



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

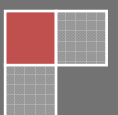
Αποτίμηση του Κόστους Ρύπανσης των Νερών της
Λεκάνης του Ασωπού με τη Μέθοδο της
Αποτρεπτικής Συμπεριφοράς

Διπλωματική Εργασία

Λαούδη Άννα

Επιβλέπων: Δ. Δαμίγος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Αποτίμηση του Κόστους Ρύπανσης των Νερών της Λεκάνης
του Ασωπού με τη Μέθοδο της Αποτρεπτικής Συμπεριφοράς

Διπλωματική Εργασία

Λαούδη Άννα

Επιβλέπων: Δ. Δαμίγος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις/2011

Δ. Δαμίγος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.,

Δ. Καλιαμπάκος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.,

Μ. Μενεγάκη, Λέκτορας Ε.Μ.Π.,

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011

Πρόλογος

Το παρόν κείμενο αποτελεί τη διπλωματική εργασία της τελειόφοιτης φοιτήτριας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών (Μ.Μ.Μ.) Λαούδη Άννας, το οποίο κατατέθηκε στην ακόλουθη Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

- Δαμίγος Δημήτριος, Επικ. Καθηγητής Σχολής Μ.Μ.Μ. (Επιβλέπων)
- Καλιαμπάκος Δημήτριος, Καθηγητής Σχολής Μ.Μ.Μ.
- Μενεγάκη Μαρία, Λέκτορας Σχολής Μ.Μ.Μ.

Με την εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια να αναδειχθεί η οικονομική διάσταση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων της περιοχής του Ασωπού ποταμού, με έμφαση στην υδρευτική χρήση. Η εκτίμηση του κόστους πραγματοποιήθηκε μέσω μιας εκτενούς έρευνας αγοράς, με την εφαρμογή της μεθόδου της αποτρεπτικής συμπεριφοράς.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της διπλωματικής, κ. Δ. Δαμίγο, Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π. για την ανάθεση αυτού του όχι μόνο ενδιαφέροντος αλλά και πολύ σημαντικού θέματος και για την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γ. Τέντε, Υ.Δ. Ε.Μ.Π., για την τεράστια βοήθειά του και συνεισφορά του στην εκπόνηση του παρόντος τεύχους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του μηχανικούς και στελέχη της εταιρείας ECOTECH Ε.Π.Ε. για τις πολύτιμες συμβουλές και πληροφορίες που μου προσέφεραν προκειμένου να διεκπεραιωθεί η εργασία αυτή, καθώς επίσης και τις υπόλοιπες εταιρείες και ελεύθερους επαγγελματίες που συνετέλεσαν στην πραγματοποίηση της έρευνας αγοράς.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η προσπάθεια αποτίμησης του κόστους ρύπανσης των υπόγειων υδάτων της ευρύτερης λεκάνης του Ασωπού ποταμού, Νομού Βοιωτίας, μέσω της μεθόδου της αποτρεπτικής συμπεριφοράς. Το θέμα της εργασίας επικεντρώνεται στη χρήση του υπόγειου νερού ως πόσιμου, δεδομένου ότι η υδροδότηση της περιοχής γινόταν από γεωτρήσεις, μέχρι την αποκάλυψη της ύπαρξης βαρέων μετάλλων στον υδροφόρο ορίζοντα, οπότε η εξασφάλιση εναλλακτικής πηγής υδροδότησης ή η αποκατάσταση της υπάρχουσας κρίθηκε αναγκαία.

Στο πλαίσιο της εργασίας περιγράφεται αρχικά το πρόβλημα της ρύπανσης των υδάτων της περιοχής από βαρέα μέταλλα και άλλα στοιχεία, καθώς και το ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης.

Ακολούθως, με γνώμονα την ανάγκη απορρύπανσης και αποκατάστασης του υδροφόρου ορίζοντα παρατίθενται, περιγράφονται και κοστολογούνται με τη βοήθεια της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, τεχνολογίες και μέθοδοι αποκατάστασης για τους εν λόγω γεωλογικούς σχηματισμούς. Η μέθοδος της Άντλησης και Επεξεργασίας εκτιμάται ότι είναι η καταλληλότερη με βάση τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Στη συνέχεια, περιγράφονται και κοστολογούνται, από πλευράς κόστους επένδυσης και λειτουργίας, μέτρα εναλλακτικής υδροδότησης, τα οποία περιελάμβαναν τόσο λύσεις σε επίπεδο οικισμού, όσο και σε επίπεδο νοικοκυριού, κυρίως με τεχνολογίες Αντίστροφης Όσμωσης. Σε αυτή την κατεύθυνση διερευνώνται, επίσης, μέτρα που έχουν ήδη ληφθεί από την πολιτεία, αλλά και προτεινόμενα, με έμφαση στις περιοχές του Ωρωπού και Οινοφύτων. Όπως αποδεικνύεται από την ανάλυση, η οικονομικότερη μέθοδος για την υδροδότηση των Οινοφύτων είναι το Ταχυδιωλιστήριο, μέτρο που έχει ληφθεί από την Πολιτεία. Για τον Ωρωπό, ωστόσο, φαίνεται ότι η κατασκευή κεντρικής μονάδας Αντίστροφης Όσμωσης είναι οικονομικότερη συγκριτικά με την εναλλακτική υδροδότηση από τις πηγές της Μαυροσουβάλας, λύση που έχει υιοθετηθεί. Το κόστος υποκατάστασης του υπόγειου νερού για υδρευτική χρήση, σε ετήσια βάση, ανέρχεται σε 430 χιλ. € περίπου. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, οι εκτιμήσεις του κόστους από την απώλεια του υδρευτικού νερού θα πρέπει να θεωρούνται ως ένα ελάχιστο τμήμα της συνολικής οικονομικής ζημιάς από τη ρύπανση των νερών της περιοχής.

Summary

The thesis aims at estimating for the first time in relevant literature the cost of the environmental damage to groundwater of the wider area of Asopos basin, Viotia County, by means of the averting behavior method. More specifically, the study focuses on the economic costs of polluted groundwater as a source of drinking water supply.

Within the context of this study, the environmental damage attributed to high concentrations of heavy metals and chromium is described and the characteristics of the man-made and the natural environment are discussed.

Following, in situ and ex situ treatment techniques are examined and the relative costs are estimated for the restoration of the polluted aquifer. According to the analysis, the “Pump & Treat” method seems to be the most suitable techniques for the case under consideration.

Focusing on Oropos and Inofyta settlements, abatement costs have been considered regarding capital investment and operation costs for infrastructure, either public or private. The examined scenarios include replacement of polluted groundwater with bottled water or with other alternative natural resources, as well as pollution abatement by point-of-use, semi-decentralised or centralised Reverse Osmosis (RO) units. The analysis included proposed as well as existing measures. Overall, the least-cost approach points to a different solution for each of the areas examined, not necessarily the same with the approach adopted by the Greek State. Thus, it seems that the least-cost approach is having a centralized Reverse Osmosis unit for Oropos area and the public refinery for Inofyta area. The total cost for providing potable water from alternative sources is estimated at €0.43 million per year. In any case, however, the total cost of the adopted measures is considered a minimum basis for groundwater damage valuation in the area.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	1
1.1. Το νερό.....	1
1.2. Η ρύπανση του νερού	2
1.2.1. Φυσικοί Παράγοντες.....	3
1.2.2 Ανθρωπογενείς Παράγοντες	6
1.3. Μηχανισμοί Μεταφοράς Ρύπων	8
1.3.1. Φυσικές Διαδικασίες.....	9
1.3.2. Γεωχημικές Διαδικασίες	9
1.3.3. Βιολογικές Διεργασίες	10
1.4. Ποιότητα υπόγειων νερών και αλληλεπίδραση με επιφανειακά νερά.....	10
1.5. Ρύπανση, πρόληψη, απορρύπανση υπόγειου νερού	10
1.5.2. Αστική Ρύπανση	12
1.5.3. Βιομηχανική Ρύπανση	12
1.5.4. Γεωργική - Κτηνοτροφική Ρύπανση.....	14
1.5.5. Άλλες Αιτίες και Πηγές Ρύπανσης	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	16
2.1. Εισαγωγή	16
2.2. Φυσικό Περιβάλλον	17
2.2.1. Μορφολογικά στοιχεία της περιοχής.....	17
2.2.2. Γεωλογία- Τεκτονική.....	18
2.2.3. Εδαφολογικά Στοιχεία	19
2.2.4. Κλιματολογικά Στοιχεία	20
2.2.5. Υδρολογία – Υδρογραφικά Στοιχεία	21
2.2.6. Υδρογεωλογικές Συνθήκες	22
2.2.7. Υδροφορείς - κίνηση υπόγειων υδάτων.....	22

2.3. Ανθρωπογενές Περιβάλλον	23
2.3.1. Δημογραφικά Στοιχεία.....	23
2.3.2. Χρήσεις Γης	24
2.3.3. Στοιχεία απασχόλησης –Εργασίας.....	25
2.3.4. Παραγωγικοί Τομείς	26
2.3.5. Περιβαλλοντικές Πιέσεις.....	28
2.4. Ρύπανση από Χρώμιο	29
2.4.1. Γενικά.....	29
2.4.2. Χρώμιο και Υγεία	31
2.4.3. Πρόσφατη νομοθεσία για το Cr(VI)	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ.....	35
3.1. Κύριες προσεγγίσεις αποκατάστασης υπόγειων νερών	35
3.1.1. Εξυγίανση υπογείων νερών από εξασθενές χρώμιο	36
3.1.2. Επιλογή συστήματος και σχεδίου	37
3.2. Περιγραφή Τεχνολογιών Αποκατάστασης Υπόγειων Υδάτων	38
3.2.1. Εισαγωγή	38
3.2.2. Άντληση και Επεξεργασία – Pump & Treat (P&T).....	39
3.2.3 Γεωχημική Αποκατάσταση.....	44
3.2.4. Διαπερατά Ενεργά Φράγματα.....	48
3.2.5. Ενεργές Ζώνες	55
3.2.6. Ηλεκτροκινητική.....	61
3.2.7. Φυτοαποκατάσταση	65
3.2.8. Φυσική Αποκατάσταση	69
3.2.9. Πηγάδια ανακυκλοφορίας.....	73
3.3. Μονάδες Επεξεργασίας Νερού περιοχής Ασωπού	76
3.3.1. Επεξεργασία Νερού	77
3.3.2. Απομάκρυνση Εξασθενούς Χρωμίου με Προσροφητικά Μέσα.....	79

3.3.3 Αντίστροφη Όσμωση	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ	85
4.1. Εισαγωγή	85
4.1.1. Γενικά.....	85
4.1.2. Μέθοδος Αποτρεπτικής Συμπεριφοράς	85
4.1.3. Μέτρα υποκατάστασης στην περίπτωση μελέτης	86
4.2. Περιγραφή Ληφθέντων Μέτρων.....	87
4.2.1. Ταχυδωλιστήριο Οиноφύτων	87
4.2.2. Έργο Μεταφοράς Νερού Πηγών Μαυροσουβάλας.....	96
4.2.3. Χρήση Εμφιαλωμένου Νερού.....	98
4.2.4. Μέτρα Περιορισμού της Ρύπανσης	98
4.3. Περιγραφή Προτεινόμενων Μέτρων	99
4.3.1. Γενικά.....	99
4.3.2. Έρευνα αγοράς.....	99
4.3.3. Συσκευή RO Οικιακής Χρήσης	102
4.3.4. Κεντρική και Ημι-κεντρική Μονάδα RO	104
4.4. Αποτίμηση του Κόστους Ρύπανσης του Υπόγειου Νερού	109
4.4.1 Εισαγωγή	109
4.4.2 Εκτίμηση Κόστους Αποτροπής	110
4.4.3. Κόστος Αποκατάστασης Υδροφόρου Ορίζοντα.....	114
4.4.4. Η εφαρμογή της αρχής «Ο ρυπαίνων πληρώνει»	117
4.4.5. Παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	123

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Κατανομή μέσου ύψους βροχής (mm), από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Τανάγρας (Πηγή: Μασούρα, 2008)	20
Διάγραμμα 2 Πληθυσμιακή εξέλιξη της εξεταζόμενης περιοχής (Πηγή: Μασούρα, 2008)	24
Διάγραμμα 3 Κατανομή χρήσεων γης (Πηγή: Μασούρα, 2008).....	24
Διάγραμμα 4 Χαρακτηριστικά μεθόδων επεξεργασίας νερού (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ).....	84
Διάγραμμα 5 Συγκριτική Παρουσίαση του ολικού ετήσιου κόστους των διαφορετικών προτάσεων για την τροφοδοσία νερού Οινοφύτων & Ωρωπού (Πηγή: Laoudi et al., 2011)	113
Διάγραμμα 6 Ποσοστό πεδίων εφαρμογής των μεθόδων P&T, P&T μαζί με Φυσική Αποκατάσταση ή μόνο Φυσικής Αποκατάστασης (Πηγή: USEPA, 2010)	117
Διάγραμμα 7 Ύψος προστίμων (Πηγή: Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010)	119
Διάγραμμα 8 Συγκριτική παρουσίαση ετήσιου κόστους εναλλακτικών λύσεων	120

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης του Ασωπού ποταμού (Πηγή: Μασούρα 2008)	18
Εικόνα 2 Η βιομηχανική ζώνη Οινοφύτων (Πηγή: Google Earth, 2011). Με κίτρινο δείκτη δίνεται ο οικισμός των Οινοφύτων.	29
Εικόνα 3 Σχεδιάγραμμα εφαρμογής της μεθόδου (Πηγή: www.gigliobonifiche.it)	40
Εικόνα 4 In situ σύστημα χημικής αποκατάστασης για χλωριωμένους διαλύτες (DNAPLs) (Πηγή: USEPA, 2004)	46
Εικόνα 5 Αριστερά: αναπαράσταση τεχνικής χοάνης&πύλης. Δεξιά: αναπαράσταση της συνεχούς ενεργούς τάφρου (Πηγή: EPA, 2000)	50
Εικόνα 6 Αναπαράσταση ενεργών ζωνών, πάνω για ρηχούς υδροφόρους, κάτω για βαθύτερους (Πηγή: EPA, 2000)	56
Εικόνα 7 Αναπαριστά τη διαδικασία αποκατάστασης της ηλεκτροκινητικής (Πηγή: EPA, 2000)	62
Εικόνα 8 Αναπαράσταση της λειτουργίας φυτοαποκατάστασης (Πηγή: Ξενίδης, 2011)	66
Εικόνα 9 Σχεδιάγραμμα πηγαδιού ανακυκλοφορίας (Πηγή: www.frtr.gov)	74
Εικόνα 10 Τυπική compact μονάδα αντίστροφης όσμωσης (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	81
Εικόνα 11 Σχηματική περιγραφή αντίστροφης όσμωσης (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	82
Εικόνα 12 Δεξαμενή συγκέντρωσης νερού από οπλισμένο σκυρόδεμα στο Ταχυδιωλιστήριο Οινοφύτων (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	89
Εικόνα 13 Σχέδιο Φίλτρου με χειροκίνητο έλεγχο (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	92
Εικόνα 14 Φίλτρα Ταχυδιωλιστηρίου Οινοφύτων (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	94
Εικόνα 15 Αφαλατώσεις Θαλασσινού νερού με αυτοφερόμενες μονάδες (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	101

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Πληθυσμιακά στοιχεία & Απασχόλησης Νομού Βοιωτίας (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ)	26
Πίνακας 2 Περιεκτικότητες σε χρώμιο των Λαχανικών/Οσπρίων ανάλογα με τις αντίστοιχες του χώματος	33
Πίνακας 3 Προτίμηση μεθόδου αποκατάστασης για τα έτη 2005-2008	35
Πίνακας 4 Ποσοστά μεθόδων προσέγγισης για την αποκατάσταση υπόγειων νερών	36
Πίνακας 5 Απαιτήσεις επεξεργασίας νερού για διάφορες πηγές & ποιότητες νερού (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	79
Πίνακας 6 Στοιχεία τυπικών αποδόσεων καθαρισμού μονάδας αντίστροφης όσμωσης ανάλογα με το είδος της παροχής (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)	82
Πίνακας 7 Τεχνολογίες ημι-περατών μεμβρανών (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ).....	83
Πίνακας 8 Εκτίμηση του κόστους του Ταχυδιωλιστηρίου Οινοφύτων	96
Πίνακας 9 Χημική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα αγοράς	102
Πίνακας 10 Κόστη Επένδυσης & Λειτουργίας συστημάτων RO διάφορων δυναμικοτήτων	109
Πίνακας 11 Εκτιμώμενα κόστη για τις διαφορετικές πιθανές προτάσεις για τον Ωρωπό και Οινόφυτα.....	113
Πίνακας 12 Έλεγχοι & Πρόστιμα που έχουν επιβληθεί σε τοπικές βιομηχανίες σε ετήσια βάση	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

1.1. Το νερό

Το νερό θεωρείται ως το βασικότερο στοιχείο της Γης αναφορικά με τη γένεση, την εξέλιξη και τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Για τον άνθρωπο και γενικά τη χερσαία ζωή, το σημαντικότερο τμήμα του νερού είναι το γλυκό, που αποτελεί μικρό ποσοστό του συνολικού νερού του πλανήτη (περίπου ένα προς δέκα χιλιάδες). Το γεγονός αυτό κάνει το γλυκό νερό πολύτιμο και σε μερικές περιοχές της Γης σπάνιο έως εξαιρετικά σπάνιο αγαθό. Τα νερά των ποταμών αποτελούν ένα μέρος μόνο του συνόλου του γλυκού νερού αλλά για τον άνθρωπο είναι μια σημαντικότερη πηγή. Το κεφάλαιο αυτό αλλά και όλη η παρούσα εργασία αναφέρεται κυρίως στα νερά των ποταμών και της ευρύτερης λεκάνης τους, τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια.

Ένα τόσο σημαντικό και τόσο ευρείας χρήσης αγαθό, όπως το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί και κατηγοριοποιηθεί με πολλούς τρόπους (π.χ. φυσική κατάσταση, γεωγραφική κατανομή κ.ά.). Γενικά όμως, και κυρίως στις τεχνικές επιστήμες, το νερό διακρίνεται με βάση τις χρήσεις του που στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως υπηρεσίες του προς τον άνθρωπο.

Βάσει των χρήσεων το νερό μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε (Chapman 1996):

- νερό ύδρευσης
- νερό οικιακής χρήσης
- αρδευτικό νερό
- νερό βιομηχανικής χρήσης

Επιπλέον, οι υδάτινοι όγκοι προσφέρουν υπηρεσίες ναυσιπλοΐας, αναψυχής (ψάρεμα, κολύμβηση) και, γενικά, διεργασίες με αισθητική αξία.

Με βάση τη χρησιμότητά του στο οικοσύστημα, είναι δυνατόν να γίνει μία διαφορετική κατηγοριοποίηση του νερού που έχει ως εξής:

- για την ανάπτυξη της χλωρίδας και την επιβίωση της πανίδας
- για τη δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος για υδρόβιους οργανισμούς και μικροοργανισμούς
- για την εξασφάλιση της ροής θρεπτικών συστατικών

- για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και των κλιματιστικών συνθηκών στη βιόσφαιρα
- για την εξασφάλιση της ομαλής ροής στους κύκλους αζώτου και άνθρακα.

Γενικά η ποιότητα των επιφανειακών νερών και κατά συνέπεια των νερών μιας ποτάμιας λεκάνης στο σύνολό τους, εξαρτάται κατά βάση από τα περιεχόμενα αιωρούμενα και διαλυμένα σε αυτά, στερεά. Στο μεγαλύτερο μέρος τους τα περιεχόμενα στερεά κυμαίνονται σε όρια τέτοια ώστε τα νερά να είναι κατάλληλα για όλες τις χρήσεις ως έχουν (μερικά χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά) ή μετά από επεξεργασία με απλές φυσικές μεθόδους.

Σε περίπτωση όμως ρύπανσής τους τα νερά καθίστανται ακατάλληλα για πολλές ή όλες τις χρήσεις και απαιτούν επεξεργασία με πολύπλοκες μεθόδους.

1.2. Η ρύπανση του νερού

Για τη ρύπανση των νερών μιας ποτάμιας λεκάνης και κατά συνέπεια την αρνητική επίδραση στην ποιότητά τους ευθύνονται πολλοί παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί κατατάσσονται σε φυσικούς και σε ανθρωπογενείς.

Στους φυσικούς παράγοντες περιλαμβάνονται:

- Η χημική αποσάθρωση επιφανειακών εδαφών και πετρωμάτων.
- Οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις φυσικής προέλευσης.
- Η αποστράγγιση εδαφών οργανικής σύστασης.

Επίσης σημαντικές παράμετροι για την τελική ποσότητα των διαφόρων ουσιών στο επιφανειακό νερό είναι οι εξής:

- Η υδρολογική κατάσταση μιας περιοχής.
- Τα αιωρούμενα σωματίδια της περιοχής.

Στους ανθρωπογενείς παράγοντες περιλαμβάνονται:

- Η διάθεση υγρών αποβλήτων σε φυσικούς υδάτινους αποδέκτες.
- Η διάθεση στερεών αποβλήτων στη γειτονία επιφανειακών νερών.
- Οι επεμβάσεις του ανθρώπου στο φυσικό υδραυλικό προφίλ μιας περιοχής.
- Η εκπομπή σκόνης και μικροσωματιδίων από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οι κυριότερες επιπτώσεις που προέρχονται από τους παραπάνω παράγοντες είναι:

- Μεταβολή των φυσικών χαρακτηριστικών του νερού (θερμοκρασία, θολερότητα, στερεό φορτίο, διαλυμένο οξυγόνο).
- Αλλαγή στο χημισμό του νερού (μεταβολή της αλατότητας και του pH αύξηση της τοξικότητας).
- Βιολογική μόλυνση των νερών.
- Αλλαγή οργανικού φορτίου.
- Ευτροφισμός.
- Αλλαγή της μορφής του υδάτινου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την μεταβολή των συνθηκών διαβίωσης των ζώντων οργανισμών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα του νερού καθώς και οι βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την υδάτινη ρύπανση.

1.2.1. Φυσικοί Παράγοντες

Η ποιότητα των φυσικών, νερών εφόσον η περιοχή που τα περιβάλλει παραμένει ανεπηρέαστη από τον ανθρώπινο παράγοντα, εξαρτάται από τα παρακάτω (Meybeck and Helmer, 1989):

Χημική Αποσάθρωση

Ευδιάλυτα πετρώματα στο νερό όπως οι γρανίτες, οι γνεύσιοι, οι βασάλτες, τα ανθρακικά πετρώματα, οι εβαπόριτες, οι σχιστόλιθοι και οι γύψοι που συναντιούνται ευρέως σε όλο τον κόσμο είναι δυνατόν να επηρεάσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τη χημική σύσταση νερού. Λόγω της επίδρασης του νερού σε συνδυασμό με το διοξείδιο του άνθρακα επί των ορυκτών παρατηρείται το φαινόμενο της φυσικής αποσάθρωσης.

Φυσικές Ατμοσφαιρικές αποθέσεις

Τέτοιες είναι τα σταγονίδια που προέρχονται από τη θάλασσα και αποτίθενται σε παραθαλάσσιες περιοχές συνήθως, ενώ συχνά περιέχουν Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , και αιωρούμενα που προέλευσή τους είναι τα σημεία εκείνα της στεριάς που υπόκεινται σε διάβρωση εξαιτίας κυρίως των ανέμων. Τέτοια σωματίδια είναι και αυτά της σκόνης και περιέχουν συνήθως HCO_3^- , SO_4^{2-} , ενώσεις αζώτου (φυτική ύλη) και HCl , H_2SO_4

(ηφαιστειακή σκόνη). Όλα αυτά επηρεάζουν και τη χημική σύσταση των επιφανειακών υδάτων και κατ' επέκταση και των υπόγειων της ξηράς.

Αποστράγγιση εδαφών οργανικής σύνθεσης

Αυτή αναφέρεται στα διάφορα ρεύματα που δημιουργούνται κυρίως μετά από βροχοπτώσεις και πλημμυρικές καταστάσεις, τα οποία διαρρέουν παραποτάμιες εκτάσεις και τελικά αποστραγγίζουν τα νερά των εκτάσεων αυτών στους ποταμούς μεταφέροντας και συστατικά που διαλύονται ή συμπαράσφρονται.

Η διεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των επιφανειακών νερών με νιτρικά (NO_3^-) και αμμωνιακά (NH_4^+) ιόντα καθώς και με διαλυτές οργανικές ουσίες. Τα υδάτινα ρεύματα που συμμετέχουν στη διεργασία αυτή επηρεάζονται από τις επικρατούσες υδρολογικές συνθήκες.

Οι μεταβολές της παροχής ενός ποταμού όπως επίσης η συχνότητα και η ένταση των πλημμυρών που προκαλούνται επηρεάζουν σημαντικά τη χημική σύσταση των νερών. Γενικά η παροχή ενός ποταμού συντίθεται από δυο βασικές ροές:

- τη ροή που ανέρχεται από υπόγειες φυσικές δεξαμενές (πηγές του ποταμού) και αποτελεί τη βασική ροή του ποταμού, η οποία μάλιστα είναι πλούσια σε άλατα και
- τη ροή που δημιουργούν οι διάφορες επιφανειακές απορροές, που έχουν σχέση με τη βροχή, η οποία κυρίως παράγει τις μέγιστες παροχές του ποταμού.

Είναι φανερό ότι εάν δεν εμπλουτίζονται με νερό οι υπόγειοι υδροφορείς τότε μειώνεται η βασική παροχή του ποταμού (εξάντληση πηγών).

Οι επιφανειακές απορροές εξαρτώνται από την ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης, από την υδροπερατότητα του εδάφους και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα των νερών που φτάνουν στο ποταμό από τα εδάφη που τον περιβάλλουν. Τέλος, σημειώνεται ότι οι επιφανειακές απορροές αποτελούν τη βασική πηγή προέλευσης της θολερότητας και των αιωρούμενων στερεών, ανόργανων και οργανικών (N και P), στον ποταμό.

Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά και διακίνηση των διαλυμένων συστατικών και ρυπαντικών ουσιών. Οι κύριες κατηγορίες συστατικών που

παίρνουν μέρος στην διεργασία αυτή με την μορφή σωματιδίων έχουν ως εξής (Μασούρα, 2008):

- Οργανική ύλη

Η οργανική ύλη σε ένα μεγάλο ποσοστό προέρχεται από την αποδόμηση των φυτικών ιστών και δευτερευόντως των ζωικών. Η μικροβιακή διάσπαση της οργανικής ύλης από αερόβιους οργανισμούς, που καταναλίσκουν το οξυγόνο του νερού, προκαλεί μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου των υδάτων με σημαντικές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς (μείωση των πληθυσμών, ανάπτυξη μη επιθυμητών οργανισμών).

- Θρεπτικά συστατικά

Αυτά αποτελούνται κυρίως από P και N και συχνά δημιουργούν συνθήκες ευτροφισμού όπου η ανάπτυξη της χλωρίδας εμποδίζει την ανάπτυξη της πανίδας. Τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται προσροφημένα στην επιφάνεια των ορυκτών τεμαχίων, απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (κυρίως P και N), εναλλάσσονται μεταξύ στερεάς και υγρής φάσης. Τα προσροφημένα θρεπτικά στοιχεία αποτελούν κάτω από ορισμένες συνθήκες σημαντικότερη πηγή μεταβολής της ποιότητας των υδάτων, δημιουργώντας προϋποθέσεις εκδήλωσης ευτροφισμού.

- Οι τοξικοί ανόργανοι ρυπαντές όπως τα βαρέα μέταλλα.
- Οι τοξικοί οργανικοί μικρορυπαντές.

Οι βασικές φυσικές πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων στα ποτάμια είναι τρεις (Campy and Maybeck, 1995):

- Η μηχανική και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων.
- Η διάβρωση του εδάφους.
- Το σωματιδιακό υλικό που σχηματίζεται στη μάζα του νερού που συνήθως είναι αποτέλεσμα της παραγωγής διαφόρων αλγών και της κατακρήμνισης διαφόρων ορυκτών.

Η μηχανική διάβρωση των εδαφών και των πετρωμάτων οφείλεται στη δράση πολλών παραγόντων σε συνδυασμό όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος, η κίνηση των πάγων, τα νερά κατακρήμνισεων και η τοπογραφία του ανάγλυφου.

1.2.2 Ανθρωπογενείς Παράγοντες

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλουν στη ρύπανση των νερών με διάφορους τρόπους. Είναι δυνατόν λοιπόν να επιταχύνουν φυσικές διεργασίες όπως η αποστράγγιση των εδαφών και η διάβρωση. Επίσης, λόγω της αλόγιστης χρήσης ανόργανων λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, συνθετικών συστατικών και αρωματικών υδρογονανθράκων είναι δυνατόν να αυξηθούν τα ποσοστά αλάτων και θρεπτικών συστατικών στα ποτάμια νερά. Ακόμα παρατηρείται ότι μεγάλο μέρος ρυπαντικού φορτίου που εισέρχεται σε ποταμούς και χείμαρρους προέρχεται από βιομηχανικά και οικιακά απόβλητα (Μασούρα, 2008).

Διάθεση υγρών αποβλήτων

Η διάθεση υγρών αποβλήτων θα πρέπει να γίνεται οργανωμένα και υπό προϋποθέσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η αλόγιστη διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και τη ρύπανσή του. Βασικές επιπτώσεις από τη διάθεση αποβλήτων είναι η μόλυνση των νερών από βιολογικά λύματα (βιολογική μόλυνση), η αλλαγή των φυσικών ιδιοτήτων τους όπως τη θερμοκρασία ή τη θολρότητα, το φαινόμενο του ευτροφισμού των ποταμών, η αλάτωση και η οξίνιση των νερών. Επίσης λόγω της διάθεσης ανεπεξέργαστων οικιακών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων που στα συστατικά τους περιλαμβάνονται υψηλά ποσοστά οργανικών ουσιών εμφανίζεται το φαινόμενο της αποξυγόνωσης (deoxygenation). Αυτό οφείλεται στην κατανάλωση του οξυγόνου από τους αερόβιους οργανισμούς των ποταμών ώστε να οξειδώσουν την οργανική ύλη με αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση του διαλυτού οξυγόνου στο νερό και τη παράλληλη έκλυση αμμωνίας. Η μείωση αυτή επηρεάζει αρνητικά και σε μεγάλο βαθμό την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών και την ποιότητα των νερών.

Επιπλέον στους πιθανούς ρύπους βιομηχανικών αποβλήτων συγκαταλέγονται οι τοξικοί ρυπαντές και τα βαρέα μέταλλα, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι, στην πλειοψηφία τους, επικίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τέλος, μία άλλη κατηγορία ρυπαντών που μπορεί να υπάρχουν στα βιομηχανικά απόβλητα ή στα αστικά λύματα είναι οι οργανικοί μικρορυπαντές. Οι τελευταίοι έχουν την τάση να βιοσυσσωρεύονται στους υδρόβιους οργανισμούς ενώ παρουσιάζουν υπολειμματική δράση τόσο στα νερά όσο και στα εδάφη.

Διάθεση στερεών αποβλήτων

Η διάθεση αυτή γίνεται διεθνώς με ταφή στο έδαφος μετά την αφαίρεση όσων στερεών μπορούν να ανακυκλωθούν εκτός από:

- Τα απόβλητα καύσης που μέρος τους εκβάλλεται στον αέρα.
- Τα πυρηνικά απόβλητα που διατίθενται σε πολύ συγκεκριμένες περιοχές (π.χ. παλαιά ορυχεία, πυθμένας θαλασσών).

Σήμερα, οι απορροές από χώρους ελεγχόμενης διάθεσης στερεών αποβλήτων ήτοι χώρους υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) είναι σαφώς περιορισμένες. Υπάρχουν ωστόσο και πολλοί χώροι μη ελεγχόμενης διάθεσης. Οι επιπτώσεις στα νερά από τους χώρους αυτούς είναι παρόμοιες με αυτές της διάθεσης των υγρών αποβλήτων και συνοψίζονται σε:

- Μεγάλη περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών.
- Χαμηλό διαλυμένο οξυγόνο.
- Εμφράξεις των πυθμένων των ποταμών από ιζήματα.
- Τοξικότητα των νερών.

Επεμβάσεις στην μορφή του υδάτινου δυναμικού μιας περιοχής

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται διάφορες ανθρώπινες επεμβάσεις στις κοίτες και στις συνθήκες ροής του νερού σε ποταμούς, αλλά και στις όχθες λιμνών. Τα αίτια είναι πολλά και σχετίζονται με κατασκευές έργων υποδομής, επεκτάσεις οικισμών, μεγάλα αναπτυξιακά έργα όπως ενεργειακά κλπ. Οι επεμβάσεις που συνήθως γίνονται περιλαμβάνουν:

- Διευθέτηση κοίτης ποταμού.
- Επίχωση όχθης ποταμού ή λίμνης.
- Αποστράγγιση λίμνης.
- Επένδυση κοίτης ποταμού.
- Εκτροπή ποταμού.
- Διακοπή συνέχειας της ροής ποταμού (π.χ. με κατασκευή φράγματος).
- Λήψη φερτών υλικών από ποτάμι ή λίμνη.
- Εκβάθυνση κοίτης ποταμού ή λίμνης.

Οι επιπτώσεις των επεμβάσεων αυτών είναι πολλές και ποικίλες. Τέτοιες μπορεί να είναι η αύξηση της ταχύτητας της ροής του ποταμού και της διαβρωτικής ενέργειας του νερού. Άλλες επιπτώσεις μπορεί να είναι η αυξομείωση της τριβής, η αλλαγή της πορείας της κοίτης και της μορφής του δέλτα του ποταμού, η αλλαγή στη ροή των θρεπτικών προς το δέλτα του ποταμού και γενικά η αλλοίωση των λειτουργιών των οικοσυστημάτων εντός του ποταμού ή της λίμνης.

Ατμοσφαιρικές εκπομπές σκόνης και μικροσωματιδίων

Οι εκπομπές αυτές προς την ατμόσφαιρα είναι αποδεδειγμένο ότι επικάθονται σε εδάφη, αλλά και σε υδάτινες επιφάνειες, με αποτέλεσμα να εμπλουτίζουν σε μικρό βέβαια βαθμό (ανάλογο της ποσότητας που παρασύρεται από τον αέρα) τα επιφανειακά νερά. Οι εκπομπές στερεών προς το νερό σχετίζονται με:

- καύση ορυκτών καυσίμων
- παραγωγή μετάλλων σε καμίνο
- ανεξέλεγκτη διάθεση στερεών αποβλήτων στο περιβάλλον
- αλλαγές στις χρήσεις γης.

Στην τελευταία περίπτωση η θολερότητα και τα ολικά διαλυμένα στερεά των ποταμών επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από δραστηριότητες όπως η γεωργία, η αποψίλωση των δασών, οι εξορύξεις, κλπ.

1.3. Μηχανισμοί Μεταφοράς Ρύπων

Η κατάληξη των ρυπαντών σε ένα ποτάμιο σύστημα, από τη στιγμή που θα μπου σε αυτό, εξαρτάται από ένα σύνολο διεργασιών μεταξύ της υγρής και της στερεάς φάσης του ποταμού, που καθορίζονται από τη φύση του ρυπαντή και του αποδέκτη. Οι ρύποι διακρίνονται σε αυτούς που διατηρούν τη μορφή τους αναλλοίωτη κατά μήκος του υδάτινου ρεύματος και τους ενεργούς, που υφίστανται μια σειρά διεργασιών (αποδόμηση, διάσπαση, μεταστοιχείωση, προσρόφηση) από τη στιγμή της εισαγωγής τους.

Η μεταφορά των ρύπων στους ποταμούς και τα άλλα υδάτινα ρεύματα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Βασικότεροι είναι η γεωμετρία του χώρου ροής (πλάτος, βάθος), η κλίση της κοίτης του ποταμού, κατάσταση του πυθμένα, τυχόν αλλαγές στη ροή, η παροχή και η διασπορά των διαφόρων ρύπων.

Εκτός από τις φυσικές διαδικασίες υπάρχουν και οι χημικές και βιολογικές που επηρεάζουν επίσης την τύχη των ρυπαντών.

1.3.1. Φυσικές Διαδικασίες

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της μεταφοράς των ρύπων καθώς και στην εξέλιξή της στα επιφανειακά νερά παίζουν οι μηχανισμοί των φυσικών διεργασιών, οι οποίοι είναι (Μασούρα, 2008):

- Η μεταφορά του ρύπου λόγω της κίνησης του ρευστού.
- Η υδροδυναμική διασπορά λόγω των διαφορετικών ταχυτήτων που αναπτύσσονται στο σύνολο του όγκου του νερού τόσο κατά μήκος όσο και στο κάθετο της διεύθυνσης της ροής. Αυτό συμβαίνει λόγω της επιφάνειας του πυθμένα (ταχύτητα) και των οχθών του ποταμού, καθώς επίσης και λόγω του ιξώδους.
- Η διάχυση της ρύπανσης λόγω της κίνησης των μορίων σε περιοχές διαφορετικής συγκέντρωσης.

1.3.2. Γεωχημικές Διαδικασίες

Οι ευδιάλυτες ουσίες στο νερό είναι δυνατόν να υποστούν μία σειρά αλληλεπιδράσεων με τη στερεά, με την υγρή και την αέρια φάση που τις περιβάλλουν. Τέτοιες είναι οι ομογενείς αντιδράσεις που συμβαίνουν ανάμεσα σε ουσίες που βρίσκονται στην ίδια φάση και οι ετερογενείς αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ ουσιών που ανήκουν σε διαφορετικές φάσεις. Στις τελευταίες η διαλυτή ουσία είναι δυνατόν να αλληλεπιδράσει με την αέρια ή τη στερεά φάση του ποταμού.

Οι βασικότερες χημικές διαδικασίες που συμβαίνουν ανάμεσα στις ανόργανες διαλυτές ουσίες μέσα στον ποτάμιο σχηματισμό είναι οι εξής:

Καταβύθιση - Διάλυση

Κατά τη διαδικασία αυτή διάφορες ουσίες σχηματίζονται και καταβυθίζονται στον πυθμένα. Επίσης διάφορες ουσίες επαναδιαλύονται στο νερό.

Προσρόφηση - Αποπροσρόφηση

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής λαμβάνει χώρα η προσρόφηση των διαλυτών ουσιών σε στερεές επιφάνειες και το αντίστροφο (αποπροσρόφηση).

1.3.3. Βιολογικές Διεργασίες

Οι βιολογικές διεργασίες ουσιαστικά αναφέρονται στην επίδραση που υφίστανται οι οργανικοί ρυπαντές από την επίδραση ετερότροφων βακτηριδίων κατά μήκος της ροής με αποτέλεσμα τη βιολογική αποδόμησή (οξειδωσή) τους.

1.4. Ποιότητα υπόγειων νερών και αλληλεπίδραση με επιφανειακά νερά

Οι διάφοροι ανθρωπογενείς και φυσικοί παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Οι πρώτοι είναι πολυάριθμοι και περίπλοκοι λόγω των πολλών ανθρώπινων επεμβάσεων. Επίσης είναι δυνατόν να δημιουργήσουν ιδιαίτερες δυσμενείς συνθήκες στα υπόγεια νερά σε τέτοιο βαθμό ώστε να κινδυνεύουν να είναι σε μερικές περιπτώσεις μη αναστρέψιμες. Οι φυσικοί παράγοντες περιλαμβάνουν για παράδειγμα φαινόμενα όπως η διακύμανση της στάθμης από φυσικά αίτια ή την αλληλεπίδρασή τους με τα πετρώματα που τα περιβάλλουν.

Συνοπτικά αναφέρεται ότι η μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού στους υπόγειους υδροφόρους (υδροφόρους ορίζοντες), προέρχεται από κάθε αίτιο που προκαλεί μεταβολή της πίεσης στο υπόγειο νερό και κατ' ακολουθία της στάθμης του.

Οι διαφορές ανάμεσα στο εισερχόμενο και εξερχόμενο νερό από τον υδροφόρο παράγουν τις διακυμάνσεις της στάθμης οι οποίες διακρίνονται σε:

- Υπερετήσεις.
- Εποχικές.
- Μικρής περιόδου.

1.5. Ρύπανση, πρόληψη, απορρύπανση υπόγειου νερού

Η τεχνητά προκαλούμενη υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας των υπόγειων νερών αποτελεί τον ορισμό της ρύπανσης που συναντάται στα νερά των υδροφόρων. Η ρύπανση μπορεί να γίνει αιτία απαγόρευσης της χρήσης του νερού ή να δημιουργήσει κινδύνους στη δημόσια

υγεία, μέσω της τοξικότητας ή της μετάδοσης ασθενειών. Οι περισσότερες πηγές ρύπανσης προέρχονται από την απόρριψη των απόβλητων. Σε αντίθεση με τη ρύπανση των επιφανειακών νερών, η ρύπανση των υπόγειων νερών είναι πολύ δύσκολο να εντοπισθεί και ακόμη πιο δύσκολο να αντιμετωπισθεί, ενώ μπορεί να διατηρηθεί για δεκαετίες.

Οι αιτίες της ρύπανσης καθώς επίσης και η προέλευσής της συνδέονται άμεσα με τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο ενώ οι ρύποι στη πράξη είναι απεριόριστοι. Η απόρριψη των αποβλήτων συμβάλλει καταλυτικά στην εκδήλωση ρύπανσης σε μία περιοχή και αυτό γιατί η διάθεσή τους γίνεται συνήθως σε αβαθείς ή βαθιές γεωτρήσεις, σε σκουπιδότοπους, σε ορύγματα ή σε ξερά υδάτινα ρεύματα ή απλά στην επιφάνεια του εδάφους. Η ρύπανση μπορεί να διακριθεί ανάλογα με τη γεωμετρία της εστίας της, σε σημειακή όταν η προέλευση της είναι μία μοναδική θέση, σε γραμμική όταν οι αιτίες ή οι πηγές της παρουσιάζουν εν γένει γραμμική διάταξη και, τέλος, σε διάχυτη όταν αυτή παρουσιάζεται σε μία εκτεταμένη περιοχή που μπορεί να μην είναι αυστηρά καθορισμένη (Todd, 1976).

Με τη σειρά τους, οι πηγές παραγωγής ρύπων που δεν χαρακτηρίζονται ως σημειακές κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Φυσικές πηγές, οι οποίες δημιουργούνται με φυσικό τρόπο.

Ενώσεις χημικών αντιδράσεων συστατικών που βρίσκονται στο νερό ή στον αέρα χωρίς να ρυπαίνουν αρχικά τη περιοχή που βρίσκονται.

Ανθρωπογενείς πηγές (π.χ. χρήση παρασιτοκτόνων, διάθεση αποβλήτων σε περιοχές που δεν είναι χαρακτηρισμένες ως νόμιμοι αποδέκτες αποβλήτων).

Αντίστοιχα με τους ρύπους που συναντώνται στα επιφανειακά νερά διακρίνονται και αυτοί των υπόγειων υδάτων ως εξής:

Οργανικοί ρυπαντές, όπως βιολογικοί ρυπαντές, χρησιμοποιούμενα νερά, υδρογονάνθρακες και παράγωγά τους, αλογονομένες χρωματικές ή αλιφατικές ενώσεις, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, επιφανειακή διάθεση ιλύος κ.ά.

Θρεπτικά, τέτοια είναι κυρίως οι οργανικές ενώσεις αζώτου (N) ή φωσφόρου (P) από αστικά λύματα ή γεωργικές καλλιέργειες, συνήθως.

Ραδιενεργοί ρύποι, όπως είναι τα απόβλητα της πυρηνικής βιομηχανίας, της επεξεργασίας ραδιενεργών μεταλλευμάτων, από τους σταθμούς πυρηνική ενέργειας κ.ά.

Ιχνοστοιχεία, τέτοια είναι μεταλλικά στοιχεία από βιομηχανικά απόβλητα ή αστικά λύματα και μπορεί να είναι ιδιαίτερος τοξικά έως και θανατηφόρα για τον άνθρωπο.

1.5.2. Αστική Ρύπανση

Ρύπανση από υγρά απόβλητα (αστικά λύματα)

Τα αστικά λύματα συνίστανται σε νερό που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο για οικιακή χρήση και δευτερευόντως για άρδευση. Εάν τα λύματα αυτά δεν οδηγηθούν σε εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού αλλά απορριφθούν σε σύστημα σηπτικού – απορροφητικού βόθρου ή απ' ευθείας σε απορροφητικό βόθρο τότε είναι δυνατή η ρύπανση υπογείων υδάτων μέσω της διήθησης στο έδαφος.

Ρύπανση από στερεά απόβλητα

Ο ανεξέλεγκτος τρόπος διάθεσής τους και η πιθανή διαρροή των στραγγισμάτων τους προς τον υδροφόρο ορίζοντα αποτελεί βασική αιτία ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Οι πιο συχνές αιτίες ρύπανσης από στερεά απόβλητα είναι:

- Η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους (είτε στο έδαφος είτε στο υπέδαφος).
- Ατυχήματα πέρα από τον ανθρώπινο έλεγχο ή πρόβλεψη (π.χ. σεισμοί).
- Διάθεση των στραγγισμάτων τους σε φυσικούς αποδέκτες.
- Ο λανθασμένος ή ελλιπής σχεδιασμός χώρων υγειονομικής ταφής με κυριότερους κινδύνους την υπερχειλίση ή διαρροή στραγγισμάτων.

1.5.3. Βιομηχανική Ρύπανση

Στερεά απόβλητα

Ισχύουν και σε αυτή τη περίπτωση όσα προαναφέρθηκαν στην αστική ρύπανση.

Υγρά απόβλητα

Στη βιομηχανία το νερό χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία, στην ψύξη, στις εργασίες καθαρισμού συσκευών, σωληνώσεων ή πατωμάτων. Συνεπώς, η απαιτούμενη ποιότητα του νερού που χρησιμοποιεί κάθε βιομηχανία διαφέρει ανάλογα με το είδος της ίδιας της βιομηχανίας και το είδος της χρήσης του νερού. Η απόρριψη ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων απαγορεύεται, ενώ παλαιότερα επιτρεπόταν να γίνει σε βαθιές γεωτρήσεις σε αλμυρούς υδροφόρους. Σήμερα οι βιομηχανίες υποχρεούνται δια νόμου να επεξεργάζονται τα απόβλητά τους και να τα διαθέτουν μόνο σε χαρακτηρισμένους νόμιμους αποδέκτες.

