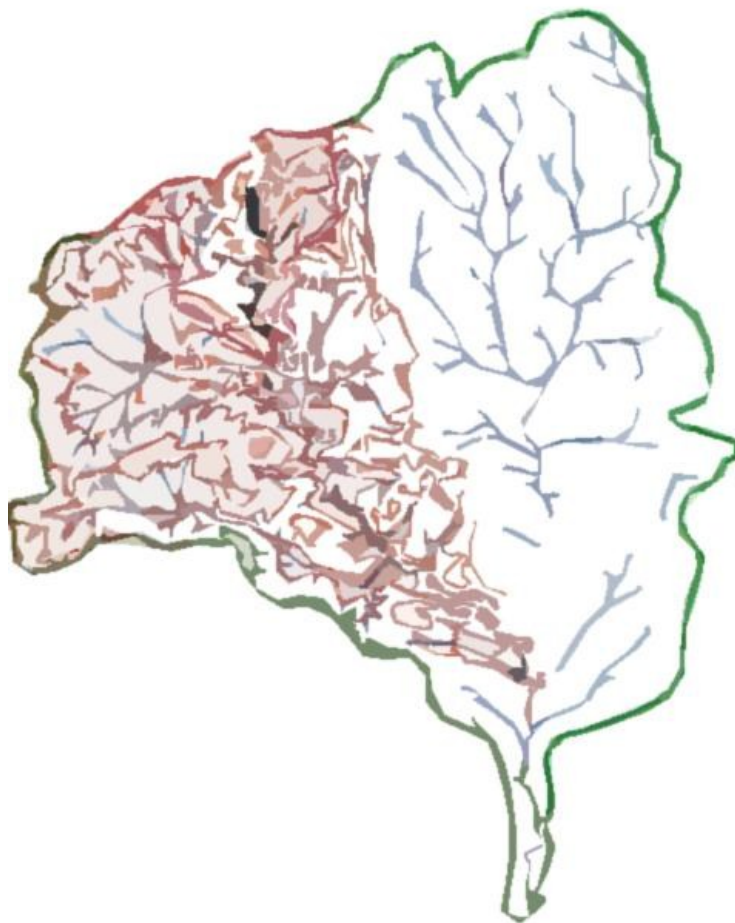


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΤΟ
ΑΝΕΝΕΡΓΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΚΙΡΚΗΣ**



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ

ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΑΔΑΜ, ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΤΟ
ΑΝΕΝΕΡΓΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΚΙΡΚΗΣ**

ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΡΙΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΣΤΙΣ __/__/2015

Αδάμ Κατερίνα, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.(ΥΠΟΓΡΑΦΗ)

Καλλιώρας Ανδρέας, Λέκτορας Ε.Μ.Π. (ΥΠΟΓΡΑΦΗ)

Μόδης Κων/νος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.(ΥΠΟΓΡΑΦΗ)

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος αλλά περιορισμένος φυσικός πόρος. Για το λόγο αυτό η αειφορική διαχείριση των υδατικών οικοσυστημάτων απαιτεί ενιαία αντιμετώπιση όλων των δραστηριοτήτων που αφορούν στην ανάπτυξη και την προστασία τους. Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης 'για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων' αποτελεί τη βάση για την προστασία και την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών.

Παρόλο που ορισμένα φυσικά φαινόμενα οδηγούν στην επιδείνωση της ποιότητας του νερού σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά που ενδείκνυνται για συγκεκριμένες χρήσεις του, η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού οφείλεται κατά κανόνα σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Η εξορυκτική δραστηριότητα προκαλεί ορισμένες φορές αρνητικές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον, καθώς τα βιομηχανικά απόβλητα αυτής μπορεί να περιέχουν μέταλλα, όπως ο ψευδάργυρος (Zn), ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr), ο υδράργυρος (Hg) και το κάδμιο (Cd), τα οποία είναι ιδιαίτερα τοξικά.

Μία περίπτωση υποβάθμισης της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών εντοπίζεται στην περιοχή του ανενεργού μεταλλείου μικτών θειούχων Κίρκης, του Δήμου Αλεξανδρούπολης, όπου η μεταλλευτική δραστηριότητα έλαβε τέλος το έτος 1997. Έκτοτε, η περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος και η περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού του μεταλλεύματος (5 km νότια του μεταλλείου) εγκαταλείφθηκαν χωρίς να ληφθούν μέτρα αποκατάστασης των ρυπασμένων νερών της περιοχής.

Οι κύριες πηγές ρύπανσης (ανοιχτή εκσκαφή, αποθέματα μεταλλευτικών θειούχων συμπυκνωμάτων Pb/Zn, σωροί μεταλλευτικών στείρων, αλλά και τέλματα εμπλουτισμού) των υδάτινων σωμάτων της υπό εξέταση περιοχής εκτίθενται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και οδηγούν στο φαινόμενο της όξινης απορροής των μεταλλείων (OAM), το οποίο και αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα της περιοχής. Η OAM προσδίδει στα επιφανειακά και υπόγεια νερά της περιοχής χαμηλές τιμές pH, καθώς και αυξημένες συγκεντρώσεις θειικών ιόντων (SO_4^{2-}) και διαλυμένων μετάλλων ψευδαργύρου (Zn), μαγγανίου (Mn), χαλκού (Cu), νικελίου (Ni) και καδμίου (Cd).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης και η αξιολόγηση, μέσω της σύγκρισής τους με διεθνή περιβαλλοντικά πρότυπα, των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα. Για το σκοπό αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού και εφαρμογής του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής του μεταλλείου, το οποίο υλοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ κατά το χρονικό διάστημα 2005 - 2007. Στο πλαίσιο του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες και αναλύσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Μετά την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων, κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή τεχνολογιών απορρύπανσης και για το λόγο αυτό προτείνονται τρόποι αποκατάστασης και διαχείρισης των ρυπασμένων νερών της περιοχής.

ABSTRACT

Water is a renewable but limited natural resource. For this reason, the sustainable management of aquatic ecosystems requires uniform treatment of all activities relating to their development and protection. The Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council (EU Water Framework Directive) 'establishing a framework for the Community action in the field of water policy' is the basis for the protection and integrated management of water resources in the geographical scale of river basins.

Although certain natural phenomena lead to the deterioration of water quality to levels lower than those required for specific uses, degradation of water quality is generally due to human activities. The mining activity sometimes causes adverse effects in the aquatic environment, as well as industrial waste may contain metals such as zinc (Zn), lead (Pb), chromium (Cr), mercury (Hg) and cadmium (Cd), which are highly toxic.

A case of deterioration in the quality of surface and ground water located in the vicinity of inactive mine of mixed sulphides at Kirki, the Municipality of Alexandroupolis, where mining activity ceased in 1997. Since then, the area of the mine St. Philippos and the area of the flotation plant (5 km south of the mine) were abandoned without taking remediation actions to restore the polluted waters of the region.

The main contamination sources (open pit, mining waste comprising Pb/Zn concentrates, mining waste rock piles of low grade ore and tailings) of water bodies of the study area are exposed to atmospheric conditions, fact that leads to acid mine drainage (AMD) which is the most important environmental problem in the area. The AMD attaches to surface and underground waters low prices of pH, and elevated concentrations of sulfate ions (SO_4^{2-}) and dissolved metals zinc (Zn), manganese (Mn), copper (Cu), nickel (Ni) and cadmium (Cd).

The purpose of this thesis is to assess the current status and to evaluate, by comparing them with international environmental standards, the quality characteristics of surface and ground water in the area of the mine St. Philippos, based on the available data. For this purpose, the basic design and implementation principles of the environmental monitoring program of surface and ground water which was carried out by IGME in the period 2005 - 2007 in the area of the mine, are

presented and analyzed. In the frame of the program sampling and analysis of the physicochemical parameters of surface and ground water were done. After processing the available data and drawing conclusions, it is necessary to implement decontamination technologies, and for that reason remediation and management options of the contaminated water in the area are suggested.

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η εκτίμηση και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ποιότητας των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων νερών) της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης. Σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης της ποιότητας των νερών, του οποίου η διαδικασία σχεδιασμού και εφαρμογής παρουσιάζεται και αναλύεται εκτενώς στην παρούσα εργασία. Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η δομή της μεταπτυχιακής εργασίας.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή με αναφορές σε γενικές έννοιες των υδατικών συστημάτων και στους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των νερών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία που αφορά στην προστασία και διαχείριση των νερών τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Τέλος, τονίζεται η σημασία και οι στόχοι ενός ολοκληρωμένου προγράμματος παρακολούθησης υδατικών πόρων.

Στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδιασμού ενός αποδοτικού και αποτελεσματικού προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδατικών πόρων. Η διαδικασία περιλαμβάνει το σαφή καθορισμό των στόχων του προγράμματος, την επιλογή των κατάλληλων ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων προς παρακολούθηση και τέλος την επιλογή των θέσεων και της συχνότητας της δειγματοληψίας.

Στο 3^ο κεφάλαιο προσδιορίζεται το Υδατικό Διαμέρισμα της υπό εξέταση περιοχής και περιγράφονται αναλυτικά τα υδρολογικά, υδρογεωλογικά και κλιματικά στοιχεία αυτής. Επιπλέον, παρουσιάζονται και αναλύονται οι υφιστάμενες κύριες πηγές ρύπανσης των υδατικών πόρων της περιοχής. Οι πηγές ρύπανσης αφορούν στην μεταλλευτική δραστηριότητα που έλαβε χώρα στο παρελθόν και προέρχονται από το ανενεργό μεταλλείο μικτών θειούχων Άγιος Φίλιππος και το εργοστάσιο εμπλουτισμού του μεταλλεύματος.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής του ανενεργού μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, το οποίο υλοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ κατά το χρονικό διάστημα 2005-2007.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των επιφανειακών και υπόγειων νερών της υπό εξέταση περιοχής και αξιολογείται η ποιότητά τους, μέσω της σύγκρισης με διεθνή περιβαλλοντικά πρότυπα ποιότητας.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία.

Στο 7^ο κεφάλαιο προτείνονται ορισμένοι τρόποι διαχείρισης και αποκατάστασης των ρυπασμένων νερών της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης.

Ευχαριστώ θερμά την κ. Αδάμ Κατερίνα, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών, για την ανάθεση αυτής της εργασίας και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ την κ. Νυμφοδώρα Παπασιωπή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών και τον κ. Αλέξανδρο Λιακόπουλο, Υδρογεωλόγο Ι.Γ.Μ.Ε. για τις σημαντικές πληροφορίες που μου παρείχαν ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω πολύ τις κ. Θεοδώρα Ροντογιάννη, Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών και κ. Έφη Λυκούδη, Δρ. Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών για το ιδιαίτερο ενδιαφέρον και την αγάπη που επέδειξαν καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία στο Ε.Μ.Π.

Τέλος ευχαριστώ θερμά την αδερφή μου που είναι πάντα παρούσα.

Τριανταφύλλου Αγγελική

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	0
ABSTRACT.....	3
ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	5
Περιεχόμενα.....	8
1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	10
1.1 Εισαγωγή – Ορισμοί.....	11
1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού	12
1.3 Περιβαλλοντική πολιτική για την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων.....	14
1.4 Σημασία και στόχοι προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης	17
2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	20
2.1 Συλλογή και λεπτομερής καταγραφή απαιτούμενων δεδομένων για την εξεταζόμενη περιοχή	21
2.1.1 Επιλογή κατάλληλων ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων προς παρακολούθηση.....	22
2.1.2 Επιλογή θέσεων δειγματοληψίας.....	24
2.1.3. Συχνότητα δειγματοληψίας	26
3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΕΝΕΡΓΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΚΙΡΚΗΣ	28
3.1 Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης	29
3.2 Προσδιορισμός Υδατικού Διαμερίσματος.....	32
3.3 Χαρακτηριστικά των υπό μελέτη Υδρολογικών Λεκανών	36
3.4 Γεωλογία – Υδρογεωλογία.....	40
3.5 Κλιματικά στοιχεία	45
3.6 Υδρολογικά ισοζύγια	48
3.7 Υφιστάμενες πηγές ρύπανσης στην περιοχή	50
3.7.1 Μεταλλείο Αγίου Φιλίππου	51
3.7.2 Εργοστάσιο Εμπλουτισμού.....	58
4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΑΓΙΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ	61
4.1 Εισαγωγή	62
4.2 Βασικοί στόχοι προγράμματος παρακολούθησης υδάτινων σωμάτων στην περιοχή του μεταλλείου	63
4.3 Σχεδιασμός του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδάτινων σωμάτων στην περιοχή του μεταλλείου.....	64
4.3.1 Καθορισμός μετρούμενων παραμέτρων	64
4.3.2 Καθορισμός θέσεων δειγματοληψίας.....	65

4.3.3 Συχνότητα δειγματοληψίας	69
4.3.4 Περιβαλλοντικά πρότυπα	69
5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΑΓΙΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ.....	72
5.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων επιφανειακών νερών ρέματος Κιρκάλων ...	73
5.1.1 Ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τα επιφανειακά νερά του ρέματος Κιρκάλων	77
5.1.2 Αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών νερών του ρέματος Κιρκάλων..	85
5.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων επιφανειακών νερών ρέματος Ειρήνης.....	86
5.2.1 Ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τα επιφανειακά νερά του ρέματος Ειρήνη	89
5.2.2 Αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών νερών του ρέματος Ειρήνη.....	91
5.3 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υπόγειων νερών.....	92
5.3.1 Ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος.....	97
5.3.2 Αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος	98
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	100
7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΑΣΜΕΝΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	106
Βιβλιογραφία	111

1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

1.1 Εισαγωγή – Ορισμοί

‘Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος αλλά περιορισμένος φυσικός πόρος. Τα αποθέματα γλυκού νερού ανανεώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ωστόσο η διαθέσιμη ποσότητα νερού παγκοσμίως είναι περιορισμένη και η κατανομή του στο χώρο και το χρόνο ανομοιογενής. Περαιτέρω περιορισμό στη διαθεσιμότητα του νερού δημιουργεί και η ρύπανσή του από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αστικές, βιομηχανικές, γεωργικές). Το νερό αποτελεί δημόσιο αγαθό, του οποίου η εκμετάλλευση πρέπει να γίνεται στο πλαίσιο της βιωσιμότητάς του ως φυσικού πόρου. Απαιτεί συνετή διαχείριση, με στόχο την ικανοποίηση των πολλών και συχνά αλληλοσυγκρουόμενων χρήσεών του. Για την επίτευξη μιας συνετής διαχείρισης είναι απαραίτητη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που δεν αντιμετωπίζει τις εκάστοτε χρήσεις αποσπασματικά, αλλά σε αλληλεξάρτηση μεταξύ τους. Μια προσέγγιση που επί πλέον λαμβάνει σοβαρά υπόψη, όχι μόνο τις ανθρώπινες απαιτήσεις σε νερό, αλλά και τις απαιτήσεις των οικοσυστημάτων¹.’

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας δίνονται οι ακόλουθοι ορισμοί, οι οποίοι αφορούν σε γενικές έννοιες των υδατικών συστημάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, άρθρο 2):

Επιφανειακά Ύδατα : τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός αν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά ύδατα.

Υπόγεια Ύδατα : το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος.

Εσωτερικά Ύδατα : το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων.

Μεταβατικά Ύδατα : συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γεινιάσής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.

Παράκτια Ύδατα : τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται

¹ <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=245&language=el-GR>

το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων.

Λεκάνη απορροής ποταμού: η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής, μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα.

Περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού: η θαλάσσια και χερσαία έκταση, που αποτελείται από μια ή περισσότερες γειτονικές λεκάνες απορροής ποταμού μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα και αποτελεί τη βασική μονάδα διαχείρισης και προστασίας των λεκανών απορροής ποταμού.

Κατάσταση επιφανειακών υδάτων: η συνολική έκφραση της κατάστασης ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της οικολογικής και της χημικής του κατάστασης.

Καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων: η κατάσταση επιφανειακού υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή» τόσο από οικολογική όσο και από χημική άποψη.

Κατάσταση υπόγειων υδάτων: η συνολική έκφραση της κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της ποσοτικής και της χημικής του κατάστασης.

Καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων: η κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή» τόσο από ποσοτική όσο και από χημική άποψη.

1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού

Η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των διαθέσιμων υδατικών πόρων τίθεται σε αμφιβολία σε πολλές περιοχές του κόσμου. Επί του παρόντος, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν περίπου το ήμισυ της ποσότητας του νερού που είναι άμεσα διαθέσιμη (FAO, 2006). Η χρήση του νερού έχει αυξηθεί σε περισσότερο από το διπλάσιο του ρυθμού του πληθυσμού, ενώ κάποιες περιοχές ήδη πάσχουν από χρόνια έλλειψη νερού. Τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα του νερού γίνονται κυρίαρχα ζητήματα σε πολλές χώρες.

Τα προβλήματα αφορούν στην άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, την αναποτελεσματική χρήση και την έλλειψη επαρκούς ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων (FAO, 2006). Ενώ η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού οφείλεται κατά κανόνα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, ορισμένα φυσικά φαινόμενα οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά που ενδείκνυνται για συγκεκριμένες χρήσεις. Φυσικά γεγονότα, όπως καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις και ισχυροί άνεμοι οδηγούν σε εκτεταμένη διάβρωση, κατολισθήσεις και αυξημένες στερεοπαροχές που αυξάνουν τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών σε ποτάμια και λίμνες. Εποχιακές μεταβολές της συγκέντρωσης του οξυγόνου σε κάποιες λίμνες μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα νερό με καθόλου ή ελάχιστα διαλυμένο οξυγόνο στην επιφάνεια. Αυτά τα φαινόμενα είναι συχνά ή περιστασιακά και έχουν αυξηθεί εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Μόνιμες φυσικές συνθήκες σε κάποιες περιοχές μπορούν να κάνουν το νερό ακατάλληλο για πόση ή για άλλες χρήσεις, όπως η άρδευση (WMO, 2012).

Επιπλέον, υπάρχουν φυσικές περιοχές με υψηλά θρεπτικά στοιχεία, ίχνη μετάλλων, άλατα, και άλλα συστατικά που μπορούν να περιορίσουν την καταλληλότητα του νερού για μια σειρά χρήσεων. Κοινά παραδείγματα αποτελούν η υπαφυδάση των επιφανειακών νερών, μέσω της εξάτμισης, σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές και η υψηλή περιεκτικότητα σε άλας κάποιων υδροφόρων οριζόντων, υπό ορισμένες γεωλογικές συνθήκες. Πολλοί υδροφόροι ορίζοντες έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικά άλατα, απαιτώντας έτσι την επεξεργασία τους πριν από τη χρήση για ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Μπορούν επίσης να περιέχουν συγκεκριμένα ιόντα (όπως φθοριούχα) και τοξικά στοιχεία (αρσενικό και σελήνιο) σε ποσότητες που είναι επιβλαβείς για την υγεία (WMO, 2012).

Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες, σε περίπτωση που δεν εφαρμόζονται μέτρα προστασίας των υδατικών πόρων, δύνανται να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στο νερό. Η ποιότητα του νερού επηρεάζεται κυρίως από γεωργικές δραστηριότητες, από την επεξεργασία λυμάτων και τα βιομηχανικά απόβλητα. Όσον αφορά στη γεωργία, οι βασικοί ρύποι περιλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά, τα φυτοφάρμακα, τα ιζήματα και τα μικρόβια κοπράνων. Ουσίες που καταναλώνουν οξυγόνο και επικίνδυνα χημικά στοιχεία σχετίζονται περισσότερο με σημειακές πηγές απορρίψεων. Τα βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν μέταλλα, όπως ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος, το χρώμιο, ο υδράργυρος και το κάδμιο, τα οποία είναι ιδιαίτερα τοξικά. Τα σύμπλοκα του χαλκού είναι λιγότερο τοξικά, και τα σύμπλοκα κοβάλτιου και σιδήρου αποτελούν ασθενείς τοξικές ουσίες. Οι συγκεντρώσεις των κυανιούχων ενώσεων στα νερά που προορίζονται για ανθρώπινη χρήση,

συμπεριλαμβανομένων των συμπλόκων μορφών, είναι αυστηρά περιορισμένες λόγω της υψηλής τους τοξικότητας (WMO, 2012).

Κάθε χρήση του νερού, συμπεριλαμβανομένης της άντλησης νερού και της απόρριψης αποβλήτων, οδηγεί σε συγκεκριμένες και κατά περίπτωση προβλέψιμες επιπτώσεις στην ποιότητα του υδάτινου περιβάλλοντος. Πέρα από αυτές τις σκόπιμες χρήσεις νερού, υπάρχουν αρκετές ανθρωπίνες δραστηριότητες οι οποίες έχουν έμμεσες και ανεπιθύμητες, και μερικές φορές δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν η ανεξέλεγκτη χρήση γης για την αστικοποίηση ή την αποψίλωση των δασών, η μη εξουσιοδοτημένη εκπομπή χημικών ουσιών και η διάχυση μη επεξεργασμένων αποβλήτων ή έκλυση επιβλαβών υγρών από αποθέσεις στερεών αποβλήτων. Ομοίως, η ανεξέλεγκτη και εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων προκαλεί μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο έδαφος και στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους. Η αποκατάσταση της ποιότητας του νερού μετά από τέτοια συμβάντα συχνά απαιτεί πολλά χρόνια, ανάλογα με την γεωγραφική κλίμακα και την ένταση του γεγονότος (WMO, 2012).

Η συνεχιζόμενη αύξηση των κοινωνικό-οικονομικών δραστηριοτήτων σε όλο τον κόσμο έχει συνοδευτεί από μια ακόμη ταχύτερη αύξηση στην πίεση της ρύπανσης στο υδάτινο περιβάλλον. Μόνο μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, όταν έγινε αντιληπτή η επιδείνωση της ποιότητας του νερού, άρχισαν να λαμβάνονται τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα.

1.3 Περιβαλλοντική πολιτική για την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, κατανοώντας τη σημασία της προστασίας και διατήρησης του υδάτινου περιβάλλοντος στην Κοινότητα προχώρησε στη διαμόρφωση μιας Οδηγίας Πλαισίου που θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση².

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» (Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά) εκδόθηκε στις 23 Οκτωβρίου 2000 από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

² <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=248&language=el-GR>

Η Οδηγία 2000/60/EK αποτελεί τη βάση για την προστασία και την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Παράλληλα, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια ύδατα.

Άμεσος στόχος της Οδηγίας είναι η αποτροπή της περαιτέρω επιδείνωσης/υποβάθμισης, η προστασία και η βελτίωση της κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Έμμεσο στόχο αποτελεί η επίτευξη καλής κατάστασης των υδάτων, η οποία επιδιώκεται για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού. Συνεπώς, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού καθορίζεται μια σειρά από απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν εντός καθορισμένων προθεσμιών, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί. Οι περιβαλλοντικοί στόχοι της Οδηγίας στηρίζονται σε οικονομικές αρχές και εργαλεία καθώς και στην εφαρμογή ολοκληρωμένων προγραμμάτων μέτρων, τα οποία τα κράτη μέλη οφείλουν να υλοποιούν σταδιακά, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες κοινοτικές απαιτήσεις.

Παράλληλα, αντιμετωπίζονται συνολικά όλες οι χρήσεις και υπηρεσίες νερού, συνυπολογίζοντας την αξία του νερού για το περιβάλλον, την υγεία, την ανθρώπινη κατανάλωση και την κατανάλωση σε παραγωγικούς τομείς. Η Οδηγία ενισχύει και διασφαλίζει τη συμμετοχή του κοινού με τη δημιουργία συστηματικών και ουσιαστικών διαδικασιών διαβούλευσης. Παράλληλα, προωθεί την αειφόρο και ολοκληρωμένη διαχείριση των διασυννοριακών λεκανών απορροής ποταμών. Στο ίδιο πλαίσιο, η Οδηγία 2000/60/EK δημιουργεί και εισάγει νέες προσεγγίσεις στην αντιμετώπιση κινδύνων από τις πλημμύρες και την ξηρασία³.

Οι διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/EK εναρμονίστηκαν στο Ελληνικό Δίκαιο με τις διατάξεις του Νόμου 3199/2003 (ΦΕΚ Α' 280/9.12.2003). Ο νόμος αυτός θεσπίστηκε για την προστασία, αναβάθμιση και αποκατάσταση όλων των συστημάτων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, με απώτερο στόχο την επίτευξη της καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης των υδάτων της χώρας. Στη συνέχεια συντάχθηκε το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμόν 51 (ΦΕΚ 54/Α'/8-03-2007) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/EK» για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.

³ <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=248&language=el-GR>

Στόχος του διατάγματος είναι η ολοκληρωμένη προστασία και ορθολογική διαχείριση των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων.

Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ έχει την αρμοδιότητα κατάρτισης των προγραμμάτων προστασίας και διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας και του συντονισμού των υπηρεσιών και κρατικών φορέων για κάθε ζήτημα που αφορά στην προστασία και διαχείριση των υδάτων. Οι τομείς δραστηριότητας της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, την παρακολούθηση σε εθνικό επίπεδο της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων σε συνεργασία με τις Περιφερειακές Διευθύνσεις Υδάτων, και τη μέριμνα για την ανάπτυξη και τη λειτουργία Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων.

Η διαμόρφωση της λειτουργίας του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων της χώρας βασίστηκε αρχικά στην Κοινή Υπουργική Απόφαση ΦΕΚ 2017 Β 09.09.2011 «περί ορισμού του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων με καθορισμό των θέσεων (σταθμών) μετρήσεων και των φορέων που υποχρεούνται στην λειτουργία τους, κατά το άρθρο 4, παράγραφος 4 του Ν. 3199/2003». Δεύτερο βασικό πυλώνα αποτελεί η Κοινή Υπουργική Απόφαση ΦΕΚ 1977 Β 06.09.2011 «για τις τεχνικές προδιαγραφές και ελάχιστα κριτήρια επιδόσεων των αναλυτικών μεθόδων για τη χημική ανάλυση και παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/90/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 31ης Ιουλίου 2009». Η εν λόγω Οδηγία ορίζει «τη θέσπιση τεχνικών προδιαγραφών για τη χημική ανάλυση και παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου». Με την έκδοση των προαναφερθεισών αποφάσεων ολοκληρώθηκε η προετοιμασία για την έναρξη λειτουργίας του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ποιότητας και Ποσότητας των Υδάτων της χώρας.

Όσον αφορά στη χημική παρακολούθηση απαιτείται ο καθορισμός καταλόγου επικίνδυνων ουσιών και ουσιών προτεραιότητας. Η Κοινοτική πολιτική για τις επικίνδυνες ουσίες είχε αρχικά διαμορφωθεί με την Οδηγία 76/464/ΕΚ «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών των επικινδύνων ουσιών στα υγρά απόβλητα» και στη συνέχεια κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2006/11/ΕΚ «Για τη ρύπανση που

προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας».

Η πιο πρόσφατη Οδηγία 2008/105/ΕΚ «σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» δημοσιεύθηκε στην επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 24.12.2008. Η Οδηγία θέτει περιβαλλοντικά πρότυπα ποιότητας για συγκεκριμένες ουσίες προτεραιότητας και άλλους ρυπαντές, τα οποία θα πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2015, με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων μέτρων. Ειδικότερα καθορίζει τη θέσπιση καταλόγου 33 ουσιών ή ομάδων ουσιών στις οποίες έχει δοθεί προτεραιότητα για δράση σε κοινοτική κλίμακα. Ορισμένες από τις εν λόγω ουσίες προτεραιότητας έχουν οριστεί ως επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας, για τις οποίες τα κράτη μέλη οφείλουν να εφαρμόσουν τα απαιτούμενα μέτρα με σκοπό την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών, των απορρίψεων και των διαρροών (Οδηγία 2008/105/ΕΚ, παράγραφος 10).

Με την έκδοση της απόφασης ΦΕΚ 1909 Β 08.12.2010 «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα» συμμορφώνεται το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Από τα προαναφερθέντα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος οι ουσίες προτεραιότητας και οι ειδικοί ρύποι που συνδέονται με την εξορυκτική δραστηριότητα είναι: το κάδμιο (Cd) και ενώσεις του, ο μόλυβδος (Pb) και ενώσεις του, ο υδράργυρος (Hg) και ενώσεις του, το νικέλιο (Ni) και ενώσεις του, το αρσενικό (As), το κοβάλτιο (Co), το μολυβδαίνιο (Mo), το σελήνιο (Se), ο χαλκός (Cu), το χρώμιο (Cr) και ο ψευδάργυρος (Zn).

1.4 Σημασία και στόχοι προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης

Το αρχικό και προαπαιτούμενο βήμα στον σχεδιασμό ενός προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης είναι ο καθορισμός των στόχων και των θεμάτων της ποιότητας των υδάτων που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων (Water Quality Monitoring/WQM) παρέχει τη δυνατότητα κατανόησης (WMO, 2012):

- i. των συνθηκών της ποιότητας του νερού σε υδατορέματα, ποτάμια, υπόγεια ύδατα και υδάτινα συστήματα
- ii. πώς οι συνθήκες αυτές μπορεί να ποικίλλουν σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο
- iii. της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των συνθηκών αυτών
- iv. πώς τα φυσικά χαρακτηριστικά και οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν αυτές τις συνθήκες
- v. πού αυτές οι επιπτώσεις είναι πλέον προφανείς

Ο κύριος λόγος για την παρακολούθηση της ποιότητας των νερών στα περισσότερα προγράμματα περιβαλλοντικής διαχείρισης υπήρξε η ανάγκη να εξακριβωθεί εάν η παρατηρούμενη ποιότητα είναι κατάλληλη για τις προβλεπόμενες χρήσεις. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου οι τεχνικές και οι στόχοι των προγραμμάτων περιβαλλοντικής παρακολούθησης της ποιότητας των υδατικών πόρων εξελίχθηκε κατά πολύ. Αναλυτικά, οι βασικοί στόχοι ενός τέτοιου προγράμματος είναι οι εξής (WMO, 2012):

- Η εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης της ποσότητας και της ποιότητας του νερού και της μεταβλητότητάς του στο χώρο και το χρόνο. Οι εκτιμήσεις αυτές προκύπτουν από την ανάλυση υδρολογικών, μορφολογικών, φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών σε σχέση με τις συνθήκες αναφοράς, από την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και τις υφιστάμενες ή μελλοντικές χρήσεις του νερού.
- Η κατηγοριοποίηση των νερών σύμφωνα με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους.
- Η υποστήριξη για τη λήψη αποφάσεων και τη λειτουργική διαχείριση των νερών σε κρίσιμες καταστάσεις. Οι καταστάσεις αυτές αφορούν σε υπέρβαση κρίσιμων επιπέδων ρύπανσης ή τοξικών επιδράσεων στα υπό παρακολούθηση νερά.
- Ο προσδιορισμός των τάσεων στην ποιότητα του υδάτινου περιβάλλοντος και πώς το περιβάλλον αυτό επηρεάζεται από την απελευθέρωση των ρυπογόνων παραγόντων ('παρακολούθηση των επιπτώσεων')
- Ο καθορισμός των επιλογών αποκατάστασης των ρυπασμένων ή μη πόσιμων νερών

- Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων διαχείρισης/αποκατάστασης των νερών
- Η παροχή της βάσης για τη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών βασισμένες στην επιστήμη και η αξιολόγηση των πολιτικών αυτών
- Η εκτίμηση της φύσης και της έκτασης των μέτρων ελέγχου της ρύπανσης που απαιτούνται στα διάφορα υδάτινα σώματα και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων
- Ο προσδιορισμός των τάσεων των διαφόρων ρυπαντών
- Η εκτίμηση της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις

Ο σαφής καθορισμός των στόχων παρακολούθησης αποτελεί το βασικό πυλώνα στη διαδικασία σχεδιασμού ενός ορθολογικού και αποτελεσματικού προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδάτων.

2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

2.1 Συλλογή και λεπτομερής καταγραφή απαιτούμενων δεδομένων για την εξεταζόμενη περιοχή

Η διαδικασία σχεδιασμού των δικτύων παρακολούθησης των χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων απαιτεί συγκεκριμένους στόχους για ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό σύστημα παρακολούθησης, το οποίο θα καθορίζει εξειδικευμένες απαιτήσεις που σχετίζονται με παραμέτρους ποιότητας και ποσότητας του νερού. Οι στόχοι παρακολούθησης μπορεί να τεθούν με βάση λειτουργικές και διαχειριστικές απαιτήσεις για τα προγράμματα παρακολούθησης. Επιπλέον, μπορεί να περιλαμβάνουν καθιέρωση προτύπων ποιότητας των υδάτων, προσδιορισμό της ποιότητας του νερού και των τυχόν τάσεων μεταβολής του, εντοπισμό ρυπασμένων υδάτων, εντοπισμό αιτιών και πηγών των προβλημάτων στην ποιότητα του νερού, εφαρμογή προγραμμάτων διαχείρισης της ποιότητας του νερού και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων (Park et al., 2006).

Η διαδικασία της παρακολούθησης και αξιολόγησης της ποιότητας του νερού περιλαμβάνει μια σειρά από σχετικές δραστηριότητες που ξεκινούν με τον καθορισμό των στόχων και των αναγκών πληροφόρησης, και τελειώνει με την διάδοση των πληροφοριών του προϊόντος για χρήση από τις κοινότητες, τους επιστήμονες και τους φορείς λήψης αποφάσεων (WMO, 2012).

Η πρώτη φάση του σχεδιασμού ενός προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών περιλαμβάνει το σαφή καθορισμό των στόχων και της ανάγκης εφαρμογής του προγράμματος. Με τον καθορισμό των στόχων επέρχεται άμεσα η διαδικασία επιλογής των απαιτούμενων στοιχείων αλλά και ο τρόπος αξιοποίησης αυτών.

