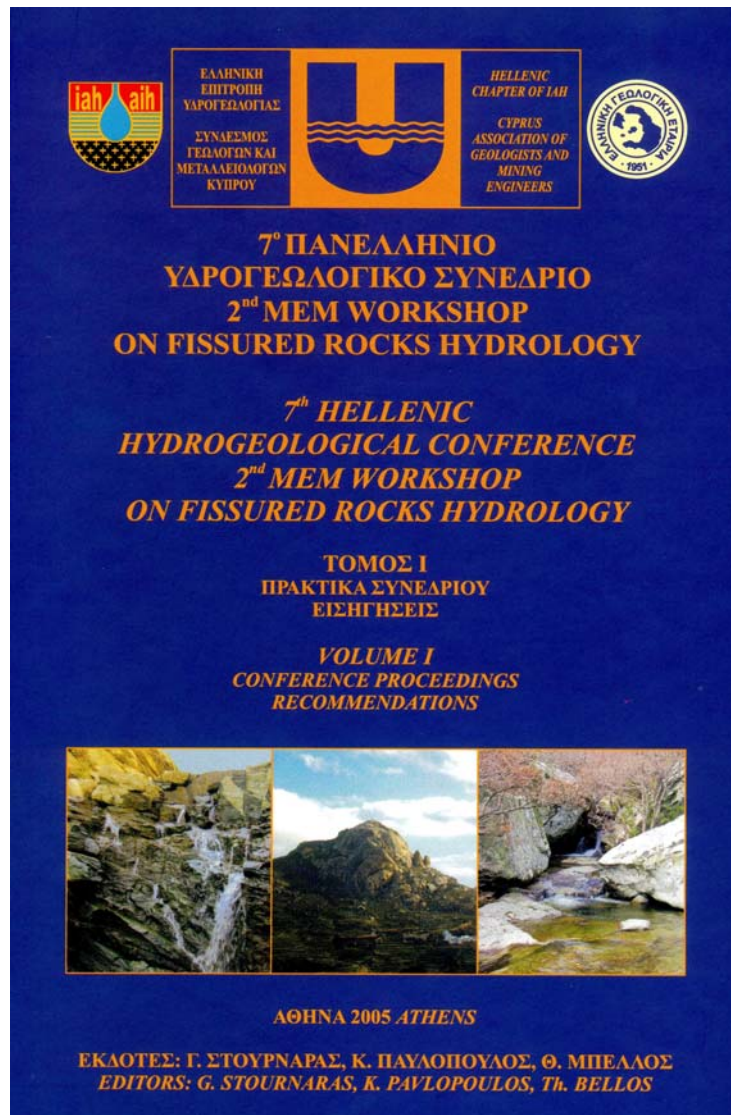


# ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ Νο 109

---



**ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, Ε., ΚΑΠΟΥΡΑΝΗ, Ε., ΚΟΥΒΑΣ, Δ., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε. (2005)** - Σύστημα αυτογραφικής παρακολούθησης και τηλεϊδιοποίησης για παραμέτρους ποιότητας των υδάτων του ποταμού Ευρώτα στο Νομό Λακωνίας. *Πρακτικά 7<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Επιτροπής Υδρογεωλογίας της ΕΓΕ, Αθήνα, Οκτώβριος 2005, v. I*, σ. 261-270.

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ  
ΓΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΥΡΩΤΑ ΣΤΟ  
ΝΟΜΟ ΛΑΚΩΝΙΑΣ**

**<sup>1</sup>ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., <sup>1</sup>ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., <sup>1</sup>ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, Ε., <sup>1</sup>ΚΑΠΟΥΡΑΝΗ, Ε.,  
<sup>2</sup>ΚΟΥΒΑΣ, Δ., <sup>1</sup>ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε.**

1: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και  
Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας  
2: SCIENTACT A.E.

**Λέξεις – κλειδιά:** αυτογραφική παρακολούθηση, ποιότητα επιφανειακών υδάτων, Ευρώτας  
**Key – words:** real-time monitoring, surface water quality, Evrotas river basin

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Μια βασική κατεύθυνση της Οδηγίας 2000/60 για τη διαχείριση υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού και του σχετικού νόμου (3199/2003) σε εφαρμογή της, είναι η κατά ενιαίο και ομοιόμορφο τρόπο συνεχής παρακολούθηση και απεικόνιση της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων για όλες τις περιοχές της Ελλάδας. Ανάμεσα στις φυσικές, χημικές, βιολογικές και οικολογικές παραμέτρους που πρέπει να παρακολουθούνται με μετρήσεις διαφορετικής περιοδικότητας, υπάρχουν κάποιες που μπορούν να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο, και είναι ενδεικτικές μιας γενικής εικόνας της ποιότητας του νερού ανά πάσα στιγμή (pH, αγωγιμότητα, θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο και θολότητα). Η τεχνολογία επιτρέπει την τηλεμετάδοση των δεδομένων και την ανάκτησή τους από οποιοδήποτε και προς οποιοδήποτε σημείο. Υπάρχουν επίσης ευαίσθητες περιοχές όπου έχει παρατηρηθεί υποβάθμιση του επιφανειακού νερού από σταθερές εστίες εισροής ρύπων στο υδάτινο σύστημα ή από πλήθος ανεξέλεγκτων μεμονωμένων επεισοδίων απόρριψης λυμάτων. Εκεί η αυτογραφική παρακολούθηση μπορεί να βοηθήσει στη λήψη κατασταλακτικών ή προληπτικών μέτρων, επεκτεινόμενη από δίκτυο συλλογής δεδομένων σε σύστημα ειδοποίησης, με την οριοθέτηση των αποδεκτών τιμών των παραμέτρων στο λογισμικό που χρησιμοποιείται. Η αναγνώριση των παραπάνω χαρακτηριστικών στο ποτάμιο σύστημα του Ευρώτα, οδήγησε στη συνεργασία του Πανεπιστημίου Αθηνών με την Τοπική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Λακωνίας για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος σε σημεία της κοίτης του ποταμού, αλλά και σε σημεία εκτός της κύριας κοίτης που παρατηρείται εισροή λυμάτων στο ποτάμι. Η επιλογή των παραμέτρων και των σημείων εγκατάστασης έγινε με βάση τη διεθνή εμπειρία και λαμβάνοντας υπ' όψη τα τοπικά χαρακτηριστικά, σε συνεννόηση και με τους φορείς της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Το σύστημα λειτουργεί από τον Ιούλιο του 2004.

