

Υδρονομέας

Σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης υδατικών πόρων

Γ. Καραβοκυρός

Α. Ευστρατιάδης

Δ. Κουτσογιάννης



Εισαγωγή

Το σύνθετο πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων αντιμετωπίζεται πολλές φορές ακόμα και σήμερα με εμπειρικό τρόπο ή με τη βοήθεια λογισμικών εργαλείων απλής προσομοίωσης του υδροσυστήματος, που εφαρμόζουν κανόνες λειτουργίας και σενάρια που επιλέγει με μάλλον αυθαίρετο τρόπο ο χρήστης. Μια τέτοια αντιμετώπιση αδυνατεί να εξασφαλίσει την εφαρμογή της πλέον αποδοτικής διαχείρισης, καθότι τα σενάρια και οι κανόνες λειτουργίας δεν αποτελούν αποτέλεσμα κάποιας συστηματικής διεργασίας αλλά εξαρτώνται από την εμπειρία και τις επιλογές του εκάστοτε μελετητή.

Ο *Υδρονομέας* αποτελεί ένα προηγμένο σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης υδατικών πόρων. Αναπτύχθηκε από ομάδα επιστημόνων του ΕΜΠ στα τέλη της δεκαετίας του 90 χρησιμοποιώντας τεχνολογία αιχμής με σκοπό να εντοπίζει τη βέλτιστη πολιτική διαχείρισης ακόμα και σε ιδιαίτερα πολύπλοκα υδροσυστήματα με ανταγωνιστικές χρήσεις νερού. Είναι σε θέση να δώσει απαντήσεις σε κείρια ερωτήματα που απασχολούν διαχειριστές υδατικών πόρων, μερικά από τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Ποια είναι η ασφαλής απόδοση του υδροσυστήματος με δεδομένο το υδρολογικό καθεστώς και για δεδομένη αξιοπιστία επίτευξης στόχων (ύδρευσης, άρδευσης κλπ.);
- Με ποιο κανόνα λειτουργίας των ταμιευτήρων ελαχιστοποιείται η πιθανότητα αστοχίας επίτευξης των στόχων; Σε ποιο μήνα και έτος η πιθανότητα αστοχίας είναι αυξημένη;
- Με ποιο ελάχιστο κόστος μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι και να τηρηθεί το επίπεδο αξιοπιστίας που όρισε ο χρήστης;
- Πως θα επιδράσουν στα αποτελέσματα τα διαφορετικά διαχειριστικά ή κλιματολογικά σενάρια και ενδεχόμενες μελλοντικές τροποποιήσεις του δικτύου;
- Είναι εφικτή η μακροχρόνια και αξιόπιστη εξυπηρέτηση νέων χρήσεων νερού;
- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις ειδικών περιστάσεων (π.χ. βλάβη στις εγκαταστάσεις); Πως πρέπει να διαμορφωθεί η διαχείριση των υδατικών πόρων σε αυτές τις έκτακτες περιπτώσεις;

Ο *Υδρονομέας* έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλά υδροσυστήματα της Ελλάδας και αποτελεί από τον Οκτώβριο του 2000 το βασικό εργαλείο υποστήριξης της διαχείρισης υδατικών πόρων του συστήματος υδροδότησης της ΕΥΔΑΠ. Συνεργάζεται με το σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών *Κασταλία* με σχεσιακές βάσεις δεδομένων *MS-Access* και *Oracle* και με το σύστημα πρόσβασης στη βάση δεδομένων και επεξεργασίας χρονοσειρών *Υδρογνώμων*.



Σύζευξη προσομοίωσης και βελτιστοποίησης

Η θεμελιώδης αρχή του Υδρονομέα είναι ότι συνδυάζει τις τεχνικές της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης σε ένα ενιαίο πλαίσιο. Κατά τον τρόπο αυτό αποφεύγει αφενός τις υπεραπλουστεύσεις του υδροσυστήματος, καθώς χρησιμοποιεί λεπτομερειακό μοντέλο προσομοίωσης, και αφετέρου τις αυθαίρετες επιλογές του χρήστη, καθώς η λειτουργία του συστήματος προκύπτει μέσα από διαδικασίες συστηματικής αναζήτησης βέλτιστων λύσεων. Επιπλέον, δεν απαιτεί αυθαίρετες επιλογές υδρολογικών σεναρίων από το χρήστη, αλλά αντίθετα χρησιμοποιεί πολυπληθείς συνθετικές χρονοσειρές, μέσω των οποίων προσομοιώνει ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων του υδροσυστήματος, επιτυγχάνοντας έτσι να ποσοτικοποιήσει την αβεβαιότητα της διαχείρισης υδατικών πόρων με όρους πιθανοτήτων.