Ακολουθεί άμεσα η δεύτερη φάση του σχεδιασμού, η οποία περιλαμβάνει (WMO, 2012) :

- την επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας, που υποστηρίζεται από προκαταρκτικές έρευνες. Οι έρευνες αυτές απαιτούνται πριν την έναρξη του προγράμματος, έτσι ώστε τα προβλήματα και οι παράγοντες επικινδυνότητας να προσδιορίζονται και να αξιολογούνται
- την επιλογή των φυσικών (π.χ. θερμοκρασία, αιωρούμενα στερεά, αγωγιμότητα), χημικών, βιολογικών και μικροβιολογικών μεταβλητών που πρόκειται να μετρηθούν

- τον καθορισμό των διαδικασιών και λειτουργιών δειγματοληψίας, όπως επί τόπου μετρήσεις με διαφορετικές συσκευές, χειροκίνητο ή αυτοματοποιημένο σύστημα μετρήσεων, προ-επεξεργασία δείγματος και συντήρηση
- τον προγραμματισμό των μετρήσεων πεδίου (συχνότητα)
- τον ορισμό των απαιτούμενων πόρων για το πρόγραμμα παρακολούθησης, όπως διαθέσιμες εγκαταστάσεις, εξοπλισμός και εργαλεία, οχήματα και άλλα μεταφορικά μέσα, απαραίτητο προσωπικό, ανάπτυξη και εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού, εσωτερικές και εξωτερικές επικοινωνιακές ανάγκες
- την εκτίμηση του κόστους των προγραμμάτων

Σε τελικό στάδιο δημιουργείται ένα σύστημα διασφάλισης της ποιότητας, που περιλαμβάνει όλες τις προγραμματισμένες και συστηματικές ενέργειες που απαιτούνται για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των λαμβανομένων από την παρακολούθηση πληροφοριών.

2.1.1 Επιλογή κατάλληλων ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων προς παρακολούθηση

Η ποιότητα του νερού αναφέρεται στη χημική του σύνθεση με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση με τη μορφή της θερμότητας και της ραδιενεργού ακτινοβολίας και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του. Η ποιότητα του νερού προσδιορίζεται σε σχέση με ορισμένες παραμέτρους που είναι είτε ουσίες, είτε ομάδες ουσιών, είτε χαρακτηριστικά του νερού (φυσικά, χημικά, βιολογικά και μικροβιολογικά). Ο χαρακτηρισμός του νερού σε καλής ή κακής ποιότητας γίνεται σε σχέση με τις τιμές των παραμέτρων αυτών και τη χρήση του νερού. Ο αριθμός των παραμέτρων δεν είναι σταθερός και εξαρτάται από τη χρήση του νερού, ενώ μεταβάλλεται με το χρόνο, όταν συνήθως διαπιστωθεί ότι κάποιο συστατικό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στους χρήστες του νερού⁴.

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ (Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά) ορίζει για την παρακολούθηση της οικολογικής και χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων βιολογικά, υδρομορφολογικά, χημικά και φυσικοχημικά στοιχεία του νερού. Επιπλέον, αναφέρεται σε ρύπανση από όλες τις ουσίες προτεραιότητας που απορρίπτονται στο υδατικό σύστημα άλλα και από άλλες ουσίες, οι οποίες είναι γνωστό ότι απορρίπτονται σε σημαντικές ποσότητες στο υδατικό σύστημα.

⁴ http://www.ecodonet.gr/pollutants_greek_1.4.php

Στο παράρτημα VIII της Οδηγίας παρατίθεται ένας ενδεικτικός κατάλογος των κυριότερων ρύπων, ο οποίος περιλαμβάνει εκτός των άλλων:

- Κυανιούχες ενώσεις
- Μέταλλα και ενώσεις τους
- Αρσενικό και ενώσεις του
- Υλικά σε αιώρημα
- Ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (κυρίως νιτρικές και φωσφορικές ενώσεις)
- Ουσίες που επηρεάζουν δυσμενώς το ισοζύγιο οξυγόνου (και μπορούν να μετρηθούν χρησιμοποιώντας παραμέτρους, όπως BOD, COD κ.ά)

Όσον αφορά στα υπόγεια νερά, η Οδηγία ορίζει τον έλεγχο της στάθμης των υπόγειων υδάτων για την παρακολούθηση της ποσοτικής κατάστασης αυτών, ενώ για τον προσδιορισμό της χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων ορίζεται η παράμετρος της αγωγιμότητας και των συγκεντρώσεων ρύπων.

Στην Ελλάδα ενσωματώθηκε η κοινοτική οδηγία 2008/105/EK με τον κατάλογο ουσιών προτεραιότητας στην απόφαση που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 1909 Β 08.12.2010 «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα» και έχουν καθοριστεί οι παράμετροι ελέγχου των υδάτων, συμπεριλαμβάνοντας 33 ουσίες προτεραιότητας. Σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούνται μέχρι και 64 παράμετροι για τον χαρακτηρισμό του νερού, ενώ η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ χρησιμοποιεί 120 παραμέτρους.

Οι κατάλληλες παράμετροι που επιλέγονται προς παρακολούθηση προσδιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τους προκαθορισμένους στόχους του εκάστοτε προγράμματος παρακολούθησης. Οι μεταβλητές που μετρώνται σε ένα πρόγραμμα δειγματοληψίας θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν την εκτίμηση των χρήσεων για τις οποίες προορίζεται το νερό, καθώς και όλες τις γνωστές ή αναμενόμενες επιπτώσεις σχετικά με την ποιότητα του νερού.

Επιπλέον, η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων παρακολούθησης διέπεται από τη γνώση των πηγών ρύπανσης και τις αναμενόμενες επιπτώσεις στο υδάτινο σώμα υποδοχής. Είναι επομένως επιθυμητό να καθορίζεται η ποιότητα του νερού πριν από οποιαδήποτε ανθρωπογενή παρέμβαση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, με παρακολούθηση κατάλληλα επιλεγμένων μεταβλητών στα ανάντη ενός ποταμού ή πριν από την ανάπτυξη μιας προτεινόμενης εγκατάστασης διάθεσης αποβλήτων.

Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης της ποιότητας του νερού 'υπό φυσιολογικές συνθήκες' και παρακολουθείται μελλοντικά η μεταβολή της στο χώρο και το χρόνο (WMO, 2012).

Για την επίτευξη των προκαθορισμένων στόχων των προγραμμάτων παρακολούθησης θα πρέπει να πραγματοποιείται ορθολογική επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων παρακολούθησης, σε συνδυασμό με προσεκτική επιλογή των κατάλληλων θέσεων δειγματοληψίας αλλά και της συχνότητας με την οποία αυτή θα πραγματοποιείται.

2.1.2 Επιλογή θέσεων δειγματοληψίας

Οι διεργασίες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού και οι επιδράσεις τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν επιλέγονται τα σημεία δειγματοληψίας. Αυτό απαιτεί εξέταση των εξής στοιχείων: (α) στόχοι παρακολούθησης, (β) γνώση της γεωγραφίας του συστήματος διαδρομής του νερού, (γ) υπάρχουσες και πιθανές χρήσεις νερού, (δ) πραγματικές και δυνητικές πηγές ρύπανσης, (ε) εργασίες ελέγχου του νερού και (στ) τοπικές γεωχημικές συνθήκες και τύποι των υδάτινων σωμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις η ακριβής τοποθεσία ενός σταθμού δειγματοληψίας μπορεί να καθοριστεί μόνο μετά από έρευνα πεδίου (WMO, 2012).

Όσον αφορά στους τύπους των θέσεων δειγματοληψίας, το δίκτυο παγκόσμιας παρακολούθησης υδάτων (GEMS/Water) ορίζει τους ακόλουθους τρεις τύπους σταθμών παρακολούθησης (WMO, 2012):

Βασικοί Σταθμοί (Baseline Stations) - Βρίσκονται συνήθως σε σημεία ανάντη λιμνών, σε αδιατάρακτα τμήματα ανάντη ποταμών, καθώς και σε υδροφόρους ορίζοντες όπου καμία γνωστή άμεση διάχυτη ή σημειακή πηγή ρυπαντών είναι πιθανό να εντοπιστεί. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον καθορισμό των φυσικών συνθηκών ποιότητας του νερού. Επιπλέον, είναι δυνατό να αποτελέσουν τη βάση σύγκρισης με σταθμούς που δέχονται σημαντική άμεση ανθρώπινη επίδραση και τέλος να καθορίσουν, μέσω της ανάλυσης των τάσεων, την επιρροή της μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις των ρύπων και των κλιματικών αλλαγών.

Σταθμοί Παρακολούθησης Τάσεων των Ρυπαντών (Trend Stations) - Βρίσκονται συνήθως σε μεγάλες λεκάνες απορροής ποταμών, λιμνών ή υδροφόρων οριζόντων. Χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στην ποιότητα του νερού που σχετίζονται με μια ποικιλία από πηγές ρύπανσης και χρήσεις γης, και να αποτελέσουν τη βάση για τη διαπίστωση των αιτιών ή επιρροών σε

μετρήσιμες συνθήκες ή προσδιορισμένες τάσεις. Δεδομένου ότι οι σταθμοί παρακολούθησης τάσεων προορίζονται να αναπαριστούν τις ανθρώπινες επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων, ο αριθμός των εν λόγω σταθμών είναι σχετικά υψηλότερος από τις άλλες κατηγορίες σταθμών, ώστε να καλύπτουν την ποικιλία των θεμάτων της ποιότητας του νερού που αντιμετωπίζουν οι διάφορες λεκάνες απορροής.

Σταθμοί Παρακολούθησης Ροής των Ρυπαντών (Flux Stations) - Βρίσκονται στις εκβολές των ποταμών καθώς αυτοί εξέρχονται στο παράκτιο περιβάλλον. Χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις ετήσιες ροές των κρίσιμων ρύπων από τις λεκάνες απορροής των ποταμών στους ωκεανούς ή τις περιφερειακές θάλασσες, συμβάλλοντας έτσι στους γεωχημικούς κύκλους. Για τον υπολογισμό των χημικών παραμέτρων είναι σημαντικό οι μετρήσεις ροής του νερού να λαμβάνονται στις θέσεις των παγκόσμιων σταθμών ροής.

Σημαντικό ρόλο στα δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων αποτελεί ο εντοπισμός των σημείων όπου τα πρότυπα ποιότητας του νερού υπερβαίνουν τα καθορισμένα όρια, πόσο συχνά συμβαίνουν αυτές οι υπερβάσεις και πόσο διάστημα διαρκούν. Για τους σκοπούς αυτούς τα δείγματα του νερού θα πρέπει να συλλέγονται σε τμήματα ρευμάτων με υποβαθμισμένη ποιότητα του νερού. Καθώς, για παράδειγμα, η χωρική τάση της ποιότητας του νερού σε ένα ποτάμιο σύστημα αποτελείται από αυξανόμενη επιδείνωση στην κατάντη κατεύθυνση, ο σχεδιαστής ενός δικτύου παρακολούθησης πρέπει να διαιρέσει το κύριο ρεύμα (μεταξύ του εισρέοντος και του ρεύματος εκροής) σε ένα συγκεκριμένο αριθμό μονάδων ρεύματος σε ίση απόσταση και να τοποθετήσει σταθμούς παρακολούθησης στο τέλος κάθε μονάδας ρεύματος (Park et al., 2006).

Για τους σταθμούς παρακολούθησης που εγκαθίστανται με στόχο την ανίχνευση πηγών ρύπανσης, τα δείγματα του νερού θα πρέπει να συλλέγονται σε σημεία που γεινιάζουν και βρίσκονται στα κατάντη εντοπισμένων σημειακών και μη σημειακών πηγών ρύπανσης. Για την λεπτομερή εξέταση των σημειακών πηγών ρύπανσης, όπως ενδεικτικά βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή μονάδες κατεργασίας, η θέση των σημείων δειγματοληψίας θα πρέπει να βρίσκεται στα κατάντη των εγκαταστάσεων που απορρίπτουν απόβλητα, όπως επίσης και στα ανάντη και κατάντη του σημείου όπου οι σημειακές πηγές εισρέουν στο εξεταζόμενο υδατορέμα. Στις περιπτώσεις όπου μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και άλλες σημαντικές σημειακές πηγές ρύπανσης υποχρεούνται να αναφέρουν την ποιότητα και την ποσότητα των υγρών αποβλήτων τους, τα κρατικά δίκτυα παρακολούθησης μπορούν να τις αποκλείσουν

από τον κατάλογο των υποψήφιων σταθμών παρακολούθησης. Για μη σημειακές πηγές ρύπανσης, οι σταθμοί τοποθετούνται στα αρχικά και τελικά σημεία παρακολούθησης (Park et al., 2006).

Επιπλέον, τα δείγματα του νερού θα πρέπει να συλλέγονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού ή άλλες εγκαταστάσεις πρόσληψης νερού που προορίζεται για δημοτική ή βιομηχανική χρήση, για την τεκμηρίωση της δυνατότητας χρήσης των υδατικών πόρων. Αν και αυτοί οι σταθμοί παρακολούθησης μπορούν να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες θέσεις για τον εντοπισμό τυχαίας ρύπανσης, συνήθως συμπίπτουν με εκείνους που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τα πρότυπα ποιότητας του νερού (Park et al., 2006).

Η ποσοτική αξιολόγηση των μεταβολών της ποιότητας του νερού αρχίζει με τη μελέτη ισοζυγίου μάζας των ρύπων που ρέουν σε ένα υδάτινο σώμα και παράλληλα την ανάλυση υδατικού ισοζυγίου. Επομένως, οι σταθμοί παρακολούθησης θα πρέπει να τοποθετούνται λαμβάνοντας υπόψη τοπογραφία, υδρολογία, υδροχημεία και διαμορφώσεις των πηγών ρύπανσης. Παράμετροι τόσο για την ποιότητα όσο και την ποσότητα των υδάτων θα πρέπει να μετρώνται ταυτόχρονα στους σταθμούς παρακολούθησης. Επιπλέον, το δίκτυο παρακολούθησης θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να επιτρέπει την εύκολη εφαρμογή των πληροφοριών για βαθμονόμηση και επαλήθευση των μοντέλων ποιότητας του νερού (Park et al., 2006).

2.1.3. Συχνότητα δειγματοληψίας

Η συχνότητα δειγματοληψίας διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τους στόχους των προγραμμάτων παρακολούθησης και των μεταβλητών που πρόκειται να μετρηθούν. Συχνά δείγματα λαμβάνονται γενικά όταν ο σκοπός του προγράμματος παρακολούθησης είναι να παρατηρηθούν οι τάσεις μεταβολής, κυρίως επιδείνωσης της ποιότητας των υδατινών πόρων. Αντίθετα, προγράμματα και έρευνες με σκοπό την εκτίμηση της γενικής κατάστασης των υδατινών σωμάτων βασίζονται σε χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας.

Ορισμένα προγράμματα παρακολούθησης περιλαμβάνουν συνεχή καταγραφή βασικών παραμέτρων: όπως pH, αγωγιμότητα, αλατότητα και διαλυμένο οξυγόνο, ενώ στα περισσότερα προγράμματα παρακολούθησης προς μέτρηση της ποιότητας και της ρύπανσης στη στήλη του νερού, λαμβάνεται ένας αριθμός ετήσιων δειγμάτων. Η διερεύνηση μικρο-οργανισμών, όπως μακροασπόνδυλα σε ποταμούς και ζωοβένθος σε λίμνες και θαλάσσιες περιοχές, συνήθως βασίζεται σε λίγα ετήσια

δείγματα. Ένα μεγάλο ποσοστό του κόστους λειτουργίας ενός προγράμματος παρακολούθησης είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη συχνότητα δειγματοληψίας (Kristensen and Bøgestrand, 1996).

Η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να περιγραφεί με τον συνολικό αριθμό των ετήσιων δειγμάτων, για παράδειγμα 12/yr: δώδεκα δείγματα ετησίως ή 2/5yr: δύο δείγματα κάθε πέντε χρόνια. Πληροφορίες σχετικά με τους χρόνους δειγματοληψίας μπορεί να είναι επίσης σημαντικές, εάν η δειγματοληψία είναι ομοιόμορφα κατανομημένη κατά τη διάρκεια του έτους (π.χ μηνιαία, εβδομαδιαία δείγματα) ή εάν χρησιμοποιείται στρωματοποιημένη δειγματοληψία (π.χ δειγματοληψία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μηνιαία δειγματοληψία κάθε πέμπτο έτος) (Kristensen and Bøgestrand, 1996).

Η βέλτιστη συχνότητα δειγματοληψίας είναι αυτή πάνω από την οποία δεν υπάρχει σημαντική αύξηση στην ακρίβεια του καθορισμού ροής σε σχέση με άλλα σφάλματα που εμπλέκονται (π.χ. αναλυτικό σφάλμα και σφάλματα που προκύπτουν από τη μη-ομοιομορφία τμήματος ποταμού). Για οποιαδήποτε δεδομένη λεκάνη, το εύρος της βέλτιστης συχνότητα δειγματοληψίας επηρεάζεται από το ανάγλυφο της λεκάνης και τις κλιματικές επιρροές. Οι απότομες, ετερογενείς και ξηρές λεκάνες χρειάζονται μεγαλύτερη συχνότητα δειγματοληψίας από τις πεδινές, ομοιογενείς και υγρές λεκάνες του ίδιου μεγέθους (WMO, 2012).

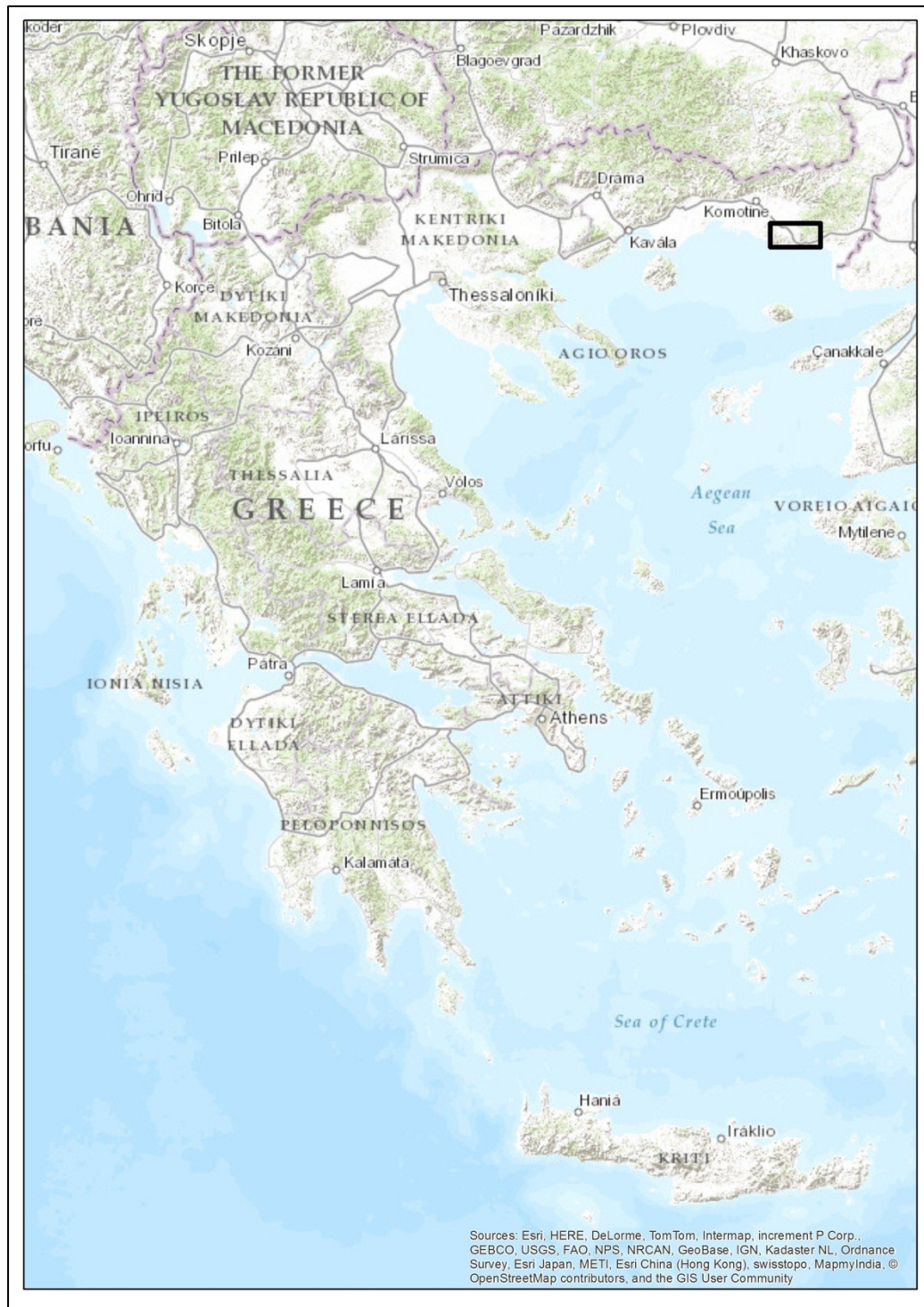
Για τα υπόγεια ύδατα, η συχνότητα δειγματοληψίας είναι συνήθως πολύ μικρότερη, μία έως τέσσερις φορές ετησίως ανάλογα με το σκοπό της παρακολούθησης. Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως σε υδροφορείς με πολύ υψηλές ροές ή σε συγκεκριμένες μολυσμένες περιοχές ή πολύ τρωτές στη ρύπανση, η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να γίνει πολύ υψηλότερη (WMO, 2012).

3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΕΝΕΡΓΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΚΙΡΚΗΣ

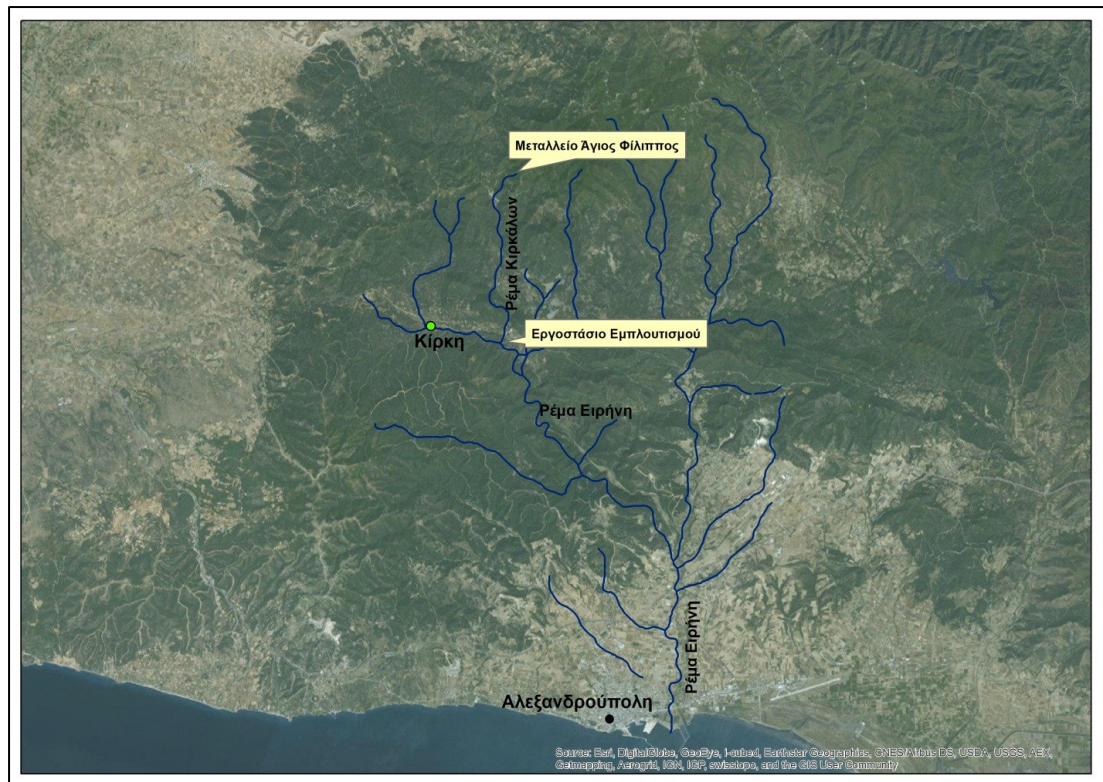
3.1 Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης

Σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας, όπως αυτή διαμορφώνεται με το πρόγραμμα Καλλικράτης, η Τοπική Κοινότητα Κίρκης (ή Κίρκη) ανήκει στο Δήμο Αλεξανδρούπολης της Περιφερειακής Ενότητας Έβρου, η οποία εντάσσεται στην ευρύτερη Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (**σχήμα 3.1**).

Η θέση της περιοχής προσδιορίζεται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες $40^{\circ}58'31''\text{N}$ $25^{\circ}47'33''\text{E}$. Η Κίρκη έχει υψόμετρο έως 230m και βρίσκεται στην κοιλάδα του ποταμού Ειρήνη, ο οποίος εκρέει στο Θρακικό Πέλαγος ανατολικά της Αλεξανδρούπολης. Το ανενεργό μεταλλείο μεικτών θειούχων Άγιος Φίλιππος βρίσκεται 9km βορειοανατολικά της Κίρκης, ενώ 3km ανατολικά του οικισμού εντοπίζεται το εργοστάσιο επεξεργασίας των μεταλλευμάτων και οι λεκάνες απόθεσης τελμάτων (**σχήμα 3.2**).



Σχήμα 3.1 Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης (Ιδία επεξεργασία)

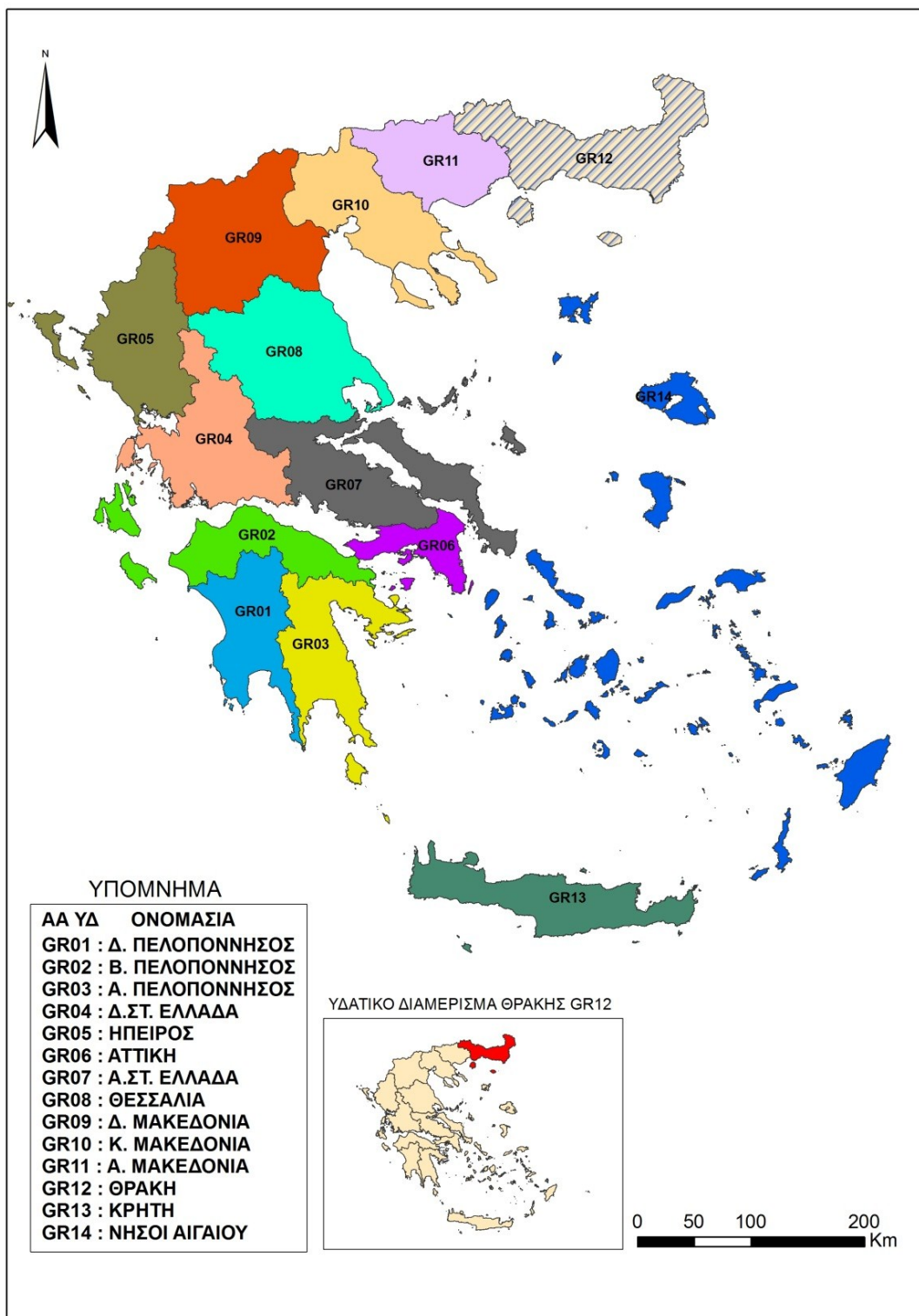


Σχήμα 3.2 Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται η θέση του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, του εργοστασίου εμπλουτισμού, καθώς και των ρεμάτων Ειρήνης και Κιρκάλων (Ιδία επεξεργασία)

3.2 Προσδιορισμός Υδατικού Διαμερίσματος

Σύμφωνα με την οδηγία περί υδάτων 2000/60/ΕΚ, για την εφαρμογή του σχεδίου διαχείρισης των υδάτων τίθεται ως χωρική ενότητα η Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού (ΠΛΑΠ). Η ΠΛΑΠ είναι μια υδρολογική ενότητα, καθορισμένη με βάση τους επιφανειακούς υδροκρίτες, που αποτελείται από μία ή περισσότερες επιμέρους λεκάνες απορροής. Στην Ελλάδα είχαν ήδη καθοριστεί με το Ν.1739/87, 14 Υδατικά Διαμερίσματα, καθένα από τα οποία αποτελεί μία ΠΛΑΠ για τους σκοπούς της Οδηγίας. Κάθε Υδατικό Διαμέρισμα αποτελείται από επιμέρους Λεκάνες Απορροής Ποταμών (Λ.Α.Π.) οι οποίες στο σύνολο της χώρας ανέρχονται σε 45. Η περιοχή των μεταλλείων Κίρκης εντάσσεται στο Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης με αντίστοιχο κωδικό GR12 (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).

Τα Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας και η θέση του ΥΔ 12 Θράκης παρουσιάζονται στο **σχήμα 3.3**.



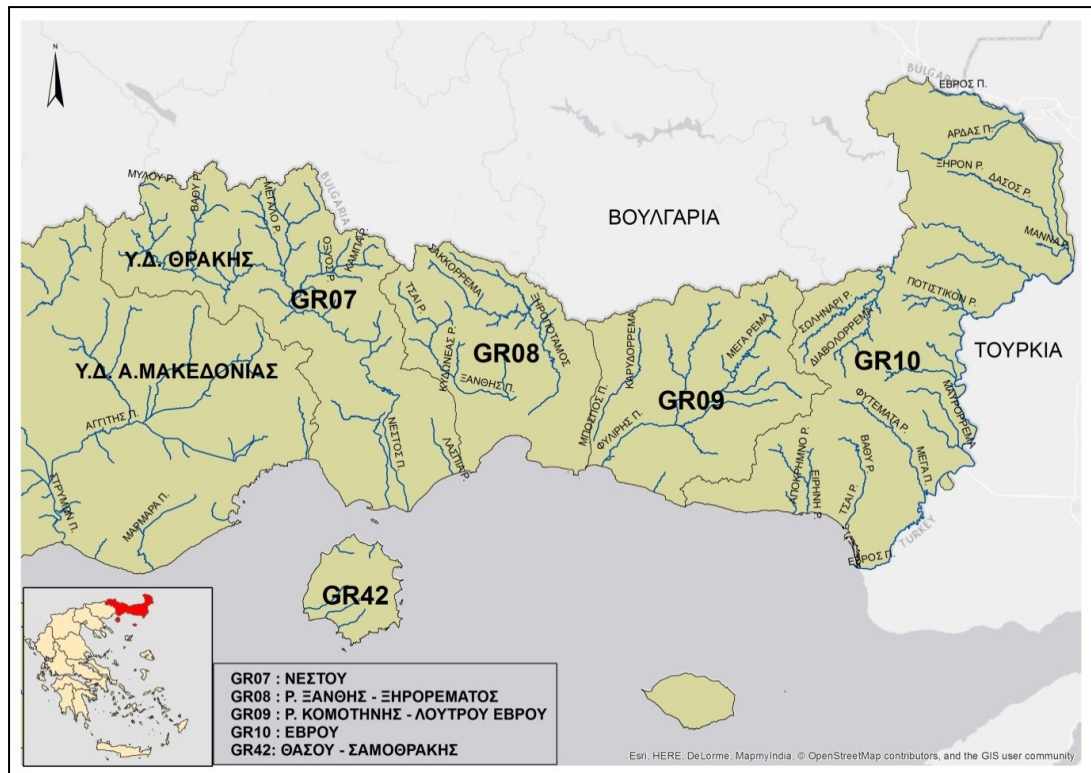
Σχήμα 3.3 Χάρτης Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (διαχωρισμός με βάση την κοινοτική οδηγία περί υδάτων 2000/60/ΕΚ) (Ιδια επεξεργασία δεδομένων από geodata.gov.gr)

Το Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης [GR12] έχει έκταση 11.243 km², από τα οποία τα 564 km² ανήκουν στα νησιά Θάσο και Σαμοθράκη. Το διαμέρισμα ορίζεται βόρεια από τη γραμμή των συνόρων Ελλάδας - Βουλγαρίας και τον υδροκρίτη των λεκανών Νέστου - Οχυρού, ανατολικά από τη γραμμή των συνόρων Ελλάδας - Τουρκίας μέχρι τον Κόλπο Αίνου, δυτικά από τον υδροκρίτη των λεκανών Νέστου - Οχυρού, Νέστου - Στρυμόνα, Νέστου - ρέματος Νέας Καρβάλης και τον υδροκρίτη των παραλιακών ρεμάτων Χρυσούπολης μέχρι τον Κόλπο της Καβάλας (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).

Στο νησιωτικό τμήμα καθώς και σε μια στενή παράκτια ζώνη επικρατεί χερσαίο μεσογειακό κλίμα, στο εσωτερικό και στα πεδινά το μεσευρωπαϊκό, ενώ στα ορεινά επικρατεί το ορεινό. Η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται στα παράκτια και το νησιωτικό τμήμα μεταξύ 500 και 600 mm, στο εσωτερικό μεταξύ 600 και 1000 mm, ενώ στα βόρεια ορεινά ξεπερνά τα 1000 mm. Σύμφωνα με το Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας Υδατικών Πόρων (2008), η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται σε 778 mm (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).

