ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Ιωάννα Χριστίνα Κ. Πάνου

Αθήνα, Ιούνιος 2015

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων Καθηγητής: Καλλιώρας Ανδρέας, Λέκτορας ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ανδρέας Καλλιώρας (Επιβλέπων)

Λέκτορας, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Ευάγγελος Μπαλτάς

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Δημήτριος Δαμίγος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών ,Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αξιολόγηση Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού στην διαχείριση παράκτιου υδροφορέα, εκπονήθηκε από την μεταπτυχιακή φοιτήτρια Ιωάννα Χριστίνα Κ. Πάνου στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», υπό την επίβλεψη του κ. Ανδρέα Καλλιώρα, Λέκτορα του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

Η παρούσα διπλωματική δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την αμέριστη υποστήριξη του κ. Ανδρέα Καλλιώρα με την ουσιαστική καθοδήγηση και υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της διπλωματικής εργασίας καθώς επίσης και με την εμπιστοσύνη που μου έδειξε ως προς την ανάληψη της. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την εμπιστοσύνη και την στήριξη που μου προσφέρει καθημερινά.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι 1
Περίληψη - Abstract 1
Ι.1 Περίληψη 1
Ι.2 Abstract 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο} 4
Αντικείμενο και Μεθοδολογία 4
1.1 Αντικείμενο και μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο} 7
Τεχνητός Εμπλουτισμός 7
2.1 Εισαγωγή 7
2.2 Προϋποθέσεις για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού 10
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Τεχνητού Εμπλουτισμού 10
2.4 Ιστορικό εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού 11
2.5 Διεθνής εμπειρία από την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού 14
2.6 Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού υδροφορέων 15
2.6.1 Μέθοδος επιφανειακής κατάκλυσης- διήθησης 18
2.6.2 Μέθοδος υπόγειας διήθησης 26
2.7 Προβλήματα παράκτιων υδροφορέων 29
2.9 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις 38
2.10 Κόστος Τεχνητού Εμπλουτισμού 43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο} 44
Επεξεργασία Αποβλήτων 44
3.1 Εισαγωγή 44
3.2 Διαδικασία επεξεργασίας αποβλήτων 45
3.3 Βιολογικός Καθαρισμός 46
Πρωτοβάθμιο στάδιο 46
Δευτεροβάθμιο στάδιο 46
Τριτοβάθμια Επεξεργασία 48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο} 55
Χρήση Υγρών Αποβλήτων για Τεχνητό Εμπλουτισμό 55
4.1 Εισαγωγή 55
4.2 Διεθνής Εφαρμογή 61
4.2.1 Οδηγίες του Παγκόσμιο Οργανισμού Υγείας (WHO) και του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) 70
4.3 Εφαρμογές στον Ελλαδικό Χώρο 81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο} 105
Περιοχή Μελέτης – Δ. Λαυρεωτικής 105
5.1 Εισαγωγή 105
5.2 Γεωγραφία της περιοχής 109
5.4 Γεωμορφολογία της περιοχής 114
5.5 Κλίμα της περιοχής 114
5.6 Γενικά πληθυσμιακά στοιχεία 117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο} 119
Διαχείριση Υδατικών Αναγκών και Υγρών Αποβλήτων 119
6.1 Εισαγωγή 119
6.2 ΄Υδρευση-Οικιακές χρήσεις 119
6.3 Αγροτικές Δραστηριότητες 120
6.3 Κτηνοτροφία 127
6.4 Κόστος των αναγκών σε νερό 129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{Ο} 149
Αξιολόγηση Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού στην Περιοχή Μελέτης 149
7.1 Εισαγωγή 149
7.2 Σχεδίαση συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού 151
7.3 Οικονομικές, νομικές και θεσμικές θεωρήσεις 152
7.4 Προτεινόμενες Λύσεις 156
7Α. Πρώτη πρόταση εφαρμογής – Σύστημα SAT για τον εμπλουτισμό του αλλουβιακού υδροφορέα του Θορικού. 157
7Β. Δεύτερη πρόταση εφαρμογής 169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^{Ο} 181
Συμπεράσματα 181

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^{Ο} 185
Βιβλιογραφία 185

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^{Ο} 191
Παράρτημα 191
Παράρτημα Α – Αγροτικές Δραστηριότητες 191
Παράρτημα Β – Κτηνοτροφικές Δραστηριότητες 197