Ο Υδρονομέας υποστηρίζει δύο μορφές προσομοίωσης, μόνιμης κατάστασης και καταληκτική. Η προσομοίωση μόνιμης κατάστασης επιλέγεται για τη διερεύνηση της λειτουργίας του υδροσυστήματος ανεξαρτήτως αρχικών συνθηκών, με χρήση συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους. Αντίθετα, η καταληκτική προσομοίωση εφαρμόζεται εφόσον εξετάζεται η μελλοντική συμπεριφορά του υδροσυστήματος σε ορίζοντα λίγων ετών. Στην περίπτωση αυτή προσομοιώνονται πολλαπλά σενάρια εξέλιξης των υδρολογικών εισροών, τα οποία προκύπτουν μέσω στοχαστικής πρόγνωσης.

Σενάρια διαχείρισης

Ένα σενάριο διαχείρισης περιλαμβάνει το σύνολο των πληροφοριών που συνιστούν ένα πλήρες πρόβλημα βελτιστοποίησης συστημάτων υδατικών πόρων. Οι πληροφορίες αυτές, οι οποίες αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων, αναφέρονται στη δομή και τις συνιστώσες του υδροσυστήματος, τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, τους στόχους και περιορισμούς που θέτει ο χρήστης καθώς και τις υδρολογικές χρονοσειρές. Ο Υδρονομέας διαθέτει ένα ολοκληρωμένο σύστημα οργάνωσης των παραπάνω πληροφοριών, με χρήση κατάλληλων εργαλείων ελέγχου.

Φόρμα ταμιευτήρα

Ημερομηνία	Ύψος πτώσης [m]	Παροχή [m ³ /s]
1/10/2001	455.00	0.00
1/10/2001	460.00	15.00
1/10/2001	470.00	18.80
1/10/2001	480.00	21.60
1/10/2001	490.00	24.70

Φόρμα υδραγωγείου



Στόχοι προσομοίωσης

Στα πλαίσια του καθορισμού του διαχειριστικού σεναρίου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει στόχους χρήσης νερού και τη σειρά προτεραιότητάς τους. Περιλαμβάνονται οι παρακάτω κατηγορίες στόχων:

- Κάλυψη της ζήτησης σε νερό για ύδρευση ή άρδευση
- Διατήρηση για λόγους ασφαλείας αποθεμάτων σε επιλεγμένους ταμειωτήρες πάνω ή κάτω από κάποιο όριο
- Ελάχιστη, μέγιστη ή επιθυμητή παροχή σε επιλεγμένα υδραγωγεία
- Εξασφάλιση παραγωγής πρωτεύουσας υδροηλεκτρικής ενέργειας

Η απόφαση για τον τρόπο με το οποίο θα εξυπηρετηθούν οι στόχοι δεν βαρύνει τον χρήστη, καθώς αυτή είναι αποτέλεσμα εσωτερικών υπολογισμών του συστήματος. Η ιδιότητα αυτή του Υδρονομεία έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα όταν δεν είναι ξεκάθαρος ο τρόπος εξυπηρέτησης των στόχων, δηλαδή όταν συντρέχουν ένας ή περισσότεροι από τους παρακάτω λόγους:

- Ένας ή περισσότεροι στόχοι μπορούν να εξυπηρετηθούν από περισσότερους από έναν υδατικούς πόρους
- Η παροχευτικότητα των υδραγωγείων δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των κατάντη στόχων.
- Πολλαπλές χρήσεις νερού, ανταγωνιστικές μεταξύ τους, δεν είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα λόγω ελλείμματος νερού.
- Εναλλακτικές διαδρομές μεταφοράς νερού με διαφορετικό κόστος η καθεμία δυσχεραίνουν την εξεύρεση του μακροπρόθεσμα αποδοτικότερου τρόπου διανομής.
- Πλεονάσματα νερού πρέπει να διοχετευθούν σε κατάντη ταμειωτήρες για να αποφευχθούν υπερχειλίσεις.

