIL .....	23
4.3. COMMERCIALISATION .....	24
<b>5. CONCLUSIONS .....</b>	<b>26</b>
5.1. UN PROJET AMBITIEUX ET PLEIN D'AVENIR .....	26
5.2. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENTS FUTURS .....	27
<b>ANNEXE 1 : LISTE DES PUBLICATIONS (HORS EGU 2005).....</b>	<b>30</b>
<b>ANNEXE 2 : PRESENTATION GENERALE DES PRINCIPAUX OUTILS CONCURRENTS .....</b>	<b>33</b>



---

## AVANT-PROPOS

---

Dans le cadre de la mission d'expertise de SOGREAH, une visite à Athènes a été organisée du 20 au 24 novembre 2006. Cette visite a été l'occasion de rencontrer les principales personnes impliquées dans le projet ODYSSEUS et d'avoir des présentations complètes et documentées des différents modèles. Elle a permis de nombreux échanges avec les membres du projet (chercheurs, doctorants, ingénieurs, informaticiens,...). Que toutes les personnes rencontrées soient ici remerciées pour leur accueil, leur disponibilité, le temps passé à présenter et à expliquer le fonctionnement des outils et la grande qualité de leurs présentations.

Nous souhaitons en particulier remercier :

- Le Professeur Demetrios Koutsoyiannis pour la qualité de son accueil à l'Université Technique Nationale d'Athènes et les échanges que nous avons pu avoir lors de la visite de son laboratoire,
- Monsieur Panagiotis Dris, responsable du département ressources en eau au sein de NAMA et directeur du projet ODYSSEUS, pour l'opportunité offerte à SOGREAH de collaborer avec NAMA et de contribuer à notre échelle au projet,
- Monsieur Kazos, directeur du département hydraulique, pour nous avoir accueilli à NAMA durant toute la visite.

Nos remerciements s'adressent aussi à :

- Monsieur Ioannis Vazimas, correspondant de SOGREAH au sein de NAMA et en charge du projet ODYSSEUS, pour sa disponibilité tout au long de la semaine et la grande qualité de l'organisation de cette semaine de travail,
- Monsieur Gioegos Karavokiros, responsable de la programmation des outils du projet ODYSSEUS, pour la mise à disposition de SOGREAH des données et des outils ainsi que la présentation des outils du point de vue de la programmation,
- Docteur Andreas Efstratiadis pour sa disponibilité et ses présentations claires des outils de modélisation d'un point de vue pratique et théorique.

---

## INTEGRATED MANAGEMENT OF HYDROSYSTEMS IN CONJUNCTION WITH AN ADVANCED INFORMATION SYSTEM (ODYSSEUS)

---

Le projet ODYSSEUS est l'aboutissement de recherches complémentaires finalisées sous la forme d'un regroupement de nombreux outils hydrologique, statistique, économique et de gestion pour proposer un outil global d'aide à la décision concernant les politiques de gestion de la ressource à différentes échelles (bassin, aquifère, communes, communautés de communes, district,...). L'outil global se décompose en trois modules principaux. Ces modules sont :

- HYDROGNOMON : module hydrologique,
- HYDRONOMEAS : module de gestion de la ressource,
- HYDROGEIOS : module d'eau souterraine.

A ce stade d'avancement du projet (fin novembre 2006), la part la plus importante du travail de l'ensemble de l'équipe de projet est réalisée. On peut d'ores et déjà saluer la qualité du travail de l'ensemble de l'équipe, la qualité et la rigueur de la méthodologie du développement des outils en réseau, la quantité de travail accomplie jusqu'ici et l'intérêt de transférer dans le domaine de l'ingénierie des outils développés dans le cadre de recherches antérieures ayant fait l'objet de nombreuses publications (Annexe 1).

L'aboutissement de recherches fondamentales sous la forme d'outils opérationnels n'est rarement aussi aisé que cela pourrait le sembler. Le monde de la recherche et celui de l'ingénierie n'ont pas toujours les mêmes intérêts ni les mêmes objectifs. Ce type de transfert de connaissance n'est donc pas souvent pratiqué de cette façon en particulier dans le domaine de l'hydrologie. Il faut par conséquent saluer également ici cet aspect du projet qui est une grande réussite pour NAMA et pour NTUA, en espérant et en souhaitant que cette collaboration perdure. La pérennité de cette relation permettrait non seulement d'améliorer en continu les outils issus de ODYSSEUS mais également d'en développer éventuellement de nouveaux, et pourquoi pas aussi dans d'autres domaines complémentaires, de continuer à orienter la recherche fondamentale vers la proposition d'outils opérationnels qui grâce à l'apport constant du milieu académique de la recherche conservent des caractéristiques techniques et théoriques de grande qualité.

## 1. LA CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS

### 1.1. PRESENTATION DU GROUPE SOGREAH ET DE SES ACTIVITES DE MODELISATION ET DE RECHERCHE

SOGREAH est un groupe de consultants, spécialisé dans l'aménagement et l'environnement. Totalement indépendant de tout groupe industriel ou financier, SOGREAH exerce ses activités au travers d'un important réseau d'implantations, tant en France qu'à l'international.

Ses activités touchent à des domaines très diversifiés : eau, environnement, maritime, industrie, aménagement de la ville et du territoire, ouvrages d'infrastructures, énergie et systèmes électriques, gestion des risques.

La division Eau-Environnement-LHF (EEL) de SOGREAH coordonne les actions de recherche et développement de la société et est spécialisée dans la mise au point et l'application de systèmes d'information et de modélisation dans les domaines de l'hydraulique, de l'hydrologie et de l'hydrogéologie. La division EEL a développé des compétences particulières en modélisation, dans la gestion des risques naturels (mise en place de systèmes de prévision et d'alerte des crues, gestion des étiages, gestion des risques en cascade,...), dans l'évaluation de la ressource en eau disponibles et dans la gestion de cette ressource.

La division EEL de SOGREAH possède une longue expérience dans le domaine de la modélisation appliquée à l'eau :

- prévision des crues notamment au moyen des plates-formes opérationnelles de prévision SOPHIE développée par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) et MYSTERE (système multi-modèles intégré de gestion en temps réel des risques et de l'environnement) développée par SOGREAH ;
- modélisation hydraulique 2D à surface libre au moyen de TELEMAC développé et commercialisé en partenariat avec le Laboratoire Nationale Hydraulique et Environnement (LNHE) d'Electricité De France (EDF) ;
- développement et commercialisation du logiciel CARIMA de modélisation hydraulique 1D ;
- modélisation de la gestion des ressources en eau au moyen des outils MIKE BASIN et WEAP ;
- spécifications, conception et développement d'interface Homme-Machine ;
- spécifications et développements des évolutions de logiciels :
  - logiciel d'éléments finis dédié à la modélisation des réseaux industriels maillés,
  - logiciel de simulation et de gestion des réseaux d'approvisionnement en eau,
  - logiciel de modélisation de la qualité des cours d'eau,
  - système de modélisation tri-dimensionnel des écoulements et du transport de polluants en souterrain (DEDALE 3D),

- système de communication temps réel pour la transmission de données,...

La division EEL de SOGREAH coordonne également les activités de recherche dans le domaine de l'eau auxquels participe le groupe. Nous listons ci-dessous les projets les plus récents dans des champs d'application variés et complémentaires :

- participation à plusieurs programmes de recherche concernant la gestion du risque inondation :
  - coordination et contribution à la réalisation du programme de travail du projet de recherche européen IST/OSIRIS (IST-1999-11598) dont l'objectif était de proposer des solutions opérationnelles innovantes fondées sur l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) pour améliorer la gestion du risque d'inondation,
  - participation à la mesure d'accompagnement européenne IST/RISK FORCE : élaboration d'un ensemble d'actions approprié et d'un protocole commun pour la gestion des risques naturels en Europe,
  - participation au projet européen FLOODSITE (6<sup>ème</sup> PCRD) pour l'analyse et la gestion intégrées des risques d'inondation ;
- participation à plusieurs programmes de recherche concernant la gestion durable de la ressource en eau :
  - CLIMASILAC II pour la gestion de la ressource en eau en montagne,
  - SMART pour la gestion de la ressource en eau des zones côtières,
  - EUROLAKES pour la gestion intégrée de la ressource en eau des grands lacs européens profonds et de leurs bassins versant,
  - ASEMWATERNET : préconisation pour une plate-forme multi décideurs pour la coopération scientifique et technique entre l'Asie et l'Europe sur l'utilisation durable de la ressource en eau ;
- développement et validation d'un prototype de système d'alerte pour les proliférations de cyanobactéries toxiques dans les lacs (SACYTOX) ;
- coordination du programme Risque Décision Territoire relatif à la gestion des risques naturels et industriels sur le territoire français.

## 1.2. CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS

La contribution de SOGREAH dans le cadre du projet ODYSSEUS consiste en une révision et une expertise des outils développés, compte tenu de l'expérience acquise par le passé dans ce type d'étude. A ce stade du projet, il ne s'agit pas d'intervenir sur les choix faits et sur la conception des outils mais plutôt :

- d'évaluer la qualité des bases théoriques de chaque modèle,
- d'évaluer les interconnexions entre les différents modules et les différents modèles de chaque module,
- de tester les outils dans différentes utilisations de fonctionnement (notamment les cas étudiés dans le cadre du projet : l'île de Kalymnos et le bassin de Karditsa),
- de tester la convivialité des interfaces homme-modèle et homme-module,
- d'identifier les principales qualités du projet ODYSSEUS vis-à-vis des outils concurrents similaires,
- d'émettre des suggestions de développements futurs possibles qui pourraient permettre d'améliorer la convivialité, d'ajouter quelques fonctionnalités simples complémentaires et d'apporter une valeur ajoutée supplémentaire aux outils du projet ODYSSEUS par rapport aux principaux outils concurrents.

## 2. PRESENTATION GENERALE DES OUTILS DE MODELISATION :

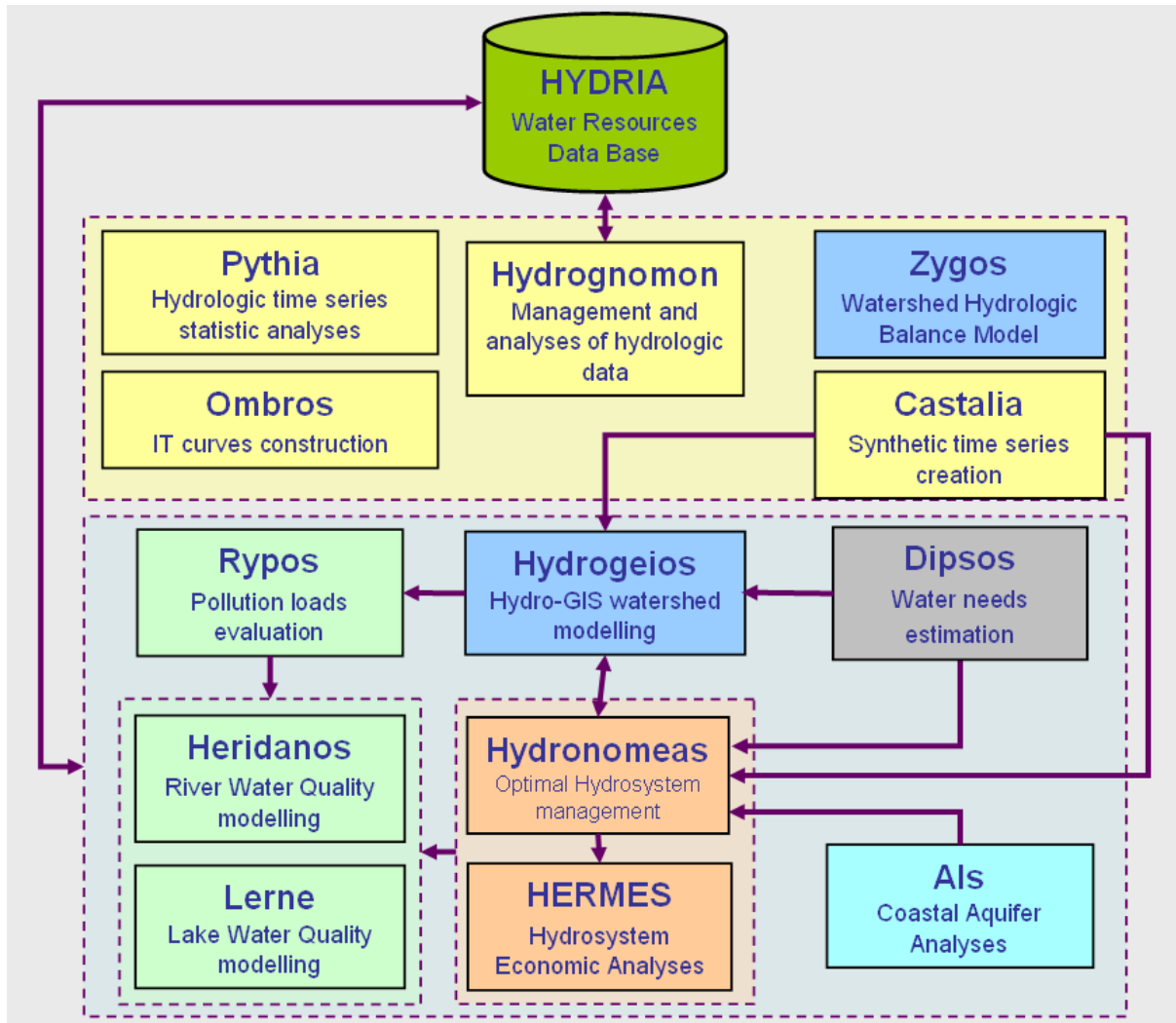
### 2.1. VUE D'ENSEMBLE DES OUTILS ET DES LIENS EXISTANT ENTRE EUX

L'objectif général du projet est le développement d'outils de modélisation en vue d'effectuer des analyses des ressources en eau disponibles et de leur gestion. Les outils utilisés sont les suivants :

- HYDRIA : base de données communes à tous les outils de modélisation
- HYDROGNOMON : module de gestion et de modélisation des données hydrologiques
  - OMBROS : analyse des pluies, création des IDF
  - PYTHIA : analyse statistique d'une série temporelle, par exemple des débits mensuels
  - ZYGOS : modélisation pluie-débit intégrant les écoulements de surface, la recharge souterraine, l'ETP, les prélèvements éventuels dans les aquifères souterrains sous la forme de pompage
  - CASTALIA : génération stochastique de séries temporelles
- HYDROGEIOS : module de modélisation hydrogéologique des bassins versants
- HYDRONOMEAS : module d'optimisation de la gestion d'un hydrosystème et de gestion de la ressource en eau
  - HERMES : analyse économique de nouveaux projets (encore en construction)

D'autres outils annexes sont également interfacés avec HYDRONOMEAS et HYDROGEIOS :

- Les modèles de qualité :
  - RYPOS : estimation des charges polluantes
  - HERIDANOS : modèle de qualité des rivières (encore en construction)
  - LERNE : modèle de qualité des lacs
- Modèle d'intrusion saline :
  - ALS : modélisation des aquifères côtiers (fondée sur la théorie de Modflow en intégrant la calibration des débits de pompage des forages)
- DIPSOS : modèle d'estimation des besoins en eau d'un hydrosystème



Présentation de tous les outils de modélisation

## 2.2. CONTEXTE ADMINISTRATIF DU PROJET

Au total, cinq partenaires ont été impliqués dans le projet :

- NTUA (National Technical University of Athens) – Water Resources, Hydraulic & Maritime Engineering
- NAMA Consulting Engineers and Planners SA
- Water Supply and Sewerage Company of Karditsa Municipality
- AEPHORIKE of Dodecanesus Islands SA
- Marathon Data Systems (MDS)

L'idée de départ du projet consiste à transférer vers le domaine commercial les outils développés par les universitaires dans le cadre de la gestion de la ressource et de l'optimisation du fonctionnement des réseaux.

Plusieurs études de cas ont été réalisées notamment sur le bassin de Karditsa et sur l'île de Kalymnos qui présente des caractéristiques assez communes à la majorité des îles grecs (peu de ressource du fait des faibles cumuls de pluviométrie annuelle, peu de gestion globale de la ressource, forte demande estivale liée notamment au tourisme, intrusion saline du fait des pompes d'eau douce dans les aquifères).

Le budget initial du projet est 2M€ sur 3 ans. Les fonds sont fournis par le Ministère de l'Agriculture grec.

Sur la base de ce budget total, environ 800k€ sont alloués aux recherches universitaire et 410k€ pour NAMA qui s'autofinance à environ 50%.

### 2.3. VISITE DE SOGREAH A NAMA

L'objectif de la visite était de rencontrer les personnes impliquées dans le projet ODYSSEUS depuis plus de trois ans et d'avoir une présentation complète des méthodologies issues des recherches de NTUA ainsi que des logiciels développés avec la collaboration de NAMA.

La visite de SOGREAH a duré 5 cinq jours, du 20 Novembre au 24 Novembre 2006. NAMA a organisé cette semaine de travail de façon à ce que SOGREAH puisse avoir une vue d'ensemble de tous les outils, une présentation détaillée de chaque outil dans les versions disponibles aux dates de la mission, des discussions avec toutes les personnes impliquées dans le projet (chercheurs, doctorants, ingénieurs, informaticiens,...).

A ce stade du projet, la version finale de tous les outils n'est pas encore disponible. Il faudra sans doute attendre quelques mois de pratique et quelques développements futurs des outils pour aboutir à une version opérationnelle de qualité. Les bases théoriques des modèles sont solides et s'il subsiste des problèmes de forme ou d'interface des outils, ils sont mineurs par rapport à tout ce qui a déjà été accompli, et sans importance.

En ce qui concerne la mission d'expertise, tous les outils actuellement disponibles ont été mis à notre disposition dans leurs dernières versions. Les données utilisées pour l'étude de Kalymnos et pour la présentation de certains outils, notamment HYDROGNOMON, ont également été mises à notre disposition. De cette façon, en dehors des périodes de travail en collaboration avec NAMA ou NTUA, SOGREAH a pu tester les outils dans leurs versions actuelles.

SOGREAH a été attentif aux aspects suivants :

- Théoriques : compréhension et/ou identification des bases théoriques, identification pour chaque outil des innovations importantes mises au service de l'ingénieur,...
- Méthodologiques : développement des outils en réseau, test des outils et des interfaces sur des PC virtuels, contrôle qualité du développement informatique,...
- Pratiques : convivialité des outils, ordonnancement des opérations, facilité d'apprentissage des tâches et opérations présentées par les intervenants,...



### 3. PRESENTATION DETAILLEE DES OUTILS ET ANALYSE DE LEUR UTILISATION EN SITUATIONS REELLES

#### 3.1. REMARQUES GENERALES

##### 3.1.1. SAUVEGARDE DES DOCUMENTS

Le système de programmation permet de sauvegarder un projet et au sein de ce projet plusieurs scénarios. Par exemple, on définit un réseau dans HYDRONOMEAS et plusieurs hypothèses de prélèvements et d'apports au moyen de plusieurs scénarios. Cela permet de regrouper tous les fonctionnements possibles en un seul projet et de faciliter leurs tests successifs en cas de besoin. Ce type de sauvegarde est identique pour tous les outils.

##### 3.1.2. UTILISATION DES OUTILS ET DES DONNEES

Les modèles sont tous connectés à une base de données commune HYDRIA. L'intérêt de l'approche privilégiée est de ne renseigner qu'une seule base de données avec toutes les données nécessaires (physiques, hydrologiques, caractéristiques des stations,...).

Les modèles peuvent aussi être utilisés en dehors du cadre de la base de données c'est-à-dire sur des données entrées sous la forme de fichier texte par un utilisateur. De ce fait, les outils sont interconnectés mais également indépendants en cas de besoin et sans lien indispensable avec la base de données HYDRIA.

##### 3.1.3. UTILISATION COURANTE DES OUTILS DU PROJET ODYSSEUS

Les outils du projet ODYSSEUS constituent un ensemble complexe de modèles interagissant les uns avec les autres. Ils permettent de traiter de nombreuses problématiques d'études mais impliquent soit de maîtriser correctement les outils et les théories sous-jacentes, soit de savoir clairement quelle partie du modèle doit être utilisée pour un type spécifique d'études et être en mesure de travailler avec cette partie des outils de manière indépendante des autres outils. Dans tous les cas, l'utilisateur doit être formé à l'emploi de ces outils à tous points de vue : théorique, pratique et méthodologique.

L'utilisation de certains outils, notamment HYDROGEIOS, nécessite la définition de nombreux paramètres (jusqu'à plus de 100 paramètres pour une étude présentée à l'EGU en 2005 sur le bassin versant de la rivière Beotikos Kephisos). La démarche retenue pour effectuer de tels calages repose sur une calibration étape par étape de tous les paramètres à caler. L'opérateur intervient dans le choix successif des paramètres à caler à chaque étape. Cette démarche permet de proposer des jeux de paramètres conduisant à des résultats de bonne qualité. Elle est en revanche relativement longue et nécessite une connaissance particulièrement bonne des outils et une aptitude à traduire les caractéristiques physiques des bassins sous la forme de valeurs prises par les paramètres des modèles.

Les modèles hydrologique et hydrogéologique cumulent par ailleurs certaines caractéristiques des modèles conceptuels dans la schématisation du fonctionnement des bassins versants et certaines caractéristiques des modèles déterministes ou physiques dans la représentation des processus à l'origine de l'infiltration ou du ruissellement. D'un point de vue pratique, cette association des différentes caractéristiques de chaque type de modèles est intéressante. Néanmoins, les paramètres des lois physiques utilisées dans les modèles (comme la loi de Darcy par exemple dans le cas d'HYDROGEIOS) sont calés pour des raisons notamment d'échelle des phénomènes. Ceci est tout à fait classique. Il ne faudrait pas en revanche que l'utilisateur considère les valeurs prises par les paramètres des modèles comme des caractéristiques physiques de son bassin. La tentation sera grande d'interpréter physiquement les valeurs des paramètres des modèles.

#### 3.1.4. LES POINTS FORTS DU PROJET ODYSSEUS

A contrario de la première remarque du paragraphe précédent, l'objectif du projet ODYSSEUS est d'être opérationnel. De ce point de vue, l'association de tous les modèles, bien que complexe, ainsi que la définition des concepts utilisés sont des réussites. En effet :

- tous les outils sont disponibles en un seul ;
- l'utilisation générale de ces outils est assez conviviale (menu déroulant, choix par boîte de contrôle ou sélection dans des listes, choix des variables par sélection-déplacement,...) ;
- les méthodes reposent sur de solides bases théoriques et restent adaptées à une utilisation opérationnelle et pratique et non uniquement dédiée à des activités de recherche.

Le projet ODYSSEUS est également issu de recherches antérieures menées à NTUA. De ce fait, il est à mi-chemin entre recherche fondamentale et outil opérationnel. Les outils sont sans doute un peu compliqués pour un utilisateur quelconque (nombreux paramètres, bases théoriques solides mais nécessitant des connaissances particulières pour faciliter la compréhension des approches,...) ; ils sont en revanche particulièrement puissants pour traiter des études de gestion de la ressource sur des hydrosystèmes complexes.

Enfin, le point fort principal du projet ODYSSEUS réside dans l'association entre un partenaire académique de la recherche et un partenaire privé. De cette façon, on valorise les résultats de plusieurs années de recherche et on met à disposition de l'ingénieur des outils puissants et de qualité.

#### 3.2. MODELE DE DEFINITION DES BESOINS : DIPSOS

DIPSOS est sans doute le modèle le plus simple à comprendre et à utiliser, d'autant plus que des valeurs par défaut sont disponibles. Le modèle DIPSOS ne repose pas sur des bases théoriques complexes. Il s'agit simplement d'estimer la consommation en eau d'une zone d'étude mois par mois tout au long de l'année en fonction des usages (domestiques, agricoles, industriels,...).

L'intérêt de cet outil est qu'il est possible de définir, en utilisant plusieurs années successives de simulation, l'évolution de la population ou l'évolution des consommations. On intègre ainsi dans la gestion de la ressource l'évolution intrinsèque du système en termes de besoins en eau.

### 3.3. MODULE HYDROLOGIQUE : HYDROGNOMON

Le module HYDROGNOMON comporte 4 outils complémentaires pour effectuer des analyses statistiques des données temporelles, construire les courbes IDF, modéliser le bilan hydrologique d'un bassin versant et générer stochastiquement des chroniques de pluies au moyen de CASTALIA.

HYDROGNOMON comporte également un certain nombre d'outils annexes permettant d'effectuer des opérations simples sur les données initiales : étude de corrélation, reconstitution de données manquantes, composition de variables...

#### 3.3.1. LES OUTILS STATISTIQUES : PITHIA ET OMBROS

Les outils statistiques disponibles dans HYDROGNOMON permettent d'effectuer des opérations classiques en hydrologie statistique : calcul des distributions de fréquence empirique des données, estimation des lois statistiques d'ajustement, estimation des intervalles de confiance, estimation des cumuls des variables pour différentes périodes de retour...

La valeur ajoutée du projet ODYSSEUS ne concerne pas la définition des lois statistiques proprement dite. En revanche, 16 lois statistiques sont disponibles pour un calage des paramètres des lois selon la méthode des moments et 11 pour un calage des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance. 4 distributions de fréquence empiriques des données sont également disponibles. En outre, plusieurs choix sont possibles pour le fond graphique de représentation des données, la définition de l'axe des ordonnées (fréquence ou période de retour).

