

**ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ.  
ΠΗΓΕΣ, ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ**

**Σαχινίδης Συμεών**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το νερό δεν αποτελεί μόνο βασικό παράγοντα επιβίωσης του ανθρώπου, αλλά συχνά γίνεται και επικίνδυνος εχθρός της ανθρώπινης κοινωνίας, όταν και όπου εμφανίζεται σε περίσσεια ή και σε διαρκή έλλειψη. Έτσι, οι πλημμύρες των υδάτινων ρευμάτων προκαλούν συχνά μεγάλες καταστροφές καθώς και ανθρώπινα θύματα, η δε ξηρασία αποδεικνύεται συχνά ακόμη πιο επιζήμια. Παρά δε τις προσπάθειες του ανθρώπου, ιδίως στις αναπτυγμένες χώρες της γης, να αποτρέψει με διάφορα μέσα τις πλημμυρικές καταστροφές και να δημιουργήσει υδάτινα αποθέματα για τις ξηρές περιόδους, οι πλημμύρες και η ξηρασία εξακολουθούν ακόμη και σήμερα να αποτελούν δύο σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη κοινωνία.

Η ρύπανση των υδάτινων αποθεμάτων δημιουργεί έναν άλλο σύγχρονο κίνδυνο για την ανθρωπότητα. Το νερό, το οποίο αποτελεί απαραίτητο στοιχείο της παραγωγικής διαδικασίας, ιδίως της βιομηχανικής, αποβάλλεται μετά τη χρήση του εμπλουτισμένο με διάφορες ρυπαντικές ουσίες και καταλήγει στα υδάτινα ρεύματα, στις λίμνες, στις θάλασσες, καθώς και στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. (Κωτούλα, 1986).

Στην παρούσα εργασία ορίζεται η έννοια της ρύπανσης του νερού, περιγράφονται οι πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών καθώς επίσης η συμπεριφορά και η τύχη των ρύπων αυτών στο νερό. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα και προτάσεις.

**ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΜΑ**

**Ρύπανση υδάτων** ονομάζεται οποιαδήποτε μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού (θαλασσών, ποταμών, λιμνών), λόγω της παρουσίας σε αυτό ουσιών σε ποσότητα που υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια. Η μεταβολή αυτή μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, σε άλλους

ζωικούς ή φυτικούς οργανισμούς και γενικότερα να διαταράξει την ισορροπία των οικοσυστημάτων σε μικρή ή μεγάλη γεωγραφική κλίμακα.

Η ρύπανση χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: την άμεση ρύπανση δηλαδή αυτή που μπορούμε να τη δούμε, όπως η περίπτωση ενός ποταμού ή μιας λίμνης, όπου καταλήγουν τοξικά απόβλητα και προκαλείται άμεσος κι αιφνίδιος θάνατος ψαριών, και την έμμεση ρύπανση, δηλαδή αυτή που δεν είναι ορατή και σιγά σιγά προκαλούνται αλλαγές στα είδη που βρίσκονται στο νερό. Για παράδειγμα, όταν οι ρύποι, λύματα ή απόβλητα, καταλήγουν σε ένα ποτάμι ή σε μια λίμνη ή στη θάλασσα, σε ποσότητες που δεν μπορούν τα υδατικά οικοσυστήματα να καθαρίσουν, είναι πολύ πιθανό να προκληθούν σταδιακά αλλαγές στα είδη που υπάρχουν σε αυτό. Ορισμένα είδη αναπτύσσονται υπερβολικά, ενώ άλλα περιορίζονται ή εξαφανίζονται (ευτροφισμός). Σε πιο προχωρημένο επίπεδο ρύπανσης, μπορεί το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο να μειωθεί και να αρχίσει η παραγωγή άλλων αερίων, επικίνδυνων για τις μορφές ζωής (υδρόθειο, αμμωνία κ.ά).

### **Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδατορευμάτων και των υδατοσυλλογών διακρίνονται:**

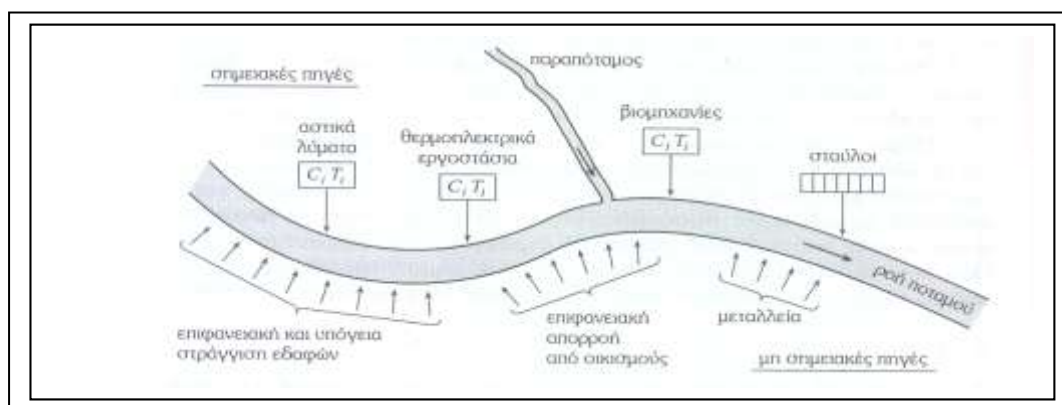
- I. *Αστικές πηγές.* Είναι οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδάτινων συστημάτων. Περιλαμβάνουν τα υγρά απόβλητα των αστικών περιοχών που φτάνουν στα υδάτινα συστήματα, είτε δια μέσου των υπονόμων, είτε με την ελεύθερη επιφανειακή απορροή.
- II. *Βιομηχανικές πηγές.* Περιλαμβάνουν απόβλητα από τις δραστηριότητες των βιομηχανιών. Τα λύματα των βιομηχανιών προέρχονται από τις δραστηριότητες της υγιεινής των εργαζομένων (πλύσιμο, πόση), την ψύξη, τις διαδικασίες παραγωγής (πλύσιμο προϊόντων, απομάκρυνση υποπροϊόντων και αποβλήτων, μεταφορά) και καθάρισμα (πλύσιμο και καθάρισμα των συσκευών και των χώρων της βιομηχανίας). Τα απόβλητα αυτά μπορούν να ελεγχθούν και να υποστούν καθαρισμό.
- III. *Γεωργικές πηγές* Τα σπουδαιότερα μέσα της σύγχρονης γεωργίας που είναι τα χημικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα αποτελούν πηγές ρύπανσης. Επίσης, τα παράγωγα των καλλιεργειών και τα απόβλητα των ζώων αποτελούν πηγές ρύπανσης. Τα χημικά λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και τα στερεά απόβλητα των ζώων που εφαρμόζονται στο έδαφος παρασύρονται από τα απορρέοντα