Σε κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης ο Υδρονομείας εντοπίζει τον καταλληλότερο τρόπο εξυπηρέτησης των στόχων και σε περίπτωση ελλείμματος νερού φροντίζει να εξασφαλίσει νερό κατά προτεραιότητα στους βασικότερους από αυτούς. Κατ' αυτόν τον τρόπο απαλλάσσει τον χρήστη από την υποχρέωση να ορίσει εκ των προτέρων και για οποιαδήποτε πιθανή κατάσταση κανόνες για την κατανομή του νερού στο δίκτυο (π.χ. κανόνες λειτουργίας των μεριστών).

Α/Α	Συνιστώσα δικτύου	Στόχος	Ενεργός στόχος	1η Τιμή	Μέγιστη αστοχία
1	Μαραθιάνας	Αποφυγή υπερχειλίσεων	ΝΑΙ	0.000	1.000
2	Μαραθιάνας	Μέγιστος όγκος (hm ³)	ΝΑΙ	30.000	1.000
3	Μάρνος	Αποφυγή υπερχειλίσεων	ΝΑΙ	0.000	1.000
4	Εύηνος	Αποφυγή υπερχειλίσεων	ΝΑΙ	0.000	1.000
5	Ζήτηση Μειωδίου	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm ³)	ΝΑΙ	181.600	0.010
6	Ζήτηση Γαθασιού	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm ³)	ΝΑΙ	123.500	0.010
7	Ζήτηση Κιούρκων	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm ³)	ΝΑΙ	65.100	0.010
8	Ζήτηση Μανδρας	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm ³)	ΝΑΙ	44.800	0.010
9	Μεριστής Κιθαριώνας	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm ³)	ΝΑΙ	4.500	0.010
10	Εύηνος	Μέγιστος όγκος (hm ³)	ΝΑΙ	110.000	1.000
11	Μάρνος	Μέγιστος όγκος (hm ³)	ΝΑΙ	600.000	1.000
12	Μαραθιάνας	Ελάχιστος όγκος (hm ³)	ΝΑΙ	29.500	1.000
13	Εύηνος	Κατανάλωση νερού - Άρδευση (hm ³)	ΝΑΙ	2.600	1.000
14	Υάικη	Κατανάλωση νερού - Άρδευση (hm ³)	ΝΑΙ	35.000	1.000

Κατάλογος προτεραιότητας στόχων



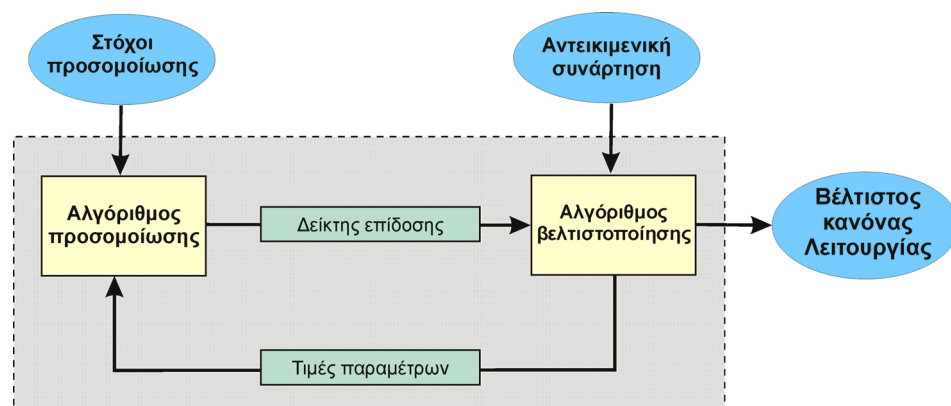
Βελτιστοποίηση υδροσυστήματος

Είναι γνωστό ότι στη διαχείριση υδατικών πόρων οι αποφάσεις που λαμβάνονται επιδρούν μακροπρόθεσμα. Γι' αυτόν τον λόγο ο Υδρονομέας εκτός από τη βελτιστοποίηση που διενεργεί σε κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης με σκοπό τη βέλτιστη κατανομή υδατικών πόρων στο διάστημα ενός μήνα του έτους, έχει τη δυνατότητα διενέργειας βελτιστοποίησης με μακροχρόνιο ορίζοντα στη βάση παραμετροποίησης του κανόνα λειτουργίας των ταμειυτήρων.

Ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον αντικειμενικό σκοπό (αντικειμενική συνάρτηση) βελτιστοποίησης για τον επιθυμητό χρονικό ορίζοντα (π.χ. 10 ετών) από τους παρακάτω:

- Μεγιστοποίηση της απόδοσης του υδροσυστήματος για ένα δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας. Με τον αντικειμενική συνάρτηση αυτή μπορούν να εντοπιστούν τα όρια απόδοσης είτε του πραγματικού υδροσυστήματος είτε του θεωρητικού δυναμικού του υδροσυστήματος, αγνοώντας τον περιορισμό της παροχτετευτικότητας των αγωγών μεταφοράς.
- Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αστοχίας εξυπηρέτησης συγκεκριμένων στόχων του υδροσυστήματος. Η αντικειμενική συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέγιστης δυνατής αξιοπιστίας κάλυψης βασικών χρήσεων νερού ανεξαρτήτως κόστους όπως π.χ. η ύδρευση.
- Ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους του υδροσυστήματος με δεδομένους στόχους και επίπεδα αξιοπιστίας. Κατά τον υπολογισμό του κόστους λαμβάνονται υπόψη τόσο η κατανάλωση όσο και η δυνατότητες παραγωγής ενέργειας.

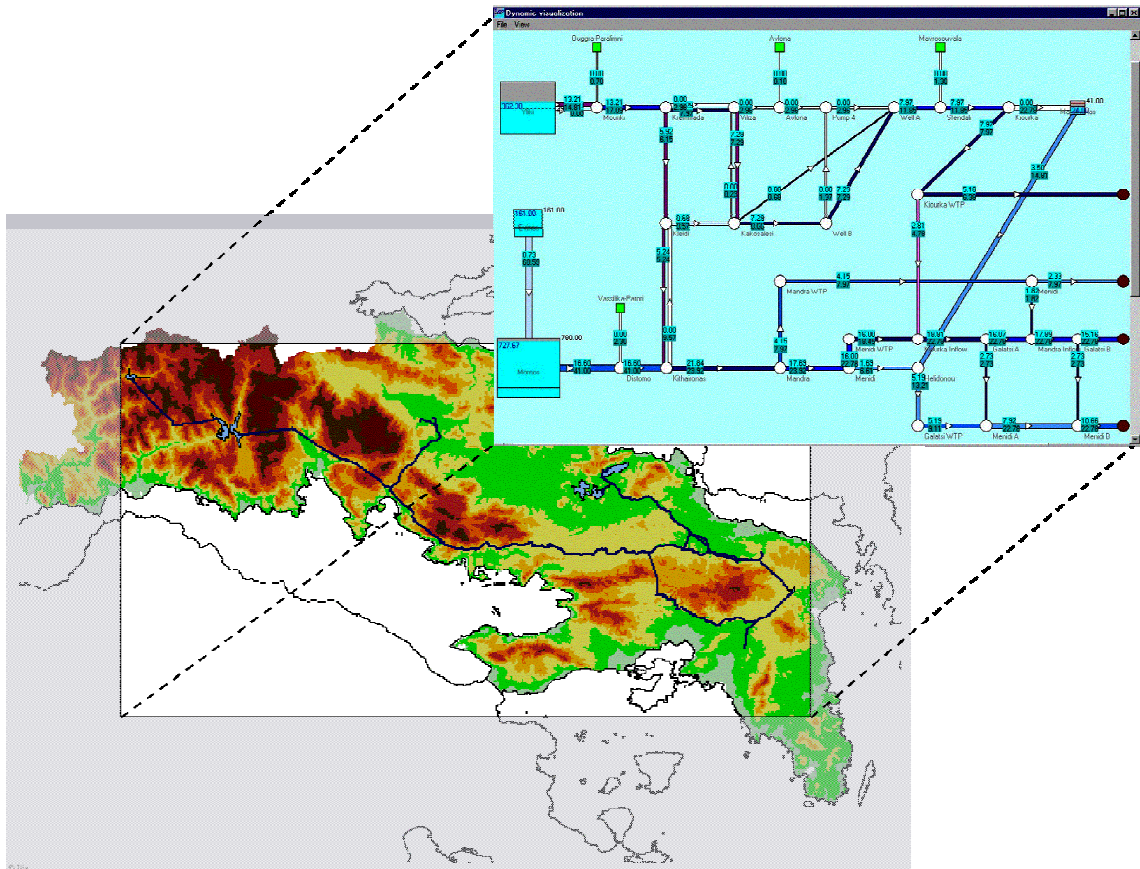
Ο Υδρονομέας είναι σε θέση να υπολογίσει τον μακροπρόθεσμα βέλτιστο κανόνα λειτουργίας του υδροσυστήματος και παράλληλα να καλύπτει όλους τους στόχους και περιορισμούς που έχουν τεθεί σε κάθε χρονικό βήμα, εφόσον αυτό είναι εφικτό.