Το Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) Θράκης διαθέτει πολλούς αξιόλογους ποταμούς με κυριότερους τον ποταμό Έβρο και τους παραποτάμους του και τον ποταμό Νέστο. Οι ποταμοί αυτοί αποτελούν ταυτόχρονα τους διασυνοριακούς ποταμούς του ΥΔ, τα νερά των οποίων η Ελλάδα μοιράζεται με την Βουλγαρία και την Τουρκία. Σημαντικοί παραπόταμοι του Έβρου είναι ο Άρδας και ο Ερυθροπόταμος. Μικρότεροι από τους προηγούμενους αλλά εξίσου σημαντικοί από άποψη δυναμικού, είναι και οι ποταμοί Λίσσος ή Φιλιουρής, Κόσυνθος και Κομψάτος (συχνά αναφερόμενος ως Ξηροπόταμος). Υπάρχουν και ακόμα μικρότερα αλλά σημαντικά σε τοπικό επίπεδο υδατορέματα, όπως το ρέμα Κομοτηνής στην Ροδόπη και τα ρέματα Ειρήνης και Λουτρού στον Έβρο (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).

Με βάση το διαχωρισμό της ελληνικής επικράτειας στα 14 Υδατικά Διαμερίσματα και 45 λεκάνες απορροής, η οποία δημοσιεύθηκε στην υπ. αριθ. 706/16.7.2010 (ΦΕΚ 1383/Β/2010) της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, το ΥΔ Θράκης [GR12] αποτελείται από πέντε λεκάνες απορροής: Νέστου (GR07) με έκταση 2975,5 km², Ρέματος Ξάνθης - Ξηρορέματος (GR08) με έκταση 1663,6 km², Ρεμάτων Κομοτηνής - Λουτρού Έβρου (GR09) με έκταση 1958,4 km², Έβρου (GR10) με έκταση 4080,9 km² και Θάσου - Σαμοθράκης (GR42) με έκταση 564,3 km². Οι Λεκάνες Απορροής Ποταμών (Λ.Α.Π) του ΥΔ Θράκης παρουσιάζονται στο **σχήμα 3.4. Η περιοχή ενδιαφέροντος χωροθετείται στην Λεκάνη Απορροής Έβρου GR10** (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).



Σχήμα 3.4 Οι Λεκάνες Απορροής Ποταμών (Λ.Α.Π) του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (Ιδία επεξεργασία δεδομένων από geodata.gov.gr)

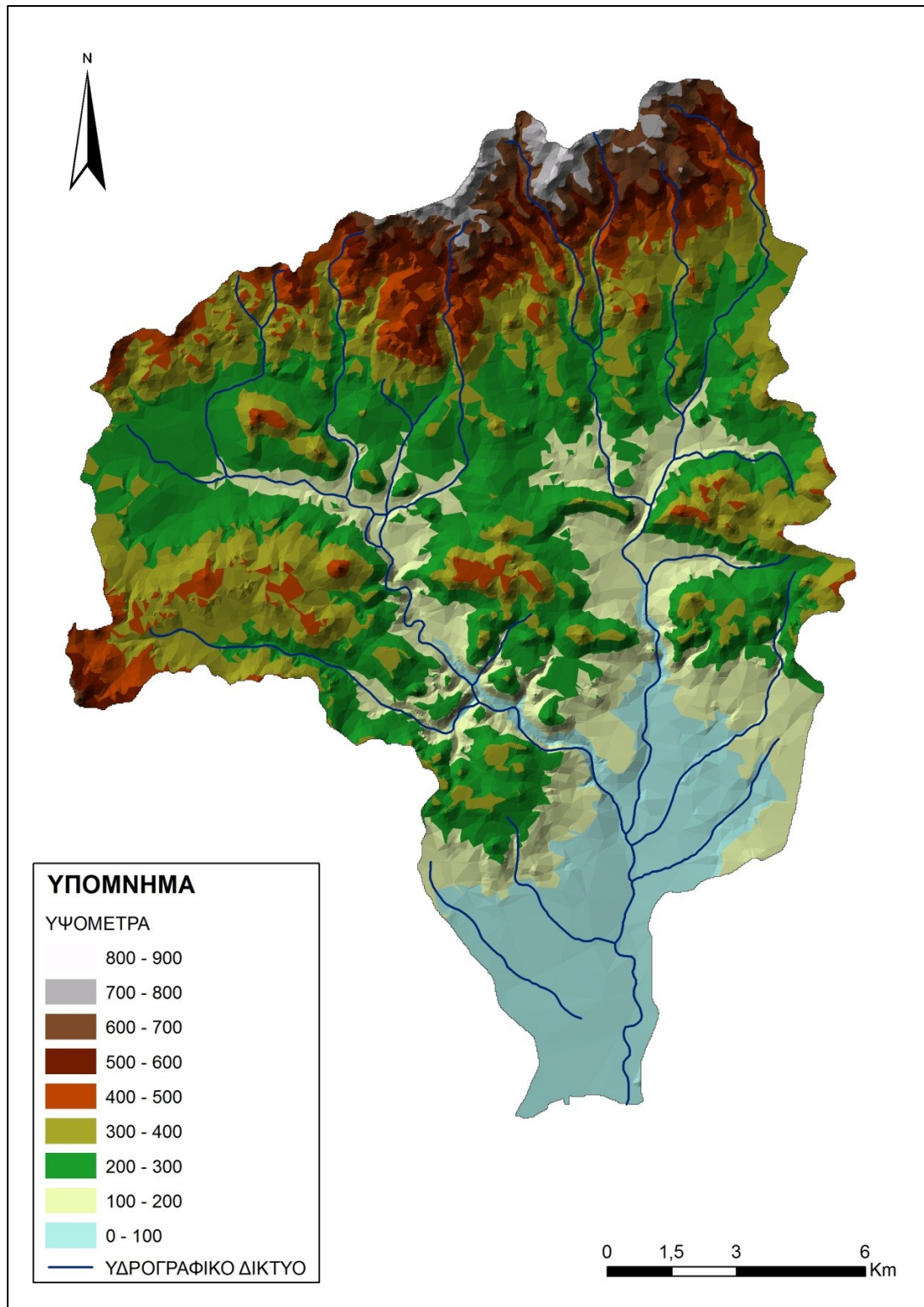
Ο διαχωρισμός της επικράτειας επεκτείνεται και σε τρίτο επίπεδο, σε αυτό των Υπολεκανών Απορροής Ποταμών. Οι Υπολεκάνες Απορροής αντιστοιχούν κατά κύριο λόγο στον διαχωρισμό επιφανειακών λεκανών απορροής που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα υδατορεύματα ή/και παραποτάμους αυτών, σε κλειστές (ενδορροϊκές) λεκάνες ή σε συνενώσεις λεκανών απορροής μικρότερων υδατορευμάτων σε παράκτιες περιοχές (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013). Η Υδρολογική Λεκάνη του ρέματος Ειρήνη αποτελεί υποσύνολο της Λεκάνης Απορροής Έβρου GR10. Οριοθετείται από ΒΔ και Δ από την υδρολογική λεκάνη του Φιλιουρή (Λίσσου), ενώ προς νότο από την υδρολογική λεκάνη του ρέματος Αράπης. Ανατολικά ο υδροκρίτης συμπίπτει με κορυφογραμμή που άρχεται από τον ορεινό όγκο Ορφέα και με νότια διεύθυνση καταλήγει με διαδοχικούς λόφους στο σημείο που συμβάλλει το �έμα Ειρήνη με το �έμα Απόκρημνο (ρέμα Άβαντα). Από το σημείο της συμβολής και νότια, η λεκάνη περιορίζεται σε μία στενή λωρίδα εκατέρωθεν του υδρορέματος μέχρι τις εκβολές στη θάλασσα ανατολικά της Αλεξανδρούπολης. (**σχήμα 3.5**).

- Το ΒΔ τμήμα εκτείνεται ανάντη της συμβολής του ρέματος Ειρήνη με το ρέμα Απόκρημνο και αποστραγγίζεται από τον άνω ρου του ρέματος Ειρήνη. Έχει έκταση 108km² και κεντρικό άξονα ροής διεύθυνσης ΒΔ (μέχρι την Κίρκη) και μήκος 14,2km.
- Το βόρειο (ΒΟ) τμήμα με άξονα αποστράγγισης το ρέμα Απόκρημνο με έκταση 92,6km².

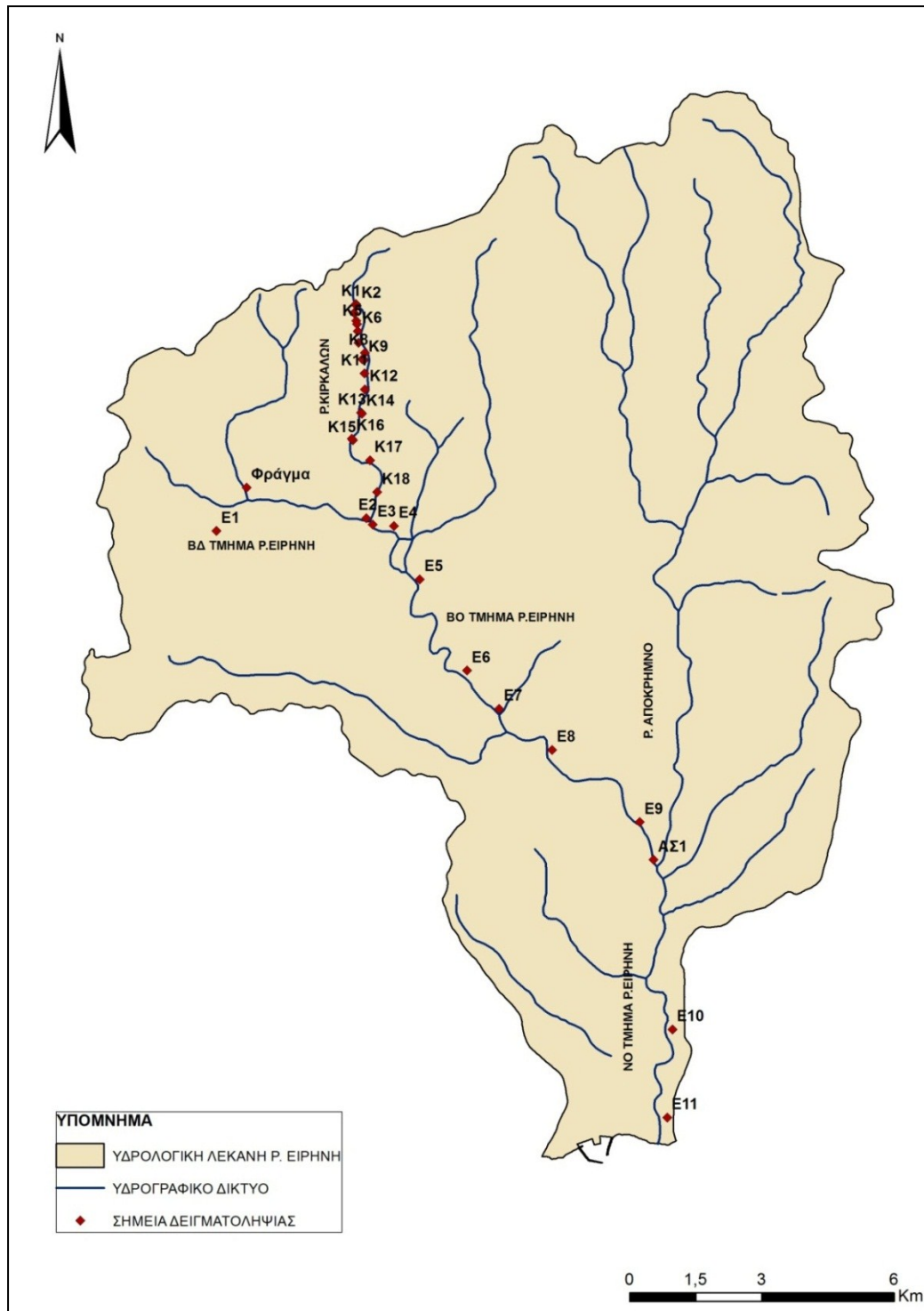
Όπως αναφέρεται στη σχετική μελέτη του ΙΓΜΕ (2007) ως ευρύτερη περιοχή μελέτης θεωρείται το ΒΔ τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Ειρήνη. Η λεκάνη του ρέματος Κιρκάλων, στην οποία βρίσκονται το μεταλλείο Αγίου Φιλίππου, οι εγκαταστάσεις εμπλουτισμού και οι χώροι απόθεσης των μεταλλευτικών απορριμμάτων, θεωρείται ως στενή περιοχή μελέτης. Το ρέμα Κιρκάλων αποτελεί τον βόρειο κλάδο του ρέματος Ειρήνη, με μήκος κεντρικού άξονα 7km, μέση κλίση >85% και έκταση λεκάνης απορροής 18,5km².

Η περιοχή ενδιαφέροντος οριοθετείται βόρεια από τους ορεινούς όγκους Δρακότρυπα και Ορφέας με μέγιστο υψόμετρο 874m. Από ΒΔ και Δ οριοθετείται από τους λόφους Πλαγιά, Αχλαδιά και Προφήτης Ηλίας, ενώ προς νότο από τα υψώματα Τριφύλλι, Κόρακας, Πέρασμα, Ανεμόμυλος. Ανατολικά ο υδροκρίτης συμπίπτει με κορυφογραμμή που άρχεται από τον ορεινό όγκο Ορφέα και με νότια διεύθυνση καταλήγει με τους διαδοχικούς λόφους Γυμνό, Σαΐτα και Βάτραχος στο ρέμα Άβαντα. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ του κεντρικού άξονα (180m στο ύψος της Κίρκης) και των βορείων ορίων της λεκάνης (874m) προσδίδουν τοπικά έντονη μορφολογία (Ρωμαΐδης, 2007). Ο μορφολογικός - υδρογραφικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ειρήνη παρουσιάζεται στο **σχήμα 3.6**.

Στο **σχήμα 3.7** παρουσιάζεται η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Ειρήνη με τα σημεία δειγματοληψίας στα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, στο πλαίσιο της εφαρμογής του προγράμματος παρακολούθησης των υδάτων της περιοχής, το οποίο αναλύεται διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3.6 Μορφολογικός - Υδρογραφικός Χάρτης Υδρολογικής Λεκάνης Ρέματος Ειρήνη (Ίδια επεξεργασία δεδομένων από geodata.gov.gr και ΙΓΜΕ)



Σχήμα 3.7 Χάρτης Υδρολογικής Λεκάνης Ρέματος Ειρήνη όπου απεικονίζονται τα σημεία δειγματοληψίας (Ιδία επεξεργασία δεδομένων από geodata.gov.gr και ΙΓΜΕ)

3.4 Γεωλογία – Υδρογεωλογία

Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Ανατολική Ζώνη Ροδόπης) περιλαμβάνει τρεις βασικές γεωτεκτονικές ενότητες (Loupasakis & Konstantopoulou, 2009):

- Το προ - μεσοζωικό κρυσταλλικό υπόβαθρο μεταμορφωμένων πετρωμάτων (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μάρμαρα)
- Το μεσοζωικό κρυσταλλικό υπόβαθρο επίσης μεταμορφωμένων πετρωμάτων (σχιστόλιθοι, μάρμαρα)
- Τις τριτογενείς λεκάνες, όπου εκτός από τα ιζηματογενή πετρώματα υπάρχουν εκτεταμένες εμφανίσεις ηφαιστειακών (ανδεσίτες, δακίτες, ρουδακίτες, ρουλίτες, λατίτες) ενώ παρεισφρέουν και γρανιτικά σώματα

Με βάση τα αποτελέσματα λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης σε κλίμακα 1:25.000 στη λεκάνη απορροής του ρέματος Ειρήνης στο μεταλλείο Κίρκης - Αλεξανδρούπολης (Μιχαήλ και Δημάδης, 2006), οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην υδρολογική λεκάνη του άνω ρου του ρέματος Ειρήνη καθώς και στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος Κιρκάλων (Ρωμαΐδης, 2007) είναι οι παρακάτω:

Ο κατώτερος γεωλογικός σχηματισμός που δομεί την περιοχή είναι η Φυλλιτική Σειρά της Μάκρης που αποτελείται από αργιλικούς, σερικιτικούς σχιστόλιθους, χαλαζίτες και μάρμαρα. Συναντάται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής, νότια του ρέματος Ειρήνη, υπό τη μορφή σχιστόλιθων. Από υδρογεωλογική άποψη οι εν λόγω σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως υδατοστεγανοί, με ενδεχόμενη ασθενή υπόγεια υδροφορία λόγω τεκτονικής καταπόνησης, η οποία εκδηλώνεται με μικροπηγές (Ρωμαΐδης, 2007).

Ο αμέσως υπερκείμενος σχηματισμός, Τριτογενούς ηλικίας, βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με το φυλλιτικό υπόβαθρο. Στη βάση του αναπτύσσονται συμπαγή και συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή με ασβεστοπηριτική συγκολλητική ύλη (Ρωμαΐδης, 2007). Οι εν λόγω σχηματισμοί συναντώνται κατά μήκος του ρέματος Ειρήνη στο χωριό Κίρκη, ενώ ένα μεγάλο τμήμα τους εμφανίζεται και νοτιοανατολικά του εργοστασίου εμπλουτισμού. Αποτελούν κλασικό σχηματισμό υλικών διάβρωσης παλαιότερων πετρωμάτων και συνίστανται σε γνεύσιους, λεπτινίτες, γρανιτογνεύσιους, φυλλίτες, χαλαζίτες, γρανίτες κ.ά. Το πάχος τους κυμαίνεται από 120 - 150m (Ζαχαριά, 2010).

Σύμφωνα με επί τόπου δοκιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, ο συντελεστής υδροπερατότητας k των κλαστικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού και των λεκανών τελμάτων, ποικίλλει από $1,47 \times 10^{-7}$ έως $1,2 \times 10^{-6}$ m/s. Σύμφωνα με στοιχεία της πιεζομετρικής επιφάνειας, η στάθμη του αβαθούς υδροφόρου ορίζοντα που εκτείνεται στην υπό μελέτη περιοχή κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 3,6m. Επομένως, παρά τη χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα, μη ελεγχόμενη κατείσδυση επιφανειακού νερού κατά μήκος των λιμνών τελμάτων επιτρέπει στα ρυπασμένα νερά να κατεισδύσουν ή/και να διηθηθούν στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα (Loupasakis & Konstantopoulou, 2009).

Επί των κροκαλολατυποπαγών επικάθονται ιζήματα της μολασσικής σειράς, η οποία αποτελείται από εναλλαγές πηλιτών, ψαμμιτών, μαργών και σπανιότερα από ενστρώσεις αργίλων και λιγνιτών. Αναπτύσσονται βόρεια και δυτικά του εργοστασίου εμπλουτισμού, ενώ περιβάλλον αργιλομαργαϊκών πετρωμάτων εντοπίζεται επιπλέον στο νότιο τμήμα του ρέματος Κιρκάλων. Η συνεκτικότητα του υλικού και η εναλλαγή αργιλικών ενστρώσεων προσδίδουν στο πέτρωμα βραδυδροφόρο χαρακτήρα με σχεδόν μηδαμινή αποθηκευτική ικανότητα (Ρωμαΐδης, 2007). Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής υδροπερατότητας k ισούται με $1,2 \times 10^{-6}$ m/s, γεγονός που επιβεβαιώνει το χαρακτήρα ημιπερατότητας του εν λόγω σχηματισμού. Το πάχος της μολασσικής σειράς είναι περίπου 100m (Ζαχαριά, 2010).

Ο υπερκείμενος της βασικής σειράς σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως ηφαιστειοϊζηματογενής, φλυσχοειδούς τύπου, και αποτελείται από ψαμμίτες, πηλίτες τόφφους και τοφφίτες καθώς και ηφαιστειακά πετρώματα. Το πάχος της σειράς κυμαίνεται από 200 - 250m και καλύπτει το σύνολο σχεδόν της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Κιρκάλων και το βόρειο μισό της λεκάνης του άνω ρου του ρέματος Ειρήνη (Ρωμαΐδης, 2007).

Οι δοκιμές υδροπερατότητας που πραγματοποιήθηκαν σε πέτρωμα λεπτόκοκκων ιζημάτων της φλυσχοειδούς σειράς, έδωσαν μικρές τιμές k , μεταξύ $1,52 \times 10^{-4}$ έως $2,71 \times 10^{-4}$ m/s που προσδιορίζουν βραδυδροφόρο σχηματισμό. Το πορώδες που αναμένεται κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες είναι της τάξης 4%. Από υδρογεωλογική άποψη τα ιζήματα της φλυσχοειδούς σειράς χαρακτηρίζονται από κυμαινόμενη υδροπερατότητα, ενώ τα πρωτογενή χαρακτηριστικά των ηφαιστειακών πετρωμάτων υποδηλώνουν μέτρια έως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Σε αρκετές περιπτώσεις όμως τα ιζήματα αυτά εμφανίζουν τοπικά εξαλλοιώσεις, πυριτιώσεις ή και θραυσμό, γεγονός που τους προσδίδει άμεσα χαρακτήρα υψηλής υδροπερατότητας (Ρωμαΐδης, 2007).

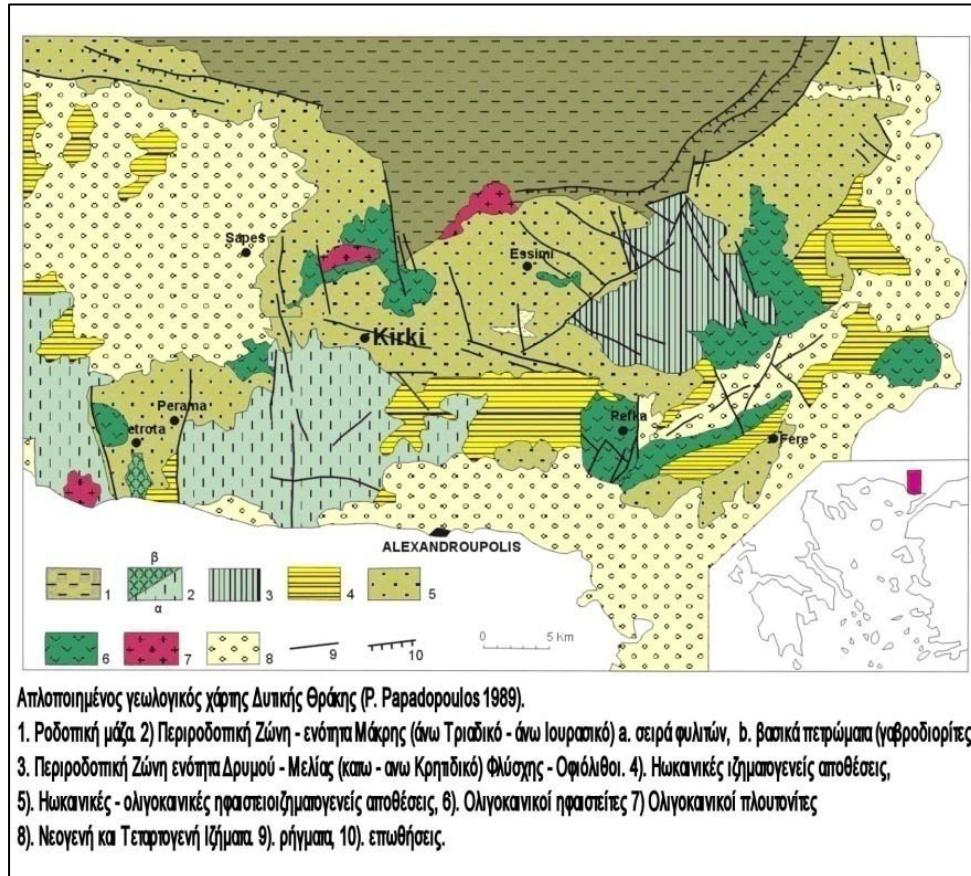
Τα ανθρακικά πετρώματα που υπέρκεινται του ηφαιστειοϊζηματογενούς σχηματισμού, αναπτύσσονται κυρίως στο νότιο - νοτιοανατολικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής και στην περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού. Διακρίνονται στη σειρά των υφαλογενών ασβεστόλιθων και στη μαργαϊκή σειρά. Το ρέμα Ειρήνη διέρχεται κατά ένα μεγάλο μήκος του (>1,5km) μέσα από τον σχηματισμό του ασβεστόλιθου. Κατά τη διέλευση αυτή σημαντικές ποσότητες νερού κατεισδύουν στον ασβεστόλιθο, γεγονός που γίνεται άμεσα αντιληπτό κατά τη θερινή περίοδο, όταν οι παροχές του υδρορέματος είναι μικρές και η ροή στα κατάντη μειώνεται σημαντικά ή και μηδενίζεται. Τα διαθέσιμα στοιχεία προσδιορίζουν την ύπαρξη ενός καρστικού υδροφόρου, ο οποίος υπόκειται σε συνεχή τροφοδοσία από το ρέμα Ειρήνη (Ρωμαΐδης, 2007).

Τα πετρώματα της Μαργαϊκής σειράς που επικάθονται επί των υφαλογενών ασβεστολίθων, αποτελούνται από μάργες με χαρακτηριστικό κιτρινωπό χρώμα, οι οποίες εναλλάσσονται με λεπτοπλακώδεις μαργαϊκούς - βιοκλαστικούς - ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και αργιλικά πετρώματα (Ρωμαΐδης, 2007).

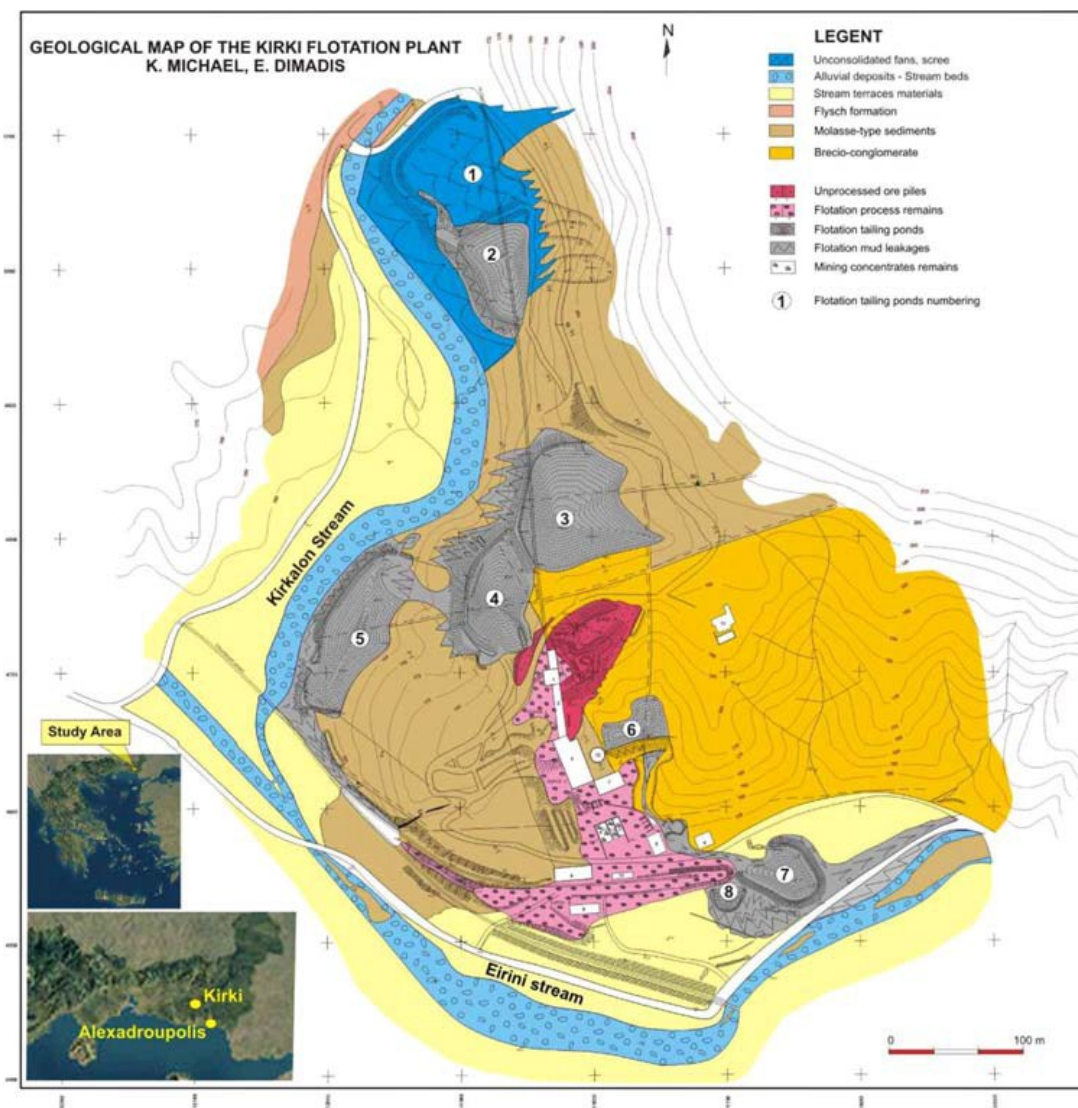
Τα εν λόγω πετρώματα επικαλύπτονται από νεότερους αλλουβιακούς σχηματισμούς, οι οποίοι εντοπίζονται στις κοίτες των ρεμάτων Ειρήνης και Κιρκάλων. Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι σύγχρονες αποθέσεις αργίλου, άμμου, λατυπών (χαλικιών) και άλλων φερτών υλικών και το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 6m. Καθώς εμφανίζουν πολύ περιορισμένη ανάπτυξη κατά μήκος των υδρορευμάτων, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Τα σημεία K19, E5, E6, E7, E10, E11 και E12 βρίσκονται στον εν λόγω σχηματισμό.

Τέλος, σύμφωνα με τα όσα αναπτύχθηκαν παραπάνω, συμπεραίνεται η ανυπαρξία σημαντικών υπόγειων υδροφορέων στο μεταλλείο Αγίου Φιλίππου καθώς και στην περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού. Ως εκ τούτου η διάδοση και μεταφορά της ρύπανσης προς τη θάλασσα πραγματοποιείται κυρίως επιφανειακά, δια μέσου των δύο ρεμάτων Κιρκάλων και Ειρήνης. Η ροή των ποταμών υπόκειται σε ισχυρές μεταβολές ανάλογα με το ύψος και το είδος των βροχοπτώσεων. Τα δύο αυτά ρέματα πλέον των εν διαλύσει ρύπων μεταφέρουν και εν αιωρήσει ρυπαντές, παρασύροντας σε μεγάλη απόσταση λεπτόκοκκα υλικά πλούσια σε βαρέα μέταλλα. Η υπόγεια διάδοση της ρύπανσης έχει τοπικό χαρακτήρα και εντοπίζεται στο νότιο ανατολικό τμήμα του φρεάτιου ορίζοντα του εργοστασίου εμπλουτισμού (Λιακόπουλος, 2009).

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης, ενώ στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της περιοχής του εργοστασίου εμπλουτισμού.



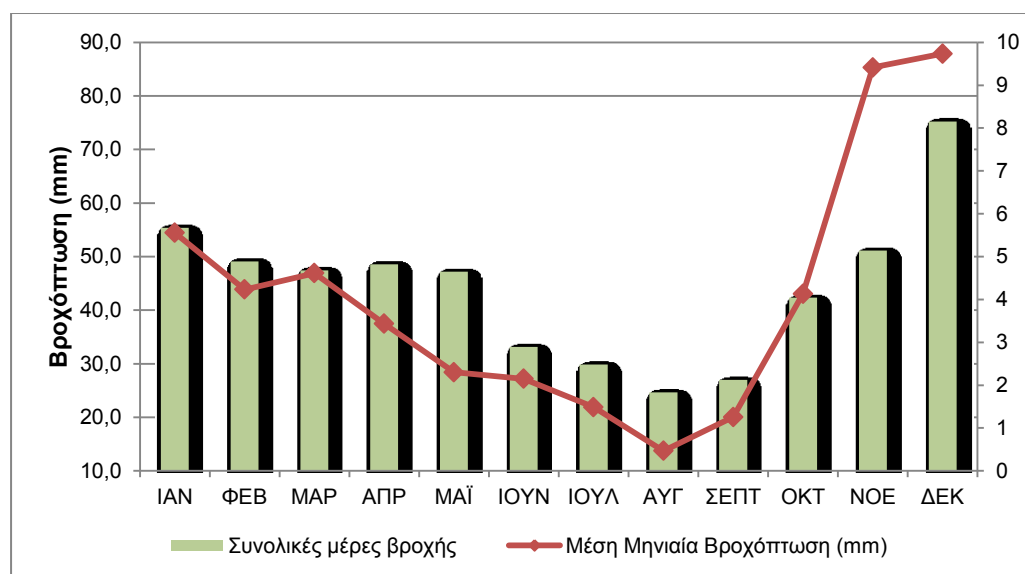
Σχήμα 3.8 Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης (Λιακόπουλος, 2009)



Σχήμα 3.9 Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της περιοχής του εργοστασίου εμπλουτισμού (Ζαχαριά, 2010)

3.5 Κλιματικά στοιχεία

Ο πλησιέστερος μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι ο σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) στην Αλεξανδρούπολη, με γεωγραφικό μήκος (Lon) 25^ο56'00", γεωγραφικό πλάτος (Lat) 40^ο51'00" και υψόμετρο 2,5m. Με βάση την επεξεργασία δεδομένων της ΕΜΥ περιόδου 1980 - 2013, παρατίθενται ενδεικτικά κλιματικά στοιχεία για την περιοχή. Τα μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης καθώς και οι συνολικές ημέρες βροχόπτωσης για την περιοχή της Αλεξανδρούπολης παρουσιάζονται γραφικά στο **σχήμα 3.10**.

