

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Από τα ανωτέρω στοιχεία όπως αυτά αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στην ευρύτερη περιοχή του Ασωπού αναπτύσσονται *δύο κύριοι υδροφόροι ορίζοντες*, ο ανώτερος κοκκώδης υδροφόρος εντός των Νεογενών και Πλειστοκαινικών αποθέσεων, και ο βαθύτερος καρστικός εντός των ανθρακικών σχηματισμών των Τριαδικό – Ιουρασικών ασβεστολίθων. Επίσης προσχωματικοί ελεύθεροι υδροφόροι, αναπτύσσονται σε αποθέσεις εκατέρωθεν της κοίτης του Ασωπού, και στα παράκτια προσχωματικά πεδία του Ωρωπού και στις Αυλίδας
- Οι παραπάνω υδροφόροι ορίζοντες *τροφοδοτούνται*, ο μιν ανώτερος από τα κατεισδύοντα νερά της βροχής και από τις διηθήσεις χειμαρρικών υδάτων, συμπεριλαμβανομένου και του Ασωπού, ενώ ο βαθύτερος καρστικός από την περιοχή της βόρειας Πάρνηθας, από κατακόρυφες διηθήσεις σε τμήματα όπου παρουσιάζει επιφανειακή ανάπτυξη στην ευρύτερη περιοχή του Ασωπού καθώς επίσης και από κατακόρυφες μεταγγίσεις από τον υπερκείμενο κοκκώδη υδροφόρο των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων, ιδιαίτερα στην περιοχή δυτικά των Οινόφυτων.
- Η *ροή του υπόγειου νερού* στον ανώτερο κοκκώδη υδροφόρο διαμορφώνεται από τις εκάστοτε πιεζομετρικές συνθήκες. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται μια "υδραυλική καταβόθρα" δυτικά των Οινόφυτων η οποία φαίνεται να αποτελεί το βασικότερο αποδέκτη της ροής των υπογείων νερών του κοκκώδη υδροφόρου προς τον υποκείμενο καρστικό υδροφόρο. Τα νερά αυτά στη συνέχεια, ακολουθούν τη ροή των υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου βορειοανατολικά προς την περιοχή της Μαυροσουβάλας, όπου απαντούν και τα υδροληπτικά έργα του πεδίου των υδρογεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ, και στη συνέχεια εκβάλλουν ανατολικότερα στις υφάλμυρες πηγές του Καλάμου Αττικής
- Η συγκεκριμένη διεύθυνση ροής των υπόγειων νερών, και η υδραυλική σχέση μεταξύ του κοκκώδους και του υποκείμενου καρστικού υδροφόρου επιτρέπει το χαρακτηρισμό του

τελευταίου ως υδροφόρου *υψηλής ρυπαντικής επιδεκτικότητας* από ρυπογόνες εστίες και δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην ευρύτερη λεκάνη του Ασωπού

- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών εξετάστηκαν και ταξινομήθηκαν σε δύο διαφορετικές ενότητες, στα κύρια ιόντα και στα ιχνοστοιχεία.
- Σε ότι αφορά στην κατανομή των *κύριων ιόντων* προκύπτουν τα ακόλουθα:
 - Στην περιοχή μεταξύ Αυλάνας Αγ. Θωμά και Ασωπού απαντούν νερά πρόσφατης τροφοδοσίας ("*fresh waters*"), πλούσια σε οξυανθρακικά ιόντα, με χαμηλό σύνολο διαλελυμένων αλάτων (TDS). Ανατολικότερα και εκατέρωθεν της κοίτης του Ασωπού το TDS αυξάνει σταδιακά και ο υδροχημικός τους τύπος μεταβαίνει σε *Mg-HCO₃* και σε μικτού τύπου νερά.
 - Τα υπόγεια νερά είναι στην πλειοψηφία τους βεβαρημένα με νιτρικά ιόντα σε συγκεντρώσεις διπλάσιες περίπου από τα θεσμοθετημένα όρια ποσιμότητας των 50mg/l. Επίσης αυξημένη είναι και η συγκέντρωσή τους σε χλωριόντα ενώ, κατά μήκος του Ασωπού παρατηρήθηκε και αύξηση σε φωσφορικά ιόντα. Επίσης σε ορισμένες περιοχές καταγράφηκαν και αυξημένες τιμές νιτροδών και αμμωνιακών ιόντων.
 - Η προέλευση των νιτρικών ιόντων είναι ως επί το πλείστον αγροτική (αζωτούχα λιπάσματα) ενώ τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα αποδίδονται σε αστικές και βιομηχανικές εστίες ρύπανσης.
 - Σε βιομηχανικές εστίες ρύπανσης αποδίδονται και οι αυξημένες τιμές των χλωριόντων και των φωσφορικών ιόντων. Η αύξηση των χλωριόντων στους προσχωματικούς παράκτιους υδροφορείς του Ωρωπού και της Αυλίδας αποδίδεται στο μηχανισμό της υφαλμύρωσης
- Σχετικά με την *κατανομή των διαφόρων ιχνοστοιχείων* και των μετάλλων συνάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:
 - Καταγράφηκαν αυξημένες τιμές διαφόρων μετάλλων και ιχνοστοιχείων όπως το *ολικό και το εξασθενές χρώμιο, το νικέλιο και ο σίδηρος* και σε περιορισμένες αναλύσεις το *αρσενικό και ο μόλυβδος*.