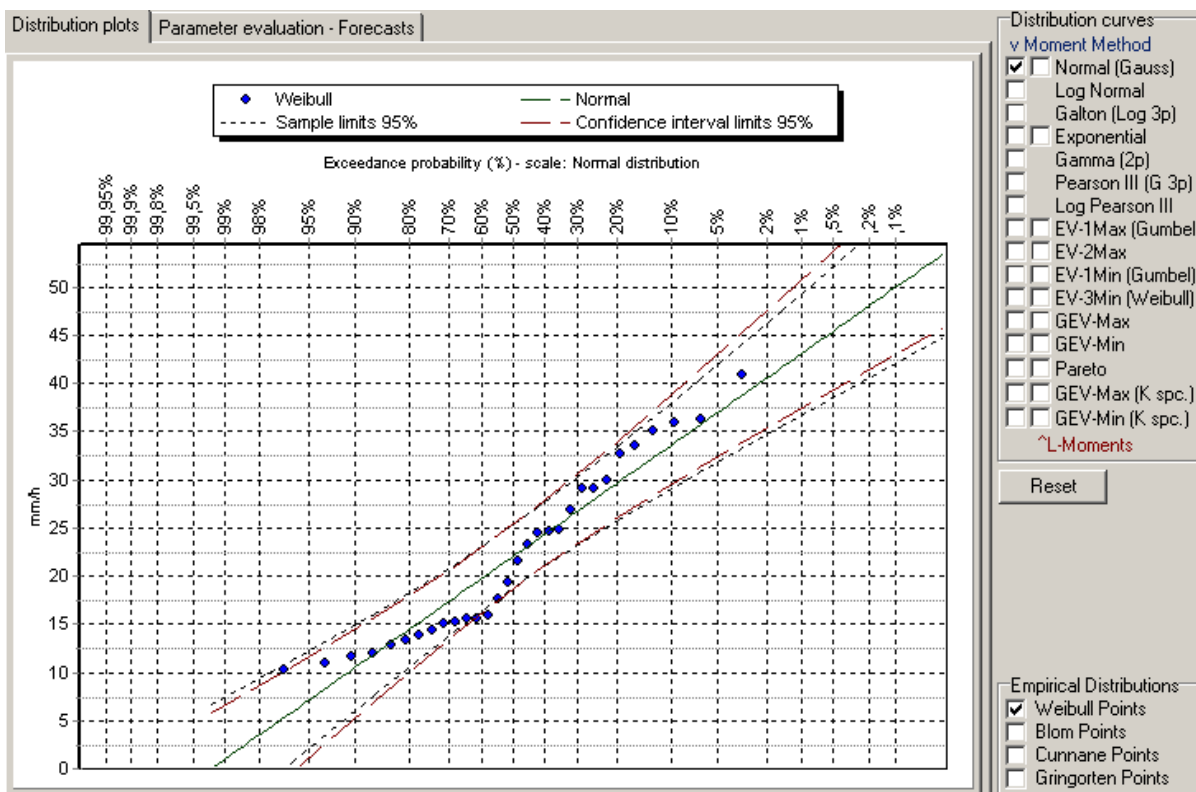
Le modèle PYTHIA est très complet et très convivial. Il permet de tester rapidement les conséquences du choix d'une loi statistique en particulier et de comparer les distributions de fréquence fournies par plusieurs lois statistiques pour le même échantillon de données. Tous les paramètres des lois disponibles dans PYTHIA sont calculés et renseignés dans un tableau.

Enfin, l'opérateur peut définir l'intervalle de confiance des distributions de fréquence. Cette fonction est très importante pour rappeler la variabilité des données hydrologiques autour des valeurs moyennes.

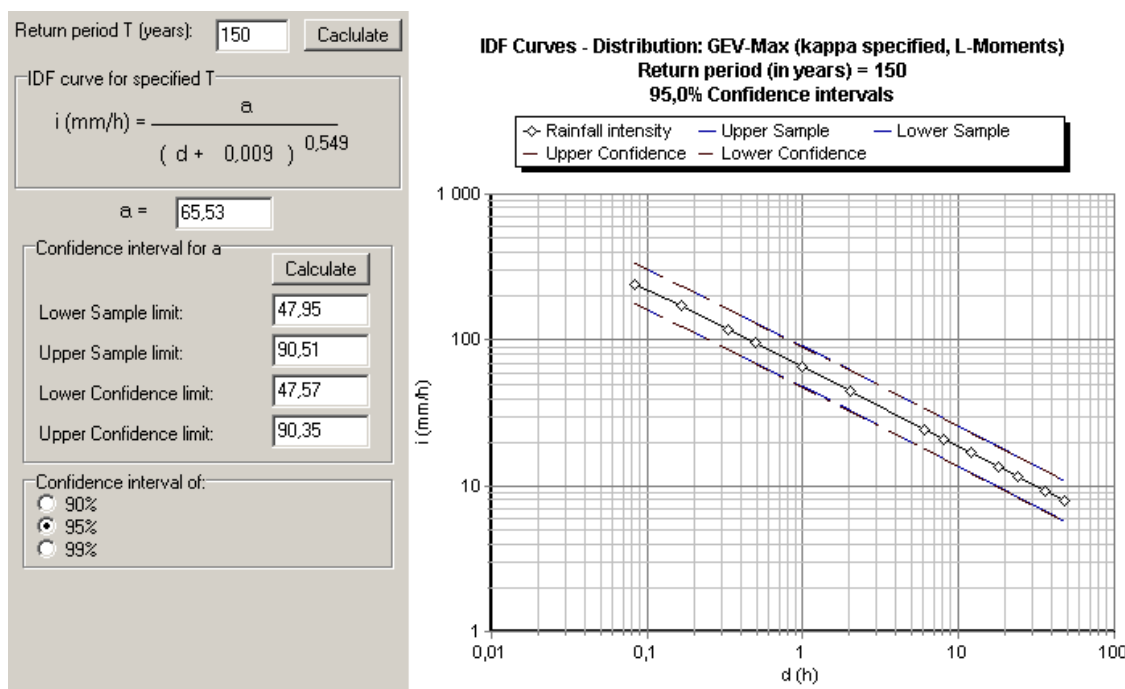
OMBROS est issu de recherches antérieures ayant pour objectif la définition des courbes IDF à partir d'une formule tenant compte explicitement des distributions de probabilités utilisées pour calculer les maxima des intensités. OMBROS permet donc la construction des courbes IDF.

Là encore, l'outil est très convivial et facile d'utilisation et d'accès. L'opérateur peut tester différentes lois de probabilités, estimer les courbes IDF pour différentes périodes de retour y compris des périodes de retour spécifiques (150 ans par exemple), calculer l'intervalle de confiance des courbes IDF pour une période de retour donnée et disposer des valeurs des paramètres utilisés.

En conclusion, les outils OMBROS et PYTHIA reposent sur le même principe : mettre à disposition facilement et en quelques choix rapides des possibilités de calcul très importantes dans le domaine des statistiques. Outre des fonctionnalités voisines, la qualité des moyens graphiques utilisés et des interfaces choisis favorise une prise en main rapide de ces deux outils.



Exemple de distribution de fréquence des pluies (PYTHIA)



Exemple de calcul de la courbe IDF et des intervalles de confiance à 95% pour la période de retour 150 ans (OMBROS)

### 3.3.2. GENERATION STOCHASTIQUE DE PLUIES : CASTALIA

CASTALIA est un générateur stochastique de pluies annuelles dont le principe repose sur le respect des valeurs prises par les moments d'ordre 1 à 3 sur les données observées. La répartition mensuelle des pluies annuelles générées de manière aléatoire s'effectue en respectant le pourcentage moyen de pluie enregistrée chaque mois, ce pourcentage étant calculé par rapport aux cumuls annuels. Une variabilité aléatoire autour de cette valeur moyenne des pourcentages est prévue dans le modèle. On respecte néanmoins la distribution moyenne des pluies mensuelles au cours d'une année hydrologique.

CASTALIA est sans doute l'outil le plus complexe inclus dans HYDROGNOMON mais également celui qui offre les possibilités les plus intéressantes pour la gestion des réseaux et de la ressource en eau : test du fonctionnement d'un réseau selon de multiples échantillons de pluies mensuelles et donc identification des probabilités d'échec de la fourniture d'eau ne reposant pas uniquement sur un scénario de pluie.

Cet outil présente également un intérêt particulier pour le test de scénarios pluviométriques dans le cadre d'études différentes de celles uniquement de la gestion de la ressource (évolution de la pluviométrie en fonction d'hypothèses d'évolution du climat, évolution des écoulements d'un bassin en fonction de différents scénarios pluviométriques équiprobables,...). Il repose sur des bases théoriques solides. Cela en fait un outil puissant et fiable techniquement. En revanche, l'utilisateur moyen devra être formé à son emploi notamment en ce qui concerne la définition des paramètres d'entrée de CASTALIA et la visualisation puis l'utilisation des séries temporelles générées.

La connaissance théorique de CASTALIA est essentiellement au sein de NTUA. L'intérêt du partenariat entre NAMA et NTUA est de permettre la contribution technique de NTUA qui pour CASTALIA devrait être assez importante.

### 3.3.3. MODELE DE BILAN HYDROLOGIQUE : ZYGOS

ZYGOS est un outil de modélisation pluie-débit conceptuelle au moyen de réservoirs représentant schématiquement le sol et le sous-sol. L'écoulement total a différentes sources : un écoulement direct à partir de la pluie, un écoulement issu du réservoir sol et un écoulement issu du réservoir souterrain. Ce modèle étant conceptuel, on se gardera de rentrer dans l'interprétation physique des différents écoulements ou dans l'interprétation de la répartition de la pluie brute entre les deux réservoirs. On comprend néanmoins l'objectif du choix de chaque source d'écoulement.

Le pas de temps de travail est essentiellement journalier ou mensuel compte tenu des objectifs de gestion de la ressource des outils. La représentation des différentes sources d'écoulement est donc adaptée aux pas de temps de travail.

On notera l'intérêt d'avoir tenu compte des pertes par évapotranspiration et par pompage dans le réservoir du sous-sol. Du point de vue de la gestion de la ressource, ces deux sources de pertes sont essentielles.

Le modèle ZYGOS comporte de nombreux paramètres pour définir la répartition des écoulements ou les caractéristiques de chaque réservoir (niveau initial et capacité, valeurs de H1 ou de H2). Cela peut conduire à un risque de surparamétrisation d'un même hydrosystème au moyen de ZYGOS et à un risque de compensation entre les différents paramètres du modèle pour modéliser les données en sortie. Plusieurs paramètres peuvent prendre des valeurs correspondant aux valeurs limites autorisées en calage. Ceci indique leur importance relative ou au contraire leur manque d'intérêt selon les cas étudiés et les résultats obtenus. Cela signifie en tous les cas que les paramètres ne sont pas indépendants. De ce point de vue, l'expertise hydrologique de NAMA et de NTUA sera tout à fait pertinente pour guider un utilisateur moyen à choisir les gammes de valeurs des paramètres, leurs valeurs initiales, les paramètres à calibrer et les paramètres à fixer. Par ailleurs, l'expertise hydrologique facilitera aussi l'interprétation des résultats.

La méthode d'optimisation des paramètres est en revanche de grande qualité (evolutionary annealing simplex algorithm). Les choix effectués pour montrer l'évolution des valeurs prises par les paramètres au cours du calage sont également très intéressants et très didactiques. L'interface de ZYGOS est d'une manière générale conviviale et facile à prendre en main.

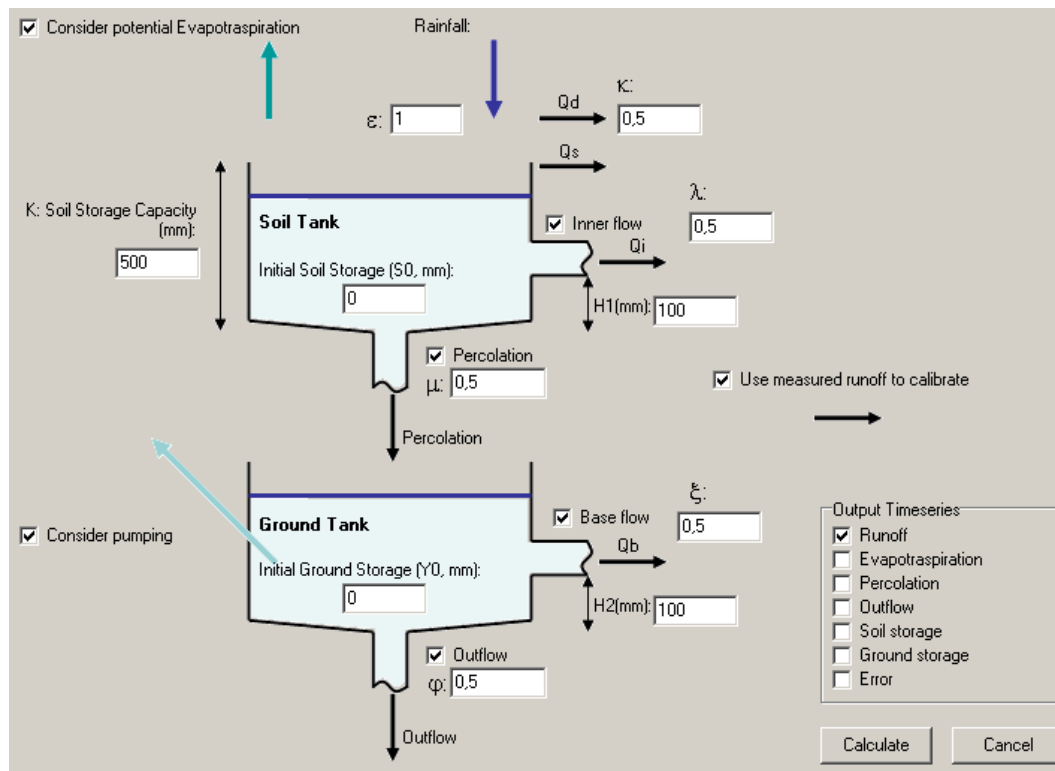


Schéma de principe du modèle ZYGOS

### 3.4. MODULE EAU SOUTERRAINE : HYDROGEIOS

Dans HYDRONOMEAS, un problème se pose pour définir les entrées du modèle : prise en compte des pertes dans le réseau hydrographique (infiltration, pertes dans un réseau karstique,...), prise en compte des sources et des résurgences, prise en compte des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines... Il est donc nécessaire de définir clairement les variables d'entrée d'HYDRONOMEAS le modèle de gestion. C'est l'objectif d'HYDROGEIOS.

HYDROGEIOS propose une représentation simplifiée de la réalité hydrogéologique. Cette représentation est limitée du point de vue de la physique des processus mais très satisfaisante en termes de calage et tout à fait adaptée aux objectifs de gestion de l'ensemble des outils.

La schématisation et la paramétrisation d'un bassin versant dans HYDROGEIOS repose essentiellement sur :

- l'utilisation des HRU (Hydrological Response Units) pour réduire le nombre total de paramètres ;
- la schématisation du bassin versant en sous-bassin avec la définition des points de calcul du bilan hydrologique, correspondant aux exutoires des sous-bassins ;

- la paramétrisation des HRU qui correspond au croisement entre les informations issues des pentes et de la perméabilité pour définir une typologie des HRU. Les valeurs des paramètres sont définies pour chaque type de HRU. On réduit ainsi le nombre de paramètres ;
- la construction pour les eaux souterraines d'un réseau de cellules indépendantes du reste du modèle mais croisées avec les HRU de surface. La construction des cellules d'eau souterraine est réalisée en fonction des hauteurs d'eau dans le sol ;
- la dernière couche du système est constituée des mêmes éléments que dans HYDRONOMEAS à savoir l'hydrosystème dont on étudie la gestion (réseau de forages, de réservoirs, de rivières, d'aqueducs, de points de demande en eau,...)

Dans le cas où peu de données SIG seraient disponible, HYDROGEIOS permet de définir tous les éléments nécessaires via une unique couche SIG constituée du modèle numérique de terrain (MNT). A partir de cette couche et de la connaissance du bassin, l'utilisateur définit tous les éléments nécessaires aux calculs hydrogéologiques (définition des sous-bassins, des points nodaux, des HRU, des cellules d'eau souterraines,...).

Dans le modèle d'eau souterraine, les cellules sont définies à partir des équipotentiels. De cette façon, on définit moins de cellules que dans un modèle classique. On gagne donc en temps de calcul. En ce qui concerne la connaissance initiale des équipotentiels, soit leur allure est connue, soit l'utilisation à une reprise de MODFLOW aide à les estimer. Ensuite, tous les calculs suivants s'appuient sur les résultats d'une utilisation unique de MODFLOW. L'ensemble des calculs est donc beaucoup plus rapide puisqu'il y a moins de cellules que dans MODFLOW et qu'on utilise une seule fois MODFLOW. C'est un aspect pratique intéressant.

Compte tenu de la représentation de l'hydrosystème, de nombreux paramètres doivent être optimisés. Leur calibration est effectuée sur la base des observations et des informations qualitatives disponibles comme la tendance d'évolution des niveaux de l'amont vers l'aval. La méthode retenue consiste à alterner paramétrisation manuelle et optimisation automatique :

- définition de groupes de paramètres et choix de valeurs initiales pour les autres,
- optimisation de ces paramètres,
- test des résultats sur l'ensemble de la zone d'étude,
- définition d'un autre groupe de paramètres à calibrer,
- ...

La calibration s'effectue donc en plusieurs étapes. C'est un processus itératif et progressif qui peut prendre beaucoup de temps. Néanmoins, elle fait intervenir l'expérience de l'utilisateur, sa connaissance du terrain et permet de palier au risque de surparamétrisation du modèle. Une bonne expertise est nécessaire à ce stade de la calibration d'HYDROGEIOS. Ce sera sans doute à NAMA en partenariat avec NTUA d'aider et d'orienter les futurs utilisateurs d'HYDROGEIOS.

### 3.5. MODULE DE GESTION : HYDRONOMEAS

#### 3.5.1. PRESENTATION

HYDRONOMEAS est le cœur du projet ODYSSEUS. C'est l'outil permettant la représentation d'un réseau d'eau et la simulation de son fonctionnement. HYDRONOMEAS permet de tester de nouveaux aménagements, d'identifier les prélèvements et les différentes sources sollicitées, de diagnostiquer le fonctionnement d'un réseau (ressources suffisantes pour répondre aux besoins, gestion des ressources adaptée au contexte du réseau,...) et de modifier les lois de fonctionnement d'un ou plusieurs réservoirs, d'un ou plusieurs forages au moyen d'une calibration des paramètres de ces lois de fonctionnement.

#### 3.5.2. SCHEMATISATION DU RESEAU

La représentation du réseau est schématique et les éléments du réseau (rivières, aqueducs, forages, réservoirs) sont représentés de façon sommaire. Les caractéristiques de chaque élément sont définies dans un menu propre à chaque type d'éléments. Ces menus sont conviviales et ne nécessitent que peu de connaissance des caractéristiques techniques de chaque élément. On ne tient pas compte par exemple de la longueur des tronçons de rivières ou d'aqueducs ou de la capacité hydraulique fine de ces tronçons. La représentation du réseau est conceptuelle et orientée vers la gestion de la ressource et non la reconstitution informatique d'un réseau réel.

Les prélèvements dans la ressource sont définis par prélèvements dans les eaux de surface et dans les pompages. Pour les réservoirs et les forages, on précise respectivement les lois de fonctionnement et le coût énergétique du pompage. On notera que les lois de paramétrisation des réservoirs ne comporte que deux paramètres. La définition de l'utilisation des pompages est élaborée en fonction de la disponibilité de la ressource de surface et du coût énergétique de l'utilisation des pompages (consommation électrique en kWh/m<sup>3</sup>). En mode simulation, le modèle analyse la demande totale et répartit les apports entre les différentes sources disponibles. La priorité est donnée aux apports par les réservoirs qui présentent le coût énergétique le plus faible. Néanmoins, si le stock d'eau disponible des réservoirs est inférieur aux besoins, le reste est fourni par pompage.

L'opérateur définit également des cibles (targets) selon la nécessité de satisfaire tel ou tel choix en priorité lors du fonctionnement du réseau (respect d'un débit minimum dans une rivière, respect d'une cote pour un réservoir, privilégier la satisfaction de la demande de telle ville plutôt que de telle autre,...). Ces cibles sont traitées de façon tout ou rien : soit la ressource disponible permet de les satisfaire, soit les priorités ne sont pas satisfaites. Une hiérarchisation des cibles permet de distinguer 8 niveaux de priorité (de 1 pour les plus importantes à 8 pour les moins importantes). Les cibles d'un même niveau de priorité sont traitées aléatoirement pour choisir celle d'entre toutes qui sera satisfaite en premier.

Lors de la simulation, le modèle vise à aboutir au coût global de fonctionnement du réseau minimum en respectant dans l'ordre :

1. les volumes morts des réservoirs,
2. les cibles définies en fonction des priorités,
3. la mobilisation de la ressource en fonction des disponibilités,
4. la nécessité de satisfaire les cibles même si le coût induit est alors plus important.



### 3.5.3. MODE D'OPTIMISATION

Les lois de fonctionnement des réservoirs et des forages, les cibles (targets), la répartition de l'eau entre les différents chemins possibles et les différentes sources ou la gestion de l'eau en excès peuvent être calibrées afin d'affiner la gestion de la ressource. La qualité de la calibration est définie selon plusieurs critères : économiques, adduction d'eau,... L'utilisateur peut choisir lors de la calibration soit de définir une fonction de calibration tenant compte de tous les critères en pondérant l'importance de chaque critère, soit une fonction de calibration pour chaque critère.

Sans rentrer dans le détail de la méthode de calibration, on retiendra qu'elle repose sur la méthode du simplexe à laquelle ont été ajoutées la possibilité d'une évolution d'une distance partiellement aléatoire dans la direction d'amélioration de la qualité des calages et la prise en compte d'une température dans la fonction critère, définie comme l'écart entre les valeurs maximales et minimales prises par la fonction critère. Selon la distance à l'optimum, la température est plus ou moins élevée.

Dans le cas de l'optimisation du réseau, on effectue en fait deux calibrations imbriquées :

- pas à pas, la calibration permet de connaître la répartition des flux dans le réseau,
- une calibration globale vise à définir les paramètres à calibrer.

Le fonctionnement d'HYDRONOMEAS en mode calibration peut nécessiter de nombreux calculs et s'avérer relativement long. En revanche, on aboutit progressivement à l'identification des paramètres recherchés.

### 3.5.4. UTILISATION DES SIMULATIONS STOCHASTIQUES

Les séries de données simulées au moyen de CASTALIA peuvent servir d'entrée à HYDRONOMEAS afin de tester le fonctionnement du réseau dans de nombreux scénarios. Des analyses statistiques simples des données en entrée et des taux d'échec de la satisfaction des demandes et des cibles enregistrés permettent d'affiner le diagnostic d'un réseau et de qualifier la fréquence des échecs.

### 3.5.5. VISUALISATION DES RESULTATS

La visualisation des résultats est très conviviale. En effet, il est possible de visualiser le fonctionnement du réseau d'adduction par pas de temps successifs (une couleur rouge permet d'identifier simplement les demandes non satisfaites), ou de visualiser aux moyens de graphiques simples et didactiques les taux d'échec de satisfaction des demandes et des cibles.

Les modes possibles de fonctionnement de la génération stochastique des données sont :

- la génération d'une série temporelle synthétique de données (une série de 1000 ans par exemple),
- la génération de plusieurs séries temporelles différentes mais possédant les mêmes caractéristiques statistiques (100 séries de 10 ans par exemple).

Dans les deux cas, on considère que les caractéristiques intrinsèques du réseau sont stationnaires. Cette hypothèse est importante à rappeler systématiquement.

### 3.6. MODELES DE QUALITE : RYPOS, HERIDANOS, LERNE

Même si l'interface est différente, RYPOS repose sur les mêmes principes de modélisation que DIPSOS. DIPSOS permet de définir les besoins en eau, RYPOS permet de définir les charges polluantes du système étudié. RYPOS tient compte de tous les apports polluants possibles (domestiques, agricoles, industriels,...) et de la présence ou non de moyens de diminutions des charges polluantes dans le milieu naturel : stations d'épuration, traitement des rejets de certaines industries... Tout comme DIPSOS, RYPOS ne repose pas sur des bases théoriques très complexes. Il tient compte essentiellement de l'occupation de l'espace, des charges polluantes en fonction du type d'usages et de la répartition annuelle de ces charges.

RYPOS est assez facile à prendre en main et à s'approprier. En revanche, de très nombreuses données sont nécessaires pour définir tous les paramètres de calcul des charges polluantes (nature, concentration, source,...). Les études futures de NTUA devraient aboutir à la proposition de valeurs par défaut en cas de manque de données (un peu comme pour DIPSOS). Ce sera un réel plus pour l'utilisateur même si les informations correspondantes n'auront pas la même valeur que des informations locales issues d'enquête de terrain.

RYPOS sert d'entrée aux modèles suivants que sont LERNE et HERIDANOS qui permettent de modéliser respectivement la qualité des eaux des lacs et des eaux des cours d'eau.

HERIDANOS et LERNE sont des modèles de qualité 1D, avec la possibilité de définir deux couches pour un lac.

Au-delà des aspects purement pratiques et théoriques, le grand intérêt des outils HERIDANOS et LERNE est qu'on peut tenir compte de l'incertitude des données en entrée. Par exemple, si on utilise une valeur moyenne mensuelle du débit qui est douteuse, on peut effectuer plusieurs simulations stochastiques en considérant une gamme de valeurs possibles autour du débit indiqué (par exemple +/- 50 %). Toutes les valeurs de débit générées sont ensuite équiprobables et utilisées pour les calculs d'évolution des charges polluantes du système analysé. Des courbes d'équifréquence des scénarios issus des différentes valeurs de débit autour de la valeur initiale sont alors définies dans la partie résultats.

La gestion des confluences n'est pas possible actuellement dans HERIDANOS. Pour l'instant, on peut travailler en définissant 2 branches amont et une branche commune aval. La gestion des confluences devrait intervenir plus tard.

### 3.7. MODELE DE CALCUL DES INTRUSIONS SALINES : ALS

Ce module est un réel plus par rapport à de nombreux autres outils du même type qu'ODYSSEUS. L'objectif dans cet outil est de définir le débit maximal de chaque forage en cas de pompage dans un aquifère en interaction avec le milieu marin sans que de l'eau salée soit pompée. Il correspond à une problématique cruciale actuellement en Grèce et plus généralement pour les aquifères insulaires et répond à un réel besoin des services en charge de l'adduction d'eau potable.

Le modèle ALS fonctionne actuellement en 2D et les débits de pompage de chaque forage sont calibrés de façon à les maximiser sans risquer de pomper de l'eau salée. Le module de calcul hydrogéologique est le même que dans MODFLOW. Les hypothèses actuellement utilisées pour le pompage sont celles d'un état stationnaire sans évolution mensuelle des apports à l'aquifère et du toit de la nappe. On travaille donc avec un niveau moyen interannuel du niveau de la nappe. D'un point de vue pratique, cette approche est avantageuse. Du point de vue de la précision des résultats, il pourrait être intéressant, dans la mesure du possible, d'affiner le calcul en considérant non plus un niveau moyen interannuel mais des niveaux moyens mensuels pour une année hydrologique moyenne. De cette façon, on aboutirait au calcul des débits de pompage mois par mois en fonction de la ressource disponible.

La méthode de calibration n'aboutit pas nécessairement au maximum absolu des débits de pompage mais à un ordre de grandeur des débits pompés. Ce résultat est tout à fait suffisant à l'heure actuelle pour les objectifs de gestion de la ressource.

Les développements futurs du modèle ALS s'orientent vers le calcul en 3D du biseau salé. Dans ce cas, l'évolution du toit de l'aquifère sera également disponible.

De nombreux fichiers sont nécessaires en entrée. Ils sont tous créés au moyen du SIG et issus d'HYDROGEIOS. Finalement, l'utilisation de ALS, assez complexe sur le fond, devient relativement simple en pratique. C'est un atout pour une utilisation courante de cet outil par des utilisateurs sans formation très poussée en hydrogéologie ou en modélisation.

