

2η Ημερίδα της ΕΥΔΑΠ για την Παγκόσμια Ημέρα Νερού
Αθήνα, 22 Μαρτίου 2001

Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη διαχείριση υδατικών πόρων: Η περίπτωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Δ. Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται εισαγωγή στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και τις χρήσεις τους με ιδιαίτερη αναφορά σε αυτά που αφορούν στη διαχείριση υδατικών πόρων. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που αναπτύχθηκε με στόχο τη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι στόχοι του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, οι συνιστώσες του, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιεί και τα χαρακτηριστικά του λογισμικού που αναπτύχθηκε.

1. Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και υδατικοί πόροι

1.1 Η έννοια των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων

Σύμφωνα με ένα γενικό και απλό ορισμό, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ – Αγγλικά Decision Support Systems, DSS) είναι συστήματα λογισμικού που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων βοηθώντας τους αρμόδιους να κατανοήσουν τις επιπτώσεις των αποφάσεών τους (French, 2000). Συναξιολογώντας επιπρόσθετα μια ποικιλία άλλων ορισμών που έχουν δοθεί για τα ΣΥΑ (π.χ., Sol, 1983· Andriole, 1989· Adelman, 1992· Watkins and McKinney, 1995), μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα γενικά χαρακτηριστικά ενός ΣΥΑ:

1. Είναι ολοκληρωμένο σύστημα από υπολογιστικά εργαλεία με διαδραστικό κατά κανόνα περιβάλλον λειτουργίας.
2. Παρέχει δυνατότητες οργάνωσης και επεξεργασίας των δεδομένων και πληροφοριών (μέσω π.χ. βάσεων δεδομένων και συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας).
3. Περιέχει υπολογιστικά εργαλεία ανάλυσης συστημάτων, όπως αλγορίθμους προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης αποφάσεων.
4. Σχεδιάζεται με στόχο την υποβοήθηση των αρμόδιων στη λήψη αποφάσεων σε σχετικά πολύπλοκα και μη δομημένα προβλήματα, μέσω της διατύπωσης και λεπτομερούς μελέτης σειράς εναλλακτικών επιλογών.

Γενικά, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων είναι (Sage, 1993):

1. Συλλογή δεδομένων
2. Επεξεργασία των δεδομένων (ήτοι, μετατροπή τους σε χρήσιμη πληροφορία για την εκτίμηση της κατάστασης)
3. Διατύπωση και αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
4. Απόφαση
5. Δράση

Τα ΣΥΑ δεν πρέπει να θεωρείται ότι αντικαθιστούν ή υποκαθιστούν τον άνθρωπο πραγματοποιώντας με ένα αυτόματο τρόπο το σύνολο των δραστηριοτήτων αυτών. Απλώς τον

υποβοηθούν κυρίως στις δραστηριότητες 2 και 3, και ενδεχομένως και στην 1. Για την υποβοήθηση της δραστηριότητας 2 περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης και επεξεργασίας της πληροφορίας, που μπορεί να είναι από απλά εργαλεία λογιστικών φύλλων με πινακοποιήσεις και γραφήματα, μέχρι εξελιγμένα εργαλεία σχεσιακών βάσεων δεδομένων και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Για την υποβοήθηση της δραστηριότητας 3 περιλαμβάνουν υπολογιστικά μοντέλα που ξεκινούν από απλούς εμπειρικούς κανόνες (rules-of-thumb) μέχρι λεπτομερή μοντέλα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης ή μοντέλα βασισμένα στη θεωρία παιγνίων. Τέλος, σε ότι αφορά στη δραστηριότητα 1, τα ΣΥΑ μπορεί να περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά συστήματα μετρήσεων που διατίθενται σε πραγματικό χρόνο.

1.2 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη διαχείριση υδατικών πόρων

Λόγω της πολυπλοκότητας στη δομή και λειτουργία τους, της πληθώρας δεδομένων που απαιτεί η διαχείρισή τους, και των πολλαπλών, κατά κανόνα ανταγωνιστικών, στόχων που εξυπηρετούν, τα συστήματα υδατικών πόρων έχουν αποτελέσει ένα προνομιακό πεδίο εφαρμογής των ΣΥΑ. Μερικές από τις υποπεριοχές των συστημάτων υδατικών πόρων όπου έχει εφαρμοστεί η τεχνολογία των ΣΥΑ είναι (Watkins and McKinney, 1995):

- Διαχείριση λιμνών και ταμιευτήρων (για την εξυπηρέτηση στόχων υδροδότησης, παραγωγής ενέργειας, ελέγχου ρύπανσης).
- Έλεγχος πλημμυρών και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (σε λεκάνες ποταμών αλλά και αστικές λεκάνες).
- Διαχείριση υδροφορέων και συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών.
- Διαχείριση συστημάτων διανομής νερού.
- Έλεγχος ρύπανσης σε λεκάνες απορροής και Δέλτα ποταμών.
- Διαχείριση μη σημειακών πηγών ρύπανσης σε γεωργικές περιοχές.