Μεταλλευτική δραστηριότητα

Η ρύπανση που προέρχεται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα συνδέεται άμεσα με τη μέθοδο εκμετάλλευσης και εμπλουτισμού όπως φυσικά και από το είδος του μεταλλεύματος. Τα ορυχεία άνθρακα, ουρανίου και φωσφορικών μπορεί να προκαλέσουν πολύ σοβαρή ρύπανση αν δεν τηρούνται τα κατάλληλα μέτρα. Τα μεταλλεία σιδήρου, χαλκού, ψευδάργυρου και μολύβδου προκαλούν επίσης σοβαρά προβλήματα ρύπανσης και αυτό οφείλεται στο ότι τα μέταλλα αυτά βρίσκονται κυρίως σε θειούχα μεταλλεύματα, τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο της όξινης απορροής.

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να σημειωθεί πως και τα κλειστά ή εγκαταλειμμένα μεταλλεία μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ρύπανσης αφού με τη βοήθεια για παράδειγμα των κατακρημνίσεων μπορεί να μεταφερθούν ρύποι ή να διαρρεύσουν στον υδροφόρο.

Διαφυγές

Είναι δυνατόν να σημειωθούν διαφυγές από υπόγειες δεξαμενές και αγωγούς λόγω ατυχημάτων αφού σε τέτοιες εγκαταστάσεις συνηθίζεται να αποθηκεύονται χημικά προϊόντα ή καύσιμα. Τέτοια ατυχήματα λοιπόν μπορεί να προκαλέσουν διαφυγές των αποθηκευμένων υλικών και να ρυπάνουν τα υπόγεια νερά.

«Σαλαμούρες» πεδίων πετρελαίου

Από την παραγωγή πετρελαίου και υγρών υδρογονανθράκων προκύπτουν υγρά απόβλητα που είναι γνωστά ως σαλαμούρες αφού έχουν τη μορφή υπεραλμυρού νερού. Αυτά τα απόβλητα περιέχουν Cl, B, Na, Ca, SO₄, NH₄, ιχνομέταλλα και πολύ ψηλό TDS. Εάν απορριφθούν σε «λεκάνες εξάτμισης» ή σε ρέματα όπως συνηθιζόταν παλιότερα μπορεί να προκαλέσουν τεράστια προβλήματα στη περιοχή και να καταστραφούν τα οικοσυστήματά της, χωρίς να μπορούν να ανακάμψουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σήμερα για την απόρριψή τους χρησιμοποιούνται βαθιές γεωτρήσεις ή βαθιοί σχηματισμοί που πρέπει να είναι εντελώς απομονωμένοι γεωλογικά από υπερκείμενους υδροφόρους.

1.5.4. Γεωργική - Κτηνοτροφική Ρύπανση

Λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους

Τα βασικά και πιο συνηθισμένα λιπάσματα είναι ενώσεις του φωσφόρου, του καλίου και του αζώτου. Μετά τη χρήση τους είναι δυνατόν να διαφύγουν μέσα από το έδαφος και να ρυπάνουν τα υπόγεια ύδατα. Οι κόκκοι του εδάφους απορροφούν ευκολότερα τα καλιούχα και τα φωσφορούχα και σπάνια ρυπαίνουν ενώ το διαλυμένο άζωτο που χρησιμοποιείται από τα φυτά και απορροφάται από το έδαφος δημιουργεί τα κυριότερα προβλήματα ρύπανσης αυτής της κατηγορίας, στα υπόγεια ύδατα.

Νερό από άρδευση

Ένα μέρος του ποσοστού του νερού που χρησιμοποιείται κατά την άρδευση διαφεύγει στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της διεργασία της εξατμισιοδιαπνοής ενώ το υπόλοιπο ποσοστό στραγγίζεται επιφανειακά ή διαφεύγει στους υποκείμενους υδροφορείς. Το νερό αυτό που ουσιαστικά επιστρέφει στο χώμα είναι ενισχυμένο με τρεις φορές περισσότερη αλατότητα από ότι είχε αρχικά. Αυτό συμβαίνει λόγω των λιπασμάτων ή των βελτιωτικών εδάφους, την προσθήκη σε αυτό αλάτων ή από τη συμπύκνωσή τους εξαιτίας της εξατμισιοδιαπνοής.

Αγροτικά παρασιτοκτόνα

Τα εντομοκτόνα, σκωληκοκτόνα, μυκητοκτόνα, ακαριοκτόνα και γενικά παρασιτοκτόνα που χρησιμοποιούνται για να καταστραφούν ή να ελεγχθούν οι πληθυσμοί των παρασίτων. Αυτές οι ουσίες απορροφούνται επίσης σχετικά εύκολα από το έδαφος με αποτέλεσμα να ρυπαίνονται από αυτές σε μεγάλο βαθμό τα επιφανειακά νερά.

Κτηνοτροφικά απόβλητα

Τα κτηνοτροφικά απόβλητα περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων, οργανικών ενώσεων, βακτηρίων ενώ ο κυριότερος ρύπος είναι τα ιόντα αζώτου και νιτρικών. Τα απόβλητα αυτά αποτελούν μεγάλο πρόβλημα εξαιτίας του αυξανόμενου πληθυσμού ζώων που συγκεντρώνονται στις κτηνοτροφικές μονάδες ώστε να καλυφθούν οι επίσης αυξανόμενες παραγωγικές ανάγκες. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις ζώων σε μικρούς χώρους σημαίνει

αναπόφευκτα την παραγωγή επίσης μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων που στην πλειοψηφία των περιπτώσεων απορρίπτονται επιφανειακά. Οι βροχές που έρχονται σε επαφή με τις κοπριές και τα λοιπά απόβλητα μεταφέρει τους ρύπους σε υψηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

1.5.5. Άλλες Αιτίες και Πηγές Ρύπανσης

Άλλες πηγές ρύπανσης μπορεί να είναι οι υπαίθριες και υπόγειες αποθηκεύσεις που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση πρώτων υλών ή αποβλήτων. Τοποθετούνται συνήθως κοντά σε εργοστάσια και άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις για ευκολότερη πρόσβαση. Από αυτές τις αποθήκες είναι δυνατόν να προκύψουν διαρροές είτε λόγω ατυχήματος είτε λόγω κακής συντήρησης.

Μία άλλη αιτία μπορεί να αποτελέσει η ρίψη αλάτων στους δρόμους όπως NaCl και πιο σπάνια CaCl₂ προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία πάγου. Κάτι τέτοιο, όπως είναι φανερό, συμβαίνει σε πιο ψυχρές χώρες με συχνές χιονοπτώσεις.

Τα νεκροταφεία μπορεί να αποτελέσουν επίσης πηγή ρύπανσης. Αυτό συμβαίνει λόγω της αποσύνθεσης των νεκρών, διαδικασία που χαρακτηρίζεται ως αναερόβια και εκπέμπει διάφορα αέρια και παράγει ρευστά. Σε περίπτωση που το έδαφος είναι υδροπερατό, αυτά τα ρευστά απορροφούνται και διαρρέουν στον υδροφόρο. Αυτή τη διαδικασία διευκολύνεται από την είσοδο του αέρα που πυροδοτεί την έναρξη αερόβιων διεργασιών και που με τη σειρά της ουδετεροποιεί τα προϊόντα της σήψης. Ακολουθούν οι διαδικασίες της αμμωνίασης και νίτρωσης κατά τις οποίες οι αζωτούχες ενώσεις μετατρέπονται σε νιτρικές και αμμωνικές.

Τα ρυπασμένα επιφανειακά νερά αποτελούν, επίσης, πηγή ρύπανσης υδροφόρων μέσω των οποίων διαρρέουν οι ρύποι έμμεσα ή άμεσα στα υπόγεια ύδατα. Μία ακόμη εν δυνάμει πηγή ρύπανση μπορούν να αποτελέσουν οι υδρογεωτρήσεις. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μετά το τέλος χρήσης τους, όταν η κατασκευή αποδειχτεί ελαττωματική, ή όταν υπάρχει έλλειψη απομόνωσης των επιφανειακών τμημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Εισαγωγή

Η εξεταζόμενη περιοχή περιλαμβάνει ουσιαστικά το κατά πλάτος κατώτερο τμήμα του ποταμού Ασωπού, ο οποίος διαρρέει τους Νομούς Αττικής και Βοιωτίας στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα. Η κατηγοριοποίηση που έχει γίνει από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ/ΥΠΕΚΑ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής κατατάσσει τη λεκάνη απορροής του ποταμού στο Υδατικό Διαμέρισμα 07.

Ο σαφής προσδιορισμός της κατάστασης του περιβάλλοντος της περιοχής προϋποθέτει τη περιγραφή των παραγόντων που την επηρεάζουν στο σύνολο τους. Η συνοπτική περιγραφή, λοιπόν, του ανθρωπογενούς και φυσικού περιβάλλοντος καθώς επίσης και η περιγραφή και οι επιπτώσεις των τοξικότερων ρυπαντών που έχουν ανιχνευτεί στη περιοχή αναφέρονται σε αυτό το κεφάλαιο.

Αρχικά, ακολουθεί μία συνοπτική χρονική επισκόπηση της ρύπανσης στην εν λόγω περιοχή (Βασιλοπούλου, 2007).

1. Το χρονικό διάστημα **1940-1960** τα νερά του Ασωπού ποταμού ήταν καθαρά και απολύτως κατάλληλα για την κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο.
2. Το **1969** οι αρμόδιοι φορείς αποφασίζουν να χαρακτηρίσουν μέρος του ποταμού αποδέκτη βιομηχανικών αποβλήτων με σχετική Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ).
3. Το έτος **1979** οι αρμόδιοι φορείς χαρακτηρίζουν τον Ασωπό αποδέκτη των βιομηχανικών αποβλήτων της περιοχής στο σύνολό του αυτή τη φορά.
4. Από το **1982** και μετά οι κάτοικοι και οι τοπικοί φορείς αρχίζουν να ασκούν πιέσεις αφού στο ύψος του Χαλκουτσίου, στις εκβολές του ποτάμιου σχηματισμού κάνουν την εμφάνισή τους νεκρά ψάρια.
5. Το **1996** ανατίθεται στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο η διεκπεραίωση μελέτης, από το ΥΠΕΧΩΔΕ, με θέμα τη διάσωση του εν λόγω ποτάμιου σχηματισμού. Το πολυτεχνείο είχε προτείνει, την κατασκευή δικτύου αγωγών που θα δεχόταν τα απόβλητα των τοπικών βιομηχανιών και θα τα μετέφερε σε κατάλληλη μονάδα επεξεργασίας στον Αυλώνα, χωρίς κάτι τέτοιο να πραγματοποιηθεί.
6. Το έτος **2000** ο δήμος Οινοφύτων παραλαμβάνει ιδιαιτέρως ανησυχητικές αναλύσεις νερού από τις τοπικές γεωτρήσεις ύδρευσης. Η ΕΥΔΑΠ ενημερώνεται

άμεσα για την επείγουσα ανάγκη εύρεσης και εγκατάστασης εναλλακτικού συστήματος υδροδότησης του Δήμου.

7. Το **2004** για πρώτη φορά επιβάλλονται πρόστιμα στις τοπικές Βιομηχανίες λόγω της ρύπανσης από χρώμιο.
8. Το **2007** ανιχνεύονται ποσοστά χρωμίου που ξεπερνούν τα όρια στο νερό προς πόση των Οиноφύτων. Το γεγονός αυτό κινητοποιεί τους αρμόδιους ώστε να αρχίσουν να μελετούν την εφαρμογή δυναμικών λύσεων όπως εναλλακτική υδροδότηση για όλους τους δήμους της περιοχής και η αποκατάστασή της. Τέλος, θεσπίζονται όρια εκπομπών και καταργείται ο χαρακτηρισμός του ποταμού ως νόμιμου αποδέκτη αποβλήτων.
9. Το **2010** καθορίζονται με κοινή Υπουργική Απόφαση τα Ποιοτικά Περιβαλλοντικά Πρότυπα στον ποταμό Ασωπό και οι οριακές Τιμές Εκπομπών υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ασωπού (ΦΕΚ 749/31/5/2010).

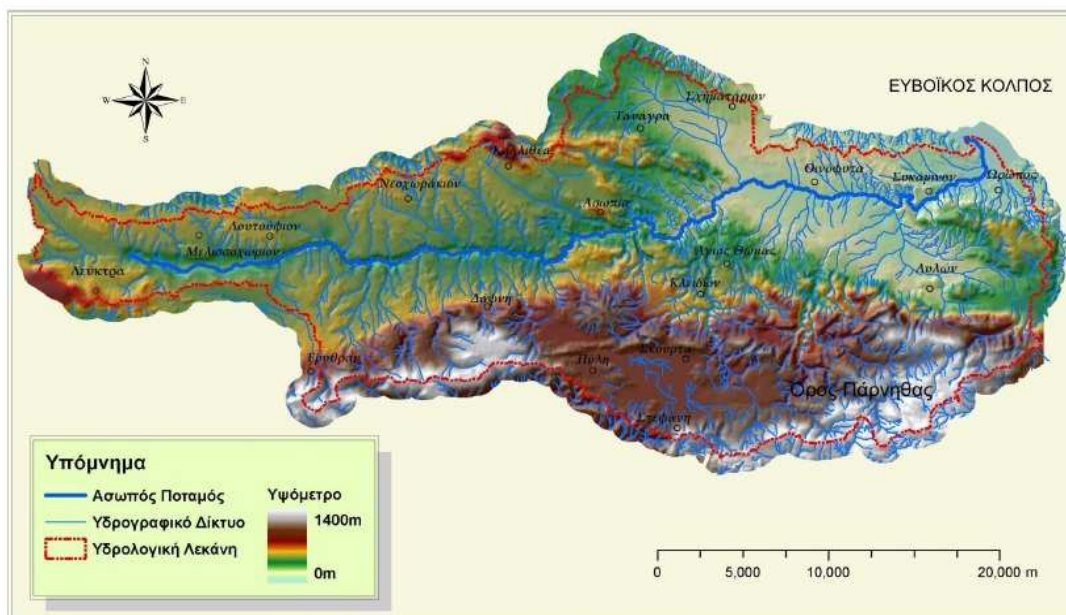
2.2. Φυσικό Περιβάλλον

2.2.1. Μορφολογικά στοιχεία της περιοχής

Ο Ασωπός ποταμός έχει μήκος 75 km και διαρρέει τον Νομό Βοιωτίας. Η λεκάνη του ποταμού έχει έκταση 720 km² με περίμετρο 170 km περίπου (Παπαϊωάννου, 1999). Το νότιο τμήμα της περιοχής που διαρρέεται από τον ποτάμιο σχηματισμό του Ασωπού ανακόπτεται από όγκο οροσειράς. Πρόκειται για την βορειοανατολική Πάρνηθα. Η μορφολογία του τμήματος αυτού χαρακτηρίζεται από έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο αφού κυριαρχούν στοιχεία όπως οι απότομες πλαγιές, οι ψηλές κορυφές βουνών και οι βαθιές κοιλάδες.

Τους πρόποδες της οροσειράς της Πάρνηθα από δυτικά προς ανατολικά ακολουθούν οι περιοχές Οινόφυτα και Μαλακάσα. Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται από ομαλότερο γεωμορφολογικό ανάγλυφο ενώ είναι χαρακτηριστικό πως το κατώτερο τμήμα του αντιστοιχεί στην Κοιλάδα του Ασωπού.

Βορειοανατολικά των περιοχών Οινόφυτα και Μαλακάσα συναντάται η λοφοσειρά Ωρωπού-Καλάμου. Πρόκειται για ομαλή οροσειρά που δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλα υψόμετρα μιας και το μεγαλύτερο φτάνει περίπου τα 500 m, καταλήγει στον Ευβοϊκό Κόλπο και συνδέεται με το ορεινό τμήμα της Πάρνηθας στο ύψος της Μαλακάσας.



Εικόνα 1 Γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης του Ασωπού ποταμού (Πηγή: Μασούρα 2008)

2.2.2. Γεωλογία- Τεκτονική

Μεγάλος αριθμός γεωλογικών μελετών έχουν εκπονηθεί με αντικείμενό τους την εξεταζόμενη περιοχή. Συνοπτικά, λοιπόν, θα αναφερθούν σε αυτή τη παράγραφο δυο λόγια για τη γεωλογία και τη τεκτονική της λεκάνης του Ασωπού όπως συνοψίζονται σε μελέτη του ΤΕΕ (2009).

Από γεωλογικής σκοπιάς η λεκάνη του νεογενούς στα πρώτα 400 m βάθους αποτελείται από ιζήματα της τριτογενούς και τεταρτογενούς γεωλογικής περιόδου και καλύπτει μία έκταση της τάξεως των 700 Km. Γενικά, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν ανήκουν σε δύο μεγάλες γεωτεκτονικές ενότητες. Η πρώτη ενότητα είναι αυτή της Αττικοκυκλαδικής μάζας και η δεύτερη αυτή της Ζώνης Ανατολικής Ελλάδας (Υποπελαγονικής). Στη πρώτη ενότητα κυριαρχούν τα μάρμαρα, τα μεταμορφωμένα πετρώματα και οι κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι που κατά τύπους εναλλάσσονται με γνεύσιους, αμφιβολίτες και σιπολίτες. Οι γνώμες των ερευνητών που αφορούν την ηλικία των στρωμάτων που απαρτίζουν την ενότητα αυτή δίστανται μιας και κάποιοι τα χρονολογούν στη Τριαδική γεωλογική περίοδο ενώ άλλη στην αρχαϊκή. Τη δεύτερη ενότητα την απαρτίζουν κυρίως ασβεστόλιθοι, φλύσχης και σχιστογαμμιτικά στρώματα του

Παλαιζωϊκού, ημιμεταμορφωμένα. Σημειώνεται όμως, πως και στις δύο ενότητες συναντώνται ιζήματα νεότερης ηλικίας (μεταλπικής), δηλαδή νεογενή και τεταρτογενή, έτσι ώστε να καλύπτουν τους αλπικούς και τους προαλπικούς σχηματισμούς κατά τόπους.

Ο υδροφορέας της περιοχής από τον Αγ.Θωμά και κατάντη έως το δέλτα του ποταμού αποτελείται από ένα βαθύ υδροφορέα που φιλοξενείται στα νεογενή πετρώματα, ένα υδροφορέα σε Πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις, και έναν υδροφορέα σε τεταρτογενείς αποθέσεις που βρίσκονται σε απευθείας επαφή με τον ποταμό. Παρ' όλο που η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών δεν είναι ομοιογενής, δεν μπορούν εύκολα να διακριθούν ο ένας από τον άλλο και γι' αυτό ορισμένοι μελετητές (Καραβοκύρης et al, 2008) τους αντιμετωπίζουν ως ένα ενιαίο σύνολο, το οποίο στο εξής θα αποκαλείται στην εργασία αυτή υδροφορέας του Ασωπού.

Από τεκτονικής σκοπιάς, τα πετρώματα της περιοχής έχουν υποστεί διάρρηξη και πτύχωση ως αποτέλεσμα των πολλαπλών τεκτονικών κινήσεων. Είναι δυνατόν να διακριθούν δύο στάδια κατά τη διαμόρφωση της τεκτονικής δομής της. Το πρώτο είναι αυτό της παλαιότερης προνεογενούς τεκτονικής και το δεύτερο αυτό της νεότερης τεκτονικής του Νεογενούς και Τεταρτογενούς (Μασούρα, 2008).

2.2.3. Εδαφολογικά Στοιχεία

Στη περιοχή υπάρχουν εδάφη που θεωρούνται κατάλληλα για γεωργικές εργασίες λόγω της υψηλής τους παραγωγικότητας οπότε και υφίστανται εκμετάλλευση προς αυτή την κατεύθυνση. Αυτά καλύπτονται κυρίως από καλλιέργειες μεγάλης έκτασης, που συνήθως είναι αρδευόμενες, και από καλλιέργειες λαχανικών. Τα εδάφη αυτά είναι πλούσια σε ασβέστιο και άνθρακα και είναι ουσιαστικά το αποτέλεσμα των αποθέσεων του φορτίου του Ασωπού και δευτερευόντων ρεμάτων. Συνεπώς συναντώνται στα πεδινά των εκβολών του ποταμού στη περιοχή της Μαλακάσας και νότια αυτής καθώς και στις κοίτες του.

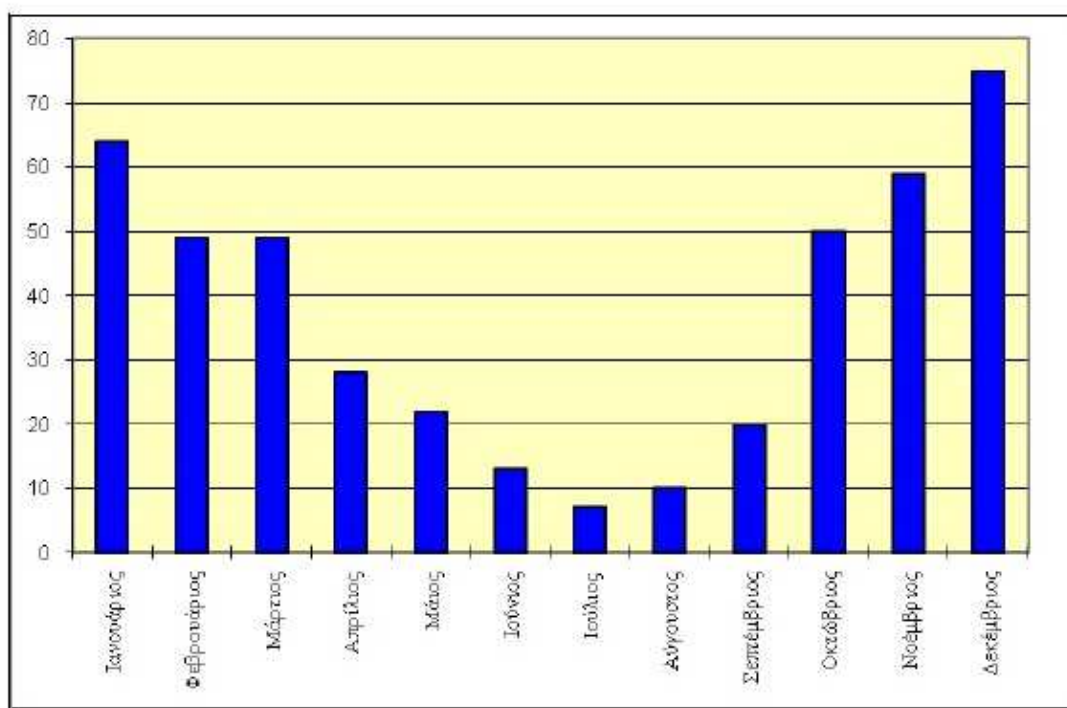
Ακόμα στην περιοχή συναντώνται καλλιέργειες αμπελώνων, οπωροφόρων ή άλλων δενδρωδών, χαμηλών καλλιεργειών ή ακόμα και αραιά δάση πεύκων σε εδάφη Πλειστοκαινικών αποθέσεων. Αυτά περιλαμβάνουν μάργες, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Τέλος συναντάει κανείς και εδάφη του Νεογενούς στα οποία υπάρχουν εκτός από μάργες, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες, μαργαϊκούς τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους. Αυτά καλύπτονται από δενδρώδεις καλλιέργειες και δασικές εκτάσεις.

2.2.4. Κλιματολογικά Στοιχεία

Το κλίμα της περιοχής στο σύνολό της χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό με έντονες βροχοπτώσεις να σημειώνονται τους χειμερινούς κυρίως μήνες. Στο εσωτερικό όμως του νομού Βοιωτίας μπορεί να πει κανείς πως αγγίζει το Ηπειρωτικό κλίμα και αυτό οφείλεται στα βουνά που τον περιβάλλουν και ως εκ τούτου περιορίζουν την είσοδο θαλάσσιων ρευμάτων.

Ακόμα η περιοχή παρουσιάζει μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος με μέση μέγιστη θερμοκρασία να σημειώνεται συνήθως τον μήνα Ιούλιο και αγγίζει τους 31,9°C, ενώ η μέση ελάχιστη που σημειώνεται κυρίως τον μήνα Ιανουάριο φτάνει τους 3,2°C (Μασούρα, 2008).

Ο μήνας με τις πιο έντονες βροχοπτώσεις φαίνεται να είναι ο Δεκέμβριος (74.9 mm, ύψος βροχής), ενώ το καλοκαίρι παρατηρούνται κατά πολύ μικρότερα ύψη βροχής. Τέλος η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 47,5% μέχρι 77,5% με το μεγαλύτερο ποσοστό να σημειώνεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Μασούρα, 2008).



Διάγραμμα 1 Κατανομή μέσου ύψους βροχής (mm), από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Τανάγρας (Πηγή: Μασούρα, 2008)

Στοιχεία νεότερων μελετών δίνουν την μέση επιφανειακή βροχόπτωση επί της λεκάνης ιση με 615 mm (Γιαννουλόπουλος, 2008) ή 460 mm (Καραβοκύρης et al, 2008). Οι διαφορές

στη βροχόπτωση είναι δυνατόν να εξηγηθούν δεδομένου ότι δεν ταυτίζονται οι περίοδοι καταγραφής βροχόπτωσης των δύο μελετών και ως εκ τούτου διαφέρουν οι μέσοι όροι.

2.2.5. Υδρολογία – Υδρογραφικά Στοιχεία

Οι πηγές του Ασωπού ποταμού βρίσκονται στο οροπέδιο των Λεύκτρων, ο ίδιος ο ποταμός διασχίζει τη περιοχή νότια της πεδιάδας των Θηβών, και τη βόρεια Αττική από δυτικά προς ανατολικά ως που εκβάλει στον Ευβοϊκό κόλπο. Η ροή του ποταμού χαρακτηρίζεται ως ελάχιστη εκτός των εποχών με έντονη βροχόπτωση οπότε και παρατηρείται αύξηση της ροής λόγω των βρόχινων νερών. Επίσης, λόγω των κατεισδύσεων προς στους υπόγειους υδροφορείς της περιοχής, στον Ασωπό ποταμό εν γένει δεν συναντάει κανείς νερό όλους τους μήνες του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα στο ανάντη τμήμα του Ασωπού παρατηρείται μειωμένη ροή νερών κάτι που μπορεί να αποδοθεί τόσο στην κακή διαχείριση των υπόγειων νερών όσο και στους υδροπερατούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που επιτρέπουν την αποστράγγιση μεγάλου ποσοστού νερού και την κατείσδυση του προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Στο μέσο τμήμα του ποταμού παρατηρείται αύξηση της ποσότητας νερού κάτι που οφείλεται τόσο στις επιφανειακές απορροές όσο και στην τροφοδοσία του με βιομηχανικά απόβλητα. Η τελευταία παραδοχή ενισχύεται από τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων για το τμήμα αυτό του ποταμού (ΤΕΕ, 2009). Στο κατάντη τμήμα του, σε αντίθεση με το προηγούμενο η παροχή του ποταμού φαίνεται να μειώνεται σημαντικά προφανώς λόγω του υψηλού βαθμού κατείσδυσης στις προσχώσεις. Στο τέλος του ποταμού, στις εκβολές του δηλαδή η ελάχιστη παροχή που διαπιστώνεται δημιουργεί συνθήκες στασιμότητας (ΤΕΕ, 2009) και διείσδυσης αλμυρού νερού στο δέλτα.

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής χαρακτηρίζεται ως χειμαρρικό. Τέλος λόγω της εκτεταμένης κάλυψης της περιοχής από ανθρακικά πετρώματα, ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα, τα οποία παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αποκαρστώσεως, αλλά και του χαμηλού ανάγλυφου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, το επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής στο μεγαλύτερο μέρος του χαρακτηρίζεται ως ασήμαντο. Εξάιρεση παρουσιάζουν οι περιοχές στις οποίες εμφανίζονται στεγανοί σχιστόλιθοι οπότε και μερικοί μικροί χείμαρροι φαίνεται να διατηρούν απορροή για μικρό όμως χρονικό διάστημα.

2.2.6. Υδρογεωλογικές Συνθήκες

Για να μπορέσει κανείς να καταλάβει ως ένα βαθμό τόσο τη διαμόρφωση των υπόγειων υδροφόρων όσο και την κίνηση του νερού μέσα σε αυτούς είναι σκόπιμο να υπάρχουν πληροφορίες για τη περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών και για την απόσταση αυτών από τη θάλασσα.

Συγκεκριμένα στην εξεταζόμενη περιοχή η έντονη παρουσία των ασβεστολίθων είναι πολύ σημαντική και αυτό γιατί αυτός ο λιθολογικός τύπος χαρακτηρίζεται από μεγάλη υδροπερατότητα οπότε και αναπόφευκτα αυξάνει την κατείδυση (ποσοστό κατείδυσης τουλάχιστον 20%) του νερού κυρίως του βρόχινου στους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής. Είναι δυνατόν να παρουσιαστεί μία ταξινόμηση του ποσοστού που συμμετέχει κάθε γεωλογικός σχηματισμός ανάλογα με τον χαρακτηρισμό τους ως υδροπερατοί, υδατοστεγανοί (αδιαπερατοί) ή ημιπερατοί. Οπότε το 54,7% των λιθολογικών τύπων της περιοχής είναι ημιπερατοί (και σε αυτούς περιλαμβάνεται ο υδροφορέας του Ασωπού), το 41,3% είναι υδροπερατοί, ενώ το μόλις 4% είναι υδατοστεγανοί (Μασούρα, 2008).

2.2.7. Υδροφορείς - κίνηση υπόγειων υδάτων

Στην λεκάνη του Ασωπού συνολικά, οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι που προέρχονται από της υδροφορίες ανέρχονται περίπου στα $144 \times 10^6 \text{ m}^3$. Από αυτά, τα $111 \times 10^6 \text{ m}^3$ αντιστοιχούν σε καρστικούς υδροφόρους, ενώ τα $32 \times 10^6 \text{ m}^3$ σε προσχωματικούς – κοκκώδεις (ΤΕΕ, 2009), τα οποία αντιστοιχούν σε 78 mm κατείδυσης ετησίως επί των κοκκωδών (ημιπερατών) σχηματισμών και 326 mm επί των καρστικών (περατών) σχηματισμών. Από τις ποσότητες αυτές εκτιμάται συντηρητικά ότι περίπου $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Καραβοκύρης et al) αντιστοιχεί στον υδροφορέα του Ασωπού.

Ουσιαστικά στην ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται δύο βασικοί υδροφόροι σχηματισμοί. Ο πρώτος, ο κοκκώδης υδροφόρος που βρίσκεται εντός Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων είναι ο ανώτερος ενώ ο βαθύτερος και καρστικός αποτελεί τον δεύτερο υδροφόρο. Ο τελευταίος βρίσκεται μέσα σε ανθρακικά των Τριαδικών και Ιουρασικών ασβεστολίθων, και στο τμήμα Αυλώνα- Σχηματαρίου- Οινοφύτων καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα (ΤΕΕ, 2009). Επίσης τα υδατικά αποθέματά του είναι πολύ σημαντικά αφού έχουν χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της παροχής του λεκανοπεδίου με πόσιμο νερό. Τα υπόγεια νερά του σχηματισμού κινούνται με κατεύθυνση τη περιοχή της

Μαυροσουβάλας φτάνοντας τελικά να εκφορτίζεται στις πηγές του Καλάμου (Γιαννουλόπουλος, 2008). Ο πρώτος από τους προαναφερθέντες υδροφόρους τροφοδοτείται κυρίως από τα νερά κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν και βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τον Ασωπό ποταμό. Ο δεύτερος και βαθύτερος τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τις παρυφές της Πάρνηθας που βρίσκονται στα Β.Α.

Ακόμα είναι σκόπιμο να αναφερθεί πως σε αποθέσεις κάτω από την κοίτη του Ασωπού αναπτύσσονται διάφοροι προσχωματικοί ελεύθεροι υδροφόροι εκατέρωθεν περιοχών όπως τα Οινόφυτα, ο Ωρωπός και Βαθέος-Φάρου Αυλίδας.

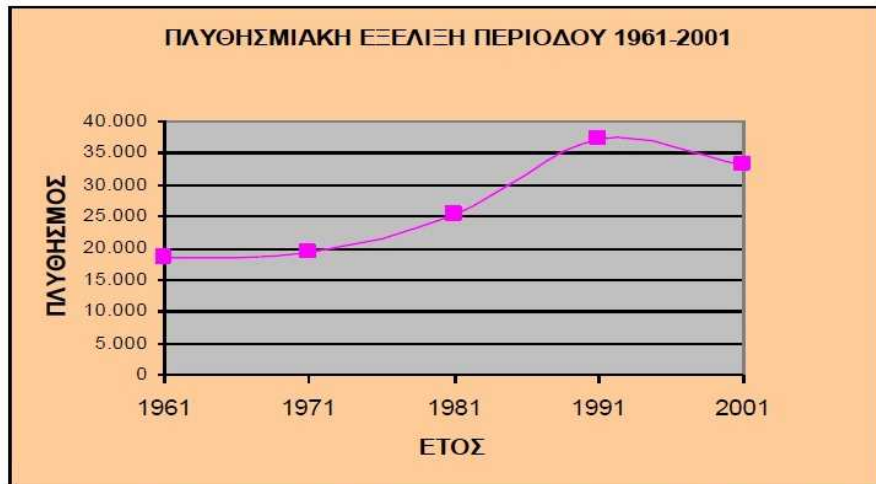
Όσον αφορά την κίνηση των υδάτων στα καρστικά υδατικά φρεάτια έχουν χονδρικά κατεύθυνση από τα ανατολικά προς τα βορειοανατολικά. Η κίνηση αυτή και μάλιστα σε συνδυασμό με την υδραυλική επικοινωνία που έχουν αναπτύξει με τον κοκκώδη υδροφόρο καθιστά εύστοχο τον χαρακτηρισμό του καρστικού ως υψηλής ρυπαντικής επιδεκτικότητας υδροφόρο που επηρεάζεται έντονα από τις διάφορες ρυπογόνες εστίες της λεκάνης του Ασωπού και της ευρύτερης περιοχής γενικότερα (ΤΕΕ, 2009)

2.3. Ανθρωπογενές Περιβάλλον

2.3.1. Δημογραφικά Στοιχεία

Οι Δήμοι που αποτελούν τον Νομό Βοιωτίας σύμφωνα με τη νέα δομή της Τοπικής Αυτοδιοίκησης όπως αυτή υπαγορεύεται από το πρόγραμμα Καποδίστριας είναι σε αριθμό 22 με μεγαλύτερο σε έκταση και πληθυσμό τον Δήμο Θηβαίων.

Την εικοσαετία 1971-1991 η περιοχές κυρίως Οινοφύτων, Αυλώνα και Σχηματαρίου παρουσιάζουν αύξηση της ανάπτυξης και συνεπώς αύξηση του πληθυσμού. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει τα τελευταία χρόνια στη περιοχή, τη μείωση δηλαδή του πληθυσμού, πράγμα που οφείλεται στην ύφεση της ανάπτυξης και διαφοροποίηση των βιομηχανικών τάσεων. Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει την πληθυσμιακή εξέλιξη για την χρονική περίοδο 1961 με 2001 σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ). Τα στοιχεία της απογραφής 2011 δεν είναι ακόμη διαθέσιμα στο κοινό.



Διάγραμμα 2 Πληθυσμιακή εξέλιξη της εξεταζόμενης περιοχής (Πηγή: Μασούρα, 2008)

2.3.2. Χρήσεις Γης

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ που δόθηκαν στη δημοσιότητα, το έτος 2005, προκύπτει πως στην περιοχή του Νομού Βοιωτίας το 56% της γης καλύπτεται από γεωργικές εκτάσεις, το 42% καλύπτεται από ημιφυσικές εκτάσεις και δάση ενώ μόλις το 2% καλύπτουν οι αστικές περιοχές.



Διάγραμμα 3 Κατανομή χρήσεων γης (Πηγή: Μασούρα, 2008)

Η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής εντοπίζεται κυρίως σε Οινόφυτα και Αυλώνα. Η ίδια βιομηχανική ανάπτυξη συνετέλεσε στην εμφάνιση εκτενούς συγκοινωνιακού δικτύου στις περιοχές τις Τανάγρας, του Σχηματαρίου και των Οινόφυτων.

2.3.3. Στοιχεία απασχόλησης –Εργασίας

Η οικονομική κατάσταση των κατοίκων του Νομού Βοιωτίας κατά την απογραφή του 1981 και του 1991 είχε ως ακολούθως:

- 1981: Οικονομικά ενεργός πληθυσμός 42.308
- 1991: Οικονομικά ενεργός πληθυσμός 50.719

Σε συνδυασμό με τον παραπάνω οικονομικά ενεργό πληθυσμό τομέα και με την απογραφή του 1991 η κατανομή των απασχολούμενων ανά παραγωγικό ήταν ως εξής:

- Πρωτογενής παραγωγή: 10.863 (24,2%)
- Δευτερογενής παραγωγή: 15.494 (34,5%)
- Τριτογενής παραγωγή: 18.504 (41,20%)

Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρείται σημαντική συμμετοχή του πρωτογενούς και του δευτερογενούς τομέα στην απασχόληση, γεγονός που αποδίδεται αντίστοιχα στον αγροτικό χαρακτήρα του Νομού Βοιωτίας και της λεκάνης του Ασωπού ειδικότερα, αλλά και στην λειτουργία βιομηχανικών μονάδων.

Με γνώμονα τον σχηματισμό μιας εικόνας ως προς τη μεταβολή της ανεργίας στο τέλος του προηγούμενου αιώνα ελήφθησαν υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία της απογραφής της ΕΛΣΤΑΤ (1991) σε οικισμούς που θεωρούνται ενδεικτικοί (Αυλώνα, Αγ. Στέφανο, Οινόφυτα). Σύμφωνα, λοιπόν, με τα στοιχεία αυτά (1981), ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός ήταν 41,2%, ο οικονομικά μη ενεργός πληθυσμός ήταν 57,5% και οι άνεργοι ανέρχονταν σε 1,1%.

Τα δεδομένα αυτά διαφοροποιούνται σημαντικά σήμερα, όπως καθίσταται εμφανές από πιο πρόσφατα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ και του Επιμελητηρίου Βοιωτίας. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό συμμετοχής των τριών κλάδων της οικονομίας στο ΑΕΠ για την περιοχή της Βοιωτίας σύμφωνα με το Επιμελητήριο Βοιωτίας είναι:

- Γεωργία: 6,6%
- Βιομηχανία: 69,8%

- Υπηρεσίες: 23,3%

Το ποσοστό ανεργίας είναι υψηλότερο του μέσου όρου στην Ελλάδα. Για το Νομό Βοιωτίας στο σύνολό του έφτανε το 10,9%, το 2006, όταν το αντίστοιχο για το σύνολο της Ελλάδας ήταν 8,9%.

Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 παρατίθενται τα παρακάτω στοιχεία του πίνακα.

Πίνακας 1 Πληθυσμιακά στοιχεία & Απασχόλησης Νομού Βοιωτίας (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ)

	Οικ. Ενεργός Πληθυσμός	Οικ. Μη Ενεργός Πληθυσμός	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Άνεργοι	Συνολικός Πληθυσμός
Δ. Οιοφύτων	3.951	3.241	11,34%	38,60%	27,89%	7,64%	8.165
Δ. Σχηματαρίου	3.428	3.006	15,99%	33,87%	28,73%	7,93%	8.095
Δ. Τανάγρας	2.193	1.595	52,76%	17,33%	20,38%	5,29%	4.134
Σύνολο	9.572	7.842	22,49%	32,03%	26,47%	7,21%	20.424

Είναι φανερό πως το ποσοστό απασχόλησης του Δευτερογενούς Τομέα είναι πολύ υψηλό. Επιπλέον το ποσοστό απασχόλησης του πληθυσμού που ασχολείται με τη γεωργία είναι επίσης σημαντικό στη περιοχή.

2.3.4. Παραγωγικοί Τομείς

Πρωτογενής Τομέας

α) Γεωργία

Τα στοιχεία του 1991 όσον αφορά σε μεγέθη των εκμεταλλεύσεων και των καλλιεργούμενων εκτάσεων υποδηλώνουν μικρές ιδιοκτησίες στους περισσότερους οικισμούς της εξεταζόμενης περιοχής. Γενικά στη περιοχή καλλιεργούνται 351.400 στρέμματα, ενώ ένα ποσοστό της τάξης των 45% είναι αρδευόμενα και ένα ποσοστό της τάξης των 55% πρόκειται για ξηρικές καλλιέργειες. Από την απογραφή του 2001 προκύπτει πως η γεωργική βιομηχανία συνεχίζει να διεκδικεί σημαντικό ποσοστό από το συνολικό του παραγωγικού τομέα στη περιοχή.

β) Κτηνοτροφία

Η παραγωγή στα λιβάδια της περιοχής, με τη βόσκηση να ασκείται χωρίς σχέδιο και μάλιστα σε εκτάσεις μικρής αποδοτικότητας φαίνεται να είναι περιορισμένη. Επίσης συγκεντρώνεται κυρίως γύρω από τις κατοικημένες εκτάσεις, ενώ για τη διαχείριση αυτών χρησιμοποιούν ποιμνιοστάσια. Από την απογραφή του 2001 που πραγματοποίησε η Ελληνική Στατιστική

Υπηρεσία προκύπτει πως οι κτιριακές εγκαταστάσεις των πτηνο-κτηνοτροφικών μονάδων κατέλαβαν σημαντικό ποσοστό γεωργικών εκτάσεων.

γ) Αλιεία

Το γεγονός ότι η εξεταζόμενη περιοχή στερείται ουσιαστικού όγκου επιφανειακών υδάτων και σε συνδυασμό με τον τρόπο ανάπτυξης των χειμάρρων η επιβίωση ειδών ιχθυοπανίδας δεν ευνοείται.

δ) Ορυκτός πλούτος

Στην περιοχή δεν έχουν εντοπισθεί εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα. Σημειώνεται όμως ότι μέρος του αυχένα της Μαλακάσας χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες σε αδρανή της Εθνικής Οδού Νο 1.

ε) Δασικός πλούτος

Η δασική παραγωγή απουσιάζει στην περιοχή της μελέτης τουλάχιστον με την κλασική έννοια. Παλαιότερα γινόταν συλλογή ρητίνης, δραστηριότητα που δεν υπάρχει σήμερα. Γενικά η παραγωγικότητα των δασών θεωρείται σχεδόν μηδενική.

Δευτερογενής Τομέας

Βιομηχανία: Έντονη Βιομηχανική και Βιοτεχνική δραστηριότητα εμφανίζεται στην ευρύτερη περιοχή κατά μήκος της Ε.Ο. Αθήνας Θεσσαλονίκης (ΠΑΘΕ). Από την απογραφή του 2001 προκύπτει πως η δραστηριότητα αυτή (Βιομηχανία- Μεταποίηση) είναι ακόμα πιο έντονη και περισσότερο αυξημένη.

Τριτογενής Τομέας

Τουρισμός: Δεν παρατηρούνται αξιόλογες τουριστικές δραστηριότητες στην εξεταζόμενη περιοχή με εξαίρεση τους παραθαλάσσιους οικισμούς της ευρύτερης περιοχής όπως οι Άγιοι Απόστολοι και ο Ωρωπός. Η κατάσταση αυτή παραμένει ίδια όπως φαίνεται από την απογραφή του 2001.

2.3.5. Περιβαλλοντικές Πιέσεις

Πηγές Ρύπανσης

Οι σημειακές πηγές ρύπανσης θεωρούνται αυτές που αναπτύχθηκαν λόγω της ανεξέλεγκτης διάθεσης βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων είτε σε επιφανειακούς αποδέκτες όπως ο Ασωπός, είτε σε υπόγειους αποδέκτες όπως οι διάφορες γεωτρήσεις και ορύγματα. Συγκεκριμένα η δραστηριότητα της βιομηχανικής περιοχής Οινοφύτων – Σχηματαρίου αναπτύχθηκε άναρχα και χωρίς καμία πρόβλεψη για τη προστασία του περιβάλλοντος.

Οι διάχυτες πηγές ρύπανσης θεωρούνται οι επιφανειακές απορροές των υδάτων κατακρημνίσεων που αποπλένουν της γεωργικές καλλιέργειες της περιοχής. Ειδικά ανάντη του ποταμού η γεωργία γνωρίζει ιδιαίτερη ανάπτυξη.

Εκτός των πηγών ρύπανσης που απαρτίζονται παραπάνω υπάρχουν και οι φυσικές πηγές ρύπανσης. Μάλιστα, η μελέτη του ΙΓΜΕ που πραγματοποιήθηκε το 2008 (Γιαννουλόπουλος, 2008) επιβεβαιώνει την ύπαρξη στη περιοχή κοιτασμάτων όπως σιδηρονικελιούχα και οφιόλιθοι που ενοχοποιούνται ως πηγές ρύπανσης. Είναι γνωστό από το 2002 πως ο οφιόλιθος είναι δυνατόν να ρυπάνει τη περιοχή στην οποία εντοπίζεται με εξασθενές χρώμιο. Τα κοιτάσματα αυτά συναντώνται στη στενή περιοχή της λεκάνης του Ασωπού, νότια της ορεινής Πάρνηθας και βόρεια του όρους Κτυπός (ΙΓΜΕ, 2009).

Βιομηχανική Δραστηριότητα

Κιόλας από το 1950 αρχίζουν να δημιουργούνται οι πρώτες βιομηχανίες στην ευρύτερη περιοχή. Η θέσπιση νόμων και οι αυστηρές απαγορεύσεις ίδρυσης ή επέκτασης βιομηχανιών μέσα στην Αττική σε συνδυασμό με τη στρατηγική θέση της εξεταζόμενης περιοχής (δίπλα στο κεντρικό οδικό δίκτυο) ενίσχυσε την άναρχη εγκατάσταση βιομηχανιών. Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων δεν περιελάμβανε καμία πρόβλεψη για την προστασία του περιβάλλοντος ή τη σωστή επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων τους. Έτσι στη περιοχή φιλοξενείται μία πολύ μεγάλη βιομηχανική δραστηριότητα, τουλάχιστον συγκριτικά με τα δεδομένα της χώρας. Το αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι η ύπαρξη μη καταγεγραμμένων πηγών ρύπανσης και συνεπώς την παροχή των επιφανειακών και υπόγειων αποδεκτών με ρυπογόνες ουσίες σε μεγάλη πυκνότητα και συνεπώς η δημιουργία τεράστιων περιβαλλοντικών προβλημάτων (ΤΕΕ, 2009).