### 3.8. MODELE ECONOMIQUE : HERMES

L'objectif du modèle HERMES est d'apporter des éléments financiers concrets pour estimer la faisabilité économique d'un projet d'aménagement. Cet outil est associé à HYDRONOMEAS. Dans le cas d'un projet de type extension de réseau d'adduction, ajout d'un aqueduc ou création d'un nouveau réservoir par exemple, l'intérêt technique du projet est testé au moyen d'HYDRONOMEAS ; sa faisabilité économique est évaluée au moyen d'HERMES. Cette association des deux outils permet de définir autant de scénarios financiers qu'il y a de scénarios techniques.

Le modèle HERMES calcule la Valeur Actuelle Nette d'un projet (VAN ou NPV en anglais pour Net Present Value). La VAN correspond à l'estimation aujourd'hui d'un projet réalisé dans les 15 à 20 prochaines années. Au-delà les prédictions financières sont de moins bonne qualité car les évolutions possibles du système sont trop fortes. La VAN ne permet d'estimer précisément la rentabilité d'un investissement et donc le retour sur investissement. Elle permet néanmoins d'évaluer si le projet est rentable ou non.

Actuellement, le modèle de calcul d'HERMES est terminé. L'interface est encore en cours de finalisation. Cette interface sera conviviale et permettra de définir aisément les paramètres financiers à prendre en compte dans les calculs (répartition financière des coûts du projet sur la durée de vie de l'investissement, répartition de l'investissement, répartition du retour sur investissement, définition des revenus du projet, définition des coûts humain, matériel et énergétique de fonctionnement, calcul de l'amortissement,...).

HERMES permet d'effectuer des calculs économiques pour chaque projet et à l'intérieur de chaque projet pour chaque sous-projet afin de tester la faisabilité économique à différents niveaux. Il est donc possible de tester différents paramètres communs à tous les projets et sous-projets comme la durée de vie par exemple.

Cet outil est clairement un modèle économique et ne devra pas être traité de la même façon que les autres modèles ou par les mêmes personnes. La formation initiale d'un ingénieur hydraulicien n'est pas nécessairement adaptée à l'utilisation d'HERMES d'un point de vue strictement financier.

## 4. COMPARAISON AVEC QUELQUES OUTILS CONCURRENTS

### 4.1. PRESENTATION DE PLUSIEURS OUTILS CONCURRENTS DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU

Les modèles actuellement disponibles sont principalement les trois suivants :

- WEAP (Water Evaluation And Planning System – Stockholm Environment Institute) ;
- MIKE BASIN (DHI Water & Environment) ;
- RIBASIM (Delft Hydraulics).

Tous ces modèles sont essentiellement comparables à HYDRONOMEAS. Les fonctionnalités de HYDRONOMON et de HYDROGEIOS ne sont pas reprises explicitement ou sous la même forme dans les trois modèles cités ci-dessus.

Le premier élément de comparaison met donc en évidence la possibilité dans ODYSSEUS de disposer de tous les outils hydrologiques et hydrogéologiques permettant de définir précisément les données en entrée d'HYDRONOMEAS.

Du point de vue de la gestion de la ressource, ces outils présentent les mêmes caractéristiques en ce qui concerne la définition de la topologie des réseaux, la définition des priorités des usages, la définition des usages sur une rivière en fonction des débits... L'atout majeur d'HYDRONOMEAS est la possibilité de calibrer non pas seulement la répartition des flux dans le réseau mais aussi les paramètres de fonctionnement intrinsèque du réseau : paramètres de fonctionnement d'un réservoir, seuils d'utilisation des pompes,...

### 4.2. PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE OUTIL

Les points forts du projet ODYSSEUS :

- interfaçage avec de nombreux outils ;
- calibration des outils en particulier d'HYDRONOMEAS selon plusieurs niveaux (allocation de la ressource et paramétrisation des lois de fonctionnement de l'hydrosystème étudié), donc possibilité de traiter à l'intérieur d'HYDRONOMEAS les problèmes de paramétrisation et d'optimisation de la gestion des réseaux et de la ressource ce qui n'est pas possible avec d'autres outils ;
- association avec un générateur stochastique de pluie pour la proposition de scénarios de fonctionnement du système (génération d'une chronique synthétique ou de plusieurs chroniques de même durée) ;
- des bases théoriques solides et un partenariat fort avec l'université technique d'Athènes pour la pérennité des développements théoriques et l'appui technique aux utilisateurs ;
- un seul environnement de travail pour effectuer toutes les tâches de modélisation ;
- plusieurs outils novateurs : ALS, LERNE, CASTALIA,...

Les points faibles du projet ODYSSEUS :

- l'utilisation courante des outils dans des études d'ingénierie ;
- l'expérience des concurrents en termes de commercialisation et de présence sur le marché avec leurs outils ;
- certains modules spécifiques de ces outils :
  - gestion temps réel au pas de temps journalier pour RIBASIM et son Flood Early Warning System qui sera peut-être concurrencé plus tard par des outils interconnectés avec HYDRONOMEAS bien que cela sorte du cadre stricte de la gestion de la ressource,
  - interfaçage sous ArcGis pour MIKE BASIN : cet interfaçage n'est pas réellement un point pénalisant pour ODYSSEUS dans la mesure où un interface avec un SIG est possible via HYDROGEIOS,
  - WEAP est sans doute le modèle le plus complet et le plus proche de ceux du projet ODYSSEUS.

Les points faibles sont peu nombreux et essentiellement liés au fait que le projet ODYSSEUS est récent. Il faudra sans doute un peu de temps pour faire connaître les outils. Techniquement, les modèles du projet ODYSSEUS sont de haut niveau et au moins équivalents aux outils concurrents.

#### 4.3. COMMERCIALISATION

Les réflexions concernant la commercialisation des outils sont toujours en cours au sein de NAMA. Les éléments mentionnés ici sont simplement indicatifs pour montrer le coup des outils concurrents et donc les points sur lesquels NAMA devra également convaincre pour l'intérêt de cet outil.

A titre de comparaison, une licence de WEAP coûte environ 2500\$ pour les bureaux privés. Différents prix sont possibles en fonction du client (WEAP21.org).

Une licence de MIKEBASIN coûte environ 4000€ pour le noyau équivalent à HYDRONOMEAS avec une licence ArcGis 9 intégrée. Le module pluie-débit s'élève à 2000€ et le module qualité de l'eau à 3000€. Les licences universitaires sont 50% moins chères.

Une hypothèse de commercialisation de ODYSSEUS pourrait être de céder la licence gratuitement au moins au début. L'objectif est de banaliser l'utilisation de cet outil et de concurrencer les outils développés par DHI et DELFT qui sont employés couramment pour les études en Grèce. L'idée du projet est donc aussi de faire savoir le savoir faire grec dans les domaines abordés par le projet.

L'approche commerciale à moyen terme du projet ODYSSEUS pourrait consister à :

- dissocier les modules à la vente,
- proposer différents coûts selon que le client est privé, public ou universitaire par exemple (avec éventuellement une licence gratuite pour les universitaires ce qui permettrait de sensibiliser les futurs ingénieurs à l'utilisation d'ODYSSEUS),
- insister sur les atouts réels du projet : partenariat étroit entre recherche et ingénierie, qualité théorique des outils, convivialité des interfaces, complémentarité des modules,...

## 5. CONCLUSIONS

### 5.1. UN PROJET AMBITIEUX ET PLEIN D'AVENIR

Certains modules développés antérieurement au projet ODYSSEUS et mis à disposition ici par NTUA sont tout à fait intéressants et neufs sur le marché de l'hydraulique et de la gestion de réseaux : CASTALIA (essentiel pour la définition des scénarios de pluies réalistes sur de longues périodes de temps afin de tester les évolutions futures d'un hydrosystème), LERNE (qualité des eaux lacustres), ALS (gestion des intrusions salines), méthode de calibration des modèles notamment dans HYDRONOMEAS...

Les principes de certains outils sont également intéressants pour l'utilisateur averti : choix des lois statistiques dans OMBROS par exemple, visualisation de l'évolution des systèmes au cours des calculs de simulation ou de calibration (ZYGOS en calage et HYDRONOMEAS en simulation)...

Enfin, le point le plus important du résultat du projet ODYSSEUS est le transfert vers le domaine de l'ingénierie d'outils performants issus de plusieurs années de recherche fondamentale. L'évaluation du point de vue technique et recherche des outils n'a pas été effectuée de manière très poussée dans le cadre de l'expertise. Une évaluation de ces outils a en outre déjà été conduite par d'autres chercheurs lors des publications et des participations aux congrès sur ces sujets.

De plus, grâce à l'implication des universitaires, on passe de la recherche fondamentale à la recherche appliquée. Ce transfert ne signifie pas une simplification à outrance des outils et des méthodes résultant des recherches antérieures. On peut également espérer de futures améliorations des outils du fait des futurs progrès de la recherche dans le domaine de l'hydrologie, de la modélisation et de la gestion de la ressource.

En ce qui concerne l'écriture des outils, nous souhaitons rappeler la convivialité des interfaces graphiques et la facilité de les utiliser.

Par ailleurs, au moyen des différents outils informatiques utilisés lors de la rédaction des interfaces et de l'architecture de chaque modèle et de l'ensemble des modèles, on peut également insister sur l'intérêt des méthodes mises œuvre entre NAMA et NTUA : approche CVS, utilisation de Bugzilla, choix de POSTGRES pour la gestion de base de données (outil du même type qu'ACCESS mais gratuit et permettant notamment de travailler en réseau sur la même base de données). La volonté de qualité et de suivi dans l'écriture des outils informatiques est évidente. Ce n'est pas toujours facile à mettre en œuvre et nous souhaitons le mentionner ici.

Cependant, certains outils restent complexes pour un utilisateur moyen tout comme l'organisation générale des outils. NAMA devra assurer des formations et du soutien technique auprès des utilisateurs futurs. Ces formations et ce soutien technique ne devraient pas être des éléments rédhibitoires pour les utilisateurs.



Par ailleurs, la connaissance fine des outils est indispensable et elle est surtout disponible auprès de quelques personnes à l'université (Professeur Koustoyanis et docteur Efstratiadis essentiellement). Un manuel théorique existe en grec. Au moment de la mission, la traduction anglaise n'était pas disponible. Au-delà de cette traduction, il serait intéressant de réfléchir au transfert de la connaissance des outils d'un point de vue théorique vers les membres du projet ODYSSEUS. D'un point de vue pratique, la plupart des utilisateurs auront des questions relativement simples. Mais si certains utilisateurs ont des questions théoriques plus pointues, il serait intéressant que la personne présentant les outils puisse y répondre. La commercialisation sera d'autant plus aisée si les personnes qui en ont la charge possèdent l'ensemble des principales connaissances théoriques concernant les caractéristiques mathématiques de chaque outil. Il est risqué de faire reposer la connaissance théorique sur 1 ou 2 personnes seulement. Le fait de savoir faire fonctionner les modèles informatiques est une chose, connaître les théories sous jacentes en est une autre.

En quelques mots :

- Le potentiel de développement de NAMA autour de cet outil est très important.
- L'Université Technique Nationale d'Athènes a valorisé plusieurs années de recherche : c'est un atout majeur du projet.
- SOGREAH, impliqué dans le projet en qualité d'expert extérieur, suivra avec attention et intérêt les futurs développements et études réalisées avec les outils du projet.

## 5.2. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENTS FUTURS

Nous listons dans ce paragraphe quelques suggestions d'évolution des outils, sur le fond ou sur la forme, qui pourraient permettre de faire évoluer les modèles à moyen terme.

- PYTHIA :
  - définir soi-même les paramètres d'une loi de distribution de fréquence empirique ;
  - ne pas écraser si possible les résultats précédents notamment lorsqu'on calcule les intervalles de confiance ou qu'on change de mois ;
  - autoriser le transfert vers Excel ou un autre outil du même type non seulement des graphiques mais également des résultats (paramètres des distributions statistiques retenues, tableaux de valeurs pour différentes périodes de retour,...) pour éventuellement effectuer des modifications sur les graphiques ;
  - permettre le travail par saison si nécessaire en offrant la possibilité à l'utilisateur de définir lui-même les saisons afin de s'adapter à tous les types de climatologie.

- OMBROS :
  - garder en mémoire les variables utilisées précédemment par défaut. Par exemple, si on ferme OMBROS par erreur ou pour effectuer d'autres opérations entre temps, on perd les données entrées précédemment. Si on réutilise ensuite OMBROS, il faut redéfinir toutes les variables. On pourrait par défaut conserver les données précédentes au moment de la réouverture (sous une même session de HYDROGNOMON donc perte des données uniquement d'une session à l'autre) et permettre à l'utilisateur de réinitialiser toutes les données en cliquant sur un bouton spécifique ;
  - rendre possible les modifications des axes du graphique des IDF. Un graphique standard est proposé allant de 1 à 1000 mm/h en ordonnées et de 0,01 à 100 h en ordonnées. Dans le cas des intensités, si la période de retour est particulièrement forte et que les données d'entrée correspondent à des climats où les intensités sont généralement fortes, par exemple en climat tropical, l'échelle de l'axe des intensités n'est pas adapté en fonction des valeurs d'intensités atteintes. Dans le cas où les intensités sont particulièrement faibles, il pourrait être intéressant de zoomer sur l'axe des intensités pour visualiser les gammes de valeurs significatives.
- ZYGOS :
  - Le modèle présente un nombre important de paramètres. Il pourrait être conseillé de ne pas calibrer tous les paramètres en même temps ou de ne pas calibrer simultanément tous les paramètres de chaque réservoir, notamment la capacité du réservoir sol puisque celle-ci est compensée par le remplissage initial ou le positionnement de H1 notamment ;
  - Nous suggérons également de proposer une version dégradée de ZYGOS permettant d'atteindre des résultats en moyenne du même niveau de qualité en diminuant le nombre de paramètres.
- CASTALIA :
  - un graphique supplémentaire pourrait être ajouté dans la partie résultat. Il permettrait de comparer visuellement les distributions de fréquence des pluies simulées selon différentes durées (mois et année essentiellement) avec les distributions de fréquence des pluies observées pour ces mêmes durées. On apprécierait ainsi la qualité des simulations non plus seulement par rapport à la reconstitution des caractéristiques statistiques des échantillons (moyenne, écart-type, asymétrie) mais également par rapport à la reconstitution des quantiles de pluies.
- ALS :
  - l'estimation des débits de pompage pourrait être affinée mois par mois et non plus seulement à l'échelle de l'année hydrologique moyenne complète.

- HYDRONOMEAS :
  - Gestion des priorités : la répartition de la ressource entre tous les usages n'est pas équitable une fois que les règles de répartition sont définies. Il pourrait être intéressant de gérer différemment les priorités en définissant des lois différentes et davantage progressives au niveau des restrictions (non plus seulement de type tout ou rien). Par exemple dans le cas de deux usages, l'usage de priorité 1 pourrait être réduit à 80% dans le cas où la ressource est trop faible pour satisfaire simultanément les deux usages. Ce serait un atout supplémentaire de ODYSSEUS vis-à-vis des outils concurrents qui fonctionnent actuellement tous de la même façon ;
  - Réévaluation des usages en cas d'étiage sévère : la définition des usages pourrait être adaptée en fonction des débits observés ou des cotes de pré-alerte et d'alerte d'étiage définies pour chaque réservoir. De cette façon, on conditionnerait la ressource mise à disposition en cas d'étiage sévère ce qui serait un plus pour le gestionnaire. Du point de vue de la modélisation, il faudrait alors réduire la consommation en considérant par exemple des restrictions simples sur certains usages (arrosage d'agrément des pelouses privées, lavage des véhicules, remplissage des piscines, limitation des prélèvements pour l'irrigation,...).
- Modèles de qualité :
  - d'un point de vue pratique dans LERNE et sans doute aussi dans HERIDANOS, il serait sans doute intéressant de pouvoir copier/coller les lignes de définition des paramètres des simulations. De ce fait, sur la base d'une ligne initiale, on pourrait définir simplement plusieurs lignes correspondant à plusieurs simulations différant chacune de la ligne initiale d'un seul paramètre. On identifierait ainsi l'impact d'un paramètre particulier sur les résultats des calculs ;
  - modèle de qualité des aquifères : ce thème a été laissé de côté dans le cadre du projet faute de partenaire. En fonction des besoins identifiés par la suite, il pourrait être intéressant de compléter les modèles de qualité déjà disponibles.

---

## ANNEXE 1 : LISTE DES PUBLICATIONS (HORS EGU 2005)

---

(Pour mémoire : liste des principales publications en lien avec le projet ODYSSEUS et rappel en quelques lignes de la thématique de l'article)

1997

A parametric rule for planning and management of multiple-reservoir systems – I. Nalbantis & D. Koutsoyiannis, WRR, vol. 33, n°9, pp. 2165-2177

Proposition d'une loi pour la paramétrisation de systèmes à plusieurs réservoirs en tenant compte des apports, des besoins, des objectifs de gestion visés

1998

A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships – D. Koutsoyiannis, D. Kozonis, A. Manetas, JoH, 206, pp. 118-135

Proposition d'une formule de construction des courbes IDF en tenant compte explicitement des distributions de probabilités utilisées pour calculer les maxima des intensités. Optimisation des paramètres de la formulation générale en fonction du modèle d'extrapolation. Méthode reprise dans OMBROS (calcul des IDF dans ODYSSEUS)

2000

A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series – D. Koutsoyiannis, WRR, vol. 36, n°6, pp. 1519-1533

Publication initiale du modèle de simulation stochastique de séries de données temporelles présenté ensuite à l'EGS 2001

2001

Coupling stochastic models of different timescales – D. Koutsoyiannis, WRR, vol. 37, n°2, pp. 379-391

Couplage de modèles hydrologiques stochastiques utilisés à des échelles de temps différentes pour que les résultats soient homogènes toutes échelles confondues. Transformation des séries stochastiques à pas de temps fin pour les rendre homogènes avec les séries stochastiques à pas de temps grossier. Conservation des moments d'ordre 2 et 3. L'intérêt de la méthode consiste aussi à faciliter la désagrégation d'une variable d'un pas de temps grossier à un pas de temps plus fin.

A stochastic hydrology framework for the management of multiple reservoir systems – D. Koutsoyiannis & A. Efstratiadis, EGS 2001

Méthode de simulation stochastique de données appliquée à l'hydrologie. Modèles incorporés dans CASTALIA. Prise en compte de l'auto-corrélation des variables hydrologiques sur des durées longues et donc du phénomène de Hurst

2002

A decision support tool for the management of multi-reservoir systems – D. Koutsoyiannis, A. Efstratiadis, G. Karavokiros, J. of the American Water Resources Association, vol. 38, n°4

Outil de gestion d'un système constitué de plusieurs réservoirs dont les objectifs ne sont pas tous identiques compte tenu des usages de chacun. Outil également d'optimisation de la gestion du système. On le retrouve dans ODYSSEUS. Calage de l'outil par la méthode dite de paramétrisation-simulation-optimisation : 1) réduction du nombre de paramètres en entrée, 2) simulation d'une série synthétique des données, 3) optimisation du système à partir des données synthétiques

2003

Evaluation of the parametrization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems – D. Koutsoyiannis & A. Economou, WRR, vol. 39, n°6

Paramétrisation : au lieu de représenter deux réservoirs dans un modèle en comportant donc 2, on représente le lien entre ces réservoirs. De ce fait, on paramètre le lien et on réduit le nombre de variables du modèle à optimiser. Au lieu d'avoir à optimiser 2 fois le nombre de variables d'un réservoir, on a une fois le nombre de variables d'un réservoir plus les paramètres de la loi reliant les deux réservoirs (à la limite, un seul paramètre supplémentaire en fonction du lien entre les 2 réservoirs). Ensuite, on définit une série synthétique de données et on optimise.

A decision support system for the management of the water resource system of Athens – D. Koutsoyiannis et al., Physics and Chemistry of the Earth, 28, pp. 599-609

L'outil d'aide à la décision inclut : l'acquisition, la gestion et la visualisation des données ainsi que des modèles pour simuler et optimiser le système. Pour les modèles, on a d'un côté un outil de simulation stochastique hydrologique pour générer les données d'entrée et de l'autre un outil permettant de tester différentes politiques de gestion de la ressource. L'intérêt de la méthode est de conserver un nombre réduit de paramètres, de prendre en compte plusieurs objectifs ainsi que des priorités définies pour chaque objectif et d'estimer le coût des politiques.

2004

Minimizing water cost in water resource management of Athens – A. Efstratiadis, D. Koutsoyiannis, D. XENOS, Urban Water Journal, vol. 1, n°1, pp. 3-15

Minimisation du coût de l'eau au moyen d'un outil de gestion intégrée de la ressource. Optimisation de la politique de gestion du système afin de réduire les risques et le coût.

Calibration of semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows – E. Rozos et al., Hydrological Sciences Journal, vol. 49, n°5

Développement d'un modèle hydrologique prenant en compte les processus souterrains et superficiels : module conceptuel de prise en compte de l'humidité du sol, module d'écoulement de Darcy multi-cellules, module de distribution des prélèvements d'eau parmi ces différentes ressources. Calage par cessions successives manuelle et automatique. En optimisation, utilisation de l'algorithme evolutionary-annealing-simplex. Optimisation multi-critères avec respects de certaines contraintes saisonnières ou temporelles.

Management of coastal aquifers based on nonlinear optimization and evolutionary algorithms – A. Mantoglou, M. Papantoniou, P. Giannouloupoulos, Journal of Hydrology, 297, pp. 209-228

Estimation des débits optimums de pompage dans un aquifère côtier dans le but d'éviter le pompage d'eau salée.

2005

The multiobjective evolutionary annealing-simplex method and its application in calibrating hydrological models – A. Efstratiadis & D. Koutsoyiannis, EGU 2005

Présentation de la méthode de calage des modèles hydrologiques développée dans le cadre du projet ODYSSEUS. Méthode multi-objectifs avec estimation du front de Pareto

2006

A multicell karstic aquifer model with alternative flow equations – E. Rozos & D. Koutsoyiannis, JoH, 325, pp. 340-355

3 types d'écoulements dans les zones karstiques : écoulement dans les conduits, infiltration depuis la surface, écoulement dans la zone de circulation verticale. Proposition d'un modèle permettant de combiner les apports de surface et les écoulements verticaux.

---

## ANNEXE 2 : PRESENTATION GENERALE DES PRINCIPAUX OUTILS CONCURRENTS

---

(Extraits issus des documentations commerciales des différents outils)

### **WEAP**

WEAP is a microcomputer tool for integrated water resources planning that attempts to assist the skilled planner. It provides a comprehensive, flexible and user-friendly framework for planning and policy analysis.

Background:

Many regions are facing freshwater management challenges. Allocation of limited water resources, concerns regarding environmental quality, planning under climate variability and uncertainty, and the need to develop and implement sustainable water use strategies are increasingly pressing issues for water resource planners. Conventional supply-oriented simulation models are not always adequate for exploring the full range of management options.

Over the last decade, an integrated approach to water development has emerged which places water supply projects in the context of demand-side management, and water quality and ecosystem preservation and protection. WEAP incorporates these values into a practical tool for water resources planning and policy analysis. WEAP places demand-side issues such as water use patterns, equipment efficiencies, re-use strategies, costs, and water allocation schemes on an equal footing with supply-side topics such as stream flow, groundwater resources, reservoirs, and water transfers. WEAP is also distinguished by its integrated approach to simulating both the natural (e.g., evapotranspirative demands, runoff, baseflow) and engineered components (e.g., reservoirs, groundwater pumping) of water systems, allowing the planner access to a more comprehensive view of the broad range of factors that must be considered in managing water resources for present and future use. The result is an effective tool for examining alternative water development and management options.

WEAP operates in many capacities:

- Water balance database: WEAP provides a system for maintaining water demand and supply information.
- Scenario generation tool: WEAP simulates water demand, supply, runoff, streamflows, storage, pollution generation, treatment and discharge and instream water quality.
- Policy analysis tool: WEAP evaluates a full range of water development and management options, and takes account of multiple and competing uses of water systems.

The WEAP Approach:

WEAP operates on the basic principle of a water balance and can be applied to municipal and agricultural systems, a single watershed or complex transboundary river basin systems. Moreover, WEAP can simulate a broad range of natural and engineered components of these systems, including rainfall runoff, baseflow, and groundwater recharge from precipitation; sectoral demand analyses; water conservation; water rights and allocation priorities, reservoir operations; hydropower generation; pollution tracking and water quality; vulnerability assessments; and ecosystem requirements. A financial analysis module also allows the user to investigate cost-benefit comparisons for projects.

The analyst represents the system in terms of its various supply sources (e.g., rivers, creeks, groundwater, reservoirs, and desalination plants); withdrawal, transmission and wastewater treatment facilities; water demands; pollution generation; and ecosystem requirements. The data structure and level of detail can be easily customized to meet the requirements and data availability for a particular system and analysis.

WEAP applications generally include several steps:

- Study definition: The time frame, spatial boundaries, system components, and configuration of the problem are established.
- Current accounts: A snapshot of actual water demand, pollution loads, resources and supplies for the system are developed. This can be viewed as a calibration step in the development of an application.
- Scenarios: A set of alternative assumptions about future impacts of policies, costs, and climate, for example, on water demand, supply, hydrology, and pollution can be explored.
- Evaluation: The scenarios are evaluated with regard to water sufficiency, costs and benefits, compatibility with environmental targets, and sensitivity to uncertainty in key variables.

Examples of WEAP Scenario Analyses:

Scenarios are used to explore the model with a range of "what if" questions, such as:

- What if population growth and economic development patterns change?
- What if reservoir operating rules are altered?
- What if groundwater is more fully exploited?
- What if water conservation is introduced?
- What if ecosystem requirements are tightened?
- What if a conjunctive use program is established to store excess surface water in underground aquifers?
- What if a water recycling program is implemented?
- What if a more efficient irrigation technique is implemented?
- What if the mix of agricultural crops changes?
- What if climate change alters demand and supplies?



- How does pollution upstream affect downstream water quality?
- How will land use changes affect runoff?

WEAP Development:

The Stockholm Environment Institute provided primary support for the development of WEAP. The Hydrologic Engineering Center of the US Army Corps of Engineers funded significant enhancements. A number of agencies, including the UN, World Bank, USAID, US EPA, IWMI, AwwaRF and the Global Infrastructure Fund of Japan have provided project support.

## MIKE BASIN

For addressing water allocation, conjunctive use, reservoir operation, or water quality issues, MIKE BASIN couples the power of ArcGIS with comprehensive hydrologic modelling to provide basin-scale solutions. The MIKE BASIN philosophy is to keep modelling simple and intuitive, yet provide in-depth insight for planning and management. In MIKE BASIN, the emphasis is on powerful simulation result visualization in both space and time, in order to build understanding and consensus.