Διαδικασία βελτιστοποίησης στον Υδρονομέα

Οπτικοποίηση προσομοίωσης

Το υποσύστημα οπτικοποίησης της προσομοίωσης επιτρέπει στον χρήστη την βήμα-προς-βήμα παρακολούθηση της διαδικασίας της προσομοίωσης μέσω ενός μοντέλου δικτύου. Ο χρήστης μπορεί να διακόψει και να ξαναρχίσει τη διαδικασία κατά βούληση. Ένα πλήθος στοιχείων τον κατατοπίζουν για την τρέχουσα κατάσταση κάθε μιας συνιστώσας του δικτύου (στάθμη ταμιευτήρων, παροχή υδραγωγείων κ.ά.) και τον βοηθούν να αντιληφθεί με λεπτομέρεια τον τρόπο λειτουργίας της πολιτικής διαχείρισης που εφαρμόζεται.



Μοντέλο δικτύου εξωτερικών υδραγωγείων της ΕΥΔΑΠ

Αποτελέσματα

Ο Υδρονομείας παρέχει ένα πλήθος αποτελεσμάτων σε μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και εκθέσεων. Στα αποτελέσματα αυτά συμπεριλαμβάνεται ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας για όλους τους ταμιευτήρες του υδροσυστήματος, η πιθανότητα αστοχίας σε χρονική διάσταση για όλους τους στόχους που έθεσε ο χρήστης και η καμπύλη πρόγνωσης των συνολικών αποθεμάτων του συστήματος και του κάθε ταμιευτήρα ξεχωριστά. Αναλυτικά ισοζύγια ταμιευτήρων, κόμβων και παροχών των υδραγωγείων, ενεργειακά ισοζύγια και λειτουργικά οικονομικά στοιχεία συμπληρώνουν το φάσμα των αποτελεσμάτων. Την εύληπτη παρουσίαση των αποτελεσμάτων εξυπηρετεί η αναλυτική έκθεση που εκδίδει ο Υδρονομείας αυτόματα.

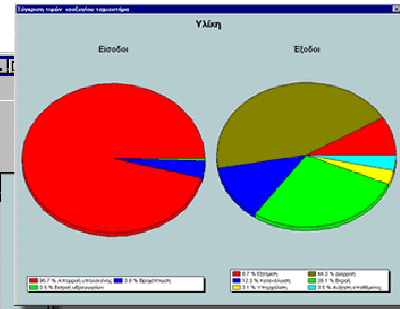


Φόρμα Ισοζυγίων
 Ισοζύγιο ταμιευτήρων | Ισοζύγιο κόμβων | Ισοζύγιο υδραγωγείων

Υδατικό Ισοζύγιο ταμιευτήρων
 (Μέσοι όροι χρονικών περιόδων βέλτιστης λύσης σε hm³)

	Εύρος	Μαρθάνοσ	Μόρνος	Υλίτη	ΣΥΝΟΛΟ
Απορροή ανάντη υπολεκάνης	260.24 (78.72)	13.01 (5.01)	234.02 (87.62)	269.78 (122.63)	777.06 (293.98)
Επιφανειακή βροχόπτωση	3.47 (1.49)	0.99 (0.31)	14.81 (5.68)	10.76 (3.88)	30.03 (11.36)
Επιφανειακή εξάτμιση	-3.70 (1.00)	-2.36 (0.32)	-21.54 (4.23)	-24.62 (4.52)	-52.22 (10.06)
Υπόγειες διαφυγές	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	-11.14 (3.26)	-124.83 (46.90)	-135.97 (50.16)
Εισροές από ανάντη υδραγωγεία	0.00 (0.00)	18.73 (17.59)	165.01 (54.02)	1.41 (5.05)	185.15 (76.66)
Εισροές από γεωρήσεις	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Εκροές σε κατάντη υδραγωγεία	165.01 (54.02)	31.35 (18.82)	329.42 (46.31)	79.19 (22.46)	604.97 (141.61)
Καταναλώσεις	-29.79 (3.52)	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	-34.65 (3.15)	-64.44 (6.67)
Υπερκαλύψεις	57.92 (81.53)	-0.00 (0.00)	-17.73 (34.98)	-8.86 (35.89)	-84.51 (152.40)
Διαφορές κατάντη υδραγωγείων	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)
Χρήση αρχικού αποθέματος	-7.30 (23.34)	0.98 (3.04)	-34.01 (104.31)	-9.79 (47.50)	-50.13 (178.19)
Διαφορά	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00