**REAL TIME MONITORING AND WARNING SYSTEM FOR WATER QUALITY  
PARAMETERS IN EVROTAS RIVER, LACONIA PREFECTURE (GREECE)**

**<sup>1</sup>MARIOLAKOS, I., <sup>1</sup>FOUNTOULIS, I., <sup>1</sup>ANDREADAKIS, E., <sup>1</sup>KAPOURANI, E.,  
<sup>2</sup>KOUVAS, D., <sup>1</sup>SPYRIDONOS, E.**

1: National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Dynamic, Tectonic, Applied Geology  
2: SCIENTACT S.A.

**ABSTRACT**

A principal guideline of the 2000/60 Directive of the European Parliament for the water resources management on a river basin area and of the law 3199/2003 of the Greek Parliament for the implementation of the Directive, is the uniform and continuous monitoring and representation of all water bodies (surface, groundwater, etc) for the whole territory. Among the

physical, chemical, biological and ecological parameters that should be monitored in appropriate frequency, there are some that can be monitored in real time, and they are indicative of a general status of water quality at any time (pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen and turbidity). Technology permits the transmission and retrieval of data from any location. At the same time, there are sensitive areas where falloff of surface water quality has occurred due to fixed sources of pollution, or a number of non-fixed single incidents of pollution. In such cases, real time monitoring can help in taking preventive or suppressive measures, expanding from a simple data collection system to a warning system, by setting the acceptable value limits for each measured parameter, in the appropriate customized software. These characteristics were identified in the Evrotas river basin, thus leading to the cooperation of the University of Athens with the Local Union of Municipalities and Communes of Laconia Prefecture (Greece) for the installation of a real time monitoring network and warning system for a number of locations on the river as well as some other selected points. The selection of parameters and sites was made according to the international experience and taking into account the local characteristics, as well as the local authorities' opinion and knowledge of the area. The system has been operational since July 2004.

### **1. Εισαγωγή**

Η Οδηγία 2000/60 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και ο νόμος 3199/2003 που εκδόθηκε σε εφαρμογή της, στοχεύουν στην επίτευξη «καλής κατάστασης όλων των υδάτων» μέχρι το 2015. Καλή κατάσταση θεωρείται η επίτευξη συγκεκριμένων στόχων σχετικά με τα ποιοτικά, ποσοτικά και οικολογικά χαρακτηριστικά των υδάτων. Στα πλαίσια αυτά εντάσσεται η κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των υδατικών πόρων για κάθε λεκάνη απορροής, τα οποία πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όλες τις κατηγορίες υδάτων και όλα τα υδάτινα σώματα (επιφανειακά, υπόγεια, παράκτια κ.λπ.), την αλληλεπίδραση μεταξύ τους καθώς και με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Βασικό εργαλείο για το σκοπό αυτό είναι η παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτινων σωμάτων, καθώς αποτελεί θεμελιώδες συστατικό του πρώτου κρίκου της αλυσίδας «Γνώση της υφιστάμενης κατάστασης – Σχεδιασμός Διαχείρισης – Λήψη Μέτρων – Βελτίωση της Κατάστασης».

Η παρακολούθηση περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος φυσικών, χημικών, βιολογικών κ.λπ. παραμέτρων και δεικτών, και προσαρμόζεται στις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε ξεχωριστή λεκάνη απορροής και σε κάθε υδάτινο σώμα. Έτσι, ενώ υπάρχει ένα γενικό πλαίσιο που περιγράφει τις παραμέτρους και τη συχνότητα παρακολούθησης ανάλογα με το είδος του υδάτινου σώματος και τη χρήση του από τον άνθρωπο ή τη σημασία του για το περιβάλλον και τα οικοσυστήματα που συντηρεί, από τα επεξηγηματικά κείμενα της Ε.Ε. που υποστηρίζουν την Εφαρμογή της Οδηγίας συστήνεται σε όλους τους τόνους η προσαρμογή του εκάστοτε προγράμματος παρακολούθησης στις ειδικές συνθήκες κάθε περιοχής (Littlejohn *et al.*, 2002).

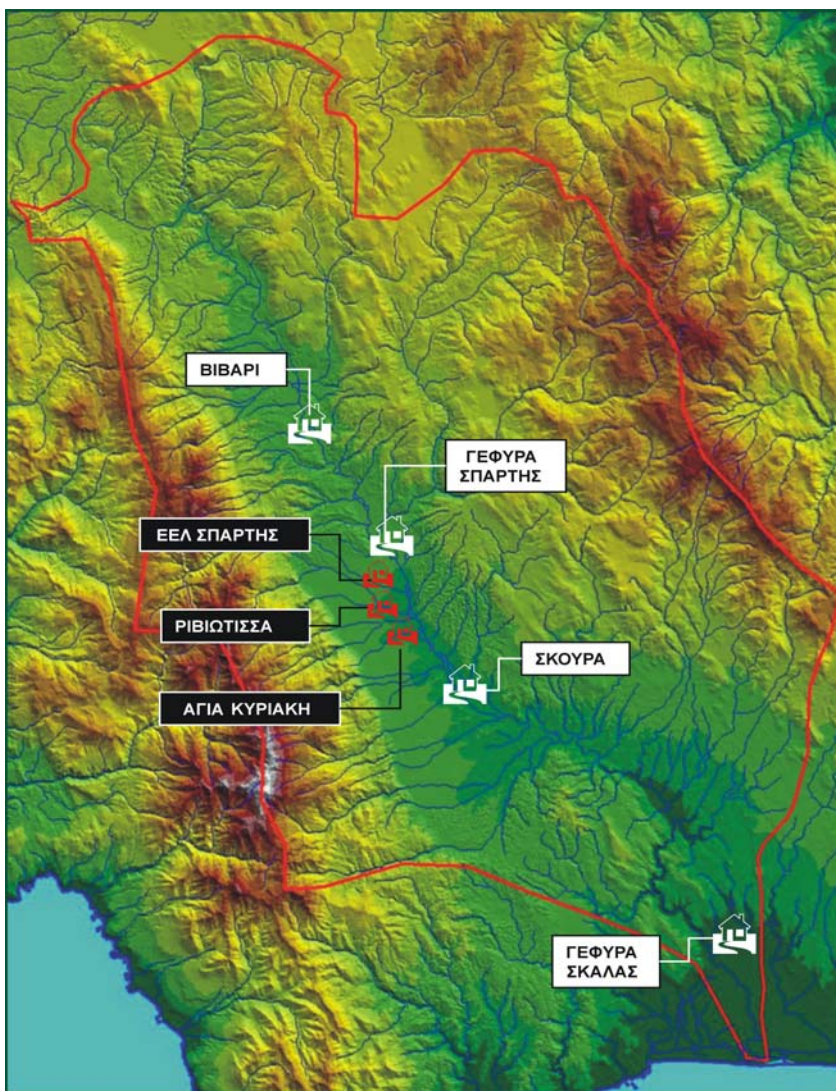
Η παρακολούθηση (monitoring) είναι μια πολυεπίπεδη διαδικασία, που συνδυάζει όλους τους τύπους υδάτινων σωμάτων και σχεδιάζεται με βάση συγκεκριμένα στοιχεία και σαφείς στόχους. Σχετικά με τα επιφανειακά ύδατα, η παρακολούθηση μπορεί να γίνεται για λόγους επιτήρησης (surveillance), για επιχειρησιακούς λόγους (operational) ή να έχει ερευνητικούς στόχους (investigative) (Littlejohn *et al.*, 2002). Αντίστοιχα, στα υπόγεια ύδατα προστίθενται και οι ποσοτικές παράμετροι (quantitative). Επιπλέον, η διαδικασία της παρακολούθησης διαφοροποιείται όταν πρόκειται για επιφανειακά νερά σε προστατευόμενες περιοχές ή για ιδιαίτερος τροποποιημένα ή τεχνητά υδάτινα σώματα αλλά μπορεί να γίνεται και για λόγους ενιαίας βαθμονόμησης (intercalibration). Ταυτόχρονα, οι δείκτες ποιότητας και ο τρόπος παρακολούθησής τους, περιλαμβάνουν υποχρεωτικά παρακολουθούμενες και προτεινόμενες παραμέτρους, στο πλαίσιο πάντα ενός προσαρμοσμένου στις εκάστοτε τοπικές συνθήκες ολοκληρωμένου προγράμματος (Leeks *et al.*, 1997).