For hydrologic simulations, MIKE BASIN builds on a network model in which branches represent individual stream sections and the nodes represent confluences, diversions, reservoirs, or water users. The ArcGIS interface has been expanded accordingly, e.g., such that the network elements can be edited by simple right-clicking. Technically, MIKE BASIN is a quasi-steady-state mass balance model, however allowing for routed river flows. The water quality solution assumes purely advective transport; decay during transport can be modeled. The groundwater description uses the linear reservoir equation.

Typical fields of application are:

- Water availability analysis: conjunctive surface and groundwater use, optimization thereof.
- Infrastructure planning: irrigation potential, reservoir performance, water supply capacity, waste water treatment requirements.
- Analysis of multisectoral demands: domestic, industry, agriculture, hydropower, navigation, recreation, ecological, finding equitable trade-offs.
- Ecosystem studies: water quality, minimum discharge requirements, sustainable yield, effects of global change. Regulation: water rights, priorities, water quality compliance.

MIKE BASIN is developed by DHI.

## **RIBASIM: River Basin Planning and Management**

RIBASIM (River Basin Simulation Model) is a generic model package for analyzing the behaviour of river basins under various hydrological conditions. The model package is a comprehensive and flexible tool which links the hydrological water inputs at various locations with the specific water-users in the basin.

RIBASIM enables the user to evaluate a variety of measures related to infrastructure, operational and demand management and the results in terms of water quantity and water quality. RIBASIM generates water distribution patterns and provides a basis for detailed water quality and sedimentation analyses in river reaches and reservoirs. It provides a source analysis, giving insight in the water's origin at any location of the basin. RIBASIM follows a structured approach to river basin planning and management.

RIBASIM is a modelling instrument for river basin planning and management. It has a set of outstanding features which make it a state of the art river basin simulation package.

RIBASIM has a link with the HYMOS hydrological database and modelling system. For detailed water quality process RIBASIM can be linked with the DELWAQ water quality model.

Field of application:

RIBASIM is designed for any analysis which requires the water balance of a basin to be simulated. The resulting waterbalance provides the basic information on the available quantity of water as well as the composition of the flow at every location and any time in the river basin.

RIBASIM provides the means to prepare such balances in required detail, taking into account drainage from agriculture, discharges from industry and the downstream re-use of water. A number of basin performance parameters are generated for evaluation of the simulated situations.

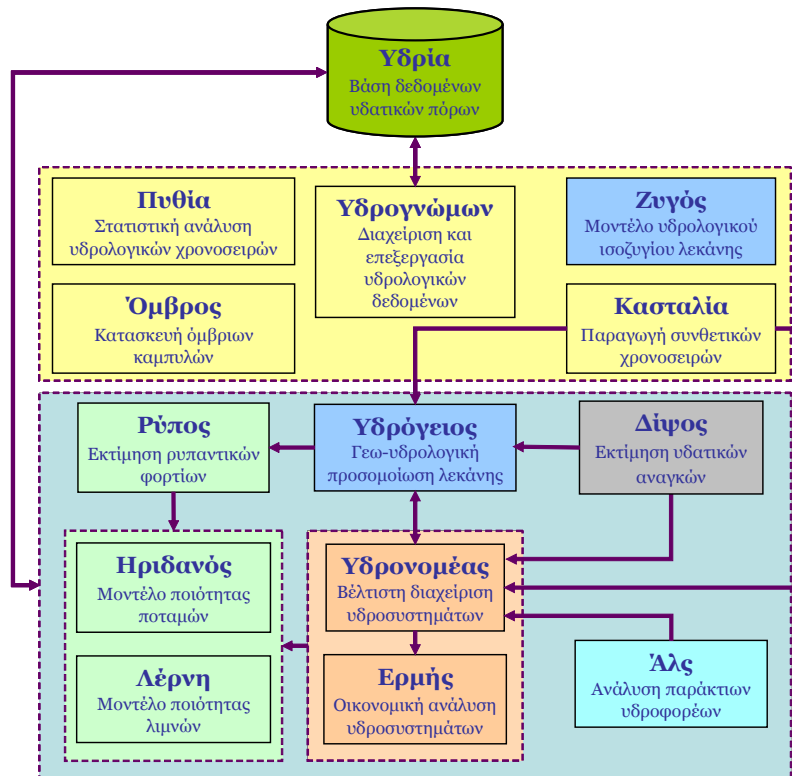
A recent application of RIBASIM is the use of the model as flow routing component within a Flood Early Warning System (FEWS). Various hydrologic routing methods are available in RIBASIM e.g. Manning formula, Flow-level relation, 2-layered multi segmented Muskingum formula, Puls method and Laurenson non-linear "lag and route" method. The flow routing is executed on daily basis starting at any selected day for any number of days ahead.

User interface:

The structure of RIBASIM is based on an integrated framework with a user-friendly, graphically, GIS-oriented interface.

The working environment provides:

- guidance of the user at the design, calculation (simulation) and the analysis phase,
- GIS environment for the interactive preparation of the basin schematization, the entry of object attribute data and the evaluation of simulation results.



**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΕΡΓΟ ΟΔΥΣΣΕΥΣ**

**ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ – 2007  
ΑΡ. 1 74 0462

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ(ΟΔΥΣΣΕΥΣ)</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ SOGREAH ΣΤΟ ΕΡΓΟ ΟΔΥΣΣΕΥΣ</b> .....	<b>5</b>
1.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΟΜΙΛΟΥ SOGREAH ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ .....	5
1.2. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ SOGREAH ΣΤΟ ΕΡΓΟ ΟΔΥΣΣΕΥΣ .....	7
<b>2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ</b> .....	<b>8</b>
2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΧΕΣΕΩΝ.....	8
2.2. ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	9
2.3. ΕΠΙΣΚΕΦΗ ΤΗΣ SOGREAH ΣΤΗΝ ΝΑΜΑ.....	10
<b>3. ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ</b> .....	<b>12</b>
3.1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ .....	12
3.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΑΓΚΩΝ: ΔΙΨΟΣ.....	13
3.3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ.....	14
3.4. ΕΝΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ: ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ.....	18
3.5. ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.....	20
3.6. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ: ΡΥΠΟΣ, ΗΡΙΔΑΝΟΣ, ΛΕΡΝΗ .....	22
3.7. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ: ΑΛΣ .....	23
3.8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ: ΕΡΜΗΣ.....	24
<b>4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ</b> .....	<b>25</b>
4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	25
4.2. ΚΥΡΙΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΕ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ .....	25
4.3. ΕΜΠΟΡΙΑ .....	26
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>28</b>
5.1. ΈΝΑ ΦΙΛΟΔΟΞΟ ΚΑΙ ΥΠΟΣΧΟΜΕΝΟ ΕΡΓΟ.....	28
5.2. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....	29
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΛΙΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ (ΕΚΤΟΣ EGU 2005)</b> .....	<b>33</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ</b> .....	<b>36</b>

---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Στο πλαίσιο της αποστολής εμπειρογνομosύνης της SOGREAH, διοργανώθηκε μια επίσκεψη στην Αθήνα από τις 20 έως τις 24 Νοεμβρίου 2006. Η εν λόγω επίσκεψη αποτέλεσε ευκαιρία να συναντηθούμε με τους κύριους εμπλεκόμενους παράγοντες στο έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ και να παραστούμε σε πλήρεις και τεκμηριωμένες παρουσιάσεις των διαφόρων μοντέλων. Αποτέλεσε επίσης ευκαιρία διεξαγωγής πολυάριθμων συζητήσεων με τα μέλη του έργου (ερευνητές, υποψήφιους διδάκτορες, μηχανικούς, τεχνικούς πληροφορικής,...). Ευχαριστούμε όλα τα άτομα που συναντήσαμε για τη φιλοξενία τους, τη διαθεσιμότητά τους, το χρόνο που αφιέρωσαν για να παρουσιάσουν και να εξηγήσουν τη λειτουργία των εφαρμογών και την υψηλή ποιότητα των παρουσιάσεών τους.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα:

- τον Καθηγητή Δημήτριο Κουτσογιάννη για την εξαιρετική φιλοξενία που μας παρείχε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και τις συζητήσεις που πραγματοποιήσαμε κατά την επίσκεψή μας στο εργαστήριό του,
- τον κύριο Παναγιώτη Ντρή, επικεφαλής του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ, για την ευκαιρία που προσέφερε στην SOGREAH να συνεργαστεί με την NAMA και να συμβάλει από την πλευρά της στο έργο,
- τον κύριο Κάζο, διευθυντή του υδραυλικού τμήματος, για τη φιλοξενία που μας παρείχε στην NAMA καθ' όλη τη διάρκεια της επίσκεψης.

Ευχαριστούμε επίσης:

- τον κύριο Ιωάννη Βαζίμα, σύνδεσμο της NAMA με την SOGREAH και υπεύθυνο του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ, για τη διαθεσιμότητά του ολόκληρη την εβδομάδα και την εξαιρετική οργάνωση αυτής της εβδομάδας εργασίας,
- τον κύριο Γεώργιο Καραβοκυρό, υπεύθυνο προγραμματισμού των εφαρμογών του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ, για την πρόσβαση στα δεδομένα και τα εργαλεία που παρείχε στην SOGREAH, καθώς και για την παρουσίαση των εφαρμογών από την άποψη του προγραμματισμού,
- τον Διδάκτορα Ανδρέα Ευστρατιάδη για τη διαθεσιμότητά του και τις σαφείς παρουσιάσεις των εφαρμογών μοντελοποίησης από πρακτικής και θεωρητικής άποψης.

---

## ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ(ΟΔΥΣΣΕΥΣ)

---

Το έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ αποτελεί την κατάληξη περαιτέρω έρευνας που οριστικοποιήθηκε με τη μορφή ενός συνόλου πολυάριθμων υδρολογικών, στατιστικών, οικονομικών και διαχειριστικών εργαλείων που συνιστούν ένα γενικό εργαλείο το οποίο διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις πολιτικές διαχείρισης των πόρων σε διάφορα επίπεδα (λεκάνη, υδροφορέας, δήμοι, κοινότητες δήμων, επαρχίες,...). Το γενικό εργαλείο αποτελείται από τρεις κύριες ενότητες. Οι ενότητες αυτές είναι:

- ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ: υδραυλική ενότητα,
- ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ: ενότητα διαχείρισης των πόρων,
- ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ: ενότητα υπόγειων υδάτων.

Σε αυτό το στάδιο προόδου του έργου (τέλη Νοέμβρη 2006), το σημαντικότερο μέρος των εργασιών του συνόλου της ομάδας του έργου έχει εκτελεστεί. Μπορούμε ήδη να χαιρετίσουμε την ποιότητα της εργασίας του συνόλου της ομάδας, την ποιότητα και την συνέπεια της μεθοδολογίας ανάπτυξης των εργαλείων, την ποσότητα των εργασιών που εκτελέστηκαν μέχρι στιγμής και το ενδιαφέρον διάδοσης στον τομέα της τεχνολογίας εργαλείων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο προηγούμενων ερευνών που έχουν τύχει πολυάριθμων δημοσιεύσεων (Παράρτημα 1).

Η κατάληξη βασικών ερευνών με τη μορφή λειτουργικών εργαλείων δεν είναι πάντα τόσο εύκολο γεγονός όσο μπορεί να φαίνεται. Οι ειδικοί στους τομείς της έρευνας και της τεχνολογίας δεν έχουν πάντα τα ίδια ενδιαφέροντα ούτε και τους ίδιους στόχους. Αυτού του είδους η διάδοση της γνώσης δεν εφαρμόζεται επομένως συχνά με αυτόν τον τρόπο, και ιδιαίτερα στον τομέα της υδρολογίας. Πρέπει συνεπώς να χαιρετίσουμε και αυτή την πτυχή του έργου που αποτελεί μια μεγάλη επιτυχία της NAMA και του ΕΜΠ, ελπίζοντας και προσδοκώντας ότι δεν θα σταματήσει η συνεργασία αυτή. Η διατήρηση αυτής της σχέσης θα επιτρέψει όχι μόνο τη συνεχή βελτίωση των εργαλείων του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ, αλλά ενδεχομένως και την ανάπτυξη νέων, και γιατί όχι και σε άλλους συμπληρωματικούς τομείς, το συνεχή προσανατολισμό της βασικής έρευνας στη δημιουργία λειτουργικών εργαλείων που χάρη στη μόνιμη συμβολή της ακαδημαϊκής ερευνητικής κοινότητας διατηρούν τεχνικά και θεωρητικά χαρακτηριστικά υψηλής ποιότητας.

## 1. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ SOGREAH ΣΤΟ ΕΡΓΟ ΟΔΥΣΣΕΥΣ

### 1.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΟΜΙΛΟΥ SOGREAH ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ

Η SOGREAH είναι μια κοινοπραξία συμβούλων που ειδικεύεται στη χωροταξία και το περιβάλλον. Όντας πλήρως ανεξάρτητη από κάθε βιομηχανικό ή οικονομικό φορέα, η SOGREAH ασκεί τις δραστηριότητές της μέσω ενός σημαντικού δικτύου εγκαταστάσεων, τόσο στη Γαλλία όσο και διεθνώς.

Αυτές οι δραστηριότητες εκτείνονται σε πολύ διαφοροποιημένους τομείς: νερό, περιβάλλον, ναυτιλία, βιομηχανία, πολεοδομία και χωροταξικός σχεδιασμός, έργα υποδομής, ενέργεια και ηλεκτρικά συστήματα, διαχείριση κινδύνων.

Το τμήμα Eau-Environnement-LHF (EEL) της SOGREAH συντονίζει τις δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης της κοινωνίας και ειδικεύεται στην τελειοποίηση και εφαρμογή υπολογιστικών συστημάτων και συστημάτων μοντελοποίησης στον υδραυλικό, υδρολογικό και υδρογεωλογικό τομέα. Το τμήμα EEL έχει αναπτύξει ειδικές ικανότητες μοντελοποίησης στη διαχείριση φυσικών κινδύνων (υλοποίηση συστημάτων πρόληψης και προειδοποίησης ισχυρής ανύψωσης στάθμης, διαχείρισης χαμηλής στάθμης υδάτων, διαχείρισης διαδοχικών κινδύνων,...), την αξιολόγηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων και τη διαχείριση των πόρων αυτών.

Το τμήμα EEL της SOGREAH διαθέτει μακροχρόνια εμπειρία στον τομέα της μοντελοποίησης, και ειδικότερα στον τομέα των υδατικών πόρων:

- πρόληψη της ισχυρής ανύψωσης στάθμης χρησιμοποιώντας τις λειτουργικές πλατφόρμες πρόληψης SOPHIE που έχει αναπτύξει η Κεντρική Υπηρεσία Υδρομετεωρολογίας και Υποστήριξης για την Πρόληψη των Πλημμυρών (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations, SCHAPI) και MYSTERE (ενοποιημένο σύστημα πολλαπλών μοντέλων για τη διαχείριση των κινδύνων και του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο) που έχει αναπτύξει η SOGREAH,
- δισδιάστατη υδραυλική μοντελοποίηση σε ελεύθερη επιφάνεια μέσω του συστήματος TELEMAC που έχει αναπτυχθεί και διατίθεται στο εμπόριο σε συνεργασία με το Εθνικό Εργαστήριο Υδραυλικών Συστημάτων και Περιβάλλοντος (Laboratoire Nationale Hydraulique et Environnement, LNHE) της γαλλικής εταιρείας ηλεκτρισμού (Electricité De France, EDF),
- ανάπτυξη και εμπορία του λογισμικού μονοδιάστατης υδραυλικής μοντελοποίησης CARIMA,
- μοντελοποίηση της διαχείρισης υδατικών πόρων με χρήση των εργαλείων MIKE BASIN και WEAP,
- προδιαγραφές, σχεδιασμός και ανάπτυξη της διεπαφής Homme-Machine,



- προδιαγραφές και ανάπτυξη αναβαθμίσεων εφαρμογών λογισμικού:
  - λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων για τη μοντελοποίηση διασυνδεδεμένων βιομηχανικών δικτύων,
  - λογισμικό προσομοίωσης και διαχείρισης των δικτύων υδατοπρομήθειας,
  - λογισμικό μοντελοποίησης της ποιότητας των υδατορρευμάτων,
  - τρισδιάστατο σύστημα μοντελοποίησης των εκροών και της μεταφοράς ρύπων υπογείως (DEDALE 3D),
  - σύστημα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο για τη μεταφορά δεδομένων,...

Το τμήμα EEL της SOGREAH συντονίζει επίσης τις ερευνητικές δραστηριότητες στον τομέα των υδάτων στις οποίες συμμετέχει η κοινοπραξία. Παραθέτουμε ακολούθως τα πιο πρόσφατα έργα σε διαφοροποιημένα και συμπληρωματικά πεδία εφαρμογής:

- συμμετοχή σε πολυάριθμα ερευνητικά προγράμματα σχετικά με τη διαχείριση του κινδύνου πλημμυρών:
  - συντονισμός και συμβολή στην υλοποίηση του προγράμματος εργασίας του ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου IST/OSIRIS (IST-1999-11598) με στόχο την ανεύρεση καινοτόμων λειτουργικών λύσεων με βάση τη χρήση των νέων τεχνολογιών της πληροφορίας και επικοινωνίας (ΤΠΕ) για τη βελτίωση της διαχείρισης του κινδύνου πλημμυρών,
  - συμμετοχή στο ευρωπαϊκό συνοδευτικό μέτρο IST/RISK FORCE: καθορισμός μιας σειράς ειδικών δράσεων και ενός πρωτοκόλλου διαχείρισης των φυσικών κινδύνων στην Ευρώπη,
  - συμμετοχή στο ευρωπαϊκό έργο FLOODSITE (6ο πρόγραμμα πλαίσιο έρευνας και ανάπτυξης) για την ολοκληρωμένη ανάλυση και διαχείριση των κινδύνων πλημμυρών,
- συμμετοχή σε πολυάριθμα ερευνητικά προγράμματα σχετικά με τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων:
  - CLIMASILAC II για τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε ορεινές περιοχές,
  - SMART για τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε παράκτιες ζώνες,
  - EUROLAKES για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων μεγάλων ευρωπαϊκών βαθέων λιμνών και των λεκανών απορροής τους,

- ASEMWATERNET: πρόταση για μια πλατφόρμα πολλών φορέων λήψης αποφάσεων για την επιστημονική και τεχνική συνεργασία μεταξύ Ασίας και Ευρώπης όσον αφορά την αειφόρο χρήση των υδατικών πόρων,
- ανάπτυξη και έλεγχος εγκυρότητας ενός πρωτοτύπου συστήματος προειδοποίησης για την ανάπτυξη τοξικών κυανοβακτηρίων στις λίμνες (SACYTOX),
- συντονισμός του προγράμματος «Risque Décision Territoire» σχετικά με τη διαχείριση των φυσικών και βιομηχανικών κινδύνων επί του γαλλικού εδάφους.

## 1.2. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ SOGREAH ΣΤΟ ΕΡΓΟ ΟΔΥΣΣΕΥΣ

Η συμβολή της SOGREAH στο πλαίσιο του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ συνίσταται στην αναθεώρηση και τη διενέργεια εμπειρογνωμοσύνης επί των αναπτυχθέντων εργαλείων, δεδομένης της εμπειρίας που έχει αποκτήσει στο παρελθόν σε τέτοιου είδους μελέτες. Σε αυτό το στάδιο του έργου, δεν παρεμβαίνει στις επιλογές που έχουν γίνει και στο σχεδιασμό των εργαλείων, αλλά η συμβολή της συνίσταται στα εξής:

- στην αξιολόγηση της ποιότητας των θεωρητικών βάσεων κάθε μοντέλου,
- στην αξιολόγηση των διασυνδέσεων μεταξύ των διαφόρων ενοτήτων και των διαφόρων μοντέλων κάθε ενότητας,
- στη δοκιμή των εργαλείων σε διάφορες χρήσεις λειτουργίας (ιδιαίτερως στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στο πλαίσιο του έργου: Κάλυμνος και λεκάνη της Καρδίτσας),
- στη δοκιμή της ευχρηστίας των διεπαφών ανθρώπου-μοντέλου και ανθρώπου-ενότητας,
- στον προσδιορισμό των βασικών προτερημάτων του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ σε σχέση με τα αντίστοιχα ανταγωνιστικά εργαλεία,
- στην υποβολή προτάσεων για πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις που θα βελτιώσουν την ευχρηστία των εργαλείων, θα επιτρέψουν την προσθήκη ορισμένων απλών συμπληρωματικών λειτουργικών δυνατοτήτων και θα προσδώσουν προστιθέμενη αξία στα εργαλεία του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ σε σχέση με τα κύρια ανταγωνιστικά εργαλεία.

## 2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΧΕΣΕΩΝ

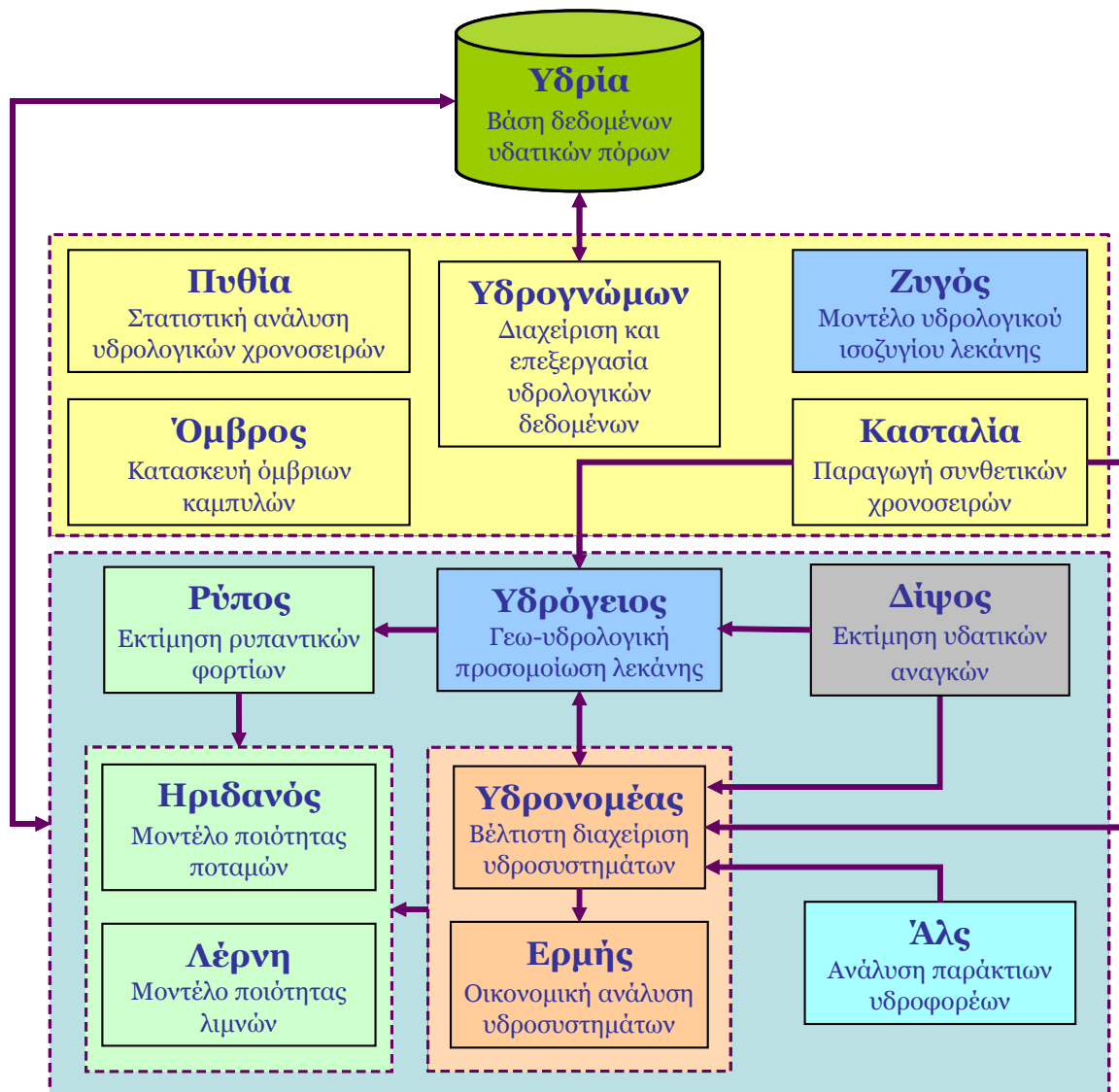
Ο γενικός στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη εργαλείων μοντελοποίησης για την διεξαγωγή αναλύσεων όσον αφορά τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και τη διαχείρισή τους. Τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία είναι τα εξής:

- ΥΔΡΙΑ: βάση κοινών δεδομένων για όλα τα εργαλεία μοντελοποίησης
- ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ: ενότητα διαχείρισης και μοντελοποίησης των υδρολογικών δεδομένων
  - ΟΜΒΡΟΣ: ανάλυση επεισοδίων βροχής, κατάρτιση όμβριων καμπυλών
  - ΠΥΘΙΑ: στατιστική ανάλυση μιας χρονοσειράς, για παράδειγμα των μηνιαίων παροχών
  - ΖΥΓΟΣ: μοντελοποίηση βροχής-παροχής για τις επιφανειακές εκροές, την υπόγεια εισροή, τη δυναμική εξατμοδιαπνοή, τις ενδεχόμενες απολήψεις στους υπόγειους υδροφορείς με τη μορφή άντλησης
  - ΚΑΣΤΑΛΙΑ: στοχαστική παραγωγή χρονοσειρών
- ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ: ενότητα υδρογεωλογικής μοντελοποίησης των λεκανών απορροής
- ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ: ενότητα βελτιστοποίησης της διαχείρισης ενός υδροσυστήματος και διαχείρισης των υδατικών πόρων
  - ΕΡΜΗΣ: οικονομική ανάλυση των νέων έργων (υπό κατασκευή)

Οι ενότητες ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ διασυνδέονται και με τα εξής άλλα δευτερεύοντα εργαλεία:

- Τα μοντέλα ποιότητας:
  - ΡΥΠΟΣ: εκτίμηση ρυπαντικών φορτίων
  - ΗΡΙΔΑΝΟΣ: μοντέλο ποιότητας υδατορρευμάτων (υπό κατασκευή)
  - ΛΕΡΝΗ: μοντέλο ποιότητας λιμνών
- Μοντέλο υφαλμύρωσης:
  - ΑΛΣ: μοντελοποίηση παράκτιων υδροφορέων (με βάση τη θεωρία Modflow, διενεργώντας βαθμονομήσεις των αντλήσεων από γεωτρήσεις)

- ΔΙΨΟΣ: μοντέλο εκτίμησης υδατικών αναγκών ενός υδροσυστήματος



Παρουσίαση όλων των εργαλείων μοντελοποίησης

## 2.2. ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στο έργο ενεπλάκησαν πέντε συνολικά φορείς:

- ΕΜΠ (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο) – Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων
- ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές ΑΕ
- Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας
- ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ ΑΕ
- Marathon Data Systems (MDS)

Η αρχική ιδέα του έργου ήταν η διάδοση στον εμπορικό τομέα των εργαλείων που αναπτύχθηκαν από τα πανεπιστήμια στο πλαίσιο της διαχείρισης των πόρων και της βελτιστοποίησης της λειτουργίας των δικτύων.