Για να δειχθεί το μεγάλο εύρος των υπολογιστικών μέσων που χρησιμοποιούνται στα ΣΥΑ (επομένως και του βαθμού πολυπλοκότητας των ΣΥΑ) αναφέρονται τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα:

- Το ΣΥΑ WATERSHEDSS (WATER, Soil, and Hydro- Environmental Decision Support System, NCSU Water Quality Group et al., 2001) σχεδιάστηκε για την υποβοήθηση διαχειριστών λεκανών απορροής και χρήσεων γης σχετικά με τα προβλήματα ποιότητας νερού, προκειμένου να επιλέγουν τις καταλληλότερες πρακτικές διαχείρισης. Κατά κύριο λόγο πρόκειται για ένα σύστημα ερωταποκρίσεων, όπου σε κατάλληλες φόρμες μέσω του Διαδικτύου παρέχονται γενική πληροφόρηση και ειδικότερες κατά περίπτωση οδηγίες για την αντιμετώπιση προβλημάτων ρύπανσης.
- Το ΣΥΑ για τη λειτουργία του Ταμιευτήρα Tsengwen (ο μεγαλύτερος ταμιευτήρας στην Taiwan· Huang and Yang, 1999) είναι ένα απλό εργαλείο βασισμένο σε λογιστικό πακέτο (Excel) το οποίο πραγματοποιεί τυπικές εργασίες των υδρολογικών δεδομένων και των δεδομένων αποθεμάτων του ταμιευτήρα και παρέχει κανόνες λειτουργίας του ταμιευτήρα σε πραγματικό χρόνο.
- Το ΣΥΑ CRDSS (Colorado River Decision Support System, Riverside Technology, 2001) είναι μια πολυσύνθετη εφαρμογή λογισμικού που ενσωματώνει τεχνολογίες βάσεων δεδομένων, συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας και υδρολογικών μοντέλων, προκειμένου να μελετήσει τις επιπτώσεις εναλλακτικών πολιτικών διαχείρισης, ελέγχοντας τη δυνατότητα να ικανοποιήσει το υδροσύστημα του ποταμού Colorado τις παρούσες και μελλοντικές υδατικές ανάγκες.

2. Η περίπτωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Το σύστημα για την υποστήριξη της εποπτείας και διαχείρισης των υδατικών πόρων της Αθήνας είναι ένα εξελιγμένο ΣΥΑ που αναπτύσσεται με τη συνεργασία του ΕΜΠ και της ΕΥΔΑΠ στα πλαίσια σχετικού ερευνητικού έργου (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2000). Οι κύριες συνιστώσες του είναι:

- Σύστημα μέτρησης των υδατικών πόρων βασισμένο σε σύγχρονες τεχνικές αυτόματων μετρήσεων και τηλεμετρίας.
- Σύστημα διαχείρισης πληροφορίας και ειδικότερα: (α) σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας για την καταγραφή και ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων (κυρίως πληροφορία θέσης) και (β) σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (ΣΔΒΔ) για τη διαχείριση των πληροφοριών που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του συστήματος και τις χρονοσειρές. Ακόμη περιλαμβάνει εφαρμογές ανάκτησης και επεξεργασίας των δεδομένων, ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των υποσυστημάτων και απεικόνισης των αποτελεσμάτων υπό μορφή χαρτών.
- Υδρολογικά μοντέλα και ειδικότερα (α) μοντέλα στοχαστικής υδρολογίας για την προσομοίωση και πρόγνωση των εισροών και απωλειών των ταμιευτήρων Εύηνου, Μόρνου, Υλίκης και Μαραθώνα (πρόγραμμα ΚΑΣΤΑΛΙΑ, Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2000), και (β) μοντέλο για την εκτίμηση και πρόγνωση των υπόγειων υδατικών πόρων της περιοχής Βοιωτικού Κηφισού – Υλίκης.
- Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος (πρόγραμμα ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, Καραβοκυρός κ.ά., 2000), το οποίο λειτουργεί με πολλαπλούς στόχους και χρήσεις υδατικών πόρων και εξάγει ως αποτελέσματα τους πιο αποδοτικούς διαχειριστικούς κανόνες για τη λειτουργία του συστήματος, τις διακινήσεις νερού σε όλες τις συνιστώσες του (ταμιευτήρες, υδραγωγεία, αντλιοστάσια, υπόγειοι υδροφορείς, μονάδες παραγωγής ενέργειας) και τα αντίστοιχα οικονομικά μεγέθη.