Σημαντικά βήματα στη διαδικασία του σχεδιασμού είναι η επιλογή των υδάτινων σωμάτων που θα παρακολουθούνται καθώς και των σημείων εγκατάστασης, η συχνότητα της δειγματοληψίας και τα αποδεκτά όρια επικινδυνότητας και ακρίβειας, που σχετίζονται και με τον αριθμό των υδάτινων σωμάτων που παρακολουθούνται, τον αριθμό των απαιτούμενων σταθμών και τη

συχνότητα παρακολούθησης. Η προσαρμογή του προγράμματος παρακολούθησης στις τοπικές συνθήκες είναι μια διαδικασία απαραίτητη, λόγω των διαφοροποιήσεων μεταξύ των διαφόρων περιοχών στις περιβαλλοντικές πιέσεις, στον τύπο των υδάτινων σωμάτων, στις βιοκοινωνίες, στα υδρομορφολογικά, υδρογεωλογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά.

## **2. Το σύστημα του Ευρώτα**

Η έκταση και η σοβαρότητα της υποβάθμισης της ποσότητας και κυρίως της ποιότητας των υδάτων του ποταμού Ευρώτα, αποτελούν επείγουσα προτεραιότητα στην τοπική κοινωνία της Λακωνίας. Το πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση ενός τέτοιου προβλήματος, είναι η ακριβής γνώση των υφιστάμενων συνθηκών, καθώς και της μεταβολής τους, τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Η ενόργανη αυτογραφική παρακολούθηση, και ακόμα περισσότερο η τηλεειδοποίηση σε τυχόν έκτακτες συνθήκες, αποτελεί την ασφαλέστερη και ακριβέστερη προσέγγιση σε μια τόσο ευαίσθητη περιοχή.



Εικόνα 1 – Οι θέσεις των σταθμών παρακολούθησης του δικτύου του Ευρώτα (τέσσερις πάνω στην κύρια κοίτη και τρεις σταθμοί επιτήρησης).  
*Figure 1 – Locations of the monitoring stations of the Evrotas river network (four along the main river bed, and three surveillance stations).*

Η εγκατάσταση σταθμών παρακολούθησης σε κομβικά σημεία, μπορεί να δώσει πολύτιμη πληροφόρηση για τις διακυμάνσεις της ποιότητας των υδάτων, για τις περιοχές προέλευσης των ρυπαντικών φορτίων, και για το χρόνο εισροής τους στο υδάτινο σύστημα. Όσο πιο πυκνό και εκτεταμένο είναι το δίκτυο των σταθμών μέσα στην λεκάνη, τόσο πιο εποπτική και ακριβής

είναι η παρακολούθηση της προέλευσης των ρυπαντικών φορτίων, και συνεπώς η προστασία της ποιότητας και της διαίτας του ποταμού, όμως οι οικονομικοί πόροι περιορίζουν το σχεδιασμό στο πλαίσιο των ελάχιστων απαιτήσεων για την εξασφάλιση της λειτουργίας.

Το σύστημα περιλαμβάνει επτά σταθμούς παρακολούθησης (Εικόνα 1) με ηλιακό συλλέκτη, data logger και δέσμη αισθητήρων για ανοιχτά ύδατα, και καλύπτει την περιοχή της κοίτης του ποταμού από το Βιβάρι (άνω ρους Ευρώτα) που η επιβάρυνση αναμένεται να είναι γενικά πολύ μικρή, μέχρι την περιοχή της Σκάλας (έξοδος προς την περιοχή του δέλτα). Ειδικά η περιοχή από τη γέφυρα της Σπάρτης μέχρι τη Σκούρα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη, καθώς στον ποταμό συμβάλλουν ρέματα που μεταφέρουν λύματα από μονάδες χυμοποιίας και ελαιοτριβεία, εισέρχονται τα επεξεργασμένα αστικά λύματα από τον Ε.Ε.Λ. Σπάρτης και γίνεται απόρριψη βοθρολυμάτων από βυτία απευθείας στην κοίτη.