Εκπονήθηκαν πολυάριθμες μελέτες περιπτώσεων κυρίως στη λεκάνη της Καρδίτσας και την Κάλυμνο, η οποία παρουσιάζει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με την πλειονότητα των ελληνικών νησιών (περιορισμένοι πόροι λόγω χαμηλής συσσώρευσης ετήσιας βροχόπτωσης, περιορισμένης συνολικής διαχείρισης των πόρων, υψηλής θερινής ζήτησης λόγω κυρίως του τουρισμού, υφαλμύρωσης λόγω αντλήσεων γλυκού νερού στους υδροφορείς).

Ο αρχικός προϋπολογισμός του έργου είναι 2 εκ. ευρώ για 3 έτη. Τα κονδύλια παρέχονται από το ελληνικό Υπουργείο Ανάπτυξης μέσω της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ).

Βάσει αυτού του συνολικού προϋπολογισμού, περίπου €800.000 διατίθενται σε πανεπιστημιακές έρευνες (ΕΜΠ) και €850.000 στη NAMA, η οποία αυτοχρηματοδοτείται κατά περίπου 50%.

### 2.3. ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΤΗΣ SOGREAH ΣΤΗΝ NAMA

Ο σκοπός της επίσκεψης ήταν να συναντήσουμε τα άτομα που συμμετέχουν στο έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ εδώ και περισσότερα από τρία χρόνια και να παραстоύμε σε μια πλήρη παρουσίαση των μεθόδων που αναπτύχθηκαν από έρευνες του ΕΜΠ, καθώς και των εφαρμογών λογισμικού που αναπτύχθηκαν σε συνεργασία με την NAMA.

Η επίσκεψη της SOGREAH διήρκησε 5 ημέρες, από τις 20 Νοεμβρίου έως τις 24 Νοεμβρίου 2006. Η NAMA οργάνωσε αυτή την εβδομάδα εργασίας κατά τρόπο ώστε η SOGREAH να μπορέσει να διαμορφώσει μια σφαιρική άποψη για όλα τα εργαλεία, να παρακολουθήσει μια λεπτομερή παρουσίαση για κάθε εργαλείο στις εκδόσεις που ήταν διαθέσιμες στις ημερομηνίες της αποστολής και να πραγματοποιήσει συζητήσεις με όλους τους συμμετέχοντες στο έργο (ερευνητές, υποψήφιους διδάκτορες, μηχανικούς, τεχνικούς πληροφορικής,...).

Σε αυτό το στάδιο του έργου, η τελική έκδοση όλων των εργαλείων δεν είναι ακόμα διαθέσιμη. Θα πρέπει σίγουρα να περιμένουμε κάποιους μήνες πρακτικής χρήσης και κάποιες μελλοντικές εξελίξεις των εργαλείων για να καταλήξουμε σε μια ποιοτική λειτουργική έκδοση. Οι θεωρητικές βάσεις των μοντέλων είναι γερές και εάν υπάρξουν προβλήματα όσον αφορά τη μορφή ή τη διεπαφή των εργαλείων, είναι μικρά σε σχέση με ό,τι έχει ήδη επιτευχθεί και ασήμαντα.

Όσον αφορά την αποστολή εμπειρογνομosύνης, όλα τα επί του παρόντος διαθέσιμα εργαλεία τέθηκαν στη διάθεσή μας στις τελευταίες εκδόσεις τους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της Καλύμνου και την παρουσίαση ορισμένων εργαλείων, ειδικότερα του ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, τέθηκαν επίσης στη διάθεσή μας. Συνεπώς, εκτός των περιόδων εργασίας μαζί με την NAMA ή το ΕΜΠ, η SOGREAH είχε τη δυνατότητα να δοκιμάσει τα εργαλεία στις τρέχουσες εκδόσεις τους.

Η SOGREAH επικεντρώθηκε στις ακόλουθες πτυχές:

- Θεωρητικές: κατανόηση ή/και προσδιορισμός των θεωρητικών βάσεων, προσδιορισμός για κάθε εργαλείο των σημαντικών καινοτομιών στη διάθεση του μηχανικού
- Μεθοδολογικές: ανάπτυξη των διασυνδεδεμένων εργαλείων, δοκιμή των εργαλείων και των διεπαφών σε εικονικούς υπολογιστές, έλεγχος ποιότητας των εφαρμογών πληροφορικής
- Πρακτικές: χρηστικότητα των εργαλείων, προγραμματισμός διεργασιών, ευκολία εκμάθησης των εργασιών και λειτουργιών που παρουσιάζονται από τους εισηγητές

### **3. ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

#### **3.1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

##### **3.1.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΓΓΡΑΦΩΝ**

Το σύστημα προγραμματισμού επιτρέπει την αποθήκευση ενός έργου και διαφόρων σεναρίων μέσα σε αυτό. Για παράδειγμα, ορίζουμε ένα δίκτυο μέσα στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ και διάφορες υποθέσεις απολήψεων και τροφοδοτήσεων μέσω διαφόρων σεναρίων. Αυτό επιτρέπει την ομαδοποίηση όλων των δυνατών λειτουργιών σε ένα μόνο έργο και διευκολύνει τη διεξαγωγή διαδοχικών δοκιμών σε αυτές σε περίπτωση ανάγκης. Αυτός ο τύπος αποθήκευσης είναι ίδιος για όλα τα εργαλεία.

##### **3.1.2. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Όλα τα μοντέλα συνδέονται στην κοινή βάση δεδομένων ΥΔΡΙΑ. Το ενδιαφέρον της προτιμώμενης μεθόδου είναι η ενημέρωση μίας μόνο βάσης δεδομένων με όλα τα απαραίτητα δεδομένα (φυσικά, υδρολογικά, χαρακτηριστικά των σταθμών,...).

Τα μοντέλα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν εκτός του πλαισίου της βάσης δεδομένων, δηλαδή σε δεδομένα που εισάγονται με τη μορφή αρχείου κειμένου από έναν χρήστη. Συνεπώς, τα εργαλεία είναι διασυνδεδεμένα αλλά και ανεξάρτητα σε περίπτωση ανάγκης και δεν συνδέονται υποχρεωτικά με τη βάση δεδομένων ΥΔΡΙΑ.

##### **3.1.3. ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΟΔΥΣΣΕΥΣ**

Τα εργαλεία του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ αποτελούν ένα σύνθετο σύνολο μοντέλων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Επιτρέπουν την επεξεργασία πολυάριθμων προβλημάτων μελετών, αλλά προϋποθέτουν είτε τη σωστή χρήση των εργαλείων και υποκείμενων θεωριών, είτε τη σαφή γνώση ποιου τμήματος του μοντέλου πρέπει να χρησιμοποιηθεί για έναν συγκεκριμένο τύπο μελετών και τη δυνατότητα χρήσης αυτού του τμήματος των εργαλείων κατά τρόπο ανεξάρτητο από τα άλλα εργαλεία. Σε κάθε περίπτωση, ο χρήστης πρέπει να είναι ενημερωμένος για τη χρήση αυτών των εργαλείων από κάθε άποψη: θεωρητική, πρακτική και μεθοδολογική.

Η χρήση ορισμένων εργαλείων, κυρίως του ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, απαιτεί τον ορισμό διαφόρων παραμέτρων (έως και περισσότερες από 100 παράμετροι για μια μελέτη που παρουσιάστηκε στην EGU το 2005 για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Βοιωτικός Κηφισός). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση αυτών των ρυθμίσεων βασίζεται σε μια σταδιακή βαθμονόμηση όλων των παραμέτρων προς ρύθμιση. Ο χειριστής παρεμβαίνει στη διαδοχική επιλογών των παραμέτρων προς ρύθμιση σε κάθε στάδιο. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη δημιουργία σειρών παραμέτρων που οδηγούν σε καλής ποιότητας αποτελέσματα. Ωστόσο, είναι σχετικά μακροσκελής και απαιτεί ιδιαίτερα καλή γνώση των εργαλείων και ικανότητα μετάφρασης των φυσικών χαρακτηριστικών των λεκανών με τη μορφή τιμών που λαμβάνονται από τις παραμέτρους των μοντέλων.

Τα υδρολογικά και υδρογεωλογικά μοντέλα συγκεντρώνουν επίσης ορισμένα χαρακτηριστικά των εννοιολογικών μοντέλων στη σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας των λεκανών απορροής και ορισμένα χαρακτηριστικά των προσδιοριστικών ή φυσικών μοντέλων στην αναπαράσταση των διαδικασιών διήθησης ή απορροής. Από πρακτικής άποψης, αυτός ο συνδυασμός των διαφόρων χαρακτηριστικών κάθε τύπου μοντέλων είναι ενδιαφέρων. Ωστόσο, οι παράμετροι των φυσικών νόμων που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα (όπως ο νόμος Darcy για παράδειγμα στην περίπτωση της ΥΔΡΟΓΕΙΟΥ) ορίζονται κυρίως για λόγους κλίμακας φαινομένων. Αυτή είναι μια απόλυτα κλασική πρακτική. Δεν θα πρέπει όμως ο χρήστης να θεωρήσει τις τιμές που λαμβάνει από τις παραμέτρους των μοντέλων ως φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του. Θα ήταν μεγάλη πρόκληση να ερμηνεύσουμε φυσικά τις τιμές των παραμέτρων των μοντέλων.

#### 3.1.4. ΤΑ ΔΥΝΑΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΟΔΥΣΣΕΥΣ

Σε αντίθεση με την πρώτη παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου, ο σκοπός του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ είναι να είναι λειτουργικό. Από αυτή την άποψη, η συσχέτιση όλων των μοντέλων, αν και περίπλοκη, καθώς και ο ορισμός των χρησιμοποιούμενων ορισμών, αποτελούν επιτυχίες. Συγκεκριμένα:

- όλα τα εργαλεία είναι διαθέσιμα σε ένα ενιαίο,
- η γενική χρήση αυτών των εργαλείων είναι αρκετά φιλική (πτυσσόμενα μενού, επιλογή με πλαίσιο ελέγχου ή επιλογή από λίστες, επιλογή μεταβλητών με επιλογή-μετακίνηση,...),
- οι μέθοδοι στηρίζονται σε γερές θεωρητικές βάσεις και παραμένουν προσαρμοσμένες σε μια λειτουργική και πρακτική χρήση, η οποία δεν αφορά αποκλειστικά ερευνητικές δραστηριότητες.

Το έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ είναι επίσης προϊόν προηγούμενων ερευνών που διεξήγαγε το ΕΜΠ. Ως εκ τούτου, βρίσκεται στη μέση της απόστασης μεταξύ βασικής έρευνας και λειτουργικού εργαλείου. Τα εργαλεία είναι αναμφισβήτητα λίγο περίπλοκα για έναν οποιονδήποτε χρήστη (πολλές παράμετροι, γερές θεωρητικές βάσεις που όμως απαιτούν ιδιαίτερες γνώσεις για την κατανόηση των μεθόδων,...). Είναι όμως ιδιαίτερα ικανά να επεξεργαστούν μελέτες διαχείρισης πόρων σε περίπλοκα υδροσυστήματα.

Τέλος, το κυριότερο δυνατό σημείο του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ συνίσταται στο γεγονός ότι συσχετίζει έναν ερευνητικό ακαδημαϊκό φορέα με έναν ιδιωτικό φορέα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αξιοποιούμε τα αποτελέσματα πολλών ετών έρευνας και θέτουμε στη διάθεση του μηχανικού ισχυρά και ποιοτικά εργαλεία.

### 3.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΑΓΚΩΝ: ΔΙΨΟΣ

Το ΔΙΨΟΣ είναι αναμφισβήτητα το πιο εύκολο στην κατανόηση και χρήση μοντέλο, καθώς διαθέτει προεπιλεγμένες τιμές. Το μοντέλο ΔΙΨΟΣ δεν στηρίζεται σε περίπλοκες θεωρητικές βάσεις. Εκτιμά μόνο την κατανάλωση σε νερό μιας μελετούμενης ζώνης ανά μήνα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ανάλογα με τις χρήσεις (οικιακή, γεωργική, βιομηχανική,...).



Το ενδιαφέρον αυτού του εργαλείου είναι ότι επιτρέπει τον καθορισμό, μετά από πολλά διαδοχικά έτη προσομοίωσης, της εξέλιξης του πληθυσμού ή της εξέλιξης των καταναλώσεων. Εντάσσουμε έτσι στη διαχείριση των πόρων την εγγενή εξέλιξη του συστήματος σε θέματα υδατικών αναγκών.

### 3.3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ

Η ενότητα ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ περιλαμβάνει 4 συμπληρωματικά εργαλεία για την εκτέλεση στατιστικών αναλύσεων χρονικών δεδομένων, την παραγωγή όμβριων καμπύλων, τη μοντελοποίηση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής και την στοχαστική παραγωγή χρονικών βροχής μέσω της ΚΑΣΤΑΛΙΑ.

Ο ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ περιλαμβάνει επίσης ορισμένα δευτερεύοντα εργαλεία που επιτρέπουν την εκτέλεση απλών διεργασιών στα αρχικά δεδομένα: μελέτη συσχέτισης, ανάκτηση ελλιπών δεδομένων, σύνθεση μεταβλητών.

#### 3.3.1. ΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ: ΠΥΘΙΑ ΚΑΙ ΟΜΒΡΟΣ

Τα διαθέσιμα στατιστικά εργαλεία του ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ επιτρέπουν την εκτέλεση κλασικών στη στατιστική υδρολογία διεργασιών: υπολογισμό της κατανομής εμπειρικής συχνότητας των δεδομένων, εκτίμηση των στατιστικών νόμων προσαρμογής, εκτίμηση των διαστημάτων εμπιστοσύνης, εκτίμηση των συσσωρεύσεων μεταβλητών για διάφορες περιόδους επαναφοράς.

Η προστιθέμενη αξία του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ δεν αφορά τον ορισμό των στατιστικών νόμων αυτόν καθ' αυτόν. Αντίθετα, υπάρχουν 16 στατιστικοί νόμοι για τη ρύθμιση των παραμέτρων των νόμων σύμφωνα με τη μέθοδο ροπών και 11 για τη ρύθμιση των παραμέτρων με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Υπάρχουν επίσης 4 εμπειρικές κατανομές συχνότητας δεδομένων. Ακόμα, παρέχονται πολλές επιλογές για το γραφικό υπόβαθρο απεικόνισης των δεδομένων, τον ορισμό του άξονα των τεταγμένων (συχνότητα ή περίοδος επαναφοράς).

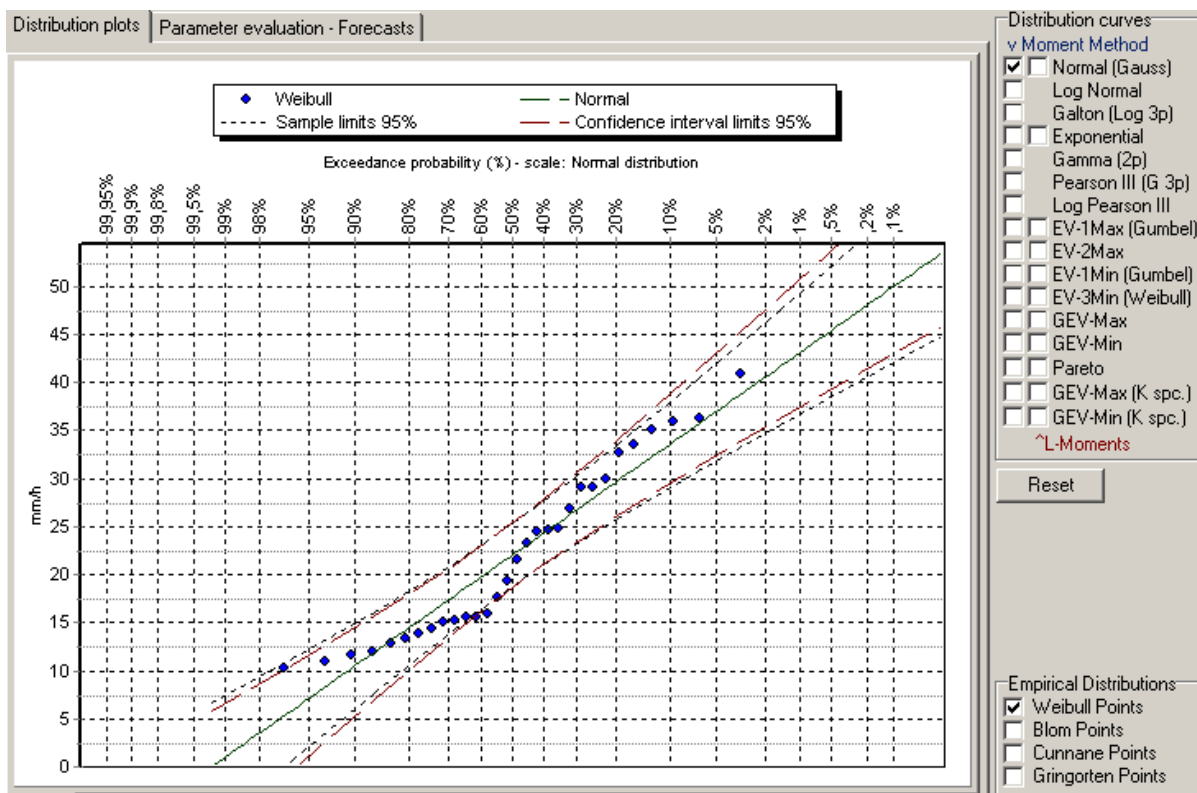
Το μοντέλο ΠΥΘΙΑ είναι πολύ πλήρες και πολύ εύχρηστο. Επιτρέπει στο χρήστη να ελέγξει γρήγορα τις συνέπειες της επιλογής ενός στατιστικού νόμου συγκεκριμένα και να συγκρίνει τις κατανομές συχνότητας που προκύπτουν από διάφορους στατιστικούς νόμους για το ίδιο δείγμα δεδομένων. Όλες οι παράμετροι των διαθέσιμων νόμων στην ΠΥΘΙΑ υπολογίζονται και ενημερώνονται σε έναν πίνακα.

Τέλος, ο χρήστης μπορεί να ορίσει το διάστημα εμπιστοσύνης των κατανομών συχνότητας. Η λειτουργία αυτή είναι πολύ σημαντική για την επαναφορά της διακύμανσης των υδρολογικών δεδομένων γύρω από μέσες τιμές.

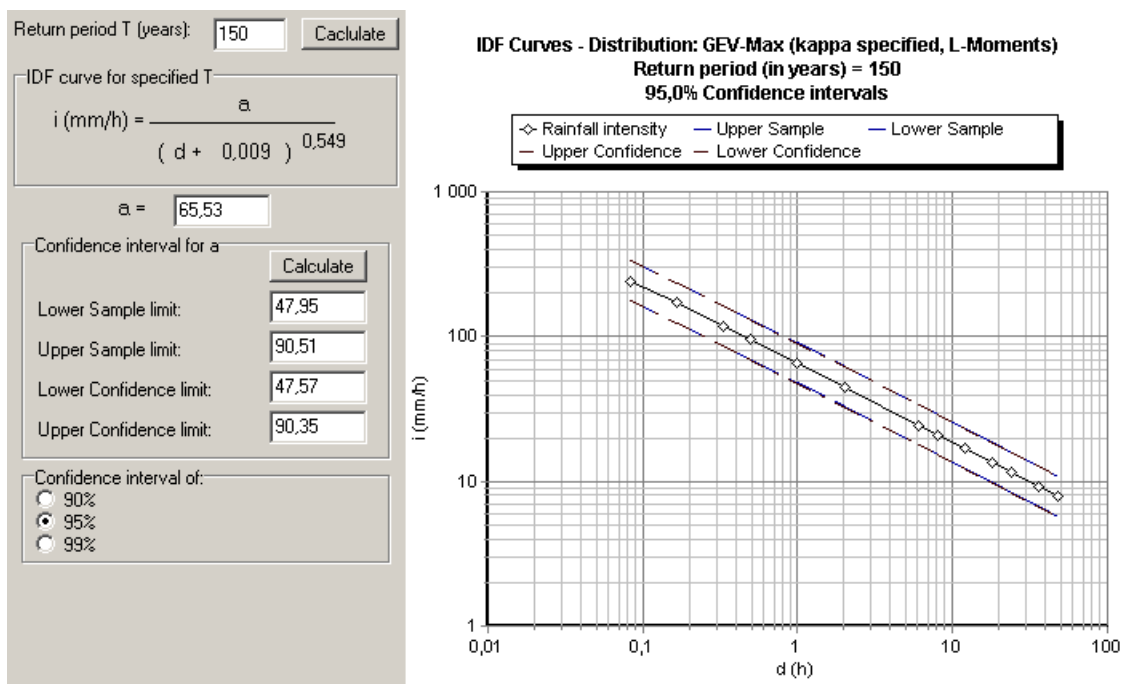
Ο ΟΜΒΡΟΣ αποτελεί προϊόν προηγούμενων ερευνών με αντικείμενο τον ορισμό των όμβριων καμπύλων με βάση έναν τύπο που λαμβάνει συγκεκριμένα υπόψη τις κατανομές πιθανοτήτων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανώτατων τιμών των εντάσεων. Ο ΟΜΒΡΟΣ επιτρέπει έτσι την παραγωγή όμβριων καμπυλών.

Ακόμα και εκεί, το εργαλείο είναι πολύ φιλικό και εύκολο στη χρήση και την πρόσβαση. Ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει δοκιμές σε διάφορους νόμους πιθανοτήτων, να εκτιμήσει τις όμβριες καμπύλες για διάφορες περιόδους επαναφοράς, καθώς και για συγκεκριμένες περιόδους επαναφοράς (150 έτη, για παράδειγμα), να υπολογίσει το διάστημα εμπιστοσύνης των όμβριων καμπυλών για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς και να καθορίσει τις τιμές των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων.

Τέλος, τα εργαλεία OMBΡΟΣ και ΠΥΘΙΑ βασίζονται στην ίδια αρχή: να προσφέρουν εύκολα και με ορισμένες γρήγορες επιλογές πολύ σημαντικές δυνατότητες υπολογισμού στον τομέα της στατιστικής. Εκτός από τις δευτερεύουσες λειτουργικές δυνατότητες, η ποιότητα των γραφικών μέσων που χρησιμοποιούνται και των διεπαφών που έχουν επιλεγεί διευκολύνει το γρήγορο χειρισμό αυτών των δύο εργαλείων.



Παράδειγμα κατανομής συχνότητας βροχοπτώσεων (ΠΥΘΙΑ)



**Παράδειγμα υπολογισμού της όμβριας καμπύλης και των διαστημάτων εμπιστοσύνης κατά 95% για περίοδο επαναφοράς 150 ετών (ΟΜΒΡΟΣ)**

### 3.3.2. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ: ΚΑΣΤΑΛΙΑ

Η ΚΑΣΤΑΛΙΑ είναι ένα στοχαστικό μοντέλο παραγωγής ετήσιων βροχοπτώσεων η αρχή του οποίου συνίσταται στην τήρηση των τιμών που προκύπτουν από τις ροπές 1 έως 3 επί των παρατηρούμενων δεδομένων. Η μηνιαία κατανομή των ετήσιων βροχοπτώσεων που παράγονται με τυχαίο τρόπο πραγματοποιείται τηρώντας το μηνιαίο ποσοστό βροχόπτωσης που καταγράφεται κάθε μήνα, το οποίο υπολογίζεται σε σχέση με τις ετήσιες συσσωρεύσεις. Στο μοντέλο προβλέπεται μια τυχαία διακύμανση γύρω από αυτή τη μέση τιμή των ποσοστών. Ωστόσο, τηρείται η μέση κατανομή των μηνιαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους.

Η ΚΑΣΤΑΛΙΑ είναι αναμφισβήτητο το πιο περίπλοκο εργαλείο του ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, αλλά και αυτό που προσφέρει τις πιο ενδιαφέρουσες δυνατότητες για τη διαχείριση των δικτύων και των υδατικών πόρων: δοκιμή της λειτουργίας ενός δικτύου με βάση πολλαπλά δείγματα μηνιαίων βροχοπτώσεων και, συνεπώς, προσδιορισμός των πιθανοτήτων αποτυχίας της προμήθειας νερού χωρίς αποκλειστική χρήση ενός σεναρίου βροχόπτωσης.

Αυτό το εργαλείο παρουσιάζει επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη δοκιμή των βροχομετρικών σεναρίων στο πλαίσιο μελετών διαφορετικών από αυτές που αφορούν μόνο τη διαχείριση των πόρων (εξέλιξη της βροχομετρίας βάσει υποθέσεων εξέλιξης του κλίματος, εξέλιξη των εκροών μιας λεκάνης σε σχέση με διάφορα ισοπίθανα βροχομετρικά σενάρια,...) Στηρίζεται σε γερές θεωρητικές βάσεις. Πρόκειται πράγματι για ένα τεχνικά ισχυρό και αξιόπιστο εργαλείο. Ωστόσο, ο μέσος χρήστης θα πρέπει να έχει εκπαιδευτεί στη χρήση του κυρίως όσον αφορά τον ορισμό των παραμέτρων εισόδου της ΚΑΣΤΑΛΙΑ και την απεικόνιση και έπειτα τη χρήση των παραχθεισών χρονοσειρών.

Η θεωρητική γνώση της ΚΑΣΤΑΛΙΑ ανήκει κυρίως στο ΕΜΠ. Το ενδιαφέρον της σύμπραξης μεταξύ της NAMA και του ΕΜΠ είναι το γεγονός ότι επιτρέπει την τεχνική συνεισφορά του ΕΜΠ που για την ΚΑΣΤΑΛΙΑ είναι αρκετά σημαντική.