Σήμερα στη βιομηχανική περιοχή Οινοφύτων - Σχηματαρίου εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 700 εγκαταστάσεις του κλάδου μεταποίησης, εκ των οποίων οι 500 παράγουν υγρά απόβλητα ενώ στις 50 φτάνουν οι βιομηχανίες που στα απόβλητα που δημιουργούν εμπεριέχονται τοξικές ουσίες και κυρίως το ιδιαίτερος τοξικό εξασθενές χρώμιο (ΤΕΕ, 2009). Η μελέτη της Μασούρα (2008) αναφέρει 406 μεγάλες βιομηχανίες, τιμή σημαντικά χαμηλότερη, η οποία όμως ενδέχεται να αγνοεί μικρότερης κλίμακας δραστηριότητες τις οποίες περιλαμβάνει το ΤΕΕ. Το εξασθενές χρώμιο εμφανίζεται κυρίως στα απόβλητα που δημιουργούνται από τη κατεργασία μεταλλικών επιφανειών, ιδιαίτερος αλουμινίου. Κάποια από τα βαφεία της περιοχής των οποίων τα απόβλητα ενοχοποιούνταν για το τοξικό χρώμιο, δεν ενοχοποιούνται πια μιας και οι πρώτες ύλες τους δεν το συμπεριλαμβάνουν (ΤΕΕ, 2009).



Εικόνα 2 Η βιομηχανική ζώνη Οινοφύτων (Πηγή: Google Earth, 2011). Με κίτρινο δείκτη δίνεται ο οικισμός των Οινοφύτων.

2.4. Ρύπανση από Χρώμιο

2.4.1. Γενικά

Αυξημένες τιμές ολικού χρωμίου (Cr_{tot}) στα υπόγεια νερά έχουν καταγραφεί νοτιοανατολικά του Ασωπού, στην ευρύτερη περιοχή της Αυλώνας, εκατέρωθεν του ποταμού Ασωπού μέχρι

τον Ωρωπό και σε γεώτρηση πλησίον του Ασωπού και βόρεια του Αγίου Θωμά. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στην Αυλώνα και άγγιξε τα 180 ppb. Ανάλογη κατανομή παρουσιάζουν και οι τιμές που καταγράφηκαν και για το εξασθενές χρώμιο (Cr^{6+}) με τις μέγιστες συγκεντρώσεις να φτάνουν τα 156 ppb. Η υψηλότερη αυτή τιμή σημειώθηκε σε γεώτρηση δίπλα στη κοίτη του Ασωπού και βόρεια του Αγ. Θωμά. Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί πως η κατανομή και του ολικού χρωμίου και του εξασθενούς παρατηρήθηκε ουσιαστικά να έχει κατεύθυνση από τα νότια προς νοτιοανατολικά του ποταμού, ροή που συμπίπτει με αυτή της κίνησης των υπόγειων υδάτων του καρστικού υδροφόρου σχηματισμού. Τέλος η πλειοψηφία των μελετητών συμφωνεί πως η προέλευση των συγκεντρώσεων αυτών είναι η βιομηχανική ρύπανση (Γιαννουλόπουλος, 2008), με κύριο κριτήριο την υψηλή αναλογία εξασθενούς προς ολικό χρώμιο.

Οι συγκεντρώσεις του ολικού Σιδήρου (Fe_{tot}) φαίνεται να ακολουθούν περίπου τις κατανομές του χρωμίου. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σημειώθηκαν δυτικά του Ωρωπού, νότια των Οινόφυτων, στην Αυλώνα και στη περιοχή μεταξύ Σχηματαρίου και Αυλίδας. Επίσης και η ρύπανση του σιδήρου θεωρείται πως οφείλεται στη βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής (Γιαννουλόπουλος, 2008).

Η ύπαρξη Νικελίου (Ni) εκτιμάται πως οφείλεται επίσης στη βιομηχανική δραστηριότητα. Αυξημένες συγκεντρώσεις έχουν παρατηρηθεί εκατέρωθεν της κοίτης του Ασωπού ποταμού και νοτιοδυτικά της Οινόης, ενώ οι περιοχές Αυλίδας και Ωρωπού φαίνεται να απειλούνται μόνο από τις συγκεντρώσεις χρωμίου και άλλων ιόντων αλλά όχι από αυτές του Νικελίου (Γιαννουλόπουλος 2008).

Υψηλές τιμές Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) παρατηρούνται στα νερά του Ασωπού και σε γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην κοίτη του ποταμού. Οι τιμές αυτές φτάνουν τα 7.5 mg/l στα νερά του Ασωπού ενώ οι συγκεντρώσεις Ολικού Οργανικού Άνθρακα αποτελεί δείκτη ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από οργανικούς ρυπαντές (Γιαννουλόπουλος 2008).

Αυξημένες συγκεντρώσεις αρσενικού (As), μολύβδου (Pb) και άλλων μετάλλων παρατηρούνται σε γεωτρήσεις δίπλα στον Ασωπό ποταμό όπως επίσης και στο Σχηματάρι, Οινόφυτα και Αυλώνα. Επίσης και οι ύπαρξη των ρυπαντών αυτών αποδίδονται στη βιομηχανική ρύπανση.

2.4.2. Χρώμιο και Υγεία

Το 1920 έγινε η πρώτη παρατήρηση αύξησης καρκίνου του πνεύμονα μεταξύ εργατών βιομηχανίας μετάλλου στην Γερμανία. Τώρα πια είναι γνωστό καρκινογόνο για τον άνθρωπο, αν και ακόμα και σήμερα διεκπεραιώνονται συνεχώς μελέτες που αφορούν τη τοξικότητά του και τους τρόπους με τους οποίους είναι δυνατόν να εκτεθεί σε αυτό ο ανθρώπινος οργανισμός, όπως μέσω της αναπνοής, της τροφής, του πόσιμου νερού, ακόμα και μέσω του δέρματος. Η Διεθνής Εταιρεία για την έρευνα του καρκίνου από τη δεκαετία του '90 έχει αποφανθεί πως το εξασθενές χρώμιο ενοχοποιείται για εμφάνιση καρκίνων του πνεύμονα, των ιγμορείων, των οστών αλλά και λευχαιμίες, μεταξύ εργαζομένων σχετικών βιομηχανιών. Σήμερα ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) και η Διεύθυνση Υγείας και Ανθρωπίνων Υπηρεσιών των ΗΠΑ (DHHS) κατατάσσουν το Cr⁶⁺ ως καρκινογόνο (Μπέρκη, 2010).

Κάποιοι μελετητές ισχυρίζονται πως ο πιο βλαβερός τρόπος επαφής με το εξασθενές χρώμιο για τον άνθρωπο είναι μόνο μέσω της αναπνοής υποστηρίζοντας πως όταν το εξασθενές χρώμιο εισέλθει στον οργανισμό με κατάποση ή μέσω δερματικής επαφής τότε αυτό μετατρέπεται σε τρισθενές, μορφή του χρωμίου που δεν είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο σε μικρές δόσεις. Ένας τέτοιος ισχυρισμός όμως θεωρείται ήδη απαρχαιωμένος αφού πειραματικές έρευνες έδειξαν πως μετά τη χορήγηση νερού σε πειραματόζωα υψηλών περιεκτικοτήτων σε χρώμιο εμφάνισαν καρκίνο. Άλλωστε, η αυξανόμενη ποσότητα επιστημονικών δεδομένων ενισχύουν τη θεώρηση ότι το εξασθενές χρώμιο αποδεικνύεται καρκινογόνο και μέσω της κατάποσης (EEX, 2007).

Ιδιότητες

Το χρώμιο είναι μέταλλο, φυσικά σχηματιζόμενο. Είναι άοσμο, σκληρό, χρώματος γκρι και εμφανίζει όλους τους αριθμούς οξειδωσης από το (-II) έως (+VI). Οι κυριότερες οξειδωτικές καταστάσεις του χρωμίου είναι τρεις και είναι οι ακόλουθες (EEX, 2007):

- Το στοιχειακό χρώμιο Cr(0): αργυρότεφρο μέταλλο με υψηλό σημείο τήξης άοσμο, μη πτητικό που δεν συναντάται στη φύση.
- Το τρισθενές χρώμιο Cr(III): η πλέον σταθερή μορφή του χρωμίου, συναντάται στη φύση ως ορυκτό και αποτελεί βασικό διαιτητικό συστατικό για την ενεργοποίηση της ινσουλίνης.

- Το εξασθενές χρώμιο Cr(VI): είναι η δεύτερη πιο σταθερή μορφή του χρωμίου, συναντάται σπάνια στη φύση και είναι κυρίως αποτέλεσμα ανθρωπογενούς δραστηριότητας.

Γενικά, αδιάλυτες στο νερό είναι οι ενώσεις του τρισθενούς χρωμίου ενώ αυτές του εξασθενούς είναι συνήθως πολύ διαλυτές στο νερό. Σημειώνεται πως παρουσία αναγωγικών παραγόντων το εξασθενές χρώμιο ανάγεται προς τρισθενές, στη φύση όμως όπου οι παράγοντες αυτοί βρίσκονται σε πολύ περιορισμένη ποσότητα, οι ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου θεωρούνται σταθερές.

Χρήσεις του χρωμίου

Οι ενώσεις του χρωμίου χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη χημική βιομηχανία, στη μεταλλουργία, στην παραγωγή πυρίμαχων υλικών κ.α. ενώ ειδικότερα οι ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου χρησιμοποιούνται στις παρακάτω βιομηχανίες (EEX, 2007):

- Στη βιομηχανία χρωμάτων και χρωστικών
- Στη βιομηχανία επιμεταλλώσεων
- Στη βυρσοδεψία (κατά κύριο λόγο ενώσεις του Cr(III))
- Στη παρασκευή βερνικιών για τη συντήρηση
- Στη κατασκευή υλικών ηλεκτροσυγκόλλησης
- Στη παρασκευή αντισκωριακών των μεταλλικών επιφανειών
- Στη κλωστοϋφαντουργεία
- Στο μελάνι των φωτοτυπικών μηχανημάτων
- Στις μαγνητοταινίες
- Ως καταλύτης
- Στη τσιμεντοβιομηχανία

Το χρώμιο στο περιβάλλον

Το χρώμιο συναντάται στο περιβάλλον βασικά ως ενώσεις τρισθενούς ή εξασθενούς χρωμίου. Και οι δύο μορφές μπορεί να ανιχνευτούν στον αέρα (π.χ. καύση γαιανθράκων, χρήση χημικών), στο έδαφος ή στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Η έντονη τοξικότητα του εξασθενούς χρωμίου επιβάλει απαραίτητως την επεξεργασία των αποβλήτων που το περιέχει πριν από οποιαδήποτε διάθεσή τους στον περιβάλλον έτσι ώστε να μετατραπεί το χρώμιο σε αδιάλυτη μορφή. Προς την κατεύθυνση αυτή είναι

συνηθισμένη η χρήση υδροξειδίου του ασβεστίου ή νατρίου ως αναγωγικά, στη συνέχεια το τρισθενές πια χρώμιο καθιζάνει ως ένυδρο οξείδιο του τρισθενούς χρωμίου (EEX, 2007).

Φυτοτοξικότητα του Cr(VI)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί πρόκειται για μία ένωση πολύ τοξική και καρκινογόνος. Ακόμα και για τα φυτά ενώσεις τέτοιες είναι ιδιαίτερες τοξικές και είναι δυνατόν να παρουσιαστούν δυσμενείς επιδράσεις και στα φυτά με αποτέλεσμα την κακή ανάπτυξη διαφόρων τμημάτων του φυτού όπως τα φύλλα του ή οι ρίζες τους και αναπόφευκτα είναι δυνατόν να παρουσιαστεί και μειωμένη παραγωγικότητα όταν πρόκειται για καλλιέργειες. Όλο αυτό συμβαίνει λόγω της υψηλής διαλυτότητας του εξασθενούς χρωμίου στο νερό με αποτέλεσμα την απορρόφησή του από τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος (EEX, 2007).

Φυτά που έχουν την ικανότητα της βιοσυσσώρευσης και χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αποκατάστασης με την ονομασία φυτοαποκατάσταση, είναι σπάνια και κατά πλειοψηφία εξωτικά οπότε και δεν αναπτύσσονται εύκολα στο κλίμα που επικρατεί στη περιοχή. Πάνω στις διάφορες μεθόδους αποκατάστασης θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Η περιεκτικότητα του χρωμίου στα λαχανικά και όσπρια αποτελεί μείζον θέμα και έρευνες έδειξαν πως εξαρτάται από την περιεκτικότητά του στο χώμα. Παρακάτω παρατίθεται σχετικός πίνακας.

Πίνακας 2 Περιεκτικότητες σε χρώμιο των Λαχανικών/Όσπριων ανάλογα με τις αντίστοιχες του χώματος

	Χαμηλή περιεκτικότητα χώματος: 20-180 mg/kg	Υψηλή περιεκτικότητα χώματος: 190-10,680 mg/kg
Περιεκτικότητα Λαχανικών	0,02-1,01 mg/kg	0,04-9,6 mg/kg
Περιεκτικότητα /Όσπρια	0,14-0,99 mg/kg	0,14 mg/kg

(Πηγή: EEX, 2007)

Συμπερασματικά, το εξασθενές χρώμιο θεωρείται επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία εν αντιθέση με τις ενώσεις του τρισθενούς που σε μικρές ποσότητες αποτελεί μέρος των κανονικών διεργασιών του ανθρώπινου οργανισμού.

2.4.3. Πρόσφατη νομοθεσία για το Cr(VI)

Οι πιέσεις που ασκούνται από τους κατοίκους, κυρίως, απέδωσαν, έτσι αυστηρότερο νομικό πλαίσιο για τις εκπομπές αποβλήτων και την περιβαλλοντική ποιότητα της περιοχής θεσπίστηκε το 2010. Πρόκειται για κοινή Υπουργική Απόφαση με τίτλο «Καθορισμός Ποιοτικών Περιβαλλοντικών Προτύπων στον ποταμό Ασωπό και Οριακών Τιμών Εκπομπών υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ασωπού». Τα ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα που θεσπίστηκαν είναι σε συμφωνία με τα αντίστοιχα Ευρωπαϊκά και αφορούν τον Ασωπό, τους παραπόταμους και τα ρέματα που βρίσκονται στην ίδια υδρογεωλογική λεκάνη. Συγκεκριμένα, στο εν λόγω ΦΕΚ (ΦΕΚ 749/31/5/2010) αναφέρεται ότι «η επιχειρηματική δραστηριότητα, ως οικονομική ελευθερία, πρέπει να ασκείται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην προσβάλλει την προσωπικότητα των άλλων, στην οποία περιλαμβάνεται και η αξίωση να ζει και να κινείται σε καθαρό και υγιές περιβάλλον».

Ακόμα στο ίδιο έγγραφο αναγνωρίζεται πως η ρύπανση της περιοχής και πολύ περισσότερο η ανίχνευση του χρωμίου και του τοξικού εξασθενούς χρωμίου οφείλεται στη βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής. Επίσης μέσα στο πλαίσιο της βελτίωσης των επιφανειακών υδάτων της περιοχής, όχι όμως για χρήσεις όπως κολύμβηση ή πόση, τέθηκε όριο ετήσιας μέσης συγκέντρωσης ίσο με 3μg/l, ενώ ως όριο μέγιστης επιτρεπόμενης συγκέντρωσης τα 11 μg/l. Τα όρια αυτά δεν αναφέρονται στα υπόγεια ύδατα αλλά μόνο στα επιφανειακά.

Όσον αφορά την προστασία του ανθρώπου το εξασθενές χρώμιο χαρακτηρίστηκε αποδεδειγμένα καρκινογόνο. Επίσης αν και γίνεται η παραδοχή ότι δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία ακόμα, για το αν η κατάποση του εξασθενούς χρωμίου από τον άνθρωπο είναι το ίδιο επικίνδυνη με την εισπνοή του αποφασίστηκε η θέσπιση αυστηρότερων οριακών τιμών συγκέντρωσής του στο νερό. Έτσι, αναγνωρίστηκε πως οι τελευταίες επιστημονικές μελέτες, ακόμα και ως ενδείξεις, είναι αρκετές για να τεθούν πιο αυστηρά πρότυπα αφού μέχρι πρότινος οι οριακές τιμές αναφέρονταν γενικά στο ολικό χρώμιο και ήταν 50 μg/l ή 50 ppb (parts per billion). Τα τελευταία ίσχυαν ως όρια και για το πόσιμο νερό μέχρι πρότινος.

Τέλος, τα αποτελέσματα αναλύσεων νερού από γεωτρήσεις επέδειξαν συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου μεγαλύτερες των 24 μg/l, ενώ οι υψηλότερες ήταν μεγαλύτερες των 50 μg/l, πράγμα που θεωρήθηκε ιδιαίτερος ανησυχητικό. Το αποτέλεσμα, λοιπόν, είναι η παραδοχή της Υπουργικής Απόφασης πως η ανίχνευση εξασθενούς χρωμίου στο πόσιμο νερό σε μέγιστη συγκέντρωση 2 μg/l δεν το καθιστά επικίνδυνο για τον άνθρωπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

3.1. Κύριες προσεγγίσεις αποκατάστασης υπόγειων νερών

Η αποκατάσταση της ρύπανσης υπόγειων νερών μπορεί να αποδειχθεί περίπλοκη, ακριβή και χρονοβόρος διαδικασία και είναι δυνατόν να περιλαμβάνει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό. Η συνδυαστική εφαρμογή των τεχνικών συνηθίζεται έτσι ώστε να αυξηθεί η απόδοση της διαδικασίας συνολικά. Τέτοιες διαδικασίες μπορεί να περιλαμβάνουν την άντληση των νερών και την επεξεργασία τους στην επιφάνεια του εδάφους, την επί τόπου επεξεργασία τους με την προσθήκη αναγωγικών ή τον περιορισμό της ρυπασμένης κηλίδας μέσα στον υδροφόρο και άλλες.

Πίνακας 3 Προτίμηση μεθόδου αποκατάστασης για τα έτη 2005-2008

Remedy Types and Technologies	2005	2006	2007	2008	Total
Groundwater Pump and Treat	22	20	23	18	83
In Situ Treatment of Groundwater	24	31	28	18	101
Bioremediation	13	20	17	12	62
Chemical Treatment	9	11	14	4	38
Air Sparging	5	2	1	2	10
Permeable Reactive Barrier	3	3	1	1	8
Phytoremediation	0	2	1	0	3
Fracturing	1	0	0	0	1
Multi-Phase Extraction	1	0	0	0	1
Unspecified Physical/Chemical Treatment	0	0	1	0	1
MNA of Groundwater	34	35	30	17	116
Groundwater Containment (Vertical Engineered Barrier)	4	4	6	1	15
Other Groundwater	73	90	88	61	312
Institutional Controls	63	79	77	52	271
Monitoring	62	80	58	39	239
Alternative Water Supply [*]	6	6	5	9	26
Engineering Control [†]	0	1	3	0	4
Total of Remedy Types	157	180	175	115	627

* Decision documents may be counted in more than one category.

* Decision documents include RODs, ROD amendments, and select ESDs.

* Alternative water supply includes alternative drinking water, well-head treatment, installation of new water supply wells, increasing capacity of existing water treatment plant, and treat at use location.

† Engineering control includes sewer/sump abandonment and the use of trees for hydraulic gradient control.

USEPA 2009c.

(Πηγή: USEPA, 2010)

Πίνακας 4 Ποσοστά μεθόδων προσέγγισης για την αποκατάσταση υπόγειων νερών

Total Number of Decision Documents with Groundwater Other Remedies = 311	
Remedy Type	Number of Decision Documents
Engineering Controls	4 (1%)
Groundwater Monitoring	239 (77%)
Institutional Controls	271 (87%)
Water Supply Remedies	26 (8%)

• Decision documents may be counted in more than one category.
 • Decision documents include RODs, ROD amendments, and select ESDs.
 USEPA 2009c.

(Πηγή: USEPA, 2010)

3.1.1. Εξυγίανση υπογείων νερών από εξασθενές χρώμιο

Λόγω της ευρείας βιομηχανικής χρήσης του, το χρώμιο ως ρύπος στη συνήθη τρισθενή μορφή του, Cr(III), βρίσκεται συχνά σε υπόγεια νερά μαζί με άλλους ρυπαντές, συνήθως βαρέα μέταλλα, αλλά και συνθετικές ενώσεις. Ο συνδυασμός αυτός είναι δυνατόν να κάνει την απορρύπανση δυσκολότερη. Συνήθως, όπου υπάρχει ως ρύπος το χρώμιο υπάρχουν επίσης και ενώσεις εξασθενούς χρωμίου, ουσίας ιδιαίτερος τοξικής και καρκινογόνου. Πολλές ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου Cr(VI) είναι πολύ ευδιάλυτες και υπάρχουν σε διαλύματα όπως το χρωμικό οξύ (hydrochromate, H₂CrO₄). Ο στόχος των προγραμμάτων εξυγίανσης είναι να αναχθεί το διαλυμένο και μη σταθερό εξασθενές χρώμιο Cr(VI) προς το λιγότερο τοξικό και περισσότερο σταθερό τρισθενές χρώμιο (Cr(III)), το οποίο σχηματίζει ελάχιστα διαλυτά άλατα, που επικάθονται ως ιζήματα. Η επιτυχής απομάκρυνση του Cr(VI) εξαρτάται από το σχηματισμό και τη σταθερότητα των αλάτων του τρισθενούς χρωμίου Cr(III).

Οι διαθέσιμες επιτόπιες (in situ) τεχνολογίες ή προσεγγίσεις επεξεργασίας χρησιμοποιούν χημική αναγωγή και σταθεροποίηση (fixation) για εξυγίανση (π.χ. γεωχημική στερέωση, ενεργά διαπερατά διαφράγματα (PRBs) και δραστικές (ενεργές) ζώνες). Άλλοι τύποι επιτόπιων (in situ) προσεγγίσεων που είναι υπό ανάπτυξη περιλαμβάνουν: ηλεκτροκινητική (electrokinetics), βιολογικές διαδικασίες, φυτοθεραπεία, αλλά και φυσική εξασθένηση της ρύπανσης. Επίσης, υπάρχουν μέθοδοι υπέργειας (ex situ) επεξεργασίας.

Επιτόπια επεξεργασία

Η επί τόπου αποκατάσταση των ρυπασμένων από χρώμιο υπόγειων νερών περιλαμβάνει τη χημική και βιολογική αναγωγή του εξασθενούς χρωμίου σε τρισθενές χρώμιο, που είναι λιγότερο τοξικό, λιγότερο διαλυτό και χαρακτηρίζεται από μικρότερη κινητικότητα. Συμπληρωματικά, το τρισθενές χρώμιο μπορεί μετά να καθιζάνει ως υδροξείδιο, συνήθως ως στερεό διάλυμα μαζί με τρισθενές υδροξείδιο σιδήρου, και με αυτόν τον τρόπο είναι αποτελεσματικά ουδετεροποιημένο. Αυτή η μείωση είναι συνήθως μόνιμη λύση, και αυτό γιατί το τρισθενές χρώμιο δεν μπορεί εύκολα να οξειδωθεί εκ νέου σε εξασθενές χρώμιο υπό συνθήκες που συμβαίνουν στα φυσικά περιβάλλοντα όπου υπάρχουν υπόγεια νερά.

Το τρισθενές χρώμιο οξειδώνεται και ενώνεται με το υδροξείδιο φυσικά σε μικρές συγκεντρώσεις μέσα σε ιζήματα και στερεά, σε πολλούς υδροφόρους ορίζοντες. Το οξείδιο του μαγγανίου είναι μια ένωση που συχνά μπορεί να οξειδώσει εκ νέου το τρισθενές χρώμιο, αν και το εξασθενές χρώμιο δύσκολα εντοπίζεται σε αυτούς τους υδροφόρους ορίζοντες.

Υπέργεια Επεξεργασία (ex situ)

Το πόσιμο νερό μπορεί να καθαριστεί μετά την άντλησή του στην επιφάνεια (pump and treat). Το τρισθενές και εξασθενές χρώμιο μπορούν να αφαιρεθούν με την εφαρμογή μεθόδων όπως η αντίστροφη όσμωση ή ανταλλαγή ιόντων ρητίνης (ιοντοεναλλαγή). Η μέθοδος της ανταλλαγής ιόντων θα πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή, καθώς η παρουσία άλλων μετάλλων στο νερό μπορεί να αλληλεπιδράσουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και να μειώσει την αποτελεσματικότητά της. Επίσης, η απομάκρυνση του εξασθενούς χρωμίου έχει δοκιμαστεί με επιτυχία με διάφορα μέσα όπως με βιοαπορροφητικά φύκια (biosorbent) και με βακτήρια ακόμα και με ανάμιξη του ρυπασμένου νερού με ιπτάμενη τέφρα από τη ΔΕΗ (Moraki, 2010). Η τελευταία έχει δοκιμαστεί μόνο σε πειραματικό επίπεδο. Αυτές όμως είναι μέθοδοι που δεν συνηθίζονται πολύ στη πράξη σε αντίθεση με αυτή της αντίστροφης όσμωσης η οποία θα αναλυθεί περισσότερο στη συνέχεια.

3.1.2. Επιλογή συστήματος και σχεδίου

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου αποκατάστασης μολυσμένου υδροφόρου αποτελεί ένα δύσκολο κομμάτι της διαδικασίας, καθώς μια λανθασμένη απόφαση στοιχίζει χρόνο και χρήμα. Προκειμένου να γίνει, λοιπόν, μια τέτοια επιλογή είναι απαραίτητο να συλλεχθούν

πληροφορίες που σχετίζονται με τα υπόγεια ύδατα, τους γεωλογικούς σχηματισμούς που τα φιλοξενούν, την ακριβή τοποθεσία, το βάθος, τους ρυπαντές και πολλά άλλα. Κύριο και πρωταρχικό μέλημα είναι ο προσδιορισμός της πηγής ρύπανσης και ο προσδιορισμός του είδους του ρύπου. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να καταστήσουν την εφαρμογή κάποιων μεθόδων απαγορευτική (για παράδειγμα: όταν οι πηγές ρύπανσης είναι πολλές και η ρύπανση διάχυτη, η εφαρμογή των ενεργών διαπερατών φραγμάτων είναι συνήθως απαγορευτική). Ταυτόχρονα, η διασφάλιση αποφυγής οποιασδήποτε περαιτέρω διαρροής ρυπαντικού φορτίου είναι πολύ σημαντική. Ακόμα, η γεωλογική και υδρογεωλογική έρευνα του υδροφόρου ορίζοντα είναι πολύ σημαντικές προκειμένου να προσδιορισθούν χαρακτηριστικά όπως:

- το είδος των γεωλογικών σχηματισμών και οι ιδιότητές τους,
- η κίνηση των υπόγειων νερών,
- το βάθος
- η προσβασιμότητα των νερών (αν είναι εύκολη ή όχι η προσέγγιση τους).

Επίσης, σε περιπτώσεις μελέτης τρόπου απορρύπανσης συνηθίζεται η αξιολόγηση της εξάπλωσης της ρύπανσης και η μελλοντική πρόβλεψη αυτής της εξάπλωσης μέσω αριθμητικών μοντέλων. Η όσο το δυνατόν καλύτερη γνώση των προαναφερόμενων μπορεί να καταστήσει την επιλογή της μεθόδου και εν τέλει την αποκατάσταση επιτυχή.

3.2. Περιγραφή Τεχνολογιών Αποκατάστασης Υπόγειων Υδάτων

3.2.1. Εισαγωγή

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι βασικές προσεγγίσεις αποκατάστασης υπόγειων νερών και οι τεχνολογίες ολοκληρωμένων προγραμμάτων αποκατάστασής τους σύμφωνα με την εμπειρία της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (US EPA).

Εισαγωγικά κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί πως οι τιμές που αναφέρονται παρακάτω σε μία προσπάθεια εκτίμησης του κόστους εφαρμογής των τεχνολογιών αποκατάστασης μετατράπηκαν έτσι ώστε να αναφέρονται σε τιμές που αντιστοιχούν στα δεδομένα της

Ελλάδας για το έτος 2010. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για τον σκοπό αυτό βασίζεται στην αναγωγή τιμών από μία χώρα σε άλλη με βάση την αγοραστική δύναμη και συγκεκριμένα το δείκτη αγοραστικής δύναμης (Power Purchasing Parity Index - PPPI). Έτσι κατά τη μεταφορά τιμών από μία χώρα σε άλλη (διακρατική μεταφορά) και από ένα έτος σε άλλο (διαχρονική μεταφορά) λαμβάνονται υπόψη οι μέσες ισοτιμικές αναλογίες, καθώς και η διαφορά στους Δείκτες Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ). Οπότε ο υπολογισμός έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (Laoudi, Tentes & Damigos, 2011):

$$V_1^1 = V_0^0 \times \frac{PPPI_0^1}{PPPI_0^0} \times \frac{CPI_1^1}{CPI_0^1},$$

Όπου V_j^i : η αξία της χώρας i τον χρόνο j , $PPPI_j^i$: ο δείκτης αγοραστικής δύναμης της χώρας i τον χρόνο j , CPI_j^i : ο δείκτης τιμών καταναλωτή (ΔΚΤ) της χώρας i τον χρόνο j , ο δείκτης 0 αναφέρεται στην αρχική χώρα ή στον αρχικό χρόνο ενώ ο δείκτης 1 αναφέρεται στη τελική χώρα ή τελικό χρόνο.

Ο δείκτης τιμών καταναλωτή της Ελλάδας λαμβάνεται από την ΕΛΣΤΑΤ, ενώ οι δείκτες αγοραστικής δύναμης για διάφορες χώρες και έτη βάσης λαμβάνονται από διεθνείς οργανισμούς.

3.2.2. Άντληση και Επεξεργασία – Pump & Treat (P&T)

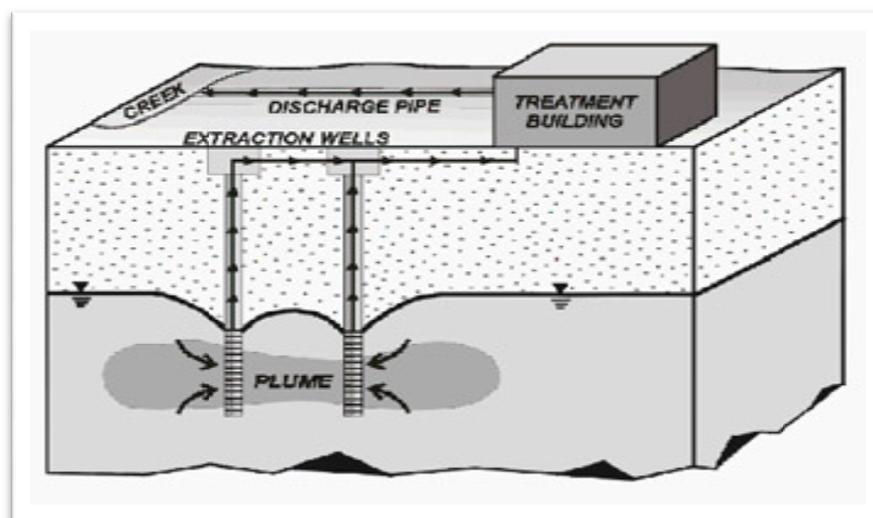
Όπως με τα περισσότερα ρυπασμένα υπόγεια νερά, η αποκατάσταση της ρύπανσης από εξασθενές χρώμιο γίνεται με ένα σύστημα άντλησης και επεξεργασίας, το οποίο είναι γνωστό ως «pump and treat». Τα υπόγεια νερά αντλούνται από τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω ενός δικτύου γεωτρήσεων και μεταφέρονται σε μία επιφανειακή εγκατάσταση επεξεργασίας, όπου το χρώμιο αφαιρείται μέσω της ανταλλαγής ανιόντων ή με τη βοήθεια του φαινομένου της καθίζησης με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας.

Σε πολλές περιπτώσεις η ρύπανση από χρώμιο είναι ιδανικός υποψήφιος για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής και αυτό γιατί η πιο κοινή χημική του μορφή είναι το εξασθενές χρώμιο που είναι ιδιαίτερος διαλυτός και όχι ιδιαίτερα απορροφήσιμο από τις επιφάνειες των ιζημάτων. Όμως, εξαιτίας πολύ γνωστών περιορισμών συνυφασμένων με τις μεθόδους που απαιτούν άντληση των υπόγειων νερών, όπως το μεγάλο χρονικό διάστημα εφαρμογής της μεθόδου, η εκθετικά μειούμενη ανταπόκριση στην επεξεργασία και του περιορισμένου

ποσοστού διάχυσης της άντλησης, η εφαρμογή της μεθόδου «pump-and-treat» δεν είναι πάντα ικανοποιητική. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας. Πολλές από αυτές γίνονται επί τόπου και επεξεργάζονται τα επιμολυσμένα υπόγεια ύδατα στο επίπεδο του υδροφόρου στρώματος και καταργούν το μέρος της μεθόδου κατά το οποίο αντλείται το νερό.

Περιγραφή Τεχνολογίας

Ο σχεδιασμός του συστήματος άντλησης και της μεθόδου επεξεργασίας πάνω από την επιφάνεια του εδάφους εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του πεδίου και το είδος του ρύπου ή των ρύπων προς επεξεργασία. Είναι σύνηθες φαινόμενο κατά την εφαρμογή της μεθόδου να αντλείται νερό από περισσότερες από μία γεωτρήσεις ταυτόχρονα. Ο συνολικός όγκος νερού, ο οποίος αντλείται προς επεξεργασία εξαρτάται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου και τις φυσικοχημικές αντιδράσεις των ρύπων.



Εικόνα 3 Σχεδιάγραμμα εφαρμογής της μεθόδου (Πηγή: www.gigliobonifiche.it)

Ένα βασικό μέρος οποιουδήποτε συστήματος αφαίρεσης υπόγειου ύδατος είναι το πρόγραμμα παρακολούθησης της επεξεργασίας έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αποδοτικότητα της μεθόδου. Η παρακολούθηση του συστήματος επιτρέπει στον χειριστή να πραγματοποιεί διάφορες προσαρμογές ως απάντηση στις αλλαγές των συνθηκών που επικρατούν υπογείως.

Η πιο σημαντική απόφαση για ένα σύστημα άντλησης και επεξεργασίας είναι ο καθορισμός της κατάλληλης χρονικής στιγμής που θα κλείσει το σύστημα. Για τους ρύπους

που οι επιτρεπτές συγκεντρώσεις έχουν καθοριστεί από τη US EPA, για το πόσιμο νερό, η χρονική στιγμή που πρέπει να διακοπεί η αποκατάσταση, είναι εκείνη που οι συγκεντρώσεις των ρύπων αυτών φτάνουν στα καθορισμένα επίπεδα. Γενικά, οι απαιτήσεις για την ολοκλήρωση της εργασίας βασίζονται στον στόχο αποκατάστασης που έχει καθοριστεί στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας, σε συνδυασμό με τα ειδικά στοιχεία του εκάστοτε πεδίου που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης.

Εφαρμογή – Τεχνικές

Οι τεχνικές επεξεργασίας που μπορεί να εφαρμοστούν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους είναι οι παρακάτω:

- ιζηματοποίηση των μετάλλων
- αναγωγή- κροκίδωση- διήθηση
- ανταλλαγή ιόντων
- αντίστροφη όσμωση
- ηλεκτροχημική καθίζηση (ιζηματοποίηση)
- χημική επεξεργασία

Ωριμότητα μεθόδου

Η μέθοδος έχει δοκιμαστεί και χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές περιπτώσεις και υπάρχουν επαρκή στοιχεία και εμπειρία πάνω στη συγκεκριμένη αυτή.

Περιορισμοί

- Η άντληση και επεξεργασία αποτελεί μία αρκετά αργή διαδικασία έως ότου επιτευχθούν οι στόχοι, και σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μη επίτευξης του τελικού στόχου.
- Στις ΗΠΑ έχει παρατηρηθεί πως για ομοιογενείς υδροφόρους ορίζοντες απαιτείται, συνήθως, άντληση δεκαπλάσιας ποσότητας από τον αρχικό προς επεξεργασία όγκο. Σε άλλες περιπτώσεις, η διαδικασία αποκατάστασης λιγότερο ομοιογενών υδροφόρων

οριζόντων, σε επίπεδα ποιότητας νερού κατάλληλου για ύδρευση, διήρκεσε πολύ παραπάνω από δέκα χρόνια.

- Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται αποτελεσματική όταν χρησιμοποιείται ως υδραυλική θωράκιση του υδροφόρου ορίζοντα (άντληση σε ανάντη σημείο της υπόγειας ροής).
- Πρόκειται συνήθως για μία μέθοδο με υψηλά λειτουργικά κόστη λόγω της κατανάλωσης ενέργειας για την άντληση του νερού στην επιφάνεια

Πλεονεκτήματα

- Πρόκειται για μία ευρέως δοκιμασμένη μέθοδο.
- Θεωρείται αποτελεσματική όταν χρησιμοποιείται ως υδραυλική θωράκιση του υδροφόρου ορίζοντα. Για παράδειγμα, εφόσον τοποθετηθούν σωστά τα σημεία άντλησης και τροφοδότησης, μπορεί να προστατευτούν μη ρυπασμένες ποσότητες νερών.
- Αν οι ρύποι είναι βιοαποικοδομήσιμοι υπό αερόβιες συνθήκες, η μέθοδος μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην οξυγόνωση των νερών και, κατά συνέπεια, στην επιτάχυνση της διαδικασίας.

Επίδοση, Κόστος, Παραδείγματα εφαρμογής

Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου άντλησης και επεξεργασίας για τα ρυπασμένα με χρώμιο υπόγεια ύδατα και σε μερικές περιπτώσεις και με άλλους ρύπους επίσης, μαζί με τα κόστη τους περιγράφονται παρακάτω.

1. Στην τοποθεσία «Mid-South Wood Products Superfund Site-Mena Arkansas», τη χρονική περίοδο 9/1989-12/1997 πραγματοποιήθηκε η εξυγίανση δύο υδροφόρων επιτόπου με τη μέθοδο της άντλησης και επεξεργασίας. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία ήταν: ελαιοδιαχωρισμός, διήθηση, απορρόφηση CO₂, και αποφόρτιση ενώ οι ρύποι προς αφαίρεση ήταν ημι-πηκτικές ενώσεις, αλογονωμένα, βαρέα μέταλλα (χρώμιο), μη μεταλλικά στοιχεία (αρσενικό). Η ποσότητα ύδατος που υπέστη επεξεργασία ήταν 100.6 εκατ. γαλόνια. Τα δεδομένα κόστους, σε τιμές 2010, για αυτή την προσπάθεια εξυγίανσης είναι τα ακόλουθα:

ολικό κόστος 1.173.254,27 ευρώ, (κόστος επένδυσης 450.202,22 ευρώ και κόστος λειτουργίας και συντήρησης 723.052,05 ευρώ) ήτοι 12,58 ευρώ ανά 1.000 γαλόνια. Τελικά, τα αποτελέσματα ήταν ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων μειώθηκαν κάτω από το στόχο που είχε τεθεί αρχικά στις 29 από τις 35 γεωτρήσεις.

2. Στην τοποθεσία «King of Prussia Technical Corporation S.S.- Winslow Township, New Jersey» τη χρονική περίοδο 4/1995-12/1997 πραγματοποιήθηκε η εξυγίανση δύο υδροφόρων (ο πρώτος βρέθηκε στα 15-35 ft και ο δεύτερος 50-250 ft με υδραυλική αγωγιμότητα 55-100 ft/day) με τη μέθοδο της άντλησης και επεξεργασίας. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό του νερού ήταν η ηλεκτροχημική για τα βαρέα μέταλλα και η αέρια απογύμνωση με τη χρήση κοκκώδους ενεργού άνθρακα για τα οργανικά. Οι ρύποι προς αφαίρεση ήταν χλωριωμένοι διαλύτες, BTEX, βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου και χρωμίου. Χρησιμοποιήθηκαν 11 γεωτρήσεις με ρυθμό άντλησης 175 gpm για τον ανώτερο υδροφόρο και 25 gpm για τον κατώτερο υδροφόρο. Αντλήθηκαν 151,5 εκατ. γαλόνια νερού μέχρι τον Δεκέμβρη 1997, ενώ τα δεδομένα κόστους είχαν ως εξής: ολικό κόστος 2.724.628,09 ευρώ, (1.965.099,31 ευρώ επένδυσης και 759.528,78 ευρώ κόστος λειτουργίας και συντήρησης) ή αλλιώς 18,38 ευρώ ανά 1.000 γαλόνια. Οι αρχικοί στόχοι για τα μέταλλα και τα πτητικά επιτεύχθηκαν για το βαθύτερο υδροφόρο και για το ρηχότερο.
3. Στην τοποθεσία «United Chrome Superfund Site – Corvallis Oregon» τη χρονική περίοδο 8/1988-3/1997 πραγματοποιήθηκε η εξυγίανση δύο υδροφορέων (ο υδροφόρος βρέθηκε στα 0-10 ft με υδραυλική αγωγιμότητα 0,5-60 ft/day) με τη μέθοδο της άντλησης και επεξεργασίας (με αναγωγή και ιζηματοποίηση). Οι ρύποι προς αφαίρεση ήταν: βαρέα μέταλλα (χρώμιο, 3,619 mg/L για τον ρηχό υδροφόρο & 30mg/L για το βαθύτερο υδροφόρο). Ο ρυθμός άντλησης για τις δέκα γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 4-11,5 gpm για τον πιο ρηχό υδροφόρο και 1,5- 15,8 gpm για τον βαθύτερο, ενώ η ποσότητα του ύδατος που αντλήθηκε ήταν 62 εκατ. γαλόνια νερό μέχρι το Μάρτιο 1997. Τα δεδομένα κόστους ήταν: ολικό κόστος 4.486.696,17 ευρώ (3.221.795,32 ευρώ επένδυση και 1.264.900,85 ευρώ λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης) ή αλλιώς 135,46 ευρώ ανά 1.000 γαλόνια. Οι στόχοι για το χρώμιο επιτεύχθηκαν για τις 11 από τις 23 γεωτρήσεις για το ρηχό υδροφόρο και για τις 6 από τις 7 για το βαθύτερο υδροφόρο.
4. Στην τοποθεσία «Odessa Chromium I Superfund Site – Odessa, Texas» τη χρονική περίοδο 11/1993- 1/1998 πραγματοποιήθηκε η εξυγίανση ενός υδροφόρου σε βάθος

30-45 ft (υδραυλική αγωγιμότητα 1,7- 5,1 ft/day) με τη μέθοδο της άντλησης και επεξεργασίας (η μέθοδος καθαρισμού ήταν η χημική επεξεργασία). Οι ρύποι που αρχικά βρέθηκαν ήταν: βαρέα μέταλλα (χρώμιο με μεγαλύτερη συγκέντρωση στα 72mg/L). Ο μέσος ρυθμός άντλησης από τις 6 γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 60 gpm ενώ η ποσότητα του ύδατος που αντλήθηκε συνολικά ήταν 125 εκατ. γαλόνια μέχρι τον Ιανουάριο του 1998. Το ολικό κόστος υπολογίστηκε στα 2.661.781,82 ευρώ (κόστος επένδυσης 1.896.835,04 ευρώ και 706.702,10 ευρώ για συντήρηση και λειτουργία) ή αλλιώς 28,12 ευρώ ανά 1.000 γαλόνια. Οι συγκεντρώσεις χρωμίου μειώθηκαν, αλλά όχι κάτω από τα όρια που τέθηκαν αρχικά (0,10 mg/L).

5. Στην τοποθεσία «Odessa Chromium II Superfund Site South Plume, OU2-Odessa, Ector County, Texas» τη χρονική περίοδο 12/1993-12/1997 πραγματοποιήθηκε η εξυγίανση δύο υδροφόρων σε βάθος 30-45 ft (υδραυλική αγωγιμότητα 1,6-5,1 ft/day). Ο κυριότερος ρύπος που βρέθηκε στα νερά ήταν χρώμιο με συγκέντρωση μεγαλύτερη από 50 mg/L. Χρησιμοποιήθηκαν 10 γεωτρήσεις και η ποσότητα του ύδατος που αντλήθηκε και υπέστη επεξεργασία έφτασε συνολικά τα 121 εκατ. γαλόνια. Το ολικό κόστος υπολογίστηκε στα 1.864.959,55 ευρώ (κόστος επένδυσης 1.322.905,63 ευρώ και κόστος λειτουργίας και συντήρησης 542.053,92 ευρώ). Οι συγκεντρώσεις χρωμίου μειώθηκαν στα όρια που είχαν τεθεί από τους στόχους της εξυγίανσης (0,1 mg/L).