Σε κάθε σταθμό, που είναι ενεργειακά αυτόνομος, μετρώνται αυτογραφικά οι εξής παράμετροι ποιότητας: **Θερμοκρασία, pH, Αγωγιμότητα, Διαλυμένο Οξυγόνο και Θολότητα.**

Η τελική διαμόρφωση της εγκατάστασης έχει ως εξής (επτά σταθμοί):

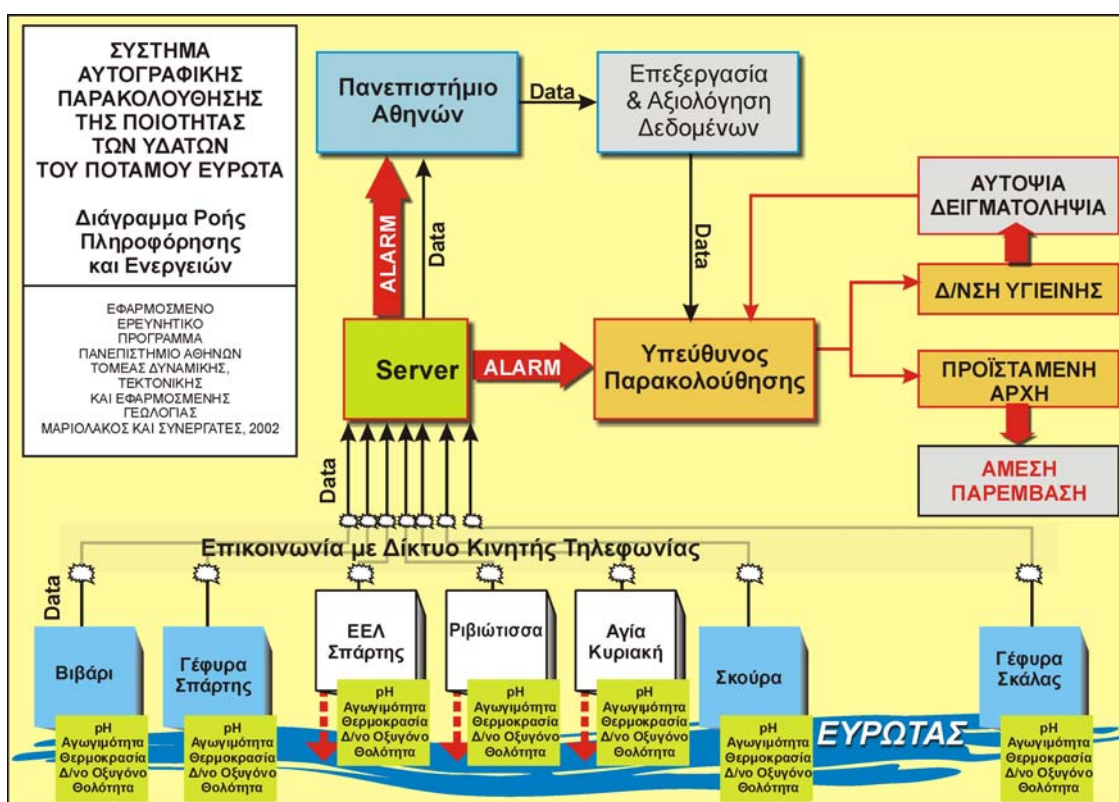
- Βιβάρι Σελλασίας. Παρακολούθηση της ποιότητας σε μικρή απόσταση από τις πηγές του ποταμού.
- Γέφυρα ποταμού Ευρώτα (Σπάρτη). Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων του ποταμού μετά τη συμβολή του με τον Οινούντα, στην είσοδο της πεδιάδας της Σπάρτης.
- Έξοδος μονάδας Ε.Ε.Λ. Σπάρτης (Βιολογικός καθαρισμός).
- Γέφυρα Ριβιώτισσας. Παρακολούθηση των ρυπαντικών φορτίων από μονάδα χυμοποιίας σε ρέμα που εκβάλλει στον Ευρώτα.
- Γέφυρα Αγ. Κυριακής. Παρακολούθηση των ρυπαντικών φορτίων από μονάδα χυμοποιίας σε ρέμα που εκβάλλει στον Ευρώτα.
- Πέρασμα Σκούρας. Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων του ποταμού κοντά στο φρέαρ υδροδότησης της Σκούρας. Η θέση αυτή βρίσκεται κατάντη του μεγαλύτερου τμήματος της αστικής και βιομηχανικής δραστηριότητας της περιοχής της Σπάρτης και κατά συνέπεια εκεί αθροίζεται το μεγαλύτερο μέρος των επιπτώσεων στον Ευρώτα.
- Γέφυρα Σκάλας. Έξοδος του ποταμού προς τις εκβολές του.

Τα δεδομένα της παρακολούθησης συλλέγονται (Εικόνα 2) μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας στον κεντρικό υπολογιστή ελέγχου και καταγραφής (server) που στην πρώτη φάση του προγράμματος έχει εγκατασταθεί στο πανεπιστήμιο, και στην τελική φάση του προγράμματος παραδίδεται στην ΤΕΔΚ Λακωνίας. Ακολουθεί η επεξεργασία και η αξιολόγηση των δεδομένων, και η τακτική ενημέρωση του υπεύθυνου παρακολούθησης. Στην δεύτερη φάση του προγράμματος καθορίστηκαν οι μέσες και οι ακραίες αναμενόμενες τιμές για τις παραμέτρους που μετρώνται, με σκοπό να καθοριστούν και τα κρίσιμα όρια συναγερμού. Μετά την δεύτερη φάση και τον καθορισμό των ορίων συναγερμού, σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων αυτών, ειδοποιείται αυτόματα με τηλεφωνική κλήση από το σύστημα το πανεπιστήμιο και βεβαίως ο υπεύθυνος παρακολούθησης, ο οποίος προβαίνει στις κατάλληλες ενέργειες, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα Ροής Πληροφόρησης και Ενεργειών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η προστασία του Ευρώτα απαιτεί τη συντονισμένη δράση όλων των υπηρεσιών που εμπλέκονται στο ζήτημα. Ο Υπεύθυνος Παρακολούθησης που θα οριστεί με πρωτοβουλία της Τ.Ε.Δ.Κ., προφανώς σε συνεργασία και με τους άλλους εμπλεκόμενους φορείς, θα φέρει αυξημένη ευθύνη για την προστασία του ποταμού. Καθώς θα είναι ο πρώτος αποδέκτης των σημάτων ειδοποίησης από το σύστημα παρακολούθησης, δηλαδή ο πρώτος κρίκος της αλυσίδας των ενεργειών που πρέπει να ακολουθήσουν, στην εγρήγορση και την αποτελεσματικότητά του στηρίζεται η άμυνα του ποταμού. Με τη λήψη του σήματος ειδοποίησης από το σύστημα, ο Υ.Π. θα πρέπει να ειδοποιήσει τη Δ/νση Υγιεινής για να γίνει το ταχύτερο δυνατόν αυτοψία και λήψη δείγματος για πλήρη σειρά αναλύσεων από την περιοχή του σταθμού που έδωσε το σήμα. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να ειδοποιηθεί η Προϊστάμενη Αρχή στην οποία υπάγεται ο Υ.Π. (Τ.Ε.Δ.Κ., Περιφέρεια, Νομαρχία, Δήμος ή άλλος φορέας), η οποία έχει πλέον και την πρωτοβουλία και την ευθύνη για περαιτέρω ενέργειες.