- Τα ιχνοστοιχεία που ανιχνεύτηκαν παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις, κατά μήκος και εκατέρωθεν του Ασωπού, στην περιοχή του Ωρωπού καθώς και στην περιοχή της Αυλίδας.
- **Ολικό χρώμιο (Cr_{tot}):** Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στην περιοχή της Αυλίδας (180ppb) και ακολουθούν οι περιοχές εκατέρωθεν του Ασωπού έως την ευρύτερη περιοχή του Ωρωπού καθώς και η περιοχή νοτιοανατολικά του Ασωπού έως την περιοχή την ευρύτερη περιοχή της Αυλώνας. Η συγκεκριμένη κατανομή επιτρέπει την εκτίμηση ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι αυξημένες αυτές τιμές του ολικού χρωμίου είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής ρύπανσης. Αυξημένες τιμές χρωμίου παρατηρήθηκαν και σε γεώτρηση η οποία βρίσκεται πλησίον της κοίτης του Ασωπού βόρεια του Αγ. Θωμά.

Επισημαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις του ολικού χρωμίου καταγράφηκαν στην περιοχή νότια και νοτιοανατολικά του Ασωπού η οποία ταυτίζεται με τη βασική διεύθυνση της ροής των υπόγειων νερών στον καρστικό υδροφόρο και όχι ανάντη αυτής όπως η περιοχή βορειοδυτικά του Ασωπού δηλαδή η περιοχή Οινόης – Σχηματαρίου.

- Οι συγκεντρώσεις του **εξασθενούς χρώμιο (Cr^{6+})** παρουσιάζουν κατανομή ανάλογη με αυτή του ολικού χρωμίου. Οι μέγιστες τιμές που μετρήθηκαν ανέρχονται σε 156 ppb σε γεώτρηση η οποία βρίσκεται πλησίον της κοίτης του Ασωπού βόρεια του Αγ. Θωμά ενώ ανάλογες τιμές παρουσιάζουν και οι γεωτρήσεις και τα φρέατα στην περιοχή της Αυλίδας. Υψηλές επίσης τιμές καταγράφηκαν και σε γεώτρηση πλησίον της κοίτης του Ασωπού καθώς επίσης και στην ευρύτερη περιοχή της Αυλώνας. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις του εξασθενούς χρωμίου που προαναφέρθηκαν εκτιμάται με βεβαιότητα ότι είναι στην πλειοψηφία τους αποτέλεσμα βιομηχανικής ρύπανσης.
- Η κατανομή του **Ολικού Σιδήρου (Fe_{tot})**, παρουσιάζει ανάλογα χαρακτηριστικά με τις προηγούμενες κατανομές αλλά και με σαφείς διαφοροποιήσεις. Υψηλές τιμές παρατηρήθηκαν δυτικά του Ωρωπού στην ευρύτερη περιοχή της Χρυσοπηγής σε συγκεκριμένη περιοχή της Αυλώνας, νότια των Οινοφύτων καθώς και μεταξύ Σχηματαρίου και Αυλίδας. Η αυξημένη συγκέντρωση στην περιοχή της Αυλώνας

φαίνεται επιπροσθέτως να επηρεάζεται από την παρουσία του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος το οποίο εμφανίζεται επιφανειακά νότια της Αυλώνας ενώ οι αυξημένες τιμές στις υπόλοιπες περιοχές εκτιμάται ότι στην πλειοψηφία τους είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής ρύπανσης αφού συνοδεύονται και με άλλους ρυπαντικούς δείκτες και αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων.