νερά των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων προς τα στραγγιστικά δίκτυα και από εκεί στους ποταμούς.

IV. *Φυσικές πηγές.* Η ρύπανση από τις φυσικές πηγές προκαλείται από τα απορρέοντα νερά των βροχών, τη διαρροή του υπόγειου νερού, τα στραγγιστικά δίκτυα των ελών και βάλτων και την υδρόβια ζωή των ποταμών. Με το νερό της απορροής από τις βροχές μεγάλης έντασης εκπλύνονται μεγάλες ποσότητες οργανικού και ανόργανου υλικού και διαβρώνονται τα εδάφη και οι όχθες των ποταμών. Με τη διαρροή του υπόγειου νερού μεταφέρεται μια ποικιλία χημικών συστατικών από το εδαφικό νερό και από τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Σε περιόδους μικρών παροχών η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στα υδατορεύματα αυξάνει και μπορεί να καταστεί επιζήμια σε διάφορους χρήστες του νερού και ιδιαίτερα όταν περιλαμβάνονται τοξικά υλικά για ιόν άνθρωπο και τα ζώα.

Οι πηγές ρύπανσης ανάλογα με τον τρόπο που παροχετεύουν τα απόβλητα τους στους αποδέκτες μπορούν να διακριθούν σε "σημειακές πηγές", στις οποίες τα απόβλητα παροχετεύονται στον αποδέκτη από τις εξόδους των υπονόμων ή των στραγγιστικών αγωγών, και σε "μη σημειακές ή κατανεμημένες στο χώρο πηγές" στις οποίες οι ρύποι που είναι διάσπαρτοι στη γη μεταφέρονται με την επιφανειακή απορροή του νερού και με την κίνηση του υπόγειου νερού στους αποδέκτες.

(Σχήμα 1) (Τσακίρης, 1995).



Σχήμα 1. Βασικές πηγές ρύπανσης των υδατορευμάτων (Αντωνόπουλος 1995)

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές κατηγορίες ρύπανσης των επιφανειακών νερών, δηλαδή των νερών των λιμνών και υδρορευμάτων, όπως:

- ρύπανση από παθογόνους μικροοργανισμούς

- ρύπανση από υδρογονάνθρακες
- ρύπανση λόγω της παρουσίας υψηλού φορτίου αιωρούμενων στερεών
- ρύπανση από όξινη βροχή ή μεταλλευτικές δραστηριότητες (όξινη ρύπανση)
- ρύπανση από μεταλλικά ιχνοστοιχεία
- ρύπανση από συνθετικές οργανικές ενώσεις (παρασιτοκτόνα κ.ά.)
- ρύπανση από συνθετικές επιφανειοδραστικές ενώσεις (απορρυπαντικά)
- θερμική ρύπανση

Οι πηγές της ρύπανσης από υδρόφοβους ρύπους, όπως τα πετρελαιοειδή, είναι πολλές και διαφορετικές: διάλυση, αποθήκευση, μεταφορά, χρησιμοποίηση και απόρριψη. Πιο σημαντική όμως είναι η ρύπανση που προέρχεται από ατυχήματα. Ο υδρόφοβος χαρακτήρας των υδρογονανθράκων αυτών (NAPLs) οδηγεί στη δέσμευση τους με άλλα υλικά, καθώς και στην κατανομή τους είτε στα ιζήματα είτε στους ιστούς. Οι δυσμενείς συνέπειες από τη ρύπανση των επιφανειακών νερών με πετρελαιοειδή είναι αισθητικές, οπτικές, αλλά κυρίως βλαπτικές στα υδατικά οικοσυστήματα. Η ένταση τους εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα των πετρελαιοειδών, την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την ταχύτητα ροής του υδρορεύματος, το χρόνο παραμονής της κηλίδας στο νερό και από τις τεχνικές, που χρησιμοποιήθηκαν για την απορρύπανση.