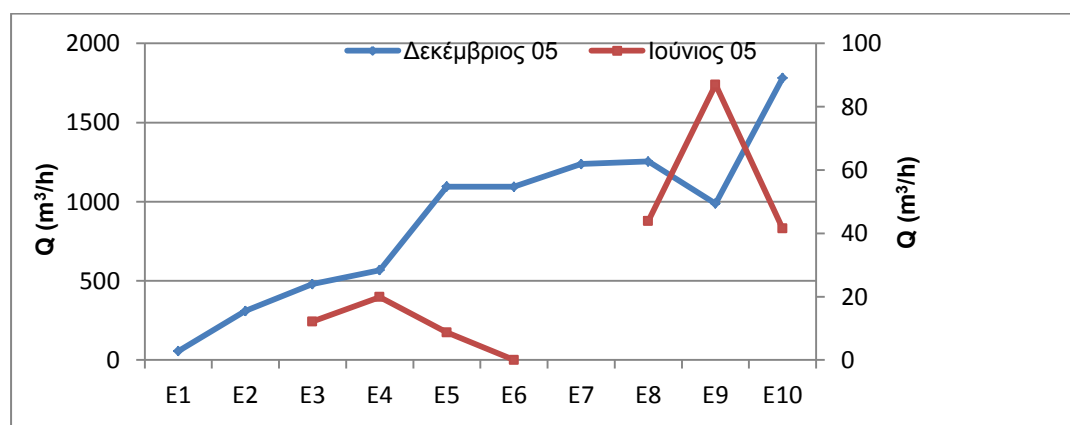


Σχήμα 3.10 Διάγραμμα κατανομής των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης για την περιοχή της Αλεξανδρούπολης (ΕΜΥ, δεδομένα περιόδου 1980 - 2013)

Με βάση τα στοιχεία του Μ.Σ Αλεξανδρούπολης προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 510,2mm. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα ο υγρότερος μήνας του έτους είναι ο Δεκέμβριος και ακολουθούν ο Νοέμβριος και ο Ιανουάριος. Κατά τους μήνες αυτούς παρουσιάζεται το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό βροχόπτωσης (10 - 17% περίπου). Αντίστοιχα, ο ξηρότερος μήνας του έτους είναι ο Αύγουστος με μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης 13,7mm, ενώ ακολουθεί ο Σεπτέμβριος με αντίστοιχη τιμή ύψους βροχόπτωσης ίση με 20mm. Κατά τους υπόλοιπους μήνες τα μέγιστα μηνιαία ποσοστά βροχόπτωσης κυμαίνονται περίπου από 4 έως 9%. Αξίζει να σημειωθεί πως το ύψος της βροχόπτωσης στις λεκάνες απορροής αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που καθορίζει το μέγεθος των παροχών κατά μήκος των ρεμάτων.

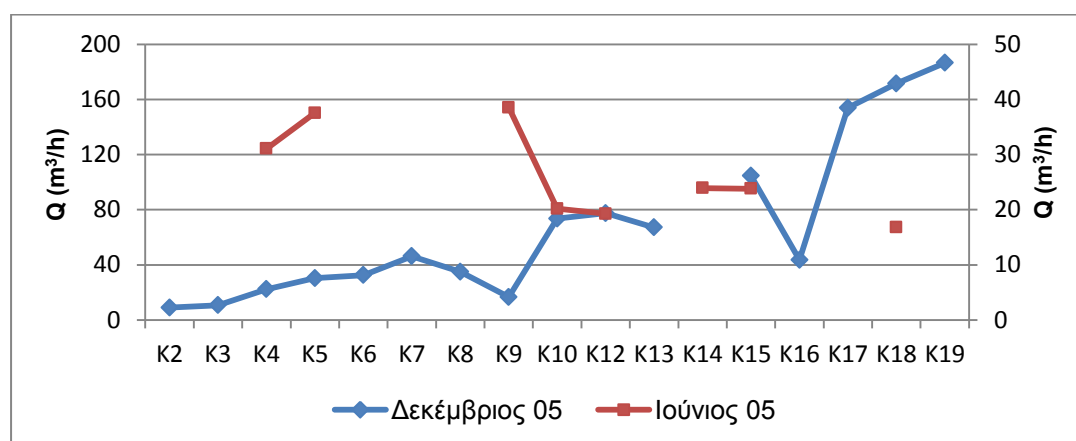
Εκτός από τα δεδομένα της ΕΜΥ, για την παρακολούθηση και εκτίμηση της βροχόπτωσης στην περιοχή των μεταλλείων της Κίρκης εγκαταστάθηκε από το ΙΓΜΕ βροχόμετρο πλησίον του εργοστασίου εμπλουτισμού σε υψόμετρο 190m. Το βροχόμετρο εγκαταστάθηκε στο πλαίσιο της υδρογεωλογικής μελέτης της περιοχής και καλύπτει μία περίοδο δεδομένων από Ιούνιο 2005 - Απρίλιο 2007. Όπως προκύπτει από την ανάλυση των αντίστοιχων δεδομένων, το ετήσιο μέσο ύψος βροχόπτωσης για τη λεκάνη του ρέματος Ειρήνη είναι 747,4mm (Ρωμαΐδης, 2007). Γενικά, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Μ.Σ Αλεξανδρούπολης, δεν παρατηρήθηκαν συστηματικά υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης.

Οι παροχές κατά μήκος του ρέματος Ειρήνης για τον Δεκέμβριο του 2005 και τον Ιούλιο 2005 παρουσιάζονται στο **σχήμα 3.11**. Κατά την υγρή περίοδο του Δεκεμβρίου, οπότε και παρουσιάζεται το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό βροχόπτωσης, οι παροχές του υδατορέματος στα σημεία δειγματοληψίας E1 - E10 είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Η μέγιστη αύξηση της παροχής παρατηρείται στο σημείο E10 (1.781,03 m³/h) και οφείλεται κατά κύριο λόγο στις απορροές του βόρειου τμήματος της λεκάνης του ρέματος Ειρήνη που αποστραγγίζεται μέσω του ρέματος Απόκρημνο και το οποίο συμβάλλει στο ρέμα Ειρήνη μεταξύ των σημείων E9 και E10. Στα σημεία δειγματοληψίας E8, E9 και E10 η απορροή συντηρείται κατά την ξηρή περίοδο του Ιουλίου 05 έστω και με χαμηλές παροχές. Στα ανάντη τμήματα της λεκάνης οι παροχές των σημείων E3, E4, E5 και E6 ελαχιστοποιούνται ή και μηδενίζονται (E6), γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αυξημένη θερμοκρασία που ενισχύει την εξατμισοδιαπνοή αλλά και στις υδρογεωλογικές συνθήκες των τμημάτων της λεκάνης.



Σχήμα 3.11 Παροχή (m³/h) κατά μήκος του ρέματος Ειρήνη (Ιδία επεξεργασία δεδομένων ΙΓΜΕ)

Αντίστοιχα, οι παροχές κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων για τον Δεκέμβριο 2005 και τον Ιούλιο 2005 παρουσιάζονται στο **σχήμα 3.12**. Στο διάγραμμα παρατηρείται πως κατά την υγρά περίοδο του Δεκεμβρίου 2005, ανάντη του σημείου K15 υφίσταται μία μικρή ανάσχεση ροής και οι παροχές είναι σχετικά χαμηλές. Το γεγονός αυτό οφείλεται ως ένα βαθμό στην ύπαρξη δύο φραγμάτων, το πρώτο κατάντη του K12 και το δεύτερο στο σημείο K13, τα οποία λειτουργούν ανασχετικά στην ελεύθερη ροή του νερού. Κατάντη του φράγματος στα σημεία K15 - K19 οι παροχές αυξάνονται, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε απελευθέρωση νερού από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Κατά την ξηρά περίοδο του Ιουλίου 2005 οι διαφορές γίνονται εντονότερες, καθώς η υψηλή εξατμισοδιαπνοή προσδίδει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές παροχής στα σημεία δειγματοληψίας κατά μήκος του ρέματος.

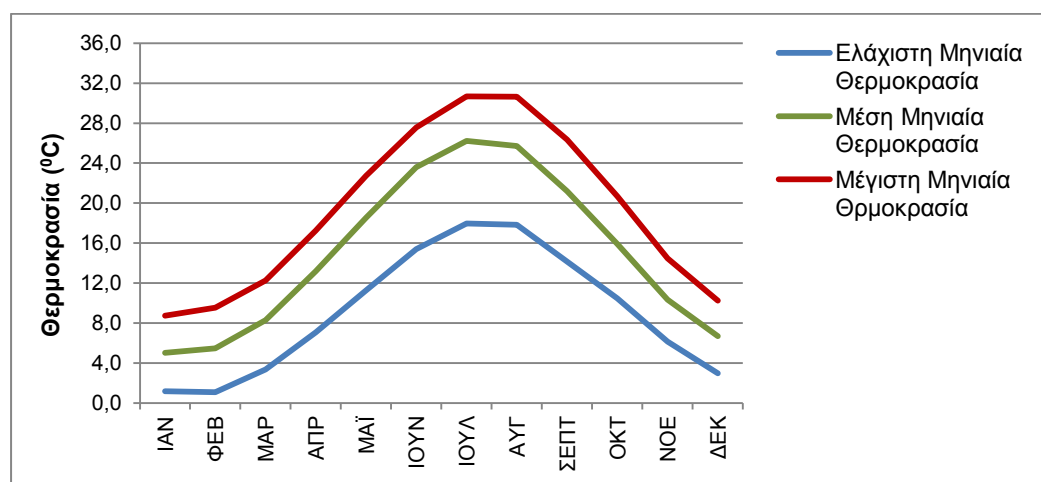


Σχήμα 3.12 Παροχή (m^3/h) κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων (Ιδία επεξεργασία δεδομένων ΙΓΜΕ)

Αξίζει να σημειωθεί πως το έτος 2006 χαρακτηρίστηκε από ιδιαίτερα έντονα καιρικά φαινόμενα με τοπικό χαρακτήρα. Το Σεπτέμβριο του 2006 καταγράφηκαν στο Μ.Σ Αλεξανδρούπολης ιδιαίτερα υψηλές τιμές βροχόπτωσης με συνολικό μηνιαίο ύψος τα 282mm, ενώ η μέση μηνιαία τιμή για το μήνα Σεπτέμβριο (με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης του σταθμού για την περίοδο 2000 - 2008) είναι μόλις 50,5mm. Το Σεπτέμβριο του 2006 στο βροχόμετρο της Κίρκης μετρήθηκε ύψος βροχόπτωσης 21,3mm (Ζαχαριά, 2010). Το Μάρτιο του 2006 παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα έντονες βροχοπτώσεις και καταγράφηκαν πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή της Κίρκης ενώ το ύψος βροχόπτωσης, με βάση τα δεδομένα του Μ.Σ Αλεξανδρούπολης, ήταν 72,9mm, τιμή που αντιστοιχεί σε συνήθη καιρικά φαινόμενα. Την περίοδο αυτή δεν υπήρξε καταγραφή λόγω βλάβης του εγκατεστημένου πλησίον του εργοστασίου

εμπλουτισμού βροχόμετρου και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν δεδομένα για το ύψος των βροχοπτώσεων στην Κίρκη (Ρωμαΐδης, 2007).

Με βάση τα θερμοκρασιακά και βροχομετρικά δεδομένα του Μ.Σ Αλεξανδρούπολης, προκύπτει πως η επίδραση του υψομέτρου στο κλίμα της Αλεξανδρούπολης είναι εμφανής και για το λόγο αυτό δεν υπάρχουν ψυχροί μήνες, ενώ η περίοδος Ιουνίου - Σεπτεμβρίου χαρακτηρίζεται ως ξηροθερμική (Ρωμαΐδης, 2007). Οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης, από δεδομένα του αντίστοιχου μετεωρολογικού σταθμού, παρουσιάζονται γραφικά στο **σχήμα 3.13**. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Φεβρουάριος, οπότε και εμφανίζεται ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία 1,1⁰C. Οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, οπότε και εμφανίζονται οι μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες του έτους με τιμές 30,7⁰C και 30,6⁰C αντίστοιχα.



Σχήμα 3.13 Διάγραμμα κατανομής των μέσων, ελάχιστων και μέγιστων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας για την περιοχή της Αλεξανδρούπολης (ΕΜΥ, δεδομένα 1980 - 2004)

3.6 Υδρολογικά ισοζύγια

Στο υδρολογικό ισοζύγιο λαμβάνουν μέρος τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή και η κατεισδυση. Η επιφανειακή απορροή αποτελεί το συνολικό όγκο νερού που αντιστοιχεί στο μέρος των κατακρημνισμάτων που πέφτουν απευθείας πάνω στα υδατορέματα, σε αυτό που πέφτει στην ευρύτερη περιοχή και απορρέει χωρίς να κατεισδύει (επίγεια ροή), στην υποδερμική ροή και στο κλάσμα του νερού που αφού έχει κατεισδύσει εξέρχεται στην επιφάνεια του

εδάφους υπό μορφή πηγών ή σε κάποιο υδατορέμα στην επαφή της επιφάνειας του υπόγειου νερού με αυτήν του υδατορέματος (υπόγεια ροή).

Η επιφανειακή απορροή της εκάστοτε υδρολογικής λεκάνης εξαρτάται άμεσα από το ύψος των κατακρημνισμάτων, την ένταση των επεισοδίων βροχής και την κατανομή τους, την περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης, την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα. Οι ως άνω παράμετροι που αφορούν στην περιοχή μελέτης περιγράφονται αναλυτικά σε προηγούμενα κεφάλαια. Στον πίνακα **3.1** παρουσιάζονται τα υδρολογικά ισοζύγια των λεκανών της ευρύτερης και στενής περιοχής μελέτης.

Πίνακας 3.1 Υδρολογικά ισοζύγια των λεκανών της ευρύτερης και στενής περιοχής μελέτης (Ρωμαΐδης, 2007)

Υδρολογική Λεκάνη	Επιφάνεια Λεκάνης S (km ²)	Βροχόπτωση P (mm)	Όγκος βροχόπτωσης VP (×10 ⁶ m ³)	Όγκος Απορροής +Κατείσδυσης (VW) × 10 ⁶ m ³	Απορροή +Κατείσδυση (%)	Εξατμ/πνοή (E) ×10 ⁶ m ³
Ειρήνη	229,46	661,24	151,73	33,67	22,2	118,06
ΒΔ τμήμα Ειρήνης	108,03	667,49	72,11	16,07	22,3	56,04
Κιρκάλων	18,47	720,20	13,30	3,28	24,6	10,02

Με βάση τον **πίνακα 3.1**, για την υδρολογική λεκάνη του ρέματος Ειρήνη το μέσο ύψος βροχόπτωσης είναι 661,24mm, ενώ ο μέσος όγκος των κατακρημνισμάτων αντιστοιχεί σε 151,73×10⁶ m³/έτος. Το 22,2% του όγκου των κατακρημνισμάτων απορρέει και κατεισδύει, ενώ το υπόλοιπο 77,8% εξατμίζεται. Οι αντίστοιχοι όγκοι ύδατος είναι 33,67×10⁶ m³ και 118,06×10⁶ m³.

Στη λεκάνη του άνω ρου του ρέματος Ειρήνη η αντίστοιχη υδρολογική προσέγγιση δίνει μέσο όγκο κατακρημνισμάτων ίσο με 72,11×10⁶ m³ / έτος. Στην περίπτωση αυτή το 22,3% των κατακρημνισμάτων απορρέει και κατεισδύει, ενώ το υπόλοιπο 77,7% εξατμίζεται. Οι αντίστοιχοι όγκοι ύδατος είναι 16,07×10⁶ m³ και 56,04×10⁶ m³.

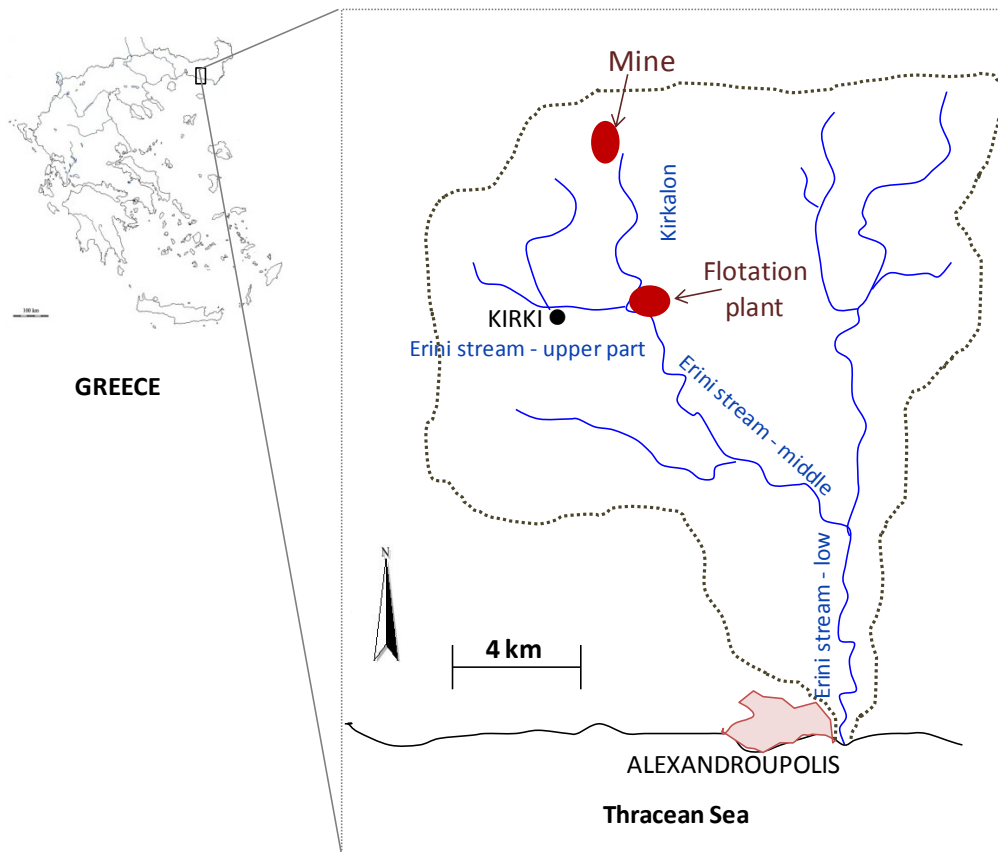
Τέλος, στη λεκάνη του ρέματος Κιρκάλων ο μέσος όγκος των κατακρημνισμάτων ισούται με 13,3×10⁶ m³/έτος. Ο μέσος όγκος απορροής και κατείσδυσης είναι 3,28×10⁶ m³, δηλαδή το 24,6% των κατακρημνισμάτων απορρέει και κατεισδύει ενώ το 75,4% εξατμίζεται.

Καταλήγοντας, αξίζει να σημειωθεί πως οι κλιματικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη χημική σύσταση των νερών που απορρέουν επιφανειακά. Σε γενικές γραμμές, οι απορροές σε ξηρά κλίματα τείνουν να είναι περισσότερο όξινες και να περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μετάλλων σε σχέση με αυτές σε υγρά κλίματα, λόγω της αυξημένης εξάτμισης και της μειωμένης πιθανότητας να αραιωθούν από μη ρυπασμένα φυσικά και υπόγεια ύδατα. Τα δευτερογενή άλατα που σχηματίζονται από την εξάτμιση τυπικά είναι ένυδρα διαλυτά θειικά ορυκτά μιας ποικιλίας μετάλλων, όπως σιδήρου, αργιλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, χαλκού και ψευδαργύρου, τα οποία έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν προσωρινά τα μέταλλα σε στερεή φάση και να τα αποδεσμεύουν κατά την έναρξη της υγρής περιόδου, μεταβάλλοντας σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα του νερού του υδάτινου σώματος που είναι ο αποδέκτης της απορροής (Κελεπερτζής, 2010).

3.7 Υφιστάμενες πηγές ρύπανσης στην περιοχή

Οι κύριες πηγές ρύπανσης των υδάτων αφορούν στην μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή, κυρίως κατά τα διαστήματα 1974 - 1980 και 1990 - 1997, η οποία είχε ως αποτέλεσμα αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που παραμένουν ως σήμερα σαν διαρκής επιβάρυνση της περιοχής μεταξύ μεταλλείου και Αλεξανδρούπολης (Αρίκας κ.ά., 2007). Το ανενεργό μεταλλείο του Αγίου Φιλίππου και το εγκαταλελειμμένο εργοστάσιο εμπλουτισμού του μεταλλεύματος συμβάλλουν ενεργά στη ρύπανση των υδατικών πόρων της περιοχής, επηρεάζοντας άμεσα ή έμμεσα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Το ανενεργό μεταλλείο μεικτών θειούχων Άγιος Φίλιππος βρίσκεται 9 km βορειοανατολικά της Κίρκης και 5 km βόρεια της συμβολής του ρέματος Κιρκάλων με τον ποταμό Ειρήνη. Το εργοστάσιο επεξεργασίας των μεταλλευμάτων βρίσκεται 3 km ανατολικά της Κίρκης, στη συμβολή των δύο κύριων υδατορεμάτων Ειρήνης και Κιρκάλων (**σχήμα 3.14**).



Σχήμα 3.14 Γενική εικόνα της περιοχής μεταξύ Αλεξανδρούπολης, Κίρκης, μεταλλείου Αγίου Φιλίππου και του εργοστασίου επεξεργασίας του μεταλλεύματος (Papassiopi et al., 2013)

3.7.1 Μεταλλείο Αγίου Φιλίππου

Ιστορικό της Μεταλλευτικής Δραστηριότητας

Το μεταλλείο μεικτών θειούχων Άγιος Φίλιππος και το εργοστάσιο επεξεργασίας του μεταλλεύματος άρχισαν να λειτουργούν επί γερμανικής κατοχής και στη συνέχεια εγκαταλείφθηκαν. Επαναλειτούργησαν τα έτη 1974 - 1980 και 1990 - 1997 υπό τη διεύθυνση ιδιώτη. Η παραγωγή του μεταλλείου κατά την πρώτη περίοδο των εργασιών τα έτη 1974 - 1980 ήταν συνολικά 159.000 τόνοι μεταλλεύματος από το οποίο ανακτήθηκαν 12.000 τόνοι συμπυκνώματος. Η μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή σημειώθηκε τα έτη 1975 και 1976 με 40.000 τόνους μετάλλευμα και 3.000 τόνους συμπυκνώματα, κυρίως γαληνίτη (PbS) και σφαλερίτη - βουρτσιτή (ZnS) (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).

Μετά την κατάρρευση του υπογείου συστήματος και την έναρξη της επιφανειακής εξόρυξης το έτος 1977, η παραγωγή μειώθηκε στους 22.000 τόνους μεταλλεύματος και 700 τόνους συμπυκνώματος. Πριν τη λήξη του έργου το 1980 η ετήσια παραγωγή κατέληξε να είναι μόνο 3.000 τόνους μέταλλευμα και 270 τόνους μεικτό συμπύκνωμα. Από τις εργασίες που ακολούθησαν με συχνές διακοπές στην περίοδο 1990 - 1997 δεν υπάρχουν στοιχεία, αλλά λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη παραγωγής των προηγούμενων ετών η εξόρυξη είναι πιθανόν να μην είχε υπερβεί τους 50.000 τόνους μεταλλεύματος συνολικά την περίοδο αυτή. Στο μεταλλείο Άγιος Φίλιππος εξορύχθηκαν συνολικά περίπου 200.000 - 220.000 τόνοι μεταλλεύματος που υπέστη επεξεργασία στο εργοστάσιο εμπλουτισμού (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Θράκης, 2013).

Η υπόγεια εξόρυξη στο μεταλλείο Αγίου Φιλίππου οδήγησε το καλοκαίρι του 1977 στην κατακρήμνιση του κεντρικού κόμβου των στοών και στη συνέχεια έλαβε χώρα επιφανειακή εκμετάλλευση σε υψόμετρο +430 - +345m. Τα τελευταία χρόνια μια μικρή λίμνη όξινης απορροής μεταλλείων, με βάθος που ποικίλλει από 2 - 8m, δημιουργήθηκε στον πυθμένα της ανοιχτής εκσκαφής από ύδατα βροχής και αποστράγγισης (Triantafyllidis & Skarpelis, 2005) (**εικόνα 3.2**).

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης προέκυψαν σημαντικές ποσότητες στείρων και απορριμμάτων από τα θειούχα ορυκτά, πλούσιων σε σιδηροπυριτίτη (FeS_2). Ο συνολικός όγκος τους υπολογίζεται στα 90.000m^3 (Liakopoulos et al., 2014). Το μεταλλείο, τα στείρα εκμετάλλευσης και οι αποθέσεις μεταλλεύματος παλαιότερων εξορύξεων στην ΝΑ προέκταση του ορυχείου βρίσκονται μέσα στη λεκάνη απορροής του ρέματος Κιρκάλων και καταλαμβάνουν επιφάνεια 40.000m^2 (Αρίκας κ.ά, 2007). Σταθερά μεγάλη επιβάρυνση στο ρέμα Κιρκάλων σε τοξικά στοιχεία προέρχεται από τη συνεχή εκροή νερού από την υψομετρικά χαμηλότερη στοά του μεταλλείου Αγίου Φιλίππου, η οποία διανοίχθηκε την περίοδο 1941-1943 για την αποστράγγιση των υπερκείμενων στοών εξόρυξης. Η έξοδος της στοάς αυτής (**εικόνα 3.3**), γνωστής ως στοάς 4, είναι περίπου 500m νότια και υψομετρικά περίπου 50 m χαμηλότερα από το σημερινό επιφανειακό μεταλλείο (Ρωμαΐδης, 2007).

Στις **εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3** αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση στο μεταλλείο του Αγίου Φιλίππου, με τους υπάρχοντες σωρούς μεταλλευτικών στείρων, τα νερά που λιμνάζουν εντός της ανοιχτής εκσκαφής και την απορροή της στοάς 4 να συνεισφέρουν άμεσα στη ρύπανση των υδατικών πόρων της περιοχής.



Εικόνα 3.1 Σωροί στείρων εκμετάλλευσης στην κοίτη του ρέματος Κιρκάλων (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.2 Λιμνάζοντα νερά εντός της ανοικτής εκσκαφής (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.3 Απορροή στοάς 4 (Λιακόπουλος, 2009)

Ορυκτολογική σύσταση του κοιτάσματος

Η μεταλλοφορία στο μεταλλείο Άγιος Φίλιππος είναι επιθερμικού τύπου και αναπτύσσεται μεταξύ δύο ζωνών υποπαράλληλων ρηγμάτων που σχηματίζουν το δυτικό και ανατολικό τμήμα του επιφανειακού ορυχείου (Triantafyllidis & Skarpelis, 2005). Το εξορυχθέν μέταλλευμα, εκτός από το κυρίαρχο χαλαζιακό υλικό, περιέχει συχνά τα φυλλοπυριτικά ορυκτά υδροθερμικής εξαλλοίωσης καολινίτη, πυροφυλλίτη και σπανιότερα σερικίτη, τα οποία εμφανίζονται συχνά και στα μεταλλευτικά τέλματα.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα στο μεταλλείο του Αγίου Φιλίππου αφορούσε στην εξόρυξη μεικτού θειούχου μεταλλεύματος και την ανάκτηση συμπυκνωμάτων των κύριων θειούχων ορυκτών του μολύβδου (κυρίως γαληνίτης) και του ψευδαργύρου (σφαλερίτης και βουρτσίτης). Το κοίτασμα του Αγίου Φιλίππου είναι πολυμεταλλικό και περιέχει μέχρι περίπου 20 θειούχα ορυκτά (Αρίκας κ.ά, 2007). Στον **πίνακα 3.2** παρουσιάζεται η σύσταση του πολυμεταλλικού κοιτάσματος του Αγ. Φιλίππου.

Πίνακας 3.2 Τα μεταλλικά ορυκτά του κοιτάσματος Αγ. Φιλίππου (Αρίκας κ.ά, 2007)

Κύρια Ορυκτά		Δευτερεύοντα Ορυκτά	
Όνομα	Τύπος	Όνομα	Τύπος
σιδηροπυρίτης	FeS ₂	κεστερίτης	Cu ₂ ZnSnS ₄
σφαλερίτης	ZnS	χαλκοπυρίτης	CuFeS ₂
βουρτσίτης	ZnS	μαρκασίτης	FeS ₂
γαληνίτης	PbS	βισμούθινίτης	Bi ₂ S ₃
κιρκιίτης	Pb ₁₀ Bi ₃ As ₃ S ₁₉	κοζαλίτης	PbBi ₂ S ₅
ιορδανίτης	Pb ₁₄ As ₆ S ₂₃	εναργίτης	Cu ₃ AsS ₄
Βι-ιορδανίτης	Pb ₁₄ BiAs ₅ S ₂₃	λουζονίτης	Cu ₃ SbS ₄
τενναντίτης	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	σελιγμαννίτης	CuPbAsS ₃

Από τα ορυκτά που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα προέρχονται τα εξής χημικά στοιχεία: Fe, Zn, Pb, Cu, As, Cd, Sb, Bi και S. Αξίζει να σημειωθεί ότι το αρσενικό (As) συμμετέχει σε πολλά μεταλλικά ορυκτά και ανήκει έτσι μαζί με τον ψευδάργυρο (Zn), τον μόλυβδο (Pb) και το χαλκό (Cu) στα κύρια χημικά στοιχεία του κοιτάσματος και των μεταλλευτικών συμπυκνωμάτων και τελμάτων. Αναλύσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του εργοστασίου εμπλουτισμού, έδειξαν σε δείγμα συμπυκνώματος Cu περιεκτικότητα As μέχρι 11,3% w/w. Επιπλέον, το κάδμιο (Cd) συμμετέχει στην σύνθεση των κύριων μεταλλικών ορυκτών του σφαλερίτη και ιδιαίτερα του βουρτσίτη. Στις διάφορες περιοχές μεταλλοφορίας θειούχων ορυκτών της Θράκης, η περιεκτικότητα σφαλερίτη σε κάδμιο είναι συνήθως μεγαλύτερη από 0,5% w/w. Η περιεκτικότητα του Cd στον βουρτσίτη του Αγίου Φιλίππου βρέθηκε

1,3% w/w ή 2,6% w/w και στο συμπύκνωμα Zn του εργοστασίου εμπλουτισμού μέχρι 5.400 ppm (0,54% w/w) (Αρίκας κ.ά, 2007). Μία τυπική χημική σύσταση συμπυκνώματος Zn ήταν (% w/w): Zn 50, Pb 1,5, Ag 0,012, As 0,12, Sb 0,02, Bi 0,01, Cd 0,60, Fe 7,8, ολικό S 26,1 (S ως SO₄, 3,0), Cu 0,3, SiO₂ 1,7, Al₂O₃ 1,0. Αντίθετα μία τυπική χημική σύσταση συμπυκνώματος Pb ήταν (% w/w): Pb 55, Zn 5, Ag 0,07, Cu 2,5, As 1,3, Sb 0,33, Bi 0,95 και ολικό S 17 (Liakopoulos et al., 2014).

Όξινη απορροή μεταλλείων

Η Όξινη Απορροή Μεταλλείων (ΟΑΜ) αφορά στην εκροή όξινου νερού από ενεργά και συχνά από εγκαταλελειμμένα πολυμεταλλικά θειούχα μεταλλεία (**εικόνες 3.4 και 3.5**), όπως και από μεταλλεία άνθρακα και λιγνίτη, σε περίπτωση παρουσίας σιδηροπυρίτη. Η Όξινη Απορροή Μεταλλείων θεωρείται το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλείται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα, σε περίπτωση που λόγω πλημμελούς περιβαλλοντικής διαχείρισης θειούχα ορυκτά έρθουν σε ανεξέλεγκτη επαφή με επιφανειακά ή υπόγεια νερά. Η συνδυασμένη δράση νερού και οξυγόνου αλλά και η παρουσία βακτηρίων οδηγούν στην οξείδωση των θειούχων ορυκτών προς θειικό οξύ και τρισθενή σίδηρο. Άλλα περιεχόμενα θειούχα ορυκτά (χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, αρσενοπυρίτης) οξειδώνονται και αυτά, με αποτέλεσμα το σχηματισμό όξινων διαλυμάτων με σημαντική περιεκτικότητα σε τοξικά και μη μέταλλα, την γνωστή ΟΑΜ (Adam, 2010).



Εικόνες 3.4 και 3.5 Όξινη Απορροή σε εγκαταλελειμμένα θειούχα μεταλλεία (Adam, 2010)

Οι δυνητικές πηγές της ΟΑΜ περιλαμβάνουν υπόγειες και επιφανειακές μεταλλευτικές εργασίες, σωρούς υπερκείμενων και μεταλλευτικών στείρων, τέλματα εμπλουτισμού και προσωρινά ή μόνιμα αποθέματα θειούχων συμπυκνωμάτων, κυρίως σιδηροπυρίτες (FeS_2) μη εμπορικής αξίας υπό τις υφιστάμενες οικονομικές συνθήκες. Οι παραπάνω πηγές συνήθως παραμένουν ενεργές για πολλές δεκαετίες μετά το τέλος λειτουργίας των αντίστοιχων μεταλλευτικών μονάδων (Adam, 2010). Αξίζει να σημειωθεί πως οι ανοικτές επιφανειακές εκσκαφές τείνουν να παράγουν περισσότερο όξινα νερά και με μεγαλύτερες περιεκτικότητες μετάλλων σε σχέση με νερά μεταλλείων που προέρχονται από υπόγειες εκμεταλλεύσεις, εξαιτίας της μεγαλύτερης επιφάνειας των θειούχων ορυκτών που εκτίθενται στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες (Κελεπερτζής, 2010).

Όπως ήδη αναφέρθηκε η ΟΑΜ συνήθως περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe) και άλλα τοξικά στοιχεία. Ανάλογα με την ορυκτολογία του μεταλλεύματος, άλλα διαλυμένα μέταλλα που συνήθως συναντώνται στην ΟΑΜ περιλαμβάνουν: ψευδάργυρο (Zn), χαλκό (Cu), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), καθώς και κάδμιο (Cd), αρσενικό (As) και υδράργυρο (Hg). Μετά τη δημιουργία της, η ΟΑΜ μεταναστεύει μακριά από τις πηγές και μεταφέρει και αποθέτει τα φορτία της στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα, προκαλώντας σημαντική ρύπανση. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο σε περιοχές εγκαταλελειμμένων μεταλλείων (Adam, 2010).