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2.1: Σχηματική παρουσίαση των διαφόρων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού (Dillon 2005, Βουδούρης 2015). 17
Εικόνα 2.2 : Τυπική διάταξη σειράς λεκανών εμπλουτισμού παράπλευρα σε υδρόρευμα (Bianchi and Muckel, 1970, Καλλέργης 1986). 18
Εικόνα 2.3: Απλή λεκάνη κατάκλυσης (Huisman and Olsthoorn, 1983). 19
Εικόνα 2.4 : Λεκάνη κατάκλυσης με στρώμα άμμου στο πυθμένα και τα πρανή (Huisman and Olsthoorn,1983). 19
Εικόνα 2.5: Διάγραμμα ανύψωσης της υδροστατικής επιφάνειας κάτω από μια λεκάνη εμπλουτισμού (Todd, 1980, Καλλέργης, 1986). 20
Εικόνα 2.6 : Τυπικό σύστημα τεχνητού εμπλουτισμού τάφρων και αυλακών Α.Πλευρική διάταξη Β. Δενδριτική διάταξη Γ. Μαιανδρική διάταξη (Asano, 1985, Καλλέργης 1986). 22
Εικόνα 2.7 : Τυπική διάταξη συστήματος εμπλουτισμού με πλημμύρα (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986). 22
Εικόνα 2.8 : Τεχνητός εμπλουτισμός με διευθέτηση υδρορεύματος Α. Εκτροπή Β. Με τάφρους Γ. Φράγματα και λεκάνες έλεγχου (Asano 1985, Καλλέργης, 1986). 24
Εικόνα 2.9 : Συνδυασμός λεκάνης και γεώτρησης εμπλουτισμού (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986). 25
Εικόνα 2.10 : Επαγωγικός εμπλουτισμός Α. Κατάσταση πριν την άντληση Β. Μετά την άντληση (Pettyjohn, 1981, Καλλέργης, 1986). 26
Εικόνα 2.11 : Παραδείγματα διευθέτησης υδροφόρων Α. με παρεμπόδιση της εξόδου ροής Β. με αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας (υπόγειο διάφραγμα) Γ. κατασκευή τεχνητού υδροφορία (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986). 28
Εικόνα 2.12 : Σχηματική αναπαράσταση επιδράσεων στους παράκτιους υδροφόρους (Essink, 2001). 30

Εικόνα 3.1 : Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (www.miper.gr). 44
Εικόνα 3.2 : Σύστημα ενεργού ιλύος (Τσώνης 2004). 47
Εικόνα 3.3 : Δράσεις κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων (Τσώνης 2004). . 47

Εικόνα 4.1 : Διατάξεις έργων εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά λύματα. Οι γεωτρήσεις άντλησης εκατέρωθεν της σειράς των λεκανών (άνω) και σε σειρά στο μέσον μεταξύ δύο παράλληλων σειρών λεκανών εμπλουτισμού (κάτω) (www.geo.auth.gr). 57
Εικόνα 4.2: Εφαρμογή της μεθόδου φυσικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μέσω εδάφους υδροφορέα για την προστασία ποταμού από τη ρύπανση (www.geo.auth.gr). 58
Εικόνα 4.3: Εμπλουτισμός παραθαλάσσιου υδροφόρου με γεωτρήσεις για την προστασία από την διείσδυση του παραθαλάσσιου μετώπου (geo.auth.gr). 63
Εικόνα 4.4 : Διάταξη έργου εμπλουτισμού με λεκάνες στην περιοχή Gued Souhil της Λιβύης (Rekaya and Bedtnar, 1989). 65

Εικόνα 4.5: Η περιοχή της Ιορδανίας και σύνορά της με το Ισραήλ (www.haniotika-nea.gr). **66**
Εικόνα 4.6 : Η περιοχή έρευνας του Amman, η λεκάνη Zarqa και η κοιλάδα της Ιορδανίας. Φαίνεται η ροή από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων του As-Samra στον ταμιευτήρα King Talat (KTR) και μετά στο κανάλι King Abdullah (KAC). **67**
Εικόνα 4.7 :Οικιακή χρήση ανακυκλωμένου νερού. **69**
Εικόνα 4.8 : Διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. Θέρμης. **93**
Εικόνα 4.9 : Εγκατάσταση επεξεργασμένων λυμάτων. **96**
Εικόνα 4.10 : Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (www.anatoliki.gr) **96**
Εικόνα 4.11 : Αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο **96**
Εικόνα 4.12 : Κλίνες εμπλουτισμού. **98**
Εικόνα 4.13 : Διάταξη δεξαμενών εμπλουτισμού και πιεζομετρικών γεωτρήσεων. **99**