Η ρύπανση από πετρελαιοειδή γίνεται αισθητή από την οσμή, όταν η συγκέντρωση ξεπερνά τα 0,01mg/l, όταν πρόκειται για πετρέλαιο, τα 0,2-1,0 mg/l όταν πρόκειται για αργό πετρέλαιο και 2,0-2,5 mg/l όταν πρόκειται για λιπαντικά. Η δημιουργία του υμένιου από πετρελαιοειδή στην επιφάνεια του νερού έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του επαναερισμού και της προσρόφησης οξυγόνου από το νερό (Καλλέργης, 2004).

Συχνά, στα επιφανειακά νερά απαντά οργανικό φορτίο, που βιοαποικοδομείται εύκολα. Το φορτίο προέρχεται από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα, που απορρίπτονται σε επιφανειακούς αποδέκτες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απαίτηση διαλυμένου οξυγόνου (COD , BOD) στον αποδέκτη, γεγονός που θεωρείται ως η πιο συχνή και πιο σημαντική μορφή της ρύπανσης των επιφανειακών νερών.

Εάν τα απόβλητα περιέχουν τοξικές ουσίες που καταστρέφουν τους μικροοργανισμούς, τότε οι τιμές του BOD θα είναι πολύ μικρές και στην περίπτωση

αυτή η φόρτιση των αποβλήτων ελέγχεται με το χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο. Με τον όρο (BOD), βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο, εννοείται ένας εμπειρικός προσδιορισμός ο οποίος κάτω από ορισμένες συνθήκες μας δίνει τις σχετικές απαιτήσεις σε οξυγόνο, δειγμάτων αποβλήτων ή ρυπασμένων υδάτων. Ουσιαστικά, μετρούμε την ποσότητα του οξυγόνου η οποία καταναλίσκεται από τους μικροοργανισμούς για να αποικοδομήσουν οξειδωτικώς τις οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο ύδωρ σε διάστημα 5 ημερών, χωρίς φως και σε θερμοκρασία 20°C. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται έμμεσα το φορτίο σε οργανικές ουσίες που υπάρχουν στο ύδωρ. Αν οι ουσίες αυτές είναι τοξικές και νεκρώνουν τους μικροοργανισμούς τότε τα αποτελέσματα δεν ανταποκρίνονται στο πραγματικό φορτίο.

Τα ακατέργαστα λύματα μιας πόλεως παρουσιάζουν τιμές BOD από 100 μέχρι 400 και πλέον. Τα βιομηχανικά απόβλητα βιομηχανιών κατεργασίας τροφίμων έχουν τιμές BOD από 200 έως 10.000. Είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς πόσο σοβαρό είναι το πρόβλημα των αποβλήτων της κατηγορίας αυτής.

Με την τιμή του BOD χαρακτηρίζεται πλέον συμβατικά η ολική φόρτιση του ύδατος σε οργανικές ουσίες καθώς και η απόδοση των συστημάτων εξυγιάνσεως των αποβλήτων. Τα συγκριτικά αποτελέσματα έχουν αξία μόνο εάν οι προσδιορισμοί γίνονται κάτω από ίδιες ακριβώς συνθήκες. Οι παράμετροι που επιδρούν είναι: το είδος και ο αριθμός των υπαρχόντων μικροοργανισμών - το είδος των περιεχομένων οργανικών ουσιών - η προσφορά θρεπτικών υλών για τους μικροοργανισμούς - η προσφορά του οξυγόνου - η διάρκεια του προσδιορισμού - (διάρκεια δράσεως μικροοργανισμών επί των οργανικών ουσιών) - η θερμοκρασία - ο φωτισμός και οι παρεμποδίσεις των βιολογικών διεργασιών λόγω της παρουσίας δηλητηριωδών ή παρεμποδιστικών ουσιών (Βασιλικιώτη, 1989).

Τα νερά των χειμάρρων, των ποταμών, των λιμνών και της θάλασσας που δέχονται αστικά, ή βιομηχανικά απόβλητα εμπλουτίζονται με τοξικά ή μη ανόργανα στοιχεία και με οργανικές ενώσεις (οργανικό φορτίο), που για την αποικοδόμηση και την αποσύνθεση του απαιτείται κατανάλωση μεγάλης ποσότητας οξυγόνου κατά την αερόβιο είτε αναερόβιο ζύμωση. Κατά την αερόβιο ζύμωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων μειώνεται σε σημαντικό βαθμό το ελεύθερο οξυγόνο των νερών του κάθε αποδέκτη και επηρεάζεται έμμεσα η υδρόβια ζωή των αποδεκτών.

Η όξινη βροχή και οι ρυπαντές που μεταφέρονται με τον άνεμο πέφτουν τελικά και κατακάθονται πάνω σε πόλεις, σε αγρούς, δάση λίμνες και ποτάμια. Οι

λίμνες, οι ποταμοί (αλλά και η θάλασσα) υπόφεραν περισσότερο από τις διάφορες ρυπάνσεις, επειδή, λόγω του είδους του μέσου δηλ. του νερού, ξαπλώνουν προς όλες τις διευθύνσεις πλάγια και κάτω πολύ γρήγορα και εύκολα (πράγμα που δεν γίνεται τόσο εύκολα στο έδαφος) και αυτό βέβαια έχει άμεση επίδραση στα φυτά, τα ψάρια και λοιπούς οργανισμούς που ζουν μέσα στα γλυκά νερά (Καϊλίδη, 1985).