Αποτέλεσμα της προγενέστερης εξορυκτικής δραστηριότητας στο μεταλλείο Άγιος Φίλιππος και της μη εφαρμογής μέτρων περιβαλλοντικής προστασίας ήταν η μεταβολή του φυσικού τοπίου της περιοχής και η εμφάνιση της όξινης απορροής. Δείγματα νερών που κατεισδύουν μέσα από τις σωρούς των μεταλλευτικών αποβλήτων και νερών της ανοικτής εκσκαφής δείχνουν υψηλές συγκεντρώσεις Cu, Zn, As, Pb, Cd, Ni, Co με ασυνήθιστα επίπεδα συγκεντρώσεων Mn, Fe και θειικών ενώσεων (Liakopoulos et al., 2014). Οι υψηλές συγκεντρώσεις των παραπάνω μετάλλων σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές pH των δειγμάτων νερού αποτελούν μία τυπική κατάσταση όξινης απορροής. Τα διαλυμένα μέταλλα Cu, Zn, As, Pb και Cd απελευθερώνονται στο ρέμα Κιρκάλων και συνεχίζουν προς τα κατάντη, υπό μορφή ιζημάτων, έως ότου καταλήξουν στον ποταμό Ειρήνη κοντά στην περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού (Liakopoulos et al., 2014). Τέλος, το φαινόμενο της όξινης απορροής παρατηρείται και στο νερό που εξέρχεται από τη στοά 4. Τα όξινης προέλευσης και πλούσια σε βαρέα μέταλλα νερά της στοάς, κατά την πορεία τους προς την έξοδο αδρανοποιούνται, αναμειγνύονται με άλλα υπόγεια νερά και εξέρχονται παρουσιάζοντας ένα σχετικά ουδέτερο pH.

Στην έξοδο της στοάς παρατηρούνται σημαντικές αποθέσεις κολλοειδών συσσωματωμάτων, πορτοκαλοκόκκινου χρώματος (εικόνα 3.6), χαρακτηριστικών των μεταβολών του pH και Eh που συμβαίνουν με την οξυγόνωση των νερών λίγο πριν την έξοδο (Λιακόπουλος, 2009). Στις εικόνες 3.6, 3.7 και 3.8 παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα φαινομένων όξινης απορροής στην περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος.



Εικόνα 3.6 Όξινη απορροή στην έξοδο της στοάς 4. Διακρίνονται οι αποθέσεις κολλοειδών συσσωματωμάτων κυρίως από υδροξειδία του σιδήρου (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.7 Όξινη απορροή στον πυθμένα της λίμνης της ανοικτής εκσκαφής (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.8 Όξινη απορροή απορριμμάτων μεταλλείου Αγίου Φιλίππου. Διακρίνονται οι αποθέσεις νέο-σηματισμένων ένυδρων θειικών αλάτων (Λιακόπουλος, 2009)

3.7.2 Εργοστάσιο Εμπλουτισμού

Το εργοστάσιο εμπλουτισμού μεταλλεύματος της Κίρκης βρίσκεται 5 km νότια του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, στη συμβολή του ρέματος Ειρήνη με το ρέμα Κιρκάλων. Το συγκρότημα του εργοστασίου εμπλουτισμού περιλαμβάνει: i) την πλατφόρμα εκφόρτωσης του μεταλλεύματος από τα βαγονέτα του εναερίου σιδηρόδρομου και το κτίριο θραύσης και λειοτρίβησης του μεταλλεύματος, ii) το τμήμα εμπλουτισμού του μεταλλεύματος με τη μέθοδο της επίπλευσης.

Το μέταλλευμα, λόγω της σύνθετης ορυκτολογικής του σύστασης, ήταν αρκετά δυσκατέργαστο με αποτέλεσμα τον ανεπαρκή διαχωρισμό του. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τις χημικές αναλύσεις διαφόρων συμπυκνωμάτων κατά το διάστημα παραγωγής τους. Αναλύσεις δείχνουν σαφώς ότι το συμπύκνωμα ενός ορισμένου μετάλλου περιείχε μεγάλες ποσότητες και των άλλων μετάλλων, όπως π.χ. το συμπύκνωμα ψευδαργύρου περιείχε μέχρι 14% μόλυβδο ή το συμπύκνωμα χαλκού περιείχε 12,1% ψευδάργυρο και 9,3% μόλυβδο. Ως εκ τούτου μεγάλες ποσότητες μολύβδου, ψευδαργύρου, χαλκού, αρσενικού, καδμίου και άλλων στοιχείων κατέληγαν μαζί με τα χημικά αντιδραστήρια (οργανικά θειούχα άλατα/ξανθάτες, διάφορα έλαια, καυστικό νάτριο, θειούχο νάτριο, θειικός ψευδάργυρος και κυανιούχο νάτριο) στους χώρους εναπόθεσης τελμάτων (Αρίκας κ.ά, 2007).

Τα απόβλητα της διαδικασίας εμπλουτισμού, ο πλούσιος δηλαδή σε μεταλλικά στοιχεία και χημικά αντιδραστήρια πολφός, διοχετευόταν σε μικρές, αβαθείς λεκάνες διαμέτρου 50 έως 130m και βάθους έως 4m περίπου, οι οποίες κατασκευάστηκαν για τον σκοπό αυτό στον περιβάλλοντα του εργοστασίου χώρο. Συνολικά κατασκευάστηκαν οκτώ (8) τέτοιες λεκάνες, από τις οποίες η μία δεν χρησιμοποιήθηκε για απόθεση πολφού, πιθανότατα λόγω τερματισμού της λειτουργίας του μεταλλείου. Οι λεκάνες κατασκευάστηκαν πάνω σε υπόβαθρο αποτελούμενο από πλευρικά κορημάτα, σχηματισμούς της μεταβατικής μολασσικής σειράς και βασικά λατυποκροκαλοπαγή (Λιακόπουλος, 2009).

Καθώς δεν έχει ληφθεί καμία μέριμνα διαχείρισης των επιφανειακών απορροών της ανάντη περιοχής, σε περιόδους βροχοπτώσεων τα επιφανειακά νερά διέρχονται μέσα από τις λεκάνες απόθεσης δημιουργώντας λίμνες. Ως αποτέλεσμα η απορροή επιτείνει τη διάβρωση και τη μεταφορά λεπτόκοκκου υλικού στα ρέματα Κιρκάλων και Ειρήνης, καθώς και τη δημιουργία φαινομένων όξινης απορροής. Η πιο σημαντική ποσότητα ρυπαντών απελευθερώνεται σε στερεή φάση (ίζημα) σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων και διαρρέει μέσω των τελμάτων εμπλουτισμού απευθείας

στον ποταμό Ειρήνη, μεταβάλλοντας σημαντικά την ποιότητα του νερού του υδάτινου σώματος (Liakopoulos et al., 2014).

Συνοψίζοντας, στην άμεση περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού της Κίρκης οι πηγές που κυρίως συνεισφέρουν στη ρύπανση των υδατικών σωμάτων είναι:

- τα τέλματα εμπλουτισμού στις διερρηγμένες λεκάνες απόθεσης,
- τα μεταλλευτικά συμπυκνώματα Pb/Zn,
- οι σωροί ακατέργαστου μεταλλεύματος,
- οι σωροί απορριμμάτων σπαστηροτριβείου
- το πλήθος κατεστραμμένων και σκουριασμένων βαρελιών χημικών αντιδραστηρίων (μεταξύ άλλων και κυανιούχου νατρίου)

Συμπερασματικά, η οξείδωση των θειούχων ορυκτών των τελμάτων και συμπυκνωμάτων οδηγούν στο σχηματισμό όξινης απορροής και, ανάλογα με τις συνθήκες, δευτερογενών προϊόντων (όπως θειικά άλατα) που μπορούν να διαλυτοποιηθούν εύκολα και να εντείνουν την εκπομπή ρυπαντών στο υδρολογικό σύστημα. Τα τοιχώματα των οχτώ λεκανών καθίζησης τελμάτων είναι διαρρηγμένα, με αποτέλεσμα τα τέλματα και τα θειικά άλατα να διαρρέουν στο ρέμα Κιρκάλων και στον παρακείμενο ποταμό Ειρήνη. (Αρίκας κ.ά, 2007).

Στις **εικόνες 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 και 3.13** παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις ανωτέρω πηγές ρύπανσης των υδατικών πόρων της περιοχής του εργοστασίου εμπλουτισμού.



Εικόνες 3.9 & 3.10 Απόψεις των λεκανών (4, 6, 7 και 8) απόθεσης τελμάτων εμπλουτισμού (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.11 Σωροί μεταλλευτικών συμπυκνωμάτων σε πρώην στεγασμένο χώρο αποθήκευσης αυτών (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.12 Σωροί απορριμμάτων εμπλουτισμού (Λιακόπουλος, 2009)



Εικόνα 3.13 Βαρέλια χημικών αντιδραστηρίων (Λιακόπουλος, 2009)

4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΑΓΙΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής του ανενεργού μεταλλείου Άγιος Φίλιππος στο Νομό Έβρου, το οποίο υλοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ κατά το χρονικό διάστημα 2005 - 2007. Στο πλαίσιο του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες και αναλύσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων των επιφανειακών και υπόγειων νερών, με στόχο την αποτύπωση και εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών σωμάτων της περιοχής μελέτης.

Η παρακολούθηση και καταγραφή της ποιοτικής κατάστασης των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων νερών) της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης είναι διαδικασία μεγάλης σημασίας για μια σειρά εργασιών, όπως η εκτίμηση των περιβαλλοντικών πιέσεων στο υδάτινο περιβάλλον της περιοχής αλλά και ο καθορισμός κατάλληλων μέτρων διαχείρισης και αποκατάστασης των ρυπασμένων υδάτων. Βασικός στόχος της καταγραφής και αποτύπωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών συστημάτων της περιοχής ενδιαφέροντος δεν είναι μόνο η απλή καταγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων, αλλά κυρίως η συγκέντρωση επαρκών δεδομένων για την διευκρίνιση των ανθρωπογενών και φυσικών διεργασιών που επηρεάζουν το χημισμό των υδάτων.

Αξίζει να σημειωθεί πως έχει εκπονηθεί σημαντικός αριθμός μελετών για την περιοχή από διάφορες επιστημονικές ομάδες (Αρίκας κ.ά., 2007, Ρωμαΐδης 2007, Παρassiopri et al., 2013, Liakoroulos 2014) οι οποίες θέτουν στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τη ρύπανση των νερών της περιοχής. Οι έρευνες αφορούν κυρίως στα υδρογεωλογικά και υδροχημικά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς η ποιότητα των νερών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της Κίρκης η ύπαρξη του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, λόγω της γεωγραφικής του θέσης αλλά και των επιφανειακών ρεμάτων που διέρχονται από αυτό, αποτελεί πηγή ρύπανσης με σημαντικές επιπτώσεις στη διαμόρφωση των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται αναλυτικά ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος.

4.2 Βασικοί στόχοι προγράμματος παρακολούθησης υδάτινων σωμάτων στην περιοχή του μεταλλείου

Καθώς οι κύριες πηγές ρύπανσης των υδατικών πόρων της περιοχής έχουν ήδη εντοπιστεί, ακολουθεί ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης των νερών. Το ΙΓΜΕ, στο πλαίσιο της διερεύνησης των επιπτώσεων της μεταλλευτικής δραστηριότητας στην περιοχή της Κίρκης, σχεδίασε πρόγραμμα παρακολούθησης που εξετάζει ολοκληρωμένα την υφιστάμενη ποιοτική κατάσταση των νερών της περιοχής, καθορίζοντας τις αναγκαίες παραμέτρους που πρέπει να εμπεριέχονται σε μια πλήρη χημική ανάλυση.

Πέραν της αποτίμησης των υφιστάμενων συνθηκών, το πρόγραμμα θέτει ως βασικό στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις διάφορες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των υδατικών πόρων της περιοχής.

Πιο αναλυτικά, στο πλαίσιο της μελέτης του ΙΓΜΕ (2007), οι βασικοί στόχοι του προγράμματος παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής του ανενεργού μεταλλείου μικτών θειούχων Κίρκης ήταν οι εξής:

- Η εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης της ποσότητας και της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών, τόσο στη στενή περιοχή (υδρολογική λεκάνη ρέματος Κιρκάλων) όσο και στην ευρύτερη (υδρολογική λεκάνη ρέματος Ειρήνης)
- Ο προσδιορισμός των τάσεων διασποράς των ρύπων και ο τρόπος με τον οποίο η ύπαρξη αυτών επιδρά στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτινων σωμάτων της περιοχής
- Η παρακολούθηση και εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την μεταλλευτική δραστηριότητα στο υδάτινο περιβάλλον της περιοχής
- Ο καθορισμός των επιλογών αποκατάστασης των ρυπασμένων νερών

Ο σαφής καθορισμός των στόχων παρακολούθησης και των προς αντιμετώπιση θεμάτων ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής αποτελεί το αρχικό βήμα για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

4.3 Σχεδιασμός του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδάτινων σωμάτων στην περιοχή του μεταλλείου

Με τον καθορισμό των στόχων επέρχεται άμεσα η διαδικασία επιλογής των απαιτούμενων στοιχείων που συνθέτουν ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα παρακολούθησης υδάτων, αλλά και ο τρόπος αξιοποίησης των δεδομένων αυτών. Στην προκειμένη περίπτωση το πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος περιλαμβάνει:

- τον καθορισμό των κατάλληλων μετρούμενων φυσικοχημικών παραμέτρων
- τον καθορισμό των βέλτιστων θέσεων δειγματοληψίας που θα διασφαλίζουν την πραγματική αποτύπωση των περιβαλλοντικών συνθηκών και τέλος,
- τη συχνότητα λήψης των δειγμάτων που θα είναι άμεσα σχετιζόμενη με τις μετρούμενες παραμέτρους και τις ιδιοσυνθήκες της περιοχής ενδιαφέροντος

Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση των προαναφερθέντων παραγόντων (φυσικοχημικές παράμετροι, θέσεις και συχνότητα δειγματοληψίας), οι οποίοι συνθέτουν το πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης των υδατικών πόρων της περιοχής.

4.3.1 Καθορισμός μετρούμενων παραμέτρων

Στο πλαίσιο της επίτευξης των στόχων του προγράμματος παρακολούθησης για την εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υδάτινων σωμάτων της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης, πραγματοποιήθηκαν το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2005 - Ιούλιος 2007 και σε μηνιαία βάση μετρήσεις (Ρωμαΐδης, 2007):

- Παροχής υδατορεμάτων στα επιλεγμένα σημεία κατά μήκος των ρεμάτων Ειρήνης και Κιρκάλων
- Στάθμης νερού, γεωτρήσεων που αντιστοιχούν στην ευρύτερη και στενή περιοχή, καθώς και επιφάνειας νερού στην ανοιχτή εκσκαφή
- Παροχής Πηγών
- Ύψους βροχόπτωσης στο εγκατεστημένο βροχόμετρο
- Φυσικοχημικών παραμέτρων των υδατικών πόρων, καθώς και δειγματοληψίες για χημικές αναλύσεις

Τα διαθέσιμα δεδομένα για την περιοχή ενδιαφέροντος αφορούν στον προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα επιφανειακών και υπόγειων νερών, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στον **πίνακα 4.1**.

Πίνακας 4.1 Φυσικοχημικές παράμετροι προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) περιοχής μελέτης

Κύρια κατιόντα και ανιόντα
Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻
Ιχνοστοιχεία
Ni, Mn, Fe, Cr, Pb, Cu, Zn, As, Cd, Ba, Al, Sb, Co, Bi, Mo, Hg, Se
Φυσικοχημικές παράμετροι
pH, Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC), Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)

4.3.2 Καθορισμός θέσεων δειγματοληψίας

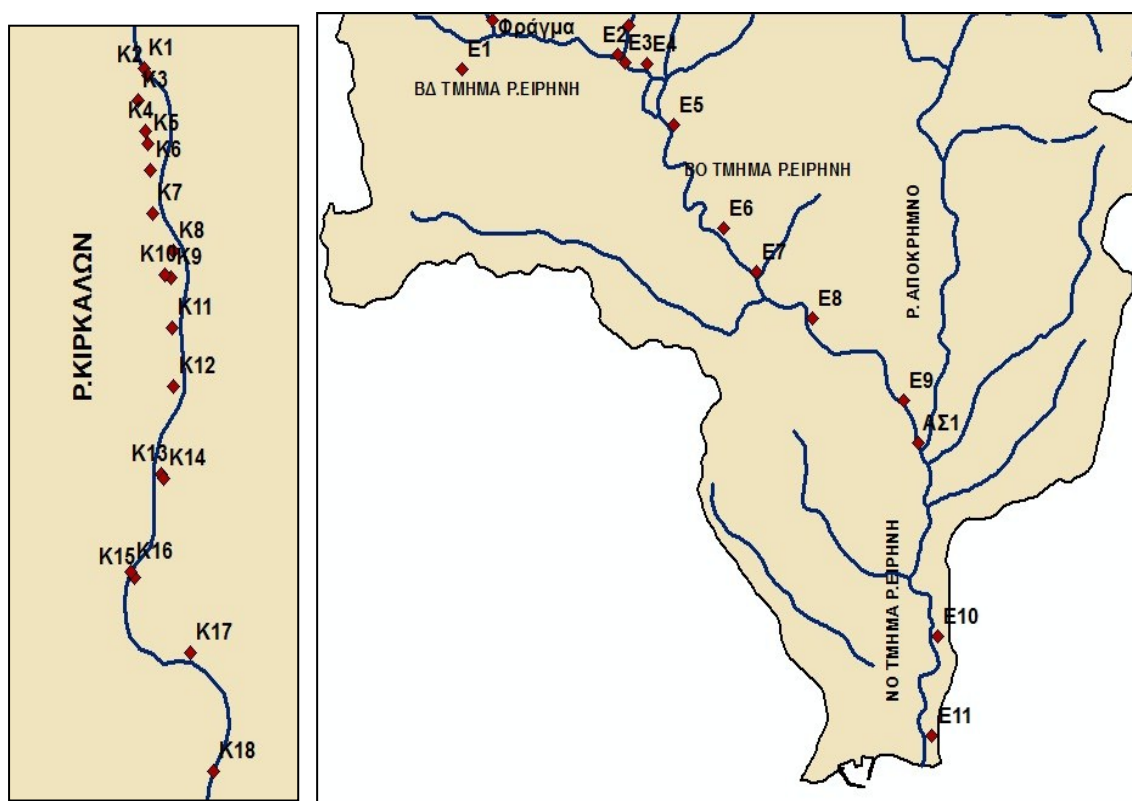
Έχει ήδη αναφερθεί πως για τη λεπτομερή εξέταση των σημειακών πηγών ρύπανσης (όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή μονάδες κατεργασίας) η θέση των σημείων δειγματοληψίας θα πρέπει να βρίσκεται στα κατάντη των εγκαταστάσεων που απορρίπτουν απόβλητα, όπως επίσης και στα ανάντη και κατάντη του σημείου όπου οι σημειακές πηγές εισρέουν στο εξεταζόμενο υδατόρεμα. Με βάση τη θεώρηση αυτή και αξιοποιώντας ταυτόχρονα τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά, υδρολογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα της περιοχής ενδιαφέροντος, καθορίστηκαν οι θέσεις δειγματοληψίας.

Τα διαθέσιμα δεδομένα για την περιοχή ενδιαφέροντος που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αφορούν στις θέσεις δειγματοληψίας των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Οι θέσεις δειγματοληψίας των επιφανειακών νερών της περιοχής είναι σημειακά χωροθετημένες στα δύο κύρια υδατορέματα της Ειρήνης και των Κιρκάλων ως σημεία υδροληψίας (**πίνακας 4.2**), ενώ οι θέσεις δειγματοληψίας των υπόγειων νερών έχουν προσδιοριστεί σημειακά από συγκεκριμένα υδροληπτικά έργα (γεωτρήσεις) και πηγές. Στην ομάδα αυτή συμπεριλήφθηκαν γεωτρήσεις και πηγές που χρησιμοποιούνται για ύδρευση της Αλεξανδρούπολης, του Άβαντα και της Κίρκης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων στις ανωτέρω θέσεις παρουσιάζονται και αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Πιο συγκεκριμένα, το ρέμα Κιρκάλων, με δεδομένο τον χαρακτήρα του επιφανειακού άξονα αποστράγγισης της λεκάνης απορροής του και τη διέλευσή του από το παλαιό μεταλλείο θεωρήθηκε ως κρίσιμο πεδίο διερεύνησης. Στο ρέμα Κιρκάλων επιλέχθηκε από το ΙΓΜΕ η διαδικασία της διαφορικής παρατήρησης επί μήκους 6km, με την επιλογή 19 κύριων σημείων παρακολούθησης (Κ1 - Κ19).

Η ίδια διαδικασία επιλέχθηκε από το ΙΓΜΕ για το ρέμα Ειρήνη, δεδομένου ότι είναι ο αποδέκτης του ρέματος Κιρκάλων αλλά και της σχηματιζόμενης ρύπανσης από την περιοχή του εργοστάσιου εμπλουτισμού. Σε συνολικό μήκος 21km του ρέματος επιλέχθηκαν 12 σημεία παρατήρησης (Ε1 - Ε12), εκ των οποίων τα δύο ανάντη της συμβολής με το ρέμα Κιρκάλων και τα υπόλοιπα κατάντη μέχρι της εκβολής στη θάλασσα ανατολικά της Αλεξανδρούπολης.

Στα **σχήματα 4.1 και 4.2** παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας των επιφανειακών νερών της περιοχής ενδιαφέροντος.



Σχήματα 4.1 & 4.2 Σημεία δειγματοληψίας των ρεμάτων Κιρκάλων και Ειρήνη (Ιδία επεξεργασία δεδομένων από geodata.gov.gr και ΙΓΜΕ)

Συμπερασματικά, οι θέσεις των σημείων δειγματοληψίας στην περιοχή ενδιαφέροντος χωροθετούνται έτσι ώστε να καλύπτουν όλο το μήκος των κύριων υδατορεμάτων Κιρκάλων και Ειρήνης και να βρίσκονται έτσι σε σημεία ανάντη και κατάντη των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων και των δυναμικών πηγών ρύπανσης. Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων στις θέσεις αυτές, επιτρέπουν τη σύγκριση της ποιότητας των επιφανειακών νερών στα σημεία ανάντη και κατάντη των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων και την παρακολούθηση των τάσεων διασποράς των ρυπογόνων παραγόντων καθ' όλο το μήκος του εκάστοτε υδατορέματος.

Στον **πίνακα 4.2** παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία για τα παραπάνω σημεία δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα δίνονται οι κωδικοί των δειγμάτων, οι συντεταγμένες τους στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87 και η περιγραφή των θέσεων δειγματοληψίας σε σχέση με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και τις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις.

Πίνακας 4.2 Αναλυτική περιγραφή θέσεων δειγματοληψίας επιφανειακών νερών

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΣΗΣ
	x	y	
K1	653071,9171	4541927,708	Απορροή επιφανειακών νερών ρέματος Κιρκάλων μέσα από σωρούς υπολειμμάτων εκμετάλλευσης (μπάζα)
K2	653096,9767	4541883,924	Ρέμα Κιρκάλων - Κατάντη μεταλλείου Αγ.Φιλίππου
K3	653030,6482	4541729,497	Ρέμα Κιρκάλων - Κατάντη μεταλλείου Αγ.Φιλίππου
K4	653087,6119	4541548,723	Στοά αποστράγγισης 4
K5	653104,4678	4541473,739	Ρέμα Κιρκάλων
K6	653117,8371	4541313,311	Ρέμα Κιρκάλων
K7	653131,2064	4541048,835	Ρέμα Κιρκάλων
K8	653278,8491	4540818,654	Ρέμα Κιρκάλων
K9	653260,8287	4540658,803	Παράπλευρο ρέμα
K10	653218,3953	4540675,079	Ρέμα Κιρκάλων
K11	653271,5672	4540351,112	Ρέμα Κιρκάλων
K12	653279,0444	4539993,378	Ρέμα Κιρκάλων
K13	653196,6668	4539460,993	Φράγμα
K14	653208,865	4539436,565	Μετά το φράγμα
K15	653008,5607	4538836,537	Ρέμα Κιρκάλων
K16	652978,916	4538872,574	Παράπλευρο ρέμα
K17	653394,5427	4538382,203	Ρέμα Κιρκάλων
K18	653556,9339	4537660,566	Ρέμα Κιρκάλων
E1	649907,6128	4536778,489	ΒΔ τμήμα Ρέματος Ειρήνη πριν τη συμβολή με το ρέμα Κιρκάλων - Ανάντη των κύριων πηγών ρύπανσης
E2	653314,4217	4537069,299	ΒΔ τμήμα Ρέματος Ειρήνη πριν τη συμβολή με το ρέμα Κιρκάλων - Ανάντη των κύριων πηγών ρύπανσης
E3	653457,7573	4536924,202	Ρέμα Ειρήνη - Κατάντη του εργοστασίου εμπλουτισμού
E4	653942,0717	4536894,527	Ρέμα Ειρήνη - Κατάντη του εργοστασίου εμπλουτισμού
E5	654526,8456	4535681,671	Βόρειο τμήμα Ρέματος Ειρήνη
E6	655602,098	4533612,556	Βόρειο τμήμα Ρέματος Ειρήνη
E7	656327,0749	4532745,551	Βόρειο τμήμα Ρέματος Ειρήνη
E8	657530,9673	4531814,808	Βόρειο τμήμα Ρέματος Ειρήνη
E9	659520,5316	4530176,191	Βόρειο τμήμα Ρέματος Ειρήνη
ΑΣ1	659832,0276	4529322,035	Αϋσίνη ρέμα/παραπόταμος Ειρήνης
E10	660261,914	4525471,735	Νότιο τμήμα κάτω ρου Ρέματος Ειρήνη
E11	660141,3836	4523472,914	Νότιο τμήμα κάτω ρου Ρέματος Ειρήνη

4.3.3 Συχνότητα δειγματοληψίας

Ο καθορισμός της συχνότητας δειγματοληψίας για τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων, εξάγεται με βάση τις ιδιαίτερες συνθήκες της περιοχής ενδιαφέροντος (χρήσεις γης, γεωλογία, κλίμα). Κομβικό ρόλο στην επιλογή των περιόδων δειγματοληψίας διαδραματίζει και η όσο το δυνατόν πιστότερη αποτύπωση των υδρογεωλογικών και υδρολογικών συνθηκών, βασιζόμενη στη διάρκεια των υγρών και ξηρών περιόδων.

Στο πλαίσιο αυτό και για να προσδιορισθεί ο ποιοτικός χαρακτήρας των υδάτων, πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ δειγματοληψίες στα επιφανειακά και υπόγεια νερά της στενής και ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κίρκης, που καλύπτουν τόσο την ξηρά (Ιούνιο - Σεπτέμβριο) όσο και την υγρή περίοδο. Συγκεκριμένα, για το χρονικό διάστημα Ιούνιος 05 - Ιούλιος 06 πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά τη διάρκεια του έτους με τακτική λήψη μηνιαίων δειγμάτων.

Τα διαθέσιμα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία αφορούν σε μια σειρά δειγματοληψιών των επιφανειακών νερών της περιοχής ενδιαφέροντος κατά τους μήνες Ιούνιο 2005 και Δεκέμβριο 2005. Αντίστοιχα αξιοποιήθηκαν δεδομένα για δείγματα υπόγειων νερών, τα οποία λήφθηκαν το μήνα Δεκέμβριο 2005.

Τα διαθέσιμα δεδομένα είναι αρκετά περιορισμένα για την τεκμηριωμένη εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής και δεν καλύπτουν επαρκώς τους στόχους του προγράμματος παρακολούθησης. Τα υπάρχοντα δεδομένα, τα οποία θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω σε αντίστοιχους πίνακες, είναι αντιπροσωπευτικά της ξηράς περιόδου (Ιούνιος 05) και της υγρής περιόδου (Δεκέμβριος 05). Η σύγκρισή τους με διεθνή περιβαλλοντικά πρότυπα επιτρέπει την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος στο δεδομένο χώρο και χρόνο.

4.3.4 Περιβαλλοντικά πρότυπα

Για την ποιοτική αξιολόγηση των *επιφανειακών νερών*, οι μετρούμενες παράμετροι συγκρίθηκαν με τα παρακάτω περιβαλλοντικά πρότυπα:

- Τις προδιαγραφές για το πόσιμο νερό (ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295 ΦΕΚ 630/Β/26.04.2007)

- Τις κατευθυντήριες τιμές για τα ύδατα άρδευσης, προτεινόμενες από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Ayers και Westcot, 1985)
- Τα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας για επιφανειακά ύδατα (Υ.Α. 51354/2641/Ε103/2010)

Αντίστοιχα, για την ποιοτική αξιολόγηση των *υπόγειων νερών*, οι μετρούμενες παράμετροι συγκρίθηκαν με τα παρακάτω περιβαλλοντικά πρότυπα:

- Τις προδιαγραφές για το πόσιμο νερό (ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295 ΦΕΚ 630/Β/26.04.2007)
- Τις κατευθυντήριες τιμές για τα ύδατα άρδευσης, προτεινόμενες από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Ayers και Westcot, 1985)

Στον **πίνακα 4.3** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κριτήρια ποιότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) της περιοχής ενδιαφέροντος.

Πίνακας 4.3 Όρια ποιότητας νερού για την αξιολόγηση των υδατικών πόρων της περιοχής (Αδάμ, 2011)

Παράμετρος	Μονάδες	Πόσιμο νερό. ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ 38295 (ΦΕΚ 630/Β/26-4-2007)		ΥΑ 51354/2641/Ε103/2010 ΦΕΚ 1909/Β/8-12-2010)- Προσδιορισμός των Περιβαλλοντικών Προτύπων Ποιότητας (ΠΠΠ) για επιφανειακά ύδατα		Συνιστώμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά νερών για άρδευση, κατά Ayers και Westcot (FAO 1985)
		Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτερο Επιτρεπτό	ΕΜΣ ⁵ -ΠΠΠ Επιφανειακών Υδάτων	ΜΕΣ ⁶ - ΠΠΠ Επιφανειακών Υδάτων	Ανώτερο Όριο
pH		≥6,5 και ≤9,5				6,5 - 8
Αγωγιμότητα	μS/cm	2500				700
Αιωρούμενα στερεά	mg/L					450
NH ₄ ⁺	mg/L	0,50				
NO ₃	mg/L		50			5 (σαν N)
NO ₂	mg/L		0,50 ⁷			
HCO ₃ ⁻	mg/L					92
SO ₄	mg/L	250	250			
Sb	mg/L		5,0			
Al	μg/l	200				5000
As	μg/l		10	30		100
V	μg/l					100
B	μg/l		1,0			700
Br	μg/l		10			
Be	μg/l					100
Cd	μg/l		5,0	(Κατηγορία 1) <0,08 (Κατηγορία 2) 0,08 (Κατηγορία 3) 0,09 (Κατηγορία 4) 0,15 (Κατηγορία 5) 0,25 ⁸	(Κατηγορία 1) <0,45 (Κατηγορία 2) 0,45 (Κατηγορία 3) 0,60 (Κατηγορία 4) 0,90 (Κατηγορία 5) 1,50	10
K	mg/L		12			
Co	μg/l			20		50
CN	μg/l		50	10		
Li	mg/L					2,5
Mn	μg/l	50				200
Mo	μg/l			4,4		10
Pb	μg/l		10	7,2	Δεν εφαρμόζεται	5000
Na	mg/L	200				
- απορρόφηση από ρίζες	mg/L					70
- απορρόφηση από φύλλα	mg/L					92
Ni	μg/l		20	20	Δεν εφαρμόζεται	200
Se	μg/l		10	5		20
Fe	μg/l	200				5000
Hg	μg/l		1,0			
C ₆ H ₅ OH	μg/l			8		
F	μg/l		1500			1000
P ₂ O ₅	mg/L		5			
Cu	μg/l		2,000	3-26 ⁹		200
Cl	mg/L	250				
- απορρόφηση από ρίζες	mg/L					142
- απορρόφηση από φύλλα	mg/L					107
Cr	μg/l		50	23-50 ¹⁰		100
Cr ⁶⁺	μg/l		3			
Zn	μg/l			8-125 ¹¹		2000
Color	ppm Pt	Αποδεκτό για καταναλωτές				

⁵ ΕΜΣ: Ετήσια Μέση Συγκέντρωση.

⁶ ΜΕΣ: Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση

⁷ Για εγκαταστάσεις επεξεργασίας 0, 10 mg/l

⁸ Για το κάδμιο και τις ενώσεις του οι τιμές ΠΠΠ κυμαίνονται ανάλογα με τη σκληρότητα του ύδατος, όπως ορίζεται στις πέντε κατηγορίες κατάταξης (Κατηγορία 1: < 40 mg CaCO₃/l, Κατηγορία 2: 40 έως < 50 mg CaCO₃/l, Κατηγορία 3: 50 έως < 100 mg CaCO₃/l, Κατηγορία 4: 100 έως < 200 mg CaCO₃/l και Κατηγορία 5: ≥ 200 mg CaCO₃/l)

⁹ 3 (<40 mgCaCO₃/l), 6 (40-50 mgCaCO₃/l), 9 (50-100 mgCaCO₃/l), 17 (100-200 mgCaCO₃/l), 26 (>200 mgCaCO₃/l)

¹⁰ 23 (<40 mgCaCO₃/l), 42 (40-50 mgCaCO₃/l), 50 (>50 mgCaCO₃/l)

¹¹ 8 (<50 mgCaCO₃/l), 50 (50-100 mgCaCO₃/l), 75 (100-200 mgCaCO₃/l), 125 (>200mgCaCO₃/l)

5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΑΓΙΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

5.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων επιφανειακών νερών ρέματος Κιρκάλων

Στον **πίνακα 5.1** παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων, για κάθε σειρά δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκαν στα επιφανειακά νερά του ρέματος Κιρκάλων, ενώ με διαφορετικά χρώματα σημειώνονται οι υπερβάσεις των τιμών αυτών συγκρινόμενες (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) με:

- Τις προδιαγραφές για το πόσιμο νερό (ΦΕΚ 360/Β/26.04.2007)
- Τις κατευθυντήριες τιμές για τα ύδατα άρδευσης, προτεινόμενες από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Ayers και Westcot, 1985)
- Τα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας για επιφανειακά ύδατα (Υ.Α.51354/2641/Ε103/2010)

5.1.1 Ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τα επιφανειακά νερά του ρέματος Κιρκάλων

Από τον πίνακα 5.1 προκύπτουν οι εξής διαπιστώσεις:

Το σημείο δειγματοληψίας K0 ανήκει στα λιμνάζοντα νερά της ανοικτής εκσκαφής στο παλαιό μεταλλείο Άγιος Φίλιππος. Στο εν λόγω σημείο παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις **Ni: 970 µg/l, Mn: 72.000 µg/l, Fe: 88.000 µg/l, Cr: 39 µg/l, Pb: 750 µg/l, Cu: 13.000 µg/l, Zn: 240.000 µg/l, Cd: 2.400 µg/l** και **Al: 34.200 µg/l**. Το pH ισούται με **2,94**. Ιδιαίτερα αυξημένη είναι η συγκέντρωση θειικών ιόντων **SO₄²⁻: 1.249 mg/l**. Οι ως άνω τιμές των μετρούμενων παραμέτρων επιβεβαιώνουν τον χαρακτήρα της όξινης απορροής και θέτουν την λίμνη της ανοικτής εκσκαφής ως μία άμεση πηγή ρύπανσης των επιφανειακών νερών της περιοχής.