Εξάλλου, υπογραμμίζεται ότι ένα πολύ λεπτό ζήτημα είναι ο καθορισμός των ορίων ενεργοποίησης του συστήματος τηλεειδοποίησης, για δυο λόγους:

- Οι παράμετροι που μετρώνται αυτογραφικά σε πραγματικό χρόνο δεν είναι οι ίδιοι οι ρύποι, αλλά σχετίζονται με τους ρύπους ή με την επίδραση των ρύπων στην ποιότητα του νερού του ποταμού. Έτσι, απαιτείται ένα χρονικό διάστημα που αφενός πρέπει να περιλαμβάνει περίοδο αιχμής ρυπογόνων δραστηριοτήτων και αφετέρου να γίνει σε όσο το δυνατόν περισσότερα χρονικά σημεία η σύγκριση των αυτογραφικών μετρήσεων με πλήρεις χημικές αναλύσεις, έτσι ώστε να συσχετιστούν οι φυσικοχημικές παράμετροι με τη σύσταση του νερού.
- Τα ίδια τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού του ποταμού διαφέρουν από θέση σε θέση λόγω φυσικών αιτιών, κι έτσι χρειάζεται και για το λόγο αυτό μια μεγάλη χρονική περίοδος παρακολούθησης, ώστε να διαπιστωθεί η μέση και οι ακραίες καταστάσεις σε κάθε σταθμό.



Εικόνα 2 – Διάγραμμα ροής πληροφορήσης και ενεργειών του συστήματος.

Figure 2 – Data and action flow chart of the Evrotas river monitoring system.

Με λίγα λόγια, ο τελικός στόχος του προγράμματος, που θα μπορούσε να είναι η αρχή της εφαρμογής μιας γενικότερης περιβαλλοντικής πολιτικής για το νερό στη Λακωνία, είναι ένα σύστημα που λαμβάνει υπ' όψη τα όρια της φυσικής κατάστασης του ποταμού και ειδοποιεί για τις δραστικές μεταβολές ένα χρήστη με κατάλληλη εκπαίδευση, ώστε να μπορεί να αξιολογήσει τα δεδομένα και να αποφασίσει για την αυτοψία και δειγματοληψία, που θα είναι η πρώτη του ενέργεια εφόσον κριθεί απαραίτητο.

### 3. Γενικές κατευθύνσεις και τυποποιημένες διαδικασίες για την παρακολούθηση

Επειδή το σύστημα που διαμορφώνεται στη λεκάνη του Ευρώτα στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος τίθεται για πρώτη φορά σε εφαρμογή στην Ελλάδα, για το σχεδιασμό των εργασιών έχει ληφθεί υπόψη η διεθνής εμπειρία, κυρίως από τις ΗΠΑ (Wagner *et al.*, 2000) και τη Γαλλία από την Ε.Ε. (Simonet, 2001), όπου εφαρμόζονται επί σειρά ετών τέτοιες μεθοδολογίες. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται συνοπτικά οι σχετικές κατευθυντήριες γραμμές.

Η επιλογή των αισθητήρων για την παρακολούθηση περιλαμβάνει τέσσερα κύρια αλληλοσυνδεόμενα στοιχεία:

1. το σκοπό για τον οποίο συλλέγονται τα στοιχεία,
2. τον τύπο της εγκατάστασης,
3. τους τύπους των αισθητήρων που θα εγκατασταθούν στο σταθμό παρακολούθησης και
4. τους ειδικούς αισθητήρες που απαιτούνται για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ακρίβειας των στοιχείων παρακολούθησης.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ευρύτερα για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε εγκαταστάσεις αυτογραφικής παρακολούθησης είναι της θερμοκρασίας, αγωγιμότητας, του διαλυμένου οξυγόνου (DO), του pH και της θολερότητας.

Η αυτογραφική παρακολούθηση ποιοτικών παραμέτρων επιφανειακών υδάτων, παρά το γεγονός ότι αποτελεί εδώ και αρκετά χρόνια διεθνή πρακτική, και όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφία έχει ήδη συσσωρευτεί αρκετή εμπειρία διεθνώς, στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε εμβρυϊκό στάδιο. Η παρακολούθηση ποιοτικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο δεν έχει εφαρμοστεί, ιδιαίτερα σε μη ελεγχόμενες συνθήκες, όπως είναι οι μη διαμορφωμένες κοίτες ποταμών. Ταυτόχρονα, η έστω και δειγματοληπτική παρακολούθηση της ποιότητας είναι αποσπασματική ή, στην καλύτερη περίπτωση, ασυνεχής. Έτσι, οι πρώτες προσπάθειες εφαρμογής αυτών των μεθόδων που θεωρούνται στις ΗΠΑ και στην Ε.Ε. κρίσιμα εργαλεία στη διαχείριση του περιβάλλοντος, των φυσικών πόρων και των φυσικών καταστροφών, έχουν να αντιμετωπίσουν όλων των ειδών τους αστάθμητους παράγοντες και τα προβλήματα, ξεκινώντας από μηδενική βάση. Από την επιλογή των θέσεων εγκατάστασης των σταθμών, μέχρι το λειτουργικό κόστος του συστήματος, εμφανίζονται πλήθος δυσκολίες. Οι κυριότερες κατηγορίες προβλημάτων που αναμένονται γενικά, αναφέρονται συνοπτικά ακολούθως.