- Αυξημένες τιμές *Νικελίου (Ni)*, παρατηρούνται εκατέρωθεν της κοίτης του Ασωπού καθώς και νοτιοδυτικά της Οινόης ενώ δεν παρατηρήθηκαν στις περιοχές της Αυλίδας και του Ωρωπού οι οποίες αντίθετα έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου και άλλων ιόντων. Η συγκεκριμένη κατανομή του νικελίου αποτελεί **χαρακτηριστικό δείκτη ρύπανσης** και η παρουσία του εκτιμάται με βεβαιότητα ότι σχετίζεται άμεσα με βιομηχανικές εστίες ρύπανσης που λαμβάνουν χώρα εντός της ευρύτερης βιομηχανικής ζώνης του Ασωπού.
- **Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)**: Η παρουσία και κατανομή του Ολικού Οργανικού Άνθρακα **αποτελεί δείκτη ρύπανσης των υπόγειων νερών από οργανικές ενώσεις**. Οι μετρήσεις έδειξαν υψηλές τιμές, έως και 7.5mg/l στο νερό του Ασωπού, καθώς και αυξημένες τιμές σε γεωτρήσεις εκατέρωθεν της κοίτης του και επίσης σε γεωτρήσεις οι οποίες έδειξαν αντίστοιχα υψηλές συγκεντρώσεις και άλλων ρυπογόνων μετάλλων και ιόντων. Η κατανομή του και ειδικότερα η σύσταση των επιμέρους οργανικών ενώσεων που συμμετέχουν, χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης σύμφωνα με τις προδιαγραφές και υποδείξεις της οδηγίας 2000/60 της Ε.Ε.
- **Άλλα μέταλλα, αρσενικό (As) , μόλυβδος (Pb)**: Αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων και αρσενικού και μολύβδου παρατηρήθηκαν σε μεμονωμένες γεωτρήσεις πλησίον του Ασωπού καθώς και στις περιοχές Σχηματαρίου, Οινοφύτων και Αυλώνας. Οι περιπτώσεις αυτές αποδίδονται στην πλειοψηφία τους σε σημειακές και διάχυτες εστίες βιομηχανικής ρύπανσης
- Σε ότι αφορά στην παρουσία φυσικών πηγών ρύπανσης στην περιοχή (σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα και οφιόλιθοι), από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι η παρουσία τους περιορίζεται εκτός της στενής περιοχής της λεκάνης του Ασωπού, νότια στην ορεινή περιοχή της Πάρνηθας και βόρεια στην περιοχή του όρους Κτυπός. Συνεπώς εκτιμάται

με βεβαιότητα ότι τα διάφορα μέταλλα και οι ρύποι που προσδιορίστηκαν είναι στην πλειοψηφία τους αποτέλεσμα, βιομηχανικής, αστικής και γεωργικής ρύπανσης

- Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, προκύπτει ότι ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται στην ευρύτερη περιοχή, διατρέχει τον κίνδυνο να επιβαρυνθεί από διηθήσεις μολυσμένων υδάτων τόσο κατά μήκος του Ασωπού όσο και στην "υδραυλική καταβόθρα" που αναπτύσσεται δυτικά των Οινοφύτων. Το υδατικό αυτό σύστημα υφίσταται εκμετάλλευση μέσω των γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ στη Μαυροσουβάλα καθώς και άλλων γεωτρήσεων για τις υδρευτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής. Ας σημειωθεί όμως ότι το δείγμα νερού που πάρθηκε από τις γεωτρήσεις αυτές, δεν παρουσίασε ενδείξεις ρύπανσης. Θα πρέπει να μελετηθεί όμως η πιθανή μελλοντική επιβάρυνση του υδροφόρου αυτού του συστήματος, ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας και σε συνθήκες υπεραντλήσεων.