Το σημείο K1 ανήκει στην απορροή των μεταλλευτικών στείρων και τα αποτελέσματα των τιμών των μετρούμενων παραμέτρων δίνουν και στην προκειμένη περίπτωση υψηλές συγκεντρώσεις **Ni: 1.000 µg/l, Mn: 190.000 µg/l, Fe: 1.080 µg/l, Pb: 1.440 µg/l, Cu: 4.200 µg/l, Zn: 160.000 µg/l**, και **Cd: 1.400 µg/l**. Στη θέση αυτή παρατηρούνται επιπλέον ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις **SO₄²⁻**. Οι τιμές επιδεικνύουν άλλη μία σημαντική εστία ρύπανσης των υδάτων της περιοχής.

Κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων λαμβάνονται δείγματα στα σημεία K2 και K3 κατάντη του μεταλλείου, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή οξύτητα με χαμηλότερη μετρημένη τιμή **pH** ίση με **3,5**. Παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι συγκεντρώσεις **Mn: 182.000 µg/l, Pb: 1.450 µg/l, Zn: 150.000 µg/l** και **Cd: 1.330 µg/l** στο σημείο K2 τον Δεκέμβριο 2005. Παράλληλα, στα δείγματα αυτά καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων **SO₄²⁻** με μέγιστη τιμή **1.201 mg/l**.

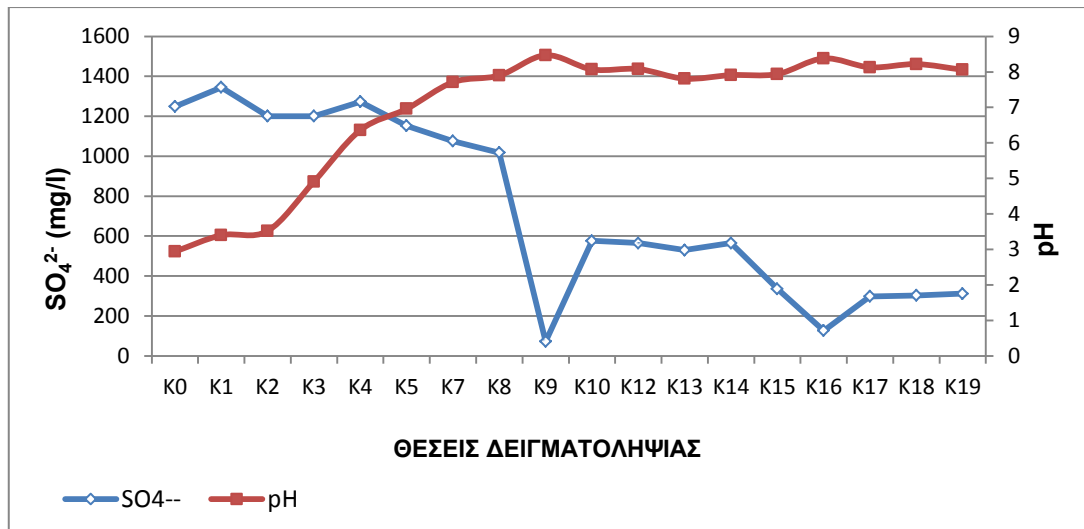
Στη θέση K4 για την περίοδο του Ιουνίου 2005 σημειώνεται η μέγιστη συγκέντρωση θειικών ιόντων **SO₄²⁻: 1.420 mg/l**. Τα νερά στη θέση αυτή είναι λιγότερο όξινα με **pH** ίσο με **6,4** και έτσι δεν περιέχουν διαλυμένα μέταλλα Fe και Al, τα οποία έχουν ήδη καθιζάνει από το υδατικό διάλυμα (Papassiopri et al., 2013). Ωστόσο, οι τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων **Mn, Zn** και **Cd** παραμένουν σε σχετικά υψηλά επίπεδα και είναι ίσες με **33.800 µg/l, 48.300 µg/l** και **92 µg/l** αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό εντοπίζεται η υψομετρικά χαμηλότερη στοά αποστράγγισης του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, η οποία διανοίχθηκε για την αποστράγγιση των υπερκείμενων στοών εξόρυξης και είναι γνωστή ως στοά 4.

Η συνεχής εκροή νερού της στοάς 4 προκαλεί σταθερά σημαντική επιβάρυνση στα επιφανειακά νερά του ρέματος Κιρκάλων.

Στα σημεία δειγματοληψίας K5, K6, K7 και K8 παρατηρούνται ιδιαίτερα αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων και συγκεκριμένα τα νερά από τα σημεία K5 και K6 κατάντη του μεταλλείου μπορούν να θεωρηθούν ως τυπικά της απορροής του μεταλλείου. Από το σημείο K7 έως και το σημείο K19 η ποιότητα των νερών αυτών αντικατοπτρίζει τη σταδιακή αραίωση και απορρύπανση των ρυπασμένων νερών της λεκάνης, εξαιτίας της ανάμειξής τους με καθαρές απορροές υδάτων. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί πως στα σημεία K9 και K16 παρατηρούνται οι μικρότερες καταγεγραμμένες τιμές συγκέντρωσης των μετρούμενων παραμέτρων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι συγκεντρώσεις **Ni < 5 µg/l**, **Mn: 16 µg/l**, **Fe < 100 µg/l** και **SO₄²⁻: 72,5 mg/l** στο σημείο K9. Αυτό συμβαίνει καθώς τα νερά από τα σημεία K9 και K16 είναι παράπλευρα ρέματα που εισέρχονται στο ρέμα Κιρκάλων. Ως εκ τούτου αποτελούν νερά που δεν έχουν υποστεί επιβάρυνση από τις απορροές του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος.

Ανιόντα – Κατιόντα – Διάγραμμα Piper

Γενικά, από πλευράς ανιόντων παρατηρείται πως ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις καταγράφονται κυρίως στα θειικά ιόντα (**SO₄²⁻**), οι οποίες κυμαίνονται από **72,5 mg/l - 1.420 mg/l**. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις **SO₄²⁻** στα υδροσημεία κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων κρίνονται αναμενόμενες, λαμβάνοντας υπόψη τη διάλυση των θειούχων ορυκτών που σχετίζονται με την εκτεταμένη πολυμεταλλική μεταλλοφορία που απαντάται στην περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος. Για την γραφική απεικόνιση των δεδομένων παρουσιάζεται το **σχήμα 5.1**, όπου συσχετίζονται η συγκέντρωση των θειικών ιόντων **SO₄²⁻** και το **pH** των επιφανειακών νερών κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων για τα δείγματα που λήφθηκαν κατά το Δεκέμβριο 2005. Οι δύο μετρούμενες παράμετροι ακολουθούν μια αντιστρόφως ανάλογη πορεία, ως και αναμένεται.



Σχήμα 5.1 Συσχέτιση συγκεντρώσεων SO_4^{2-} - pH σε δείγματα Δεκεμβρίου 2005 κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων

Όπως φαίνεται στο **σχήμα 5.1** πραγματοποιείται σταδιακή μείωση της συκέντρωσης των θειικών ιόντων κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων, γεγονός που παρατηρείται και στα δείγματα που λήφθηκαν στις αντίστοιχες θέσεις κατά την ξηρή περίοδο του Ιουνίου 2005. Η μείωση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στην αραίωση λόγω τροφοδοσίας, κυρίως από τα υποπαράλληλα ρέματα που συμβάλλουν στο ρέμα Κιρκάλων στα σημεία K9 και K16.

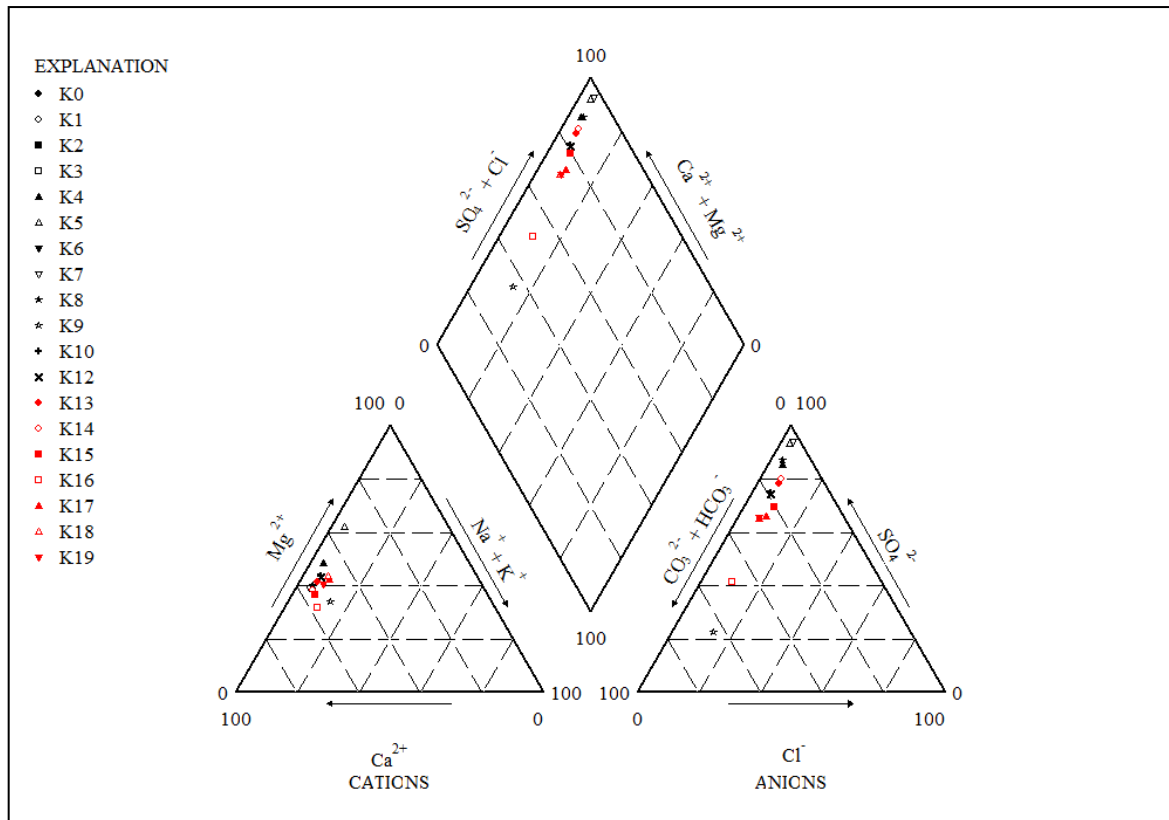
Επιπλέον, στα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) παρατηρούνται συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από **36,6 mg/l - 265mg/l**. Το περιεχόμενο HCO_3^- σε έναν αριθμό δειγμάτων παρουσιάζει μια μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σημειώνονται, σε αντίθεση με τα θειικά ιόντα, στα σημεία των παράπλευρων ρεμάτων K9 και K16. Οι συγκεντρώσεις HCO_3^- μπορεί να προέρχονται από τη διάλυση ανθρακικών ορυκτών αλλά και από την αναγωγή των θειικών ιόντων (SO_4^{2-}), η οποία πραγματοποιείται μέσω της αποσύνθεσης του οργανικού υλικού. Άλλη πηγή των όξινων ανθρακικών ιόντων αποτελεί το ατμοσφαιρικό CO_2 (Κελεπερτζής, 2010).

Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων (Cl^-) στα συλλεχθέντα δείγματα νερού κυμαίνονται από **23 mg/l - 56,74 mg/l**. Σε κάθε περίπτωση, οι μετρούμενες συγκεντρώσεις είναι πολύ χαμηλότερες από την ενδεικτική παραμετρική τιμή των 250 mg/l για πόσιμο νερό. Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις Cl^- προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Τα κύρια κατιόντα, τα οποία συμβάλλουν με τη σειρά τους στο χημισμό των επιφανειακών νερών του ρέματος Κιρκάλων είναι αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}) με συγκεντρώσεις **57,79 mg/l - 344,69 mg/l** ενώ έπονται αυτά του μαγνησίου (Mg^{2+}) και του νατρίου (Na^+). Ειδικά για το **Ca** και **Mg** λαμβάνονται υπόψη τα ενδεικτικά επίπεδα συγκεντρώσεων που αναφέρονται στην οδηγία 80/778/ΕΟΚ και είναι αντίστοιχα 100 mg/l και 50 mg/l. Όλα τα δείγματα, εκτός των Κ9 και Κ16, και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας χαρακτηρίζονται από τιμές συγκεντρώσεων **Ca** και **Mg** υψηλότερες από τα ενδεικτικά επίπεδα της Οδηγίας. Οι υψηλές συγκεντρώσεις **Ca** και **Mg** συνδέονται με τον κατώτερο ορίζοντα μαρμάρων της Φυλλιτικής Σειράς και θα μπορούσαν να αποδοθούν στην παρουσία δύο βασικών ορυκτών που περιέχονται στη ζώνη αυτή, του ασβεστίτη (CaCO_3) και δολομίτη ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Για τη γραφική απεικόνιση του χημισμού των υδάτων χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα Piper. Τα διαγράμματα Piper αποτελούν ένα συνδυασμό τριγωνικών διαγραμμάτων ανιόντων και κατιόντων, και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις υδρογεωχημικές έρευνες προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την προέλευση δειγμάτων νερών καθορίζοντας ομοιότητες και διαφορές μεταξύ τους. Με βάση τα διαγράμματα αυτά προκύπτει και ο χημικός τύπος του νερού, ανάλογα με τα ποσοστά των επικρατούντων ιόντων (Κελεπερτζής, 2010).

Ο χημισμός των δειγμάτων νερού στις θέσεις Κ0 - Κ19 κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων για την περίοδο Δεκεμβρίου 2005 αποδίδονται σε αντίστοιχο διάγραμμα Piper (**σχήμα 5.2**). Όπως παρατηρείται, τα δείγματα του ρέματος Κιρκάλων ανήκουν στον Ca - SO_4 χημικό τύπο. Ως εκ τούτου χαρακτηρίζονται από την καθολική επικράτηση των θειικών ιόντων SO_4^{2-} (>80%) στη χημική τους σύσταση όσον αφορά στα ανιόντα, το συνεπακόλουθο χαμηλό ποσοστό συμμετοχής των HCO_3^- (<40%) και το υψηλό ποσοστό συμμετοχής του αθροίσματος Ca^{2+} και Mg^{2+} (>60%). Η διαφοροποίηση των δειγμάτων στις θέσεις Κ9 και Κ16 είναι εμφανής, καθώς τα νερά των εν λόγω θέσεων ανήκουν στον χημικό τύπο Ca - HCO_3 και χαρακτηρίζονται από την καθολική επικράτηση των όξινων ανθρακικών ιόντων HCO_3^- . Τα νερά στις θέσεις αυτές αποτελούν ύδατα παράπλευρων ρεμάτων και ως εκ τούτου παραμένουν ανεπηρέαστα από την εκτεταμένη θειούχο μεταλλοφορία.



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα Piper για το χαρακτηρισμό των νερών του ρέματος Κιρκάλων (Ιδία επεξεργασία από δεδομένα ΙΓΜΕ)

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) - TDS

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η οποία αποτελεί έναν από τους σημαντικούς δείκτες της ποιότητας των νερών, στις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις παρουσιάζει εύρος τιμών από **576 - 2270 $\mu\text{S}/\text{cm}$** . Οι μικρότερες εξ αυτών, έως και $595 \mu\text{S}/\text{cm}$, αφορούν σε δείγματα των σημείων K9 και K16 (παράπλευρα ρέματα) που λήφθηκαν κατά την υγρή περίοδο του Δεκεμβρίου 2005, ενώ η μέγιστη τιμή εντοπίζεται στο σημείο K0 των νερών της λίμνης ανοικτής εκσκαφής. Είναι εμφανές πως κατά την διάρκεια της υγρής περιόδου δειγματοληψίας οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζονται συστηματικά χαμηλότερες σε σχέση με αυτές της ξηράς περιόδου. Αυτό συμβαίνει καθώς οι μεγάλες τιμές παροχής του ρέματος κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου συνεπάγονται τη φυσική αραιώση των διαλυμένων κύριων ιόντων.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με τη φύση και την ποσότητα των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (T.D.S) εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κolloειδή και τα διαλυμένα αέρια.

Δηλαδή το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με την εμπειρική σχέση $T.D.S (mg/l) = A * (EC) (\mu S/cm)$, όπου $A = 0,54 - 0,96$ (συνήθως μεταξύ $0,55 - 0,76$) (Κελεπερτζής 2010). Ως εκ τούτου η διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων και η διακύμανση των τιμών των T.D.S είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία

Στα σημεία K0 και K1 οι μετρούμενες συγκεντρώσεις **Fe** είναι αρκετά υψηλότερες της ενδεικτικής παραμετρικής τιμής των 200 $\mu g/l$ που τίθεται από τη σχετική Οδηγία για το πόσιμο νερό. Αυτό ισχύει και για τα υδροσημεία K4, K5 και K6 κατόπιν των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων για τα συλλεχθέντα δείγματα της ξηράς περιόδου. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις **Fe** μπορούν να αποδοθούν στη διαλυτοποίηση του σιδηροπυρίτη (FeS_2) που αποτελεί βασικό ορυκτό του πολυμεταλλικού κοιτάσματος του Αγίου Φιλίππου. Για τα υπόλοιπα δείγματα οι τιμές των συγκεντρώσεων **Fe** είναι αρκετά χαμηλότερες ($<100 \mu g/l$) από τα τιθέμενα όρια για τα επιφανειακά νερά.

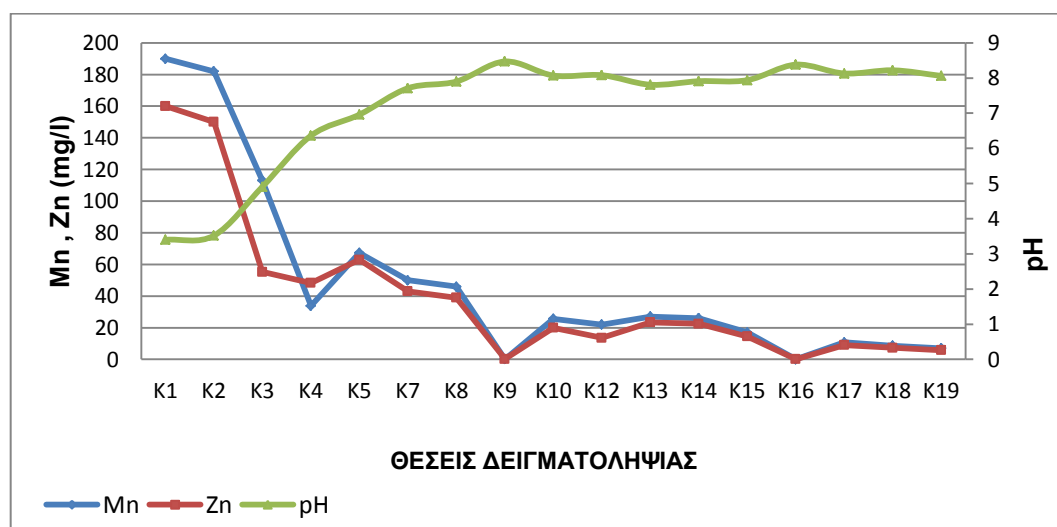
Οι συγκεντρώσεις **Ni** στα δείγματα κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε σχέση με το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 20 $\mu g/l$ που τίθεται από τη σχετική Οδηγία. Η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στο σημείο K1 και είναι ίση με 1000 $\mu g/l$. Σε ορισμένα δείγματα, συμπεριλαμβανομένων και των υδροσημείων των παράπλευρων ρεμάτων K9 και K16, οι τιμές των συγκεντρώσεων **Ni** είναι αρκετά χαμηλότερες ($<5 \mu g/l$) από τα τιθέμενα όρια για τα επιφανειακά νερά.

Οι συγκεντρώσεις **Pb** και **Cu** στα δείγματα του ρέματος Κιρκάλων δεν υπερβαίνουν συστηματικά τις ανώτερες επιτρεπτές τιμές των 10 $\mu g/l$ και των 2000 $\mu g/l$ αντίστοιχα. Η διαλυτοποίηση ορυκτών (όπως γαληνίτη (ZnS)) που σχετίζονται με την πρωτογενή μεταλλοφορία προσδίδουν στα νερά των σημείων K0, K1, K2 και K3 υψηλές τιμές συγκεντρώσεων **Pb** και **Cu**. Από το σημείο K9 και κατόπιν του ρέματος έως το σημείο K19, οι συγκεντρώσεις των εν λόγω μετάλλων παραμένουν σε πολύ χαμηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες.

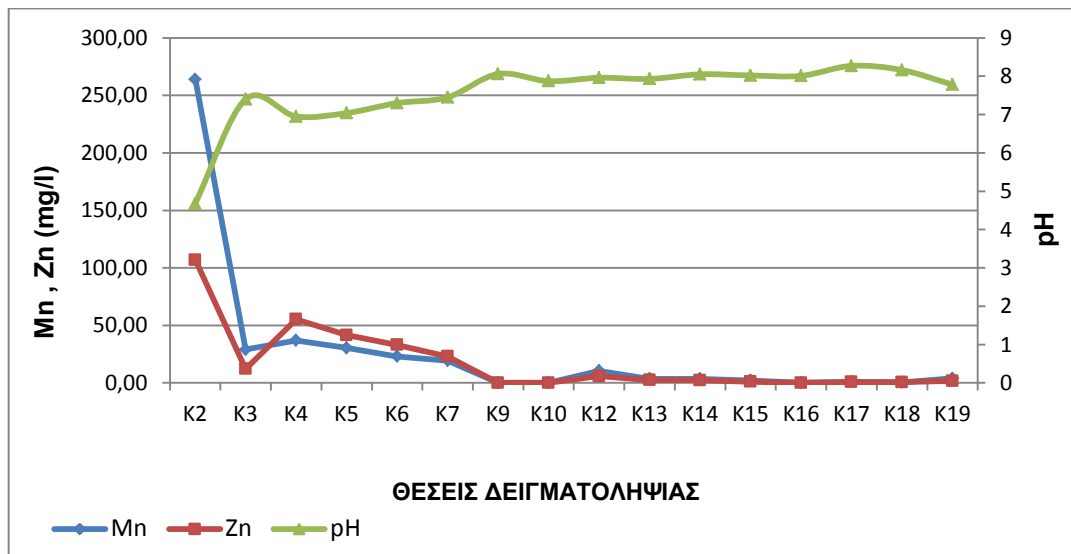
Για τα ιχνοστοιχεία **Mn** και **Zn** (σχήματα 5.3 και 5.4) καταγράφονται αρχικά πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, οι οποίες υπερβαίνουν συστηματικά τις οριακές τιμές των 200 $\mu g/l$ και 2000 $\mu g/l$ αντίστοιχα για τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για άρδευση. Οι συγκεντρώσεις αυτές μειώνονται σταδιακά στις αντίστοιχες θέσεις δειγματοληψίας κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων προς τα κατόπιν. Οι υψηλές συγκεντρώσεις Mn και Zn στα σημεία δειγματοληψίας κατόπιν των μεταλλευτικών

εγκαταστάσεων κρίνονται κατανοητές, λαμβάνοντας υπόψη την μεταλλοφορία της περιοχής. Συγκεκριμένα, ο σφαλερίτης (ZnS) αποτελεί ένα από τα κύρια ορυκτά της πρωτογενούς μεταλλοφορίας και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή διαλυτότητα, προσδίδοντας στα νερά του ρέματος υψηλές τιμές συγκεντρώσεων Zn σε σχέση με τα θεσμοθετημένα όρια. Επιπλέον, οι υψηλές συγκεντρώσεις Zn στις θέσεις K1 και K2 μπορούν να αποδοθούν στην αλληλεπίδραση μεταξύ μεγάλων ποσοτήτων νερού και των σωρών των μεταλλευτικών απορριμμάτων. Η μείωση των συγκεντρώσεων αυτών κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων θα μπορούσε και σε αυτή την περίπτωση να αποδοθεί στην αραίωση των νερών από παράπλευρες εισροές, αλλά και στην μερική αναχαίτιση της ρύπανσης από την καθίζηση του λεπτόκοκκου υλικού και τη συγκράτηση των φερτών υλικών, λόγω της λειτουργίας του μικρού φράγματος στη θέση K13.

Όπως φαίνεται στα **σχήματα 5.3 και 5.4**, στη θέση δειγματοληψίας K1 για την περίοδο Δεκεμβρίου 2005 παρατηρείται η μέγιστη συγκέντρωση Mn ίση με 190 mg/l. Στη θέση K2 οι συγκεντρώσεις Mn παραμένουν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα και λαμβάνουν τις τιμές 182 mg/l και 264 mg/l στα δείγματα Δεκεμβρίου 05 και Ιουνίου 05 αντίστοιχα. Στην ίδια θέση δειγματοληψίας K2 καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις Zn, ίσες με 150 mg/l και 107 mg/l στα δείγματα Δεκεμβρίου 05 και Ιουνίου 05 αντίστοιχα. Ειδικότερα, για τα δείγματα της ξηράς περιόδου (Ιουνίου) παρατηρείται μια αρχικά κατακόρυφη μείωση των συγκεντρώσεων των Mn και Zn μεταξύ των σημείων K2 και K3. Οι συγκεντρώσεις των Mn και Zn παραμένουν, από το σημείο K9 και μέχρι το τελικό σημείο δειγματοληψίας K19, σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα (**σχήμα 5.4**).



Σχήμα 5.3 Συσχέτιση συγκεντρώσεων Mn, Zn - pH σε δείγματα Δεκεμβρίου 2005 κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων



Σχήμα 5.4 Συσχέτιση συγκεντρώσεων Mn, Zn - pH σε δείγματα Ιουνίου 2005 κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων

Από τα σχήματα 5.3 και 5.4 παρατηρείται πως οι αυξημένες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Mn και Zn αντιστοιχούν σε δείγματα επιφανειακών νερών που χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές pH, δηλαδή υψηλή οξύτητα. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών αποδεικνύουν την εμφάνιση του φαινομένου της όξινης απορροής στις αντίστοιχες θέσεις δειγματοληψίας.

Οι συγκεντρώσεις του καδμίου (**Cd**) στα δείγματα νερού κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων κυμαίνονται από <5 μg/l έως 2400 μg/l. Στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας το **Cd** εμφανίζεται με τιμές υψηλότερες των προτεινόμενων που αναφέρονται στα όρια ποιότητας των νερών άρδευσης και στα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας (ΠΠΠ) για επιφανειακά νερά. Αξίζει να σημειωθεί πως το **Cd** συμμετέχει στη δομή του σφαλερίτη (ZnS) αντικαθιστώντας το **Zn** ισόμορφα, φτάνοντας περιεκτικότητες έως 4,4%. Ως εκ τούτου το **Cd** βρίσκεται στενά συνδεδεμένο με το **Zn** σχεδόν σε όλες τις μεταλλευτικές αποθέσεις και οι συγκεντρώσεις του σε επιφανειακά νερά που απορρέουν τέτοιες αποθέσεις προέρχονται από τη διάλυση του σφαλερίτη (Κελεπερτζής 2010).

Αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων αργιλίου (**Al**), οι οποίες υπερβαίνουν την ενδεικτική παραμετρική τιμή των 200 μg/l για πόσιμο νερό καθώς και την ανώτερη τιμή των 5000 μg/l για επιφανειακά ύδατα άρδευσης, καταγράφονται στα συλλεχθέντα δείγματα των σημείων K0, K1, K2 και K3, με υψηλότερη καταγεγραμμένη τιμή στο

σημείο K0 ίση με 34.200 μg/l. Από το σημείο K4 και κατάντη του ρέματος έως το σημείο K19 οι συγκεντρώσεις του **Al** παραμένουν σε πολύ χαμηλότερες τιμές από την αντίστοιχη ενδεικτική τιμή.

Τέλος, ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις κοβάλτιου (**Co**) σε σχέση με την ανώτατη τιμή των 50 μg/l για επιφανειακά νερά που προορίζονται για άρδευση, σημειώνονται στα σημεία δειγματοληψίας K0 - K5. Από το σημείο K6 και κατάντη του ρέματος έως το σημείο K19 οι συγκεντρώσεις του **Co** παραμένουν σε πολύ χαμηλότερες τιμές από το τιθέμενο όριο.

5.1.2 Αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών νερών του ρέματος Κιρκάλων

Συγκεντρωτικά, σε σύγκριση με τα όρια που θέτουν τα περιβαλλοντικά πρότυπα για τα επιφανειακά νερά οι παρατηρούμενες υπερβάσεις (**πίνακας 5.1**) είναι οι εξής:

- Σε σχέση με τα όρια ποιότητας πόσιμου νερού: Διαπιστώθηκαν υπερβάσεις, οι σημαντικότερες των οποίων αποδίδονται στις τιμές **pH** στα δείγματα K0, K1, K2, K3 και K4 με μικρότερη μετρημένη τιμή ίση με 2,94 (K0). Υπερβάσεις σημειώθηκαν και σε σχέση με τα κύρια θειικά ιόντα **SO₄²⁻** σχεδόν σε όλες τις θέσεις λήψης δείγματος. Αντίστοιχα, για τα ιχνοστοιχεία οι σημαντικότερες υπερβάσεις σχετίζονται με τα **Ni, Mn, Fe, Pb, Cu, Zn, Cd** και **Al**.
- Σε σχέση με τα όρια ποιότητας των νερών άρδευσης, που προτάθηκαν από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO): Διαπιστώθηκαν υπερβάσεις, οι οποίες αποδίδονται στις τιμές **pH, αγωγιμότητας** και **TDS**. Σε σχέση με τα κύρια ιόντα υπερβάσεις σημειώθηκαν μόνο στις τιμές των όξινων ανθρακικών ιόντων **HCO₃⁻**. Αντίστοιχα, οι υπερβάσεις από πλευράς ιχνοστοιχείων προέρχονται από **Ni, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Al** και **Co**.
- Σε σχέση με τα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας (ΠΠΠ) για επιφανειακά ύδατα: Οι υπερβάσεις αποδίδονται στη Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση (ΜΕΣ) του **Cd** για σκληρότητα νερού Κατηγορίας 5.