Μια σημαντική κατηγορία ρύπανσης είναι η θερμική ρύπανση. Η μεταβολή της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών μεταβάλλει την πυκνότητα, το ιξώδες, την πίεση των ατμών, την επιφανειακή τάση, τη διαλυτότητα των αερίων και το ρυθμό της διάχυσης των αερίων. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να επιταχύνει τη διαδικασία με την οποία οι αερόβιοι μικροοργανισμοί διασπούν την οργανική ύλη, γεγονός που συνεπάγεται την αύξηση της απαίτησης οξυγόνου, ενώ παράλληλα προκαλείται μείωση της ικανότητας του νερού να συγκρατεί το διαλυμένο οξυγόνο. Το αποτέλεσμα είναι η ταχεία αύξηση του BOD και, συνεπώς, η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Αυτό συνεπάγεται την κατανάλωση όλης της διαθέσιμης ποσότητας του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου και το θάνατο των υδρόβιων οργανισμών. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί επίσης αύξηση της ανάγκης που έχουν τα ψάρια σε οξυγόνο για να επιβιώσουν και μείωση του χρόνου που απαιτείται προκειμένου αυτά να αντιδράσουν στα νέα χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, καθώς και αύξηση του ρυθμού αναπαραγωγής των αζωτοβακτηριδίων και, κατά συνέπεια, πρόσθετη αύξηση της ζήτησης του οξυγόνου.

Η απόρριψη θερμών αποβλήτων στις λίμνες ή τα ποτάμια δημιουργεί θερμική στρωμάτωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση ανάμιξης του ρυπασμένου ανώτερου στρώματος, με το πιο ψυχρό υποκείμενο στρώμα και, κατά συνέπεια, της αφομοίωσης της ρύπανσης. Πέρα όμως από τα πιο πάνω, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί επιτάχυνση της αποικοδόμησης των οργανικών και αυξάνει την τοξικότητα των τοξικών ρύπων, παρ' ότι έχει αναφερθεί ότι ειδικά η τοξικότητα των παρασιτοκτόνων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η τοξικότητα του υδραργύρου και του χαλκού αυξάνει σημαντικά με τη θερμοκρασία, ενώ του ψευδαργύρου εξαρτάται από το είδος του οργανισμού (Καλλέργης, 2004). Τοξικότητα σημαίνει δηλητηρίαση που μπορεί να είναι παροδική ή και θανατηφόρος. Μπορεί να τονιστεί για να γίνει κατανοητό ότι δεν υπάρχουν δηλητήρια, αλλά δηλητηριώδεις δόσεις. Τα περισσότερα ονομαζόμενα δηλητήρια σε

ιχνοστοιχειακές συγκεντρώσεις δρουν επωφελώς στον ανθρώπινο οργανισμό και πολλάκις χρησιμοποιούνται σα φάρμακα.

Είναι γνωστό ότι τα λύματα και τα απόβλητα περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό τοξικών παραγόντων που καθιστούν τα νερά των αποδεκτών επικίνδυνα για τη ζωή φυτικών και ζωικών οργανισμών. Γι' αυτό έχουν προκαθοριστεί επιτρεπόμενα όρια τιμών μεγαλοστοιχείων, μικροστοιχείων, ιχνοστοιχείων και παραμέτρων, βάσει των οποίων επιτρέπεται η αποχέτευση τους στον ενδιάμεσο ή τελικό αποδέκτη, είτε είναι υπόνομος, είτε ρεύμα ή θάλασσα. (Μαλεφάκης, 1998).

Όσο για την ρύπανση των υπόγειων υδάτων, το υπόγειο νερό είναι, γενικώς, λιγότερο τρωτό απέναντι σε εξωτερική ρύπανση από το επιφανειακό νερό. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι το υπόγειο νερό είναι απρόσβλητο στη ρύπανση. Απεναντίας, όταν το υπόγειο νερό ρυπανθεί, τόσο ο περιορισμός της ρύπανσης, όσο και η απορρύπανση είναι πολύ πιο δύσκολη από ότι στα επιφανειακά νερά, το κόστος είναι πολύ υψηλό και συχνά η ρύπανση δεν είναι αντιστρεπτή.

Για την αποτίμηση του βαθμού ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων εισάγεται η έννοια της *τρωτότητας*. Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό. Συνεπώς κάποιες περιοχές είναι πιο ευάλωτες από κάποιες άλλες. Η τρωτότητα σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Κατά την πορεία αυτή, ο ρύπος υφίσταται την επίδραση φυσικών και χημικών διεργασιών. Οι φυσικοί μηχανισμοί που συντελούν στη μεταφορά των ρύπων είναι η ταχύτητα του υπόγειου υγρού, η μηχανική διασπορά και η μοριακή διάχυση, ενώ οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι η προσρόφηση, η καθίζηση, η διάλυση, η οξειδοαναγωγή, η βιοαποικοδόμηση των οργανικών ρύπων καθώς και η υποβάθμιση των ραδιενεργών στοιχείων (Ανδρεάδης και Κουμαντάκης, 1997).

Η ρύπανση του υπόγειου νερού μπορεί να προκληθεί από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές.

#### Φυσικές πηγές ρύπανσης

Η πιο διαδεδομένη φυσική πηγή ρύπανσης είναι η διάλυση, από το νερό που κινείται στο έδαφος, ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων. Αυτό συνεπάγεται τον εμπλουτισμό του νερού σε τοξικά μέταλλα, όπως τα As, Fe, Mn, Cu κ.ά., αλλά και σε ορυκτά όπως ο αμιάντος.

## Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης

Έχουν καταγραφεί περισσότερες από τριάντα διαφορετικές πηγές ρύπανσης του υπόγειου νερού, από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι πηγές αυτές μπορεί να είναι σημειακές ή διάχυτες. Οι πιο συνηθισμένες από αυτές τις πηγές ρύπανσης:

- είναι η διάθεση στερεών και υγρών αποβλήτων στο έδαφος και το υπέδαφος, όπως οι σκουπιδότοποι, οι δεξαμενές διάθεσης αποβλήτων, επιφανειακές και υπόγειες, η διοχέτευση χημικών ή άλλων αποβλήτων σε γεωτρήσεις έκχυσης,
- η αποθήκευση αποβλήτων,
- τα σηπτικά συστήματα,
- η χρησιμοποίηση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων και γενικά φυτοφάρμακα και
- η υφαλμύριση

Ο κατάλογος των ρύπων του υπόγειου νερού είναι πολύ μακρύς. Μερικοί ρύποι, όπως π.χ. το As, προέρχονται από τα πετρώματα της λιθόσφαιρας. Η συγκέντρωση αλάτων στο υπόγειο νερό είναι σχετικώς υψηλή και προέρχεται από τη διάλυση από το νερό ορυκτολογικών συστατικών, τα οποία διαλύονται κατά την πορεία του νερού μέσω των πετρωμάτων. Οι ρύποι του υπόγειου νερού ανήκουν τόσο στη κατηγορία των **οργανικών**, όσο και σε εκείνη των **ανόργανων** ρύπων. Οι οργανικοί ρύποι μεγάλου μοριακού βάρους κινούνται βραδύτερα προς το υπόγειο νερό από τους ρύπους μικρού μοριακού βάρους. Διαφορετικός είναι επίσης ο τρόπος μετανάστευσης, ανάλογα με την πυκνότητα τους (Καλλέργης, 2004).

Ειδικότερα, τα μη αναμίξιμα με το νερό υγρά (NAPLs), είναι ρύποι, που η παρουσία τους στην ακόρεστη ζώνη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Τα υγρά αυτά εμφανίζουν μία χωριστή υγρά φάση στο υδάτινο περιβάλλον. Γενικά, τα NAPLs είναι υγρά τα οποία έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή μικρότερη από του νερού. Διακρίνονται σε LNAPLs που είναι τα μη αναμίξιμα με το νερό υγρά με πυκνότητα μικρότερη από το νερό και σε DNAPLs που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από το νερό. Παράδειγμα ελαφρότερων από το νερό είναι τα υγρά καύσιμα των υδρογονανθράκων, όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο θέρμανσης, η κηροζίνη. Στα DNPLs περιλαμβάνονται οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες όπως οι



τετραχλωράνθρακες, το 1,1,1 τριχλωροαιθάνιο, οι χλωροφαινόλες, τα χλωροβενζόλια, τα τετραχλωροαιθυλένια και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs). Η σημασία των NAPLs στα υπόγεια νερά οφείλεται στην εμμονή τους κάτω από το έδαφος και την ικανότητα που έχουν να ρυπαίνουν μεγάλους όγκους νερού λόγω της μικρής δυνατότητας απομάκρυνσης του. Η μετακίνηση των ουσιών αυτών στο έδαφος εξαρτάται από την ποσότητα που ελευθερώνεται στο έδαφος, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και τη δομή του εδάφους δια μέσου του οποίου μετακινούνται (Αντωνόπουλος, 2001).

Οι ανόργανοι ρύποι είναι ολιγομελέστεροι από τους οργανικούς, αποτελούν όμως σημαντικές πηγές ρύπανσης των υπόγειων νερών. Το αλάτι, π.χ., που χρησιμοποιείται το χειμώνα προκειμένου να αποφευχθεί το πάγωμα του χιονιού, συχνά οδεύει στους ελεύθερους ρηχούς υδροφόρους. Η κίνηση των ανόργανων ρύπων είναι περισσότερο προβλέψιμη από τους οργανικούς. Στους ανόργανους ρύπους ανήκουν μεταλλικά στοιχεία (βαρέα και συνήθη), τα θρεπτικά (ενώσεις αζώτου και φωσφόρου), προερχόμενα από τη χρήση λιπασμάτων και από τα λύματα, τα ραδιονουκλείδια και τέλος τα αμέταλλα.

Οι ραδιενεργοί ρύποι (ραδιονουκλείδια) είναι επικίνδυνοι όχι τόσο λόγω των χημικών τους ιδιοτήτων, αλλά κυρίως λόγω της ραδιενέργειας που εκπέμπουν κατά τη μεταστοιχείωσή τους. Το πιο σύνηθες ραδιενεργό στοιχείο που εντοπίζεται στο υπόγειο νερό είναι το ραδόνιο, το οποίο είναι αέριο ευδιάλυτο στο νερό, προερχόμενο από τη λιθόσφαιρα.

Μια πηγή ρύπανσης του υπεδάφους είναι ο ενταφιασμός άχρηστων φυτοφαρμάκων, μια μέθοδος αρκετά προσφιλής για την απομάκρυνση τοξικών οργανικών από τη βιόσφαιρα. Δυστυχώς, έχουν σημειωθεί περιπτώσεις ρύπανσης ακόμα και πηγών από τοξικές οργανικές ενώσεις, λόγω υπεδάφιας διάθεσής τους.

Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η απόρριψη τοξικών ρύπων σε ανενεργά μεταλλεία ή λατομεία που αναπτύσσονται συνήθως σε βραχομάζες, όπου οι διαδικασίες μείωσης της ρύπανσης είναι ασήμαντες και η ταχύτητα διάδοσης της ρύπανσης μέσω των ασυνεχειών του πετρώματος εξαιρετικά υψηλή.

Τα σηπτικά συστήματα προσφέρουν στο υπόγειο νερό βακτήρια, ιούς, νιτρικά, φωσφορικά, χλωριούχα, συνθετικές οργανικές ενώσεις και επιφανειοδραστικές ενώσεις. Το στράγγισμα από τους σκουπιδότοπους μολύνει τους υδροφόρους με ιχνοστοιχεία, οξέα, πτητικές οργανικές ενώσεις και παρασιτοκτόνα.

Με την εφαρμογή των λιπασμάτων στο έδαφος που συνήθως περιέχουν ανόργανα στοιχεία, προκαλείται αύξηση των λιπασματικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα. Ποιοτικά, οι πιο επιβλαβείς ρύποι για την υγεία του ανθρώπου, από τη γεωργία, είναι τα νιτρικά ιόντα, τα οποία με μεγάλη ευκολία μεταφέρονται με το νερό που διηθείται βαθιά δια μέσου της ακόρεστης ζώνης του εδάφους και της υπόγειας ροής στους υπόγειους υδροφορείς. Η άρδευση και η εφαρμογή των λιπασμάτων ανόργανου αζώτου φαίνεται ότι συντελούν στην ταχύτερη αύξηση των νιτρικών σε πολλές αγροτικές περιοχές. Αλλά αύξηση τους μπορεί να παρατηρηθεί και σε μη αρδευόμενες περιοχές με οργανικά εδάφη.

Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στη γεωργία για την προστασία των καλλιεργειών από τα έντομα (εντομοκτόνα), μύκητες (μυκητοκτόνα) και βακτήρια (βακτηριοκτόνα) και την καταπολέμηση των ζιζανίων (ζιζανιοκτόνα) αποτελούν σημαντικό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών. Παρότι οι οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν φυτοφάρμακα είναι ταχείας άποικο δόμησης, σημαντικές ποσότητες αυτών και των προϊόντων της διάσπασης τους έχουν καταγραφεί στα υπόγεια νερά. Σημαντικό ρόλο για τη σοβαρότητα της ρύπανσης από τα αγροχημικά αποτελεί η τοξικότητα, η ποσότητα και ο χρόνος παραμονής της ουσίας στο έδαφος καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους στο έδαφος.

Οι πιο σπουδαίοι μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και διάφορα άλλα παράσιτα. Τα σοβαρότερα προβλήματα υγείας που προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς του υπόγειου νερού είναι ο τύφος, η χολέρα και η ηπατίτιδα. Οι πηγές των μικροοργανισμών είναι τα ανθρώπινα και ζωικά λύματα και απόβλητα. Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από την εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλύσεις από τους σκουπιδότοπους, και τις ποικίλες γεωργικές πρακτικές, όπως η διάθεση στο έδαφος της ζωικής κόπρου για οργανική λίπανση. (Αντωνόπουλος, 2001).

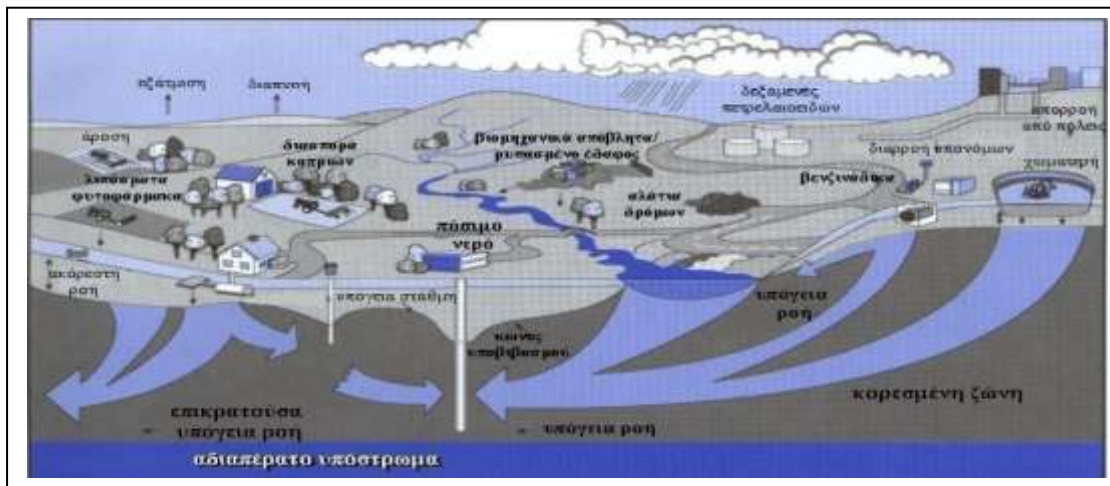
Η υφαλμύρωση των υπόγειων νερών είναι ένα φαινόμενο σύνθετο και συνήθως παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Δεν είναι πάντα πρακτικά αναστρέψιμη, γι' αυτό η αντιμετώπισή της συνδέεται με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση. Με τον όρο υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων εννοείται η ύπαρξη στους υδροφορείς όχι μόνο γλυκού νερού, αλλά και υφάλμυρου.