Εικόνα 5.1 : Ο δήμος της Λαυρεωτικής (maps.google.com). **107**
Εικόνα 5.2 : Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (ΙΓΜΕ 1983, με τροποποιήσεις). **108**
Εικόνα 5.3 : Συσχέτιση της μηνιαίας βροχόπτωσης (mm) για τις δύο περιόδους διαθέσιμων δεδομένων(1970-1978 και 2009-2013). **114**

Εικόνα 6.1 : Αερόβιος χωνευτής (Ανδρεάδης, 2006). **129**
Εικόνα 6.2 : Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (Ανδρεάδης, 2006). **129**
Εικόνα 6.3 : Εσχάρες (αριστερά η χειροκίνητη και δεξιά η μηχανοκίνητη). (Ανδρεάδης,2006). **130**
Εικόνα 6.4 : Πίνακας Ελέγχου Ε.Ε.Λ. Λαυρίου (Ανδρεάδης, 2006). **131**
Εικόνα 6.5 : Δεξαμενή Ομογενοποίησης (Ανδρεάδης,2006). **132**
Εικόνα 6.6 : Μονάδα κροκκίδωσης (Ανδρεάδης,2006). **133**
Εικόνα 6.7 : Δεξαμενή επιλογής (Ανδρεάδης,2006). **134**
Εικόνα 6.8 : Κάτοψη της δεξαμενής αερισμού σε σκαρίφημα (Ανδρεάδης,2006). **135**
Εικόνα 6.9 : Δεξαμενή αερισμού σε τέλεια λειτουργία(Ανδρεάδης,2006). **136**
Εικόνα 6.10 : Υπερχειλιστές εκροής (ένας ανοιχτός και ο άλλος κλειστός). (Ανδρεάδης,2006). **138**
Εικόνα 6.11 : Δωμάτιο ελέγχου από τον οποίο γίνεται αυτόματα η ρύθμιση και ο έλεγχος των διεργασιών της εγκατάστασης μέσω των προγραμμάτων PLC και Η/Υ εξοπλισμένου με σύστημα SCADA. (Ανδρεάδης,2006). **139**
Εικόνα 6.12 : Δεξαμενές Τελικής Καθίζησης (Ανδρεάδης,2006). **140**
Εικόνα 6.13 : Δεξαμενή χλωρίωσης (Ανδρεάδης,2006). **140**
Εικόνα 6.14 : Σπάσιμο υποθαλάσσιου αγωγού (Ανδρεάδης, 2006). **142**
Εικόνα 6.15 : Παχυντής Βαρύτητας (Ανδρεάδης, 2006). **143**
Εικόνα 6.16. : Κλίνη ξήρανσης (Ανδρεάδης, 2006). **145**
Εικόνα 6.17 : Διάγραμμα ροής (Ανδρεάδης, 2006). **145**

Εικόνα 7.1 : Διάγραμμα διαχείρισης των υδατικών αναγκών μέσω τεχνητού εμπλουτισμού. **149**

Εικόνα 7.2 : Διάγραμμα περιεκτικότητας σε BOD5, COD, SS, T-N, NH4-N, NO3-N, T-P στις δειγματοληψίες του 2014 στις εκροές του ΕΕΛ Λαυρίου. 155
Εικόνα 7.3 : Σκαρίφημα διάταξης και διαστάσεων των λεκανών εμπλουτισμού στο πλαίσιο της ενδεικτικής πρότασης εφαρμογής πιλοτικού συστήματος SAT στην περιοχή έρευνας (2 συστήματα λεκανών Α και Β με τρείς λεκάνες το καθένα). 157
Εικόνα 7.4 : Κάτοψη και τομή προτεινόμενης λεκάνης εμπλουτισμού. 158
Εικόνα 7.5 : Γραφήματα εσόδων – εξόδων. 165
Εικόνα 7.6 : Προεπισκόπηση αγωγού και λεκάνης κατάκλυσης. 166
Εικόνα 7.7 : Αμμοδιυλιστήριο συνεχούς ανοδικής ροής (Κολικονιάρης, 2012). 170
Εικόνα 7.8 : Προτεινόμενη διάταξη τριτοβάθμιας επεξεργασίας. 173
Εικόνα 7.9 : Τομή αμμόφιλτρων συνεχούς ανοδικής ροής σε δεξαμενές (Κολικονιάρης, 2012). 175
Εικόνα 7.10 : Αγωγός μεταφοράς για την περίπτωση απευθείας εμπλουτισμού. 176
Εικόνα 7.11 : Διάγραμμα αγωγού σύνδεσης των γεωτρήσεων. 179