5.2 Προτάσεις

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει η ποιοτική υποβάθμιση των υπογείων νεράν της ευρύτερης περιοχής και διαφαίνεται ο κίνδυνος περιβαλλοντικής επιβάρυνσης του καρστικού υδροφόρου συστήματος της ΒΑ Πάρνηθας.

Για την προστασία του ανωτέρω συστήματος και του ευρύτερου περιβάλλοντος γενικότερα καθώς και για τη λήψη των βέλτιστων και ενδεδειγμένων επανορθωτικών μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και τις υποχρεώσεις που απορρέουν από την Οδηγία 2000/60, οι προτεινόμενες ενέργειες διακρίνονται σε *μέτρα πρόληψης και ελέγχου* και σε *πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών* περαιτέρω διερεύνησης "χαρακτηρισμό" του υδρογεωλογικού συστήματος της περιοχής.

5.2.1 Μέτρα πρόληψης και ελέγχου

- *Εντατικοποίηση ελέγχου* των βιομηχανιών της περιοχής καθώς και όλων όσων εμπλέκονται στην συγκέντρωση, απομάκρυνση και τελική διάθεση των αποβλήτων ως προς το χώρο της διάθεσης και τον *τελικό αποδέκτη*.
- *Έλεγχος της στεγανότητας* των δεξαμενών αποθήκευσης και διακίνησης ρυπογόνων χημικών ουσιών στις διάφορες βιομηχανίες της περιοχής. Θα ήταν ασφαλέστερη η κατασκευή εξωτερικών – επιφανειακών δεξαμενών.
- *Η παντελής απαγόρευση* οιασδήποτε ανεξέλεγκτης διάθεσης υγρών ή άλλων αποβλήτων στο έδαφος και στο υπέδαφος (π.χ. σε γεωτρήσεις, ορύγματα, λατομεία κλπ.) καθώς επίσης και στον Ασωπό. Σε ότι αφορά στα επεξεργασμένα υγρά και στερεά απόβλητα η εδαφική και υπεδάφια διάθεσή τους και γενικότερα η διαχείρισή τους θα πρέπει να γίνεται με αυστηρή τήρηση της σχετικής Εθνικής και Κοινοτικής Νομοθεσίας
- Η άμεση εξεύρεση και εφαρμογή από τις αρμόδιες υπηρεσίες μιας *μόνιμης και βιώσιμης λύσης για την επεξεργασία και διάθεση* των υγρών και άλλων αποβλήτων, αστικών και βιομηχανικών.

5.2.1 Προτεινόμενες ερευνητικές εργασίες

Οι περαιτέρω ερευνητικές εργασίες που κρίνονται απαραίτητες τόσο για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των μηχανισμών λειτουργίας του συστήματος, της διερεύνηση της φύσης και προέλευσης των ρυπογόνων ουσιών καθώς και την εφαρμογή αποτελεσματικότερων μέτρων προστασίας και αποκατάστασης του συστήματος είναι οι ακόλουθες:

- Η *ανόρυξη ικανοποιητικού αριθμού ερευνητικών γεωτρήσεων δειγματοληψίας και ελέγχου* εντός και πλησίον της βιομηχανικής ζώνης του Ασωπού καθώς επίσης και κατά μήκος του καρστικού συστήματος που μεσολαβεί από τον Ασωπό έως την περιοχή των γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ στη Μαυροσουβάλα. Επίσης προτείνεται η ανόρυξη ανάλογων γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή της Αυλίδας όπου παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου. Ας σημειωθεί ότι στα πλαίσια της παρούσας έρευνας δεν κατέστη δυνατή η δειγματοληψία πλησίον και εντός της βιομηχανικής ζώνης λόγω της ιδιαιτερότητας των χρήσεων γης στην περιοχή, του ιδιοκτησιακού καθεστώτος και της απουσίας κατάλληλων υδροσημείων δειγματοληψίας. Ο αριθμός των προτεινομένων γεωτρήσεων αυτών σε πρώτη φάση δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος των τριάντα (30). Η ανόρυξη των γεωτρήσεων αυτών θα πρέπει να συνοδεύεται από τις κατάλληλες δειγματοληψίες υπόγειου νερού και υλικών διάτρησης, από διαγραφίες loggings καθώς και από αντλητικές δοκιμές για τη διερεύνηση των υδραυλικών ιδιοτήτων των υδροφόρων σχηματισμών,
- Την εκτέλεση ενός προγράμματος *σύγχρονων γεωφυσικών εργασιών* για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των υδροφόρων σχηματισμών και ιδιαίτερα της επαφής του κοκκώδους υδροφόρου με τον υποκείμενο καρστικό υδροφόρο. Οι εργασίες αυτές θα πρέπει κατ' ελάχιστο να περιλαμβάνουν μεθόδους ηλεκτρικής τομογραφίας και σεισμικές μεθόδους.
- Η εφαρμογή ενός *προγράμματος παρακολούθησης* των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων (κύριων ιόντων και ιχνοστοιχείων), μέσω δικτύου γεωτρήσεων, το οποίο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διετούς διάρκειας, *καθίσταται απολύτως αναγκαίο και επιβεβλημένο*. Στα πλαίσια αυτά θα καταστεί εφικτή και η δειγματοληψία από γεωτρήσεις οι οποίες ήταν ανενεργές κατά την (χειμερινή) περίοδο της παρούσας δειγματοληψίας καθώς επίσης και η αναμενόμενη έντονη εποχική διακύμανση της συγκέντρωσης των ρυπογόνων ουσιών που καταγράφηκαν.
- Η τοποθέτηση *πολυμετρικών αισθητήρων ελέγχου* στις προτεινόμενες γεωτρήσεις καθώς και σε επιλεγμένα σημεία κατά μήκος της κοίτης του Ασωπού.
- Η *δειγματοληψία και ανάλυση των δειγμάτων* για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των *οργανικών ουσιών*, τουλάχιστον εκείνων που προβλέπονται στην οδηγία 2000/60 και

στο ισχύον θεσμικό πλαίσιο της χώρας μας (ΦΕΚ 630/Β/26-4-2007) καθώς επίσης και επιλεγμένων οργανικών ουσιών που αναγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Το μέτρο αυτό *καθίσταται απαραίτητο και επιβεβλημένο μετά από την ανίχνευση υψηλών συγκεντρώσεων ολικού οργανικού άνθρακα* σε συγκεκριμένες περιοχές

- Η λεπτομερής απογραφή των ρυπογόνων εστιών και του είδους των βιομηχανικών και άλλων δραστηριοτήτων στην περιοχή
- Την κατασκευή και εγκατάσταση κατάλληλων μηχανισμών για την παρακολούθηση της επιφανειακής απορροής στο Ασωπό με την κατασκευή δύο τουλάχιστον υπερχειλιστών σε επιλεγμένες θέσεις της κοίτης του Ασωπού. Στα πλαίσια αυτά προτείνεται επίσης και η εγκατάσταση μικρομετεωρολογικού σταθμού για την παρακολούθηση της βροχής και συναφών μικρομετεωρολογικών παραμέτρων. Εάν ληφθεί υπόψη ότι στην κοίτη του Ασωπού παρατηρείται απορροή δύσοσμων ρευστών άγνωστης σύνθεσης και προέλευσης το παραπάνω σύστημα στο σύνολό του μαζί με τους πολυμετρικούς αισθητήρες θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ως σύστημα "έγκαιρης προειδοποίησης και ελέγχου" ή "Early Warning System".
- Η σύνθεση, επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων των παραπάνω εργασιών και η ανάπτυξη των κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης της ροής και της μεταφοράς των διαλυτών ουσιών στους υπόγειους υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής.
- Η αξιολόγηση των δεδομένων και αποτελεσμάτων όλων των ανωτέρω ερευνητικών εργαλείων και εργασιών και διαμόρφωση προτάσεων για τη λήψη των βέλτιστων μέτρων προστασίας και αποκατάστασης του συστήματος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2008

Ο ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΠΑΝ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