3.2.3 Γεωχημική Αποκατάσταση

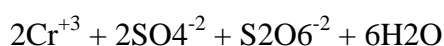
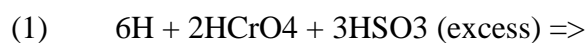
Περιγραφή Τεχνολογίας

Ο σκοπός της τεχνολογίας αυτής είναι να μετατρέψει το εξασθενές χρώμιο στα υπόγεια ύδατα και στα ρυπασμένα εδάφη στην πιο θερμοδυναμικά σταθερή μορφή του, το τρισθενές χρώμιο. Το τρισθενές χρώμιο σταθεροποιείται γεωχημικά στη στερεή φάση του υδροφορέα. Η τεχνολογία βασίζεται στην ιδέα της αφαίρεσης του ρυπασμένου υπόγειου νερού, στην επεξεργασία του στην επιφάνεια του εδάφους, και ακολούθως στην επανένταξη του επεξεργασμένου πια νερού στον υδροφόρο. Το επεξεργασμένο νερό που επανατοποθετείται στον υδροφόρο είναι εμπλουτισμένο με μειωτικά (αναγωγικά) ώστε να μετατρέψουν το εξασθενές χρώμιο, που μπορεί να έχει παραμείνει στο ενδιάμεσο νερό, σε τρισθενές. Αυτή η

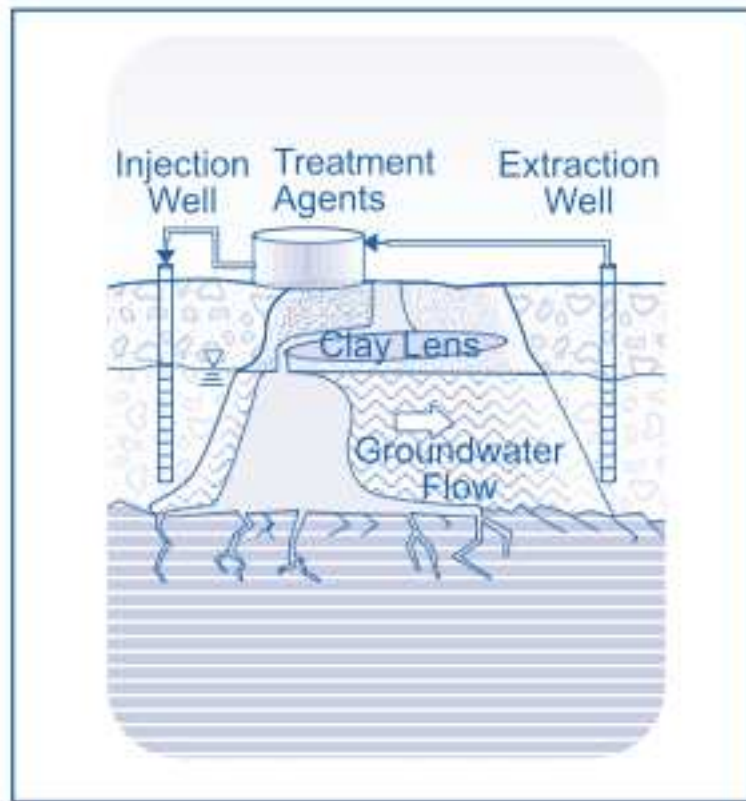
τεχνική, εφόσον είναι πετυχημένη, εξασφαλίζει συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου χαμηλότερες από την τυπική μέθοδο της “άντλησης και επεξεργασίας” (EPA, 2000).

Η επιτυχία της επιτόπου γεωχημικής αποκατάστασης για την επεξεργασία ρυπασμένου υπόγειου νερού εξαρτάται από την ικανότητα του εφαρμοζόμενου αναγωγικού να αναγάγει το εξασθενές χρώμιο των υπόγειων υδάτων σε τρισθενές, και την ικανότητα του τρισθενούς πια χρωμίου να σταθεροποιηθεί μέσα στη στερεή φάση του υδροφόρου. Οι ολικές συγκεντρώσεις του χρωμίου μέσα στο σύστημα του υδροφόρου δεν μειώνονται, αλλά καθιζάνει με πιο σταθεροποιημένη μορφή ως τρισθενές χρώμιο. Έρευνες υποδεικνύουν πως το διθειώδες νάτριο μπορεί να ενεργήσει ως αναγωγικό μέσο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Γενικά, τα συστατικά του θείου όπως τα σουλφίδια και τα θειώδη ανάγουν το εξασθενές χρώμιο. Για τα σουλφίδια που ανάγουν το Cr(VI), ο Fe(II) πρέπει να είναι παρόν ώστε να δράσει ως καταλύτης. Συμπερασματικά, στα συστήματα των υδροφόρων που υπάρχουν σουλφίδια σιδήρου, η αναγωγή του Cr(VI) μπορεί να συμβεί. Εντούτοις, επειδή ο ρυθμός της αναγωγής είναι αργός, η διαδικασία αυτή μπορεί να μην είναι αποτελεσματική στην επεξεργασία μεγάλου όγκου νερού (EPA, 2000).

Στη διαδικασία αυτή λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις (EPA, 2000):



Το διθειώδες $\text{S}_2\text{O}_6^{-2}$ που σχηματίστηκε με την παραπάνω αντίδραση μπορεί να ανάγει το οξειδωμένο Fe(III) σε Fe(II), εφόσον υπάρχει. Αυτή η κατάσταση βοηθάει στην περίπτωση που χρειαστεί περαιτέρω μείωση του Cr(VI) με Fe(II).



Εικόνα 4 In situ σύστημα χημικής αποκατάστασης για χλωριωμένους διαλύτες (DNAPLs) (Πηγή: USEPA, 2004)

Τεχνικές- Εφαρμογή

Η χρήση αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνει την αφαίρεση του υπόγειου νερού από τον υδροφόρο, την επεξεργασία του πάνω από την επιφάνεια του εδάφους με χημικό αντιδραστήριο και την επανένταξή του κατά μήκος της περιμέτρου της κηλίδας. Καθώς το επεξεργασμένο νερό κατευθύνεται προς το κέντρο της κηλίδας, το εξασθενές χρώμιο μετατρέπεται σε τρισθενές, δηλαδή σε μία λιγότερο ευδιάλυτη μορφή. Εναλλακτικά, η έγχυση μπορεί να συμβεί στις περιοχές με υψηλή συγκέντρωση έτσι ώστε επιτευχθεί πιο γρήγορη αποκατάσταση. Η επιτόπου γεωχημική επεξεργασία μπορεί να εφαρμοστεί στην πηγή ή στη ζώνη του πυρήνα ή στην ενεργό ζώνη που οι συγκεντρώσεις είναι οι υψηλότερες ή στη διαλυτή ή στη ουδέτερη ζώνη της ρυπασμένης κηλίδας (EPA, 2000).

Η τεχνολογία αυτή έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για επί τόπου αναγωγή και αποκατάσταση του εξασθενούς χρωμίου που είτε βρίσκεται μέσα στο διαλυμένο νερό είτε στην ακόρεστη ζώνη.

Πλεονεκτήματα

- Επιτυγχάνεται καλύτερος υδραυλικός έλεγχος με την έγχυση του επεξεργασμένου νερού γύρω από το ρυπασμένο πλούμιο, σχηματίζοντας μία “μεθόριο” από επεξεργασμένο νερό.
- Όταν επανατοποθετείται στον υδροφόρο το επεξεργασμένο νερό, με χαμηλό ρυθμό άντλησης η υδραυλική κλίση του υπόγειου νερού μπορεί να διατηρηθεί, έτσι ώστε να αποφεύγεται η απόθεση του τρισθενούς χρωμίου στα τμήματα του υδροφορέα που αδειάζουν από το νερό (εντός του κώνου άντλησης)
- Μπορεί να επιτευχθεί επιτόπου μείωση του εξασθενούς χρωμίου που μένει ως κατάλοιπο σε κενά από νερό τμήματα του υδροφορέα.
- Αποφεύγεται η παραγωγή λάσπης προς απόρριψη από την επεξεργασία καθώς το προϊόν της αντίδρασης αναγωγής καθιζάνει επιτόπου.

Περιορισμοί

- Τα συστατικά του υδροφόρου πρέπει να έχουν την ικανότητα να σταθεροποιήσουν και να δεσμεύσουν οριστικά το τρισθενές χρώμιο.
- Το αναγόμενο τρισθενές χρώμιο δυνητικά μπορεί να οξειδωθεί ξανά σε εξασθενές χρώμιο υπό συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. παρουσία διοξειδίου του μαγγανίου MnO_2) αν και κάτι τέτοιο δεν έχει παρατηρηθεί στο πεδίο.
- Οι ετερογένειες των υλικών του υδροφόρου (διαστρωμάτωση, κτλ.) δυσχεραίνουν περισσότερο το σχεδιασμό και την επεξεργασία.
- Η στερεή φάση του υδροφόρου πρέπει να είναι πορώδης και να επιτρέπουν τη ροή του νερού (π.χ. όχι άργιλοι).
- Τα αναγωγικά μέσα με βάση το θειικό σίδηρο μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την καθίζηση του σιδήρου και την έμφραξη του πορώδους του υδροφόρου.

Επίδοση, κόστος – Παραδείγματα εφαρμογής

1. Ποταμός Delaware River

Ένα παράδειγμα εξυγίανσης με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι σε πεδίο παλαιού εργοστασίου χαρτιού στον ποταμό Delaware των ΗΠΑ. Οι συγκεντρώσεις χρωμίου στον υδροφόρο έφταναν τα 85 mg/L. Μετά από επεξεργασία με διαδικασίες μείωσης και κατακρήμνισης χρησιμοποιώντας θειικό σίδηρο τα επίπεδα εξασθενούς χρωμίου, σε γενικές γραμμές, μειώθηκαν σε 50 mg/L (δηλαδή στο όριο του ολικού χρωμίου για το πόσιμο νερό στην ΕΕ) και τα επίπεδα αυτά διατηρήθηκαν για περισσότερο από τέσσερα χρόνια. Αυτή ήταν η πρώτη εμπορική εφαρμογή της διαδικασίας αναγωγής με σίδηρο του εξασθενούς χρωμίου στο έδαφος και σε υπόγεια ύδατα. Το ολικό κόστος υπολογίζεται στα 242.686,16 ευρώ (EPA, 2000).

2. Ιντιάνα (Indiana)

Στην Indiana των ΗΠΑ, σε τοποθεσία που προηγουμένως λειτουργούσε εγκατάσταση επεξεργασίας ξύλου, υπήρχε πρόβλημα ρύπανσης σε περιοχές του εδάφους και στα υπόγεια νερά με εξασθενές χρώμιο, ως υποπροϊόν διαλύματος CCA (chromate copper arsenate) που χρησιμοποιούταν στη διαδικασία επεξεργασίας του ξύλου. Τέσσερις κηλίδες από το πεδίο απειλούσαν γεωτρήσεις πόσιμου νερού, τα οποία τροφοδοτούσαν παρακείμενο οικισμό. Η εξυγίανση αυτού του πεδίου θα μπορούσε να διαρκέσει περισσότερο από δέκα χρόνια με άλλη μέθοδο, με κόστος μερικών εκατομμυρίων ευρώ. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γεωχημικής αποκατάστασης. Μετά από τρεις μήνες λειτουργίας της μεθόδου οι τιμές των συγκεντρώσεων του εξασθενούς χρωμίου μειώθηκαν από 0,80 mg/L σε λιγότερο από 0,01 mg/L. Σημειώνεται πως σε μερικές περιοχές του πεδίου οι συγκεντρώσεις ήταν ήδη χαμηλές. Οι εργασίες της αποκατάστασης ξεκίνησαν το 1995 και ολοκληρώθηκαν το 1997 με ολικό κόστος περίπου 580.531,55 ευρώ.

3.2.4. Διαπερατά Ενεργά Φράγματα

Περιγραφή Τεχνολογίας

Τα διαπερατά ενεργά φράγματα, (ΔΕΦ) είναι ουσιαστικά υπόγειοι τοίχοι τοποθετούμενοι έτσι ώστε να ανακόπτουν τη ροή του ρυπασμένου νερού. Ο τοίχος είναι πληρωμένος με ενεργό υλικό, το οποίο αντιδρά με το ρύπο και προσφέρει τη δυνατότητα της επιτόπου (in situ) επεξεργασίας. Είναι φράγματα που μπορούν να τοποθετηθούν ως μόνιμα ή σχεδόν μόνιμα ή με αποσπώμενα μέρη κατά μήκος της ροής της ρυπασμένης κηλίδας και ενεργούν ως ένα διάφραγμα επεξεργασίας. Η φυσική υδραυλική κλίση μεταφέρει τους ρύπους διαμέσου του στρατηγικά τοποθετημένου ενεργού μέσου. Όταν το ρυπασμένο νερό περάσει μέσα από την

ενεργή ζώνη του φράγματος, οι ρύποι μεταπίπτουν είτε σε ανενεργή-ουδέτερη είτε σε χημικά τροποποιημένη πιο επιθυμητή κατάσταση. Στη περίπτωση του χρωμίου, ο ρύπος ακινητοποιείται με καταβύθιση πάνω σε ενεργό μέσο ή στα στερεά του υδροφόρου (EPA, 2000).

Τα ενεργά διαπερατά φράγματα εγκαθίστανται περιμετρικά της ζώνης της πηγής του ρύπου, τέμνοντας κάθετα τη ροή των υπόγειων υδάτων. Μπορούν να εγκατασταθούν με εκσκαφή αν ο υδροφόρος είναι ρηχός. Μπορούν επίσης να εγκατασταθούν με έμπιξη κάθετου αγωγού. Η κατακόρυφη εισχώρηση, οι τυπικές κάθετες γεωτρήσεις δηλαδή, είναι η λιγότερο ακριβή επιλογή. Όμως, τα οριζόντια διατρήματα που είναι ικανά να δημιουργήσουν μία ομοιόμορφη ενεργή ζώνη και μπορούν να εγκατασταθούν κάτω από τις ήδη υπάρχουσες δομές, είναι κατασκευές με πιο δύσκολη και ακριβή εγκατάσταση.

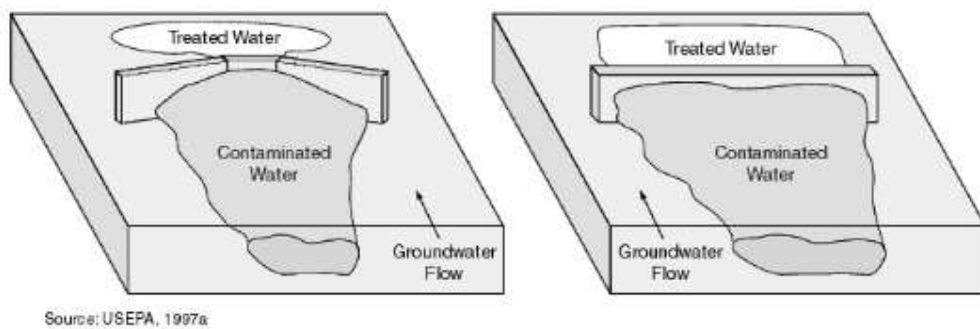
Τα περισσότερα θέματα υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στα ενεργά διαπερατά φράγματα, είναι κυρίως συνδεδεμένα με την εγκατάσταση του τοίχους και ποικίλουν ανάλογα με τη μέθοδο της εγκατάστασης που θα χρησιμοποιηθεί. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση του τοίχους επεξεργασίας, όπως και για τη συντήρηση, φαίνεται να είναι λιγότερες από αυτές άλλων τεχνολογιών, καθώς η τοποθέτηση όλων των υλικών της επεξεργασίας γίνεται υπόγεια, με ελάχιστη διατάραξη της επιφάνειας.

Τα περισσότερα ενεργά φράγματα χρησιμοποιούν ενεργό σίδηρο για να απομακρύνουν το εξασθενές χρώμιο. Το εξασθενές χρώμιο δείχνει να μειώνεται από το δραστικό σίδηρο Fe(0). Ο Fe(0) δίνει το απαραίτητο ηλεκτρόνιο για να μειωθεί το χρώμιο και οξειδώνεται σε Fe(II) και Fe(III). Όταν ο σίδηρος είναι παρών, το τρισθενές χρώμιο καθιζάνει ως στερεό μίγμα υδροξειδίων χρωμίου και σιδήρου, που έχει χαμηλότερη ισορροπία δράσης διαλύματος από την καθαρή στερεή φάση υδροξειδίου. Οπότε, η τοξικότητα και η κινητικότητα του χρωμίου μειώνονται σημαντικά (EPA, 2000).

Εφαρμογή- Τεχνικές

Δύο βασικά σχέδια έχουν χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί στο πεδίο της τεχνολογίας των ενεργών φραγμάτων: (1) “χοάνης-και-πύλης” (funnel-to-gate) και (2) συνεχής ενεργή τάφρος. Βασικά, το σύστημα “χοάνης-και-πύλης” είναι ένα αδιαπερατό χωνί, το οποίο τυπικά ορίζεται από πασσαλοσανίδες ή τοίχο τσιμεντοκονίας και τοποθετείται με τρόπο τέτοιο ώστε να εγκλωβίσει και να κατευθύνει τη ροή του ρυπασμένου ύδατος σε πύλη ή πύλες που περιέχουν το ενεργό μέσο. Επειδή κατευθύνεται ένα μεγάλο ποσό νερού δια μέσου μιας κατά πολύ

μικρότερης περιοχής του υδροφόρου, οι ταχύτητες του υπόγειου ύδατος διαμέσου του φράγματος θα είναι πιο υψηλές από αυτές που δημιουργούνται από τη φυσική υδραυλική κλίση. Με δεδομένο ότι η κατασκευή τοίχου απαιτεί εκσκαφές, η τοποθέτηση πασσαλοσανίδων μηδενίζει την ανάγκη αφαίρεσης και μεταφοράς υλικών και μειώνει το κόστος διάθεσής τους. Ανάλογα με το ποιος τύπος τοίχου τσιμεντοκονίας χρησιμοποιείται, μέρος από το χώμα εκσκαφής μπορεί να ενσωματώνεται στον τοίχο. Σε κάθε περίπτωση όμως το κόστος διάθεσης του υλικού εκσκαφής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για αυτούς τους τύπους κώνου. Λόγω της ανομοιογένειας του υδροφόρου και στην ελαχιστοποίηση της αναχωμάτωσης των υπόγειων υδάτων, ένας χαμηλού ρυθμού “χοάνης-και-πύλης” προτιμάται. Για να διασφαλιστεί μια ολοκληρωμένη δέσμευση της κηλίδας, το συνολικό μήκος του συστήματος “χοάνης-και-πύλης” είναι συνήθως 1,2 με 2,5 φορές το εύρος της κηλίδας της ρύπανσης (EPA, 2000).



Εικόνα 5 Αριστερά: αναπαράσταση τεχνικής χοάνης&πύλης. Δεξιά: αναπαράσταση της συνεχούς ενεργούς τάφρου (Πηγή: EPA, 2000)

Η διαμόρφωση του “χοάνης-και-πύλης” επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση των ενεργών υλικών, όμως η εμπειρία στη πράξη υποδεικνύει ότι η μέθοδος “χοάνης-και-πύλης” είναι πιο ευαίσθητη έναντι στην υδραυλική αβεβαιότητα που δημιουργεί η εναλλακτική πορεία της ροής γύρω από το σύστημα.

Από την άλλη πλευρά, η “συνεχής ενεργός τάφρος” είναι απλά ένα χαράκωμα που έχει εκσκαφτεί και ταυτοχρόνως γεμίζει με ενεργό μέσο, επιτρέποντας στο νερό να περνάει μέσα από το φράγμα κάτω από τη φυσική κλίση. Η “συνεχής ενεργός τάφρος” διανέμει τα ενεργά υλικά δια μέσου ολόκληρης της κοίτης του ρυπασμένου υπόγειου ύδατος. Εναλλακτικά, αυτή η διαμόρφωση είναι η λιγότερο ευαίσθητη έναντι στις επιπλοκές της ροής στη πράξη και δεν αλλάζει σημαντικά το φυσική κοίτη της ροής των υπόγειων υδάτων.

Ωριμότητα Μεθόδου

Τα ενεργά διαπερατά φράγματα δεν χρησιμοποιούνται ακόμα για να εξυγιάνουν άμεσα ρυπασμένες περιοχές, αλλά μόνο για να ανακόπτουν και να επεξεργάζονται ρυπασμένες κηλίδες.

Πλεονεκτήματα

- Πραγματική επί τόπου αποκατάσταση της ρύπανσης.
- Παθητική αποκατάσταση
- Μη απαραίτητη συνεχόμενη εισερχόμενη ενέργεια
- Περιορισμένη ανάγκη συντήρησης μετά την εγκατάσταση
- Μειωμένο κόστος χειρισμού και κόστος συντήρησης σε σύγκριση με αυτό της μεθόδου “άντλησης και επεξεργασίας”.
- Δεν απαιτούνται επιφανειακά οικοδομήματα εκτός από τα πηγάδια παρακολούθησης που τοποθετούνται αμέσως μετά το πέρας της βασικής εγκατάστασης.
- Μπορεί να αποκαταστήσει τη κηλίδα ακόμα και όταν η πηγή της ρύπανσης δεν μπορεί να εντοπιστεί.
- Δεν απαιτείται αλλαγή της συνολικής ροής (τύπος, μοτίβο ροής) των υπόγειων υδάτων όσο στην περίπτωση της εντατικής άντλησης.
- Οι ρύποι δεν οδηγούνται στην επιφάνεια
- Δεν υπάρχουν απαιτήσεις για διάθεση ή κόστος διάθεσης επεξεργασμένων αποβλήτων, παρά μόνο (προαιρετικά) για διάθεση υλικών εκσκαφής.
- Αποφυγή ανάμειξης του ρυπασμένου με του μη ρυπασμένου νερού που προκαλεί η άντληση.
- Οι αφροί πλήρωσης έχουν την δυνατότητα να έχουν ένα “αυτοματοποιημένο” σύστημα.
- Οι αφροί πλήρωσης έχουν πολύ υψηλή ειδική επιφανειακή περιοχή.
- Οι αφροί πλήρωσης έχουν προσαρμόσιμο μέγεθος πόρου και υψηλή διαπερατότητα/πορώδες, που ελέγχει την ικανότητα της μεταφοράς μαζών.

- Οι αφροί πλήρωσης έχουν ελεγχόμενη σύνθεση.
- Οι αφροί πλήρωσης επιτρέπουν την πραγματοποίηση μιας πιθανής ανάκτησης, αν αυτό είναι απαραίτητο, και αν ανακτηθούν η έντασή τους μπορεί εύκολα να μειωθεί ώστε να μπορεί να διατεθεί με ασφάλεια ως απόβλητο.

Περιορισμοί

- Προς το παρόν είναι μέθοδος απαγορευμένη για ρηχές κηλίδες, περίπου 50 ft ή λιγότερο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Η ρυπασμένη κηλίδα θα πρέπει να είναι πολύ καλά χαρακτηρισμένη και οριοθετημένη.
- Περιορισμένα μακροπρόθεσμα πειραματικά δεδομένα από πειράματα είναι διαθέσιμα και η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων στην πράξη βρίσκετε σε μάλλον πρώιμο στάδιο.
- Περιορισμένα δεδομένα από εφαρμογή της μεθόδου στη πράξη όσον αφορά την μακροβιότητα της δραστηριότητας του τοίχου ή για τη πιθανή απώλεια της διαπερατότητας εξαιτίας της απόθεσης ιζημάτων.
- Προς το παρόν δεν υπάρχουν επιτόπου πλήρεις εφαρμογές αποκατάστασης ρυπασμένων περιοχών.
- Υπάρχει κίνδυνος για έμφραξη των πόρων από τα προϊόντα της διαδικασίας αντίδρασης, ειδικά σε συστήματα που έχουν ως βάση την εισχώρηση υλικών με τη τεχνολογία των ενέσεων.
- Δεν μπορεί να γίνει υδραυλικός έλεγχος του υδροφόρου στον βαθμό που πιο ενεργές μέθοδοι όπως η “άντληση και επεξεργασία” επιτρέπουν.

Επίδοση, Κόστος, Παραδείγματα Εφαρμογής

Το κόστος των αδιαπερατών τμημάτων της αποκατάστασης με τη μέθοδο αυτή μπορεί να εκτιμηθεί μέσω περιπτώσεων που έχουν να κάνουν με τα φράγματα πολφού ή αυτή της μεθόδου εγκατάστασης πασσαλοσανίδων. Αν το ενεργό μέσο είναι ο σίδηρος, το κόστος του μέσου μπορεί να εκτιμηθεί βάση της πυκνότητας περίπου των 2.83 kg/m^3 , με κόστος περίπου 338,64 ευρώ με 435,40 ευρώ/tn. Μία αναθεώρηση που έγινε το 1996, πρότεινε το κόστος

εγκατάστασης να είναι μεταξύ \$2.500 και \$8.000 ανά μονάδα δυναμικότητας της ικανότητας αποκατάστασης μετρημένης σε L/min, δηλαδή μεταξύ 2.418,88 ευρώ και 7.740,42, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί το βασικό κόστος αυτών των συστημάτων. Από τη στιγμή που η μηδενικού σθένους επεξεργασία φράγματος κατοχυρώθηκε ως τεχνολογία με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ένα τέλος αδείας, που τυπικά ανέρχεται στο 15% του βασικού κόστους (υλικά και οικοδομικό κόστος), μπορεί επίσης να απαιτηθεί.

Το πρωταρχικό πλεονέκτημα των ΔΕΦ ως προσέγγιση για την αποκατάσταση υπόγειων υδάτων είναι το μειωμένο κόστος χειρισμού και συντήρησης. Εκτός από την ανάγκη παρακολούθησης, ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος χειρισμού και συντήρησης είναι η ανάγκη για περιοδική αφαίρεση των ιζημάτων από το ενεργό μέσο ή τη περιοδική αντικατάσταση ή αναζωογόνηση των τμημάτων που έχουν επηρεαστεί από τον διαπερατό τοίχο. Το κόστος χειρισμού και συντήρησης ανάμεσα στα 1,26 ευρώ και 5,03 ευρώ ανά 1.000 L του επεξεργασμένου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο εκτίμησης για το κόστος χειρισμού και συντήρησης της μεθόδου αυτής.

Μία ανάλυση κόστους που διεξήχθη από τους Manz και Quinn (1997) (EPA, 2000) ισχυρίζεται ότι η χρήση των ΔΕΦ μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μία σημαντική εξοικονόμηση κόστους έναντι ενός συγκρίσιμου συστήματος αφαίρεσης και επεξεργασίας υπόγειων νερών. Στη μελέτη δύο περιοχών με πρόβλημα ρύπανσης του υδροφόρου, ισχυρίζονται ότι ενώ τα βασικά κόστη ποικίλουν, το ετήσιο κόστος χειρισμού και συντήρησης ενός τοίχου επεξεργασίας εκτιμάται μεταξύ 19.351 ευρώ και 26.240 ευρώ, με 53.215 ευρώ και 96.755 ευρώ για ένα σύστημα “άντλησης και επεξεργασίας”. Όμως, η πραγματική εκτίμηση συνολικού κόστους εξαρτάται από το αρχικό βασικό κόστος για την εγκατάσταση του φράγματος και για την εκτιμώμενη μακροβιότητα του ενεργού φράγματος.

Το κόστος χειρισμού των ΔΕΦ, εξαρτάται από τη κλίμακα της αναλυτικής παρακολούθησης που απαιτείται, μπορεί να κυμαίνεται ανάμεσα στο 70% με 90% λιγότερο από αυτό της μεθόδου “άντλησης και επεξεργασίας” ετησίως. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν χρειάζεται συνήθως να γίνει πρόβλεψη για την διάθεση τυχόν αποβλήτων από το επεξεργασμένο νερό (όταν αποφεύγονται οι εκσκαφές) και το σύστημα είναι μηχανικά παθητικό.

Υπάρχουν ήδη διάφορες περιοχές που για την αποκατάσταση της ρύπανσης από το χρώμιο, έχουν εγκαταστήσει συστήματα της τεχνολογίας ΔΕΦ. Μερικές από αυτές αναφέρονται ακολούθως (EPA, 2000).

ΔΕΦ - Elizabeth City, North Carolina, ΗΠΑ

Στη περίπτωση αυτή η ρύπανση του εδάφους και του υδροφόρου με Cr(VI) ήταν αποτέλεσμα της λειτουργίας εργοστασίου επεξεργασίας μετάλλων της αμερικάνικης ακτοφυλακής. Η λειτουργία του εργοστασίου συνεχιζόταν επί 30 συναπτά έτη και η συγκέντρωση του Cr(VI) κοντά στη πηγή ήταν >28mg/L. Η συγκέντρωση της κηλίδας ρυπασμένου ύδατος με τον ρύπο Cr(VI) ήταν >5mg/L και TCE 10mg/L.

Χαρακτηριστικά ΔΕΦ

- πληρωτικό υλικό: ρινίσματα σιδήρου
- διαστάσεις: 46m x 5,5m x 0,6m
- τύπος: συνεχής ενεργός τάφος
- χρόνος τοποθέτησης: 8 ώρες

Απομάκρυνση Ρύπων:

- Πλήρης απομάκρυνση του χρωμίου στα πρώτα 15 cm του τοίχου
- Συγκέντρωση χρωμίου κατάντη του τοίχου <0,05 mg/L (που συνάδει με τον αρχικό στόχο)
- Απομάκρυνση χλωριωμένων υδρογονανθράκων >95%
- Συνεχής λειτουργία για περισσότερο από 6 έτη χωρίς να παρατηρηθεί καμία μείωση στην αποτελεσματικότητα

Κόστος ΔΕΦ

- Κόστος διερεύνησης προβλήματος, σχεδιασμού, υλικών και κατασκευής: 953.039,30 ευρώ
- Κόστος σιδήρου και τοποθέτησής του: 338.643,41 ευρώ
- Λειτουργικό κόστος: 30.961,68 ευρώ/ έτος
- Λειτουργικό κόστος ΑΕ: 193.510,52 ευρώ/ έτος

Hanford, Washington, ΗΠΑ

Στην περιοχή αυτή υπήρχε σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και εδαφών, από την εποχή κιόλας Β' παγκοσμίου πολέμου. Οι ρύποι που παρατηρήθηκαν στη περιοχή είναι Cr(VI), νιτρικό, ραδιενεργά και οργανικοί διαλύτες. Η ρυπασμένη περιοχή είχε έκταση 180 από τα 586 τετραγωνικά μίλια.

Κατά το έτος 1998, κατασκευάστηκε μία ενεργός ζώνη μήκους 50 m και πλάτους 20 m, σε απόσταση 170 m από τον ποταμό Columbia, και με βάθος υδροφόρου ορίζοντα 30 m. Έγινε εισαγωγή 100 m³ διαλύματος (0,08 M) υποθειώδους νατρίου σε κάθε μία από τις 5 γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν. Ο μέσος χρόνος αντίδρασης ήταν 35 ώρες. Η δειγματοληψία και η ανάλυση του υπόγειου ύδατος έδειξε συγκεντρώσεις Cr(VI) κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά προτάθηκε κατασκευή EZ μήκους 350m.

3.2.5. Ενεργές Ζώνες

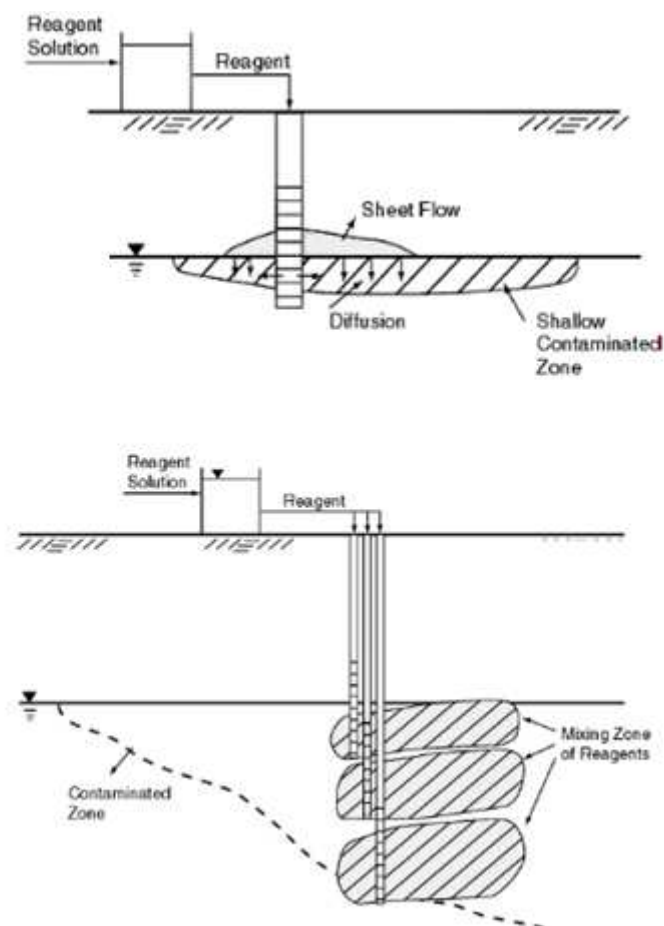
Περιγραφή Τεχνολογίας

Οι επιτόπου ενεργές ζώνες (Εικ.6) βασίζονται στη δημιουργία μίας ζώνης στο υπέδαφος όπου οι ρύποι που έχουν μεταναστεύσει ανακόπτονται και μόνιμα αδρανοποιούνται ή υποβαθμίζονται σε μη επικίνδυνα προϊόντα. Οι ενεργές ζώνες επιτρέπουν στα υπόγεια ύδατα να συνεχίζουν να ρέουν φυσικά. Τα υπόγεια νερά δεν εξαναγκάζονται να ρέουν σε σχήμα χωνιού ή να κατευθύνονται προς τα υπόγεια φράγματα ούτε το νερό αντλείται, καθώς το σύστημα αυτό είναι παθητικό (EPA, 2000).

Οι ενεργές ζώνες μπορούν να εγκατασταθούν με κλίση ελαφρώς προς τα κάτω προς την περιοχή της πηγής ώστε να αποφευχθεί η μαζική ροή των ρύπων και μεταναστεύσουν μακριά από τη πηγή. Αυτές οι ζώνες επεξεργασίας συνήθως εγκαθίστανται επιτόπου με την εισχώρηση αντιδραστηρίων και διαλύματα σε προκαθορισμένες θέσεις μέσα στη ρυπασμένη κηλίδα του υδροφόρου, έτσι ώστε να επιτρέπεται η αντίδρασή τους με τους ρύπους. Όμως δεν χρησιμοποιείται ένα φυσικό “φράγμα” στο υπέδαφος, όπως με την τεχνολογία των ΔΕΦ. Τυπικά, οι ενεργές ζώνες δεν επεξεργάζονται άμεσα τη πηγή των ρύπων, αλλά ανακόπτουν και επεξεργάζονται τη ρυπασμένη κηλίδα.

Η επεξεργασία της ζώνης κοντά στη πηγή θα μπορούσε να είναι εφαρμόσιμη σε μερικές περιπτώσεις όπως όταν έχουμε να κάνουμε με ημι-περατούς σχηματισμούς. Συγκρίνοντας αυτή τη τεχνολογία με αυτή των ΔΕΦ, οι ενεργές ζώνες παρέχουν διάφορα πλεονεκτήματα:

- δεν χρειάζεται εκσκαφή του ρυπασμένου εδάφους,
- η εγκατάσταση και ο χειρισμός είναι σχετικά φθηνότερες διαδικασίες σε αυτή τη περίπτωση,
- η ανθρώπινη έκθεση σε επικίνδυνα υλικά ελαχιστοποιείται,
- μπορεί να επιτευχθεί αποκατάσταση σε μεγαλύτερα βάθη



Εικόνα 6 Αναπαράσταση ενεργών ζωνών, πάνω για ρηχούς υδροφόρους, κάτω για βαθύτερους (Πηγή: EPA, 2000)

Εφαρμογή- Τεχνικές

Επιτυχή εφαρμογή της τεχνολογίας των ενεργών ζωνών απαιτεί την ικανότητα χειρισμού δύο τύπων επιτόπου αντιδράσεων: (1) ανάμεσα στα χορηγούμενα αντιδραστήρια ή διαλύματα και

το περιβάλλον του υπεδάφους, έτσι ώστε να ελέγχεται η γεωχημεία και να βελτιώνεται η απαιτούμενη αντίδραση, και (2) ανάμεσα στα αντιδραστήρια, υποστρώματα ή μικρόβια και στους ρύπους που έχουν μεταναστεύσει, έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η αποκατάσταση.

Αυτές οι αντιδράσεις θα διαφέρουν μεταξύ των διάφορων περιοχών με αντίστοιχο πρόβλημα, ακόμα και μέσα στις εν λόγω περιοχές, οπότε η μεγαλύτερη πρόκληση είναι να σχεδιαστεί μία ενεργή ζώνη που συστηματικά θα ελέγχει και θα χειρίζεται τις αντιδράσεις αυτές υπό ποικίλες φυσικές συνθήκες που μπορεί ο μηχανικός να συναντήσει σε τέτοιες περιοχές. Η δημιουργία μιας ειδικά φτιαγμένης ενεργής ζώνης σε έναν υδροφόρο απαιτεί κατάλληλη ανάμιξη των χορηγούμενων αντιδραστηρίων ομοιόμορφα μέσα στην ενεργή ζώνη. Επιπλέον, τέτοια αντιδραστήρια πρέπει να προκαλούν μερικές παρενέργειες και να είναι σχετικά μη τοξικά και στις δύο μορφές: αρχική και επεξεργασμένη. Η δημιουργία ειδικά φτιαγμένων ενεργών ζωνών για συγκεκριμένες περιοχές οδηγεί στην επίτευξη τέτοιων αντιδράσεων αλλά επηρεάζουν πολύ το κόστος σε σχέση με την επεξεργασία ολόκληρης της ρυπασμένης κηλίδας.

Αντιδραστήρια για Cr(VI) (Βουδριάς, 2011):

- Μολάσσα
- Σιρόπι Αραβοσίτου με υψηλή φρουκτόζη
- Κολλοειδής σίδηρος
- Υποθειώδες Νάτριο ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)
- Παράγωγα γαλακτικού οξέος
- Πολυθειούχο ασβέστιο
- Συνδυασμοί

Οι μηχανισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν την τοξικότητα των διαλυμένων βαρέων μετάλλων στον υδροφόρο είναι μετατροπή και αδρανοποίηση. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορεί να προκαλούνται από αβιοτικούς και βιοτικούς τρόπους επεξεργασίας. Οι αβιοτικοί τρόποι επεξεργασίας συμπεριλαμβάνουν μείωση, οξείδωση, ιζηματοποίηση-κατακρήμνιση και ρόφηση. Οι βιοτικές διαδικασίες συμπεριλαμβάνουν μείωση, οξείδωση, κατακρήμνιση, βιορρόφηση, βιοσυσσώρευση, οργανο-μεταλλική συμπλοκοποίηση και φυτοαποκατάσταση.

Οι επιτόπου ενεργές ζώνες μπορούν να σχεδιαστούν σαν κουρτίνες από σημεία χορήγησης ή από πολλές και διαφορετικές κουρτίνες που ανακόπτουν τη κινούμενη ρυπασμένη κηλίδα σε διάφορες τοποθεσίες.

Η σύνθεση του ενδιάμεσου νερού αποτελεί τον πιο ευαίσθητο δείκτη για τον τύπο και την έκταση των αντιδράσεων που θα συμβούν ανάμεσα στους ρύπους και στα χορηγημένα αντιδραστήρια στον υδροφόρο. Η εξασφάλιση των βασικών συνθηκών των κατάλληλων βιογεωχημικών παραμέτρων είναι το βασικό συστατικό για να σχεδιαστεί σωστά μία επιτόπου ενεργή ζώνη. Αυτή η εκτίμηση θα δώσει μία σαφή ένδειξη των συνθηκών που επικρατούν και για τα απαραίτητα βήματα που θα πρέπει να γίνουν ώστε να βελτιωθεί ο περιβάλλοντας χώρος και να επιτευχθεί οι ζητούμενες αντιδράσεις. Άλλες βιογεωχημικές παράμετροι που μπορεί να είναι απαραίτητα γνωστές είναι:

- το διαλυμένο οξυγόνο
- η θερμοκρασία
- όλα τα διαλυμένα και ανεσταλμένα στερεά
- Ανιόντα (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , S^-)
- Fe (ολικό και διαλυμένο)
- οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων αερίων (CO_2 , N_2 , CH_4 , κ.α.)
- μικροβιακό πληθυσμό
- οποιαδήποτε άλλη οργανική και ανόργανη παράμετρο που θα έχουν πιθανή ανάμιξη με τις ζητούμενες αντιδράσεις.

Ο σχεδιασμός του συστήματος χορήγησης των αντιδραστηρίων προϋποθέτει μία εκτεταμένη εκτίμηση και κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής και ειδικά αυτές που επικρατούν μέσα στην κηλίδα και στην ακριβή τοποθεσία της ενεργού ζώνης. Η παράδοση, η διανομή και η σωστή ανάμιξη των χορηγούμενων αντιδραστηρίων αποτελούν το κλειδί για την επιτυχία της αποκατάστασης μέσα στον υδροφόρο και στην ενεργή ζώνη. Η τοποθεσία και το διάστημα μεταξύ των πηγαδιών (γεωτρήσεων) χορήγησης και η τοποθέτηση των ταινιών μέσα στο κάθε πηγάδι (σύμπλεγμα) αποτελούν κρίσιμες παράμετροι για να επιτευχθεί μία ολοκληρωμένη αποκατάσταση.

Διάφοροι τύποι ενεργών ζωνών χρησιμοποιούνται και μελετώνται όπως οι ενεργές ζώνες που βασίζονται στο αντιδραστήριο, διάφοροι τύποι βιοτικών ενεργών ζωνών, ενεργές ζώνες που βασίζονται στη μολάσσα ως αντιδραστήριο (EPA, 2000).

Πλεονεκτήματα

- Σε αντίθεση με τα ΔΕΦ, δεν απαιτείται εκσκαφή ρυπασμένου εδάφους.
- Ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε επικίνδυνες ουσίες.
- Η εξυγίανση σε μεγάλα βάθη είναι δυνατή (13m για ΔΕΦ, 25m για ενεργές ζώνες).
- Η κατασκευή και λειτουργία είναι φθηνότερη από αυτή των ΔΕΦ, αλλά και άλλων μεθόδων αποκατάστασης.
- Είναι διακριτική μέθοδος αφού μετά την εγκατάσταση οι διαδικασίες στη περιοχή μπορούν να συνεχιστούν χωρίς εμπόδια.
- Δεν απαιτείται διάθεση νερού ή αποβλήτων.
- Αδρανοποίηση των ρύπων αφού η μέθοδος εκμεταλλεύεται την ικανότητα των στερεών και ιζημάτων για να απορροφήσει, φιλτράρει και να διατηρήσει του ρύπους.
- Όλες οι βιοτικές διαδικασίες της μεθόδου χρησιμοποιούν ζάχαρη και βακτήρια φυσικά για τον υδροφόρο οπότε και είναι εξολοκλήρου φυσική μέθοδος

Περιορισμοί

- Απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την αποκατάσταση
- Τα βαρέα μέταλλα δεν αφαιρούνται ουσιαστικά από τον υδροφόρο, παρά μετατρέπονται σε αδρανή κατάσταση ώστε το νερό να μην αντιδρά με αυτά.
- Περιορισμένος υδραυλικός έλεγχος
- Πιθανή η περίπτωση μιας ανολοκλήρωτης αποκατάστασης
- Μπορεί να μην αφαιρεθεί η πηγή της ρυπασμένης κηλίδας
- Η χαμηλή διαπερατότητα μπορεί να αποκλείει τη χρήση αυτής της μεθόδου αλλά μπορεί να είναι εφαρμόσιμη στη πηγή της ρύπανσης.

Επίδοση, Κόστος, Παράδειγμα Εφαρμογής

Μία ολοκληρωτική εφαρμογή της μεθόδου των ενεργών ζωνών που βασίζεται στη μολάσση υλοποιήθηκε σε ρυπασμένη περιοχή της κεντρικής Πενσυλβανία. Τα υπόγεια ύδατα της περιοχής ήταν ρυπασμένα με εξασθενές χρώμιο από ένα εργοστάσιο της περιοχής. Μετά την επιτυχή εφαρμογή μίας πιλοτικού συστήματος, το 1997 αποφασίστηκε μία ολοκληρωμένη εγκατάσταση της μεθόδου στη περιοχή που θα συντηρούσε την αναερόβια κατάσταση στο περιβάλλον της συγκεκριμένης τοποθεσίας ώστε να μειωθεί και να κατακρημνίσει το εξασθενές χρώμιο. Το σύστημα αυτό χρησιμοποίησε 20 πηγάδια χορήγησης και 16 ήδη υπάρχοντα δημοτικά πηγάδια για να εγκατασταθεί η ενεργή ζώνη. Η εγκαταστημένη χορήγηση και τα φρεάτια ελέγχου ήταν ρηχά πηγάδια που είχαν προβλεφθεί να εισχωρήσουν σε αμμώδη έδαφος 1-3 ποδιών πάχους σε ένα κατά προσέγγισή διάστημα 10 με 15 ft κάτω από την επιφάνεια. Ο ρυθμός ανάμιξης της μολάσσης κυμαινόταν από 1:200 μέχρι 1:20. Η επεξεργασία αποδείχτηκε επιτυχημένη και η ρυπασμένη κηλίδα συρρικνώθηκε στο ένα τέταρτο περίπου της αρχικής. Αφού η εγκατάσταση αυτή έκλεισε 3 έτη λειτουργίας, οι συγκεντρώσεις του χρωμίου μειώθηκαν κάτω από τον αρχικό στόχο σε ολόκληρη την περιοχή σύμφωνα με τις μελέτες (EPA, 2000).

Το κόστος εφαρμογής της μεθόδου των ενεργών ζωνών με βάση τη μολάσση και η λειτουργία αυτής για ένα χρονικό διάστημα λίγο μικρότερο από 3 χρόνια ήταν περίπου 387.021,04 ευρώ συμπεριλαμβανομένου του βασικού κόστους, του κόστους παρακολούθησης και αυτό της λειτουργίας και συντήρησης. Αυτό το σύστημα αντικατέστησε ένα άλλο “άντλησης και επεξεργασίας” που είχε ένα εκτιμώμενο κόστος της τάξεως των 3.870.210,36 ευρώ. Αυτά τα στοιχεία συμπεριλαμβάνουν το βασικό κόστος, το κόστος συντήρησης και αυτό της λειτουργίας για ένα χρονικό διάστημα 20 ετών.

Hanford, Washington, ΗΠΑ

Στην περιοχή αυτή υπήρχε σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και εδαφών, από την εποχή κιόλας Β' παγκοσμίου πολέμου. Οι ρύποι που παρατηρήθηκαν στη περιοχή είναι Cr(VI), νιτρικό, ραδιενεργά και οργανικοί διαλύτες. Η ρυπασμένη περιοχή είχε έκταση 180 από τα 586 τετραγωνικά μίλια (EPA, 2000).

Κατά το έτος 1998, κατασκευάστηκε μία ενεργός ζώνη μήκους 50m και πλάτους 20m, σε απόσταση 170m από τον ποταμό Columbia, και με βάθος υδροφόρου ορίζοντα 30m. Έγινε εισαγωγή 100m³ διαλύματος (0,08 M) υποθειώδους νατρίου σε κάθε μία από τις 5 γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν. Ο μέσος χρόνος αντίδρασης ήταν 35 ώρες. Η δειγματοληψία και η ανάλυση του υπόγειου ύδατος έδειξε συγκεντρώσεις Cr(VI) κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά προτάθηκε κατασκευή EZ μήκους 350 m.