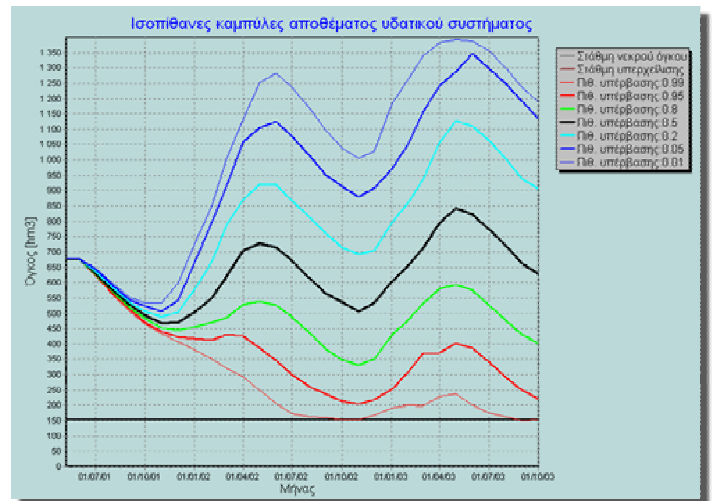
Εξετάζόμενη περίοδος: 1-10
 Διάρκεια περιόδου: 10 έτη



Γραφική παράσταση εισόδων και εξόδων ταμιευτήρα

Το αναλυτικό υδατικό ισοζύγιο των ταμιευτήρων υπολογίζεται με επιλογή του χρήστη για οποιαδήποτε χρονική περίοδο της προσομοίωσης. Τις μέσες τιμές των αποτελεσμάτων συμπληρώνουν οι εκάστοτε τυπικές αποκλίσεις.

Πρόβλεψη συνολικών αποθεμάτων του συστήματος υδατικών πόρων. Οι καμπύλες δίνουν το εκτιμώμενο απόθεμα σε σχέση με μια πιθανότητα υπέρβασης.



Αναλυτική εκτύπωση εκθέσεων έργου



Απαιτήσεις εξοπλισμού Η/Υ

Το λογισμικό εγκαθίσταται σε σύγχρονο προσωπικό υπολογιστή με επεξεργαστή τύπου Pentium III ή μεταγενέστερο και με λειτουργικό σύστημα Windows 95/98/ME/NT/2000/XP. Ορισμένες απαιτήσεις σε εξοπλισμό εξαρτώνται από το μέγεθος της εφαρμογής. Για τυπικές εφαρμογές (έως 100 κόμβους, υδρολογικές χρονοσειρές 2000 ετών) οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι ακόλουθες:

- Επεξεργαστής τύπου Pentium III. Για ταχύτερη επεξεργασία ειδικά στην λειτουργία βελτιστοποίησης, συνιστάται η χρήση ισχυρού επεξεργαστή τελευταίου τύπου
- Ανάλυση κάρτας γραφικών: X VGA (1024x768) και οθόνη ανάλογων δυνατοτήτων
- Χωρητικότητα κεντρικής μνήμης (RAM): 256MB
- Ελεύθερος χώρος σε σκληρό δίσκο: 100MB
- Ποντίκι 2 πλήκτρων τύπου PS/2
- Μονάδα CD-ROM
- Λειτουργικό σύστημα: Windows 95/98/ME/NT/2000/XP

Επικοινωνία

Γ. Καραβοκυρός, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15780 Ζωγράφου
τηλ.: (+30) 010 772 2861, φαξ: (+30) 010 772 2853
email: george@itia.ntua.gr, Internet: <http://www.itia.ntua.gr/hydronomeas/>