### 3.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ: ΖΥΓΟΣ

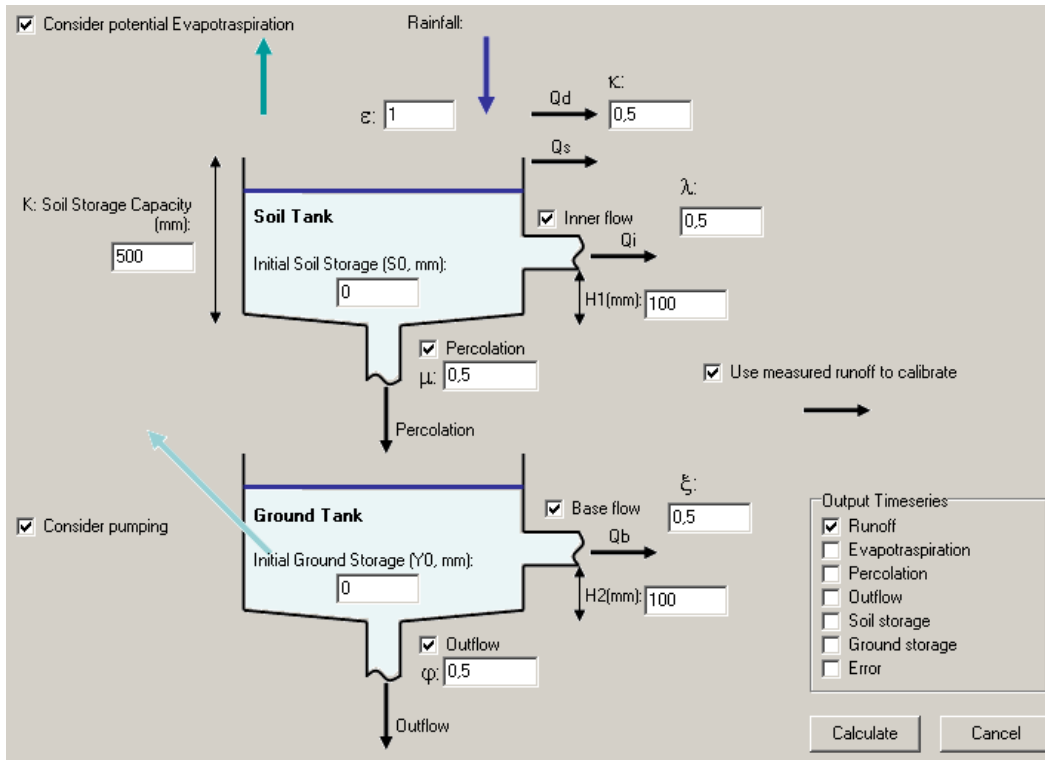
Ο ΖΥΓΟΣ είναι ένα εργαλείο εννοιολογικής μοντελοποίησης βροχής-παροχής μέσω ταμιευτήρων που απεικονίζουν σχηματικά το έδαφος και το υπέδαφος. Η συνολική εκροή έχει διάφορες πηγές: άμεση εκροή από τη βροχή, εκροή προερχόμενη από τον επιφανειακό ταμιευτήρα και εκροή προερχόμενη από τον υπόγειο ταμιευτήρα. Δεδομένου ότι αυτό το μοντέλο είναι εννοιολογικό, πρέπει να είμαστε επιφυλακτικοί όσον αφορά τη φυσική ερμηνεία των διαφόρων εκροών ή την ερμηνεία της κατανομής της ακατέργαστης βροχής μεταξύ των δύο ταμιευτήρων. Κατανοούμε ωστόσο το σκοπό επιλογής της κάθε πηγής εκροής.

Το χρονικό βήμα εργασίας είναι κυρίως ημερήσιο ή μηνιαίο, δεδομένων των στόχων διαχείρισης πόρων των εργαλείων. Η αναπαράσταση των διαφόρων πηγών εκροής είναι λοιπόν προσαρμοσμένη στα χρονικά βήματα εργασίας.

Παρατηρούμε το γεγονός ότι λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες από την εξατμοδιαπνοή και την άντληση στον υπόγειο ταμιευτήρα. Από άποψη διαχείρισης πόρων, αυτές οι δύο πηγές απώλειας είναι ουσιαστικές.

Το μοντέλο ΖΥΓΟΣ εμπεριέχει πολλές παραμέτρους για τον ορισμό της κατανομής των εκροών ή των χαρακτηριστικών κάθε ταμιευτήρα (αρχικό επίπεδο και χωρητικότητα, τιμές H1 ή H2). Αυτό μπορεί να επιφέρει κίνδυνο υπερπαραμετροποίησης ενός υδροσυστήματος από το ΖΥΓΟΣ και κίνδυνο αντιστάθμισης μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων του μοντέλου για τη μοντελοποίηση των δεδομένων εξόδου. Πολλές παράμετροι μπορούν να λάβουν τιμές που αντιστοιχούν στις οριακές τιμές που επιτρέπεται να οριστούν. Αυτό δείχνει τη σχετική σημασία τους ή αντίθετα την έλλειψη ενδιαφέροντός τους ανάλογα με τις μελετούμενες περιπτώσεις και τα λαμβανόμενα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει σε κάθε περίπτωση ότι οι παράμετροι δεν είναι ανεξάρτητες. Από αυτή την άποψη, η υδρολογική εμπειρία της NAMA και του ΕΜΠ είναι απόλυτα απαραίτητη για να καθοδηγηθεί ένας μέσος χρήστης να επιλέξει τις περιοχές τιμών των παραμέτρων, τις αρχικές τιμές τους, τις παραμέτρους που πρέπει να οριστούν και τις παραμέτρους που πρέπει να βαθμονομηθούν. Επίσης, η υδρολογική εμπειρία θα διευκολύνει επίσης την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Η μέθοδος της βελτιστοποίησης των παραμέτρων είναι ωστόσο υψηλής ποιότητας (evolutionary annealing simplex algorithm). Οι επιλογές που έγιναν για να καταδειχθεί η εξέλιξη των τιμών που προέκυψαν από τις παραμέτρους κατά τη διάρκεια της ρύθμισης είναι εξίσου πολύ ενδιαφέρουσες και πολύ διδακτικές. Η διεπαφή του ΖΥΓΟΣ είναι σε γενικές γραμμές φιλική και εύχρηστη.



Σχηματικό διάγραμμα του μοντέλου ΖΥΓΟΣ

### 3.4. ΕΝΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ: ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

Στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, τίθεται ένα πρόβλημα όσον αφορά τον ορισμό των στοιχείων εισόδου του μοντέλου: συνεκτίμηση των απωλειών στο υδρογραφικό δίκτυο (δήθηση, απώλειες σε καρστικό δίκτυο,...), συνεκτίμηση των πηγών και των επανεμφάνισων, συνεκτίμηση των ανταλλαγών μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων υδάτων... Είναι συνεπώς απαραίτητος ο σαφής ορισμός των μεταβλητών εισόδου του μοντέλου διαχείρισης ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ. Αυτός είναι ο σκοπός του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ.

Η ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ προτείνει μια απλοποιημένη αναπαράσταση της υδρογεωλογικής πραγματικότητας. Αυτή η αναπαράσταση είναι περιορισμένη από την άποψη της φυσικής των διεργασιών, όμως είναι πολύ ικανοποιητική από άποψη ρύθμισης και απόλυτα προσαρμοσμένη στους στόχους διαχείρισης του συνόλου των εργαλείων.

Η σχηματική απεικόνιση και η παραμετροποίηση μιας λεκάνης απορροής στην ΥΔΡΟΓΕΙΟ βασίζεται κυρίως στα εξής:

- χρήση των HRU (Hydrological Response Units) για τη μείωση του συνολικού αριθμού παραμέτρων,
- σχηματική απεικόνιση της λεκάνης απορροής σε επίπεδο υπολεκάνης και ορισμός των σημείων υπολογισμού του υδρολογικού ισοζυγίου σε αντιστοιχία με τις εξόδους των υπολεκάνων,

- παραμετροποίηση των HRU που αντιστοιχεί στη διασταύρωση των πληροφοριών που προκύπτουν από τις κλίσεις και την διαπερατότητα για τον ορισμό μιας τυπολογίας των HRU. Οι τιμές των παραμέτρων ορίζονται για κάθε τύπο HRU. Κατ' αυτό τον τρόπο, μειώνεται ο αριθμός των παραμέτρων:
- κατασκευή για τα υπόγεια ύδατα ενός δικτύου με κυψέλες ανεξάρτητες από το υπόλοιπο μοντέλο, οι οποίες όμως διασταυρώνονται με τα επιφανειακά HRU. Η κατασκευή των κυψελών υπόγειων υδάτων πραγματοποιείται σε συνάρτηση με τη στάθμη των υδάτων μέσα στο έδαφος.
- το τελευταίο επίπεδο του συστήματος αποτελείται από τα ίδια επίπεδα με αυτά του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, δηλαδή το υδροσύστημα του οποίου τη διαχείριση μελετάμε (δίκτυο γεωτρήσεων, ταμιευτήρων, υδατορρευμάτων, υδραγωγείων, σημεία ζήτησης νερού,...)

Στην περίπτωση που υπάρχουν λίγα διαθέσιμα δεδομένα από το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), η ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ επιτρέπει τον ορισμό όλων των απαραίτητων στοιχείων μέσω ενός ενιαίου επιπέδου GIS που δημιουργείται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (modèle numérique de terrain, MNT). Με βάση αυτό το επίπεδο και τη γνώση της λεκάνης, ο χρήστης ορίζει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τους υδρογεωλογικούς υπολογισμούς (ορισμός των υπολεκανών, των κομβικών σημείων, των HRU, των κυψελών υπόγειων υδάτων,...).

Στο μοντέλο υπόγειων υδάτων, οι κυψέλες ορίζονται βάσει ισοδυναμιών. Με αυτόν τον τρόπο, ορίζονται λιγότερες κυψέλες από ότι σε ένα κλασικό μοντέλο. Έτσι, μειώνεται ο χρόνος υπολογισμού. Όσον αφορά την αρχική γνώση των ισοδυναμιών, είτε είναι γνωστή η συμπεριφορά τους, είτε χρησιμοποιείται μία φορά το MODFLOW για την εκτίμησή τους. Στη συνέχεια, όλοι οι επόμενοι υπολογισμοί βασίζονται στα αποτελέσματα μιας και μόνο χρήσης του MODFLOW. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται συνεπώς πολύ πιο γρήγορα, καθώς υπάρχουν λιγότερες κυψέλες από ότι στο MODFLOW και το MODFLOW χρησιμοποιείται μόνο μία φορά. Πρόκειται για ένα ενδιαφέρον πρακτικό θέμα.

Για την αναπαράσταση του υδροσυστήματος, απαιτείται η βελτιστοποίηση πολλών παραμέτρων. Η βαθμονόμησή τους πραγματοποιείται με βάση παρατηρήσεις και διαθέσιμες ποιοτικές πληροφορίες όπως η τάση εξέλιξης των σταθμών από ανάντη προς κατόντη. Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος συνίσταται στην εναλλαγή μεταξύ χειροκίνητης παραμετροποίησης και αυτόματης βελτιστοποίησης:

- ορισμός των ομάδων παραμέτρων και επιλογή των αρχικών τιμών για τις άλλες,
- βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων,
- δοκιμή των αποτελεσμάτων στο σύνολο της μελετούμενης ζώνης,
- ορισμός μιας άλλης ομάδας παραμέτρων για βαθμονόμηση,

Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται λοιπόν σε πολλά στάδια. Πρόκειται για μια επαναληπτική και προοδευτική διαδικασία που μπορεί να διαρκέσει πολύ χρόνο. Ωστόσο, απαιτεί την εμπειρία του χρήστη, τις γνώσεις του για την περιοχή και μετριάξει τον κίνδυνο υπερπαραμετροποίησης του μοντέλου. Σε αυτό το στάδιο βαθμονόμησης του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ απαιτείται καλή κατάρτιση. Αναμφισβήτητα η NAMA σε συνεργασία με το ΕΜΠ είναι σε θέση να βοηθήσουν και να προσανατολίσουν τους μελλοντικούς χρήστες του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ.

### 3.5. ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

#### 3.5.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ είναι ο πυρήνας του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ. Είναι το εργαλείο που επιτρέπει την αναπαράσταση ενός υδατικού δικτύου και την προσομοίωση της λειτουργίας του. Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ επιτρέπει τη διενέργεια δοκιμών σε νέες διαρρυθμίσεις, τον προσδιορισμό των απολήψεων και των διαφόρων ζητούμενων πηγών, τη διάγνωση της λειτουργίας ενός δικτύου (πόροι επαρκείς για την κάλυψη των αναγκών, διαχείριση πόρων προσαρμοσμένη στο πλαίσιο του δικτύου,...) και την τροποποίηση των νόμων λειτουργίας ενός ή περισσότερων ταμιευτήρων, μίας ή περισσότερων γεωτρήσεων με τη βαθμονόμηση των παραμέτρων αυτών των νόμων λειτουργίας.

#### 3.5.2. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η απεικόνιση του δικτύου είναι σχηματική και τα στοιχεία του δικτύου (υδατορεύματα, υδραγωγεία, γεωτρήσεις, ταμιευτήρες) απεικονίζονται με συνοπτικό τρόπο. Τα χαρακτηριστικά κάθε στοιχείου ορίζονται με ένα μενού ειδικό για κάθε τύπο στοιχείων. Αυτά τα μενού είναι εύχρηστα και χρειάζονται ελάχιστες μόνο γνώσεις για τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε στοιχείου. Δεν λαμβάνεται υπόψη, για παράδειγμα, το μήκος των τμημάτων των υδατορρευμάτων ή των υδροφορέων ή η υδραυλική χωρητικότητα αυτών των τμημάτων. Η απεικόνιση του δικτύου είναι εννοιολογική και προσανατολισμένη στη διαχείριση των πόρων και όχι στην υπολογιστική ανασύσταση ενός πραγματικού δικτύου.

Οι απολήψεις από τους πόρους ορίζονται από απολήψεις στα επιφανειακά ύδατα και στις αντλήσεις. Για τους ταμιευτήρες και τις γεωτρήσεις, διευκρινίζονται αντίστοιχα οι νόμοι λειτουργίας και το ενεργειακό κόστος της άντλησης. Παρατηρούμε ότι οι νόμοι παραμετροποίησης των ταμιευτήρων εμπεριέχουν μόνο δύο παραμέτρους. Ο ορισμός της χρήσης των αντλήσεων διαμορφώνεται σε συνάρτηση με τη διαθεσιμότητα του επιφανειακού πόρου και το ενεργειακό κόστος της χρήσης αντλήσεων (κατανάλωση ρεύματος σε kWh/m<sup>3</sup>). Σε κατάσταση προσομοίωσης, το μοντέλο αναλύσει τη συνολική ζήτηση και κατανέμει τις εισροές μεταξύ των διαφόρων διαθέσιμων πηγών. Προτεραιότητα δίδεται στις εισροές από ταμιευτήρες που παρουσιάζουν το χαμηλότερο ενεργειακό κόστος. Ωστόσο, εάν το διαθέσιμο υδατικό απόθεμα των ταμιευτήρων είναι μικρότερο από τις ανάγκες, το υπόλοιπο παρέχεται μέσω άντλησης.

Ο χρήστης ορίζει επίσης στόχους (targets) ανάλογα με την ανάγκη ικανοποίησης μιας επιλογής σε προτεραιότητα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δικτύου (τήρηση μιας ελάχιστης παροχής σε ένα υδατόρρευμα, τήρηση ενός ύψους για έναν ταμιευτήρα, προτεραιότητα στην κάλυψη της ζήτησης μιας πόλης αντί μιας άλλης,...). Αυτοί οι στόχοι αντιμετωπίζονται κατά τρόπο «ή όλα ή τίποτα»: ή ο διαθέσιμος πόρος επιτρέπει την επίτευξή τους, ή δεν πληρούνται οι προτεραιότητες. Η ιεράρχηση των στόχων επιτρέπει τη διάκριση 8 επιπέδων προτεραιότητας (από το 1 για τους πιο σημαντικούς έως το 8 για τους λιγότερο σημαντικούς). Οι στόχοι του ίδιου επιπέδου προτεραιότητας αντιμετωπίζονται τυχαία ως προς την επιλογή αυτών που θα εκπληρωθούν πρώτοι.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το μοντέλο προσπαθεί να καταλήξει στο ελάχιστο συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου τηρώντας με σειρά τα εξής:

1. τους νεκρούς όγκους των ταμιευτήρων,
2. τους καθορισμένους στόχους σε συνάρτηση με τις προτεραιότητες,
3. την κινητοποίηση του πόρου σε συνάρτηση με τις διαθεσιμότητες,
4. την ανάγκη επίτευξης των στόχων ακόμα και αν αυξάνεται το συνεπαγόμενο κόστος.

### 3.5.3. ΤΡΟΠΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι νόμοι λειτουργίας των ταμιευτήρων και των γεωτρήσεων, οι στόχοι (targets), η κατανομή των υδάτων μεταξύ των διαφόρων πιθανών διαδρομών και των διαφόρων πηγών ή η διαχείριση των πλεοναζόντων υδάτων μπορούν να βαθμονομηθούν προκειμένου να βελτιωθεί η διαχείριση των πόρων. Η ποιότητα της βαθμονόμησης ορίζεται βάσει διαφόρων κριτηρίων: οικονομικά, υδροδότηση,... Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κατά τη βαθμονόμηση είτε να ορίσει μια συνάρτηση βαθμονόμησης λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια σταθμίζοντας τη σημασία κάθε κριτηρίου, είτε μια συνάρτηση βαθμονόμησης για κάθε κριτήριο.

Χωρίς να αναφερθούμε με λεπτομέρειες στη μέθοδο βαθμονόμησης, θα σταθούμε στο γεγονός ότι βασίζεται στη μονοδρομική μέθοδο στην οποία προστέθηκαν η πιθανότητα εξέλιξης μιας μερικώς τυχαίας απόστασης προς την κατεύθυνση βελτίωσης της ποιότητας των ρυθμίσεων και η συνεκτίμηση μιας θερμοκρασίας στη συνάρτηση κριτήριο, η οποία ορίζεται ως η απόκλιση μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων τιμών που προκύπτουν από τη συνάρτηση κριτήριο. Ανάλογα με τη βέλτιστη απόσταση, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη ή υψηλότερη.

Στην περίπτωση της βελτιστοποίησης του δικτύου, πραγματοποιούνται δύο ένθετες βαθμονομήσεις:

- βήμα προς βήμα, από τη βαθμονόμηση μαθαίνουμε την κατανομή των ροών στο δίκτυο,
- με μια γενική βαθμονόμηση ορίζουμε τις παραμέτρους προς βαθμονόμηση.

Η λειτουργία του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ σε κατάσταση βαθμονόμησης μπορεί να χρειαστεί πολλούς υπολογισμούς και να αποδειχθεί σχετικά χρονοβόρα. Ωστόσο, καταλήγουμε σταδιακά στον προσδιορισμό των αναζητούμενων παραμέτρων.



#### 3.5.4. ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Τα δεδομένα που προσομοιώνονται μέσω της ΚΑΣΤΑΛΙΑ εξυπηρετούν ως δεδομένα εισόδου για τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ προκειμένου να ελεγχθεί η λειτουργία του δικτύου σε διάφορα σενάρια. Οι απλές στατιστικές αναλύσεις δεδομένων εισόδου και τα ποσοστά αποτυχίας κάλυψης των αναγκών ζήτησης και επίτευξης των καταγεγραμμένων στόχων επιτρέπουν την τελειοποίηση της διάγνωσης ενός δικτύου και τον προσδιορισμό της συχνότητας των αποτυχιών.

#### 3.5.5. ΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η οπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων είναι πολύ εύχρηστη. Πράγματι, είναι δυνατή η οπτική παρουσίαση της λειτουργίας του δικτύου υδροδότησης ανά διαδοχικά χρονικά βήματα (με κόκκινο προσδιορίζονται απλά οι μη καλυφθείσες ανάγκες ζήτησης), ή η οπτική παρουσίαση μέσω απλών και διδακτικών γραφικών των ποσοστών αποτυχίας κάλυψης των αναγκών ζήτησης και επίτευξης των στόχων.

Οι πιθανοί τρόποι λειτουργίας της στοχαστικής παραγωγής δεδομένων είναι:

- η παραγωγή μιας συνθετικής χρονοσειράς δεδομένων (μιας σειράς 1.000 ετών, για παράδειγμα),
- η παραγωγή πολλών διαφορετικών χρονοσειρών που έχουν ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά (100 σειρές των 10 ετών, για παράδειγμα).

Και στις δύο περιπτώσεις, θεωρούμε ότι τα εγγενή χαρακτηριστικά του δικτύου είναι στάσιμα. Αυτή η υπόθεση είναι σημαντικό να υπενθυμίζεται συστηματικά.

### 3.6. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ: ΡΥΠΟΣ, ΗΡΙΔΑΝΟΣ, ΛΕΡΝΗ

Παρόλο που η διεπαφή είναι διαφορετική, το μοντέλο ΡΥΠΟΣ στηρίζεται στις ίδιες αρχές μοντελοποίησης με το ΔΙΨΟΣ. Το ΔΙΨΟΣ επιτρέπει τον καθορισμό των υδατικών αναγκών, ενώ το ΡΥΠΟΣ επιτρέπει τον καθορισμό των ρυπαντικών φορτίων του μελετούμενου συστήματος. Το ΡΥΠΟΣ λαμβάνει υπόψη όλες τις πιθανές ρυπαντικές εισροές (οικιακές, γεωργικές, βιομηχανικές,...) και την παρουσία ή απουσία μέσω μείωσης των ρυπαντικών φορτίων στο φυσικό περιβάλλον: μονάδες καθαρισμού, επεξεργασία των λυμάτων ορισμένων βιομηχανιών... Όπως και το ΔΙΨΟΣ, το ΡΥΠΟΣ δεν βασίζεται σε πολύ περίπλοκες θεωρητικές βάσεις. Λαμβάνει κυρίως υπόψη την κατάληψη του χώρου, τα ρυπαντικά φορτία σε συνάρτηση με τον τύπο χρήσεων και την ετήσια κατανομή αυτών των φορτίων.

Η εξοικείωση με το ΡΥΠΟΣ και ο χειρισμός του είναι αρκετά εύκολος. Ωστόσο, απαιτούνται πολλά δεδομένα για τον ορισμό όλων των παραμέτρων υπολογισμού των ρυπαντικών φορτίων (φύση, συγκέντρωση, πηγή,...). Οι μελλοντικές μελέτες του ΕΜΠ θα πρέπει να καταλήξουν σε μια πρόταση για τις προεπιλεγμένες τιμές σε περίπτωση έλλειψης δεδομένων (κατά κάποιον τρόπο όπως για το ΔΙΨΟΣ). Αυτό θα αποτελέσει πραγματικό πλεονέκτημα για το χρήστη, ακόμα και αν οι αντίστοιχες πληροφορίες δεν θα έχουν την ίδια αξία με τις τοπικές πληροφορίες που αποτελούν αποτέλεσμα επιτόπιας έρευνας.

Το ΡΥΠΟΣ παρέχει δεδομένα εισόδου στα επόμενα μοντέλα που είναι η ΛΕΡΝΗ και ο ΗΡΙΑΔΑΝΟΣ που επιτρέπουν αντίστοιχα τη μοντελοποίηση της ποιότητας των υδάτων των λιμνών και των υδάτων των υδατορρευμάτων.

Ο ΗΡΙΑΔΑΝΟΣ και η ΛΕΡΝΗ είναι μονοδιάστατα μοντέλα ποιότητας, με δυνατότητα ορισμού δύο επιπέδων για μια λίμνη.

Εκτός από τις τελείως πρακτικές και θεωρητικές απόψεις, το μεγάλο ενδιαφέρον των εργαλείων ΗΡΙΑΔΑΝΟΣ και ΛΕΡΝΗ είναι ότι μπορούμε να λάβουμε υπόψη την αβεβαιότητα των δεδομένων εισόδου. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιούμε μια μηνιαία μέση τιμή για την παροχή που είναι αμφισβητούμενη, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πολλές στοχαστικές προσομοιώσεις εξετάζοντας μια σειρά πιθανών τιμών γύρω από την ενδεικνυόμενη παροχή (για παράδειγμα +/- 50 %). Όλες οι τιμές για την παροχή που προκύπτουν είναι ισοπίθανες και χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς εξέλιξης των ρυπαντικών φορτίων του αναλυόμενου συστήματος. Στη συνέχεια ορίζονται στο τμήμα των αποτελεσμάτων καμπύλες ίσων συχνοτήτων για τα σενάρια που προκύπτουν από τις διάφορες τιμές παροχής γύρω από την αρχική τιμή.

Η διαχείριση των σημείων σύγκλισης δεν είναι επί του παρόντος δυνατή στον ΗΡΙΑΔΑΝΟ. Προς το παρόν, μπορούμε να δουλέψουμε ορίζοντας 2 σκέλη ανάντη και ένα κοινό σκέλος κατόντη. Η διαχείριση των σημείων σύγκλισης θα πρέπει να γίνει αργότερα.

### 3.7. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ: ΑΛΣ

Αυτή η ενότητα είναι ένα πραγματικό βοήθημα σε σχέση με πολλά άλλα εργαλεία του ίδιου τύπου με το ΟΔΥΣΣΕΥΣ. Ο στόχος αυτού του εργαλείου είναι ο ορισμός της μέγιστης παροχής κάθε γεώτρησης σε περίπτωση άντλησης σε έναν υδροφόρο σε αλληλεπίδραση με το θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς να αντληθεί αλμυρό νερό. Αντιστοιχεί σε ένα κρίσιμο πρόβλημα που υπάρχει αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα και γενικότερα στους νησιωτικούς υδροφορείς και ανταποκρίνεται σε μια πραγματική ανάγκη των υπηρεσιών υδροδότησης πόσιμου νερού.

Το μοντέλο ΑΛΣ λειτουργεί επί του παρόντος σε δύο διαστάσεις και οι παροχές άντλησης κάθε γεώτρησης βαθμονομούνται με γνώμονα τη μεγιστοποίησή τους χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να αντληθεί αλμυρό νερό. Η ενότητα υδρογεωλογικού υπολογισμού είναι η ίδια που χρησιμοποιείται και στο MODFLOW. Οι υποθέσεις που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για την άντληση είναι για μια στάσιμη κατάσταση χωρίς μηνιαία εξέλιξη των παροχών στον υδροφόρο και της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Δουλεύουμε λοιπόν με ένα υπερετήσιο μέσο επίπεδο του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα. Από πρακτική άποψη, αυτή η προσέγγιση είναι πλεονεκτική. Από άποψη ακρίβειας των αποτελεσμάτων, θα είχε ενδιαφέρον, εφόσον είναι δυνατό, η βελτίωση του υπολογισμού εξετάζοντας όχι πια ένα υπερετήσιο μέσο επίπεδο, αλλά μηνιαία μέσα επίπεδα για μια μέση υδρολογική χρονιά. Με αυτόν τον τρόπο, θα καταλήξουμε στον υπολογισμό των παροχών άντλησης ανά μήνα σε συνάρτηση με το διαθέσιμο πόρο.