- **Εγκατάσταση.** Οι θέσεις εγκατάστασης πρέπει να εξασφαλίζουν ταυτόχρονα την ασφάλεια και τη συνεχή και ομαλή λειτουργία των οργάνων, συνεχή ροή, και αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων για τη θέση. Ο τρόπος στερέωσης των αισθητήρων και του ιστού, το αναμενόμενο ύψος της στάθμης του νερού, η προσβασιμότητα των οργάνων είναι μόνο μερικές από τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη και που πολλές φορές κινούνται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Οι αλλαγές της κύριας κοίτης, η υψηλή ή χαμηλή στάθμη, η ορμή του νερού κ.λπ. μπορούν να θέσουν σε αχρηστία ένα σταθμό, ή να μειώσουν την αξιοπιστία των μετρήσεων.
- **Λειτουργία των αισθητήρων.** Η συνεχής και ομαλή λειτουργία των αισθητήρων αποτελεί μια μόνιμη πηγή ανησυχίας, καθώς ανά πάσα στιγμή πλήθος αστάθμητων παραγόντων μπορεί να θέσει εκτός λειτουργίας έναν ή και όλους τους αισθητήρες. Η συχνή εποπτεία του σταθμού και ο έλεγχος των ενδείξεων σε καθημερινή βάση είναι η βέλτιστη διαδικασία για την αποτροπή μεγάλων διαστημάτων αδράνειας σε περίπτωση βλάβης. Η συντήρηση του σταθμού στο σύνολό του και η βαθμονόμηση των αισθητήρων σε τακτά χρονικά διαστήματα αποτελεί απαραίτητη διαδικασία, όμως λόγω της διασποράς των σταθμών και των αποστάσεων, δεν είναι δυνατό να γίνεται οπτικός έλεγχος σε καθημερινή ή έστω εβδομαδιαία βάση. Στη πραγματικότητα, οι συνθήκες ροής και ποιότητας του νερού που είναι διαφορετικές σε κάθε θέση, ρυθμίζουν το μέγιστο χρονικό διάστημα που μπορεί να λειτουργήσει υπό κανονικές συνθήκες ένας σταθμός χωρίς ανάγκη συντήρησης.
- **Ερμηνεία.** Τα προβλήματα σχετίζονται με την εξακρίβωση των ορίων των φυσιολογικών τιμών των μετρούμενων παραμέτρων για κάθε περιοχή του ποταμού έχουν ήδη σχολιαστεί. Πάντως πρέπει να τονιστεί ότι η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να γίνει εφάπαξ, καθώς υπάρχουν, όπως προαναφέρθηκε, πολλών ειδών φυσικές ή μη μεταβολές. Έτσι, ακόμα και μετά το τέλος του προγράμματος, τα όρια θα πρέπει να βρίσκονται συνεχώς υπό αναθεώρηση από τον υπεύθυνο παρακολούθησης. Πέρα από αυτό, όπως έχει ήδη φανεί από τις χρονοσειρές των μετρήσεων, κάθε θέση παρακολούθησης παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τις άλλες. Η πορεία της παρακολούθησης θα συμπληρώνει σταδιακά την εικόνα που διαμορφώνεται για τον τρόπο συμπεριφοράς των παραμέτρων σε κάθε θέση. Δεδομένου ότι ένα τμήμα του δικτύου έχει καθαρά το χαρακτήρα ελέγχου συγκεκριμένων σταθερών εστιών ρύπανσης, θα πρέπει

κάποια στιγμή να γίνει συσχετισμός των διαταραχών στις διακυμάνσεις των μετρούμενων παραμέτρων, με τα επεισόδια ρύπανσης. Μέχρι στιγμής πάντως, έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις όπου οι διαταραχές μεταξύ των παραμέτρων συσχετίζονται μεταξύ τους και αφορούν συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, όπως και περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει φανερή συσχέτιση.

- **Τηλεμετρία.** Η τηλεμετρική ζεύξη είναι ένα θέμα που συνδέεται άμεσα με τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος σχετικά με τη συλλογή των δεδομένων και την τηλεειδοποίηση σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων. Παρά το γεγονός ότι έχει ήδη εγκατασταθεί ένα πλήρες σύστημα μέσω κινητής τηλεφωνίας (GSM), η επιστημονική ομάδα θεωρεί την τηλεμετρική ζεύξη ένα από τα θέματα που θα διερευνώνται μέχρι το τέλος του προγράμματος, ως προς τη λειτουργικότητα και το κόστος. Είναι προφανές ότι η πιο ασφαλής και οικονομικότερη μέθοδος ζεύξης είναι η σύνδεση μέσω σταθερής τηλεφωνικής γραμμής. Αυτό όμως δεν είναι δυνατό να γίνει για όλους τους σταθμούς, και μειώνει την αυτονομία του συστήματος. Παρά ταύτα, δεν έχει αποκλειστεί πλήρως. Η λύση του τοπικού δικτύου UHF επίσης είναι πολύ οικονομική, οι αποστάσεις μεταξύ των σταθμών όμως το καθιστούν εναλλακτική λύση τοπικού χαρακτήρα, καθώς δεν μπορεί να καλύψει αυτόνομα όλο το σύστημα, δεδομένου ότι προβλέπεται και η επέκτασή του σε άλλες περιοχές. Το δίκτυο GSM, παρά το γεγονός ότι σε μερικές περιοχές το σήμα δεν είναι ισχυρό και οι συνδέσεις διακόπτονται συχνότατα, είναι προς το παρόν μια αυτόνομη λύση, εφαρμόσιμη για όλη την περιοχή του δικτύου. Παρά ταύτα, οι αλλαγές της τιμολογιακής πολιτικής των εταιριών κινητής τηλεφωνίας μπορούν να θέσουν ένα σύστημα εκτός οικονομικής βιωσιμότητας. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια αλλαγή (και μάλιστα ταυτόχρονη από όλες τις εταιρίες) κατά τη διάρκεια του προγράμματος ανάγκασε την επιστημονική ομάδα να αναθεωρήσει το σχεδιασμό της λειτουργίας με συμβιβασμούς σε σχέση με τις αρχικές επιλογές.
- **Λογισμικό.** Το λογισμικό ΕΡΜΗΣ, που είναι το βασικό πρόγραμμα που διαχειρίζεται τη μεταφορά δεδομένων και την τηλεειδοποίηση, είναι πρωτότυπο και έχει αναπτυχθεί από τον προμηθευτή του εξοπλισμού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις και σε συνεννόηση με την ερευνητική ομάδα. Ταυτόχρονα, η μεθοδολογία τηλεειδοποίησης είναι πλήρως λειτουργική, και εξετάζεται η δημιουργία διαδραστικής επιφάνειας με τρίτο χρήστη (user interface) εκτός του υπεύθυνου παρακολούθησης με καθορισμένα επίπεδα πρόσβασης.