3.2.6. Ηλεκτροκινητική

Περιγραφή Τεχνολογίας

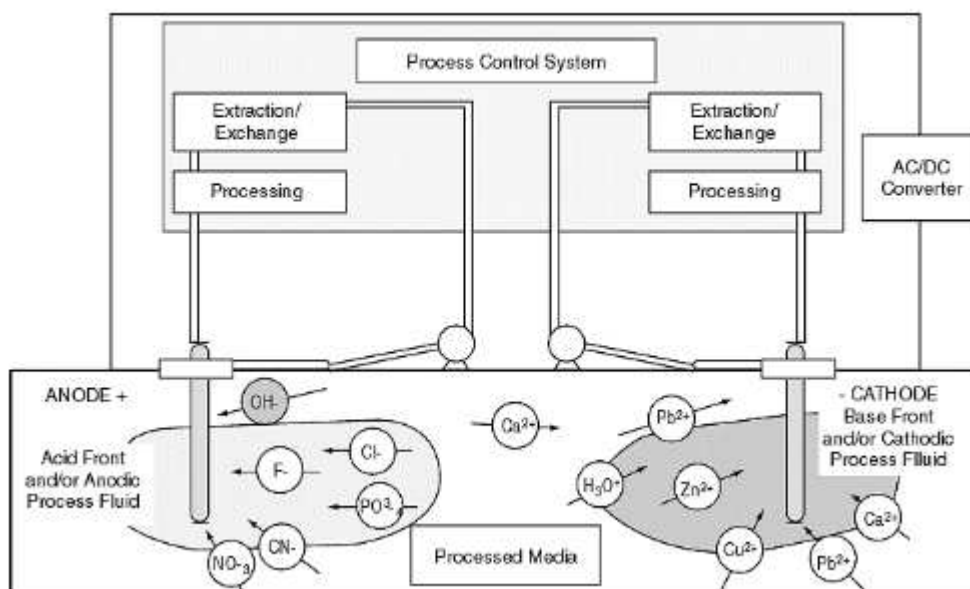
Η θεωρία της εφαρμογής του ηλεκτρικού ρεύματος στην αποκατάσταση των υπόγειων υδάτων από τα βαρέα μέταλλα και άλλα απόβλητα λέγεται ηλεκτροκινητική αποκατάσταση. Στη βιβλιογραφία μπορεί να συναντήσει κανείς τη τεχνολογία αυτή και ως ηλεκτροαποκατάσταση (electroreclamation) και ηλεκτροχημική απολύμανση. Η ηλεκτροκινητική είναι μία διαδικασία κατά την οποία διαχωρίζονται και αφαιρούνται τα βαρέα μέταλλα, ραδιονουκλεΐδια και οργανικοί ρύποι από κορεσμένα ή ακόρεστα στερεά, λάσπες και ιζήματα.

Μία σειρά από ηλεκτρόδια τοποθετούνται στην ρυπασμένη περιοχή στα οποία μία χαμηλή τάση (50 με 150 volt) άμεσης φόρτισης εφαρμόζεται. Εξαιτίας της φόρτισης του νερού και των ρύπων, η εκρόφιση και η υπόγεια μετανάστευση θα συμβούν προς τα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια. Τα ενεργά ηλεκτρόδια στο νερό δημιουργούν ένα όξινο μέτωπο στην άνοδο και ένα βασικό στη κάθοδο. Το pH θα πέσει στην άνοδο και αυξηθεί στην κάθοδο. Προς αποφυγή αυτής της ανισορροπίας του pH, τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται μέσα σε κεραμική σωλήνωση που είναι γεμάτη με ένα υγρό. Αυτό το υγρό επεξεργασίας όχι μόνο κρατάει την ισορροπία του pH στην άνοδο και στη κάθοδο, αλλά μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διαλυτοποίηση και στη κίνηση των ρύπων. Η ηλεκτροκινητική επεξεργασία συγκεντρώνει τους ρύπους στο διάλυμα γύρω από τα ηλεκτρόδια. Οι ρύποι μπορούν να αφαιρεθούν από αυτό το διάλυμα με ηλεκτρόλυση ή με κατακρήμνιση/καταβύθιση στα ηλεκτρόδια, ή με την άντληση των ρύπων και του υγρού επεξεργασίας στην επιφάνεια και επεξεργάζοντάς τα με ιοντική ανταλλαγή ρητινών ή με άλλες μεθόδους ώστε να ανακτηθούν τα αποσπασμένα βαρέα μέταλλα. Στη συνέχεια το επεξεργασμένο υγρό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μέσα στο σύστημα της ηλεκτροκινητικής επεξεργασίας.

Τεχνικές- Εφαρμογή

Ο εξοπλισμός που απαιτεί η μέθοδος στη πράξη σε εφαρμογές επιτόπου έχει σημαντικά εξειδικευμένη φύση. Οι άνοδοι και οι κάθοδοι είναι τοποθετημένοι σε διαπερατούς ή πορώδεις σωλήνες επιτόπου.

Ο εξοπλισμός στην επιφάνεια απαιτεί μία αντλία που θα αφαιρεί το ρυπασμένο νερό από τη κάθοδο σε ένα σύστημα επεξεργασίας. Δεξαμενές και μέτρα είναι απαραίτητα για την αποθήκευση των προς επεξεργασία αποβλήτων, για την αποθήκευση διαλυμάτων νερού ή χημικών πρόσθετων που χρησιμοποιούνται επιτόπου. Μία παροχή χαμηλής τάσης είναι επίσης απαραίτητη. Επιπρόσθετος εξειδικευμένος εξοπλισμός επίσης μπορεί να απαιτείται όπως κέντρα ελέγχου, βαλβίδες, αντλίες και μετρητές.



Εικόνα 7 Αναπαριστά τη διαδικασία αποκατάστασης της ηλεκτροκινητικής (Πηγή: EPA, 2000)

Η επιτόπου ηλεκτροκινητική αποκατάσταση είναι τεχνολογία κατάλληλη για περιοχές με χαμηλή διαπερατότητα στα πετρώματα του υπεδάφους τους και για να ξεπεραστούν οι υπόγειες ανομοιογένειες. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της μεθόδου: Μία τεχνολογία με την ονομασία “επεξεργασία λίμνης” (“Pool Process”), χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση τοξικών, βαρέων μετάλλων όπως το χρώμιο. Μέσα από αυτή τη τεχνολογία ιοντικο-διαπερατές ηλεκτρολυτικές σωληνώσεις τοποθετούνται στο ρυπασμένο μέσο και συνδέονται με ένα κεντρικό ηλεκτροχημικό, με βάση ενός ιοντικής ανταλλαγής ηλεκτρολύτη, σύστημα διαχείρισης. Κάθε σωληνώση έχει ένα ηλεκτρόδιο μέσα, μαζί αυτά σχηματίζουν

εναλλακτικές γραμμές από ανόδους και καθόδους. Ο ηλεκτρολύτης είναι μέσα σε κύκλωμα σε ένα κλειστό βρόγχο ανάμεσα στις σωληνώσεις και στο κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Η ηλεκτρόλυση του νερού έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό H^+ στις ανόδους και OH^- στις καθόδους. Αυτά τα ιόντα μεταναστεύουν μέσα από τις σωληνώσεις στο έδαφος αναπαράγοντας μια προσωρινή και τοπική αλλαγή στο pH που απορροφά ρυπασμένα ιόντα. Μόλις απορροφηθούν, τα ρυπασμένα ιόντα μεταναστεύουν υπό την επιρροή της εφαρμόσιμης δύναμης στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια (ανιόντα στα ανοδικά ηλεκτρόδια και κατιόντα στα καθοδικά ηλεκτρόδια). Από εδώ περνούν στις σωληνώσεις του φράγματος και από εκεί απορροφώνται από τους κυκλωμένους ηλεκτρολύτες. Το pH στην άνοδο και στη κάθοδο διευθύνεται από την προσθήκη οξέων ή αλκαλίων ανάλογα με το τι χρειάζεται. Η ρύπανση επιλεκτικά αποκαθίστανται από τους κυκλωμένους ηλεκτρολύτες καθώς περνούν από το κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Διαλυμένα αλλά ακίνδυνα στοιχεία επιστρέφουν στο μέσο-υδροφόρο. Περιοδικά το κεντρικό ηλεκτροχημικό, με βάση ενός ιοντικής ανταλλαγής ηλεκτρολύτη, σύστημα διαχείρισης αναγεννάτε με πολική αναστροφή, έτσι ώστε μετατρέπει τη ρύπανση σε μία πυκνότερη μορφή που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (EPA, 2000).

Πλεονεκτήματα

- Αποτελεσματική μέθοδος για να επηρεάζει τη κίνηση του νερού και των ιόντων μέσα από λεπτόκοκκα, χαμηλής διαπερατότητας ανομοιογενή στερεά, των οποίων οι ιδιότητες για άλλες πιο παραδοσιακές τεχνολογίες θα αποτελούσαν εμπόδιο.
- Κινητοποιεί τους μεταλλικούς ρύπους χωρίς τη χρήση ισχυρών οξέων για την προσαρμογή του pH.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα σε περιοχές με ακόρεστα στερεά, ενώ είναι ταυτόχρονα ανταγωνιστική μέθοδος από πλευράς τεχνικής εφαρμογής και κόστους.
- Εφαρμόσιμη μέθοδος για ένα μεγάλο εύρος ρύπων.

Περιορισμοί

- Οι ρύποι θα πρέπει να διαλυτοποιηθούν από κάποιο αραιωμένο όξινο διάλυμα ή από κάποιο υγρό επεξεργασίας έτσι ώστε να γίνουν κατάλληλοι προς αφαίρεση από ηλεκτροκινητικές διαδικασίες.

- Οι διαδικασίες μπορεί να μην είναι επαρκείς για την επεξεργασία διαφορετικών μετάλλων αν οι συγκεντρώσεις είναι σημαντικά διαφορετικές.
- Ανολοκλήρωτη αποκατάσταση μπορεί να συμβεί αν οι περιοχές χαρακτηρίζονται από χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των πηγαδιών ή όταν η μετανάστευση των ρύπων καλύπτει μεγάλες αποστάσεις.
- Ανομοιογένειες ή επιφανειακές ανωμαλίες όπως θεμέλια κτιρίων ή μεγάλες πέτρες μπορούν να μειώσουν την επίδοση της αφαίρεσης των ρύπων.
- Η αδρανοποίηση των μεταλλικών ιόντων μπορεί να συμβεί από ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις.
- Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να ιζηματοποιηθούν νωρίτερα κοντά στην κάθοδο.
- Μπορεί να μην είναι κατάλληλη μέθοδος για εκτεταμένα βάθη επεξεργασίας λόγω ασύμφορου κόστους.

Επίδοση και Δεδομένα Κόστους

Οι περισσότερες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας περιορίζονται σε πιλοτικά συστήματα και ελάχιστες πληροφορίες έχουμε από τις ελάχιστες περιπτώσεις που η τεχνολογία αυτή για την αποκατάσταση ρύπανσης από χρώμιο, έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Η τεχνολογία της ηλεκτροκινητικής αποκατάστασης αποτελεί ακόμα τεχνολογία που εξελίσσεται. Λόγω της εξελισσόμενης φύσης της τεχνολογίας αυτής τα δεδομένα που αφορούν το κόστος θα πρέπει να ληφθούν πολύ προσεκτικά υπόψη.

Η επεξεργασία λίμνης (Pool Process) έχει εφαρμοστεί περισσότερο και μάλιστα κυρίως σε περιοχές που έχριζαν αποκατάστασης στην Ευρώπη, και συχνά, μάλιστα, ως *ex situ* επεξεργασία ή σε λίμνες ιζημάτων. Οι ερευνητές εκτιμούν πως οι συγκεντρώσεις των στοχευόμενων ειδών ρύπων που κυμαίνονται ανάμεσα στα 10 με 500 ppm μπορούν να μειωθούν σε λιγότερο από 1 ppm. Το κόστος αποκατάστασης εκτιμάται να είναι της κλίμακας των 194 ευρώ/m³ με 314 ευρώ/m³.

Πειράματα για άλλες μεθόδους αποκατάστασης της ηλεκτροκινητικής οικογένειας έχουν δείξει ότι η επίδοσή τους κυμαίνεται ανάμεσα στα 75% και 95% για την αποκατάσταση ρυπασμένων περιοχών από χρώμιο, κάδμιο και ουράνιο με επίπεδα 2,000 mg/kg. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά το κόστος είναι (EPA, 2000).

- Το βάθος της ρύπανσης: μεγαλύτερο βάθος επεξεργασίας ισοδυναμεί με μεγαλύτερο κόστος
- Η πιθανή ανάγκη για επεξεργασία των αποβλήτων
- Η προετοιμασία της περιοχής προς αποκατάσταση και οι απαιτήσεις της εγκατάστασης του συστήματος
- Η τοπική ηλεκτροδότηση και
- Το κόστος εργασίας

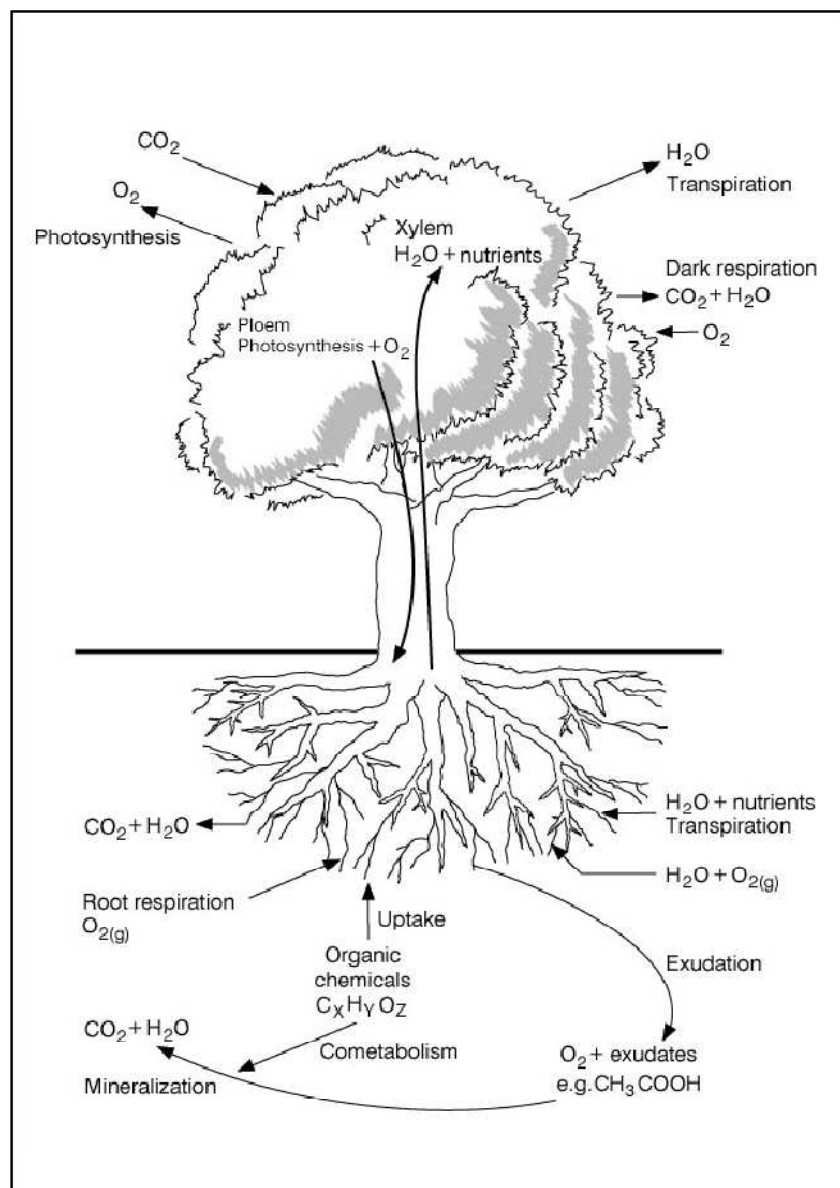
3.2.7. Φυτοαποκατάσταση

Περιγραφή Τεχνολογίας

Η φυτοαποκατάσταση ως μέθοδος επεξεργασίας εκμεταλλεύεται, προκειμένου να αποκατασταθεί το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα, την φυσική ικανότητα των φυτών να απορροφούν, να συσσωρεύουν και να υποβαθμίζουν τα ανόργανα και τα οργανικά συστατικά. Όλα τα φυτά αποσπούν μέσω του συστήματος των ριζών τους απαραίτητα θρεπτικά συστατικά συμπεριλαμβανομένου και μετάλλων από το έδαφος και το νερό (Εικ.8). Μερικά φυτά έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες μετάλλων, ακόμα και μέταλλα που δεν εμφανίζονται να είναι απαραίτητα στη λειτουργία του φυτού. Οι μεταλλικοί ρύποι που έχουν υποστεί επεξεργασία στο εργαστήριο ή και σε μελέτες εφαρμογής με τη χρήση της φυτοαποκατάστασης συμπεριλαμβάνουν τα: Cr(VI), Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Se, and Zn (Ξενίδης, 2011).

Τα φυτά συνεισφέρουν στην αποκατάσταση μέσω διάφορων μηχανισμών. Κάποια από αυτά βοηθούν στην αποκατάσταση μέσω της ιδιότητάς τους να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών χημικών ενώσεων χωρίς να παρουσιάζουν ενδείξεις τοξικότητας, ενώ άλλα είναι ικανά να προσλαμβάνουν χημικές ενώσεις μέσω των ριζών τους, και στη συνέχεια να τις μετατρέπουν σε λιγότερο τοξικές ενώσεις. Ένας ακόμα τρόπος συνεισφοράς τους είναι η έκκριση ουσιών και ενζύμων από τις ρίζες τους οι οποίες πυροδοτούν αντιδράσεις αποδόμησης οργανικών ενώσεων στο ύψος της ριζόσφαιρας ή συνεισφέρουν στην αποκατάσταση μέσω μηχανισμών εξάτμισης, εξαέρωσης ή μεταφοράς πτητικών ρυπαντών στον αέρα. Επιπρόσθετα υπάρχουν φυτά που απορροφούν και συσσωρεύουν ποσότητα ρύπων στον κύριο ιστό τους και σε αυτή τη περίπτωση η

απορρύπανση γίνεται με την εκρίζωσή τους μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επίσης μία κατηγορία φυτών είναι ικανά να ακινητοποιήσουν ρύπους μέσω της απορρόφησης και συσσώρευσής τους στις ρίζες ή μέσω του μηχανισμού καταβύθισης ή ακινητοποίησής τους εντός της ζώνης του ριζικού τους συστήματος. Ακόμα, υπάρχει μία κατηγορία φυτών τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αποκατάσταση περιοχών ρυπασμένων με βαρέα μέταλλα αφού απορροφούν και αφομοιώνουν ιδιαιτέρως υψηλά ποσά μετάλλων, έως και 100 φορές περισσότερο από άλλα φυτά και ονομάζονται υπερσυσσωρευτές – hyperaccumulators (Ξενίδης, 2011).



Εικόνα 8 Αναπαράσταση της λειτουργίας φυτοαποκατάστασης (Πηγή: Ξενίδης, 2011)

Κατάσταση Μεθόδου

Η φυτοαποκατάσταση βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο εξέλιξης, με περιορισμένες μελέτες και δοκιμές στη πράξη να διεξάγονται για να αποσαφηνίσουν τη διαδικασία και να βελτιώσουν τη μέθοδο. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της εφαρμογής της φυτοαποκατάστασης περιλαμβάνουν τη χρήση υδρόβιων και υδροχαρών φυτών για τη δημιουργία τεχνητών υγροβιότοπων, δεξαμενών σταθεροποίησης (Stabilization Ponds) και γενικότερα φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Οι μέθοδοι αυτές συνδυάζουν το χαμηλό κόστος με την ικανοποιητική απόδοση κυρίως για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (SS), και θρεπτικών στοιχείων (πχ. άζωτο, φώσφορος, υδράργυρος).

Μεγάλης κλίμακας εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας αποκατάστασης δεν έχει πραγματοποιηθεί εξ ολοκλήρου. Όπως συμβαίνει με την βιοαποκατάσταση και με τη φυσική αποκατάσταση ένα μαθηματικό μοντέλο και συστηματική παρακολούθηση είναι απαραίτητα για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της μεθόδου στο μέλλον.

Εφαρμογή- Τεχνικές

Οι τεχνολογίες αποκατάστασης είναι εφαρμόσιμες σε ρυπασμένες περιοχές με υπόγεια ύδατα μεγάλης έκτασης, μικρού επιπέδου ρύπανσης, μεγάλης διασποράς και που χρειάζεται να καθαριστούν σε μικρό βαθμό. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική όταν πρόκειται για υπόγεια ύδατα που βρίσκονται σε απόσταση 3 m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα υπόγεια ύδατα που είναι ρυπασμένα με μέταλλα μπορούν να αντιμετωπιστούν με δέντρα που έχουν μακριές ρίζες που εισχωρούν βαθιά μέσα στο έδαφος όπως οι λεύκες έτσι ώστε να φτάσουν οι ρίζες στον υδροφόρο και να απορροφήσουν τα μέταλλα και να επιβραδύνουν τη μετανάστευση της ρύπανσης. Η φυτοαποκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία τεχνική που ακολουθεί την εφαρμογή μίας άλλης μεθόδου στη περίπτωση που οι περιοχές στις οποίες εφαρμόζονται έχουν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων που έχουν σε αυτή τη φάση μετριαστεί, ή σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες αποκαταστάσεις (EPA, 2000).

Οι τεχνικές της μεθόδου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν χονδρικά στη Φυτοαπορρύπανση (Phytodecontamination) και στη Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization) ανάλογα με τους μηχανισμούς που τα φυτά είναι ικανά να θέσουν αυθόρμητα σε εφαρμογή ώστε να πραγματοποιηθεί η αποκατάσταση και σε φυτοεξυγίανση ανόργανων ή οργανικών ρυπαντών ανάλογα με την κατηγορία ρυπαντών που είναι ικανά να επεξεργαστούν ή να αφαιρέσουν.

Πλεονεκτήματα

- Το βασικότερο προτέρημα της μεθόδου αυτής είναι ότι παράγονται λιγότερα δευτερογενή απόβλητα από ότι σε άλλες τεχνολογίες.
- Η φυτοεξυγίανση εφαρμόζεται επί τόπου χωρίς να κρίνεται απαραίτητη εκσκαφή ή άντληση για περαιτέρω επεξεργασία, με αποτέλεσμα να μη διαταράσσεται καθόλου το φυσικό τοπίο περιοχής.
- Πρόκειται για χαμηλού κόστους επεξεργασία ιδιαίτερα για μεγάλους όγκους χώματος ή νερού, ρυπασμένα με μικρές ποσότητες τοξικών ρύπων.
- Είναι δυνατή μέσω αυτής της μεθόδου η συγκέντρωση τοξικών ρύπων σε μικρούς όγκους.

Μειονεκτήματα

- Οι αργοί ρυθμοί της φυτοεξυγίανσης αποτελούν μειονέκτημα της μεθόδου αφού μπορεί να αρκετές συνεχόμενες περιόδους καλλιέργειας των φυτών.
- Ένας ακόμα περιοριστικός παράγοντας είναι ότι η μέθοδος είναι αποτελεσματική μόνο σε μικρά βάθη που δεν πρέπει να ξεπερνούν το 1 m στο έδαφος και τα 3 m στον υδροφόρο ορίζοντα.
- Τέλος ένα σοβαρό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο κίνδυνος μετάδοσης τοξικών ουσιών μετά από ενδεχόμενη βρώση των φυτών από ζώα, στην τροφική αλυσίδα.

Επίδοση και Κόστος

Η τεχνολογία αυτή είναι ελκυστική λόγω του πιθανώς χαμηλού κόστους σε σύγκριση με τις άλλες πιο δραστικές προσεγγίσεις. Το εμπορικό πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να επιτευχθούν οι στόχοι της αποκατάστασης. Το εκτιμώμενο κόστος για τη φυτοαποκατάσταση ποικίλει πολύ. Περιορισμένες πληροφορίες και δεδομένα είναι διαθέσιμα όσον αφορά το κόστος και την επίδοση της μεθόδου. Χρησιμοποιώντας τη φυτοαποκατάσταση για την εξυγίανση ενός στρέμματος αμμώδους εδάφους σε βάθος 50 cm τυπικά, θα κοστίσει 58.000 € με 150.000 €, συγκρινόμενο με το κόστος τουλάχιστον 600.000 € για εκσκαφή και διάθεση χωρίς επεξεργασία. Η λειτουργία και

η τελική διάθεση της βιομάζας που παράγεται αποτελεί πιθανώς και το μεγαλύτερο ποσοστό του τελικού κόστους, ειδικά όταν ιδιαιτέρως πρόκειται για τοξικά μέταλλα και ραδιονουκλίδια.

3.2.8. Φυσική Αποκατάσταση

Περιγραφή Τεχνολογίας

Ο αμερικάνικος φορέας EPA έχει αποδεχτεί ότι η μορφή της φυσικής αποκατάστασης καλούμενη ως “παρακολουθούμενη φυσική αποκατάσταση” αναφέρεται στην πεποίθηση ότι αυτή η μέθοδος (μέσα στο πλαίσιο μιας προσεκτικά ελεγχόμενης και παρακολουθούμενης προσέγγισης εξυγίανσης) μπορεί να επιτύχει σε συγκεκριμένα σημεία της ρυπασμένης περιοχής διορθωτικούς στόχους μέσα σε ένα χρονικό πλαίσιο που να είναι λογικό συγκρινόμενο με αυτό που προσφέρουν άλλες πιο δραστικές μέθοδοι. Η διαδικασία της φυσικής αποκατάστασης συμπεριλαμβάνει μια ποικιλία από φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες που υπό θετικές συνθήκες μπορούν να δραστηριοποιηθούν χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση έτσι ώστε να μειώσουν τη μάζα, τη τοξικότητα, τη κινητικότητα, την ένταση ή την συγκέντρωση των ρύπων στους υδροφόρους. Αυτές οι επιτόπου διαδικασίες συμπεριλαμβάνουν τη διαδικασία της βιοαποικοδόμησης, της διασποράς, της ρόφησης, της διαλυτοποίησης, της πτητικότητας, της χημικής ή βιολογικής σταθεροποίησης, της μετατροπής ή της καταστροφής των ρύπων. Άλλες ονομασίες με τις οποίες μπορεί κανείς να συναντήσει τη μέθοδο αυτή στην βιβλιογραφία είναι “εγγενής βιοαποκατάσταση” ή “παθητική βιοαποκατάσταση” ή “φυσική ανάκτηση” ή “εγγενής αποκατάσταση” (EPA, 2000).

Η χρήση της παρακολουθούμενης απομείωσης της ρύπανσης δεν είναι καινούρια για τους μελετητές της αποκατάστασης. Είχε ενσωματωθεί στα σχέδια αποκατάστασης ρύπανσης από το 1985. Από τη στιγμή εκείνη και μετά, η διαδικασία αυτή έχει συνεχίσει να υπάρχει και σιγά σιγά να αναπτύσσεται με μεγαλύτερη εμπειρία σε προγράμματα και επιστημονική κατανόηση των διαδικασιών που εμπλέκονται. Πρόσφατες επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει την αύξηση του ενδιαφέροντος προς αυτή τη προσέγγιση, με την πεποίθηση πως είναι κατάλληλη μέθοδος για ένα περιορισμένο ποσοστό περιπτώσεων σε ρυπασμένες περιοχές.

Η διαδικασία της φυσικής αποκατάστασης τυπικά συμβαίνει σε όλες τις ρυπασμένες περιοχές, αλλά με διαφορετικό βαθμό αποτελεσματικότητας που κάθε φορά εξαρτάται από το

είδος και τις συγκεντρώσεις των ρύπων που είναι παρόντες καθώς και από τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να μειώσει τη διακινδύνευση που εγκυμονεί η ρυπασμένη περιοχή με διάφορους τρόπους:

- ο ρύπος μπορεί να μετατραπεί σε μία λιγότερο τοξική μορφή μέσα από καταστροφικές διαδικασίες όπως η βιοαποικοδόμηση ή οι αβιοτικές μετατροπές,
- πιθανά επίπεδα έκθεσης μπορεί να μειωθούν μειώνοντας τα επίπεδα συγκέντρωσης με τις διαδικασίες της αραίωσης ή της διασποράς,
- η κινητικότητα των ρύπων καθώς και βιοδιαθεσιμότητα μπορεί να μειωθούν μέσα από τη διαδικασία τη ρόφηση στο έδαφος ή στα γύρω ορυκτά,
- το εξασθενές χρώμιο μπορεί να μειωθεί σε μία λιγότερο τοξική μορφή με μικρότερη κινητικότητα δηλαδή σε τρισθενές χρώμιο με τη βοήθεια φυσικών αναγωγικών μέσων, και
- οι μεταλλικοί ρύποι μπορεί να ενσωματωθούν στο κρυσταλλικό πλέγμα ορυκτών ή μετάλλων.

Με την προϋπόθεση του περιορισμού της πηγής της ρύπανσης, η φυσική αποκατάσταση μπορεί να αποδειχτεί αποδοτική μέθοδος για να επιτευχθεί ο στόχος της αποκατάστασης σε μερικές ρυπασμένες περιοχές χωρίς την ανάγκη βοήθειας από άλλη πιο δραστική μέθοδο αποκατάστασης. Συνήθως όμως η φυσική αποκατάσταση είναι μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με κάποια άλλη δραστικότερη. Επίσης είναι εφαρμόσιμη σε περιοχές που δεν είναι έντονα ρυπασμένες. Ακόμα, στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής της, η περιοχή της πηγής της ρύπανσης έχει ήδη αποκατασταθεί από κάποια άλλη δραστική τεχνική αποκατάστασης.

Η ρόφηση και οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής αποτελούν τους κύριους μηχανισμούς υπεύθυνους για τη μείωση της κινητικότητας, τοξικότητας ή βιοδιαθεσιμότητας των ανόργανων ρυπαντών. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ποιοι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την αποκατάσταση των ανόργανων ρυπαντών γιατί μερικοί είναι περισσότερο επιθυμητοί από άλλους. Συγκεκριμένα στη περίπτωση του χρωμίου είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τον Κύκλο του Χρωμίου στο περιβάλλον. Αλλαγές στη συγκέντρωση των ρυπαντών, του pH, μιας πιθανής οξειδοαναγωγής και χημικής διαφοροποίησης μπορεί να μειώσουν τη σταθερότητα ενός ρύπου στο πεδίο και κατά συνέπεια να απελευθερωθεί στο περιβάλλον. Ο καθορισμός της ύπαρξης και της επίδειξης του μη αναστρέψιμου αυτών των μηχανισμών

είναι το συστατικό “κλειδί” για μία επαρκώς αποτελεσματική, παρακολουθούμενη φυσική αποκατάσταση (EPA, 2000).

Τεχνικές -Εφαρμογή

Εάν η φυσική αποκατάσταση θεωρηθεί ζωτική λύση για τα πεδία ρυπασμένα από χρώμιο θα ήταν, μετέπειτα, ιδανικό να επιδειχθούν ότι ισχύουν τα εξής: (1) να υπάρχουν φυσικοί μειωτικοί παράγοντες παρόντες στον υδροφόρο (2) το ποσοστό του εξασθενούς χρωμίου και των άλλων ενεργών συστατικών να μην υπερβαίνουν την ικανότητα του υδροφόρου να τα μειώσει (3) το χρονοδιάγραμμα που απαιτείται για να μειωθεί η συγκέντρωση του χρωμίου στο επιθυμητό βαθμό να μην ξεπερνάει το χρονοδιάγραμμα μεταφοράς του από την περιοχή της πηγής στο σημείο ενδοτικότητας του εξασθενούς χρωμίου (4) το τρισθενές χρώμιο να παραμένει σε σταθερή κατάσταση (5) να μην υπάρχει δίκτυο αναγωγής του τρισθενούς χρωμίου σε εξασθενές.

Πλεονεκτήματα

- Πολύ λιγότερο δαπανηρή επί τόπου τεχνολογία αποκατάστασης.
- Μπορεί να αφαιρέσει και τις συγκεντρώσεις του χρωμίου από τα πιο βαθειά στρώματα, κάτι που η κλασική μέθοδος της “άντλησης και επεξεργασίας” είναι ανίκανη να πραγματοποιήσει.
- Παραγωγή μικρότερης έντασης αποβλήτων αποκατάστασης, μειωμένη πιθανότητα μεταφοράς των ρύπων από τα ενδιάμεσα μέσα, κάτι που είναι συνήθως συνδεδεμένο με την ex situ επεξεργασία και μειωμένο ρίσκο ανθρώπινης έκθεσης στους ρυπαντές.
- Μικρότερη κατάληψη γης αφού ελάχιστα επιφανειακά οικοδομήματα απαιτούνται.
- Πιθανή εφαρμογή σε όλο ή μέρος του δοσμένου πεδίου, εξαρτάται από τις συνθήκες στο πεδίο και τους στόχους καθαρισμού.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με κάποια άλλη πιο δραστική τεχνολογία αποκατάστασης ή σαν μέθοδος που ακολουθεί το πέρας κάποιας άλλης επίσης περισσότερο δραστικής.

Περιορισμοί

- Δεν υπάρχει ένα και μόνο τεστ που να πιστοποιεί ότι η φυσική αποκατάσταση θα πραγματοποιηθεί σε ένα συγκεκριμένο πεδίο.
- Υπάρχει έλλειψη πληροφοριών για τον ρυθμό οξειδωσης και μείωσης του χρωμίου υπό τις συνθήκες που είναι πιο πιθανό να συναντήσουν οι κηλίδες των ρυπαντών ορμώμενων από τις πηγές.
- Μεγαλύτερα χρονικά όρια μπορεί να απαιτούνται για να επιτευχθούν τελικά οι αρχικοί στόχοι, συγκριτικά με τις πιο δραστικές μεθόδους.
- Ο χαρακτηρισμός του πεδίου μπορεί να αποδειχθεί πιο περίπλοκος και δαπανηρός.
- Μια μακροχρόνια παρακολούθηση σε καθημερινή βάση είναι γενικά αναγκαία.
- Θεσμικοί έλεγχοι μπορεί να είναι απαραίτητοι για να διασφαλίσουν τη μακροχρόνια προστασία.
- Υπάρχει η πιθανότητα της μετανάστευσης των ρυπαντών.
- Οι υδρολογικές και γεωχημικές συνθήκες που επιδέχονται την εφαρμογή της φυσικής αποκατάστασης είναι πιθανό να αλλάξουν με τον χρόνο έτσι ώστε να ανανεωθεί η κινητικότητα ρυπαντών που προηγουμένως ήταν σταθερά και επομένως να επηρεάζει δυσμενώς την αποτελεσματικότητα της αποκατάστασης.
- Περισσότερο εκτεταμένη εκπαίδευση και προβολή μπορεί να χρειάζονται για να κερδηθεί η αποδοχή του κοινού για την μέθοδο αυτή.

Επίδοση, κόστος – Παράδειγμα Εφαρμογής

Μία από τις πιο επιτυχημένες προσπάθειες κοστολόγησης της μεθόδου της φυσικής αποκατάστασης για το εξασθενές χρώμιο ήταν του υδροφορέα «Trinity Sand Aquifer» στο Τέξας. Το εξασθενές χρώμιο μετανάστευε από κάποιες εγκαταστάσεις επιχρωμίωσης στον υδροφόρο τα χρόνια ανάμεσα στις χρονολογίες 1969- 1978. Χάρτες των ετών 1986 και 1978 που απεικόνιζαν τη κηλίδα των ρυπαντών μελετήθηκαν και έδειξαν πως σχεδόν τα τρία τέταρτα του εξασθενούς χρωμίου που ήταν αρχικά παρόν είχαν αφαιρεθεί, σύμφωνα με τους μελετητές. Το Fe(II) και η οργανική ύλη του υδροφόρου πρέπει να ήταν οι κύριοι μειωτικοί παράγοντες. Η αρχική λεκάνη χρωμίου θα πρέπει να ήταν ο συνδυασμός Cr(OH)₃. Χρησιμοποιώντας της πιο εμπειριστατωμένες μεθόδους εκτίμησης για τα υδρολογικά

δεδομένα που έμειναν, υπολογίστηκε ότι το επίπεδο των ρυπαντών έπεσε κάτω από το μέγιστο προβλεπόμενο επίπεδο μέσα σε μία δεκαετία (EPA, 2000).

3.2.9. Πηγάδια ανακυκλοφορίας

Περιγραφή τεχνολογίας

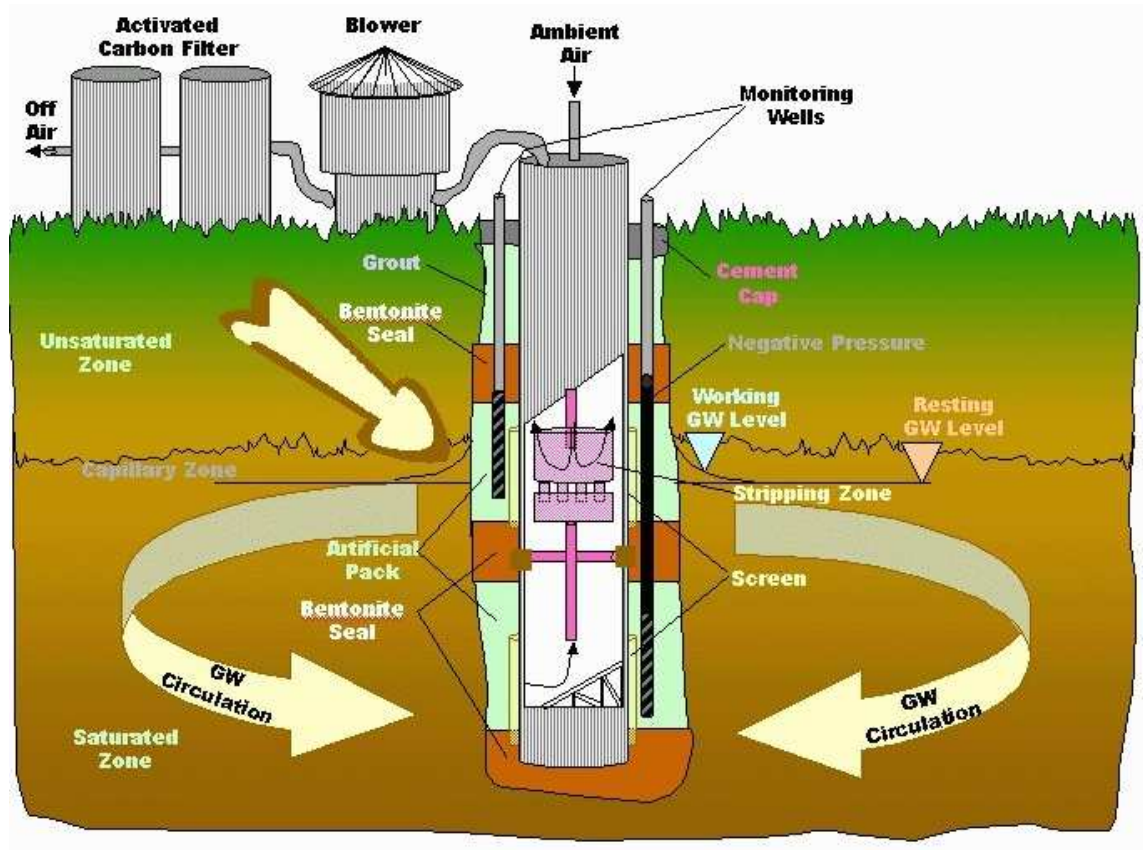
Τα πηγάδια ανακυκλοφορίας (Circulating wells, CWs) παρέχουν μία τεχνολογία που αφορά την υπόγεια αποκατάσταση του υδροφόρου δημιουργώντας ένα τρισδιάστατο σχέδιο κυκλοφορίας του υπόγειου ύδατος. Το υπόγειο νερό οδηγείται μέσα σε γεώτρηση διαμέσου ενός διάτρητου πλέγματος (φιλτροσωλήνα), αντλείται διαμέσου της γεώτρησης και επαναχρησιμοποιείται στον υδροφόρο διαμέσου ενός φιλτροσωλήνα ίδιου με τον αρχικό που τοποθετείται χαμηλότερα του αρχικού. Πιο συγκεκριμένα, κατά την τεχνολογία αυτή, «In-well air stripping technology», αέρας τροφοδοτείται μέσα στο κάθετο πηγάδι το οποίο είναι επενδυμένο με δύο φιλτροσωλήνες σε δύο διακριτά βάθη. Το χαμηλότερο είναι τοποθετημένο στο ύψος της ακόρεστης ζώνης. Ο πεπιεσμένος αέρας εισχωρεί στη γεώτρηση κάτω από τον ορίζοντα του υδροφόρου, δημιουργώντας φυσαλίδες στο νερό. Λόγω της εισχώρησης αέρα στο νερό, το νερό φουσκώνει και σηκώνεται μέσα στη γεώτρηση και υπερχειλίζει πάνω έξω από το σύστημα στο σημείο της γεώτρησης που είναι επενδυμένο με το φιλτροσωλήνα.

Το ρυπασμένο νερό αντλείται μέσα από τη γεώτρηση από το χαμηλότερο σημείο του πηγαδιού που είναι επενδυμένο με το φιλτροσωλήνα. Οι πτητικοί οργανικοί ρύποι εξατμίζονται δια μέσου του πηγαδιού πάνω από τον ορίζοντα του υδροφόρου καθώς ο αέρας διαφεύγει με τις φυσαλίδες. Οι ατμοί απομακρύνονται μέσω ενός ειδικού συστήματος απομάκρυνσής τους και είναι δυνατόν να περάσει από φίλτρα για να επεξεργαστεί. Το μερικώς επεξεργασμένο νερό ποτέ δεν αντλείται στην επιφάνεια αλλά οδηγείται πάλι πίσω στην ακόρεστη ζώνη του υδροφόρου. Καθώς όλη αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται και το νερό ακολουθεί τον υδραυλικό κύκλο που περιγράφηκε πιο πάνω η συγκεντρώσεις των ρύπων σταδιακά μειώνονται.

Για την αποτελεσματική επεξεργασία με τη τεχνολογία αυτή, οι ρυπαντές θα πρέπει να είναι διαλυτά και σε κατάσταση επαρκούς κινητικότητας έτσι ώστε να μπορούν να μεταφερθούν μέσω της κυκλοφορίας του υπόγειου νερού.

Τεχνικές – Εφαρμογές

Η πιο κοινή παραλλαγή της μεθόδου με την ονομασία «UnterdruckVerdampfer Brunner» (UVB) έχει εφαρμοστεί σε διάφορα πεδία στην Γερμανία και σχετικά πρόσφατα έχει συσταθεί και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Το πανεπιστήμιο του Στάνφορντ έχει αναπτύξει μία άλλη παραλλαγή της μεθόδου που την ονόμασαν NoVOCs στα συστήματα πηγαδιών με θερμαινόμενο ατμό η οποία εκτιμήθηκε ως μέρος του ενσωματωμένου προγράμματος επίδειξης τεχνολογιών του DOE's (U.S. Department of Energy). Το σύστημα του Στάνφορντ συνδυάζει την άντληση αέρα με μία τεχνική εκγύμνωσης με ατμό. Ένα ακόμα σύστημα, τυπική παραλλαγή της μεθόδου, έχει αναπτυχθεί από το Wasatch Environmental, Inc. και είναι γνωστό ως Density Driven Convection (DDC) το οποίο επικεντρώνεται στην βιοαποκατάσταση και στην αποφόρτιση των αφαιρούμενων ατμών. Η γνώση και χρήση της μεθόδου όμως δεν είναι αρκετά διαδεδομένη στην Αμερική αλλά προσδοκείται να αυξηθεί.



Εικόνα 9 Σχεδιάγραμμα πηγαδιού ανακυκλοφορίας (Πηγή: www.frtr.gov)

Πλεονεκτήματα

- Η διεύθυνση της ροής στη γεώτρηση μπορεί να είναι προς τα πάνω ή προς τα κάτω, μπορεί δηλαδή να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε πεδίου και με τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτό.
- Επειδή το υπόγειο νερό δεν αντλείται πάνω από το έδαφος, το κόστος άντλησης και οποιαδήποτε προβλήματα διαπερατότητας μειώνονται και εξαλείφονται σημαντικά.
- Τα προβλήματα που σχετίζονται με την αποθήκευση και την αποφόρτιση δεν υπάρχουν καθόλου.
- Στην επεξεργασία υπόγειου ύδατος, τα πηγάδια ανακυκλοφορίας μπορούν να παρέχουν ταυτόχρονη επεξεργασία στην ακόρεστη ζώνη στον βαθμό του βιοαερισμού (bioventing) ή soil vapor extraction.
- Τα πηγάδια ανακυκλοφορίας μπορούν να παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μέσα στο πηγάδι, μέσα στον υδροφόρο ή σε συνδυασμό των δύο.
- Παρέχεται σε μεγάλο βαθμό ευελιξία στη προσπάθεια αποκατάστασης, επειδή το σύστημα των πηγαδιών ανακυκλοφορίας παρέχει ένα ευρύ φάσμα επιλογών επεξεργασίας

Περιορισμοί

- Γενικά, οι γεωτρήσεις εισπύησης αέρα είναι πιο αποτελεσματικές σε πεδία που είναι ρυπασμένα με υψηλές ποσότητες υδρογονανθράκων.
- Έμφραξη του συστήματος μπορεί να συμβεί από διήθηση ιζημάτων που περιέχουν οξειδωμένα συστατικά.
- Ρηχοί υδροφόροι μπορεί να αποτελέσουν τροχοπέδη στην αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας αυτής.
- Για να είναι αποτελεσματική η εγκατάσταση των γεωτρήσεων ανακυκλοφορίας απαιτείται να εφαρμόζεται σε κηλίδες καλά καθορισμένες με καθαρά όρια για να αποφευχθεί η διασκόρπιση της ρύπανσης.
- Η τεχνολογία αυτή έχει περιορισμούς για πεδία με οριζόντιες υδραυλικές αγωγιμότητες μεγαλύτερες των 10^{-5} cm/sec.

- Η μέθοδος μπορεί να μην είναι αποδοτική σε πεδία με ισχυρή φυσική ροή.