Η μέθοδος βαθμονόμησης δεν καταλήγει απαραίτητα στο απόλυτο μέγιστο των παροχών άντλησης, αλλά σε μια τάξη μεγέθους των αντλούμενων παροχών. Αυτό το αποτέλεσμα είναι απόλυτα επαρκές αυτή τη στιγμή για τους στόχους διαχείρισης των πόρων.

Οι μελλοντικές εξελίξεις του μοντέλου ΑΛΣ προσανατολίζονται στον υπολογισμό σε 3 διαστάσεις της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού. Σε αυτή την περίπτωση, η εξέλιξη της στάθμης του υδροφορέα θα είναι επίσης διαθέσιμη.

Η είσοδος πολλών αρχείων είναι απαραίτητη. Όλα αυτά δημιουργούνται μέσω του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών και προέρχονται από την ΥΔΡΟΓΕΙΟ. Τέλος, η χρήση του μοντέλου ΑΛΣ, η οποία κατά βάθος είναι αρκετά περίπλοκη, γίνεται σχετικά απλή στην πράξη. Είναι ένα πλεονέκτημα στην καθημερινή χρήση αυτού του εργαλείου από τους χρήστες χωρίς να χρειάζονται εξειδικευμένες γνώσεις υδρογεωλογίας ή μοντελοποίησης.

### 3.8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ: ΕΡΜΗΣ

Ο σκοπός του μοντέλου ΕΡΜΗΣ είναι να παρέχει συγκεκριμένα οικονομικά στοιχεία για την εκτίμηση της οικονομικής σκοπιμότητας ενός χωροταξικού έργου. Αυτό το εργαλείο είναι συνδεδεμένο με τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Στην περίπτωση, για παράδειγμα, ενός έργου επέκτασης του δικτύου υδροδότησης, προσθήκης ενός υδραγωγείου ή δημιουργίας ενός νέου ταμειευτήρα, το τεχνικό ενδιαφέρον του έργου ελέγχεται μέσω του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Η οικονομική σκοπιμότητά του αξιολογείται μέσω του μοντέλου ΕΡΜΗΣ. Αυτή η συσχέτιση των δύο εργαλείων επιτρέπει τον ορισμό τόσων οικονομικών σεναρίων όσα είναι τα τεχνικά.

Το μοντέλο ΕΡΜΗΣ υπολογίζει την Καθαρή Τρέχουσα Αξία ενός έργου (ΚΤΑ ή στα αγγλικά NPV, δηλαδή Net Present Value). Η ΚΤΑ αντιστοιχεί στην εκτίμηση αυτή τη στιγμή ενός έργου που θα υλοποιηθεί στα επόμενα 15 έως 20 χρόνια. Μετά από το διάστημα αυτό, οι οικονομικές προβλέψεις είναι κατώτερης ποιότητας, διότι οι πιθανές εξελίξεις του συστήματος είναι πολύ μεγάλες. Η ΚΤΑ δεν επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση της αποδοτικότητας μιας επένδυσης και επομένως την απόδοση της επένδυσης. Παρέχει όμως τη δυνατότητα να εκτιμηθεί κατά πόσο το έργο είναι αποδοτικό ή όχι.

Αυτή τη στιγμή, το μοντέλο υπολογισμού του ΕΡΜΗΣ έχει ολοκληρωθεί. Η διεπαφή βρίσκεται ακόμα σε φάση οριστικοποίησης. Η διεπαφή αυτή θα είναι εύχρηστη και θα παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να ορίζει εύκολα τις οικονομικές παραμέτρους που θα λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς (οικονομικός καταμερισμός του κόστους του έργου σε όλη τη διάρκεια της επένδυσης, καταμερισμός της επένδυσης, καταμερισμός της απόδοσης της επένδυσης, καθορισμός των εσόδων του έργου, καθορισμός του κόστους ανθρώπινου δυναμικού, υλικών και ενέργειας λειτουργίας, υπολογισμός της απόσβεσης,...).

Το μοντέλο ΕΡΜΗΣ επιτρέπει την εκτέλεση οικονομικών υπολογισμών για κάθε έργο και εντός κάθε έργου για κάθε υπο-έργο, προκειμένου να αξιολογηθεί η οικονομική σκοπιμότητα σε διάφορα επίπεδα. Επομένως, είναι δυνατή η αξιολόγηση διαφόρων κοινών παραμέτρων σε όλα τα έργα και υπο-έργα, όπως για παράδειγμα η διάρκεια ζωής.

Αυτό το εργαλείο είναι σαφώς ένα οικονομικό μοντέλο και δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως τα άλλα μοντέλα ή να το χειρίζονται τα ίδια άτομα. Η αρχική κατάρτιση ενός υδραυλικού μηχανικού δεν είναι απαραίτητως προσαρμοσμένη στη χρήση του ΕΡΜΗΣ από αυστηρά οικονομική άποψη.

## 4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

### 4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Τα διαθέσιμα μοντέλα που υπάρχουν σήμερα είναι κυρίως τα εξής τρία:

- WEAP (Water Evaluation And Planning System – Stockholm Environment Institute) ;
- MIKE BASIN (DHI Water & Environment) ;
- RIBASIM (Delft Hydraulics).

Όλα αυτά τα μοντέλα είναι ουσιαστικά συγκρίσιμα με τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Οι λειτουργικές δυνατότητες του ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝΑ και της ΥΔΡΟΓΕΙΟΥ δεν εμφανίζονται επακριβώς ή με την ίδια μορφή στα τρία παραπάνω μοντέλα.

Το πρώτο στοιχείο σύγκρισης συνίσταται στο γεγονός ότι στο έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ έχουμε στη διάθεσή μας όλα τα υδρολογικά και υδρογεωλογικά εργαλεία που επιτρέπουν τον ακριβή ορισμό των δεδομένων εισόδου του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

Από άποψη διαχείρισης πόρων, αυτά τα εργαλεία εμφανίζουν τα ίδια χαρακτηριστικά όσον αφορά τον καθορισμό της τοπολογίας των δικτύων, τον καθορισμό των προτεραιοτήτων χρήσεων, τον καθορισμό των χρήσεων σε ένα υδατόρρευμα σε συνάρτηση με τις παροχές. Το βασικότερο πλεονέκτημα του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ είναι η δυνατότητα βαθμονόμησης όχι μόνο της κατανομής των ροών στο δίκτυο, αλλά και των παραμέτρων της εγγενούς λειτουργίας του δικτύου: παράμετροι λειτουργίας ενός ταμιευτήρα, όρια χρήσης των αντλήσεων,...

### 4.2. ΚΥΡΙΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΕ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

Τα δυνατά σημεία του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ:

- δυνατότητα διασύνδεσης με πολλά εργαλεία:
- βαθμονόμηση των εργαλείων, ιδίως του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, σε διάφορα επίπεδα (κατανομή των πόρων και παραμετροποίηση των νόμων λειτουργίας του μελετούμενου υδροσυστήματος), και επομένως δυνατότητα επεξεργασίας μέσα από τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ των προβλημάτων παραμετροποίησης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης δικτύων και πόρων, το οποίο δεν είναι εφικτό με άλλα εργαλεία,
- συσχέτιση με μια στοχαστική γεννήτρια βροχής για τη δημιουργία σεναρίων λειτουργίας του συστήματος (δημιουργία μιας συνθετικής χρονοσειράς ή περισσότερων χρονοσειρών ίδιας διάρκειας),
- γερές θεωρητικές βάσεις και στενή συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για την διατήρηση των θεωρητικών εξελίξεων και την τεχνική υποστήριξη των χρηστών,

- ένα ενιαίο περιβάλλον εργασίας όπου εκτελούνται όλες οι εργασίες μοντελοποίησης,
- πολλά καινοτόμα εργαλεία: ΑΛΣ, ΛΕΡΝΗ, ΚΑΣΤΑΛΙΑ,...

Τα αδύνατα σημεία του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ:

- η τρέχουσα χρήση των εργαλείων στις τεχνικές μελέτες,
- η εμπειρία των ανταγωνιστών σε θέματα εμπορίας και παρουσίας των εργαλείων τους στην αγορά,
- ορισμένες συγκεκριμένες ενότητες αυτών των εργαλείων:
  - διαχείριση σε πραγματικό χρόνο, σε ημερήσιο χρονικό βήμα, για το RIBASIM και το Flood Early Warning System του που ίσως ανταγωνιστεί αργότερα τα συνδεδεμένα εργαλεία του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, παρόλο που αφορά αποκλειστικά τη διαχείριση πόρων,
  - διασύνδεση μέσω του ArcGis για το MIKE BASIN: αυτή η διασύνδεση δεν είναι πραγματικά ένα μειονέκτημα για το ΟΔΥΣΣΕΥΣ εφόσον είναι εφικτή η διασύνδεση με ένα GIS μέσω της ΥΔΡΟΓΕΙΟΥ
  - το μοντέλο WEAP είναι αναμφισβήτητα το πιο πλήρες και πιο κοντινό από όλα στο έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ.

Τα αδύνατα σημεία είναι λίγα και οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι το έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ είναι πρόσφατο. Χρειάζεται ασφαλώς κάποιος χρόνος για να γίνουν γνωστά τα εργαλεία. Τεχνικά, τα μοντέλα του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ είναι υψηλού επιπέδου και τουλάχιστον ισοδύναμα με τα ανταγωνιστικά εργαλεία.

#### 4.3. ΕΜΠΟΡΙΑ

Τα θέματα σχετικά με την εμπορική διάθεση των εργαλείων εξακολουθούν να συζητούνται στη NAMA. Τα στοιχεία που αναφέρονται εδώ είναι απλώς ενδεικτικά, παρέχονται σε σύγκριση με τα ανταγωνιστικά εργαλεία και δείχνουν τα σημεία στα οποία η NAMA θα πρέπει επίσης να πείσει για το ενδιαφέρον αυτού του εργαλείου.

Για παράδειγμα, μια άδεια για το WEAP κοστίζει περίπου 2.500\$ για ιδιωτικά γραφεία. Η τιμή διαφέρει ανάλογα με τον πελάτη (WEAP21.org).

Μια άδεια για το MIKEBASIN κοστίζει περίπου 4.000€ για τον πυρήνα που είναι αντίστοιχος του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ και με ενσωματωμένη άδεια για το ArcGis 9. Η ενότητα βροχής-παροχής ανέρχεται σε 2.000€ και η ενότητα ποιότητας υδάτων σε 3.000€. Οι πανεπιστημιακές άδειες στοιχίζουν 50% λιγότερο.

Μια υπόθεση όσον αφορά την εμπορία του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ θα ήταν η παραχώρηση της άδειας δωρεάν τουλάχιστον στην αρχή. Σκοπός είναι να εξοικειωθεί το κοινό με τη χρήση αυτού του εργαλείου και το εργαλείο να ανταγωνιστεί με τα αντίστοιχα προϊόντα της DHI και της DELFT που χρησιμοποιούνται ευρέως στις μελέτες στην Ελλάδα. Η ιδέα του έργου είναι λοιπόν η διάδοση της ελληνικής τεχνογνωσίας στους τομείς που αφορά το έργο.

Η μεσοπρόθεσμη εμπορική προσέγγιση του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ μπορεί να είναι η εξής:

- αποσύνδεση των ενοτήτων κατά την πώληση,
- καθορισμός διαφορετικών τιμών ανάλογα εάν ο πελάτης είναι για παράδειγμα ιδιώτης, δημόσιος ή πανεπιστημιακός (ενδεχομένως με δωρεάν άδεια για τα πανεπιστήμια, το οποίο επιτρέπει την εξοικείωση των μελλοντικών μηχανικών στη χρήση του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ),
- επίμονη προβολή των πραγματικών πλεονεκτημάτων του έργου: στενή συνεργασία μεταξύ έρευνας και τεχνικής εφαρμογής, θεωρητική ποιότητα των εργαλείων, φιλικότητα των διεπαφών προς το χρήστη, συμπληρωματικότητα των ενοτήτων.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1. ΈΝΑ ΦΙΛΟΔΟΞΟ ΚΑΙ ΥΠΟΣΧΟΜΕΝΟ ΕΡΓΟ

Ορισμένες ενότητες που είχαν αναπτυχθεί πριν από το έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ και τέθηκαν στη διάθεσή μας από το ΕΜΠ είναι άκρως ενδιαφέρουσες και καινούργιες στην αγορά των υδραυλικών συστημάτων και της διαχείρισης δικτύων: το μοντέλο ΚΑΣΤΑΛΙΑ (σημαντικό για τον ορισμό ρεαλιστικών σεναρίων βροχόπτωσης για μεγάλες χρονικές περιόδους προκειμένου να αξιολογηθεί η μελλοντική εξέλιξη ενός υδροσυστήματος), το μοντέλο ΛΕΡΝΗ (ποιότητα των λιμναίων υδάτων), το μοντέλο ΑΛΣ (διαχείριση των υφαλμυρίσεων), μέθοδος βαθμονόμησης των μοντέλων κυρίως στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

Οι αρχές ορισμένων εργαλείων είναι επίσης ενδιαφέρουσες για τον ενημερωμένο χρήστη: επιλογή των στατιστικών νόμων στο μοντέλο ΟΜΒΡΟΣ για παράδειγμα, οπτική παρουσίαση της εξέλιξης των συστημάτων κατά τη διάρκεια των υπολογισμών προσομοίωσης ή βαθμονόμησης (ΖΥΓΟΣ κατά τη ρύθμιση και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ κατά την προσομοίωση).

Τέλος, το πιο ενδιαφέρον σημείο του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ είναι η μεταφορά στον τομέα των τεχνικών εφαρμογών αποδοτικών εργαλείων που είναι αποτέλεσμα πολλών ετών βασικής έρευνας. Η αξιολόγηση από άποψη τεχνικής και έρευνας των εργαλείων δεν πραγματοποιήθηκε σε πολύ εξειδικευμένο βαθμό. Αξιολόγηση αυτών των εργαλείων είχε εξάλλου ήδη πραγματοποιηθεί από άλλους ερευνητές στο πλαίσιο δημοσιεύσεων και συμμετοχών σε συνέδρια για αυτά τα θέματα.

Επίσης, χάρη στη συμμετοχή ακαδημαϊκών, καταφέραμε να περάσουμε από τη βασική έρευνα στην εφαρμοσμένη έρευνα. Αυτή η μεταφορά δεν σημαίνει υπερβολική απλοποίηση των εργαλείων και των μεθόδων που προέκυψαν από προηγούμενες έρευνες. Μπορούμε επίσης να ελπίζουμε σε μελλοντικές βελτιώσεις των εργαλείων στο πλαίσιο της μελλοντικής προόδου της έρευνας στον τομέα της υδρολογίας, της μοντελοποίησης και της διαχείρισης πόρων.

Όσον αφορά τα γραφικά των εργαλείων, θα θέλαμε να υπενθυμίσουμε τη φιλικότητα των γραφικών διεπαφών και την ευκολία χρήσης τους.

Επίσης, χάρη στα διάφορα υπολογιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη των διεπαφών και της αρχιτεκτονικής κάθε μοντέλου και του συνόλου των μοντέλων, μπορούμε επίσης να επιμένουμε στο ενδιαφέρον των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν από την NAMA και το ΕΜΠ: προσέγγιση CVS, χρήση του Bugzilla, επιλογή του POSTGRES για τη διαχείριση βάσης δεδομένων (εργαλείο παρόμοιο με την ACCESS αλλά δωρεάν και το οποίο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυο στην ίδια βάση δεδομένων). Η επιμονή στην ποιότητα και την παρακολούθηση των γραφικών των υπολογιστικών εργαλείων είναι εμφανής. Δεν είναι πάντα εύκολο να γίνει αυτό και θα θέλαμε να το επισημάνουμε.

Ωστόσο, ορισμένα εργαλεία εξακολουθούν να είναι περίπλοκα για έναν μέσο χρήστη, όπως η γενική οργάνωση των εργαλείων. Η NAMA θα πρέπει να παράσχει σεμινάρια και τεχνική υποστήριξη στους μελλοντικούς χρήστες. Αυτά τα σεμινάρια και η τεχνική υποστήριξη δεν θα πρέπει να είναι απρόσιτα για τους χρήστες.

Επίσης, η τέλεια γνώση των εργαλείων είναι απαραίτητη και ορισμένα άτομα από το πανεπιστήμιο είναι ειδικοί στο αντικείμενο αυτό (κυρίως ο Καθηγητής Κουτσογιάννης και ο Διδάκτωρ Ευστρατιάδης). Υπάρχει θεωρητικό εγχειρίδιο στα ελληνικά. Κατά το χρόνο της αποστολής, η αγγλική μετάφραση δεν ήταν διαθέσιμη. Εκτός από αυτή τη μετάφραση, θα ήταν ενδιαφέρον να εξετάσουμε τη μεταφορά της γνώσης των εργαλείων από θεωρητική άποψη στα μέλη του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ. Από πρακτική άποψη, οι περισσότεροι χρήστες θα έχουν σχετικά απλές απορίες. Όμως εάν ορισμένοι χρήστες έχουν πιο σύνθετες θεωρητικές απορίες, θα ήταν ενδιαφέρον το άτομο που παρουσιάζει τα εργαλεία να είναι σε θέση να απαντήσει. Η εμπορική διάθεση του εργαλείου θα ήταν πολύ πιο εύκολη εάν τα άτομα που θα την αναλάβουν θα έχουν όλες τις βασικές θεωρητικές γνώσεις σχετικά με τα μαθηματικά χαρακτηριστικά κάθε εργαλείου. Θα ήταν παρακινδυνευμένο να εναποθέσουμε τις θεωρητικές γνώσεις σε 1 ή 2 άτομα μόνο. Το να γνωρίζουμε πώς λειτουργούν τα υπολογιστικά μοντέλα είναι ένα θέμα, όμως το να γνωρίζουμε τις υποκείμενες θεωρίες είναι ένα άλλο εξίσου σημαντικό.

Με λίγα λόγια:

- Οι δυνατότητες ανάπτυξης της NAMA γύρω από αυτό το εργαλείο είναι πολύ σημαντικές.
- Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο αξιοποίησε πολλά χρόνια έρευνας: αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα του έργου.
- Η SOGREAH, η οποία συμμετέχει στο έργο με την ιδιότητα του εξωτερικού εμπειρογνώμονα, να παρακολουθεί με προσοχή και ενδιαφέρον τις μελλοντικές εξελίξεις και μελέτες που θα πραγματοποιηθούν με τα εργαλεία του έργου.

## 5.2. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Σε αυτή την παράγραφο, αναφέρουμε ορισμένες προτάσεις για την εξέλιξη των εργαλείων, στην ουσία ή στη μορφή τους, τα οποία θα βοηθήσουν στην μεσοπρόθεσμη εξέλιξη των μοντέλων.

- ΠΥΘΙΑ:
  - Το μοντέλο θα πρέπει να ορίζει από μόνο του τις παραμέτρους ενός νόμου κατανομής εμπειρικής συχνότητας,
  - Δεν θα πρέπει να συμπιέζει τα προηγούμενα αποτελέσματα κυρίως κατά τον υπολογισμό των διαστημάτων εμπιστοσύνης ή στην αλλαγή του μήνα,



- Θα πρέπει να επιτρέπει τη μεταφορά σε Excel ή σε άλλο αντίστοιχου τύπου εργαλείο όχι μόνο τα γραφικά αλλά και τα αποτελέσματα (παραμέτρους των στατιστικών κατανομών, πίνακες τιμών για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς,...) για να μπορούν να γίνονται αλλαγές στα γραφικά,
  - Θα πρέπει να επιτρέπει την επεξεργασία ανά εποχή, αν χρειάζεται, παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει από μόνος του τις εποχές ώστε να προσαρμοστεί σε όλους τους τύπους κλιμάτων.
- ΟΜΒΡΟΣ:
    - Θα πρέπει να κρατάει στη μνήμη τις μεταβλητές που έχουν προηγουμένως χρησιμοποιηθεί εξ ορισμού. Για παράδειγμα, εάν κλείσουμε το ΟΜΒΡΟΣ κατά λάθος ή όταν εκτελούμε άλλες ενέργειες ταυτόχρονα, χάνουμε τα δεδομένα που έχουμε καταχωρήσει. Εάν ξαναχρησιμοποιήσουμε έπειτα το ΟΜΒΡΟΣ, πρέπει να ορίσουμε ξανά όλες τις μεταβλητές. Θα μπορούσαν εξ ορισμού να διατηρούνται τα προηγούμενα δεδομένα όταν ανοίγουμε ξανά την εφαρμογή (στην ίδια συνεδρία του ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, οπότε έχουμε απώλεια των δεδομένων μόνο από μία συνεδρία σε άλλη) και να μπορεί ο χρήστης να επαναφέρει όλα τα δεδομένα κάνοντας κλικ σε ένα συγκεκριμένο κουμπί.
    - Θα πρέπει να μπορούν να γίνονται αλλαγές στους άξονες των γραφημάτων των όμβριων καμπυλών. Προτείνεται ένα τυπικό γράφημα από 1 έως 1000 mm/h στον άξονα των τεταγμένων και από 0,01 έως 100 h στον άξονα των τεταγμένων. Στην περίπτωση των εντάσεων, εάν η περίοδος επαναφοράς είναι ιδιαίτερα ισχυρή και τα δεδομένα εισόδου αντιστοιχούν σε κλίματα όπου οι εντάσεις είναι γενικά ισχυρές, για παράδειγμα σε τροπικά κλίματα, η κλίμακα του άξονα εντάσεων δεν είναι προσαρμοσμένη στις τιμές των εντάσεων που σημειώνονται. Στην περίπτωση που οι εντάσεις είναι ιδιαίτερα ασθενείς, θα ήταν ενδιαφέρον να γίνεται zoom στον άξονα των εντάσεων ώστε να εμφανίζονται οι χαρακτηριστικές περιοχές τιμών.
  - ΖΥΓΟΣ:
    - Το μοντέλο εμφανίζει έναν σημαντικό αριθμό παραμέτρων. Συνιστάται να μην βαθμονομούνται όλες οι παράμετροι ταυτόχρονα ή να μην βαθμονομούνται ταυτόχρονα όλες οι παράμετροι κάθε ταμειυτήρα, κυρίως η χωρητικότητα του επιφανειακού ταμειυτήρα, καθώς αντισταθμίζεται από την αρχική πλήρωση ή τη θέση του H1 ειδικότερα.

- Προτείνουμε επίσης να δημιουργηθεί μια υποδεέστερη έκδοση του ΖΥΓΟΣ που θα επιτρέπει την επίτευξη αποτελεσμάτων κατά μέσο όρο του ίδιου επιπέδου ποιότητας, με μειωμένο αριθμό παραμέτρων.
- ΚΑΣΤΑΛΙΑ:
  - Θα μπορούσε να προστεθεί ένα ακόμα γράφημα στην ενότητα των αποτελεσμάτων. Θα επιτρέπει την οπτική σύγκριση των κατανομών συχνότητας των βροχοπτώσεων προσομοιωμένων σε διάφορες χρονικές περιόδους (κυρίως μήνες και έτη) με τις κατανομές συχνότητας των βροχοπτώσεων που παρατηρούνται στις ίδιες περιόδους. Θα εκτιμούσαμε έτσι την ποιότητα των προσομοιώσεων όχι πια μόνο σε σχέση με την ανασύσταση των στατιστικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων (μέσος όρος, τυπική απόκλιση, ασυμμετρία), αλλά και σε σχέση με την ανασύσταση των ποσοστών βροχόπτωσης.
- ΑΛΣ:
  - η εκτίμηση των αντλήσεων θα μπορούσε να πραγματοποιείται ανά μήνα και όχι μόνο στην κλίμακα του πλήρους μέσου υδρολογικού έτους.
- ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ:
  - Διαχείριση προτεραιοτήτων: Η κατανομή των πόρων μεταξύ όλων των χρήσεων δεν είναι δίκαιη αφού έχουν οριστεί οι κανόνες κατανομής. Θα ήταν ενδιαφέρον να γινόταν διαφορετικά η διαχείριση των προτεραιοτήτων ορίζοντας διαφορετικούς νόμους και πιο προοδευτικούς σε επίπεδο περιορισμών (όχι πια τύπου «ή όλα ή τίποτα»). Για παράδειγμα, στην περίπτωση δύο χρήσεων, η χρήση με προτεραιότητα 1 θα μπορούσε να μειωθεί στο 80% σε περίπτωση που ο πόρος είναι πολύ μικρός για να καλύψει ταυτόχρονα και τις δύο χρήσεις. Αυτό θα ήταν ένα επιπλέον πλεονέκτημα του εργαλείου ΟΔΥΣΣΕΥΣ σε σχέση με τα ανταγωνιστικά εργαλεία που αυτή τη στιγμή λειτουργούν όλα κατά τον ίδιο τρόπο.

- Αναπροσαρμογή των χρήσεων σε περίπτωση σοβαρής υποχώρησης των υδάτων: ο ορισμός των χρήσεων θα μπορούσε να προσαρμοστεί σε σχέση με τις παρατηρούμενες παροχές ή τις στάθμες προειδοποίησης και ειδοποίησης για υποχώρηση των υδάτων που έχουν οριστεί για κάθε ταμιευτήρα. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορούν να διατηρηθούν οι διαθέσιμοι πόροι σε περίπτωση σοβαρής υποχώρησης των υδάτων, το οποίο αποτελεί πλεονέκτημα για το διαχειριστή. Από άποψη μοντελοποίησης, θα πρέπει να μειωθεί η κατανάλωση, εξετάζοντας για παράδειγμα ορισμένους απλούς περιορισμούς για κάποιες χρήσεις (πότισμα ιδιωτικών εκτάσεων με χλόη, πλύσιμο οχημάτων, πλήρωση πισινών, περιορισμός των απολήψεων για άρδευση,...).
- Μοντέλα ποιότητας:
  - από πρακτική άποψη, στη ΛΕΡΝΗ και αναμφισβήτητα στον ΗΡΙΔΑΝΟ, θα ήταν σίγουρα ενδιαφέρον να μπορεί να γίνεται αντιγραφή/επικόλληση των γραμμών ορισμού των παραμέτρων προσομοίωσης. Έτσι, σε μια αρχική γραμμή, θα μπορούσαμε να ορίσουμε απλώς διάφορες γραμμές που αντιστοιχούν σε διάφορες προσομοιώσεις, κάθε μία από τις οποίες θα διαφοροποιείται από την αρχική γραμμή σε μία μόνο παράμετρο. Θα προσδιορίζαμε με αυτόν τον τρόπο την επίπτωση μιας συγκεκριμένης παραμέτρου στα αποτελέσματα των υπολογισμών.
  - Μοντέλο ποιότητας υδροφορέων: αυτό το θέμα δεν έχει εξετασθεί στο πλαίσιο του έργου ελλείψει συνεργαζόμενων φορέων. Ανάλογα με τις ανάγκες που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, θα ήταν ενδιαφέρον να συμπληρωθούν τα ήδη διαθέσιμα μοντέλα ποιότητας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΛΙΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ (ΕΚΤΟΣ EGU 2005)

(Προς υπόμνηση: λίστα με τις κυριότερες δημοσιεύσεις σχετικά με το έργο ΟΔΥΣΣΕΥΣ και σύντομη περιγραφή του θέματος του άρθρου)

1997

Παραμετρικός κανόνας για τον προγραμματισμό και τη διαχείριση συστημάτων πολλών ταμειωτήρων – Ι. Ναλμπάντης & Δ. Κουτσογιάννης, WRR, τόμ. 33, αρ. 9, σελ. 2165-2177

Προτείνεται ένας νόμος για την παραμετροποίηση συστημάτων πολλών ταμειωτήρων, με τρόπο ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι εισροές, οι ανάγκες και οι στόχοι διαχείρισης.