Για την ανάπτυξη όλων των συνιστωσών χρησιμοποιούνται οι πλέον σύγχρονες τεχνολογίες και μεθοδολογίες. Ειδικότερα τα μοντέλα που αναπτύσσονται στα πλαίσια του ΣΥΑ είναι καινοτομικά προϊόντα τόσο ως προς τη θεωρητική βάση τους, όσο και ως προς την ολοκλήρωσή τους ως προϊόντων λογισμικού. Ειδικότερα, έχουν αναπτυχθεί πρωτότυπες μεθοδολογίες για τη στοχαστική προσομοίωση και πρόγνωση των εισροών των ταμιευτήρων τόσο σε ετήσια βάση. Σε ετήσια κλίμακα, οι μεθοδολογίες λαμβάνουν υπόψη και αναπαράγουν το φαινόμενο της μακροπρόθεσμης εμμονής των υδρολογικών μεταβλητών (γνωστό και ως φαινόμενο Ιωσήφ ή φαινόμενο Hurst· Koutsoyiannis, 2000). Σε μηνιαία κλίμακα λαμβάνουν υπόψη την εποχιακή μεταβλητότητα των υδρολογικών μεταβλητών εξασφαλίζοντας παράλληλα την πλήρη συμβατότητα με την ετήσια κλίμακα (Koutsoyiannis, 2001). Σε ότι αφορά στη μέρος της συνολικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του συστήματος, το ΣΥΑ στηρίζεται στην πρωτότυπη και αποτελεσματική μεθοδολογία της παραμετροποίησης-προσομοίωσης-βελτιστοποίησης (Koutsoyiannis et al., 2001). Για το σύνολο του λογισμικού έχουν χρησιμοποιηθεί σύγχρονα εργαλεία ανάπτυξης και αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού, ενώ έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση τόσο στην ταχύτητα των υπολογιστικών αλγορίθμων, όσο και στην φιλικότητα προς το χρήστη (γραφικό περιβάλλον εργασίας).

Το σύστημα μέτρησης έχει ολοκληρωθεί ως προς το σχεδιασμό του, αλλά δεν έχει ξεκινήσει η υλοποίησή του. Οι υπόλοιπες συνιστώσες του ΣΥΑ βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης και έχουν τεθεί σε λειτουργική κατάσταση. Ήδη, το ΣΥΑ έχει χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη του διαχειριστικού σχεδίου του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας (Κουτσογιάννης κ.ά., 2000).

Αναφορές

- Adelman, L., *Evaluating Decision Support and Expert Systems*, John Wiley and Sons, New York, 1992.
- Andriole, S. J., *Handbook of Decision Support Systems*, Tab Publishers, Blue Ridge Summit, Penn., 1989.
- French, S., *Decision analysis and decision support systems*, 3rd draft edition, 2000.
- Huang, W-C., and Yang, F.-T., A handy decision support system for reservoir operation in Taiwan, *Journal of the American Water Resources Association*, 35(5), 1999.
- Koutsoyiannis, D., A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, *Water Resources Research*, 36(6), 1519-1534, 2000.
- Koutsoyiannis, D., Coupling stochastic models of different time scales, *Water Resources Research*, 37(2), 379-392, 2001.
- Koutsoyiannis, D., A. Efstratiadis, and G. Karavokiros, A decision support tool for the management of multi-reservoir systems, *Proceedings of the Integrated Decision-Making for Watershed Management Symposium*, Chevy Chase, Maryland, January 2001, U.S. Environmental Protection Agency, Duke Power, Virginia Tech, 2001.
- NCSU Water Quality Group, North Carolina State University, North Carolina Cooperative Extension, and Department of Biological and Agricultural Engineering, Water, Soil, and Hydro-Environmental Decision Support System (WATERSHEDSS), A decision support system for nonpoint source pollution control, <http://h2osparc.wq.ncsu.edu/>, 2001.
- Riverside Technology Inc., Colorado River Decision Support System, <http://www.riverside.com/projects/crdss/crdss.html>, 2001.
- Sage, A. P., "Associates systems for decision support", *Information and decision technologies*, 19:165-184, 1993.
- Sol, H.G., Processes and tools for decision support: Inferences for future developments. In *Processes and Tools for Decision Support*, (ed. Sol, H.G.), North Holland, Amsterdam, the Netherlands, pp 1-6. 1983.
- Watkins, W. Jr., and D. C. McKinney, Recent developments associated with decision support systems in water resources, U.S. National Report to IUGG, 1991-1994, Rev. Geophys. Vol. 33 Suppl., American Geophysical Union, 1995.
- Ευστρατιάδης, Α., και Δ. Κουτσογιάννης, Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 9, 70 σελίδες, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.
- Καραβοκυρός, Γ., Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, Υδρονομέας (έκδοση 2): Σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης των υδατικών πόρων, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 11, 84 σελίδες, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Ν. Μαμάσης, Τελική έκθεση πρώτης φάσης, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 12, 54 σελίδες, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καραβοκυρός, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, Ι. Ναλμπάντης, Δ. Γκριντζιά, Ν. Δαμιανόγλου, Α. Ξανθάκης, Σ. Πολιτάκη, και Β. Τσουκαλά, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2000-2001, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 5, 165 σελίδες, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.