Επίδοση, κόστος – Παραδείγματα εφαρμογής

Η ομάδα των ρύπων που μπορεί να επεξεργαστεί η μέθοδος αυτή (Vacuum vapor extraction) είναι οι αλογονομένοι πτητικοί οργανικοί ρυπαντές και τα καύσιμα. Η ποικιλομορφία της τεχνολογίας μπορεί να επιτρέπει την αποτελεσματική επεξεργασία και για κάποιους μη αλογονομένους πτητικούς ρυπαντές, φυτοφάρμακα και ανόργανους ρυπαντές. Τυπικά όμως το σύστημα ανακυκλοφορίας πηγαδιών αέρα είναι πολύ καλή προσέγγιση από άποψη κόστους για την αποκατάσταση ρυπασμένων υπόγειων υδάτων από πτητικούς οργανικούς ρύπους σε πεδία με υδροφόρους που βρίσκονται σε πολύ μεγάλο βάθος ακριβώς γιατί το νερό δεν χρειάζεται να φτάσει στην επιφάνεια.

Το σύστημα ανακυκλοφορίας με γεωτρήσεις είναι πιο αποτελεσματικό για την αποκατάσταση πεδίων με πτητικούς ρύπους με σχετικά υψηλή υδατοδιαλυτότητα και με μεγάλη πιθανότητα βιοδιάσπαση, αλογονομένα και μη αλογονομένα πτητικά οργανικά συστατικά-ρύποι. Τα πηγάδια ανακυκλοφορίας διαχειρίζονται πιο αποδοτικά οριζόντιες αγωγιμότητες μεγαλύτερες από 10-3 cm/sec και με μία αναλογία μεταξύ οριζόντιας και κάθετης αγωγιμότητας ανάμεσα σε 3 και 10. Μία αναλογία μεγαλύτερη του 3 υποδεικνύει μικρούς χρόνους ανακυκλοφορίας και μικρό βαθμό επιρροής. Αν όμως η αναλογία είναι μεγαλύτερη του 10, τότε οι χρόνοι ανακυκλοφορίας μπορεί να είναι μη αποδεκτά μεγάλοι.

3.3. Μονάδες Επεξεργασίας Νερού περιοχής Ασωπού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, η έκταση της ρύπανσης του Ασωπού ποταμού και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα μιας περιοχής από την περιοχή του Αγίου Θωμά έως τα Οινόφυτα, το Χαλκούτσι και τον Ωρωπό είναι πολύ μεγάλη. Τα υπόγεια νερά της περιοχής που μέχρι πρότινος τροφοδοτούσαν, μέσω γεωτρήσεων, τα νοικοκυριά της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ακατάλληλο προς πόση εξαιτίας των βαρέων μετάλλων και του πιο τοξικού εξασθενούς χρωμίου που ανιχνεύονται στο νερό.

Οι βιομηχανίες της περιοχής έχουν επίσης πρόβλημα με την ύδρευση, οπότε και έχουν καταφεύγουν σε διάφορες λύσεις όπως δηλώνουν οι υπεύθυνοι των βιομηχανιών αυτών προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες τόσο της παραγωγικής διαδικασίας όσο και των ίδιων των εργαζομένων. Μεγάλο ποσοστό των βιομηχανιών χρησιμοποιούν νερό από δικές τους

γεωτρήσεις που όμως επεξεργάζεται πριν χρησιμοποιηθεί από μονάδες επεξεργασίας νερού εγκατεστημένες στο χώρο του εργοστασίου. Άλλες βιομηχανίες χρησιμοποιούν βυτιοφόρα τα οποία μεταφέρουν σε αυτά νερό από το ταχυδιυλιστήριο Οινοφύτων ενώ παρέχουν στους εργαζομένους τους εμφιαλωμένο νερό. Τέλος άλλες βιομηχανίες επέλεξαν να εγκαταστήσουν οι ίδιες αγωγούς ώστε να τους παρέχεται νερό της ΕΥΔΑΠ (Βασιλοπούλου, 2007).

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται το γενικό τεχνολογικό πλαίσιο επεξεργασίας νερού επιβαρυσμένου με εξασθενές χρώμιο οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο διαδικασιών απορρύπανσης του υπόγειου νερού (με άντληση και επανεισπίεση, pump and treat) αλλά και στο πλαίσιο επεξεργασίας νερού για διάθεση στην ύδρευση. Για τις προτεινόμενες μονάδες επεξεργασίας πόσιμου νερού που θα αναφερθούν παρακάτω έχει ληφθεί υπόψη τυπική χημική ανάλυση του υπόγειου ύδατος της περιοχής.

3.3.1. Επεξεργασία Νερού

Σχεδόν πάντα τα φυσικά νερά και κυρίως τα επιφανειακά είναι αναγκαίο να επεξεργαστούν πριν κριθούν κατάλληλα για πόση, έτσι ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές ποιότητας που τίθενται από τη νομοθεσία. Η επεξεργασία αυτή έγκειται στην απομάκρυνση ανεπιθύμητων και βλαβερών συστατικών ή στην μετατροπή τους μετά από κατάλληλες φυσικές ή χημικές διεργασίες σε αβλαβή συστατικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Οι διεργασίες αυτές πραγματοποιούνται μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένες μονάδες επεξεργασίας νερού. Η επεξεργασία του νερού μπορεί να περιλαμβάνει την απλή αφαίρεση των φερτών και αιωρούμενων στερεών με κόσκινα, διεργασίες όπως η κροκίδωση και η καθίζηση ή και την προσθήκη φίλτρων άμμου. Μπορεί επίσης να συμπεριλαμβάνει την απομάκρυνση μικροσωματιδίων με μικρόφιλτρα, την αφαίρεση διαλυμένων μετάλλων με επιλεκτική κροκίδωση, την αφαίρεση ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου που προσδίδουν σκληρότητα με αποσκληρυντές ρητίνες, την συγκράτηση οργανικών συστατικών σε κλίνες ενεργού άνθρακα, την απολύμανση με χλώριο, οζόνωση ή με ακτίνες UV. Ακόμα, ο διαχωρισμός διαλυμένων υλικών με τη χρήση ημιπερατών μεμβρανών, δηλαδή διεργασίες όπως η υπερδιήθηση, νανοδιήθηση και αντίστροφη όσμωση, και η αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού για κάθε χρήση, όπως η πόση κ.α., αποτελούν μερικές επιπλέον διεργασίες που μπορεί να συναντήσει κανείς στην επεξεργασία του νερού (Μπέρκη, 2010).

Επιγραμματικά οι κυριότερες από αυτές περιγράφονται παρακάτω (Μπέρκη, 2010):

- Ιοντοεναλλαγή: η διεργασία αυτή είναι πολύ χρήσιμη όταν κρίνεται απαραίτητη η αποσκλήρυνση του νερού και περιλαμβάνει τη χρήση στερεών συνθετικών ρητινών.
- Καθίζηση – επίπλευση: η διεργασία αυτή στηρίζεται στο φαινόμενο της βαρύτητας και χρησιμοποιείται με στόχο την απομάκρυνση κυρίως των στερεών, μικροοργανισμών (φυκιών και βακτηρίων) κ.ά.
- Προσρόφηση: η διεργασία αυτή εκμεταλλεύεται την ικανότητα στερεών προσροφητικών μέσων, όπως ο ενεργός άνθρακας, έτσι ώστε να επιτευχθεί η απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και ιχνοστοιχείων ως βλαβερά.
- Ϊζηματοποίηση: κατά τη διεργασία αυτή χρησιμοποιούνται διάφορα αντιδραστήρια προκειμένου να επιτευχθεί διαχωρισμός των βλαβερών με τη μετατροπή τους σε ίζημα. Μετάλλων, όξινα ανθρακικά, φωσφορικά ιόντα και άλλα διαχωρίζονται υπό μορφή ιζημάτων.
- Αντίστροφη όσμωση: η διεργασία αυτή στηρίζεται στο φαινόμενο της όσμωσης προκαλώντας την ακριβώς αντίθετη διαδικασία έτσι ώστε να διαχωριστούν οι μικρορυπαντές και διαλυτά άλατα ως βλαβερά μέσω ημιπερατών μεμβρανών.
- Απολύμανση: είναι η διεργασία που ακολουθείται προκειμένου να καταστραφούν παθογόνοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιώντας απολυμαντικά μέσα όπως το όζον (O₃), οι ακτίνες UV και το χλώριο (Cl₂).

Πίνακας 5 Απαιτήσεις επεξεργασίας νερού για διάφορες πηγές & ποιότητες νερού (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ		
Χρήστης / Χρήση	Πηγή νερού	Βασική Επεξεργασία
Πόσιμο νερό, Δημοτικές Επιχειρήσεις, Ξενοδοχεία, Τουριστικές Εγκαταστάσεις, Οικισμοί, Κατοικίες	Λιμνοδεξαμενές, ποτάμια, φρέατα	Κροκίδωση, καθίζηση διύλιση σε άμμο, UV ή Οζονιστήρα
	Μολυσμένα φρέατα	Κλίνες Ενεργού Άνθρακα (AC)
	Οργανικά, φυτοφάρμακα	Αντίστροφη Όσμωση (RO)
Πόσιμο νερό για κατοικίες Ξενοδοχεία, οικισμοί, Γενική χρήση μέχρι πόσιμο	Υφάλμυρα φρέατα, Θάλασσα	Αντίστροφη Όσμωση (RO)
	Επισφαλής πηγή νερού	Compact: RO, AC, αποστείρωση UV
Πλοία, Σκάφη	Επισφαλείς πηγές νερού	Ενεργός Άνθρακας, Αντίστροφη Όσμωση, UV
	Θάλασσα	Compact: RO, AC, UV
Νοσοκομεία, Ιατρικές μονάδες αιμοκάθαρσης, Εργαστήρια		Ενεργός Άνθρακας, Αντίστροφη Όσμωση, UV ή Όζον
Βιομηχανίες: Νερό ψύξης	Πηγάδια, Δίκτυο	Αποσκλήρυνση
Βιομηχανίες: Λέβητες πίεσης	Δίκτυο ή πηγάδια	Αντίστροφη Όσμωση
Βιομηχανίες τροφίμων, ποτών	Νερό παραγωγής, πλύσεις	Μικρόφιλτρα, RO, UV ή Όζον
Βιομηχανίες: Ανακύκλωση	Απόβλητα μετά καθαρισμό	Αντίστροφη Όσμωση
Παραγωγή (γάλα, χυμοί)	Τυρόγαλα, συμπυκνώσεις	Αντίστροφη Όσμωση

3.3.2. Απομάκρυνση Εξασθενούς Χρωμίου με Προσροφητικά Μέσα

Η απομάκρυνση του χρωμίου από το νερό μπορεί να γίνει επιτόπου (in-situ) εφόσον οι συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή το επιτρέπουν. Μπορεί όμως και να γίνει και πάνω από στην επιφάνεια του εδάφους (ex-situ), με μία σειρά από μεθοδολογίες-τεχνολογίες οι οποίες ουσιαστικά αναγάγουν το Cr(VI) σε τρισθενές χρώμιο, το οποίο στη συνέχεια καθιζάνει ως υδροξείδιο του χρωμίου – Cr(OH)₃. Τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν επιτόπου με την εκχώρηση στον υδροφόρο προσροφητικών μέσων μέσω πηγαδιών-γεωτρήσεων όπως αυτό έχει ήδη περιγραφεί πιο πάνω. Επίσης οι ίδιες χημικές διεργασίες μπορούν να εφαρμοστούν ex-situ με την έννοια του ότι το νερό του υδροφόρου θα έχει αντληθεί πρώτα στην επιφάνεια και μετά θα περάσει από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού όπου θα μπορέσει να απομακρυνθεί το εξασθενές χρώμιο πιο ελεγχόμενα και εν συνεχεία να διατεθεί πάλι πίσω στον υδροφόρο. Ακολούθως αναφέρονται τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται αυτό στην επεξεργασία του νερού (Μπέρκη, 2010):

Ενεργός άνθρακας: τα φίλτρα ενεργού άνθρακα είναι κατάλληλα για την επεξεργασία νερού όταν αυτό είναι ρυπασμένο από αρσενικό, οργανικούς ρύπους, εξασθενές χρώμιο και γενικά άλλα τοξικά μέταλλα. Ο λιγνίτης ή η τύρφη αποτελούν τις πρώτες ύλες παρασκευής του ενώ τέλος αξίζει να σημειωθεί πως πρόκειται για μέσο χαμηλού κόστους.

Μεταλλικός Σίδηρος: Ο μεταλλικός σίδηρος (Fe⁰) αποτελεί το μέσο με το οποίο επιτυγχάνεται η μετατροπή του εξασθενούς χρωμίου Cr(VI) σε τρισθενές. Ομοίως μπορεί να απομακρυνθεί και το αρσενικό και μάλιστα συγχρόνως. Πρόκειται για μία διαδικασία χαμηλού κόστους ενώ η παρουσία νικελίου και χαλκού δεν επηρεάζουν την απόδοσή της.

Chitosan: αλλιώς χιτίνη, πρόκειται για ένα φυσικό πολυμερές που χρησιμεύει ως προσροφητικό μέσο βαρέων μετάλλων. Λόγω της ικανότητάς του να δημιουργεί δεσμούς με τα μέταλλα σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος παραγωγής του (15,43 \$ / kg) έχει αρχίσει να αναδεικνύεται. Επίσης έχει παρατηρηθεί πως σε pH = 4 έχει την ικανότητα να προσροφά 273 grCr+6/gr Chitosan αλλά έχει καλύτερες αποδόσεις στην επεξεργασία νερού με Hg σε σχέση με την επεξεργασία νερού ρυπασμένου με Cu, Ni, Cd και Pb.

Φύκια: τα φύκια ως προσροφητικό μέσο αποτελούν μία ακόμα εναλλακτική λύση με προσροφητική ικανότητα που φτάνει το 90% του μετάλλου που πρέπει να απορροφηθεί όπως έχει παρατηρηθεί στη περίπτωση του καδμίου και μάλιστα σε λιγότερο από 60 λεπτά.

Ζεόλιθος: η έντονη ιονταλλακτική ικανότητα του φυσικού ζεολίθου σε συνδυασμό με το χαμηλό του κόστος που κυμαίνεται από 0,03 – 0,12 \$/kg, τον καθιστά δυνατό υποψήφιο προσροφητικό μέσο στην επεξεργασία υγρών ρυπασμένων με βαρέα μέταλλα. Από την κρυστάλλωση του άλατος του αλουμινίου παίρνουμε τον φυσικό ζεόλιθο.

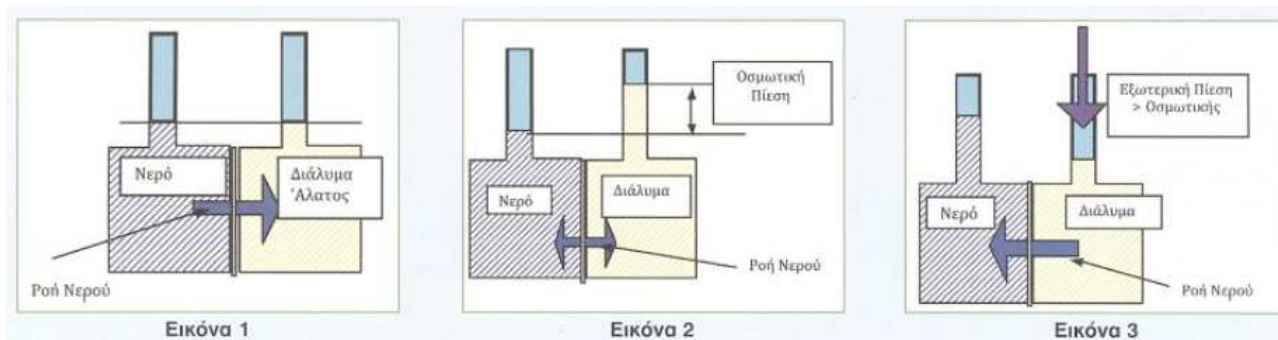
3.3.3 Αντίστροφη Όσμωση

Μία σημαντική ex-situ τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως πια στη περιοχή του Ασωπού από τις βιομηχανίες είναι η αντίστροφη όσμωση. Πρόκειται για μία μέθοδο η οποία καλύπτει απόλυτα την ανάγκη του στόχου της, εφόσον εφαρμοστεί σωστά, που είναι η αφαίρεση από το νερό αλάτων και άλλων στοιχείων όπως τοξικά, βακτήρια, καρκινογόνες ουσίες και βαρέα μέταλλα έτσι ώστε να καταστεί κατάλληλο ακόμα και για κατανάλωση από τον άνθρωπο.



Εικόνα 10 Τυπική compact μονάδα αντίστροφης όσμωσης (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

Το φαινόμενο της όσμωσης στηρίζεται στην ιδιότητα των «ημιπερατών» μεμβρανών, όταν παρεμβάλλονται μεταξύ καθαρού διαλύτη και διαλύματος, να επιτρέπουν την διέλευση των μορίων του διαλύτη, δια μέσου των μικροσκοπικών τους πόρους και να δημιουργούν ένα αραιότερο διάλυμα με υψηλότερη στάθμη (πίεση). Η πίεση λέγεται οσμωτική και το φαινόμενο όσμωση (εικόνα 1 από Εικόνα 11). Η διέλευση μορίων νερού, συνεχίζεται μέχρι την “φυσικοχημική” ισορροπία των δύο καταστάσεων του διαλύματος εκατέρωθεν της μεμβράνης (εικόνα 2 από Εικόνα 11), η ισορροπία αυτή λέγεται οσμωτική. Εάν ασκηθεί εξωτερική πίεση, υψηλότερη από την οσμωτική, στην πλευρά της ημιπερατής μεμβράνης με το πυκνότερο διάλυμα, το φαινόμενο της Όσμωσης αναστρέφεται, δηλαδή το νερό ρέει από το πυκνό (νερό τροφοδοσίας) προς το αραιό διάλυμα (καθαρό) ενώ η τροφοδοσία “εμπλουτίζεται” με τα παραμένοντα άλατα και αποχέεται σαν άλμη (εικόνα 3 από Εικόνα 11).



Εικόνα 11 Σχηματική περιγραφή αντίστροφης όσμωσης (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

Πίνακας 6 Στοιχεία τυπικών αποδόσεων καθαρισμού μονάδας αντίστροφης όσμωσης ανάλογα με το είδος της παροχής (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ							
Χαρακτηριστικό	μονάδα	Νερό δικτύου		Νερό υφάλμυρο		Θάλασσα	
		Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος
Αγωγιμότητα	μS/cm	750	15	14.000	200	49.000	<1.000
Ολικά στερεά	PPM	500-750	6 - 8	8-9.000	100	35-40.000	< 500 *
Na (Νάτριο)	PPM	50	< 1,5	2.500	40	9 – 10.000	<150
K (Κάλιο)	PPM	5 – 10	< 0,1	80	< 2	35	< 1
Ca (σκληρότητα)	PPM	110	< 0,5	130	< 0,5	300-350	< 2
Mg (σκληρότητα)	PPM	10	< 0,1	270	< 1	1300	< 5
Cl (Χλώριο)	PPM	150	< 4	4-4.500	50 - 60	20.000	250
SO4 (Θειικά)	PPM	100	< 0,5	600	< 2	2.500	< 3

Με άνα ακόμη πέρασμα σε απλή μεμβράνη μπορεί να φθάσει < 20 PPM

Η Αντίστροφη Όσμωση αναφέρεται στην λεπτότερη μορφή πόρων ημιπερατών μεμβρανών και διαχωρίζει ακόμη και τα μικρότερα διαλελυμένα συστατικά (μονοσθενή ιόντα, μικρομοριακά οργανικά) αποδίδοντας απόλυτα καθαρό και ουσιαστικά αφαλατωμένο νερό. Η Νανοδιήθηση, παραλλαγή της Αντίστροφής Όσμωσης, η οποία εξελίχθηκε τα τελευταία χρόνια, επιτυγχάνει, εάν αυτός είναι ο στόχος, διαχωρισμό μορίων ολίγον μεγαλύτερου μεγέθους αλλά με χαμηλότερες πιέσεις.

Τεχνολογίες Ημιπερατών Μεμβρανών

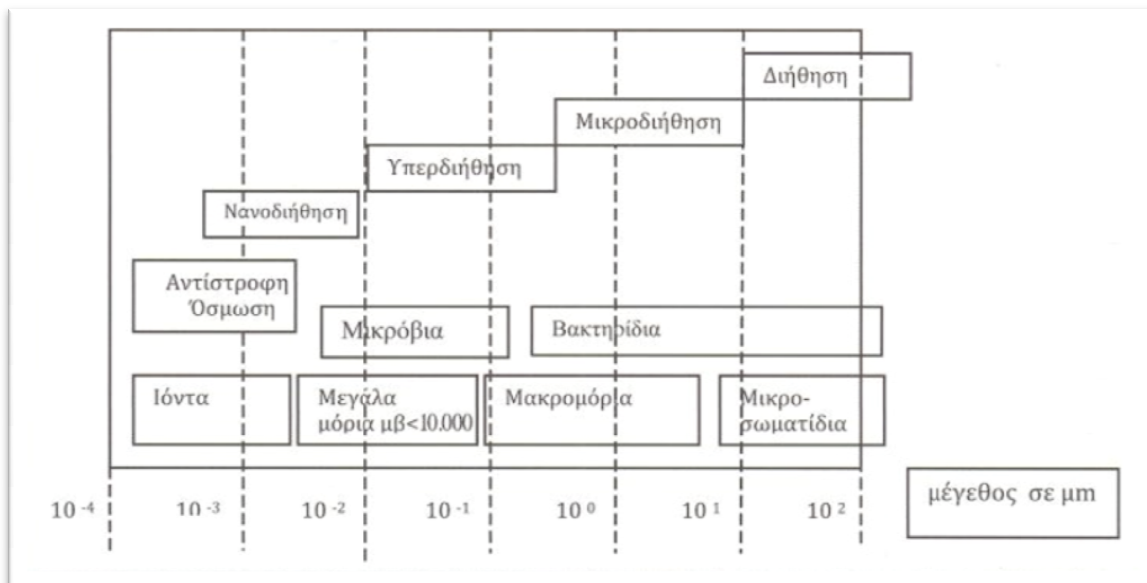
Η Αντίστροφη Όσμωση έχει δυνατότητα διαχωρισμού για νερό δικτύου ή φρεάτων με ουσίες μικρού μοριακού βάρους (<100) και η διαφορά πίεσης που θα χρειαστεί κυμαίνεται από 12 έως 20 bar, ενώ το προϊόν της διεργασίας θα είναι σχεδόν αφαλατωμένο νερό της τάξης 5-10 ppm. Για την ίδια τεχνολογία για διαχωρισμό υδατικού διαλύματος οργανικών η διαφορά πίεσης στη προκειμένη θα είναι ανάλογα με το φορτίο και τελικά θα έχουμε καθαρό νερό,

ενώ για πυκνά υδατικά διαλύματα, όπως υφάλμυρα φρέατα ή και θάλασσα η διαφορά πίεσης θα είναι μέχρι 70 bar και το νερό που θα πάρουμε θα είναι σχεδόν αφαιρωμένο της τάξης των 50-500 ppm. Η τεχνολογία της Νανοδιήθησης έχει δυνατότητα διαχωρισμού υδατικών διαλυμάτων, ουσιών με μοριακό βάρος μέχρι 150- 300 και θα χρειαστεί διαφορά πίεσης της τάξης των 10 bar και το τελικό προϊόν θα είναι αποσκληρωμένο νερό με 100% αφαίρεση δισθενών.

Η τεχνολογία της Υπερδιήθησης (Ultrafiltration) έχει δυνατότητα να διαχωρίσει διαλύματα μεγαλομορίων και γαλακτώματα ενώ κατά τη διαδικασία θα χρειαστεί διαφορά πίεσης μέχρι 10 bar και το τελικό προϊόν θα έχει υποστεί διεργασία τέτοια ώστε θα έχει γίνει αφαίρεση σωματιδίων και κολλοειδών μέχρι 100 nm.

Πίνακας 7 Τεχνολογίες ημι-περατών μεμβρανών (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΜΙΠΕΡΑΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ			
Τεχνολογία	Δυνατότητα Διαχωρισμού	Διαφορά Πίεσης	Προϊόν
Αντίστροφη Όσμωση	Νερό δικτύου ή φρεάτων με ουσίες μικρού μοριακού βάρους < 100	Από 12 έως 20 bar	Σχεδόν αφαιρωμένο νερό (5-10 PPM)
	Υδατικά διαλύματα Οργανικών	Ανάλογα με το φορτίο	Καθαρό νερό
	Πυκνά Υδατικά διαλύματα: πχ. υφάλμυρα φρέατα ή/και θάλασσα	Μέχρι 70 bar	Σχεδόν αφαιρωμένο νερό (50-500 PPM)
Νανοδιήθηση	Υδατικά διαλύματα ουσιών μέχρι μοριακό βάρος 150 – 300	Μέχρι 10 bar	Αποσκληρωμένο νερό 100% αφαίρεση δισθενών
Υπερδιήθηση (Ultrafiltration)	Διαλύματα Μεγαλομορίων, Γαλακτώματα	Μέχρι 10 bar	Αφαίρεση σωματιδίων, κολλοειδών μέχρι 100 nm



Διάγραμμα 4 Χαρακτηριστικά μεθόδων επεξεργασίας νερού (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

Μέσα καθώς οι διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας νερού, αρχίζουν να παραδίδουν τη θέση τους στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης υπό το βάρος των συγκριτικών πλεονεκτημάτων της τελευταίας, πραγματοποιήθηκε έρευνα αγοράς ειδικά για τις ανάγκες των υπόγειων υδάτων της περιοχής του Ασωπού, όπως περιγράφεται στο επόμενο Κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ

4.1. Εισαγωγή

4.1.1. Γενικά

Βασικό ζήτημα προκειμένου να αποτιμηθεί σε χρηματικούς όρους μία περιβαλλοντική ζημιά αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου περιβαλλοντικής οικονομίας. Οι μέθοδοι περιβαλλοντικής αποτίμησης μπορούν να διακριθούν σε μεθόδους που χρησιμοποιούν καμπύλης ζήτησης (demand curve approaches) και σε αυτές που δεν χρησιμοποιούν (non-demand curve approaches) για την εκτίμηση της αξίας ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας του οικοσυστήματος. Επίσης, διακρίνονται σε μεθόδους αποκαλυπτόμενης (revealed preference) ή έμμεσης (indirect) προτίμησης και δεδηλωμένης (stated preference) ή άμεσης (direct) προτίμησης. Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων συχνά διαφέρει.

Ανεξαρτήτως κατηγοριοποίησης, οι μέθοδοι περιβαλλοντικής αποτίμησης διαφέρουν σημαντικά ως προς τα απαιτούμενα δεδομένα, την πολυπλοκότητα των υπολογισμών και τη μετρούμενη αξία του αγαθού, η οποία καθορίζει και την καταλληλότητα της μεθόδου σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Για παράδειγμα, οι μέθοδοι που δεν στηρίζονται σε καμπύλες ζήτησης υπολογίζουν μόνο ένα μέρος της συνολικής αξίας του αγαθού (θεωρητικά τουλάχιστον υπολογίζουν μέρος μόνο ακόμη και της αξίας χρήσης). Επίσης, η μη χρηστική (non-use) αξία ενός αγαθού μπορεί να υπολογιστεί μόνο με άμεσες μεθόδους αποτίμησης. Τέλος, κάποιες μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν μόνο ex post, ενώ άλλες εφαρμόζονται τόσο ex post όσο και ex ante (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008).

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιείται, για την αποτίμηση της περιβαλλοντικής ζημίας της ρύπανσης της περιοχής του Ασωπού, η Μέθοδος της Αποτρεπτικής Συμπεριφοράς, η οποία περιγράφεται αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα.

4.1.2. Μέθοδος Αποτρεπτικής Συμπεριφοράς

Η μέθοδος της αποτρεπτικής συμπεριφοράς στηρίζεται στα μέτρα που λαμβάνουν τα μέλη της κοινωνίας για να μειώσουν τους κινδύνους που σχετίζονται με την υποβάθμιση του

περιβάλλοντος ή περιβαλλοντικού αγαθού προκειμένου να προκύψουν συμπεράσματα για την αξία του εξεταζόμενου αγαθού ή υπηρεσίας.

Στη μέθοδο αυτή συμπεριλαμβάνονται οι μέθοδοι του κόστους Αποφυγής, κόστους Αποκατάστασης και του κόστους Υποκατάστασης, οι οποίες αποτιμούν την αξία ενός περιβαλλοντικού (ή κοινωνικού) αγαθού ή μιας υπηρεσίας βασιζόμενες:

- στο κόστος λήψης προληπτικών μέτρων για την αποφυγή μιας ζημιάς ή ενόχλησης
- στο κόστος της «θεραπείας» της ζημιάς με τη λήψη μέτρων αποκατάστασης
- στο κόστος υποκατάστασης του απολεσθέντος αγαθού με τη λήψη μέτρων αντικατάστασης του απολεσθέντος αγαθού (π.χ. δημιουργία δικτύου μεταφοράς πόσιμου νερού σε μια κοινότητα, η οποία, λόγω της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα, δεν έχει πλέον τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί τα υπόγεια νερά για το σκοπό αυτό).

Η μέθοδος αυτή δεν στηρίζεται στην παραδοχή ότι η αξία του περιβαλλοντικού αγαθού ταυτίζεται με την τιμή εμπορικών αγαθών όπως για παράδειγμα των έργων εξυγίανσης υδροφόρων, της εναλλακτικής τροφοδοσίας νερού κ.ά. Έτσι, θεωρητικά τουλάχιστον, υποτιμά την πραγματική αξία του εξεταζόμενου αγαθού. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις προτιμάται λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, όπως η απλότητα και η ευθύτητα των αποτελεσμάτων.

Στη περίπτωση της συγκεκριμένης έρευνας η αποτίμηση της περιβαλλοντική ζημιάς της ευρύτερης περιοχής του Ασωπού εξετάζεται στη βάση του κόστους υποκατάστασης του αγαθού που χάθηκε (υδρευτικό νερό από τους υπόγειους υδροφορείς της περιοχής) λόγω της ρύπανσης.

4.1.3. Μέτρα υποκατάστασης στην περίπτωση μελέτης

Όπως περιγράφηκε στο Κεφ. 3, τον Αύγουστο του 2007 έγινε γνωστή η μεγάλη έκταση του προβλήματος της ρύπανσης του Ασωπού ποταμού και των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων της περιοχής. Σημαντική παράμετρο του προβλήματος της ρύπανσης αποτέλεσαν οι υψηλές συγκεντρώσεις του εξασθενούς χρωμίου που αγγίζουν τα 150 µgr/lit, καθώς και άλλων βαρέων μετάλλων και μη μεταλλικών στοιχείων, καθιστώντας το νερό ακατάλληλο για ύδρευση. Το πρόβλημα αποδείχτηκε ιδιαίτερος σοβαρό, καθώς η πλειοψηφία των δήμων μιας περιοχής από τη Θήβα έως τα Οινόφυτα, την Αυλίδα και τον Ωρωπό προμηθευόταν πόσιμο

νερό από γεωτρήσεις και ασκήθηκε πίεση στους αρμόδιους φορείς για άμεση εξεύρεση λύσης για την ύδρευση των κατοίκων με κατάλληλης ποιότητας νερό.

Από την πλευρά της Πολιτείας, τα μέτρα που ελήφθησαν σταδιακά αφορούσαν στην υποκατάσταση του πόσιμου νερού για την περιοχή του Ωρωπού, μέσω δευτερεύοντος δικτύου της ΕΥΔΑΠ, με νερό από τις πηγές Μαυροσουβάλας, ενώ για την περιοχή του Δήμου Οινοφύτων εγκαταστάθηκε ταχυδιωλιστήριο επεξεργασίας του νερού της λίμνης Υλίκης και του καναλιού του Μόρνου, το οποίο παρέχεται επίσης από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ. Παρόλα αυτά, οι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής, λόγω έλλειψης εμπιστοσύνης στην ποιότητα του δικτύου ύδρευσης, χρησιμοποιούν μέχρι και σήμερα εμφιαλωμένο νερό, σε αρκετές περιπτώσεις, για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Είναι δε χαρακτηριστικό ότι πολλοί από τους κατοίκους χρησιμοποιούν εμφιαλωμένα νερά για να καλύψουν ακόμη και ανάγκες υγιεινής, κυρίως των μικρών παιδιών.

Σε αυτή τη βάση, λοιπόν, εξετάζονται μέτρα σε επίπεδο νοικοκυριού και οικισμού. Τα μέτρα αυτά, όπως περιγράφεται παρακάτω, αφορούν τόσο στις δράσεις που έχουν αναληφθεί από τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας ή τους ίδιους του κατοίκους (π.χ. εμφιαλωμένο νερό), όσο και σε μέτρα που προτείνονται από την εργασία αυτή στη βάση εμπειριστατωμένης έρευνας αγοράς.

4.2. Περιγραφή Ληφθέντων Μέτρων

4.2.1. Ταχυδιωλιστήριο Οινοφύτων

A. ΓΕΝΙΚΑ

Για να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος διύλισης του νερού από φυσικούς ταμιευτήρες λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

- Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων.
- Η ευκολία λειτουργίας των εγκαταστάσεων.
- Οι δυνατότητες προσαρμογής του συστήματος για αποτελεσματική επεξεργασία στην περίπτωση διακυμάνσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους προς επεξεργασία νερού.

- Οι δυνατότητες επέκτασης των εγκαταστάσεων στην περίπτωση αύξησης της ζήτησης ή μελλοντικής θέσπισης αυστηρότερων κριτηρίων ποιότητας του πόσιμου νερού.
- Η διαθεσιμότητα των απαιτούμενων χημικών.
- Η ευκολία κατασκευής των έργων.

Η εγκατάσταση Διυλιστηρίου νερού με πίεση (ταχυδιυλιστήριο) των Οиноφύτων έχει σήμερα ολοκληρωθεί, και μάλιστα είναι δυνατή και μία πιθανή μελλοντική επέκτασή του. Η ταχεία δύλιση κρίθηκε ως κατάλληλη για την περίπτωση της περιοχής των Οиноφύτων, καθώς η ποιότητα του ανεπεξέργαστου νερού από το Μόρνο και την Υλίκη εκτιμάται ότι είναι μέση έως καλή. Επιπροσθέτως, αναμένεται η ποιότητα του ανεπεξέργαστου αυτού νερού να βελτιωθεί στο μέλλον. Σημαντικό ρόλο στη συγκεκριμένη επιλογή διαδραμάτισε η καλή θέση των εγκαταστάσεων του διυλιστηρίου, κοντά στις βιομηχανίες και στα αστικά κέντρα και με εύκολη πρόσβαση σε μονάδες παροχής διάφορων απαραίτητων παρελκόμενων, η οποία αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα.

Η σημερινή δυναμικότητα του διυλιστηρίου ανέρχεται στα 300 m³/h, δηλαδή μπορεί να οδηγήσει σε ημερήσια παραγωγή 7200 m³. Εκτιμάται πως με την ήδη υπάρχουσα δυναμικότητα, υπό την παραδοχή πως ο κάθε άνθρωπος καταναλώνει περίπου 200 λίτρα νερού ημερησίως πλέον των απωλειών που στην περίπτωση του δικτύου Οиноφύτων οδηγούν σε προσαύξηση της κατανάλωσης κατά 25%, συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση θα μπορούσε να τροφοδοτήσει επαρκώς, στο σύνολό τους, τους κατοίκους των Οиноφύτων και του Αγίου Θωμά. Στην πραγματικότητα, με βάση προφορικές πληροφορίες, το ταχυδιυλιστήριο τροφοδοτεί και αδευκρίνιστο αριθμό βιομηχανιών της ευρύτερης βιομηχανικής περιοχής των Οиноφύτων και οδηγεί σε ελλείμματα και την ύδρευση. Έτσι, εκτιμάται πως μόνο το 21,1% του νερού του ταχυδιυλιστηρίου διατίθεται τελικά στους κατοίκους της περιοχής.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως κάτοικοι που καταναλώνουν νερό προερχόμενο από το ταχυδιυλιστήριο Οиноφύτων, οι οποίοι ισχυρίζονται ότι το νερό έχει κίτρινο χρώμα και δεν είναι διαυγές. Αυτό οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στο παλαιό δίκτυο ύδρευσης της περιοχής, στο οποίο λόγω φθοράς διεισδύουν διάφορες ουσίες και χρώμα που δίνουν στο νερό αυτή την μη διαυγή όψη. Συμπερασματικά χρειάζεται να διεξαχθεί μελέτη ώστε να αποφανθεί σε ποια σημεία χρειάζεται επισκευή το δίκτυο ή ίσως και αντικατάσταση.

B. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Τα βασικά τμήματα της Μονάδας διύλισης είναι τα ακόλουθα:

1. Δεξαμενή συγκέντρωσης και αποθήκευσης του προς επεξεργασία νερού. Η δεξαμενή αυτή έχει όγκο 200 m³ περίπου, είναι κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σ' αυτήν συγκεντρώνονται τα νερά που έρχονται από τον Μόρνο και την Υλίκη.



Εικόνα 12 Δεξαμενή συγκέντρωσης νερού από οπλισμένο σκυρόδεμα στο Ταχυδιυλιστήριο Οινοφύτων (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

2. Αντλητικά συγκροτήματα τροφοδοσίας των φίλτρων με ακατέργαστο νερό. Οι αντλίες αυτές αντλούν το προς επεξεργασία νερό από την δεξαμενή συγκέντρωσης προς τα φίλτρα διύλισης. Είναι εγκατεστημένες τρεις αντλίες τροφοδοσίας (μία ανά φίλτρο). Η παροχή κάθε μιας ανέρχεται στα 100 m³/h και το μανομετρικό τους ύψος σε 22 m Σ.Υ. (Στήλη Ύδατος)
3. Αντλητικό συγκρότημα αντίστροφης πλύσης των φίλτρων με επεξεργασμένο νερό. Η αντλία αυτή αντλεί επεξεργασμένο νερό από την δεξαμενή του επεξεργασμένου νερού και τροφοδοτεί τα φίλτρα αντίστροφα για την πραγματοποίηση της πλύσης. Είναι εγκατεστημένη μία αντλία τροφοδοσίας και για τα τρία φίλτρα. Η παροχή της αντλίας ανέρχεται στα 150 m³/h και το μανομετρικό της ύψος σε 20,5 m Σ.Υ.(Στήλη Ύδατος)

4. Λοβοειδής φυσητήρας παροχής 250 m³/h και μανομετρικού 700 mbar για τη βελτίωση της αντίστροφης πλύσης.

Κροκιδωτικά

Προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση της διήθησης που ακολουθεί, γίνεται προσθήκη κροκιδωτικών έτσι ώστε να δημιουργηθούν θρόμβοι (συσσωματώματα). Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται χημικά κροκιδωτικά, ως πρόσθετα, άλατα σιδήρου ή αλουμινίου και πολυηλεκτρολύτες. Ο τύπος και η εκάστοτε δόση του χημικού πρόσθετου προσδιορίζονται με δοκιμές επί δειγμάτων του προς επεξεργασία νερού και προσδιορίζονται, τελικά, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του έργου. Στην προκειμένη περίπτωση, ο σχεδιασμός του έργου έχει γίνει με την παραδοχή ότι τα κροκιδωτικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι το θειικό αργίλιο σε σκόνη και πολυηλεκτρολύτης, τα οποία αποτελούν τα συνήθως χρησιμοποιούμενα κροκιδωτικά στις ελληνικές συνθήκες.

Το θειικό αργίλιο διατίθεται υπό μορφή σκόνης, κοκκομετρίας 1-3 mm. με φαινόμενο ειδικό βάρος 1.000 kg/m³ και διατίθεται σε μικρούς σάκους των 50 kg ή σε ειδικούς σάκους (big bags), χωρητικότητας 1 m³ ή 1 tn.

Ο πολυηλεκτρολύτης διατίθεται στο εμπόριο υπό μορφή σκόνης σε συσκευασία σάκων των 25 kg. Κάθε σάκος περιέχει σκόνη πολυηλεκτρολύτη κοκκομετρίας 0,5 – 2 mm με φαινόμενο ειδικό βάρος 600 kg/m³. Στις μικρές εγκαταστάσεις, όπως η παρούσα, διατίθεται εναλλακτικά πολυηλεκτρολύτης σε πυκνό διάλυμα 1%.

Η προσθήκη του θειικού αργιλίου στο ακατέργαστο νερό γίνεται πριν από την πρώτη διήθηση (φίλτραση 1^{ης} βαθμίδας) ενώ η προσθήκη πολυηλεκτρολύτη γίνεται πριν από την 2^η βαθμίδα φίλτρασης.

Τα κροκιδωτικά αποθηκεύονται, ως διαλύματα, σε δεξαμενές μέσα στις οποίες υπάρχουν ηλεκτροκίνητοι αναδευτήρες, οι οποίοι βοηθούν στο σχηματισμό και συντήρηση των κροκιδωτικών διαλυμάτων. Από τις δεξαμενές αυτές αναρροφούνται μέσω ηλεκτροκίνητων δοσομετρικών αντλιών και προστίθενται στο νερό τη κατάλληλη χρονική στιγμή. Η δοσολογία ρυθμίζεται χειροκίνητα και εν συνεχεία συνεχίζει σταθερή, αφού το ταχυδωλιστήριο είναι σταθερής παροχής.

Για το θειικό αργίλιο ισχύουν τα ακόλουθα:

- Συνήθης δόση: 5-15 mg/l

- Μεγίστη δόση: 30 mg/l
- Τροφοδοσία με διάλυμα 10%.

Για τον πολυηλεκτρολύτη ισχύουν τα ακόλουθα:

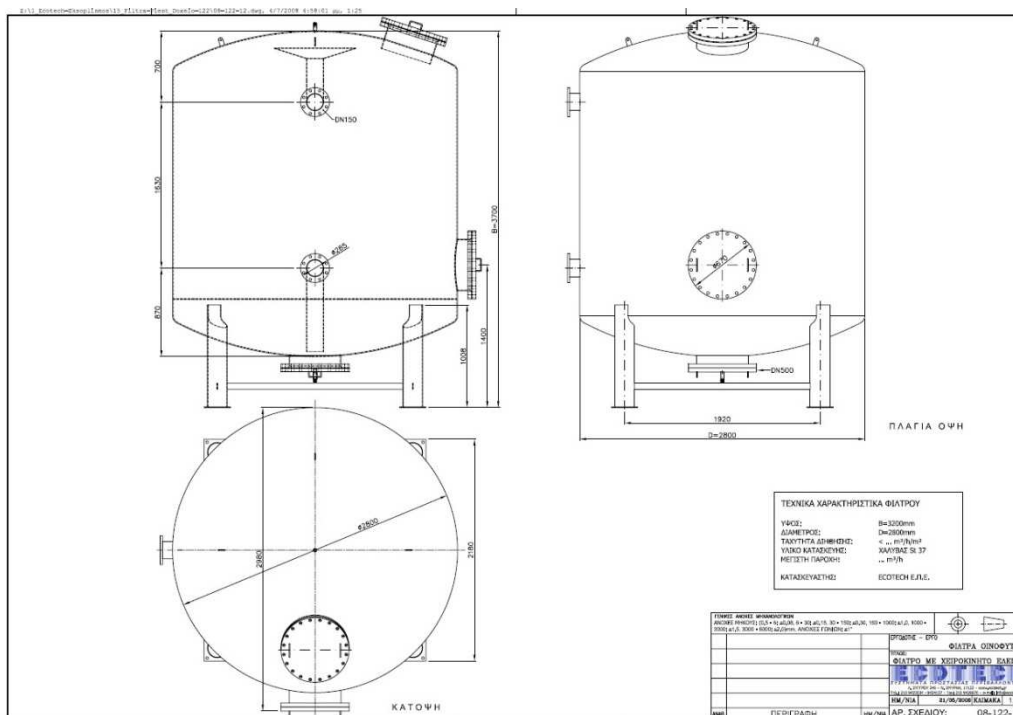
- Συνήθης δόση: 0,1-0,3 mg/l
- Μεγίστη δόση: 0,5 mg/l
- Τροφοδοσία με διάλυμα 0,2-0,5%

Φίλτρα διύλισης

Κάθε φίλτρο αποτελείται βασικά από μεταλλικό (χαλύβδινο) δοχείο στο εσωτερικό του οποίου βρίσκονται το σύστημα κατανομής νερού, οι απαραίτητες σωληνώσεις και οι αντίστοιχες βαλβίδες καθώς επίσης και τα αναγκαία υλικά διήθησης.

Στην εξωτερική του επιφάνεια, το δοχείο φίλτρου είναι χαλύβδινο και προστατευμένο με κατάλληλες αντιδιαβρωτικές εποξειδικές βαφές, ενώ για την εσωτερική επιφάνεια η βαφή έχει επιλεγθεί έτσι ώστε να παρέχει προστασία τόσο στο δοχείο όσο και στο νερό με το οποίο έρχεται σε επαφή. Η βαφή αυτή είναι αδιάλυτη και κατάλληλη για τρόφιμα.

Το δοχείο φίλτρου είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να αντέχει στην πίεση λειτουργίας, η οποία ορίζεται σε τουλάχιστον 4 atm (δοκιμή αντοχής τουλάχιστον 6 atm) και φέρει ανοίγματα – ανθρωποθυρίδες που παρέχουν εύκολη πρόσβαση για επιθεώρηση και για τυχόν αντικατάσταση των υλικών φίλτρανσης. Το κατακόρυφο κυλινδρικό μέρος είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να διαθέτει κατάλληλο ελεύθερο ύψος προκειμένου να είναι δυνατή η ανύψωση των υλικών διήθησης κατά τη διάρκεια της αντίστροφης πλύσης ανάλογα πάντα με τη προβλεπόμενη μέθοδο και την ταχύτητα πλύσης.



Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φίλτρων είναι τα ακόλουθα (ECOTECH ΕΠΕ):

• Ποσότητα	τεμ. 3
• Είδος	πίεσης
• Διάμετρος	2800 mm
• Ύψος κυλίνδρου	2200 mm
• Ύψος ολικό	3700 mm
• Διατομή σωληνώσεων	DN 150
• Αριθμός βανών	τεμ. 5
• Τύπος βανών	πνευματικές
• Υλικό κατασκευής φίλτρων	χάλυβας ST 37.2
• Αντιδιαβρωτική προστασία έξω	βαφή πολυουρεθάνης
• Αντιδιαβρωτική προστασία μέσα	βαφή τροφίμων FOODGRADE
• Κοκκομετρία άμμου	1,5-2,5 0,15 m 1,0-1,7 0,15 m 0,8-1,25 0,70 m

Λειτουργία του φίλτρου και ταχύτητα φίλτρανσης

Στο σύστημα του ταχυδιυλιστηρίου είναι τοποθετημένες στις κατάλληλες θέσεις οκτώ ανεξάρτητες βαλβίδες, οι οποίες κλείνουν και ανοίγουν ώστε να κατευθύνουν τη ροή του νερού κατά τις φάσεις της κανονικής λειτουργίας, της αντίστροφης πλύσης και της κανονικής πλύσης.

Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της διάταξης διήθησης, το ακατέργαστο νερό, εισέρχεται από το πάνω μέρος του φίλτρου και κατεβαίνει μέσω των κλινών φίλτρανσης, ενώ ταυτόχρονα απαλλάσσεται από σωματίδια, ιζήματα και κολλοειδή. Στη συνέχεια εξέρχεται από το κάτω μέρος του πρώτου φίλτρου και εισέρχεται στο πάνω μέρος του δεύτερου φίλτρου, όπου κατά τη διέλευσή του από την κλίνη φίλτρανσης απαλλάσσεται

και από τα υπολείμματα θολότητας που διέρρευσαν από το πρώτο φίλτρο. Όταν η μέγιστη επιθυμητή πτώση πίεσης αναπτυχθεί εντός του συστήματος των δυο φίλτρων, δίνεται εντολή να ξεκινήσει η πλύση των φίλτρων που περιλαμβάνει, αφενός αντίστροφη πλύση με ροή από κάτω προς τα πάνω, αφετέρου κανονική πλύση με ροή από πάνω προς τα κάτω.

Η αντίστροφη πλύση γίνεται είτε με αέρα και νερό σε πρώτη φάση, είτε μόνο με νερό για τις υψηλότερες ταχύτητες πλύσης. Η αντίστροφη πλύση πραγματοποιείται έτσι ώστε το νερό να διέρχεται μέσα από τις κλίνες φίλτρανσης, να τις αναμοχλεύει και να παρασύρει προς τα επάνω και εν συνεχεία προς την αποχέτευση όλες τις ανεπιθύμητες ουσίες που έχουν κατακρατηθεί.

Επίσης, η εφαρμογή κανονικής πλύσης ή πλύσης τακτοποίησης σε αυτή τη φάση είναι απαραίτητη έτσι ώστε το νερό να διέρχεται μέσα από τις κλίνες φίλτρανσης από πάνω προς τα κάτω αυτή τη φορά, παρασύροντας στην αποχέτευση κάθε υπόλοιπο ακαθαρσίας και, ταυτόχρονα, τακτοποιώντας για μία ακόμα φορά τις κλίνες που είχαν διαταραχθεί κατά την αντίστροφη πλύση, να προετοιμαστεί το φίλτρο για την κανονική λειτουργία του. Η συνολική διάρκεια πλύσης είναι 20 – 30 λεπτά.



Εικόνα 14 Φίλτρα Ταχυδιωλιστηρίου Οινοφύτων (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

Για την διαστασιολόγηση των φίλτρων και της παροχής νερού πλύσης ισχύουν οι εξής παραδοχές:

- Ταχύτητα φίλτρανσης: $15 - 20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
- Ταχύτητα νερού κατά την αντίστροφη πλύση: $25 - 35 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

Χλωρίωση

Η απολύμανση του νερού στην εγκατάσταση γίνεται με χλωρίωση και πιο συγκεκριμένα με χρήση υποχλωριώδους νατρίου. Σκοπός της χλωρίωσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και η δημιουργία υπολειμματικής δράσης, για προστασία από πιθανή μόλυνση του νερού στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής του. Η προσθήκη του χλωρίου στο νερό πραγματοποιείται κατάντη των φίλτρων και πριν την δεξαμενή αποθήκευσης του νερού.

Για την απολύμανση του νερού επιλέχθηκε η μέθοδος της χλωρίωσης με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου και όχι της χλωρίωσης με υγροποιημένο (αέριο) χλώριο, αν και κοστολογικά είναι ακριβότερη, για τους ακόλουθους λόγους:

- Είναι η μέθοδος που τα τελευταία χρόνια προτιμάται σε μικρές και μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις λόγω του απλούστερου απαιτούμενου εξοπλισμού αλλά και λόγω της ασφάλειας που παρέχει έναντι ατυχημάτων.
- Η συνολικά απαιτούμενη ποσότητα υποχλωριώδους νατρίου είναι σχετικά μικρή και η προμήθεια του σχετικού διαλύματος είναι ευχερής και χωρίς προβλήματα. Σημειώνεται ότι χρησιμοποιείται ποσότητα διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου 15% κ.ο. ή 12,4% κατά βάρος.

Εκτός από την απολύμανση του καθαρού νερού (μεταχλωρίωση) γίνεται και ισχυρή χλωρίωση κατά τη διάρκεια της αντίστροφης πλύσης με σκοπό την απολύμανση των κλινών φίλτρανσης από το συσσωρευμένο οργανικό φορτίο και την παρεμπόδιση ανάπτυξης του στη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του φίλτρου. Η μέγιστη δοσολογία κατά την χλωρίωση αυτή μπορεί να φθάσει τα $30 \text{ gr}/\text{m}^3$.

Η ικανότητα αποθήκευσης της εγκατάστασης χλωρίωσης σε υποχλωριώδες νάτριο φτάνει τα 300 λίτρα περίπου.

Για κάθε μια χλωρίωση (νερού πλύσης και καθαρού νερού) έχει τοποθετηθεί μια ανεξάρτητη δοσομετρική αντλία. Η λειτουργία των δοσομετρικών αντλιών είναι αυτόματη και η ρύθμιση της δοσολογίας γίνεται χειροκίνητα.

Κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας Ταχυδιωλιστηρίου

Το κόστος κατασκευής του ταχυδιωλιστηρίου (χωρίς Φ.Π.Α.) αναλύεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8).

Μαζί με το οικοδομικό κόστος, το Φ.Π.Α., το εργολαβικό κέρδος, την αρχική μελέτη και τους αγωγούς μεταφοράς του νερού, ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου (ταχυδιωλιστήριο) ανήλθε σε περίπου 900.000 ευρώ. Όσον αφορά στο λειτουργικό κόστος του έργου, εκτιμήθηκε ότι ανέρχεται περίπου στο ποσό των 0,03 ευρώ/m³.

Πίνακας 8 Εκτίμηση του κόστους του Ταχυδιωλιστηρίου Οινοφύτων

Είδος	Κόστος
Φίλτρα, 3 τεμ.	120.000,00
Άμμος, σε 3 τεμ. x 6,5 m ³ x 1,6 x 0,20	9.600,00
Αντλίες τροφοδοσίες και πλύσης, 2 τεμ.	10.000,00
Φυσητήρες, 1 τεμ.	5.000,00
ΗΛ/BANEΣ, 15 τεμ.	15.000,00
Εργασίες αντλιών, βανοστασίων, αέρα & υδραυλικά υλικά	40.000,00
Αντλίες Διάθεσης (ανάλογα με το μανόμετρο), 2 τεμ.	12.000,00
Εργασίες Α/Σ (αντλιοστασίου) διάθεσης	10.000,00
Ηλεκτρικός Πίνακας	10.000,00
Ηλεκτρολογικά	15.000,00
Χλωρίωση	5.000,00
εργασίες τοποθέτησης δοκιμών και θέση λειτουργίας	18.400,00
Μερικό Σύνολο	270.000,00
Τελικό κόστος (μελέτες, οικοδομικά, Γ.Ε. & Ο.Ε., Φ.Π.Α κ.ά.)	900.000

4.2.2. Έργο Μεταφοράς Νερού Πηγών Μαυροσουβάλας

Όπως αναφέρθηκε, για την υδροδότηση του Ωρωπού και των γειτονικών οικισμών αφορά στην κατασκευή νέου αγωγού από τις πηγές της Μαυροσουβάλας και σε αναβάθμιση του

υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης, καθώς και σε άλλα συμπληρωματικά έργα (π.χ. χωματουργικά, δεξαμενές, κ.ά.) και Η/Μ εξοπλισμό

Προκειμένου να ολοκληρωθούν οι εργασίες του έργου πραγματοποιήθηκαν γεωλογικές μελέτες στην περιοχή ώστε να ληφθούν στοιχεία για την κατάσταση του υδροφόρου. Ο υδροφόρος της περιοχής, λοιπόν, χαρακτηρίζεται ως καρστικός με ύπαρξη ιζημάτων του Νεογενούς και του γεωλογικού σχηματισμού φλύσχη σε μικρότερο όμως ποσοστό. Πρόκειται για ελεύθερο, χωρίς πηγαιές αναβλύσεις ή αδιαπερατά τμήματα κατά τη κίνηση του υπόγειου ύδατος, ο οποίος αποστραγγίζεται στις πηγές Καλάμου στο ύψος της θάλασσας.

Τεχνικά Στοιχεία

Το έργο υποκατάστασης, που πραγματοποιήθηκε, περιλαμβάνει την κατασκευή νέου αγωγού κατάλληλου να μεταφέρει νερό από τον υδροφόρο της περιοχής Μαυροσουβάλας στον Ωρωπό, την σύνδεσή του με το δευτερεύον δίκτυο ύδρευσης, την αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος δικτύου ύδρευσης, καθώς επίσης και άλλα συμπληρωματικά έργα, όπως χωματουργικά, εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, κατασκευή δεξαμενών κ.ά.

Πιο συγκεκριμένα, το νερό αντλείται μέσω ενός μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων που έχουν ορυχθεί μέσα και γύρω από το αντλιοστάσιο της Μαυροσουβάλας. Στις εγκαταστάσεις του αντλιοστασίου συμπεριλαμβάνεται και ένα αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης των υδρολογικών μεγεθών σε συνδυασμό με σύστημα πρόγνωσης. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι βασικά η ορθολογική διαχείριση του υπόγειου νερού με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ηλεκτρονικό δίκτυο μετρήσεων τόσο των ποιοτικών όσο και των ποσοτικών χαρακτηριστικών του υδροφόρου σε πραγματικό χρόνο, καθώς επίσης και λογισμικό ελέγχου και διαχείρισης. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση βασίστηκε σε ένα υδραυλικό μοντέλο προσομοίωσης της υπόγειας στάθμης του νερού το οποίο αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Ξανθάκης κ.ά., 2005).

Οικονομικά Στοιχεία

Το γενικό σύνολο των εργασιών του έργου υποκατάστασης του νερού στον Ωρωπό με νερό από τις πηγές Μαυροσουβάλας, εκτιμάται βάσει του προϋπολογισμού της μελέτης. Ο προϋπολογισμός αυτός ανέρχεται στα 10.375.835 ευρώ. Η τιμή αυτή είναι ανηγμένη σε τιμές του 2010 και περιλαμβάνει το Φ.Π.Α.

4.2.3. Χρήση Εμφιαλωμένου Νερού

Η αγορά εμφιαλωμένων νερών για την κάλυψη των αναγκών πόσιμου νερού αποτελεί μέτρο που λαμβάνουν τα νοικοκυριά της περιοχής για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η πρακτική αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι κάτοικοι της περιοχής μελέτης δεν εμπιστεύονται το νερό δικτύου. Ιδιαίτερα στη περίπτωση των Οиноφύτων, ο φόβος για το ενδεχόμενο επιμολύνσεων του υπάρχοντος δικτύου λόγω φθορών μειώνει ακόμα περισσότερο την εμπιστοσύνη των πολιτών στο παρεχόμενο νερό. Συγκεκριμένα, περίπου το 77% των νοικοκυριών των Οиноφύτων και το 58% των νοικοκυριών του Ωρωπού φαίνεται να χρησιμοποιούν εμφιαλωμένο νερό. Σημειώνεται πως το εμφιαλωμένο νερό δεν καλύπτει αυστηρά την ανάγκη πόσιμου νερού. Πολλοί από τους κατοίκους χρησιμοποιούν εμφιαλωμένο νερό για να καλύψουν και ανάγκες υγιεινής ιδιαίτερες των μικρών παιδιών τους από φόβο δημιουργίας προβλημάτων υγείας.

Ο πληθυσμός της περιοχής μελέτης φτάνει σε σύνολο τους 15101 κατοίκους ενώ τα νοικοκυριά υπολογίζονται σε 5025. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή Οиноφύτων /Αγίου Θωμά διαμένουν 7504 κάτοικοι και στην περιοχή Ωρωπού / Χαλκουτσίου 7597 κάτοικοι, αντίστοιχα. Οι ημερήσιες απαιτήσεις πόσιμου νερού ανά άτομο εκτιμώνται σε περίπου 2-4 λίτρα (UN-water, 2011), ενώ η ετήσια κατανάλωση ανά άτομο εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα, σήμερα, εκτιμάται να είναι της τάξεως των 100 λίτρων νερού ετησίως (Mediterranean SOS, 2011), αν και το 2004 ήταν 50 λίτρα νερού (Worldwater, 2011). Για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας, η μέση κατανάλωση νερού ανά άτομο την ημέρα εκτιμάται σε 3 λίτρα, οπότε λαμβάνοντας υπόψη πως η συσκευασία εμφιαλωμένου νερού των 9 λίτρων κοστίζει 3 ευρώ. Συμπεριλαμβάνοντας το νερό που χρειάζεται ένα νοικοκυριό για μαγείρεμα, υπολογίζεται ότι τα ετήσια έξοδα ανά νοικοκυριό για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου είναι 1096 ευρώ και για την περιοχή Οиноφύτων-Αγίου Θωμά 1098 ευρώ (λαμβάνοντας υπόψη τον μέσο αριθμό κατοίκων της εκάστοτε περιοχής).

Είναι φανερό ότι τα παραπάνω έξοδα νερού για πόση και μαγείρεμα υποκαθιστούν μερικώς μόνο το νερό που χρειάζεται ένα νοικοκυριό συνολικά και, συνεπώς, το εκτιμώμενο κόστος όμως αποτελεί μέρος της απώλειας ευημερίας του τοπικού πληθυσμού.

4.2.4. Μέτρα Περιορισμού της Ρύπανσης

Αν και αντικείμενο τη διπλωματικής αυτής αφορά στην περιγραφή και κοστολόγηση μέτρων υποκατάστασης του πόσιμου νερού, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν περιληπτικά και άλλα

μέτρα που έχουν ληφθεί από τους αρμόδιους φορείς προς την κατεύθυνση περιορισμού της ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής.

Μια τέτοια δέσμη μέτρων είναι η απαγόρευση χρήσης των υδρογεωτρήσεων της περιοχής για τη διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων, η θέσπιση ορίων για τις βλαβερές ουσίες στο νερό προς πόση και η αυστηρή επίβλεψη των βιομηχανιών από τους αρμόδιους φορείς. Επίσης, βρίσκεται υπό μελέτη ένα έργο εγκατάστασης δικτύου για τη διάθεση των βιομηχανικών αποβλήτων σε κατάλληλο βιολογικό καθαρισμό.

Επιπλέον, έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί μονάδα βιολογικού καθαρισμού στην περιοχή Οινοφύτων- Σχηματάρι. Συγκεκριμένα, η θέση του είναι στον Αγ. Θωμά, σε απόσταση 4,5km από το Σχηματάρι και 4 km από τα Οινόφυτα, σε χώρο έκτασης 15,5 στρεμμάτων. Ο προϋπολογισμός του έργου ήταν 1,2 εκατ. ευρώ και χρηματοδοτήθηκε από κοινοτικό πρόγραμμα. Η μονάδα βιολογικού καθαρισμού των δήμων Οινοφύτων-Σχηματαρίου συντελεί στη προσπάθεια περιορισμού της ρύπανσης που παρατηρείται στις εκβολές του Ασωπού ποταμού ως φαινόμενο του ευτροφισμού.

4.3. Περιγραφή Προτεινόμενων Μέτρων

4.3.1. Γενικά

Ως εναλλακτική λύση στην υποκατάσταση του πόσιμου νερού από τους υδροφορείς της περιοχής, η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στη διερεύνηση τεχνολογιών καθαρισμού του νερού με τη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης (RO). Σε αυτή την κατεύθυνση, πραγματοποιήθηκε έρευνα αγοράς, η οποία συμπεριέλαβε ελληνικές και ξένες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της επεξεργασίας νερού. Επιπλέον, εξετάστηκαν διατάξεις RO, οι οποίες ανταποκρίνονται σε διαφορετικά επίπεδα κάλυψης, ήτοι νοικοκυριού, «γειτονιάς» και οικισμού.

4.3.2. Έρευνα αγοράς

Η έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας διήρκεσε από τον Οκτώβρη του 2010 μέχρι το Μάρτη του 2011. Η έρευνα αυτή συμπεριέλαβε εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της επεξεργασίας νερού, τόσο από την Ελλάδα όσο και από το εξωτερικό. Πιο συγκεκριμένα, στην έρευνα συμμετείχαν επτά (7) Ελληνικές εταιρίες,

μία Ιταλική, μία Γερμανική και μία από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Επιπλέον, στο πλαίσιο της έρευνας αγοράς, αξιοποιήθηκε η εμπειρία ενός μεγάλου αριθμού ελεύθερων επαγγελματιών, τόσο στο τεχνικό όσο και στο οικονομικό κομμάτι.

Οι μονάδες επεξεργασίας νερού (βασικά με τη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης, αφαλάτωσης) που υπάρχουν στην αγορά είναι (ενδεικτικά) (ECOTECH ΕΠΕ) :

- Μονάδες compact θάλασσας για οικιακή χρήση και σκάφη, από 200 lit μέχρι 15.000 lit/day
- Μονάδες απλές νερού δικτύου και φρεάτων από 5.000 μέχρι 45.000 lit/day
- Μονάδες πόσιμου νερού από υφάλμυρο (όπως γεώτρησης)
- Μονάδες μικρές ελαφρά υφάλμυρου νερού από 1.500 μέχρι 40.000 lit/day
- Μονάδες αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού από 500 μέχρι 17.000 lit/day
- Πλήρεις μονάδες σύνθετες αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού, ειδικής μελέτης από 2,3 μέχρι 20.000 m³/hour
- Βιομηχανικές μονάδες ανακύκλωσης νερού με αντίστροφη όσμωση και ειδικές επεξεργασίες
- Μονάδες αποσκλήρυνσης από 4 μέχρι 25 m³/day
- Μονάδες παραγωγής και έγχυσης όζοντος μέχρι 8 gr/hour
- Μονάδες αποστείρωσης με UV με φίλτρο προστασίας στερεών
- Μικρόφιλτρα φύσιγγας <5 μ και διπλά φίλτρα ειδικού αποστειρωτικού κεραμικού υλικού και ανταλλακτικά
- Φίλτρα ενεργού άνθρακα και ανταλλακτικά.

Κάθε αυτοφερόμενη (compact) μονάδα είναι δυνατόν να περιλαμβάνει στην κατασκευή της, τις απαραίτητες διατάξεις προεργασίας, όπως μικρόφιλτρα και φίλτρο ενεργού άνθρακα, σωληνώσεις, αντλία πίεσης, δοχεία σπειροειδών μεμβρανών, μανόμετρα και μετρητής παροχής εισόδου καθαρού νερού και άλμης, κρουνούς και σωληνώσεις καθώς επίσης και πίνακα αυτοματισμών. Ακόμα, σε πολλές περιπτώσεις και εφόσον κριθεί απαραίτητο υπάρχει η επιλογή ενσωμάτωσης στην κατασκευή και επιπρόσθετες διατάξεις όπως αντλία απόρριψης της άλμης, πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία PLC και χρονοπρογραμματισμό για την

πλύση των μεμβρανών με αντλία πλύσης και δοσομετρικά συστήματα παρασκευής και αποθήκευσης του διαλύματος έκπλυσης.



Εικόνα 15 Αφαλατώσεις Θαλασσινού νερού με αυτοφερόμενες μονάδες (Πηγή: ECOTECH ΕΠΕ)

Για την εξαγωγή των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων από την έρευνα αγοράς, δόθηκε στους συμμετέχοντες μια «τυπική» χημική σύσταση νερού της περιοχής, στη βάση των αποτελεσμάτων προγενέστερης έρευνας (Γιαννουλόπουλος, 2008). Η «τυπική» χημική σύσταση υπολογίστηκε με τη βοήθεια του μέσου όρου των τιμών των κρίσιμων παραμέτρων και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 9).

Όπως αναφέρθηκε, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες στην έρευνα να παράσχουν δεδομένα για την επεξεργασία νερού με τη μέθοδο RO, για τα ακόλουθα:

- Τεχνικά δεδομένα για τυπική μονάδα – συσκευή RO οικιακής χρήσης (για ένα νοικοκυριό)
- Τεχνικά δεδομένα για τυπική μονάδα RO για συγκροτήματα κατοικιών (για πολλά νοικοκυριά)
- Οικονομικά δεδομένα για την κοστολόγηση μονάδων RO διαφόρων δυναμιכוτήτων

Ακολούθως περιγράφονται τα τεχνικά δεδομένα των τυπικών μονάδων και διατάξεων που προτάθηκαν από τους ειδικούς, καθώς και τα σχετικά οικονομικά δεδομένα.

Πίνακας 9 Χημική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα αγοράς

Ιδιότητα	Τιμή	Ιδιότητα	Τιμή
Θολερότητα	1 NTU	Cl	136,0 mg/l
Σκληρότητα	335,8 mg/l CaCO ₃ παροδική 39,9 mg/l CaCO ₃ μόνιμη 258,9 mg/l CaCO ₃ ολική	SO ₄	69,5 mg/l
pH	7,6	NO ₃	12,4 mg/l
Αγωγιμότητα	908 μS/cm, θ = 25°C	NO ₂	<0,05 mg/l
Ca	89,0 mg/l	NH ₄	<0,26 mg/l
Mg	26,8 mg/l	Cr _(ολικό)	60 μg/l
Na	85 mg/l	Cr(VI)	35 μg/l
K	0,4 mg/l	Ag	<5 μg/l
HCO ₃	378 mg/l	Mn	<5 μg/l
CO ₃	0,0	Cu	<5 μg/l
TOC	0,62 mg/l	Ni	25 μg/l
Al	100,0 μg/l	Zn	83,00 μg/l
Fe	400 μg/l	As	<5 μg/l
SiO ₂	20,8 μg/l	Cd	<1 μg/l
B	60 μg/l	Pb	<5 μg/l
PO ₄	90 μg/l	Tl	<5 μg/l
V	<5 μg/l	Be	<5 μg/l
Se	<5 μg/l	Sb	<5 μg/l
Mo	<5 μg/l	Sr	370 μg/l
Li	10 μg/l	Co	<5 μg/l
Hg	<1 μg/l		

4.3.3. Συσκευή RO Οικιακής Χρήσης

A. Γενικά

Η μικρότερη παροχή επεξεργασμένου νερού (<0,3 m³/day) αναφέρεται σε συσκευή αφαλάτωσης πόσιμου νερού οικιακής χρήσης, η οποία τοποθετείται κάτω από τον νεροχύτη ή και σε άλλο πρόσφορο σημείο στη κουζίνα μίας κατοικίας. Αφαιρεί από το νερό άλατα, μικροοργανισμούς, μικρόβια, οργανικές ύλες, οσμές, χλώριο, σωματίδια, νιτρικά, αμμωνιακά

και άλλα επιβλαβή στοιχεία και θεωρήθηκε κατάλληλη για την επεξεργασία του νερού με την ανωτέρω χημική ανάλυση.

B. Περιγραφή Διάταξης

Η συσκευή αποτελείται από πρόφιλτρο, Αντίστροφη Όσμωση, τελικό φίλτρο, συσκευή απολύμανσης με UV, δοχείο αποθήκευσης νερού, μετασχηματιστή, βρύση και εξαρτήματα σύνδεσης.

Δύναται να παράγει από 60 έως 300 λίτρα περίπου νερό ημερησίως, ανάλογα με την πίεση, θερμοκρασία και αλατότητα του ακατέργαστου νερού τροφοδοσίας, και η ισχύς της είναι 11 Watt, με ημερήσια κατανάλωση 0,264 kWh. Οι απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας και εγκατάστασης συμπεριλαμβάνουν ένα βιδωτό σωλήνα σύνδεσης, πίεση ακατέργαστου νερού 3 με 6 bar, θερμοκρασία ακατέργαστου νερού 7- 35° C, αλατότητα νερού μικρότερη από 2.500 ppm, ελεύθερη αποχέτευση, παροχή ρεύματος 220V. Η εγκατάστασή της είναι απλή και γρήγορη. Λειτουργεί χωρίς παρακολούθηση και δεν απαιτεί ειδικές γνώσεις από το χρήστη. Τα αναλώσιμα είναι τα φυσίγγια φίλτρων που χρειάζονται αλλαγή περίπου κάθε εξάμηνο, μία λάμπα UV με χρόνο ζωής 1080 ώρες λειτουργίας, χιτώνιο χαλαζία (το οποίο μπορεί και να μην αλλάξει εφόσον η συσκευή χρησιμοποιείται σωστά αλλά δίνεται ένας μέσος χρόνος αλλαγής του περίπου δύο χρόνων) και, τέλος, μεμβράνη όσμωσης, η οποία θα χρειαστεί αλλαγή σε περισσότερο από δύο χρόνια. Οι αλλαγές αυτές είναι δυνατόν να γίνουν από τον ίδιο τον χρήστη.

Γ. Κόστος

Το κόστος επένδυσης υπολογίζεται σε 1.410 ευρώ συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ και το ημερήσιο κόστος λειτουργίας σε 0,17 ευρώ, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται το κόστος αναλωσίμων. Η συσκευή είναι κατάλληλη για οικιακή χρήση και ο μέσος όρος λειτουργίας ανά ημέρα υπολογίζεται σε 3 ώρες περίπου.

4.3.4. Κεντρική και Ημι-κεντρική Μονάδα RO

A. Γενικά

Εν γένει οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης ακολουθούν τρία στάδια, αυτό της προεπεξεργασίας, της κύριας επεξεργασίας (Αντίστροφη Όσμωση) και τέλος της μετεπεξεργασίας. Σημειώνεται πως και τα επιμέρους τμήματα των σταδίων αυτών είναι επίσης παρόμοια και επιλέγονται με την ίδια ακριβώς φιλοσοφία ανεξάρτητα από το αν αναφέρονται σε μονάδες μικρής ή μεγαλύτερης δυναμικότητας. Οι μονάδες με δυναμικότητα της τάξης των $5 \text{ m}^3/\text{d}$ ή $10 \text{ m}^3/\text{d}$ που απευθύνονται συνήθως σε πολυκατοικίες ή συγκρότημα διαμερισμάτων αποτελούν συστήματα απλά στη χρήση και στη συντήρηση και διατίθενται με βιβλία οδηγιών. Επίσης, χαρακτηρίζονται από επαρκή βαθμό αυτοματοποίησης ώστε να μην είναι απαραίτητη η επίβλεψη και η συντήρηση από εξειδικευμένο προσωπικό. Μονάδες με μεγαλύτερες δυναμικότητες (π.χ. $1600 \text{ m}^3/\text{d}$) κατάλληλες για να καλύψουν ανάγκες πόλεων χρειάζονται εξειδικευμένο προσωπικό για τη συντήρηση και τη χρήση. Όλες οι μονάδες κρίνεται αναγκαίο να είναι εξοπλισμένες με αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου (το συνηθέστερο: PLC) ενώ, όταν χρειάζεται, πρέπει να είναι εφικτός ο χειροκίνητος έλεγχος. Επίσης, είναι φανερό πως η δυναμικότητα των αντλιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση είναι ανάλογη της δυναμικότητας ολόκληρης της μονάδας.

Στις μονάδες επεξεργασίας νερού με τη μέθοδο RO συνηθίζεται, να υπάρχει μία δεξαμενή συγκέντρωσης του προς επεξεργασία νερού στην αρχή της διάταξης και μία δεξαμενή στο τέλος, όπου και συγκεντρώνεται το πόσιμο νερό. Το υλικό κατασκευής τέτοιων δεξαμεμών είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας όταν η μονάδα αναφέρεται σε συγκρότημα κατοικιών ή σκυρόδεμα όταν η μονάδα είναι σχεδιασμένη να καλύψει ανάγκες πόλεων. Όπως είναι φανερό, ο χώρος που προορίζεται για την εγκατάσταση μονάδων αντίστροφης όσμωσης είναι ανάλογος του μεγέθους της μονάδας άρα και της δυναμικότητάς της (τέτοιες διατάξεις χρειάζονται συνήθως χώρο εγκατάστασης της τάξεως των 6 m^2) και σε πολλές περιπτώσεις, αν όχι σε όλες, απαιτείται ο χώρος αυτός να είναι στεγασμένος και δροσερός.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα τρία στάδια των μονάδων αντίστροφης όσμωσης. Για την περιγραφή αυτή έχουν ληφθεί υπόψη ορισμένα δεδομένα όπως ότι το προς επεξεργασία νερό έχει χημική σύσταση ίδια με αυτή που αναφέρεται πιο πάνω και πως η θερμοκρασία του ανεπεξεργαστου νερού είναι από $18-25^\circ\text{C}$. Ακόμα, έχει ληφθεί υπόψη πως η ποιότητα του παραγόμενου νερού θα βρίσκεται σε συμφωνία με τις προδιαγραφές της ισχύουσας νομοθεσίας για το πόσιμο νερό. Επίσης, σημειώνεται πως ο βαθμός ανάκτησης της μονάδας RO προβλέπεται συνήθως να είναι της τάξης 50% - 75% ενώ σε μερικές διατάξεις υπάρχει η

δυνατότητα ρύθμισής του. Ο συντελεστής επιφανειακού στομώματος (fouling factor) των μεμβρανών των μονάδων αυτών υπολογίζεται να είναι περίπου ίσος με 85%. Ο συντελεστής αυτός θεωρείται αρκετά μεγάλος ώστε να εγγυάται την ικανοποιητική απόδοση των μεμβρανών. Τέλος, οι μονάδες Αντίστροφης Όσμωσης είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν απρόσκοπτα 24 ώρες το εικοσιτετράωρο με εξαίρεση περιπτώσεις εμφάνισης προβλήματος, του οποίου η αντιμετώπιση απαιτεί την διακοπή λειτουργίας της μονάδας.

B. Περιγραφή Διάταξης

Προ-επεξεργασία

Οι μεμβράνες που αποτελούν το βασικό μέρος μιας τέτοιας μονάδας πρέπει να προφυλάσσονται από εναποθέσεις ώστε να αποφευχθεί η έμφραξή τους και τελικά η φθορά και καταστροφή τους. Για το λόγο αυτό, το νερό πριν υποστεί την κύρια επεξεργασία πρέπει να υποστεί μια σειρά διεργασιών που πρόκειται για το πρώτο στάδιο της προ-επεξεργασίας. Το στάδιο της προ-επεξεργασίας προηγείται της κύριας επεξεργασίας και αποτελείται από μία σειρά διεργασιών του νερού προκειμένου να προφυλαχτούν οι μεμβράνες από εμφράξεις. Κατά το στάδιο αυτό το νερό απαλλάσσεται από αιωρούμενα και διαλυμένα όπως σύμπλοκα ασβεστίου, μαγνησίου, βαρίου κ.ά. Η σειρά με την οποία οι διεργασίες αυτές θα πραγματοποιηθούν αλλά και ποιες ακριβώς θα είναι ορίζεται από τον κατασκευαστή των μεμβρανών. Παρακάτω δίνονται δύο παραδείγματα των διεργασιών του σταδίου της προ-επεξεργασίας:

Στην πρώτη διάταξη, το νερό αρχικά διηθείται έτσι ώστε να κατακρατηθούν αιωρήματα τάξεως μεγέθους 20 μm . Στη συνέχεια απογλωρίωνεται και εγχύεται, ακολούθως, αντικαθαλωτικό μέσω κατάλληλης τροφοδοτικής αντλίας. Το τελευταίο συμβαίνει για να μειωθούν οι αποθέσεις αλάτων. Τελικά, γίνεται η φίλτραυση τάξεως μεγέθους 5 μm με φίλτρα φύσιγγας.

Το σύστημα της προ-επεξεργασίας αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Φίλτρο θολότητας: Πρόκειται για φίλτρο με ταχύτητα ροής $<15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ πολλαπλών στρώσεων και κοκκομετρικής βαθμίδος ικανό να φιλτράρουν αιωρούμενα διατομής έως και 10 μm . Ο χρόνος έκπλυσης των φίλτρων αυτών προκύπτει συναρτήσει του ρυπαντικού φορτίου.

- Φίλτρο Φυσιγγίων 20 μm : Το φίλτρο αυτό είναι ικανό να κατακρατά αιωρούμενα μεγέθους μέχρι και 20 μm .
- Φίλτρο σιδήρου- μαγγανίου: Το φίλτρο αυτό, όπως ορίζει και το όνομά του, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να κατακρατά το σίδηρο και το μαγγάνιο. Η ταχύτητα ροής του είναι $<15 \text{ m}^3/(\text{m}^2/\text{h})$, ενώ ο χρόνος έκπλυσής του προκύπτει από το ρυπαντικό φορτίο.
- Φίλτρο φυσιγγίων: Το φίλτρο αυτό έχει ικανότητα κατακράτησης 5 μm . Το φίλτρο αυτό υπάρχει στη διάταξη με σκοπό να προστατεύσει τις μεμβράνες από πιθανές εμφράξεις μικρο-αιωρούμενων.
- Δοσομετρική αντλία υλικού αντικαθαλάτωσης: Πρόκειται για ηλεκτροκίνητη διαφραγματική αντλία η οποία παροχετεύει το νερό με υλικό αντικαθαλάτωσης για την αποφυγή καθαλατώσεων.

Στη δεύτερη διάταξη, το στάδιο προ-επεξεργασίας έχει σχεδιαστεί με παρόμοιο τρόπο. Το νερό προς επεξεργασία που είναι συγκεντρωμένο σε κατάλληλη δεξαμενή χλωριώνεται για να καταστραφούν τυχόν παθογόνοι μικροοργανισμοί. Το σύστημα της προ-επεξεργασίας αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Πρόφιλτρο αιωρημάτων.
- Αυτόματο φίλτρο θολότητας.
- Αυτόματο φίλτρο ενεργού άνθρακα.
- Δοσομέτρηση αντικαθαλατωτικού.

Πιο αναλυτικά, το πρόφιλτρο αιωρημάτων βρίσκεται στην αρχή του συστήματος έτσι ώστε να συγκρατεί όλα τα αιωρούμενα σωματίδια που μπορεί να εμπεριέχονται στο νερό, μέχρι το μέγεθος των 50 μm . Ακολούθως, το νερό περνάει από το αυτόματο φίλτρο θολότητας, το οποίο έχει την ικανότητα να συγκρατεί εκείνα τα σωματίδια που είναι υπεύθυνα για την θολότητα του νερού. Το συγκεκριμένο φίλτρο είναι δυνατόν να προγραμματιστεί έτσι ώστε να εκτελείται η αντίστροφη πλύση του αυτόματα, η οποία είναι απαραίτητη προκειμένου να απορρίπτεται στην αποχέτευση ότι έχει συγκρατήσει και αποφεύγεται έτσι το ενδεχόμενο εμφραξής του.

Στη συνέχεια, το νερό περνάει μέσα από το φίλτρο ενεργού άνθρακα, το οποίο συγκρατεί το οργανικό φορτίο ή το ελεύθερο χλώριο που είναι πιθανόν να υπάρχει ακόμα στο νερό. Το φίλτρο αυτό επίσης παρέχεται με διατάξεις αυτοματισμού αντίστροφης πλύσης. Κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο μόνο για τον καθαρισμό του αλλά και για να αναδεύει το εσωτερικό

γέμισμα του φίλτρου ώστε να απαλούνονται αυλάκια δημιουργούνται στην άμμο από τη διέλευση του νερού.

Ακολούθως, προστίθεται στο νερό δοσομετρημένη ποσότητα αντικαθαλωτικού. Πρόκειται για μία ουσία η οποία αυξάνει τη διαλυτότητα των αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου έτσι ώστε να προλαμβάνεται η εναπόθεσή τους στην μεμβράνη της αντίστροφης όσμωσης ώστε να περιοριστεί το ενδεχόμενο έμφραξής της. Η δοσομέτρηση γίνεται συνήθως με δοσομετρική αντλία. Ένα ακόμα μέτρο ασφαλείας που προτείνεται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η τοποθέτηση μέσα στον κάδο ηλεκτρικού φλοτέρ συνδεδεμένου με τον κεντρικό πίνακα ελέγχου της διάταξης, έτσι ώστε να τίθεται εκτός λειτουργίας ολόκληρη η μονάδα σε περίπτωση μεγάλης πτώσης της στάθμης του αντικαθαλωτικού. Τέτοιο μέτρο είναι απαραίτητο προκειμένου να αποφευχθεί η έμφραξη της μεμβράνης της αντίστροφης όσμωσης.

Κυρίως Επεξεργασία (Αντίστροφη Όσμωση)

Ακολουθεί το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης, η οποία αποτελείται με τη σειρά της από διάφορα βασικά μέρη που περιγράφονται στη συνέχεια. Το πρώτο είναι ένα πρόφιλτρο αιωρημάτων φύσιγγας, το οποίο εκτελεί την τελική διήθηση του νερού πριν αυτό εισέλθει στην αντλία ανύψωσης της πίεσης που θα το οδηγήσει το νερό στην μεμβράνη της αντίστροφης όσμωσης. Στη συνέχεια, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας εισόδου που συνήθως είναι κατασκευασμένη από μπρούτζο και σε ηρεμία είναι κλειστή με πηνίο. Η λειτουργία της τελευταίας είναι δυνατόν να ελέγχεται από τον πίνακα ελέγχου. Ακολούθως, το νερό εισέρχεται στην αντλία ανύψωσης πίεσης που θα πρέπει να είναι κατακόρυφη και φυγοκεντρική και είναι σκόπιμο να είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο μέταλλο με την κατάλληλη ισχύ (π.χ. για δυναμικότητα 10 m³/d η ισχύς προβλέπεται στα 1,1 - 1,5 kW). Η λειτουργία της μπορεί να ελέγχεται από τον πίνακα ελέγχου. Σκοπός της αντλίας αυτής είναι η αύξηση της πίεσης του νερού στο βαθμό που πρέπει για να περάσει στη συνέχεια μέσα από τη μεμβράνη της αντίστροφης όσμωσης.

Ένα σημαντικό κομμάτι της διάταξης είναι η θήκη των μεμβρανών. Οι μεμβράνες μπορεί να αποδειχτούν ευπαθή τμήματα της διεργασίας είναι όμως και η «καρδιά» της μονάδας. Η θήκη αυτή ή αλλιώς η μεμβρανοθήκη κατασκευάζεται συνήθως από fiber glass και διαθέτει μία είσοδο για το προς επεξεργασία νερό και δύο εξόδους. Η μία έξοδος χρησιμεύει για να παροχετευτεί το επεξεργασμένο νερό, ενώ η δεύτερη έξοδος για το απορριπτόμενο. Τέλος,

ένα ροόμετρο, το οποίο ενημερώνει συνεχώς για την ποσότητα του παραγόμενου νερού, συνήθως σε lit/h, είναι απαραίτητο, όπως επίσης και ο πίνακας ελέγχου (ο πιο συνηθισμένος τύπος που συναντάται στην αγορά είναι ηλεκτρονικός με σύστημα αυτοματισμού PLC) που είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο μιας σειράς από λειτουργίες, όπως: ο έλεγχος της δοσομετρικής λειτουργίας του αντικαθαλωτικού και η στάθμη του μέσω του ηλεκτρικού φλοτέρ, οι αντίστροφες πλύσεις των φίλτρων, ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος, η πίεση της αντλίας ανύψωσης πίεσης και, τέλος, η ποιότητα του εξερχόμενου νερού.

Επιπλέον, για τη λειτουργία του συστήματος είναι αναγκαία η τοποθέτηση μανομέτρων στην είσοδο και έξοδο των φίλτρων της διάταξης (πρόφιλτρο αιωρημάτων, φίλτρο θολότητας, πρόφιλτρο αιωρημάτων της αντίστροφης όσμωσης) καθώς και στην έξοδο της αντλίας ανύψωσης πίεσης και η τοποθέτηση πρεσοστάτη στην είσοδο της αντλίας αντίστροφης όσμωσης, προκειμένου να προστατευτεί η αντλία σε περίπτωση λειτουργίας της με πολύ μειωμένη ποσότητα νερού.

Μετεπεξεργασία

Το νερό αφού περάσει από τις μεμβράνες της RO είναι απαραίτητο να υποστεί και περαιτέρω επεξεργασία (μετεπεξεργασία). Κατά τη διεργασία αυτή κρίνεται σκόπιμο να προσδοθούν κάποια απαραίτητα χαρακτηριστικά στο παραγόμενο νερό ώστε να καταστεί καταλληλότερο για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται κατάλληλα συστήματα, όπως αυτό της δοσομέτρησης οξέως και τα φίλτρα πρόσδοσης σκληρότητας. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του νερού που κατά πάσα πιθανότητα χρειάζεται να βελτιωθεί σε αυτή τη φάση είναι το pH, κάτι που επιτυγχάνεται με τη προσθήκη σόδας μέσω δοσομετρικής αντλίας. Τέλος, το παραγόμενο νερό, όταν αποθηκεύεται σε δεξαμενές συγκέντρωσης, πρέπει να προστατευτεί από μικρόβια και παθογόνους πράγμα που επιτυγχάνεται με χλωρίωση. Πολλές φορές προτείνεται η ανάμιξη του παραγόμενου νερού με το ακατέργαστο δεδομένου ότι το πρώτο χαρακτηρίζεται ως νερό εξαιρετικής ποιότητας. Η ανάμιξη αυτή έχει σκοπό την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας νερού ανάλογα πάντα με την τελικά επιθυμητή ποιότητα του νερού.

Γ. Επίδοση - Κόστος

Με βάση τη συλλογή οικονομικών πληροφοριών από τους ειδικούς, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει αναλογική σχεδόν σχέση μεταξύ του κόστους κεφαλαίου για μονάδες RO και της

ονομαστικής δυναμικότητας. Παράλληλα, η σχέση του μοναδιαίου λειτουργικού κόστους (σε €/m³) με την ονομαστική δυναμικότητα είναι σχεδόν σταθερή, με τις οποίες διακυμάνσεις γύρω από τη μέση τιμή να εξαρτώνται από τους κατασκευαστές κατά περίπτωση και όχι από την εφαρμοζόμενη τεχνολογία η οποία είναι συγκεκριμένη και εφαρμόζεται χωρίς ουσιαστικές παρεκκλίσεις από όλους τους κατασκευαστές. Η προαναφερόμενη εικόνα αντανακλάται στον Πίν. 10, στον οποίο παρουσιάζονται τελικές τιμές για κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας συναρτήσει της δυναμικότητας.

Τα δεδομένα του Πίν. 10 αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση κόστους διαφόρων μονάδων επεξεργασίας νερού, όπως περιγράφεται στην παράγραφο που ακολουθεί.

Πίνακας 10 Κόστη Επένδυσης & Λειτουργίας συστημάτων RO διάφορων δυναμικότητων

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Κόστος Επένδυσης* (€)	Κόστος Λειτουργίας* (€)	Ισοδύναμος Πληθυσμός**
<0.3	1.410	0,17 /day	<2
5	14.100	0,28 - 0,42 /m ³	25
10	18.330	0,28 - 0,42 /m ³	50
20	27.072	0,28 - 0,42 /m ³	100
50	49.350	0,28 - 0,42 /m ³	250
500	1.057.500	0,28 - 0,42 /m ³	2.500
1200	1.762.500	0,28 - 0,42 /m ³	6.000
8000	10.673.700	0,28 - 0,42 /m ³	40.000

(Πηγή: Laoudi et al., 2011)

* Τα κόστη συμπεριλαμβάνουν 23% Φ.Π.Α. και εργολαβικό όφελος

** Υπολογισμός με μέση ημερήσια κατανάλωση νερού κατά κεφαλήν 200 lt

4.4. Αποτίμηση του Κόστους Ρύπανσης του Υπόγειου Νερού

4.4.1 Εισαγωγή

Στις επόμενες παραγράφους εκτιμώνται τα κόστη των έργων υποκατάστασης του πόσιμου νερού για την περιοχή μελέτης. Σε αυτό το πλαίσιο διαμορφώνονται διάφορα εναλλακτικά σενάρια για τις δύο διακριτές περιοχές (Οινόφυτα-Άγιος Θωμάς και Ωρωπός-Χαλκούτσι), τα οποία περιλαμβάνουν τόσο τις υφιστάμενες όσο και προτεινόμενες λύσεις που προέκυψαν από τα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα της έρευνας αγοράς.

Οι εκτιμήσεις αποσκοπούν στην εξεύρεση της λύσης ελαχίστου κόστους (least cost solution), η οποία και αποτελεί το «κατώφλι» της οικονομικής ζημιάς στις υπό εξέταση περιοχές, υπό το πρίσμα της μεθόδου αποτρεπτικής συμπεριφοράς. Για λόγους σύγκρισης, σε όλες τις περιπτώσεις το κόστος εκτιμάται σε ετήσια βάση.

Τα σενάρια που εξετάζονται είναι τα ακόλουθα:

- Χρήση εμφιαλωμένου νερού (Σενάριο P1).
- Λύσεις Πολιτείας, ήτοι κατασκευή ταχυδωλιστηρίου για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά και σύνδεση με τις πηγές της Μαυροσουβάλας για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου (Σενάριο P2).
- Οικιακή συσκευή αντίστροφης όσμωσης (Σενάριο Σ1).
- Ημι-κεντρική μονάδα αντίστροφης όσμωσης σε επίπεδο πολυκατοικίας ή γειτονιάς (Σενάριο Σ2).
- Κεντρική μονάδα αντίστροφης όσμωσης σε επίπεδο οικισμού (Σενάριο Σ3).

4.4.2 Εκτίμηση Κόστους Αποτροπής

A. Χρήση εμφιαλωμένου νερού (Σενάριο P1)

Το ετήσιο κόστος ανά νοικοκυριό για το Σενάριο P1, σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην Ενότητα 4.2.3., είναι για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου 1096 ευρώ και για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά 1098 ευρώ, αντίστοιχα.

Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των νοικοκυριών της περιοχής μελέτης το ετήσιο κόστος ανέρχεται περίπου σε 5.512.000 ευρώ. Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου το κόστος ανέρχεται σε 2.774.000 ευρώ και για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά σε 2.738.000 ευρώ.

B. Λύσεις Πολιτείας (Σενάριο P2)

Για να εκτιμηθεί το κόστος των έργων σε ετήσια βάση υπολογίστηκε το Ισοδύναμο Ομοίμορφο Ετήσιο Κόστος (EUAC - Equivalent Uniform Annual Cost), το οποίο περιγράφει το ετήσιο κόστος που πρέπει να καταβληθεί προκειμένου να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει μια εγκατάσταση. Το κόστος αυτό εξαρτάται από το ύψος της επένδυσης, το

λειτουργικό κόστος, την οικονομική διάρκεια ζωής του έργου και το κόστους του επενδυμένου κεφαλαίου, το οποίο εκφράζεται με τη χρήση κατάλληλου επιτοκίου αναγωγής. Το Ισοδύναμο Ομοιόμορφο Ετήσιο Κόστος υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$EUAC = C_0 \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + OC$$

όπου: C_0 είναι το κόστος επένδυσης

OC είναι το ετήσιο λειτουργικό κόστος

r είναι το ετήσιο (πραγματικό) επιτόκιο αναγωγής ($r=5\%$)

n είναι η διάρκεια οικονομικής ζωής της εγκατάστασης (σε έτη)

Όσον αφορά στην περίπτωση του έργου σύνδεσης των πηγών Μαυροσουβάλας με την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου, το κόστος κατασκευής ήταν 10.380.000 ευρώ. Ως λειτουργικό κόστος ελήφθη η τιμή των 0,03 €/m³, η οποία εκφράζει το διαφορικό κόστος ανάμεσα στην προμήθεια νερού από τις πηγές της Μαυροσουβάλας και από τις πηγές Χαλκουτσίου. Λαμβάνοντας ως διάρκεια οικονομικής ζωής των έργων διασύνδεσης (το χρονικό σημείο που η ετήσια αξία ενός ενεργητικού στοιχείου γίνεται μέγιστη ή το ετήσιο κόστος γίνεται ελάχιστο) τα 50 έτη, το εκτιμώμενο ετήσιο κόστος ανέρχεται σε περίπου 590.000 ευρώ, το οποίο αντιστοιχεί σε 233 ευρώ ανά νοικοκυριό.

Το κόστος του έργου του ταχυδυστηρίου και του απαραίτητου δικτύου αγωγών, για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά, ανέρχεται σε 900.000 ευρώ και το λειτουργικό του κόστος 0,03 €/m³ περίπου. Δεδομένου ότι το ταχυδυστήριο Οινοφύτων τροφοδοτεί με νερό και μεγάλο μέρος των βιομηχανιών στην περιοχή και σύμφωνα με υπολογισμούς μόνο το 21,1% του επεξεργασμένου νερού διατίθεται στα νοικοκυριά, λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς μόνο το αντίστοιχο κόστος επένδυσης. Στη βάση των παραπάνω, το ισοδύναμο ομοιόμορφο ετήσιο κόστος, για διάρκεια οικονομικής ζωής 50 έτη, ανέρχεται σε 32.400 ευρώ περίπου, ήτοι 13 ευρώ ανά νοικοκυριό.

Γ. Προτεινόμενες λύσεις (Σενάρια Σ1, Σ2 και Σ3)

Οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης (RO), έχουν δυναμικότητες για τα Σενάρια Σ1, Σ2 και Σ3, <0.3, m³/d, 10 m³/d και 1600 m³/d, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 12 της παραγράφου 4.3.5, συνοψίζονται τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας στη βάση των αποτελεσμάτων της έρευνας αγοράς που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εργασίας. Στην τελευταία στήλη αναγράφεται ο ισοδύναμος πληθυσμός που αντιστοιχεί σε κάθε μονάδα ανάλογα με τη δυναμικότητά της, δηλαδή, τον αριθμό των ατόμων που μπορεί να εξυπηρετήσει. Αντιστοίχως, αναγράφεται το κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας όπως προέκυψε από την έρευνα αγοράς. Σημειώνεται πως στα κόστη αυτά έχει συμπεριληφθεί το Φ.Π.Α. 23% και έχει υπολογιστεί πως η μέση ανάγκη νερού σε ημερήσια βάση είναι της τάξης των 0,2 m³, στην έξοδο της μονάδας..

Όσον αφορά στο Σενάριο Σ1 (οικιακή συσκευή RO) το ετήσιο κόστος ανά νοικοκυριό εκτιμάται σε 244 ευρώ (λαμβάνεται ένα έτος διάρκεια της οικονομικής ζωής του συστήματος). Συνεπώς, για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά το συνολικό ετήσιο κόστος εκτιμάται σε 608.000 ευρώ περίπου, και για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου σε 617.000 ευρώ περίπου.

Το ετήσιο κόστος για την ημι-κεντρική μονάδα RO (Σενάριο Σ2), λαμβάνοντας διάρκεια οικονομικής ζωής 30 έτη, ανέρχεται για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά σε 420.000 ευρώ περίπου (168 ευρώ ανά νοικοκυριό) και για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου σε 420.000 ευρώ περίπου (168 ευρώ ανά νοικοκυριό).

Τέλος, το ετήσιο κόστος για την κεντρική μονάδα RO (Σενάριο Σ3) εκτιμάται σε 389.000 ευρώ περίπου για την περιοχή Οινοφύτων-Αγίου Θωμά και σε 395.000 ευρώ περίπου για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου, ήτοι 156 ευρώ ανά νοικοκυριό και για τις δύο περιοχές (διάρκεια οικονομικής ζωής λαμβάνεται επίσης ίση προς 30 έτη).

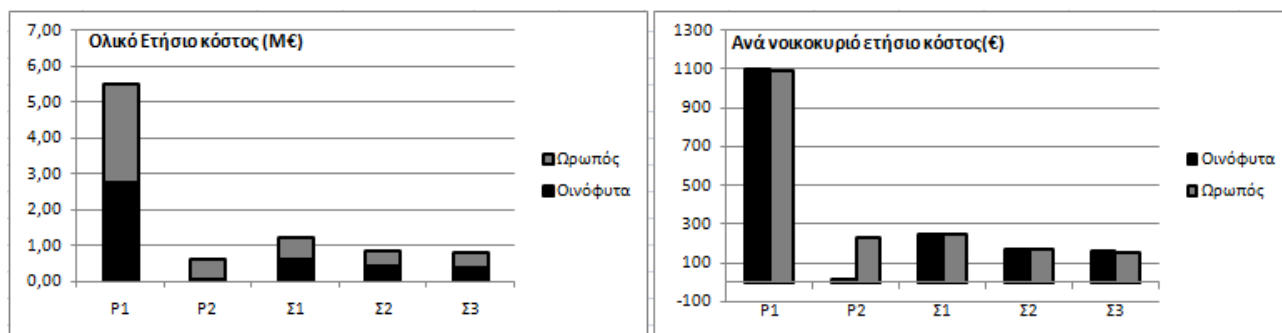
Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ετήσιο κόστος για το σύνολο της περιοχής μελέτης για τα σενάρια Σ1, Σ2 και Σ3 είναι 1.230.000 ευρώ, 846.000 ευρώ και 783.000 ευρώ, αντίστοιχα. Στον ακόλουθο Πίν. 11 φαίνονται συνοπτικά και συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 11 Εκτιμώμενα κόστη για τις διαφορετικές πιθανές προτάσεις για τον Ωρωπό και Οινόφυτα

Είδος Κόστους	Περιοχή	P1	P2	Σ1	Σ2	Σ3
Ετήσιο κόστος/ νοικοκυριό (σε €)	Οινόφυτα	1098	13	244	168	156
	Ωρωπός	1096	233	244	168	156
Ολικό ετήσιο κόστος (σε Μ€)	Οινόφυτα	2.74	0.03	0.61	0.42	0.39
	Ωρωπός	2.77	0.59	0.62	0.43	0.39
	Σύνολο	5.51	0.62	1.23	0.85	0.78

(Πηγή: Laoudi et al., 2011)

Στο ακόλουθο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται συγκριτικά το ολικό ετήσιο κόστος των εναλλακτικών προτάσεων για την τροφοδοσία νερού των πολιτών για τις δύο περιοχές.



Διάγραμμα 5 Συγκριτική Παρουσίαση του ολικού ετήσιου κόστους των διαφορετικών προτάσεων για την τροφοδοσία νερού Οιοφυτών & Ωρωπού (Πηγή: Laoudi et al., 2011)

Όπως φαίνεται, το κόστος υποκατάστασης πόρων του νερού που περιγράφεται από τη λύση P2 είναι σχεδόν 9 φορές μικρότερο από αυτό της λύσης P1 για το σύνολο της περιοχής μελέτης. Ειδικά δε για την περιοχή των Οιοφυτών – Αγίου Θωμά το κόστος της λύσης P2 είναι ιδιαίτερα χαμηλό.

Όπως αναμενόταν για τις λύσεις Σ1, Σ2 και Σ3, τα κόστη μειώνονται αντιστρόφως ανάλογα της δυναμικότητας. Δηλαδή οι μονάδες RO που ισοδυναμούν σε μεγαλύτερες δυναμικότητες και καλύπτουν μεγαλύτερο ποσοστό ισοδύναμου πληθυσμού τείνουν να έχουν και χαμηλότερο κόστος, γεγονός που δικαιολογεί την ύπαρξη ενός κεντρικού συστήματος επεξεργασίας. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι το κόστος της λύσης Σ1, που αφορά σε

συσκευή οικιακής χρήσης, είναι πολύ μικρότερο για ένα νοικοκυριό από αυτό που αντιστοιχεί στη χρήση εμφιαλωμένων νερών.

Η βέλτιστη λύση από πλευράς κόστους φαίνεται να είναι διαφορετική για τις δύο περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή των Οινοφύτων – Αγίου Θωμά η επιλογή ελαχίστου κόστους είναι η λύση του ταχυδιυλιστηρίου (32.400 ευρώ περίπου ετήσιο κόστος), ενώ για την περιοχή Ωρωπού-Χαλκουτσίου, η βέλτιστη λύση είναι η κατασκευή κεντρικής μονάδας RO (395.000 ευρώ περίπου ετήσιο κόστος). Συνολικά για την περιοχή μελέτης το ετήσιο κόστος υποκατάστασης του πόσιμου νερού που χάθηκε λόγω της ρύπανσης του υδροφόρου εκτιμάται σε 426.000 ευρώ περίπου.

Το κόστος αυτό αποτελεί το «κάτω όριο» της περιβαλλοντικής ζημιάς λόγω της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων στην περιοχή του Ασωπού ποταμού, καθώς δεν περιλαμβάνονται ζημιές στη τοπική βιομηχανία και γεωργία, στην πιθανή υποβάθμιση του οικοσυστήματος, στα πιθανά προβλήματα υγείας των κατοίκων που σχετίζονται με την κακή ποιότητα του νερού που χρησιμοποιούσαν, κ.λπ. Επιπλέον, το κόστος αυτό δεν αντανάκλα την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ζημιάς, η οποία ενδεχομένως να ήταν εφικτή μέσω ενός ολοκληρωμένου προγράμματος εξυγίανσης του υδροφόρου. Είναι συνεπώς εμφανές ότι το κόστος που υπολογίστηκε αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος του συνολικού κόστους της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

4.4.3. Κόστος Αποκατάστασης Υδροφόρου Ορίζοντα

Όπως αναφέρθηκε, το κόστος που υπολογίστηκε με βάση τη μέθοδο της αποτρεπτικής συμπεριφοράς αποτελεί ένα μικρό μόνο τμήμα του συνολικού κόστους της περιβαλλοντικής ζημιάς. Προκειμένου να αναδειχθεί περαιτέρω το εν λόγω ζήτημα, επιχειρείται στην παρούσα ενότητα μια προσεγγιστική εκτίμηση του κόστους αποκατάστασης του υδροφόρου ορίζοντα, η οποία βασίζεται, ως προς τα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία, στη διεθνή εμπειρία.

Η απορρύπανση ενός υδροφόρου ορίζοντα αφορά στην επεξεργασία του ρυπασμένου νερού, είτε *in situ* είτε *ex situ*, με κατάλληλα αντιδραστήρια. Στην περίπτωση του εξασθενούς χρωμίου, τα αντιδραστήρια περιέχουν συνήθως μορφές από τρία στοιχεία:

- άνθρακα, για τα περισσότερα είδη συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας και
- σίδηρο ή θείο για τις μη βιολογικές προσεγγίσεις και κάποιες ειδικές βιολογικές.

Σημαντικός παράγοντας, ανεξαρτήτως της φύσης του ρύπου, είναι ο χαρακτήρας της τοποθεσίας από γεωχημική, υδρολογική και γεωλογική οπτική γωνία, μαζί φυσικά και με την έκταση της ρύπανσης. Συχνά, χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του προβλήματος αριθμητικά μοντέλα και εργαστηριακές μελέτες, που μερικές φορές διεκπεραιώνονται και υπό πραγματικές συνθήκες, για την υποβοήθηση της διαδικασίας επιλογής της καταλληλότερης μεθόδου.

Στη περίπτωση της ευρύτερης περιοχής του Ασωπού υφίσταται ένα περίπλοκο σύστημα υδρογεωλογικών ενοτήτων με σχηματισμούς που κατά κύριο λόγο είναι μέτρια περατοί ή υδροπερατοί (4% Αδιαπερατοί, 41% Ημι-περατοί, 55% Διαπερατοί) ενώ το 45% περίπου του νερού είναι νερό κατακρημνίσεων. Επίσης, οι υδροφόροι της περιοχής εν γένει συναντώνται αρκετά βαθιά, πιο συγκεκριμένα στα 100-150 μέτρα περίπου. Ακόμα, είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί πως στη περιοχή απαντά ένας μεγάλος αριθμός σημειακών και γραμμικών πηγών ρύπανσης, οι οποίες δρούσαν για περισσότερο από 40 χρόνια. Επομένως, η ρύπανση θεωρείται διάχυτη και η έκταση της καλύπτει σχεδόν ολόκληρη τη λεκάνη της περιοχής μελέτης. Για τον τελευταίο λόγο και επειδή δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για τη διαστασιολόγηση των υδροφορέων αλλά και για τη συγκέντρωση των ρύπων μέσα σε αυτούς, είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί η ποσότητα νερού που χρήζει επεξεργασίας. Όσον αφορά στη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στις ώριμες τεχνολογίες.

Στη βάση των παραπάνω, μέθοδοι όπως πηγάδια ανακυκλοφορίας, αεροδιαχωρισμό (air stripping) και αεροδιασπορά (air sparging) κτλ., δεν θεωρούνται κατάλληλες, αφού χρησιμοποιούνται για επεξεργασία πτητικών ρυπαντών. Επιπλέον, θα πρέπει να απορριφθεί η μέθοδος βιολογικής απορρύπανσης, η οποία κρίνεται αποτελεσματική στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς απαιτείται επεξεργασία πολλών διαφορετικών ρυπαντών. Λόγω του διάχυτου χαρακτήρα της ρύπανσης ακατάλληλες θεωρούνται τόσο η μέθοδος ενεργών διαπερατών φραγμάτων (ΔΕΦ ή PRBs) όπως και η μέθοδος των ενεργών ζωνών. Επιπρόσθετα, πρέπει να αναφερθεί ότι είναι σχετικά νέες τεχνολογίες. Τέλος, η μέθοδος της φυτοεξυγίανσης είναι ιδιαίτερος δύσκολο να εφαρμοστεί στην περίπτωση αυτή λόγω του μεγάλου βάθους στο οποίο συναντώνται οι υδροφόροι ορίζοντες.

Δεδομένων των παραπάνω, ως η πιο κατάλληλη μέθοδος απορρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα στην περίπτωση του Ασωπού φαίνεται να είναι η μέθοδος της “Αντλησης και Επεξεργασίας” (Pump & Treat). Πρόκειται για μία ώριμη τεχνολογία, η οποία έχει εφαρμοστεί σε πολλά πεδία στο εξωτερικό και υπάρχει σχετικά μεγάλη εμπειρία. Επίσης, η

γεωχημική μέθοδος θα μπορούσε να αποδειχθεί μία πολύ καλή εναλλακτική λύση, ειδικά για το χρώμιο.

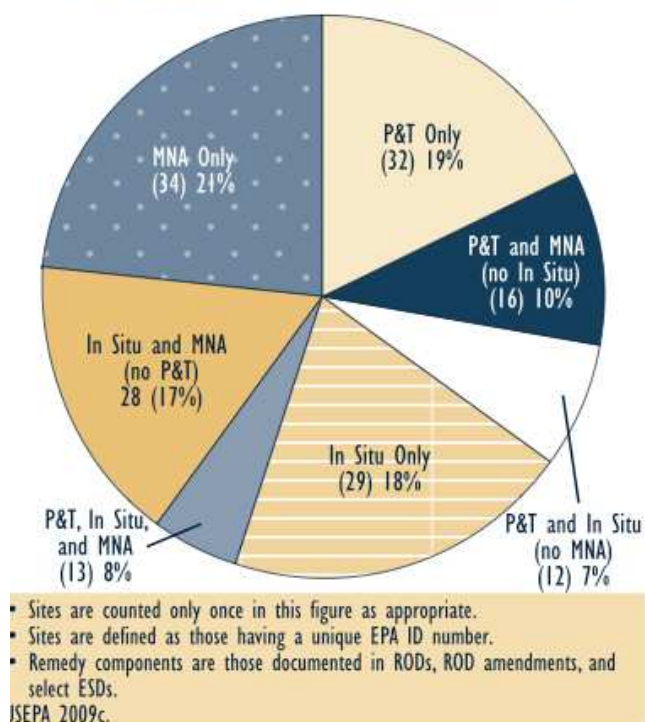
Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι οι μέθοδοι “Άντλησης και Επεξεργασίας” αντιμετωπίζουν δυσχέρειες στην εφαρμογή τους, όπως η εκθετικά μειούμενη ανταπόκριση στην επεξεργασία, η περιορισμένη ζώνη επιρροής της γεώτρησης άντλησης και η ανάγκη εφαρμογής της διαδικασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επειδή υπάρχουν και αστοχίες στην εφαρμογή της μεθόδου, πολλές φορές στο αρχικό σχέδιο αποκατάστασης προβλέπεται η εφαρμογή και δεύτερης προσέγγισης, συνήθως περισσότερο παθητικής. Τέτοια είναι η μέθοδος της Παρακολουθούμενης Φυσικής Αποκατάστασης. Η τελευταία συγκαταλέγεται στις καινοτόμες εναλλακτικές μεθόδους, το κόστος της είναι ασήμαντο και τα αποτελέσματά της εκτιμώνται ως καλά εφόσον όμως η ρύπανση βαίνει μειούμενη, όπως στην περίπτωση του Ασωπού κι εφόσον φυσικά τηρηθούν τα μέτρα που έχουν ληφθεί. Από την άλλη πλευρά, βέβαια, μια τέτοια διαδικασία είναι από τη φύση της χρονοβόρα.

Στο Διάγραμμα 6 παρατίθενται τα ποσοστά εφαρμογής της μεθόδου P&T, της συνδυαστικής εφαρμογής P&T και Φυσικής Αποκατάστασης ή μόνο της Φυσικής Αποκατάστασης, στις ΗΠΑ.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους, θεωρείται ότι η αποκατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα στην περίπτωση του Ασωπού θα πραγματοποιηθεί με εφαρμογή της μεθόδου “Άντληση και Επεξεργασία”. Βάσει των πιο πρόσφατων αναφορών από τη USEPA για την εν λόγω μέθοδο, φαίνεται ότι τέτοια προγράμματα απορρύπανσης είναι πιθανόν να διαρκέσουν περισσότερο από 10 χρόνια, με άντληση και επεξεργασία 40.000 m³ έως και 140.000 m³ ετησίως, ανά εγκατάσταση. Όσον αφορά στο κόστος, τα στοιχεία δείχνουν ότι κυμαίνεται από 3 έως 7,5 USD/m³ επεξεργασμένου νερού, περίπου 5 ευρώ/m³, σε τιμές 2010.

Στη βάση των παραπάνω και θεωρώντας ότι θα υπάρχουν περισσότερες από μία εγκαταστάσεις, το ετήσιο κόστος θα μπορούσε να ανέλθει μέχρι και σε 2.000.000 ευρώ ετησίως για την περιοχή ενδιαφέροντος υπό τις ίδιες παραδοχές εφαρμογής με τις αναφορές της USEPA, για να υπάρξουν αποτελέσματα την επόμενη δεκαετία. Θα πρέπει δε να σημειωθεί ότι, όπως έχει συμβεί σε αρκετές περιπτώσεις στο εξωτερικό, τα αποτελέσματα δεν είναι απολύτως εγγυημένα ως προς την επίτευξη των στόχων της εξυγίανσης.

Total Number of Sites with Groundwater Treatment or MNA = 164



Διάγραμμα 6 Ποσοστό πεδίων εφαρμογής των μεθόδων P&T, P&T μαζί με Φυσική Αποκατάσταση ή μόνο Φυσικής Αποκατάστασης (Πηγή: USEPA, 2010)

4.4.4. Η εφαρμογή της αρχής «Ο ρυπαίνων πληρώνει»

Για να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» στην περίπτωση του Ασωπού, εξετάστηκε συγκριτικά το κόστος της περιβαλλοντικής ζημιάς με περιβαλλοντικά πρόστιμα σε βιομηχανίες της περιοχής που παραβίαζαν την περιβαλλοντική νομοθεσία, βάσει στοιχείων του ΥΠΕΚΑ.

Οι μηχανισμοί ελέγχου τήρησης των περιβαλλοντικών όρων και νομοθεσίας, έτσι ώστε το περιβάλλον να προστατεύεται με αποτελεσματικό τρόπο, υποστηρίζονται, από το 2004, από την Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος (Ε.Υ.Ε.Π.). Η υπηρεσία αυτή υπάγεται σήμερα στο Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α., πρώην Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.). Οι επιθεωρητές της υπηρεσίας ακολουθούν μία συγκεκριμένη διαδικασία κατά την πραγματοποίηση των ελέγχων όπως υπαγορεύεται από το άρθρο 9 του Νόμου 2947/2001 (ΦΕΚ 228/Α/01) και είναι η ακόλουθη (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010):

- Σύνταξη έκθεσης αυτοψίας από την Ε.Υ.Ε.Π.
- Σύνταξη έκθεσης ελέγχου όπου αναλύονται τα ευρήματα και προσδιορίζονται οι παραβάσεις, εφόσον αυτές, έχουν διαπιστωθεί κατά την αυτοψία.

- Επίδοση στον παραβάτη της έκθεσης και κλήση παράλληλα σε απολογία (κατάθεση απολογητικού υπομνήματος) με προθεσμία μικρότερη των πέντε εργάσιμων ημερών.
- Σύνταξη αιτιολογημένης πράξης βεβαίωσης ή μη της παράβασης, είτε υποβλήθηκε η απολογία είτε όχι, αντίγραφα της οποίας αποστέλλονται στην αρμόδια αρχή που χορήγησε την άδεια (κατασκευής έργου, λειτουργίας κτλ.) στον παραβάτη και στον Εισαγγελέα Πλημμελειοδικών.
- Εισήγηση επιβολής προστίμου, ανάλογα με την σοβαρότητα της παράβασης, στον οικείο Νομάρχη, στον Γενικό Γραμματέα Περιφέρειας ή για πολύ μεγάλα πρόστιμα στον Υπουργό του Υ.Π.Ε.Κ.Α., στην περίπτωση που διαπιστώνεται ρύπανση ή άλλη παράβαση.
- Είσπραξη του προστίμου που ορίζεται από τα διοικητικά δικαστήρια από την αρμόδια ΔΟΥ.

Έως τον Δεκέμβριο του 2008, ο συνολικός αριθμός αυτοψιών που έχει πραγματοποιήσει η εν λόγω υπηρεσία έφτανε τις 971, ενώ τουλάχιστον σε 551 περιπτώσεις από αυτές έχουν ολοκληρωθεί οι διαδικασίες επιβολής των ανάλογων κυρώσεων. Το ποσό των προστίμων συνολικά ανήλθε στα 19.657.204 ευρώ (Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. 2009). Σημειώνεται πως το είδος των βεβαιωθέντων παραβάσεων αφορούν κυρίως σε έλλειψη περιβαλλοντικής αδειοδότησης, μη τήρηση περιβαλλοντικών όρων, έλλειψη συστημάτων αντιρρύπανσης ή η μη σωστή λειτουργία αυτών, έλλειψη συστημάτων παρακολούθησης εκπομπών ρύπων κ.ά. Το έτος 2007-2008 δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση από την υπηρεσία στη ρύπανση που δημιουργείται από τα υγρά απόβλητα βιομηχανικά και αστικά στους ποταμούς της χώρας, όπως στον Ασωπό ποταμό (Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., 2009).

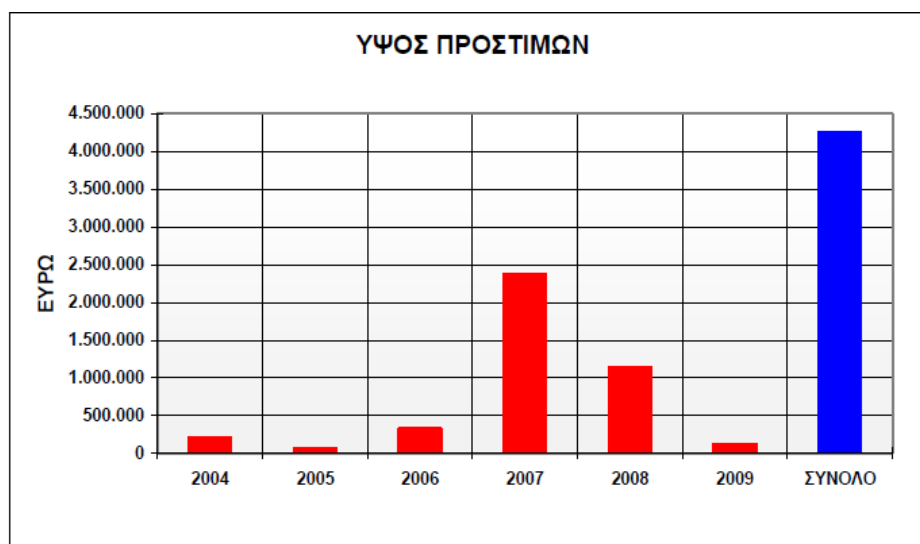
Συγκεκριμένα για την υπόθεση του Ασωπού, η υπηρεσία έχει προχωρήσει σε ελέγχους από το 2004. Ειδικά μετά τον εντοπισμό εξασθενούς χρωμίου στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής, το 2007, η υπηρεσία προχώρησε σε συγκεκριμένες ενέργειες. Τέτοιες ενέργειες είναι η διερεύνηση της περιοχής για αγωγούς που καταλήγουν στον Ασωπό ποταμό, η πραγματοποίηση δειγματοληψιών από αγωγούς και από τον αποδέκτη ώστε να εντοπιστεί το πρόβλημα, η πραγματοποίηση ελέγχων σε βιομηχανίες που είναι δυνατόν να παράγουν υγρά απόβλητα με χρώμιο, κ.ά. Μέχρι το 2009 ελέγχθησαν 163 εγκαταστάσεις - δραστηριότητες στη περιοχή, ενώ πραγματοποιήθηκαν 36 επανέλεγχοι (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010). Οι έλεγχοι και τα πρόστιμα που έχουν επιβληθεί ετησίως φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 12 Έλεγχοι & Πρόστιμα που έχουν επιβληθεί σε τοπικές βιομηχανίες σε ετήσια βάση

	Έλεγχοι	Επανελέγχοι	Πράξεις Βεβαίωσης Παράβασης	Ύψος εισηγούμενων προστίμων
2004	13	-	10	207.500
2005	4	-	3	71.100
2006	19	1	14	332.480
2007	52	10	49	2.374.000
2008	43	19	41	1.151.415
2009	32	6	12	124.450
ΣΥΝΟΛΟ	163	36	129	4.260.945

(Πηγή: Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010)

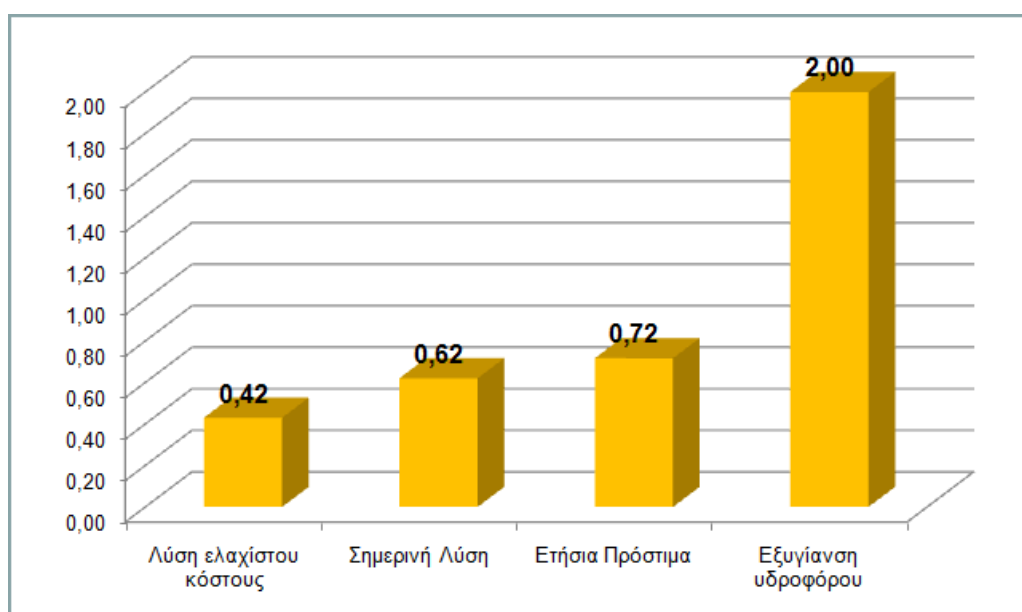
Το συνολικό ύψος των προστίμων, για το χρονικό διάστημα 2004 - 2009, αγγίζει τα 4.261.000 ευρώ περίπου, όπως φαίνεται στον Πίν. 12 και στο επόμενο διάγραμμα. Η διαδικασία στο σύνολό της, όπως προβλέπεται από τον Νόμο, βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Το συνολικό ποσό των προστίμων αποτελεί εκτός των άλλων μέσω πίεσης των βιομηχανιών ώστε να συμμορφωθούν σύμφωνα με την περιβαλλοντική νομοθεσία. Αν και το ποσό δεν είναι αμελητέο, είναι προφανές, από όσα αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, ότι δεν ανταποκρίνεται στο πραγματικό ύψος της περιβαλλοντικής ζημιάς.



Διάγραμμα 7 Ύψος προστίμων (Πηγή: Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010)

4.4.5. Παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων

Στο Διάγραμμα 8 παρουσιάζονται το κόστος της προτεινόμενης από την παρούσα εργασία λύσης, το κόστος της λύσης που εφαρμόστηκε από την Πολιτεία για τις περιοχές Οινοφύτων και Ωρωπού, το ύψος των προστίμων που έχουν επιβληθεί στις βιομηχανίες και, τέλος, το κόστος των εργασιών εξυγίανσης του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής μελέτης. Προκειμένου να είναι δυνατή η μεταξύ τους συγκριτική αξιολόγηση, όλα τα οικονομικά μεγέθη έχουν αναχθεί σε ετήσια βάση, χρησιμοποιώντας το μαθηματικό τύπο του ομοιόμορφου ισοδύναμου ετήσιου κόστους.



Διάγραμμα 8 Συγκριτική παρουσίαση ετήσιου κόστους εναλλακτικών λύσεων

Είναι φανερό ότι η λύση ελαχίστου κόστους που προτείνεται από την παρούσα εργασία εξοικονομεί 200.000 ευρώ περίπου, ετησίως, σε σύγκριση με τη λύση της Πολιτείας. Τα περιβαλλοντικά πρόστιμα καλύπτουν την οικονομική ζημιά στο πόσιμο νερό της περιοχής, σε καμία περίπτωση ωστόσο δεν καλύπτουν το κόστος εξυγίανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρόβλημα της ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών της λεκάνης του Ασωπού ποταμού, εξαιτίας του μεγέθους και της επικινδυνότητάς του, χρήζει της προσοχής των αρμόδιων φορέων και των κατοίκων και, προφανώς, της άμεσης λήψης μέτρων σε δύο κατευθύνσεις: της παροχής ασφαλούς πόσιμου νερού στους κατοίκους και της αποκατάστασης της ποιότητας των υδατικών αποθεμάτων.

Στην πρώτη κατεύθυνση υλοποιήθηκαν έργα εναλλακτικής ύδρευσης των κατοίκων των περιοχών Ωρωπού / Χαλκουτσίου (σύνδεση με πηγές Μαυροσουβάλας) και Οινοφύτων / Αγίου Θωμά (κατασκευή ταχυδιωληστηρίου). Η αποκατάσταση του υδροφόρου της περιοχής, ωστόσο, δεν έχει ξεκινήσει. Σε κάθε περίπτωση και ανεξάρτητα από την επιλογή της τεχνολογίας, θα αποτελέσει μία επίπονη, περίπλοκη, ακριβή και ιδιαίτερος χρονοβόρα διαδικασία. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες, όπως ο διάχυτος χαρακτήρας της ρύπανσης, το είδος των ρύπων (συνδυασμός τοξικών και άλλων ρύπων), το μεγάλο βάθος των υδροφόρων οριζόντων, κ.ά. Από τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα στοιχεία και την προκαταρκτική αξιολόγηση των διαθέσιμων τεχνολογιών, φαίνεται ότι η μέθοδος «άντλησης και επεξεργασίας» έχει ένα προβάδισμα έναντι των εναλλακτικών επιλογών για την περίπτωση των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής του Ασωπού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχείρησε να αποτιμήσει το οικονομικό κόστος της περιβαλλοντικής ζημιάς στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Ασωπού, στη βάση του κόστους υποκατάστασης του αγαθού που χάθηκε εξαιτίας της ρύπανσης, ήτοι του πόσιμου νερού. Η αποτίμηση στηρίχθηκε στη μέθοδο της αποτρεπτικής συμπεριφοράς και σε αυτή την κατεύθυνση αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τις μέχρι σήμερα ενέργειες της Πολιτείας και των κατοίκων, καθώς και τα αποτελέσματα εξειδικευμένης έρευνας αγοράς σε εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της επεξεργασίας νερού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας, η λύση ελαχίστου κόστους για την υποκατάσταση του πόσιμου νερού, ανέρχεται σε περίπου 430.000 ευρώ ανά έτος. Όπως αποδεικνύεται, η λύση της Πολιτείας (κατασκευή ταχυδιωληστηρίου) αποτελεί τη βέλτιστη, από οικονομικής πλευράς, επιλογή για την περιοχή Οινοφύτων / Αγίου Θωμά. Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση της περιοχής Ωρωπού / Χαλκουτσίου, καθώς τα στοιχεία αποδεικνύουν ότι η κατασκευή και λειτουργία μονάδας RO αποτελεί σαφώς οικονομικότερη επιλογή από τη σύνδεση με τις πηγές της Μαυροσουβάλας.

Σε κάθε περίπτωση, το συνολικό κόστος των 430.000 ευρώ αντανακλά ένα μικρό μόνο μέρος της οικονομικής ζημιάς της ρύπανσης των νερών της περιοχής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι άλλες παράμετροι, όπως τα πιθανά προβλήματα υγείας των κατοίκων ή η πιθανή υποβάθμιση του οικοσυστήματος, απόρροια της ρύπανσης, δεν αποτιμώνται με τη συγκεκριμένη προσέγγιση. Προκειμένου να αξιολογηθούν τέτοιες παράμετροι θα πρέπει να διεξαχθούν επιδημιολογικές και οικολογικές έρευνες, καθώς και εμπειριστατωμένες μελέτες με αντικείμενο την αποκατάσταση της ευρύτερης λεκάνης του Ασωπού. Η τελευταία, σύμφωνα με την προκαταρκτική διερεύνηση, θα ενείχε ένα κόστος της τάξης των 2 εκατ. ευρώ ετησίως για τουλάχιστον 10 χρόνια και με αμφίβολο, ίσως, αποτέλεσμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Βασιλοπούλου, Φ., 2007. *Πόσο κινδυνεύουμε από το εξασθενές χρώμιο?*. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www.vita.gr/html/ent/420/ent.1420.asp>,
- Βουδριάς, Ε., 2011. *Τεχνολογίες Εξυγίανσης Υπόγειων Υδάτων από Εξασθενές Χρώμιο: Παραδείγματα Εφαρμογών*, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Διαθέσιμη στο: <http://www.scribd.com/doc/28746678/Cr-Βουδριάς2>
- Γιαννουλόπουλος, Π., 2008. *Αναγνωριστική Υδρογεωλογική – Υδροχημική Έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού, Ν. Βοιωτίας*, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Δασενάκης Μ., Μπότσου Φ., 2007. *Περιβαλλοντικά Προβλήματα στο υδάτινο Σύστημα του Ασωπού*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας, Αθήνα.
- Δούνας, Α., Καλλέργης, Γ., Μόρφης, Α., Παγούνης, Μ., 1978. *Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης μέσου ρου του ποταμού Ασωπού*, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Δούνας, Α., Καλλέργης, Γ., Μόρφης, Α., Παγούνης, Μ., 1980. *Υδρογεωλογική έρευνα υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγ. Αποστόλων Καλάμου*, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα..
- Ένωση Ελλήνων Χημικών (Ε.Ε.Χ), 2007. *Τεχνική Έκθεση για την επικινδυνότητα Παρουσίας Cr(VI) στο πόσιμο νερό Δήμου Οινοφύτων*, Προσχέδιο, Ένωση Ελλήνων Χημικών.
- Ελληνική Δημοκρατία, 2010. *Καθορισμός Ποιοτικών Περιβαλλοντικών Προτύπων στον ποταμό Ασωπό και Οριακών Τιμών Εκπομπών υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ασωπού*, Εφημερίδα τη Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 749, (ΦΕΚ 749/31/5/2010).
- Τσιούμα Β., Ζοράπα Β., Γκιντώνη Ε., 2009. *Αναγνωριστική Υδροχημική-Υδρογεωλογική Μελέτη για τον Προσδιορισμό της Προέλευσης του Χρωμίου στις Υδρευτικές Γεωτρήσεις του Δήμου Μεσσαπιών Νομού Ευβοίας*, Τεχνική Έκθεση, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Καλιαμπάκος Δ., Χατζηωσήφ – Διακουλάκη Δ., Δαμίγος Δ., 2007. *Τεχνικές Οικονομικής Αποτίμησης Περιβαλλοντικών Αγαθών Σημειώσεις Μαθήματος «Οικονομική του*

- Περιβάλλοντος», ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη». Διαθέσιμο στη διεύθυνση: http://www.survey.ntua.gr/ environ/6419/technikes_oikonomikis_apotimisis.pdf
- Καλιαμπάκος, Δ. και Δαμίγος, Δ., 2008. *Οικονομικά του περιβάλλοντος και των υδατικών πόρων: Βασικές αρχές, Μέθοδοι αποτίμησης, Εφαρμογές, Σημειώσεις Μαθήματος «Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων», ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα.*
- Καλλέργης Γ.Α.1999. *Εφαρμοσμένη –Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα.
- Καραβοκύρης Γ. και Συνεργάτες Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ – Ζ & Α - Π. Αντωνάρουλος και Συνεργάτες ΑΜΕ – ΕΠΕΜ Α.Ε. – Ξ. Σταυρόπουλος, 2008. *Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων, υδατικών διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας. Μελέτη για λογαριασμό του ΥΠΑΝ.*
- Μαρκόπουλος Χ., Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος Α., 2010. *Κοστολόγηση Αδιύλιστου Νερού για την Υδρευση της Αθήνας, Τεύχος 3*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μασούρα Γ., 2008. *Ρυπαντική υδροχημεία της λεκάνης του ποταμού Ασωπού Νομού Βοιωτίας*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ξανθάκης Α., Δημητριάδης Κ., Σαρρηκωστής Μ., 2005. *Αυτόματο Σύστημα Υποστήριξης της Διαχείρισης του Υπόγειου Υδροφόρου της Ανατολικής Πάρνηθας (Πεδίο Υδρογεωτρήσεων Μαυροσουβάλας ΕΥΔΑΠ)*. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Kin_Politon_16_5-05/CD/praktika/8%20GEO_SERVICE_PRESENTATION%20Dimitriadis.pdf
- Ξενίδης Α., 2009. *Σημειώσεις Φυτοαποκατάστασης*, http://postgrasrv.hydro.ntua.gr/gr/edmaterial/education/xenidis/Fytoapokatastasi_notes.pdf
- Ξιάρχος Ι., 2006. *Συμβολή στον χαρακτηρισμό των μεμβρανών: εκτίμηση της υδροφοβικότητας με χρησιμοποίηση διαλυμάτων επιφανειακών ενεργών ουσιών*, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
- Παπαϊωάννου Μ., Σπανός Ι., Λοιζίδου Μ., Mather J., 2009. *Μελέτη της ποιότητας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή Οινοφύτων Βοιωτίας*. Πρακτικά 6^ο

Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Τόμος Β', Πυθαγόρειο Σάμου.

ΤΕΕ, 2009. *Το Πρόβλημα του Ασωπού ποταμού, Προτάσεις Αντιμετώπισής του*, Ομάδα εργασίας: Ζιώγας Χ., Θεοχάρη Χ., Λειβαδάρος Ρ., Μπούρα Α., Παντελάρας Π., Παπαδοπούλου Μ., Στάμου Α.

Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010. *Το Έργο των Επιθεωρητών Περιβάλλοντος Συνοπτική παρουσίαση του Έργου της ΕΥΕΠ για το έτος 2009*. Έκδοση της Ειδικής Υπηρεσίας Ελεγκτών Περιβάλλοντος (ΕΥΕΠ).

Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., 2009. *Το Έργο των Επιθεωρητών Περιβάλλοντος (1/12004 – 31/12/2008) Γενικά Στοιχεία – Ασωπός Ποταμός*. Έκδοση της Ειδικής Υπηρεσίας Ελεγκτών Περιβάλλοντος (ΕΥΕΠ).

B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Campy, M., and Meybeck, M., 1995. *Les sediments lacustres*. In. R. Pourriot and M. Meybeck (Eds) *Limnologie Generale*. Masson, Paris, 185-226.

Chapman D., 1996. *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. University Press, Cambridge, Great Britain, p:128,253, 274-286.

Fruchter, J., 2002. *In situ Treatment of Chromium- Contaminated Groundwater, New technologies show promise for removing chromium(VI) pollution at lower cost*, Environmental Science & Technology 465 A1.

Laoudi A., Tentes G., Damigos D., 2011. Groundwater damage: A cost-based valuation for Asopos River Basin, Third International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2011)& SECOTOX Conference, 19-24 June.

Mediterranean SOS network, 2011. Bottled water. *Integrated educational program for Northern Europe schools*.

Meybeck, M, and Helmer, R. 1989. *The quality of rivers: from pristine stage to global pollution*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. (Global Planet. Change Sect.) 75, 283-309.

- Moraki A., 2010, *Assessment of groundwater contamination by hexavalent chromium and its remediation at Avlida area, Central Greece*, Faculty of Geology & Geoenvironment, University of Athens, Panepistimiopolis, Ano Ilissia, Athens 15784
- Pattanayak, S., Wing, J., Depro, M., Van Houtven, G., De Civita, P., Stieb, D. and Hubbell, B., 2002. *International health benefits transfer application tool: the use of PPP and inflation indices*. Final report, prepared for Economic Analysis and Evaluation Division, Office of Policy Coordination and Economic Analysis Policy and Planning Directorate, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, 3-8.
- Todd D., 1976. *Polluted Groundwater: A review of the significant literature*, Publisher: Water Information Center.
- USEPA, 1998. *Pump and Treat of Contaminated Groundwater at the King of Prussia Technical Corporation Superfund Site Winslow Township, New Jersey*. US Environmental Protection Agency. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI).
- USEPA, 1998. *Pump and Treat of Contaminated Groundwater at the Mid-South Wood Products Superfund Site Mena, Arkansas*. US Environmental Protection Agency. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI).
- USEPA, 1998. *Pump and Treat of Contaminated Groundwater at the Odessa Chromium I Superfund Site Odessa, Texas*. US Environmental Protection Agency. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI).
- USEPA, 1998. *Pump and Treat of Contaminated Groundwater at the United Chrome Superfund Site Corvallis, Oregon*. US Environmental Protection Agency. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI).
- USEPA, 2000. *In situ Treatment of Soil and Groundwater Contaminated with Chromium*, Technical Resource Guide, EPA 625/R-00/004, October 2000
- USEPA, 2001. *Groundwater Pump and Treat Systems: Summary of Selected Cost and Performance Information at Superfund-financed Sites*.
- USEPA, 2004. *Treatment Technologies For Site Cleanup: Annual Status Report (Eleventh Edition)*, USEPA, EPA-542-R-003-009, www.clu-in.org/asr.
- USEPA, 2005. *Pump and Treat and In Situ Chemical Treatment of Contaminated Groundwater at the Odessa Chromium II South Plume Superfund Site Odessa, Ector*

County, Texas. US Environmental Protection Agency. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI).

USEPA, 2010. *Superfund Remedy Report, Thirteenth Edition*, USEPA, EPA-542-R-10-004, www.clu-in.org/asr

Γ. ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

www.ecotech.gr

http://www.unwater.org/statistics_sec.html (accessed March 15, 2011)

www.statistics.gr

<http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-40a.html>

<http://www.clu-in.org/download/remed/542r01021b.pdf>

<http://www.gigliobonifiche.it/servizi-bonifica-ambientale-e-del-territorio.php>

<http://costperformance.org/search.cfm>, Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR)

http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/1573/report/0

<http://www.clu-in.org/download/remed/542r01021b.pdf>

http://www.unwater.org/statistics_sec.html (accessed March 15, 2011)

<http://www.worldwater.org/> (accessed March 13, 2011)

<http://www.viotiachamber.gr/>

www.zabetakis.net