1998

Μαθηματικό πλαίσιο για τη μελέτη των σχέσεων έντασης-διάρκειας-συχνότητας βροχής – Δ. Κουτσογιάννης, Δ. Κοζώνης, Α. Μανέτας, JoH, 206, σελ. 118-135

Προτείνεται ένας τύπος κατάρτισης όμβριων καμπυλών λαμβάνοντας υπόψη την πιθανοτική κατανομή που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μέγιστων εντάσεων. Βελτιστοποίηση των παραμέτρων της γενικής διατύπωσης σε συνάρτηση με το μοντέλο παρεκβολής. Μέθοδος χρησιμοποιούμενη στο ΟΜΒΡΟΣ (υπολογισμός όμβριων καμπυλών στο ΟΔΥΣΣΕΥΣ).

2000

Γενικευμένο μαθηματικό πλαίσιο για τη στοχαστική προσομοίωση και πρόγνωση υδρολογικών χρονοσειρών – Δ. Κουτσογιάννης, WRR, τόμ. 36, αρ. 6, σελ. 1519-1533

Αρχική δημοσίευση του μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης χρονοσειρών δεδομένων που παρουσιάστηκε έπειτα στην EGS 2001.

2001

Σύζευξη στοχαστικών μοντέλων διαφορετικών χρονικών κλιμάκων – Δ. Κουτσογιάννης, WRR, τόμ. 37, αρ. 2, σελ. 379-391

Σύζευξη στοχαστικών υδρολογικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι συνεπή σε κάθε κλίμακα. Μετασχηματισμός των στοχαστικών σειρών της λεπτότερης κλίμακας ώστε να είναι συνεπείς με τις στοχαστικές σειρές της αραιότερης κλίμακας. Διατήρηση των ροπών δεύτερης και τρίτης τάξης. Το ενδιαφέρον της μεθόδου συνίσταται επίσης στο γεγονός ότι διευκολύνει τον επιμερισμό μιας μεταβλητής από μια αραιότερη κλίμακα σε μια λεπτότερη.

Πλαίσιο στοχαστικής υδρολογίας για τη διαχείριση συστημάτων πολλών ταμιευτήρων – Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, EGS 2001

Μέθοδος στοχαστικής προσομοίωσης δεδομένων με εφαρμογή στην υδρολογία. Μοντέλα τα οποία υλοποιήθηκαν στο πακέτο λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ. Εξετάζεται η αυτοσυσχέτιση των υδρολογικών μεταβλητών σε μεγάλες χρονικές περιόδους και επομένως το φαινόμενο Hurst.

2002

Εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση συστημάτων πολλών ταμιευτήρων – Δ. Κουτσογιάννης, Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καραβοκυρός, J. of the American Water Resources Association, τόμ. 38, αρ. 4

Εργαλείο διαχείρισης ενός συστήματος αποτελούμενου από πολλούς ταμιευτήρες με διαφορετικούς στόχους όσον αφορά τις χρήσεις του καθενός. Επίσης εργαλείο βελτιστοποίησης της διαχείρισης του συστήματος. Αποτελεί μέρος του λογισμικού ΟΔΥΣΣΕΥΣ. Για τη ρύθμιση του εργαλείου χρησιμοποιείται η μέθοδος που αποκαλείται «παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση»: 1) μείωση του αριθμού των παραμέτρων εισόδου, 2) προσομοίωση μιας συνθετικής σειράς δεδομένων, 3) βελτιστοποίηση του συστήματος βάσει συνθετικών δεδομένων.

2003

Αξιολόγηση της μεθόδου παραμετροποίησης-προσομοίωσης-βελτιστοποίησης για τον έλεγχο συστημάτων ταμιευτήρων – Δ. Κουτσογιάννης & Α. Οικονόμου, WRR, τόμ. 39, αρ. 6

Παραμετροποίηση: αντί να αναπαρίστανται δύο ταμιευτήρες σε ένα μοντέλο που αποτελείται από αυτούς τους 2, αναπαρίσταται η μεταξύ τους σχέση. Έτσι, παραμετροποιείται η σχέση και μειώνεται ο αριθμός μεταβλητών του βελτιστοποιούμενου μοντέλου. Αντί να έχουμε να βελτιστοποιήσουμε 2 φορές τις μεταβλητές ενός ταμιευτήρα, έχουμε μία φορά τις μεταβλητές ενός ταμιευτήρα συν τις παραμέτρους του νόμου που συνδέει τους δύο ταμιευτήρες (οριακά, μια μόνο επιπλέον παράμετρος ανάλογα με τη σχέση μεταξύ των 2 ταμιευτήρων). Στη συνέχεια, ορίζουμε μια συνθετική σειρά δεδομένων και βελτιστοποιούμε.

Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση του συστήματος υδατικών πόρων της Αθήνας – Δ. Κουτσογιάννης et al., Physics and Chemistry of the Earth, 28, σελ. 599-609

Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων περιλαμβάνει: τη λήψη, τη διαχείριση και την οπτική παρουσίαση δεδομένων, καθώς και μοντέλων για προσομοίωση και βελτιστοποίηση του συστήματος. Για τα μοντέλα, έχουμε από τη μία ένα εργαλείο υδρολογικής στοχαστικής προσομοίωσης για την παραγωγή δεδομένων εισόδου και από την άλλη ένα εργαλείο που επιτρέπει τη δοκιμή διαφόρων πολιτικών διαχείρισης πόρων. Το ενδιαφέρον της μεθόδου είναι η διατήρηση ενός μειωμένου αριθμού παραμέτρων, η συνεκτίμηση πολλών στόχων και προτεραιοτήτων που έχουν οριστεί για κάθε στόχο και η εκτίμηση του κόστους των πολιτικών.

2004

Ελαχιστοποίηση του κόστους νερού στη διαχείριση των υδατικών πόρων της Αθήνας – Α. Ευστρατιάδης, Δ. Κουτσογιάννης, Δ. ΞΕΝΟΣ, Urban Water Journal, τόμ. 1, αρ. 1, σελ. 3-15

Εξετάζεται η ελαχιστοποίηση του κόστους νερού με χρήση ενός ολοκληρωμένου εργαλείου διαχείρισης υδατικών πόρων. Επίσης, εξετάζει τη βελτιστοποίηση της πολιτικής διαχείρισης του συστήματος με σκοπό τη μείωση των κινδύνων και του κόστους.

Βαθμονόμηση ενός ημικατανεμημένου μοντέλου για συνδυασμένη προσομοίωση των επιφανειακών και υπόγειων ροών – Ε. Ρόζος et al., Hydrological Sciences Journal, τόμ. 49, αρ. 5

Αναπτύχθηκε ένα υδρολογικό μοντέλο που εξετάζει τις επιφανειακές και υπόγειες διεργασίες: ένα εννοιολογικό μοντέλο συγκέντρωσης της εδαφικής υγρασίας, ένα πολυκυτταρικό μοντέλο υπόγειας ροής τύπου Darcy, ένα μοντέλο επιμερισμού των απολήψεων από τους διάφορους υδατικούς πόρους. Η βαθμονόμηση του μοντέλου περιελάμβανε διαδοχικές φάσεις χειροκίνητης και αυτόματης βαθμονόμησης. Για την βελτιστοποίηση, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος με την ονομασία εξελικτικός αλγόριθμος ανόπτησης-απλόκου. Εφαρμόζεται βελτιστοποίηση πολλαπλών κριτηρίων τηρώντας ορισμένους εποχικούς ή χρονικούς περιορισμούς.

Διαχείριση παράκτιων υδροφορέων βάσει μη γραμμικής βελτιστοποίησης και εξελικτικών αλγορίθμων – Α. Μαντόγλου, Μ. Παπαντωνίου, Π. Γιαννουλόπουλος, Journal of Hydrology, 297, σελ. 209-228

Εκτιμώνται οι βέλτιστες παροχές άντλησης σε έναν παράκτιο υδροφόρα με σκοπό την αποφυγή της υπαλμύρωσης.

2005

Η πολυκριτηριακή μέθοδος ανόπτησης-απλόκου και η εφαρμογή της στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων – Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης, EGU 2005

Παρουσιάζεται η μέθοδος βαθμονόμησης υδρολογικών μοντέλων που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου ΟΔΥΣΣΕΥΣ. Μια πολυκριτηριακή μέθοδος που βασίζεται στην εκτίμηση του μετώπου των βέλτιστων λύσεων Pareto.

2006

Πολυκυτταρικό μοντέλο καρστικού υδροφόρα με εναλλακτικές εξισώσεις ροής – Ε. Ρόζος & Δ. Κουτσογιάννης, JoH, 325, σελ. 340-355

Εξετάζονται 3 τύποι ροών στις καρστικές ζώνες: εκροή στους αγωγούς, διείσδυση από την επιφάνεια, εκροή στη ζώνη κάθετης κυκλοφορίας. Προτείνεται ένα μοντέλο που επιτρέπει το συνδυασμό των επιφανειακών εισροών και των κάθετων εκροών.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

(Αποσπάσματα από εμπορικά έντυπα τεκμηρίωσης των διαφόρων εργαλείων)

### WEAP

Το WEAP είναι ένα μικροϋπολογιστικό εργαλείο για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό των υδατικών πόρων που απευθύνεται σε ειδικευμένους χωροτάκτες. Παρέχει ένα ολοκληρωμένο, ευέλικτο και φιλικό στο χρήστη πλαίσιο για την ανάλυση σχεδιασμού και πολιτικής.

Υπόβαθρο:

Πολλές περιοχές αντιμετωπίζουν προβλήματα σε θέματα διαχείρισης γλυκού νερού. Ο επιμερισμός των περιορισμένων υδατικών πόρων, οι προβληματισμοί σε σχέση με την περιβαλλοντική ποιότητα, το χωροταξικό σχεδιασμό ανάλογα με την διακύμανση και την αστάθεια του κλίματος και η ανάγκη ανάπτυξης και υλοποίησης στρατηγικών αιφόρου χρήσης του νερού αποτελούν ολοένα και πιο πιεστικά ζητήματα για τους σχεδιαστές συστημάτων υδατικών πόρων. Τα συμβατικά μοντέλα προσομοίωσης με βάση την προσφορά δεν επαρκούν πάντα για να εξερευνηθούν όλες οι δυνατές επιλογές διαχείρισης.

Κατά την τελευταία δεκαετία, προέκυψε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ανάπτυξη των συστημάτων υδατικών πόρων, η οποία τοποθετεί τα έργα υδατοπρομήθειας στο πλαίσιο της διαχείρισης της ζήτησης, καθώς και της ποιότητας των υδάτων και της προστασίας και διαφύλαξης του οικοσυστήματος. Το WEAP ενσωματώνει αυτές τις παραμέτρους σε ένα πρακτικό εργαλείο διαχείρισης των υδατικών πόρων και ανάλυσης θεμάτων πολιτικής. Το WEAP θέτει τα ζητήματα σχετικά με τη ζήτηση, όπως τρόποι χρήσης του νερού, αποδοτικότητα του εξοπλισμού, στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης, κόστος και συστήματα κατανομής του νερού σε ισότιμη βάση με τα ζητήματα σχετικά με την προσφορά, όπως παροχή υδατορρέυματος, πόροι υπόγειων υδάτων, ταμιευτήρες και μεταφορά ύδατος. Το WEAP διακρίνεται επίσης για την ολοκληρωμένη προσέγγιση που παρέχει όσον αφορά την προσομοίωση τόσο των φυσικών (π.χ. απαιτήσεις εξατμοδιαπνοής, απορροή, βασική παροχή) όσο και τεχνητών στοιχείων (π.χ. ταμιευτήρες, άντληση υπόγειων υδάτων) των υδατικών συστημάτων, παρέχοντας στο σχεδιαστή πρόσβαση σε μια πιο ολοκληρωμένη θεώρηση των πολυάριθμων παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη διαχείριση των υδατικών πόρων για τωρινή και μελλοντική χρήση. Το αποτέλεσμα είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδάτων.

Το WEAP αποτελείται από τις εξής μονάδες:

- Βάση δεδομένων υδατικού ισοζυγίου: το WEAP παρέχει ένα σύστημα διατήρησης πληροφοριών για τη ζήτηση και την προσφορά νερού.

- Εργαλείο δημιουργίας σεναρίων: το WEAP προσομοιώνει την ζήτηση νερού, την προσφορά νερού, την απορροή, την παροχή υδατορρεύματος, την αποθήκευση, τη ρύπανση, την επεξεργασία και απόρριψη και την ποιότητα των υδάτων.
- Εργαλείο ανάλυσης θεμάτων πολιτικής: το WEAP αξιολογεί μια πλήρη γκάμα επιλογών ανάπτυξης και διαχείρισης υδατικών πόρων και λαμβάνει υπόψη πολλαπλές και ανταγωνιστικές χρήσεις συστημάτων υδατικών πόρων.

Η προσέγγιση WEAP:

Το WEAP λειτουργεί βάσει της αρχής ενός υδατικού ισοζυγίου και μπορεί να εφαρμοστεί σε δημοτικά και γεωργικά συστήματα, σε συστήματα μίας λεκάνης απορροής ή σε περίπλοκα συστήματα διασυνοριακών λεκανών απορροής ποταμών. Επίσης, το WEAP μπορεί να προσομοιώσει μια ευρεία γκάμα φυσικών και τεχνητών στοιχείων αυτών των συστημάτων, όπως η απορροή των όμβριων υδάτων, η βασική παροχή και η ανατροφοδότηση υπόγειων υδάτων από βροχόπτωση, κλαδικές αναλύσεις ζήτησης, διατήρηση των υδάτων, δικαιώματα και προτεραιότητες σε θέματα κατανομής των υδατικών πόρων, λειτουργίες ταμιευτήρων, παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, παρακολούθηση της ρύπανσης και της ποιότητας του νερού, αξιολογήσεις ευπάθειας και απαιτήσεις οικοσυστήματος. Μια ενότητα οικονομικής ανάλυσης επιτρέπει επίσης στο χρήστη να πραγματοποιήσει συγκρίσεις αποδοτικότητας-κόστους για τα έργα.

Ο αναλυτής αναπαριστά το σύστημα ως προς τις διάφορες πηγές τροφοδοσίας του (π.χ. ποταμοί, ρυάκια, υπόγεια ύδατα, ταμιευτήρες και μονάδες αφαλάτωσης), μονάδες απόληψης, μεταφοράς και επεξεργασίας ακάθαρτων υδάτων, ζήτηση νερού, ρύπανση και απαιτήσεις οικοσυστήματος. Η δομή και το επίπεδο λεπτομέρειας των δεδομένων μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις και τη διαθεσιμότητα δεδομένων για ένα συγκεκριμένο σύστημα και μια συγκεκριμένη ανάλυση.

Η εφαρμογές του WEAP γενικά περιλαμβάνουν πολλά βήματα:

- Ορισμός της μελέτης: καθορίζεται το χρονοδιάγραμμα, τα όρια χώρου, οι συνιστώσες του συστήματος και η διαμόρφωση του προβλήματος.
- Υπάρχοντες λογαριασμοί: αναπτύσσεται μια αποτύπωση της τρέχουσας ζήτησης νερού, των ρυπαντικών φορτίων, των πόρων και των προμηθειών. Μπορεί να θεωρηθεί ως ένα βήμα βαθμονόμησης στην ανάπτυξη μιας εφαρμογής.
- Σενάρια: Μπορεί να διερευνηθεί μια σειρά εναλλακτικών υποθέσεων για τις μελλοντικές επιπτώσεις των πολιτικών, του κόστους και του κλίματος, για παράδειγμα, στη ζήτηση νερού, την προμήθεια νερού, την υδρολογία και τη ρύπανση.
- Αξιολόγηση: Τα σενάρια αξιολογούνται ως προς την επάρκεια του νερού, το κόστος και τα οφέλη, τη συμμόρφωση προς τους περιβαλλοντικούς στόχους και την ευαισθησία στην αβεβαιότητα βασικών μεταβλητών.

Παραδείγματα Αναλύσεων Σεναρίων στο WEAP:

Για τη διερεύνηση του μοντέλου, χρησιμοποιούνται σενάρια με μια σειρά ερωτήσεων «τι θα συμβεί εάν», όπως:



- Τι θα συμβεί εάν αλλάξουν οι τάσεις πληθυσμιακής αύξησης και οικονομικής ανάπτυξης;
- Τι θα συμβεί εάν αλλάξουν οι λειτουργικοί κανόνες των ταμιευτήρων;
- Τι θα συμβεί εάν αξιοποιηθούν περισσότερο τα υπόγεια ύδατα;
- Τι θα συμβεί εάν καθιερωθούν συστήματα διατήρησης των υδάτων;
- Τι θα συμβεί εάν ενταθούν οι απαιτήσεις του οικοσυστήματος;
- Τι θα συμβεί εάν καθιερωθεί ένα πρόγραμμα συνδυασμένης χρήσης για την αποθήκευση των πλεοναζόντων επιφανειακών υδάτων σε υπόγειους υδροφορείς;
- Τι θα συμβεί εάν εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης των υδάτων;
- Τι θα συμβεί εάν εφαρμοστεί μια πιο αποδοτική τεχνική άρδευσης;
- Τι θα συμβεί εάν αλλάξει ο συνδυασμός των γεωργικών καλλιεργειών;
- Τι θα συμβεί εάν η μεταβολή του κλίματος αλλάξει τη ζήτηση και τα αποθέματα νερού;
- Πώς επηρεάζει η ρύπανση ανάντη την ποιότητα των υδάτων κατόντη;
- Πώς θα επηρεάσουν την απορροή οι αλλαγές στις χρήσεις γης;

Ανάπτυξη του WEAP:

Το Ινστιτούτο Περιβάλλοντος της Στοκχόλμης ήταν ο κύριος υποστηρικτής στην ανάπτυξη του WEAP. Το Κέντρο Υδρολογικών Έργων (Hydrologic Engineering Center) του Σώματος Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού χρηματοδότησε σημαντικές βελτιώσεις. Το έργο υποστήριξαν επίσης διάφοροι οργανισμοί, όπως ο ΟΗΕ, η Παγκόσμια Τράπεζα, η USAID, η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA), το Διεθνές Ινστιτούτο Διαχείρισης Υδάτων (IWMI), το Ερευνητικό Ίδρυμα AwwaRF και το Ταμείο Παγκόσμιων Υποδομών της Ιαπωνίας.

## MIKE BASIN

Για την αντιμετώπιση θεμάτων σχετικά με την κατανομή των υδάτων, τη συνδυασμένη χρήση, τη λειτουργία των ταμιευτήρων ή την ποιότητα των υδάτων, το έργο MIKE BASIN συνδυάζει τις δυνατότητες του ArcGIS με την ολοκληρωμένη υδρολογική μοντελοποίηση παρέχοντας λύσεις επιπέδου λεκάνης. Η φιλοσοφία του MIKE BASIN είναι η μοντελοποίηση να παραμένει απλή και διαισθητική, παρέχοντας ωστόσο εμπειριστατωμένες πληροφορίες για το σχεδιασμό και τη διαχείριση. Στο MIKE BASIN, δίδεται έμφαση στην καλή οπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης τόσο σε επίπεδο χώρου όσο και χρόνου, εξασφαλίζοντας έτσι καλύτερη κατανόηση και συναίνεση.

Στις υδρολογικές προσομοιώσεις, το MIKE BASIN στηρίζεται σε ένα μοντέλο δικτύου στο οποίο υπάρχουν σκέλη που αναπαριστούν μεμονωμένα τμήματα ρευμάτων και κόμβοι που αναπαριστούν τις συμβολές, τις εκτροπές, τους ταμιευτήρες ή τους χρήστες νερού. Η διεπαφή ArcGIS επεκτάθηκε αναλόγως, π.χ. ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία των στοιχείων του δικτύου απλά με δεξί κλικ. Από τεχνική άποψη, το MIKE BASIN είναι ένα μοντέλο ισοζυγίου μάζας ημι-σταθερής κατάστασης, το οποίο ωστόσο υποστηρίζει δρομολογημένες ροές υδατορρευμάτων. Η λύση για την ποιότητα των υδάτων προϋποθέτει οριζόντια μεταφορά. Υπάρχει δυνατότητα μοντελοποίησης της φθοράς κατά τη μεταφορά. Η περιγραφή των υπόγειων υδάτων χρησιμοποιεί τη γραμμική εξίσωση ταμιευτήρων.

Χαρακτηριστικά πεδία της εφαρμογής είναι:

- Ανάλυση διαθεσιμότητας υδάτων: συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και βελτιστοποίησή τους.
- Σχεδιασμός υποδομών: δυναμικό άρδευσης, απόδοση ταμιευτήρων, ικανότητα υδατοπρομήθειας, απαιτήσεις επεξεργασίας λυμάτων.
- Ανάλυση πολυτομεακής ζήτησης: οικιακή, βιομηχανική, γεωργική, υδροηλεκτρική, ναυσιπλοΐας, ψυχαγωγική, οικολογική, εξεύρεση δίκαιων συμβιβασμών.
- Μελέτες οικοσυστήματος: ποιότητα υδάτων, απαιτήσεις ελάχιστης παροχής, διαρκής απόδοση, επιπτώσεις παγκόσμιας αλλαγής. Κανονιστικές ρυθμίσεις: δικαιώματα χρήσεων νερού, προτεραιότητας, συμμόρφωση με την ποιότητα του νερού.

Το MIKE BASIN αναπτύχθηκε από την DHI.

## **RIBASIM: Σχεδιασμός και Διαχείριση Λεκανών Απορροής Ποταμών**

Το RIBASIM (River Basin Simulation Model) είναι ένα γενικό πακέτο μοντέλων για την ανάλυση της συμπεριφοράς των λεκανών απορροής ποταμών κάτω από διάφορες υδρολογικές συνθήκες. Το πακέτο μοντέλων είναι ένα ολοκληρωμένο και ευέλικτο εργαλείο που συνδέει τις υδρολογικές εισροές νερού σε διάφορα σημεία με τους συγκεκριμένους χρήστες νερού στη λεκάνη.

Το RIBASIM επιτρέπει στο χρήστη να αξιολογήσει διάφορα μέτρα σχετικά με την διαχείριση των υποδομών, της λειτουργίας και της ζήτησης και τα αποτελέσματα όσον αφορά την ποσότητα και την ποιότητα του νερού. Το RIBASIM παράγει τρόπους κατανομής του νερού και παρέχει μια βάση λεπτομερών αναλύσεων για την ποιότητα του νερού και την καθίζηση σε τμήματα ποταμών και ταμιευτήρες. Αποτελεί μια πηγή ανάλυσης που παρέχει πληροφορίες για την προέλευση του νερού σε οποιοδήποτε σημείο της λεκάνης. Το RIBASIM ακολουθεί μια δομημένη προσέγγιση για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση λεκανών απορροής ποταμών.

Το RIBASIM είναι ένα εργαλείο μοντελοποίησης για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση λεκανών απορροής ποταμών. Διαθέτει μια σειρά από εξαιρετικές λειτουργίες που το καθιστούν ένα υπερσύγχρονο πακέτο προσομοίωσης λεκανών απορροής ποταμών.

Το RIBASIM συνδέεται με την υδρολογική βάση δεδομένων και το σύστημα μοντελοποίησης HYMOS. Για λεπτομερείς διεργασίες ποιότητας νερού, το RIBASIM μπορεί να συνδεθεί με το μοντέλο ποιότητας νερού DELWAQ.

Πεδίο εφαρμογής:

Το RIBASIM έχει σχεδιαστεί για οποιαδήποτε ανάλυση που απαιτεί την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου μιας λεκάνης. Το προκύπτον υδατικό ισοζύγιο παρέχει τις βασικές πληροφορίες για τη διαθέσιμη ποσότητα νερού, καθώς και για τη σύνθεση της ροής σε κάθε περιοχή και χρονικό σημείο στη λεκάνη απορροής ποταμού.

Το RIBASIM παρέχει τα μέσα για την προετοιμασία αυτών των ισοζυγίων με την απαιτούμενη λεπτομέρεια, λαμβάνοντας υπόψη τα ύδατα αποστράγγισης από τη γεωργία, τα βιομηχανικά λύματα και την επαναχρησιμοποίηση του νερού κατάντη. Παράγονται ορισμένες παράμετροι για την απόδοση της λεκάνης με σκοπό την αξιολόγηση των προσομοιούμενων καταστάσεων.

Μια πρόσφατη εφαρμογή του RIBASIM είναι η χρήση του μοντέλου ως μονάδα διόδευσης της ροής σε ένα Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών (Flood Early Warning System, FEWS). Το RIBASIM διαθέτει διάφορες υδρολογικές μεθόδους διόδευσης, όπως ο τύπος Manning, η σχέση επιπέδου-ροής, ο πολυτμηματικός τύπος Muskingum δύο επιπέδων, η μέθοδος Puls και η μη γραμμική μέθοδος Laurenson «lag and route». Η διόδευση της ροής εκτελείται σε καθημερινή βάση αρχίζοντας από οποιαδήποτε επιλεγμένη ημέρα για οποιονδήποτε αριθμό ημερών μετά.

Διεπαφή χρήστη:

Η δομή του RIBASIM βασίζεται σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο με μια φιλική στο χρήστη διεπαφή GIS.

Το περιβάλλον εργασίας παρέχει:

- καθοδήγηση του χρήστη κατά τη φάση σχεδιασμού, υπολογισμού (προσομοίωσης) και ανάλυσης.
- περιβάλλον GIS για τη διαδραστική προετοιμασία της σχηματικής αναπαράστασης της λεκάνης, την εισαγωγή αντικειμενικών δεδομένων ιδιοτήτων και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.