Οι κυριότερες αιτίες ύπαρξης της υφαλμύρωσης είναι :

- Γεωλογικοί παράγοντες Συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διεύθυνση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς.
- Φυσικοί παράγοντες π.χ. κλιματικές αλλαγές, ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κ.λ.π.
- Ανθρωπογενείς παράγοντες π.χ. υπεραντλήσεις κ.λ.π.

Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης ανήκει στην κατηγορία των ιδιαίτερα σύνθετων, μη αντιστρεπτών προβλημάτων ρύπανσης των υπόγειων νερών, με έντονες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων



Σχήμα 2. Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (Αντωνόπουλος 2004)

Όταν ο ρύπος είναι ευδιάλυτος στο νερό και δεν αντιδρά με τη στερεά ύλη στην οποία περιλαμβάνεται και το υλικό του υδροφόρου, τότε αλληλεπιδρά με το υπόγειο νερό. Ο πιο πάνω ρύπος χαρακτηρίζεται ως ανθεκτικός που κινείται με την ίδια περίπου ταχύτητα που κινείται και το νερό. Από το σημείο εισόδου του ρύπου στο σύστημα ροής στον υδροφόρο, ο ρύπος κινείται με ρεύματα μεταφοράς. Η μετανάστευση των ρύπων με διάχυση, δηλαδή από περιοχές υψηλής χημικής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου, είναι πολύ μικρότερη. Κατά την κίνηση του μέσω της στερεάς φάσης, ο ρύπος εκτείνεται κάθετα προς τη διεύθυνση ροής, δηλαδή με πλευρική διασπορά, καθώς και κατά τη διεύθυνση ροής του νερού, δηλαδή με επιμήκη διασπορά. Οι ρύποι μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τη στερεά ύλη με ποικίλους τρόπους. Μπορεί να προσροφηθούν, όταν αποτελούν ηλεκτρικά δίπολα, ή να ανταλλάγουν με ιόντα της

στερεάς ύλης. Λόγω αλληλεπίδρασης με τη στερεά φάση, προκαλείται επιβράδυνση της μετανάστευσης της ρύπανσης.

Όταν ο ρύπος είναι αδιάλυτος ή ελάχιστα διαλυτός στο νερό, η βασική ιδιότητα που ελέγχει την αλληλεπίδραση με το νερό και τη στερεά φάση είναι η πυκνότητα του ρύπου, η οποία καθορίζει κατά πόσον η ρύπανση θα επηρεάσει το επιφανειακό στρώμα του υπόγειου νερού στον υδροφόρο ή στον πυθμένα του υδροφόρου και το υπόγειο νερό, στη βαθύτερη αναγωγική ζώνη.

Ο ρύπος μπορεί να αντιδράσει π.χ. με την επένδυση ΧΥΤΑ και να μεταβάλει την υδροπερατότητά της. Αυτό είναι ιδιαίτερα αισθητό αν η επένδυση είναι αργιλική. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο σοβαρό από το γεγονός ότι, κατά κανόνα, ταυτίζεται η υδροπερατότητα των υλικών με τη διαπερατότητά τους απέναντι σε υγρούς ρύπους. Ο ρύπος μπορεί να αντιδράσει με το υπόγειο νερό και να προκύψουν νέες ενώσεις. π.χ., η υδρόλυση οργανικών μορίων ή μεταλλικών ιόντων δημιουργεί νέα χημικά είδη, που μπορεί να έχουν τελείως διαφορετικές ιδιότητες από τις αρχικές ενώσεις.

Η παρουσία στο υπόγειο νερό αιωρούμενων σωματιδίων σημαίνει την παροχή καταφυγίου σε υδρομεταφερόμενους μικροβιακούς ρύπους, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν βιοαποικοδόμηση οργανικών ρύπων ή ακόμη και σημαντικές ασθένειες στον άνθρωπο, όταν το νερό, στο οποίο περιέχονται, χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο. Περισσότερα από 120 είδη ιών του εντέρου, απεκκρίνονται μαζί με τα περιττώματα του ανθρώπου και απομακρύνονται με τα αστικά απόβλητα.

## **ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά αποτελούν κοινωνικό αγαθό. Τα υπόγεια νερά είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε κίνδυνο ρύπανσης από διάφορες διάσπαρτες πηγές με ρυπαντικό φορτίο, που είναι δυνατό να συσσωρεύεται αθροιστικά με τα χρόνια. Κάποιες δε από τις μορφές ρύπανσης ανάλογα με το είδος που τις προξένησε, μπορεί να είναι κυριολεκτικά αδύνατο να αποκατασταθούν πλήρως στην αρχική τους κατάσταση (ανεξάρτητα από το οικονομικό κόστος) ακόμη και όταν η πηγή ρύπανσης πάψει να υφίσταται. Η θεώρηση αυτή καθιστά την παρακολούθηση της ποσότητας και της ποιότητας των υπόγειων νερών επιτακτική και την διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους μέσα σε αποδεκτά όρια ανάλογα με την χρήση τους.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα, γι' αυτό και πολλοί διεθνείς οργανισμοί, φορείς, οργανώσεις και κυβερνήσεις καταβάλλουν κοινές προσπάθειες για την αντιμετώπισή της. Για το σκοπό αυτό υπογράφηκαν διεθνείς συμφωνίες, ενώ για τη σωστή αντιμετώπιση της ρύπανσης απαιτούνται, επίσης, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, καταλύτες καυσαερίων στα βενζινοκίνητα οχήματα, επεξεργασία των καυσαερίων των βιομηχανιών πριν αυτά εκλυθούν στην ατμόσφαιρα, ανακύκλωση των απορριμμάτων, σωστή χωροθέτηση και διαχείριση των χώρων ταφής των απορριμμάτων, ευρεία εφαρμογή τεχνολογιών που αξιοποιούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Γανίδου, 2002).