#### **4. Σταθερότυπα ποιότητας**

Τα σταθερότυπα ποιότητας για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του ποταμού Ευρώτα για κάθε παράμετρο που παρακολουθείται από το πρόγραμμα, είναι αυτά που έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία, και συγκεκριμένα την Οδηγία 1998/83 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, που αφορά τα νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Αυτό γίνεται για δύο βασικούς λόγους.

Ο πρώτος λόγος είναι ότι για κάθε τμήμα ενός ποτάμιου συστήματος, τα ακριβή όρια της φυσικής του κατάστασης διαφέρουν. Σε περιοχές άλλων κρατών όπου η ποιότητα του νερού παρακολουθείται συστηματικά επί σειρά ετών, συχνά καθορίζονται στενά όρια για κάθε τμήμα, ανάλογα με την κατάσταση που έχει γίνει βάσει της προηγούμενης παρακολούθησης.

Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το νερό του Ευρώτα βρίσκεται σε άμεση υδραυλική επικοινωνία τόσο με κοκκώδεις όσο και με καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες, των οποίων το νερό χρησιμοποιείται και ως πηγή ποσίμου. Συνεπώς κάθε επιβάρυνση της κατάστασης της ποιότητας στον Ευρώτα μεταφέρεται απευθείας (αν δεν αθροίζεται κιόλας) στους υπόγειους υδροφόρους.

Κρίθηκε από την επιστημονική ομάδα, ότι ο πλέον εποπτικός τρόπος παρουσίασης των δεδομένων είναι ο τρόπος που κατ' εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60 του Ε.Κ. παρουσιάζει τα αποτελέσματα της παρακολούθησης ποιότητας το σύστημα SEQ-EAU (Système d' Evaluation de Qualité de l' Eau, του γαλλικού Υπουργείου Περιβάλλοντος και Χωροταξίας).

Χρησιμοποιούνται πέντε κατηγορίες από το «πολύ καλό» (γαλάζιο χρώμα) μέχρι το «πολύ κακό» (κόκκινο χρώμα). Τα όρια κάθε κατηγορίας λαμβάνουν υπόψη:



- Τη γαλλική και την ευρωπαϊκή νομοθεσία που αφορά το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση και κολύμβηση.
- Τις συστάσεις των διεθνών οργανισμών (U.S.A. Environmental Protection Agency κ.λπ.)
- Στοιχεία από διεθνείς βάσεις δεδομένων
- Βιβλιογραφία.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ		Πολύ Καλό	Καλό	Μέτριο	Κακό	Πολύ κακό
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg/l)		>8	6	4	3	<3
Θολότητα (NTU)		<2	35	70	105	>105
Θερμοκρασία (°C)		<21,5	23,5	25	28	>28
Αγωγιμότητα (μS/cm)		<2500	3000	3500	4000	>4000
pH	min	6,5	6	5,5	4,5	<4,5
	MAX	8,2	8,5	9	10	>10

Εικόνα 3 – Κατηγορίες αξιολόγησης ποιότητας του επιφανειακού νερού για τις μετρούμενες παραμέτρους σύμφωνα με το σύστημα SEQ-Eau.

Figure 3 – Surface water quality evaluation classes for the monitored parameters according to the SEQ-Eau system.

### 5. Καθορισμός προσωρινών ορίων συναγερμού

Η λειτουργία του συστήματος άμεσης ειδοποίησης, που αποτελεί το ένα από τα δυο βασικά σκέλη του προγράμματος, θα καταλήγει σε κάποιο μήνυμα στην περίπτωση που οι μετρούμενες τιμές των παραμέτρων θα δείχνουν σοβαρή υποβάθμιση, δηλαδή θα βρίσκονται εκτός των αποδεκτών ορίων. Μια πρώτη σκέψη θα ήταν απλά να γίνει εισαγωγή των ορίων των σταθερότυπων στο λογισμικό που επεξεργάζεται τις μετρήσεις των αισθητήρων, και όποτε αυτά ξεπερνώνται να δίνει το αντίστοιχο σήμα. Ωστόσο, αυτό δεν θα ήταν η βέλτιστη επιλογή, καθώς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σταθμών δεν επιτρέπουν την ομοιόμορφη εφαρμογή ορίων σε όλους. Υπάρχουν για παράδειγμα σταθμοί όπως το Βιβάρι και η Σπάρτη, που τα επίπεδα του οξυγόνου είναι γενικά καλύτερα από τους άλλους σταθμούς, και βρίσκονται σχεδόν πάντα στα όρια του «πολύ καλού» ή «καλού». Αντιθέτως, άλλοι σταθμοί παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις ή σταθερά χαμηλά ποσοστά. Η εφαρμογή ενός ενιαίου ορίου συναγερμού σε σχέση με το οξυγόνο θα είχε ως αποτέλεσμα είτε την συνεχή λήψη μηνυμάτων συναγερμού από κάποιους σταθμούς, αν έμπαινε το όριο ψηλά, είτε την απώλεια μηνυμάτων συναγερμού για την υποβάθμιση των σταθμών με καλή ποιότητα, αν το όριο έμπαινε πολύ χαμηλά.

Κατά συνέπεια, τα όρια σε κάθε σταθμό καθορίζονται ανεξάρτητα, αν και μπορεί για κάποιους να συμπίπτουν, λόγω των ομοιοτήτων που παρουσιάζουν μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, έγινε μια επιπλέον επεξεργασία της χρονοσειράς των δεδομένων, έτσι ώστε με βάση τις μέσες και τις ακραίες τιμές των παραμέτρων να τεθούν τα όρια σύμφωνα με τις αναμενόμενες καταστάσεις. Όπως είναι φυσικό, τα όρια θεωρούνται υπό αναθεώρηση ως το τέλος των 12 μηνών της παρακολούθησης στα πλαίσια του προγράμματος, αλλά και συνεχώς στο μέλλον, καθώς η υδρολογική και περιβαλλοντική κατάσταση του ποταμού μεταβάλλεται με το χρόνο και εξαρτάται άμεσα από τις βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες φυσικές μεταβολές και ανθρωπογενείς επιδράσεις.

## **6. Συμπεράσματα - Συζήτηση**

Με την συμπλήρωση σχεδόν ενός έτους μετρήσεων, υπάρχει πλέον μια εικόνα για τη διακύμανση της ποιότητας στον ποταμό Ευρώτα, η οποία, αν και δεν είναι γενικά ευχάριστη, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανίχνευση των μηχανισμών ρύπανσης του νερού. Με την έλευση της χειμερινής περιόδου, που συνδυάζεται αφενός με την αύξηση των βροχοπτώσεων και της παροχής του ποταμού και αφετέρου με την αύξηση της δραστηριότητας που σχετίζεται με την επεξεργασία των αγροτικών προϊόντων (ελιά, εσπεριδοειδή), πλήθυνε ο αριθμός και η σοβαρότητα των επεισοδίων ρύπανσης στο ποτάμι.