Συμπερασματικά, για τα επιφανειακά νερά του ρέματος Κιρκάλων οι σημαντικότερες υπερβάσεις αφορούν στις υψηλές συγκεντρώσεις βασικών ιόντων και μετάλλων σε σχέση με τα θεσμοθετημένα περιβαλλοντικά όρια ποιότητας των υδάτων. Είναι προφανές πως τα επιφανειακά νερά της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Κιρκάλων είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένα και ως εκ τούτου ακατάλληλα για ύδρευση και άρδευση. Η υποβάθμισή τους αποδίδεται κυρίως στο φαινόμενο της όξινης απορροής, το οποίο προσδίδει στα επιφανειακά νερά της λεκάνης χαμηλές τιμές pH καθώς και αυξημένες συγκεντρώσεις θειικών ιόντων (SO_4^{2-}) και μετάλλων **Ni, Mn, Fe, Pb, Cu, Zn, Cd** και **Co**, όπως διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

5.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων επιφανειακών νερών ρέματος Ειρήνης

Στον **πίνακα 5.2** παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων, για κάθε σειρά δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκαν στα επιφανειακά νερά του ρέματος Ειρήνης, ενώ με διαφορετικά χρώματα σημειώνονται οι υπερβάσεις των τιμών αυτών συγκρινόμενες (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) με:

- Τις προδιαγραφές για το πόσιμο νερό (ΦΕΚ 360/Β/26.04.2007)
- Τις κατευθυντήριες τιμές για τα ύδατα άρδευσης, προτεινόμενες από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Ayers και Westcot, 1985)
- Τα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας για επιφανειακά ύδατα (Υ.Α.51354/2641/Ε103/2010)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Αναλυτικές μετρήσεις επιφανειακών νερών ρέματος Ειρήνης

ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΕΓΜΑΤΟΣ ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΓΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΑΝΩΤΑΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΙΜΗ ΟΡΙΟΥ ΓΙΑ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ (ΦΕΚ 630/Β/26.04.2007)	ΑΝΩΤΑΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΙΜΗ ΟΡΙΟΥ ΓΙΑ ΠΠΠ (ΦΕΚ 1909/Β/8-12-2010)	ΑΝΩΤΑΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΙΜΗ ΟΡΙΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ (κατά Ayers και Westcot, 1985)	PEMA ΕΙΡΗΝΗ																							
				E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E12			
				8/12/2005	27/6/2005	8/12/2005	27/6/2005	8/12/2005	27/6/2005	8/12/2005	27/6/2005	8/12/2005	27/6/2005	8/12/2005	27/6/2005	10/12/2005	24/6/2005	10/12/2005	24/6/2005	10/12/2005	24/6/2005	12/12/2005	24/6/2005	12/12/2005	27/6/2005	12/12/2005	28/6/2005
pH	6,5 - 9,5		6,5 - 8	8,19		8,04		7,79	7,82	8,14	7,56	8,35	7,75	8,28	7,81	8,19	7,82	8,28	8,02	8,26	7,96		7,49	8,32	7,77		
Αγωγι/τα μS/cm			700	350		469		664	1072	631	1187	613	1089	605	1016	620	946	621	830	672	706		941	930	823		
TDS ppm			450,0	196		263		372	600	352	665	344	610	339	570	347	570	352	464	376	396		527	521	461		
Ni μg/l	20,0		200,0	<5		<5		22,0	15	20,0	52	11,0	5	8,0	<5	7,0	<5	5,0	<5	<5		<5	<5	<5	<5		
Mn μg/l			200,0	30		<5		3.000,0	2500	2.400,0	4200	1.300,0	253	1.120,0	35	860,0	58	620,0	29	250,0	36	100,0	9	70,0	11		
Fe μg/l			5.000,0	<100		<100		<100	<100	100,0	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
Cr μg/l	50,0		100,0	<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Pb μg/l	10,0		5.000,0	<5		<5		<5	<5	38,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Cu μg/l	2.000,0		200,0	<5		<5		11,0	<5	16,0	10	<5	956	6,0	<5	5,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Zn μg/l			2.000,0	87		40,0		2.500,0	2100	2.700,0	540	1.500,0	<5	1.200,0	200	900,0	188	700,0	91	430,0	64	150,0	64	120,0	70		
As μg/l	10,0		100,0	<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Cd μg/l	5,0	1,5	10,0	<5		<5		30,0	13	30,0	72	16,0	10	12,0	<5	10,0	<5	8,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Ba μg/l				9		20,0		23,0	31	22,0	31	24,0	42	23,0	13	22,0	40	24,0	41	30,0	47	40,0	58	40,0	52		
Al μg/l			5.000,0	16		8,0		40,0	9	90,0	15	14,0	6	10,0	<5	7,0	<5	10,0	<5	<5	<5	7,0	6	7,0	<5		
Sb μg/l				<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Bi μg/l				<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Co μg/l			50,0	<5		<5		<5	<5	<5	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Mo μg/l			10,0	<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Hg μg/l	1,0			<1		<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
Se μg/l	10,0		20,0	<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
U μg/l				<5		<5		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Ca++ mg/l				43,3		51,3		78,6	147,49	81,8	169,14	86,6	149,9	72,1	100,3	72,1	91,54	75,4	84,97	89	52,1	89,8	79,36	86,6	73,74		
Mg++ mg/l				16,1		19		26,3	37,42	25,3	48,11	18	41,31	34	43,4	27,2	28,48	27,2	27,22	25,8	13,12	33,1	34,99	35,5	22,84		
Na+ mg/l				14,3		17,5		18,9	28	17	28	18,9	32	17,5	31	20,7	28	20,2	26	20,7	25	25,3	57	29,4	28		
K+ mg/l	12,0			0,8		2,3		1,6	2	1,6	3	1,6	3	1,6	2	1,6	2	1,6	2	1,6	2	2,3	2	2,3	4		
CO3- mg/l				0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
HCO3- mg/l			92,0	142		172		155	262,3	171	223,26	183	253,76	178	209,84	183	176,9	183	223,26	207	119,56	238	226,92	244	178,12		
Cl- mg/l				24,8		24,8		26,6	39,07	21,3	35,46	10,6	32,01	19,5	42,55	24,8	42,55	26,6	28,37	26,6	28,37	31,9	74,47	37,2	35,46		
SO4- mg/l	250,0			52,8		62,4		183	382,5	178	497,5	156	365	183	277,5	158	203,5	165	188	174	71,5	183	203	184	141,5		
NO3 mg/l	50,0		5,0	0		6,2		6,2	3,96	6,2	0	6,2	0	0	-0,001	0	-0,001	0	0,88	0	3,96	3,1	8,8	3,1	11,88		
NO2 mg/l	0,5			<0,05		<0,05		<0,05	0,009	<0,05	-0,001	<0,05	-0,001	<0,05	-0,001	<0,05	-0,001	<0,05	0,003	<0,05	0,009	<0,05	-0,001	<0,05	-0,001		
NH4+ mg/l				<0,26		<0,26		<0,26	0,012	<0,26	0,458	<0,26	0,135	<0,26	-0,001	<0,26	-0,001	<0,26	-0,001	<0,26	0,012	<0,26	0,12	<0,26	0,033		

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΡΩΜΑΤΩΝ			
1	Υπερβάση Ορίου για άρδευση		Υπερβάση των ορίων 1 και 2
2	Υπερβάση Ορίου για πόσιμο νερό		Υπερβάση των ορίων 2 και 3
3	Υπερβάση Ορίου για ΠΠΠ (ΜΕΣ)		Υπερβάση όλων των ορίων

5.2.1 Ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τα επιφανειακά νερά του ρέματος Ειρήνη

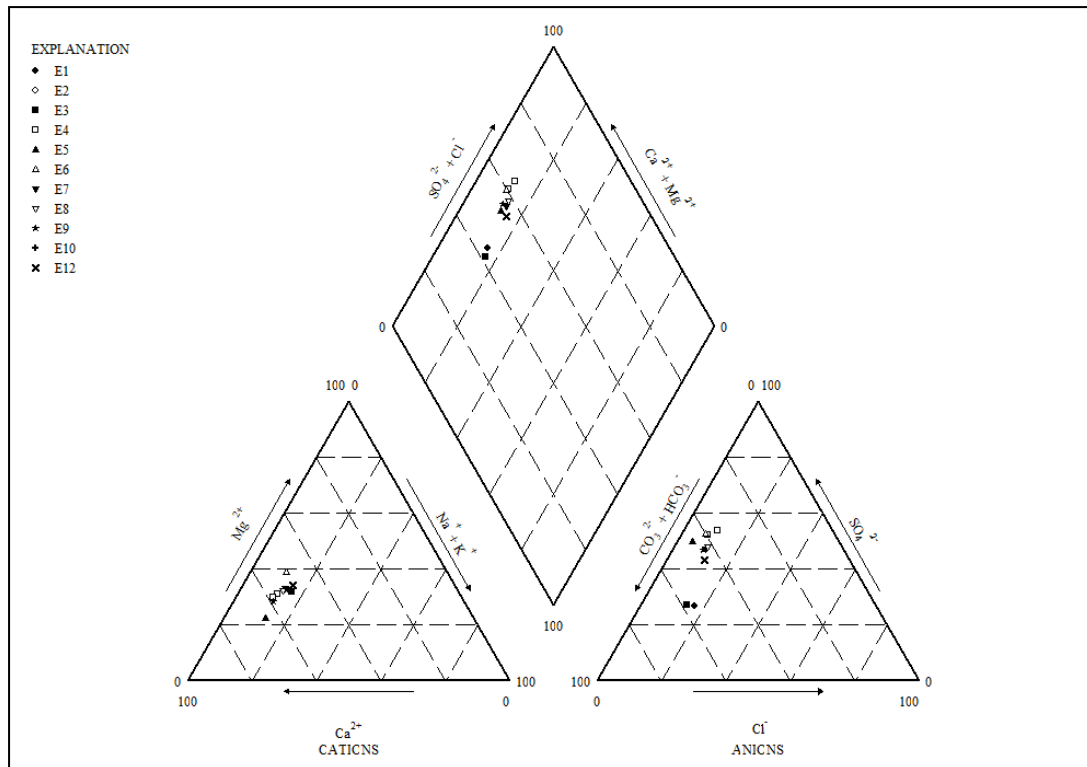
Από τον **πίνακα 5.2** προκύπτουν οι εξής διαπιστώσεις:

Στις θέσεις δειγματοληψίας E1 και E2 καταγράφονται οι μικρότερες συγκεντρώσεις των βασικών ιόντων και ιχνοστοιχείων, καθώς τα σημεία αυτά βρίσκονται στο ΒΔ ανώτερο τμήμα του ποταμού Ειρήνης, πριν τη συμβολή του με το ρέμα Κιρκάλων. Τα νερά στις θέσεις αυτές είναι αντιπροσωπευτικά μη ανθρωπογενούς παρέμβασης, καθώς βρίσκονται στα ανάντη των κύριων πηγών ρύπανσης (του μεταλλείου και του εργοστασίου εμπλουτισμού).

Όλα τα δείγματα νερού κατά μήκος του ρέματος Ειρήνη χαρακτηρίζονται από αλκαλικές τιμές **pH (7,5 - 8,3)**, οι οποίες υπερβαίνουν ελάχιστα τα ανώτατα επιτρεπτά όρια του νερού άρδευσης. Αντίστοιχες υπερβάσεις ως προς την **αγωγιμότητα (350 - 1187 $\mu\text{S/cm}$)** και το **TDS (196 - 665 ppm)** σημειώνονται στην πλειοψηφία των δειγμάτων του ρέματος Ειρήνη κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου του Ιουνίου 2005.

Επιπλέον, τα δείγματα που λήφθηκαν κατά την ξηρά περίοδο του Ιουνίου 2005 από τα σημεία κατάντη του εργοστασίου εμπλουτισμού E3, E4 και E5, εμφανίζουν αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις σε θειικά ιόντα **SO₄²⁻**, με τη μέγιστη συγκέντρωση να λαμβάνει τιμή ίση με **497,5 mg/l**. Αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με τα θερμοθετημένα περιβαλλοντικά όρια παρατηρούνται στα όξινα ανθρακικά ιόντα (**HCO₃⁻**) σε όλα τα σημεία παρακολούθησης κατά μήκος του ρέματος Ειρήνης και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

Ο χημισμός των δειγμάτων νερού στις θέσεις E1 - E12 κατά μήκος του ρέματος Ειρήνης για την περίοδο Δεκεμβρίου 2005 αποδίδονται σε αντίστοιχο διάγραμμα Piper (**σχήμα 5.5**). Όπως παρατηρείται, για τα περισσότερα δείγματα του ρέματος Ειρήνης δεν υπάρχει ιόν που επικρατεί, αν και και ένας πολύ μικρός αριθμός δειγμάτων (E1 και E3) προέρχεται από νερά που ανήκουν στον Ca - HCO₃ χημικό τύπο. Ως εκ τούτου τα εν λόγω υδροσημεία χαρακτηρίζονται από την επικράτηση των όξινων ανθρακικών ιόντων HCO₃⁻ (>60%) στη χημική τους σύσταση όσον αφορά στα ανιόντα και το συνεπακόλουθο χαμηλό ποσοστό συμμετοχής των SO₄²⁻ (<40%).



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα Piper για το χαρακτηρισμό των νερών του ρέματος Ειρήνης (Ιδία επεξεργασία από δεδομένα ΙΓΜΕ)

Επιπλέον, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις μεταλλικών στοιχείων στα σημεία E3 και E4 κατόπιν του εργοστασίου εμπλουτισμού. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι τα παραπάνω σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται αμέσως μετά τη συμβολή του ρέματος Κιρκάλων με το ανώτερο τμήμα του ποταμού Ειρήνη, λαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο μεγάλες ποσότητες καθαρών νερών από την αντίστοιχη υπολεκάνη απορροής (Papassiopri et al., 2013). Για τα **Mn** και **Zn** οι μέγιστες συγκεντρώσεις καταγράφονται στα σημεία E3 με συγκέντρωση **3000 µg/l** και E4 με συγκέντρωση **2700 µg/l** αντίστοιχα.

Κατά το νοτιότερο τμήμα του ρέματος Ειρήνη η ποιότητα των νερών βελτιώνεται σταδιακά, γεγονός που αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των μετρούμενων παραμέτρων στα σημεία δειγματοληψίας E5 - E12. Ωστόσο οι συγκεντρώσεις των **Mn**, **Zn** και **Cd** παραμένουν σε τιμές που υπερβαίνουν τα τιθέμενα περιβαλλοντικά όρια ποιότητας. Οι τιμές των περιβαλλοντικών προτύπων ποιότητας (ΓΠΠ) για τα μέταλλα **Zn** και **Cd** κυμαίνονται ανάλογα με την σκληρότητα του νερού. Ως εκ τούτου, για νερά με σκληρότητα >200 CaCO₃ (κατηγορία 5), όπως είναι τα επιφανειακά νερά του ρέματος Ειρήνης, οι ενδεικτικές παραμετρικές τιμές των μετάλλων **Zn** και **Cd** είναι 125 µg/l και 0,25 µg/l αντίστοιχα.

Όπως παρατηρείται στον **πίνακα 5.2** οι συγκεντρώσεις **Zn** υπερβαίνουν τις οριοθετημένες τιμές των ΠΠΠ έως το σημείο E10 κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου 2005. Παράλληλα, η συγκέντρωση του **Cd** φτάνει έως και 48 φορές πάνω από τις οριοθετημένες τιμές, στο σημείο της στοάς 4 (K4) κατά την περίοδο του Ιουνίου 2005, οπότε και η συγκέντρωση αγγίζει τα 72 µg/l.

Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις **Mn** κατά μήκος των επιφανειακών νερών του ρέματος Ειρήνης, παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές τιμές που υπερβαίνουν τα τιθέμενα όρια άρδευσης (Ayers and Wescot, 1985). Η συνιστώμενη μέγιστη τιμή **Mn** για αρδευτικό νερό είναι 200 µg/l ενώ τα αντίστοιχα όρια για το **Zn** και **Cd** είναι 2000 µg/l και 10 µg/l. Όπως φαίνεται στον **πίνακα 5.2** αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων **Mn** και **Cd** που καθιστούν τα νερά ακατάλληλα για ύδρευση και άρδευση, παρατηρούνται σε αντίστοιχα σημεία κατάντη του εργοστασίου εμπλουτισμού (E3, E4, E5). Κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου 2005 η συγκέντρωση του **Mn** παραμένει πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 µg/l μέχρι και το σημείο παρακολούθησης E9, ενώ αντίστοιχα η συγκέντρωση του **Cd** παραμένει πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 10 µg/l για αρδευτικό νερό μέχρι και το σημείο E7. Από το σημείο E7 και κατάντη του ρέματος έως το τελικό σημείο παρακολούθησης E12 η ποιότητα των νερών βελτιώνεται αισθητά, κυρίως λόγω των μεγάλων ποσοτήτων νερού που εισέρχονται στο ρέμα Ειρήνη από εισροές παράπλευρων ρεμάτων.

5.2.2 Αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών νερών του ρέματος Ειρήνη

Συγκεντρωτικά, σε σύγκριση με τα όρια που θέτουν τα περιβαλλοντικά πρότυπα για τα επιφανειακά νερά οι παρατηρούμενες υπερβάσεις (**πίνακας 5.2**) είναι οι εξής:

- Σε σχέση με τα όρια ποιότητας πόσιμου νερού: Γενικά δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές υπερβάσεις. Οι κυριότερες αφορούν υπερβάσεις τιμών σε σχέση με τα κύρια θειικά ιόντα SO_4^{2-} στα δείγματα που λήφθηκαν κατά την ξηρά περίοδο Ιουνίου 05 στις θέσεις E3, E4, E5 και E6. Για τα ιχνοστοιχεία οι σημαντικότερες υπερβάσεις σχετίζονται με τα **Mn**, **Zn** και **Cd**.
- Σε σχέση με τα όρια ποιότητας των νερών άρδευσης, που προτάθηκαν από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO): Διαπιστώθηκαν υπερβάσεις, οι οποίες αποδίδονται στις τιμές **pH**, **αγωγιμότητας** και **TDS**.

Σε σχέση με τα κύρια ιόντα υπερβάσεις σημειώθηκαν μόνο στις τιμές των όξινων ανθρακικών ιόντων HCO_3^- . Αντίστοιχα, οι υπερβάσεις από πλευράς ιχνοστοιχείων προέρχονται από **Mn**, **Zn** και **Cd**.

- Σε σχέση με τα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας (ΠΠΠ) για επιφανειακά ύδατα: Οι υπερβάσεις αποδίδονται στη Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση (ΜΕΣ) του **Cd** για σκληρότητα νερού Κατηγορίας 5.

Συμπερασματικά, για τα επιφανειακά νερά του ρέματος Ειρήνη οι σημαντικότερες υπερβάσεις αφορούν στις σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις βασικών ιόντων και μετάλλων σε σχέση με τα θεσμοθετημένα περιβαλλοντικά όρια ποιότητας των υδάτων. Το γεγονός αυτό καθιστά τα νερά της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ειρήνης ακατάλληλα για ύδρευση και άρδευση. Γενικά, σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές των μετρούμενων φυσικοχημικών παραμέτρων στα νερά του ρέματος Ειρήνη. Αντίθετα, από την επεξεργασία των υπάρχοντων δεδομένων και τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποδεικνύεται πως η ποιότητα των επιφανειακών νερών της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Κιρκάλων είναι αυτή που επηρεάζεται άμεσα από τη μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή της Κίρκης.

5.3 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υπόγειων νερών

Ουσιαστικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο, εκτός των επιφανειακών, διαδραματίζουν και τα υπόγεια νερά και για το λόγο αυτό εξετάστηκε και αξιολογήθηκε η κατάσταση της ποιότητας τους στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τα υπόγεια νερά λειτουργούν ως ρυθμιστικός παράγοντας για τη διατήρηση υγροτόπων και ποταμών, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας, εξασφαλίζοντας τη μόνιμη ροή των συστημάτων επιφανειακών υδάτων. Σε πολλούς ποταμούς της Ευρώπης, πλέον του 50% της ετήσιας ροής προέρχεται από υπόγεια νερά. Σε ξηρές περιόδους οπότε και οι παροχές των επιφανειακών νερών μειώνονται, πλέον του 90% της ροής σε μερικούς ποταμούς μπορεί να είναι υπόγειας προέλευσης. Γι' αυτό και η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα συνδεδεμένα με αυτά υδατικά και χερσαία οικοσυστήματα. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί πως τα υπόγεια νερά είναι "κρυφοί" πόροι και υπερτερούν ποσοτικά των επιφανειακών, γι' αυτό και είναι πολύ δυσκολότερη η πρόληψη της ρύπανσης καθώς και η παρακολούθηση και αποκατάσταση της ποιότητάς τους (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2008).

Στον **πίνακα 5.3** παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων, για κάθε σειρά δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκαν στα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος, ενώ με διαφορετικά χρώματα σημειώνονται οι υπερβάσεις των τιμών αυτών συγκρινόμενες (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) με:

- Τις προδιαγραφές για το πόσιμο νερό (ΦΕΚ 360/Β/26.04.2007)
- Τις κατευθυντήριες τιμές για τα ύδατα άρδευσης, προτεινόμενες από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Ayers και Westcot, 1985)

Σημειώνεται ότι τα όρια που αφορούν τα Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ποιότητας (ΠΠΠ) του **πίνακα 4.3** αναφέρονται μόνο σε επιφανειακά νερά, αφού δεν υπάρχουν αντίστοιχα ΠΠΠ για υπόγεια νερά. Στο Παράρτημα ΙΙ της ΚΥΑ 39626/2208/Ε130/2009 αναφέρονται οι ουσίες που προκαλούν ρύπανση στα υπόγεια νερά και για τις οποίες πρέπει να καθορίζονται ανώτατες αποδεκτές τιμές. Οι εν λόγω παράμετροι και οι αντίστοιχες τιμές παρουσιάζονται στον **πίνακα 5.4**. Οι ανώτερες επιτρεπτές τιμές για το πόσιμο νερό σύμφωνα με το ΦΕΚ 360/Β/26.04.2007 περιλαμβάνουν τις ανώτατες αποδεκτές τιμές του Παραρτήματος ΙΙ της ΚΥΑ 39626/2208/Ε130/2009.

Πίνακας 5.4 Ανώτερες αποδεκτές τιμές που καθορίζονται για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης σε υπόγεια νερά (Παράρτημα ΙΙ, ΚΥΑ 39626/2208/Ε130/2009)

Παράμετρος	Ανώτερη Αποδεκτή τιμή
pH	6,50 - 9,50
Αγωγιμότητα	2500 μS/cm
As	10 μg/l
Cd	5μg/l
Pb	25μg/l
Hg	1,0μg/l
Ni	20μg/l
Ολικό Cr	50μg/l
Al	200μg/l
NH ₄ ⁺	0,5mg/l
NO ₂ ⁻	0,5mg/l
Cl ⁻	250mg/l
SO ₄ ²⁻	250mg/l

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 Αναλυτικές μετρήσεις υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΣΗΣ	ΑΝΩΤΑΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΙΜΗ ΟΡΙΟΥ ΓΙΑ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ (ΦΕΚ 630/B/26-4-2007)	ΑΝΩΤΑΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΙΜΗ ΟΡΙΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ (κατά Ayers και Westcot, 1985)	Πηγή	Γεώτρηση μεταλλείου	Πηγή	Γεώτρηση Αλεξ/λης	Γεώτρηση Αλεξ/λης	Γεώτρηση Άβαντα	Γεώτρηση Άβαντα	Γεώτρηση Κίρκης	Γεώτρηση εργοστασίου	Παλαιά γεώτρηση εργοστασίου	Πηγάδι εργοστασίου	Πηγάδι εργοστασίου	Πηγή Προφ. Ηλία	Πηγή Κίρκης (δρόμος)	Πηγή Κίρκης (ύδρευση)
			Π2	ΓΜ1	Π1	ΥΓΑ1	ΥΓΑ2	ΥΓΑΒ2	ΥΓΑΒ1	ΥΓΚ2	Γ4	Γ7	Φ1	Φ2	ΠΑΒ1	ΠΚ2	ΠΚ1
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			6/12/2005	6/12/2005	6/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	9/12/2005	13/12/2005	13/12/2005
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ																	
pH	6,5 - 9,5	6,5 - 8	6,9	7,36	8,07	7,7	7,99	7,56	7,67	7,7	6,82	8,69	6,63	4,81	7,22	7,37	7,26
Αγωγ/τα μS/cm		700	1578	917	1200	708	688	667	610	565	2520	1070	1063	2680	710	750	906
TDS ppm		450,0	884	514	591	396	385	374	342	316	1402	599	596		402	419	591
Ni μg/l	20,0	200,0	5,0	5,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	345,0	<5	250,0	900,0	<5	<5	<5
Mn μg/l		200,0	1.228,0	460,0	72,0	17,0	<5	<5	<5	13,0	4.000,0	55,0	7.400,0	67.000,0	230,0	<5	<5
Fe μg/l		5.000,0	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	120,0	<100	450,0	<100	<100	<100	190,0	<100
Cr μg/l	50,0	100,0	7,0	5,0	7,0	<5	<5	5,0	5,0	<5	<5	9,0	<5	<5	5,0	<5	9,0
Pb μg/l	10,0	5.000,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	12,0	16,0	10,0	795,0	6,0	<5	<5
Cu μg/l	2.000,0	200,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	13,0	<5	220,0	2.500,0	17,0	<5	<5
Zn μg/l		2.000,0	500,0	600,0	100,0	100,0	130,0	85,0	150,0	65,0	135.000,0	840,0	63.000,0	248.000,0	1.100,0	20,0	20,0
As μg/l	10,0	100,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	15,0	<5	<5	<5	8,0	<5
Cd μg/l	5,0	10,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	1.600,0	11,0	620,0	2.000,0	10,0	<5	<5
Ba μg/l			38,0	25,0	26,0	56,0	45,0	47,0	40,0	108,0	60,0	17,0	25,0	20,0	150,0	60,0	52,0
Al μg/l		5.000,0	37,0	10,0	<5	<5	32,0	<5	14,0	9,0	27,0	70,0	145,0	12.000,0	50,0	<5	<5
Sb μg/l			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Bi μg/l			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Co μg/l		50,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	11,0	<5	<5	120,0	50,0	<5	<5
Mo μg/l		10,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6,0	<5	<5	<5	<5	<5
Hg μg/l	1,0		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Se μg/l	10,0	20,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	7,0	<5	<5	<5
U μg/l			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	44	<5	<5	<5
Ca++ mg/l			216	133	122	111	99,4	97	77	61,7	75,4	10,4	36,9	152	120	77,8	119
Mg++ mg/l			114	39,4	46,7	14,1	19,9	16,8	21,4	24,3	339	106	158	345	11,2	35	38,7
Na+ mg/l			35,9	12,4	23	19,3	18,9	21,6	21,2	24,4	57,5	53,3	16,6	16,6	15,6	23	24,4
K+ mg/l	12,0		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,3	1,6	1,6	3,9	0,8	3,1	4,7	1,6	0,8	1,6
CO3- mg/l			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3- mg/l		92,0	391	159	259	287	262	311	261	309	81	553	37	10	394	293	476
Cl- mg/l			53,2	14,2	39	31,9	24,8	28,4	28,4	23	17,7	28,4	53,2	10,6	31,9	24,8	39
SO4- mg/l	250,0		808	355	264	96,1	125	68,5	77	31,1	1600	100	624	1750	21,7	110	67,7
NO3 mg/l	50,0	5,0	0	3,1	0	6,2	6,2	6,2	3,1	3,1	12,4	0	12,4	21,7	0	0	0
NO2 mg/l	0,5		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NH4+ mg/l			<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΡΩΜΑΤΩΝ	
Υπέρβαση Ορίου για άρδευση	
Υπέρβαση Ορίου για πόσιμο νερό	
Υπέρβαση και των δύο ορίων	

5.3.1 Ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος

Από τον **πίνακα 5.3** προκύπτουν οι εξής διαπιστώσεις:

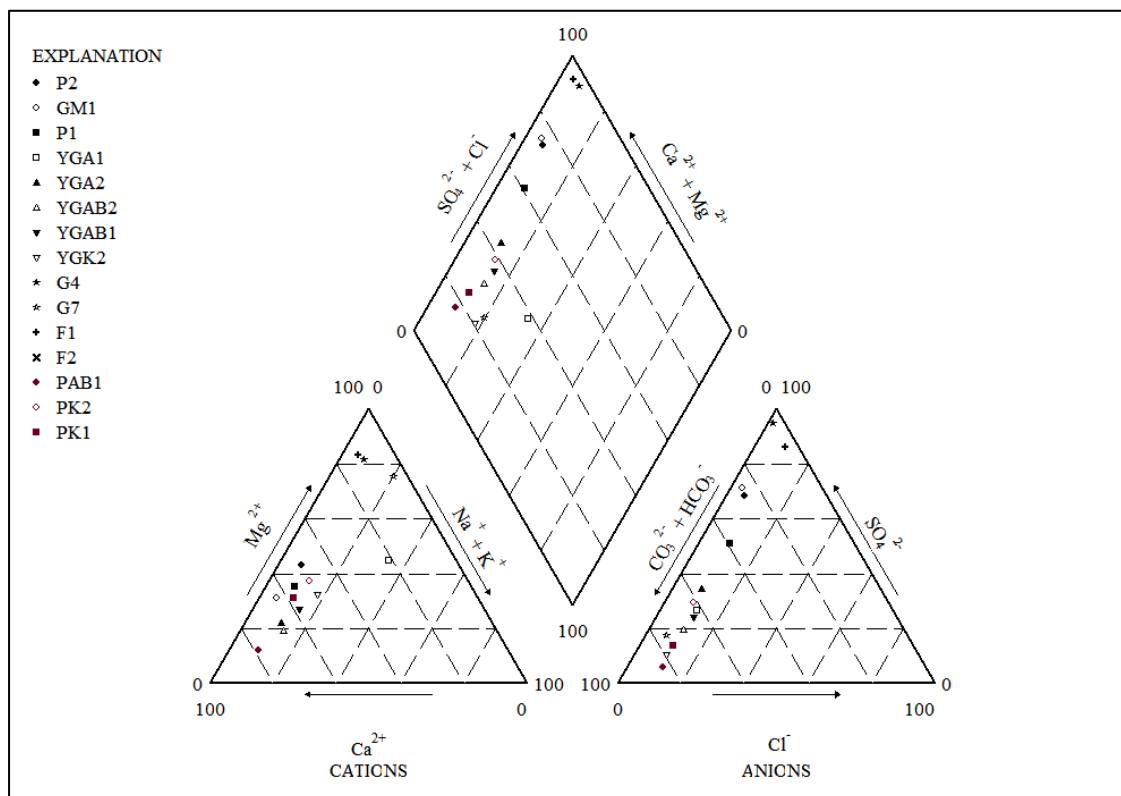
Στις θέσεις δειγματοληψίας Γ4, Γ7, Φ1 και Φ2 καταγράφονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των μετρούμενων μετάλλων **Ni, Mn, Pb, Cu, Zn, As** και **Cd**. Ειδικότερα στη θέση Φ2 (πηγάδι εργοστασίου εμπλουτισμού) σημειώνονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις των μετάλλων **Ni: 900 µg/l, Mn: 67000 µg/l, Pb: 795 µg/l, Cu: 2500 µg/l, Zn: 248000 µg/l, Cd: 2000 µg/l, Al: 12000 µg/l** και **Co: 120 µg/l**. Τα δείγματα αυτά έχουν ληφθεί σε αντίστοιχες θέσεις κατόπιν του εργοστασίου εμπλουτισμού, όπου η κατάσταση των υπόγειων νερών είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένη λόγω της συσσωρευμένης ρύπανσης από τις δύο κύριες πηγές (μεταλλείο και εργοστάσιο εμπλουτισμού). Οι αυξημένες τιμές των συγκεντρώσεων των παραπάνω μετάλλων σε σχέση με τα θεσμοθετημένα όρια (στις θέσεις Γ4, Γ7, Φ1 και Φ2) οφείλονται κυρίως στο ποσοστό των επιφανειακών απορροών των τελμάτων και συμπυκνωμάτων που κατεισδύει και διηθείται στο φρεάτιο ορίζοντα του εργοστασίου εμπλουτισμού. Ως αποτέλεσμα παρατηρείται τοπικά η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων της άμεσης περιοχής.

Ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις σε θειικά ιόντα **SO₄²⁻**, με μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή ίση με **1750 mg/l** (σημείο Φ2), καταγράφονται στα ως άνω δείγματα αλλά και στις πηγές και τη γεώτρηση που πραγματοποιήθηκαν σε σημεία κατόπιν του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος (Π1, Π2 και ΓΜ1). Σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών ιόντων **HCO₃⁻** παρατηρούνται σε όλα σχεδόν τα δείγματα, με τη μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή ίση με **553 mg/l**, στην παλαιά γεώτρηση του εργοστασίου εμπλουτισμού Γ7. Τέλος, τα δείγματα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη οξύτητα, εκτός από τη θέση Φ2 (πηγάδι εργοστασίου εμπλουτισμού) όπου και καταγράφεται η χαμηλότερη τιμή **pH** ίση με 4,81.

Οι χημικές αναλύσεις από τα δείγματα των υδρευτικών γεωτρήσεων και πηγών απεικονίζονται στο διάγραμμα Piper (**σχήμα 5.6**).

Όπως παρατηρείται, η πλειοψηφία των δειγμάτων ανήκουν στον χημικό τύπο Ca - HCO₃ και χαρακτηρίζονται από την επικράτηση των όξινων ανθρακικών ιόντων HCO₃ (>60%).

Η διαφοροποίηση των δειγμάτων στις θέσεις Φ1, Γ4, Π2, ΓΜ1 και Π1 είναι εμφανής, καθώς τα νερά από τα εν λόγω σημεία χαρακτηρίζονται από την επικράτηση των θειικών ιόντων SO_4^{2-} (>80%) στη χημική τους σύσταση, το συνεπακόλουθο χαμηλό ποσοστό συμμετοχής των HCO_3^- (<40%) και το υψηλό ποσοστό συμμετοχής του αθροίσματος Ca^{2+} και Mg^{2+} (>60%).



Σχήμα 5.6 Διάγραμμα Piper για τον χαρακτηρισμό νερών που προέρχονται από υδρευτικές γεωτρήσεις και πηγές (Ιδία επεξεργασία από δεδομένα ΙΓΜΕ)

5.3.2 Αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος

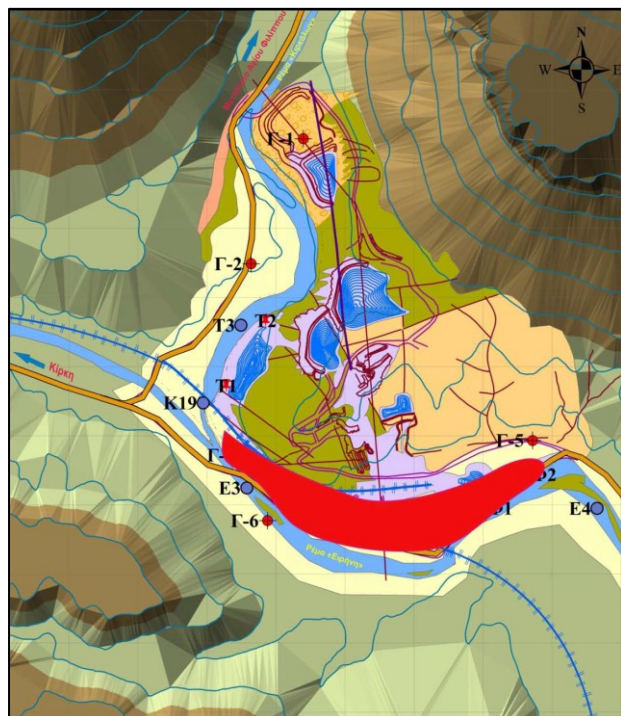
Συγκεντρωτικά, σε σύγκριση με τα όρια που θέτουν τα περιβαλλοντικά πρότυπα για τα υπόγεια νερά οι παρατηρούμενες υπερβάσεις (πίνακας 5.3) είναι οι εξής:

- Σε σχέση με τα όρια ποιότητας πόσιμου νερού: Οι κυριότερες αφορούν υπερβάσεις τιμών σε σχέση με τα κύρια θειικά ιόντα SO_4^{2-} στα δείγματα που λήφθηκαν στις θέσεις Γ4, Γ7, Φ1 και Φ2. Για τα ιχνοστοιχεία οι σημαντικότερες υπερβάσεις σχετίζονται με τα **Ni, Mn, Pb, Cu, Zn** και **Cd**.

- Σε σχέση με τα όρια ποιότητας των υδάτων άρδευσης, που προτάθηκαν από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO): Διαπιστώθηκαν υπερβάσεις, οι οποίες αποδίδονται στις τιμές **pH**, **αγωγιμότητας** και **TDS**. Σε σχέση με τα κύρια ιόντα υπερβάσεις σημειώθηκαν μόνο στις τιμές των όξινων ανθρακικών ιόντων HCO_3^- . Αντίστοιχα, οι υπερβάσεις από πλευράς ιχνοστοιχείων προέρχονται από **Ni**, **Mn**, **Cu**, **Zn** και **Cd**.