Η πρόληψη της ρύπανσης είναι ο καλύτερος τρόπος προστασίας της ποιότητας του υπόγειου νερού.

Η πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων νερών πρέπει να είναι ο κεντρικός σκοπός της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας για τους ακόλουθους λόγους :

Οι συνέπειες της ρύπανσης των υπόγειων νερών διαρκούν περισσότερο χρόνο (μήνες, έτη, δεκαετίες) σε σύγκριση με την ρύπανση των επιφανειακών νερών, επειδή τα υπόγεια νερά, στις περισσότερες περιπτώσεις κινούνται με χαμηλές ταχύτητες. Επιπλέον, ο καθαρισμός των υπόγειων νερών εκ των υστέρων, είναι συνήθως ανέφικτος ή πολύ δαπανηρός. Είναι προτιμότερο να προλαμβάνουμε ή να περιορίζουμε τον κίνδυνο της ρύπανσης παρά να αντιμετωπίζουμε τις συνέπειες.

Τα υπόγεια νερά είναι σημαντικός φυσικός πόρος, ο οποίος καθώς χρησιμοποιείται στη γεωργία, την βιομηχανία και για παραγωγή πόσιμου νερού, πρέπει να προστατεύεται προς χάρη των σημερινών και των μελλοντικών αναγκών.

### **ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Υπάρχει μια πραγματική ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών και για τη μείωση της ρύπανσης. Η γνώση από την μέχρι σήμερα έρευνα για τον έλεγχο και την πρόγνωση της εξάπλωσης της ρύπανσης αναδεικνύουν την ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των λιπασμάτων και μακροχρόνια έρευνα πεδίου.

Η χημική ρύπανση των διασυνοριακών επιφανειακών υδάτων μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με κοινή διασυνοριακή δράση.

- ◆ Είναι απαραίτητο να συνταχθεί από την Κυβέρνηση ένα Σχέδιο Ελέγχου της ποιότητας του νερού σε όλη τη Ελλάδα, όπως και ένα λεπτομερές Σχέδιο Δράσης για την ανάνηψη των μολυσμένων λιμνών, ποταμών κ.λ.π.

- ◆ Η δημιουργία Εθνικού Δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων.
- ◆ Η πρωταρχική ευθύνη της παρακολούθησης θα πρέπει να παραμείνει στην Τοπική Αυτοδιοίκηση.
- ◆ Η αντιμετώπιση των ρύπων είναι ευκολότερη και αποτελεσματικότερη όταν γίνεται στην πηγή παραγωγής του ρύπου και όχι στην κατάληξή του, όπου αυξάνεται η ποσότητα και συνυπάρχουν πολλοί ρύποι διαφορετικής χημικής σύστασης και απαιτήσεων για την αντιμετώπισή τους.

### **Βιβλιογραφία**

- Αντωνόπουλος Β., 2001. Ποιότητα και ρύπανση Υπόγειων Νερών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. Σελ 355.
- Αντωνόπουλος Β., 1995. Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτινων πόρων. Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα. Σελ 580.
- Ανδρεάδης Ι και Κουμαντάκης Ι., 1997. Το φαινόμενο του φυσικού αυτοκαθαρισμού του νερού πρότυπο για την επεξεργασία καθαρισμού του από την Μινωική εποχή μέχρι σήμερα.. 4<sup>ο</sup> Υδρογεωλογικό συνέδριο. Πρακτικά .Θεσσαλονίκη. Σελ 41-42.
- Βασιλικιώτη Γ., 1989. Χημεία Περιβάλλοντος. Δεύτερη έκδοση. University Studio Press. Θεσσαλονίκη. Σελ. 49-60, 91-192.
- Γανίδου Μ., 2002. Καταναλωτικά Βήματα. Τεύχος Μαρτίου – Απριλίου. Άρθρο Χημικός-Βιολόγος. Αυτοτελές Τμήμα Περιβάλλοντος ΥΜΑΘ.
- Καλλέργης Γ., 2004. Διάθεση αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον Τόμος Δ. Εκδότης ΕΑΠ, Πάτρα. Σελ.159 -166
- Καλλέργης Γ ., 2004. Διαθεση Αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον Τόμος Δ. Εκδότης ΕΑΠ, Πάτρα. Σελ.185-189.
- ΚαϊλίδηΔ.,1985. Ρύπανση φυσικού περιβάλλοντος Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Θεσσαλονίκη. Σελ 157.
- Κωτούλα Κ., 1986. Μαθήματα γενικής υδρολογίας και υδραυλικής, Έκδοση: Υπηρεσία δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. Σελ 3-10.
- Μαλεφάκη Γ., 1998. Ποιότητα Επιφανειακών και υπόγειων νερών. Έκδοση πρώτη. Τέως Διευθυντή Ινστιτούτου Εδαφολογίας και Εδαφοϋδρολογικού Εργαστηρίου Υ.Ε.Β Υπουργείου Γεωργίας. Σελ 124.
- Τσακίρης Γ., 1995. Υδάτινοι πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα . Σελ 579 587.