Κατά τον ένα χρόνο της λειτουργίας, δόθηκε η ευκαιρία να δοκιμαστεί το σύστημα σε πολλά επίπεδα, σχετικά με τις παρακάτω παραμέτρους:

- Τα επίπεδα διακύμανσης των παραμέτρων ποιότητας υπό κανονικές συνθήκες και υπό συνθήκες περιβαλλοντικής πίεσης
- Τις περιοχές που παρουσιάζουν τα περισσότερα προβλήματα και το είδος του προβλήματος για καθεμιά
- Την ταυτοποίηση των εστιών των ρύπων
- Την αντοχή των σταθμών σε περιόδους υψηλής στάθμης του ποταμού με πολλά φερτά υλικά
- Την αξιοπιστία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας

Επιγραμματικά μόνο μπορούν να αναφερθούν μερικά από τα λεπτά σημεία που διαπιστώθηκαν κατά τη λειτουργία του συστήματος:

- Οι μετρήσεις πολλές φορές επιδέχονται περισσότερες από μια ερμηνείες, και συνεπώς χρειάζεται μεγάλη προσοχή στη διάγνωση ενός επεισοδίου ρύπανσης, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τη γενικότερη «συμπεριφορά» της κάθε θέσης παρακολούθησης.
- Η ευαίσθητη περιοχή της πεδιάδας της Σπάρτης συγκεντρώνει πολλές ρυπογόνες εστίες, η λειτουργία των οποίων είναι φυσικά ταυτόχρονη σε πολλές χρονικές περιόδους, ιδιαίτερα το χειμώνα, και γι' αυτό όπως προαναφέρθηκε δεν αρκεί η μέτρηση του δικτύου για να τεκμηριώσει την προέλευση της ρύπανσης.
- Κατά την χειμερινή περίοδο η συμπεριφορά του ποταμού και των χειμάρρων που συμβάλλουν στον Ευρώτα είναι πολύ διαφορετική και γενικά απρόβλεπτη, με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στη στερέωση και στον ίδιο τον εξοπλισμό των σταθμών. Ήδη κατά την χειμερινή περίοδο 2004-2005, αρκετοί σταθμοί υπέστησαν ζημιές, οι οποίες αποκαταστάθηκαν, αφού αναθεωρήθηκε ο τρόπος στερέωσης σύμφωνα με την υπάρχουσα πλέον εμπειρία. Τονίζεται πάντως ότι η πρόβλεψη συμβολαίου το οποίο είχε συνάψει το Πανεπιστήμιο με ασφαλιστική εταιρία αποδείχθηκε εξαιρετικά χρήσιμη όσον αφορά την οικονομική κάλυψη των επισκευών, ως εκ τούτου προτείνεται ανεπιφύλακτα η διατήρησή του και από την ΤΕΔΚ στη συνέχεια.
- Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας αποδείχθηκε γενικά αξιόπιστο, με εξαίρεση την περιοχή του σταθμού της Σκούρας, όπου κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες το δίκτυο που χρησιμοποιείται είναι ασταθές.
- Η ταχύτητα αντίδρασης των τοπικών αρχών στη διαπίστωση ενός επεισοδίου ρύπανσης χρειάζεται μεγάλη βελτίωση. Κατά τον Ιανουάριο του 2005, που διαπιστώθηκε έκτακτη επιβάρυνση στην ποιότητα του νερού, έγιναν οι προβλεπόμενες ενέργειες από το Πανεπιστήμιο προς την ΤΕΔΚ και από την ΤΕΔΚ προς τη Δ/ση Υγιεινής της Νομαρχίας Λακωνίας που διενήργησε δειγματοληψία και αυτοψία στις θέσεις που επισημάνθηκαν, όμως τα αποτελέσματα δεν ήταν γνωστά, τουλάχιστον στην ΤΕΔΚ και στο Πανεπιστήμιο πέντε μήνες μετά.

## **7. Ευχαριστίες**

Η επιστημονική ομάδα ευχαριστεί ιδιαίτερα την Τοπική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Λακωνίας για τη χρηματοδότηση του εφαρμοσμένου ερευνητικού προγράμματος, μέσω του οποίου κατέστη δυνατή η πραγματοποίηση του δικτύου παρακολούθησης. Επίσης

ευχαριστούμε τους δημάρχους των περιοχών που φιλοξενούν σταθμούς, όσο και τους κατοίκους, για το ενδιαφέρον με το οποίο περιβάλλουν την προσπάθεια αυτή.

#### **8. Βιβλιογραφία**

- Leeks, G., Neal, C., Jarvie, H., Casey, H., Leach, D. 1997. The LOIS river monitoring network: strategy and implementation. *The Science of the Total Environment*, **194/195**, 101-109. Elsevier.
- Littlejohn, C., Nixon, S., Casazza, G., Fabiani, C., Premazzi, G., Heinonen, P., Ferguson A and Pollard, P., 2002. Guidance on Monitoring for the Water Framework Directive. Water Framework Directive, Common Implementation Strategy, Working Group 2.7, Monitoring.
- Mariolakos, I., Fountoulis, I., Spyridonos, E., Andreadakis, Emm., Kapourani, E. 2002. *A multi parametric approach of water management in the frame of sustainable development*. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Forum “Integrated Water Management”, HYDRORAMA 2002. 390-401.
- Mariolakos, I., Fountoulis, I., Spyridonos, E., Dritsa, C., Kapourani, E., Andreadakis, Emm. 2001. *Holistic Methodology for Water Resources Management in Semi-Arid Regions. Case Study in Mani (S Peloponnesus, Greece)*. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Biennial Symposium on Artificial Recharge of Groundwater. “Artificial Recharge and Integrated water management” Arizona USA, 31-40.
- Simonet, F. 2001. Le nouveau Système d’ Evaluation de la Qualité de l’ Eau des rivières: Le SEQ-Eau. *Adour Garonne Revue de l’Agence de l’Eau*. Hiver 2001, **81**, 7-9.
- Wagner, R., Matraw, H., Ritz, G. and Smith, B. 2000. Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Site Selection, Field Operation, Calibration, Record Computation, and Reporting. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 00-4252. Reston, Virginia.