Συμπερασματικά, για τα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος οι σημαντικότερες υπερβάσεις αφορούν στις σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις βασικών ιόντων και μετάλλων σε σχέση με τα θεσμοθετημένα περιβαλλοντικά όρια ποιότητας των υδάτων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στα σημεία δειγματοληψίας Γ4, Γ7, Φ1 και Φ2 κατόπιν του εργοστασίου εμπλουτισμού και παράλληλα καθιστά τα υπόγεια νερά της περιοχής ακατάλληλα για ύδρευση και άρδευση.

Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα των μετρήσεων και η αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων αποδεικνύουν γενικά πως η ποιότητα των υπόγειων νερών δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή της Κίρκης. Αντίθετα, η διάδοση και μεταφορά της ρύπανσης προς τη θάλασσα πραγματοποιείται κυρίως επιφανειακά, δια μέσου των δύο ρεμάτων Κιρκάλων και Ειρήνης. Η υπόγεια διάδοση της ρύπανσης έχει τοπικό χαρακτήρα και εντοπίζεται στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα του φρεάτιου ορίζοντα του εργοστασίου εμπλουτισμού (σχήμα 5.7), περιοχή που οριοθετείται νοητά από τις γεωτρήσεις Γ3, Γ4, Γ7 και τα πηγάδια Φ1 και Φ2 (Λιακόπουλος, 2009).



Σχήμα 5.7 Κατανομή ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στο φρεάτιο υδροφορέα της περιοχής του εργοστασίου εμπλουτισμού. Απεικονίζονται επιπλέον υδροσημεία των ρεμάτων, θέσεις γεωτρήσεων και απορροές τελμάτων (Λιακόπουλος, 2009).

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού φανερώνουν πως η κάθε λεκάνη απορροής εμφανίζει τα δικά της ποιοτικά χαρακτηριστικά ως αποτέλεσμα των ιδιαίτερων υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών αλλά και γεωχημικών διεργασιών που ελέγχουν την περιβαλλοντική συμπεριφορά των εξεταζόμενων χημικών παραμέτρων. Αναλυτικότερα, με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σε σχέση με την ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης:

Τη μεγαλύτερη επιβάρυνση παρουσιάζει το ρέμα Κιρκάλων, το οποίο σχετίζεται άμεσα με τις περιοχές εμφάνισης θειούχου μεταλλοφορίας στα ανάντη και χαρακτηρίζεται από αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} και SO_4^{2-} αλλά και μετάλλων όπως **Ni** (6 - 1.000 $\mu\text{g/l}$), **Mn** (6 - 190.000 $\mu\text{g/l}$), **Fe** (360 - 88.000 $\mu\text{g/l}$), **Pb** (7 - 1504 $\mu\text{g/l}$), **Cu** (6 - 13.000 $\mu\text{g/l}$), **Zn** (51 - 240.000 $\mu\text{g/l}$), **Cd** (6 - 2.400 $\mu\text{g/l}$) και **Co** (6 - 148 $\mu\text{g/l}$). Για τα περισσότερα ληφθέντα δείγματα κατά μήκος του ρέματος Κιρκάλων οι τιμές των συγκεντρώσεων των παραπάνω μετάλλων είναι αρκετά υψηλότερες των ορίων ποιότητας του πόσιμου νερού, του νερού άρδευσης (FAO 1985), αλλά και των Περιβαλλοντικών Προτύπων Ποιότητας (ΠΠΠ) για επιφανειακά ύδατα. Οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων εμφανίζονται στα σημεία K0 - K6 κατάντη της μεταλλευτικής δραστηριότητας, ως και αναμένεται. Κατά τη διαδρομή του ρέματος προς τα κατάντη και πριν τη συμβολή με το ρέμα Ειρήνη (K7 - K19), οι συγκεντρώσεις των ως άνω μετάλλων ελαττώνονται λόγω φαινομένων χημικής και φυσικής αραίωσης, διατηρούνται όμως παρόλα αυτά σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Υπερβάσεις σε σχέση με τα προαναφερθέντα όρια ποιότητας σημειώνονται και ως προς τις φυσικοχημικές παραμέτρους **pH** (2,9 - 8,5), **αγωγιμότητα** (576 - 3160 $\mu\text{S/cm}$) και **TDS** (323 - 1269 ppm).

Στην περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος υπάρχει η ανοικτή εκσκαφή (σημείο δειγματοληψίας K0) επιφάνειας 4.700 m^2 , με απότομα πλευρικά τοιχώματα, το ύψος των οποίων κυμαίνεται από 44m μέχρι 6m (Υποέργο 5, CINAR - ΕΜΠ, 2008). Όπως αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τα νερά του τέλματος στον πυθμένα της ανοικτής εκσκαφής παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όξινης απορροής, δηλαδή χαμηλό pH και υψηλό φορτίο τοξικών μετάλλων. Η ΟΑΜ δημιουργείται από την έκθεση των θειούχων μεταλλευμάτων που απαντούν στα ίδια τα πλευρικά τοιχώματα της εκσκαφής στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και επιβαρύνεται από τη συγκέντρωση όξινων υδάτων που διαπερνούν τους σωρούς των στείρων που βρίσκονται στα ανάντη και καταλήγουν στο κοίλο της εκσκαφής.

Λόγω του έντονου ανάγλυφου της περιοχής και δεδομένης της διαπερατότητας του γεωλογικού υποβάθρου ($\sim 10^{-4}$ m/sec) εκτιμάται ότι το κοίλο της εκσκαφής αποτελεί ενδιάμεσο μόνο αποδέκτη των όξινων στραγγισμάτων. Τα όξινα νερά εκφορτίζονται τελικά προς το ρέμα Κιρκάλων συμβάλλοντας καθοριστικά στην επιβάρυνση της ποιότητας των νερών του ρέματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι συγκεντρώσεις των τοξικών μετάλλων κατά μήκος του ρέματος προς τα κατάντη μειώνονται αισθητά λόγω της αραίωσης του διαλύματος με σημαντικές ποσότητες μη ρυπασμένου γλυκού νερού που προστίθενται στο ρέμα Κιρκάλων από σημαντικούς παραπόταμους, καθώς και από τα φράγματα που υπάρχουν στην κοίτη του. Στις λεκάνες των φραγμάτων ευνοείται η περαιτέρω καθίζηση μετάλλων ενώ επιτυγχάνεται επιπλέον αραίωση. Μια ποσότητα ενδέχεται να κατεισθύνει δια μέσου των ρωγματώσεων των πετρωμάτων σε βαθύτερους ορίζοντες, η ανυπαρξία όμως βαθέων υδροφόρων οριζόντων δεν ευνοεί την διάδοση της ρύπανσης στα υπόγεια νερά (Λιακόπουλος, 2009).

Τα επιφανειακά νερά της λεκάνης απορροής του ρέματος Ειρήνη χαρακτηρίζονται από αισθητά καλύτερη ποιοτική κατάσταση με παρατηρούμενες υπερβάσεις των προαναφερθέντων ορίων για τα στοιχεία **Mn** (9 - 4.200 µg/l), **Zn** (40 - 2.700 µg/l) και **Cd** (8 - 72 µg/l), καθώς και **HCO₃⁻** (119 - 262 mg/l). Τα δείγματα νερού του ρέματος Ειρήνη χαρακτηρίζονται από αλκαλικές τιμές **pH** (7,5 - 8,3), οι οποίες υπερβαίνουν ελάχιστα τα ανώτερα επιτρεπτά όρια του νερού άρδευσης. Αντίστοιχες υπερβάσεις ως προς την **ηλεκτρική αγωγιμότητα** (350 - 1187 µS/cm) και το **TDS** (196 - 665 ppm) σημειώνονται στην πλειοψηφία των δειγμάτων του ρέματος Ειρήνη κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου του Ιουνίου 2005. Στα σημεία κατάντη του εργοστασίου εμπλουτισμού E3, E4 και E5 συσσωρεύεται η ρύπανση που προέρχεται από τις δύο κρίσιμες πηγές σχηματισμού ΟΑΜ (μεταλλείο Άγιος Φίλιππος και εργοστάσιο εμπλουτισμού) και ως εκ τούτου στα εν λόγω υδροσημεία εντοπίζονται τα υψηλότερα φορτία τοξικών στοιχείων. Στη διαδρομή του ρέματος προς τα κατάντη (E6 - E12) η ποιοτική κατάσταση των νερών βελτιώνεται σημαντικά, γεγονός το οποίο οφείλεται στην χημική καθίζηση των εν διαλύσει συστατικών, αλλά κυρίως στην αραίωση του ρυπασμένου νερού μέσω της προσθήκης σημαντικών ποσοτήτων γλυκού νερού από εισροές παράπλευρων ρεμάτων.

Συνεπώς, και στις δύο λεκάνες απορροής φαίνεται ότι υφίσταται πρόβλημα επιβάρυνσης των επιφανειακών νερών, με υψηλότερες από τα θεσμοθετημένα όρια τιμές βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων, ιόντων και ιχνοστοιχείων. Η διαδρομή που ακολουθούν τα επιφανειακά νερά των δύο κύριων ρεμάτων της περιοχής καταδεικνύουν με σαφήνεια το παραπάνω πρόβλημα.

Όπως αναφέρεται στη σχετική μελέτη του ΙΓΜΕ (2007), τα επιφανειακά νερά ανάντη του μεταλλείου εισέρχονται στο περιβάλλον της μεταλλευτικής δραστηριότητας και με διαδρομή μικρότερη των 500 m έχουν διέλθει από το σύνολο σχεδόν των μεταλλευτικών εργασιών. Η διαδρομή που ακολουθούν, αν και σύντομη, λόγω της διέλευσης ενός μέρους των υδάτων μέσα από σωρούς υπολειμμάτων εκμετάλλευσης και ενός άλλου από την ανοιχτή εκσκαφή με σημαντική παραμονή εντός αυτής, αποκτούν χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από τα νερά που δεν έχουν υποστεί αυτή την διαδικασία. Τα τελευταία είναι είτε νερά που βρίσκονται ανάντη του μεταλλείου (σημεία E1 και E2) είτε νερά παράπλευρων ρεμάτων (σημεία K9 και K16) που συμβάλλουν στο ρέμα Κιρκάλων.

Επιπλέον, το πρόβλημα της υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών εντοπίζεται τοπικά στο νότιο και νοτιανατολικό τμήμα του εργοστασίου εμπλουτισμού και αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στις θέσεις Γ4, Γ7, Φ1 και Φ2. Τα υπόγεια νερά των εν λόγω σημείων δεν ικανοποιούν τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού και του νερού άρδευσης (FAO 1985). Οι σημαντικότερες υπερβάσεις σημειώθηκαν ως προς τις φυσικοχημικές παραμέτρους: **pH** (4,8 - 8,7), **ηλεκτρική αγωγιμότητα** (565 - 2680 mS/cm) και **TDS** (316 - 1402 ppm), ως προς τα βασικά ιόντα: **SO₄²⁻** (21,7 - 1750 mg/l) και **HCO₃⁻** (10 - 553 mg/l) και τέλος ως προς τα μέταλλα: **Ni** (5 - 900 μg/l), **Mn** (13 - 67000 μg/l), **Pb** (6 - 795 μg/l), **Cu** (13 - 2500 μg/l), **Zn** (20 - 248000 μg/l) και **Cd** (10 - 2000 μg/l).

Οι σχετικά υψηλές τιμές στις συγκεντρώσεις των μετρούμενων μετάλλων οφείλονται κατά κύριο λόγο στην οξειδωση των θειούχων ορυκτών των τελμάτων και συμπυκνωμάτων, γεγονός που οδηγεί στην εμφάνιση του φαινομένου της όξινης απορροής. Ως εκ τούτου είναι πιθανό ποσότητες όξινων νερών να κατεισδύουν στο φρεάτιο υδροφορέα της περιοχής του εργοστασίου εμπλουτισμού που οριοθετείται νοητά από τις γεωτρήσεις Γ3, Γ4, Γ7 και τα πηγάδια Φ1 και Φ2, και να συμβάλλουν έτσι στην υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών της περιοχής. Ωστόσο, τόσο στις γεωτρήσεις ύδρευσης του Δήμου Αλεξανδρούπολης, όσο και στις γεωτρήσεις και πηγές ύδρευσης Κίρκης και Άβαντα, δεν ανιχνευτήκαν ποσότητες βαρέων - τοξικών μετάλλων που να ξεπερνούν τα όρια ποσιμότητας και να υποδηλώνουν επιβάρυνση του υδροφόρου από τη μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή.

Συνοψίζοντας, οι κύριες πηγές ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων της περιοχής (ανοιχτή εκσκαφή, αποθέματα μεταλλευτικών θειούχων συμπυκνωμάτων Pb/Zn, σωροί μεταλλευτικών στείρων, αλλά και τέλματα εμπλουτισμού) οδηγούν στο φαινόμενο της όξινης απορροής, το οποίο και αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα κυρίως των επιφανειακών, αλλά και σε τοπικό επίπεδο, των υπόγειων νερών της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, το φαινόμενο της Όξινης Απορροής Μεταλλείων (OAM) αποδίδεται στην οξειδωση (παρουσία νερού, οξυγόνου και βακτηρίων) των θειούχων ορυκτών που περιέχονται στα πετρώματα της περιοχής και έχει ως άμεση συνέπεια τα επιφανειακά και υπόγεια νερά να χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές pH, καθώς και αυξημένες συγκεντρώσεις θειικών ιόντων (SO_4^{2-}) και διαλυμένων μετάλλων ψευδαργύρου (Zn), μαγγανίου (Mn), χαλκού (Cu), νικελίου (Ni) και καδμίου (Cd). Το γεγονός αυτό διαπιστώνεται από την επεξεργασία των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων για τα διαθέσιμα δεδομένα.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε, μέσω της σύγκρισής τους με διεθνή περιβαλλοντικά πρότυπα, η αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης μετά από επεξεργασία δεδομένων που καλύπτουν την ξηρά και υγρή περίοδο του έτους 2005. Τα διαθέσιμα στοιχεία ήταν αρκετά περιορισμένα ώστε να εκτιμηθεί με σαφήνεια η ποιότητα των υδατικών πόρων της περιοχής ενδιαφέροντος και να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης αυτών. Παρόλα αυτά η εφαρμογή τεχνολογιών απορρύπανσης και διαχείρισης των νερών κρίνεται αναγκαία και στις δύο εστίες ρύπανσης που εντοπίζονται στην περιοχή.

Προς την κατεύθυνση αυτή προτείνεται ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης των υδατικών πόρων της περιοχής των μεταλλείων Κίρκης, το οποίο θα θέτει ως βασικό στόχο τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων διαχείρισης και αποκατάστασης των ρυπασμένων νερών της περιοχής. Συγκεκριμένα, η επιτυχής αντιμετώπιση της ρύπανσης θα επιτευχθεί μέσω της υλοποίησης μέτρων πλήρους εξουδετέρωσης των παραγόμενων ρύπων και στις δύο βασικές εστίες: το μεταλλείο Αγίου Φιλίππου και το εργοστάσιο εμπλουτισμού, εστίες που όπως ήδη αναφέρθηκε εκτενώς παρουσιάζουν διαφορές και καθιστούν αναγκαία τη διαφορετική αντιμετώπιση της κάθε μίας από αυτές. Προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στην αντιμετώπιση των ποικίλων πηγών ρύπανσης που εντοπίζονται στην εγγύς περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού και μετέπειτα σε αυτές που εντοπίζονται γύρω από την περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος.

Είναι προφανές πως απαιτείται η κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα δεδομένων προς παρακολούθηση και επεξεργασία, ώστε να εξαχθούν επιστημονικά έγκυρα συμπεράσματα και προτάσεις που θα καλύπτουν επαρκώς τους στόχους ενός προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδατικών πόρων. Παρόλα αυτά, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση και η συνολική αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος και προτείνονται οι ακόλουθοι τρόποι διαχείρισης και αποκατάστασης των ρυπασμένων νερών της περιοχής.

7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΑΣΜΕΝΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Όπως έχει ήδη εκτενώς αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, στην εξεταζόμενη περιοχή οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδατικών πόρων είναι:

- Η περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού, συμπεριλαμβανομένων των χώρων απόθεσης τελμάτων, των σωρών συμπυκνωμάτων Pb/Zn και απορριμμάτων θραύσης και κατεργασίας του μεταλλεύματος
- Η περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος, όπου και καταγράφονται σημαντικές ποσότητες στείρων και απορριμμάτων της μεταλλευτικής δραστηριότητας

Όσον αφορά στην **περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού** βασικός στόχος των εργασιών αποκατάστασης θα πρέπει να αποτελέσει η διασφάλιση της φυσικής και χημικής σταθερότητας των χώρων απόθεσης τελμάτων. Οποιαδήποτε διαδικασία αποκατάστασης των λεκανών τελμάτων πρέπει ακολουθεί πλήρως τις κατευθυντήριες γραμμές και απαιτήσεις της οδηγίας 2006/21/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 15ης Μαρτίου 2006, σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας (Λιακόπουλος, 2009). Ως εκ τούτου βασική προτεραιότητα αποτελεί η προστασία των λεκανών απόθεσης από τη διάβρωση από το νερό και η αποτροπή της παραγωγής και διασποράς επικίνδυνων αποβλήτων προς το ρέμα Ειρήνη, η οποία οδηγεί στην επιβάρυνση των επιφανειακών και υπόγειων νερών του ρέματος. Ανάλογα μέτρα προστασίας από περαιτέρω οξείδωση πρέπει να ληφθούν και για τους σωρούς των μεταλλευτικών συμπυκνωμάτων Pb/Zn αλλά και των απορριμμάτων θραύσης και επεξεργασίας που έχουν αποτεθεί στην περιοχή του εργοστασίου.

Το αρχικό στάδιο αποκατάστασης στην περιοχή του εργοστασίου εμπλουτισμού περιλαμβάνει την επιφανειακή στεγάνωση επί τόπου των λεκανών απόθεσης για την προστασία του υλικού από περαιτέρω οξείδωση. Η επιφανειακή κάλυψη των θειούχων τελμάτων με ξηρά καλύμματα (dry covers) εφαρμόζεται μετά το πέρας της λειτουργίας των χώρων απόθεσης και στοχεύει στην παρεμπόδιση της κατείσδυσης νερού ή/ και διάχυσης του οξυγόνου στο θειούχο απόρριμμα. Συμβατικά καλύμματα για τη στεγανοποίηση της επιφάνειας των θειούχων απορριμμάτων περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση ενός αργιλικού στρώματος χαμηλής υδροπερατότητας, ή/και την τοποθέτηση αδιαπέρατης γεωμεμβράνης. Για την αποτελεσματικότερη αποστράγγιση των υπερκείμενων στρωμάτων, την συγκράτηση των όμβριων υδάτων αλλά και την προστασία των υποκείμενων στρωμάτων από έντονες μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας, τα καλύμματα ενισχύονται με στρώματα αποστράγγισης, εδαφικού υλικού και φυτικής γης (Υποέργο 5, CINAR - ΕΜΠ, 2007).

Τα χαρακτηριστικά του καλύμματος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα γεωτεχνικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου χώρου απόθεσης και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Ένα αποτελεσματικό ξηρό κάλυμμα θα πρέπει να παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Τριανταφυλλίδης 2006):

- Ελάχιστη μετανάστευση ρευστών από τα απορρίμματα
- Ελάχιστη μεταφορά οξυγόνου
- Χαμηλές ανάγκες συντήρησης
- Αποτελεσματική απορροή
- Υψηλή ανθεκτικότητα – αντοχή στη διάβρωση

Μετά την επιφανειακή στεγάνωση των λεκανών απόθεσης προτείνεται να πραγματοποιηθούν έργα εκτροπής των όμβριων υδάτων που συνίστανται στη κατασκευή δικτύου αγωγών στα ανάντη των λεκανών για την αποτροπή της εισροής των όμβριων υδάτων στους χώρους απόθεσης. Επιπλέον, για την προστασία των φραγμάτων στις λεκάνες που βρίσκονται σε άμεση επαφή με την κοίτη του ρέματος Κιρκάλων ενδείκνυται η κατασκευή τοίχων από συρματοκιβώτια. Οι τοίχοι με ύψος 1,5 - 2 m πρέπει να κατασκευαστούν κατά μήκος της κοίτης του ρέματος και μπροστά από τα φράγματα (Υποέργο 5, CINAR - ΕΜΠ, 2007).

Σημαντικές ποσότητες μεταλλεύματος, απορριμμάτων θραύσης και επεξεργασίας αυτού, βρίσκονται στην πλατεία απόθεσης μπροστά από τη μονάδα θραύσης του εργοστασίου εμπλουτισμού. Παρατηρήσεις πεδίου πιστοποιούν την παρουσία παροδικών όξινων απορροών από τους σωρούς. Απλές, συμβατικές μέθοδοι αποκατάστασης μπορούν να εφαρμοστούν και στην περίπτωση αυτή για την προστασία του περιβάλλοντος, οι οποίες περιλαμβάνουν (Τριανταφυλλίδης 2006):

- Την κατασκευή φραγμάτων/τοιχίων γύρω από τους σωρούς για αποτροπή της μεταφοράς επικίνδυνων αποβλήτων και παραπροϊόντων. Οι θέσεις που θα μπορούσαν να κατασκευαστούν τα φράγματα είναι κυρίως στην περιφέρεια των πλατειών, όπου συσσωρεύτηκε το υλικό από την επεξεργασία του μεταλλεύματος, αλλά και σε χαμηλότερα τοπογραφικά επίπεδα γύρω από τον ευρύτερο χώρο του εργοστασίου εμπλουτισμού με στόχο τη συγκέντρωση του υλικού που μπορεί να διαφύγει από διάφορες θέσεις του εργοστασίου (π.χ σωροί απορριμμάτων, σωροί επεξεργασμένου και μη μεταλλεύματος).
- Την κατάλληλη μορφοποίηση (στρώση) των σωρών
- Τη διασπορά λεπτόκοκκης ασβέστου για περιορισμό περαιτέρω οξειδωσης του μεταλλεύματος

- Την κάλυψή τους με αργιλικό υλικό ή άλλου τύπου ξηρό κάλυμμα για τον περιορισμό της κατείδυσης μετεωρικών νερών, πλούσιων σε ατμοσφαιρικό οξυγόνο

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μετρήσεων πεδίου και τις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, η περιεκτικότητα βαρέων - τοξικών μετάλλων στα επιφανειακά νερά του ρέματος Ειρήνης αλλά και στον φρεάτιο υδροφορέα της περιοχής του εργοστασίου, δεν είναι ομοιογενής αλλά παρουσιάζει απότομες εξάρσεις με σημαντικές αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων. Ως εκ τούτου η πλήρης και οριστική απορρύπανση της περιοχής ολοκληρώνεται με την εγκατάσταση ενός συστήματος συνεχούς καταγραφής και μετρήσεων, τόσο της ποσότητας (παροχής) του νερού όσο και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του. Το προτεινόμενο σύστημα θα ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο μια βάση δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα θα προειδοποιεί έγκαιρα για τις περιπτώσεις που η περιεκτικότητα σε βαρέα - τοξικά μέταλλα, όπως πχ το κάδμιο, ο μόλυβδος κ.ά, υπερβεί τα αποδεκτά όρια (Λιακόπουλος, 2009). Το προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης θα συμπληρώνεται από περιοδικές μετρήσεις πεδίου, δειγματοληψίες και αναλύσεις νερού, αποτυπώνοντας συστηματικά την υφιστάμενη κατάσταση της ποσότητας και ποιότητας του νερού και εκτιμώντας την μεταβλητότά του στο χώρο και στο χρόνο.

Όσον αφορά στην **περιοχή του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος** βασικός στόχος των εργασιών αποκατάστασης θα πρέπει να αποτελέσει η ορθολογική διαχείριση των επιφανειακών απορροών ώστε να μειωθεί η ποσότητα των νερών που διαπερνά τα θειούχα πετρώματα της περιοχής και προκαλεί τη γένεση της όξινης απορροής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω διευθέτησης της κοίτης του ρέματος Κιρκάλων και συλλογής των νερών σε κατάλληλα κανάλια, έτσι ώστε τα νερά να οδηγούνται στα κατάντη της μεταλλευτικής περιοχής χωρίς να διαβρέχουν τις αποθέσεις των στείρων εξόρυξης (Υποέργο 5, CINAR - ΕΜΠ, 2008).

Επιπλέον θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πλήρωση της εκσκαφής, αφού προηγηθεί εξουδετέρωση των όξινων νερών που λιμνάζουν εντός της εκσκαφής. Η επεξεργασία των υδάτων μπορεί να γίνει επί τόπου με προσθήκη των κατάλληλων αντιδραστηρίων εξουδετέρωσης, όπως ασβεστόλιθο (CaCO_3) ή υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Για τον έλεγχο της διαφυγής των στραγγισμάτων προς το ρέμα Κιρκάλων πρέπει να ληφθούν συμπληρωματικά μέτρα μείωσης της διαπερατότητας του πυθμένα και των τοιχωμάτων του κοίλου.

Για τη μείωση της διαπερατότητας των ιζημάτων στον πυθμένα μπορούν να προστεθούν υλικά που περιέχουν διογκούμενες αργίλους, όπως μπεντονίτης (Υποέργο 5, CINAR - ΕΜΠ, 2008).

Για τα **απορρίμματα της μεταλλευτικής δραστηριότητας** με διαφορετική περιεκτικότητα σε θειούχα ορυκτά και θειοάλατα που εντοπίζονται ανάντη της ανοικτής εκσκαφής και στην πλατεία του μεταλλείου και βρίσκονται υπό την επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων, προτείνεται η αποκατάσταση με συμβατικούς τρόπους, όπως (Τριανταφυλλίδης 2006):

- Κατασκευή μικρών φραγμάτων με αδρανές υλικό γύρω από τους σωρούς, για την αποφυγή μηχανικής διασποράς τοξικού υλικού με τα νερά της βροχής προς το υδρογραφικό δίκτυο.
- Κατάλληλη μορφοποίηση των σωρών και αποκατάσταση μέσω επιφανειακού καλύμματος, το οποίο αποτελείται από: (α) το στρώμα χαμηλής υδροπερατότητας, το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από φυσικό ή συνθετικό αργιλικό φραγμό σε συνδυασμό με γεωμεμβράνη, (β) τη ζώνη αποστράγγισης από αμμοχαλικώδες ή συνθετικό υλικό υψηλής διαπερατότητας και (γ) το επιφανειακό εδαφικό υλικό για την προστασία των υποκείμενων στρωμάτων και την υποστήριξη φυτοκάλυψης.
- Την κατασκευή μικρών τσιμεντένιων φραγμάτων στο ρέμα Ειρήνη στα κατόντη του μεταλλείου, για τον περιορισμό της μεταφοράς κλαστικού υλικού με φορτίο θειούχων ορυκτών από τα νερά του ρέματος.

Με την εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών θα μειωθούν σταδιακά οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Cd, Co, Ni, Fe, Cu, Al, Mn και Zn στα νερά του ρέματος μεταξύ του μεταλλείου Άγιος Φίλιππος και του εργοστασίου εμπλουτισμού. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των ρυπασμένων νερών επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός συστήματος παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω. Η επιλογή των σημείων που θα ενταχθούν στο σύστημα θα είναι τέτοια, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες που προκύπτουν από τα νέα υδρογεωλογικά και υδροχημικά δεδομένα αλλά και να ελέγχεται και να αξιολογείται ταυτόχρονα η απόδοση των εφαρμοζόμενων μέτρων αποκατάστασης των ρυπασμένων νερών.

Βιβλιογραφία

Adam A., 'Recommendations for a pilot treatment system for acid mine drainage (AMD) for the Brskovo and Zuta Prla mines, Mojkovac Municipality, Montenegro', Report II, Ref. no. MNE/10/025, S.S.A No. 2010-079, September 2010, p. 2-1

FAO Water Unit, 'Mapping Existing Global Systems and Initiatives - Background Document', Prepared by FAO on behalf of the UN-Water Task Force on Monitoring, Stockholm 21 August 2006, p. 7, available online

Kristensen P., Bøgestrand J., 'Surface Water Quality Monitoring', National Environmental Research Institute, Denmark 1996, p. 12, available online

Liakopoulos A., Lemièrre B., Michael K., Crouzet C., Laperche V., Romaidis I., Drougas I., Lassin A., 'Environmental impacts of unmanaged solid waste at a former base metal mining and ore processing site (Kirki, Greece)', Waste Management & Research 28, 11 (2010) p. 996-1009, January 2014

Loupasakis C., Konstantopoulou G., 'Safety assessment of abandoned tailings ponds: an example from Kirki mines, Greece', Bull Eng Geol Environ (2010) 69:63-69, Springer-Verlag 2009, p. 64, available online

Papassiopi N., Zaharia C., Xenidis A., Adam K., Liakopoulos A., Romaidis I., 'Assessment of contaminants transport in a watershed affected by acid mine drainage, by coupling hydrological and geochemical modeling tools', Athens 2013

Su-Young Park, Jung Hyun Choi, Sookyun Wang, Seok Soon Park, 'Design of a water quality monitoring network in a large river system using the genetic algorithm', Ecological Modelling 199 (2006) 289-297, pp. 290-291, available online at: www.sciencedirect.com

Triantafyllidis S., Skarpelis N., 'Mineral formation in an acid pit lake from a high - sulfidation ore deposit: Kirki, NE Greece', Journal of Geochemical Exploration 88 (2006) 68-71, pp. 68-69, available online at: www.sciencedirect.com

WMO (World Meteorological Organization), UNEP GEMS (Global Environmental System)/Water, 'Planning of Water Quality Monitoring Systems-Technical Document', pp. 11-13, 19-20, 25, 32, 45, available online

Αρίκας Κ., Asfahani N., Nowak A., Goetz D., 'Τα μεταλλεία Κίρκης Νομού Έβρου και εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μέρος α': Γεωχημική και ορυκτολογική μελέτη των μεταλλευτικών τελμάτων και συμπυκνωμάτων', Ερευνητικό άρθρο, 2007, σσ. 21, 25, 27, 29, 30, 32, διαθέσιμο online

ΕΜΠ-CINAR A.E, 'Προκαταρκτική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων αδρανοποίησης - κάλυψης των λιμνών τελμάτων εμπλουτισμού', Υποέργο 5: Μελέτες σταθερότητας φάσεων, πιλοτικές εφαρμογές σταθεροποίησης-αδρανοποίησης απορριμμάτων και δοκιμές ανάκτησης χρήσιμων ουσιών από τα απορρίμματα με χρήση φυσικοχημικών και βιολογικών μεθόδων, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007, σσ. 25, 42

ΕΜΠ-CINAR A.E, 'Προκαταρκτική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων ελέγχου της όξινης απορροής στην περιοχή του μεταλλείου Αγίου Φιλίππου', Υποέργο 5: Μελέτες σταθερότητας φάσεων, πιλοτικές εφαρμογές σταθεροποίησης-αδρανοποίησης απορριμμάτων και δοκιμές ανάκτησης χρήσιμων ουσιών από τα απορρίμματα με χρήση φυσικοχημικών και βιολογικών μεθόδων, Αθήνα, Αύγουστος 2008, σσ. 23, 39, 41

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 'Προστασία των Υπόγειων Υδάτων στην Ευρώπη. Η νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα-Ενοποίηση του κοινοτικού ρυθμιστικού πλαισίου', Γραφείο Επισήμων Εκδόσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Λουξεμβούργο 2008, σσ. 7-8, διαθέσιμο online

Ζαχαριά Χ., 'Περιγραφή διασποράς ρύπων από εγκαταστάσεις μεταλλευτικών αποβλήτων με σύγχρονα λογισμικά εργαλεία', Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2010, σσ. 39, 77

Κελεπερτζής Ε., 'Βιοπροσβασιμότητα δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά γεωχημικά μέσα διασποράς για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επικινδυνότητας σε περιοχές μεταλλευτικής δραστηριότητας της ΒΑ Χαλκιδικής', Διδακτορική διατριβή, Αθήνα 2010, σσ. 13, 105, 116, 127, 158

ΚΥΑ 39626/2208/Ε130/2009 (Β'2075) 'Καθορισμός μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από τη ρύπανση και την υποβάθμιση', Παράρτημα II, Μέρος Β : 'Ποιοτικά πρότυπα και ανώτερες αποδεκτές τιμές για τους ρύπους των υπόγειων υδάτων και δείκτες ρύπανσης'

Λιακόπουλος Α., 'Περιβαλλοντική μελέτη ευρύτερης περιοχής μεταλλείων Κίρκης. Εκτίμηση έντασης και έκτασης της ρύπανσης και μέτρων αποκατάστασης.' Υποέργο 1: Καταγραφή απορριμμάτων μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας. Μελέτες και έρευνες επιπτώσεων, τεχνικών αδρανοποίησης και αξιοποίησης., Αθήνα Μάιος 2009, σσ. 66-67, 93, 147, 207, 211

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, άρθρο 2 (Ορισμοί)

Οδηγία 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος στον τομέα της πολιτικής των υδάτων', παράγραφος (10), Παράρτημα Ι, Μέρος Α: Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος για ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους

Ρωμαΐδης Γ., 'Καταγραφή απορριμμάτων μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας, μελέτες και έρευνες επιπτώσεων, τεχνικών αδρανοποίησης και αξιοποίησης. Πιλοτική περιοχή μεταλλείων Κίρκης.', Πρόδρομη Υδρογεωλογική Μελέτη, ΙΓΜΕ Περιφερειακή Μονάδα Α.Μ.Θ., Ξάνθη Μάιος 2007, σσ. 5-6, 8, 10, 18-19, 21, 25, 29, 30-33, 37

Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (GR12), Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Ιούλιος 2013, σσ. 32, 35-37, 90-91, διαθέσιμο στο: www.ypeka.gr

Τριανταφυλλίδης Σ., 'Εκτίμηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης από μεταλλευτική δραστηριότητα και προτάσεις αποκατάστασης του περιβάλλοντος στους νομούς Έβρου και Ροδόπης', Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2006, σσ. 267, 274, 277

Ιστοσελίδες

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=245&language=el-GR>

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=248&language=el-GR>

http://www.ecodonet.gr/pollutants_greek_1.4.php

geodata.gov.gr