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1.1 : Διάγραμμα Gantt το οποίο περιγράφει στάδια που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. **5**

Πίνακας 2.1 : Σημαντικά έργα επαναχρησιμοποίησης (Πηγή: Asano et al., 2007). **12**

Πίνακας 3.1 : . Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση διαφόρων τύπων λυμάτων για εμπλουτισμό υπόγειου νερού. **52**

Πίνακας 4.1 : Μέθοδοι αντιμετώπισης κινδύνων ρύπανσης και/ή μόλυνσης από επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ΕΔΕΥΑ, 2004). **71**
Πίνακας 4.2 : Συνιστώμενες μικροβιολογικές οδηγίες του WHO (1989) για την χρήση υγρών αποβλήτων στη γεωργία (ΕΔΕΥΑ, 2004). **72**
Πίνακας 4.3 : Προτεινόμενα όρια για χημικούς ρυπαντές (ανόργανα στοιχεία και οργανικές ενώσεις στο έδαφος) από τον WHO (1989) (ΕΔΕΥΑ, 2004) **75**
Πίνακας 4.4 : Οδηγίες για ερμηνεία της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, ΕΔΕΥΑ, 2004). **78**
Πίνακας 4.5 : Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις στοιχείων σε ίχνη στο αρδευτικό νερό (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, ΕΔΕΥΑ, 2004). **79**
Πίνακας 4.6 : Οδηγίες για τα κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων μη-απευθείας χρήσης τους για ύδρευση (Jimenez, 2003). **80**
Πίνακας 4.7 : Προτεινόμενα ελάχιστα μικροβιολογικά και φυσικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών στην Ελλάδα (Tsagarakis el al., 2004, ΕΔΕΥΑ, 2004). **83**
Πίνακας 4.8 : Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στην Ελλάδα. **88**
Πίνακας 4.9 : Προτεινόμενα μέγιστα όρια βαρέων μετάλλων σε ανακτημένα λύματα. **89**
Πίνακας 4.10 :. Οδηγίες για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση **90**
Πίνακας 4.11 : Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για αστική χρήση εκτός πόσης και χρήσεις αναψυχής στην Ελλάδα. **91**
Πίνακας 4.12 : Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στη βιομηχανία, στην Ελλάδα. **92**
Πίνακας 4.13 : Σχεδιαστικές παράμετροι εγκατάστασης προωθημένης επεξεργασίας. **95**
Πίνακας 4.14 :. Τεχνικά χαρακτηριστικά αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου **96**
Πίνακας 4.15 : Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας στη φάση της εκκίνησης. **98**
Πίνακας 4.16 :. . Χαρακτηριστικά εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από διάφορες ΕΕΛ στην Ελλάδα **102**

Πίνακας 5.1 : :Πίνακας απόλυτων Θερμοκρασιών του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού με βάση την περίοδο 1961-1990 (ΕΜΥ) **115**
Πίνακας 5.2 : Ετήσια συχνότητα και ένταση ανέμων ανά διεύθυνση (ΕΜΥ). ... **116**

Πίνακας 6.1 : Βιομηχανικές και βιοτεχνικές ανάγκες (Martz, 1971). **118**
Πίνακας 6.2 : Καταναλώσεις δημόσιας χρήσεως (Martz, 1971). **118**
Πίνακας 6.3 : Ποσοστά κάλυψης από τα είδη καλλιεργειών. **119**
Πίνακας 6.4 : Απαιτούμενος όγκος νερού ανά είδος καλλιέργειας.. ..... **121**
Πίνακας 6.5 : Συνολική μέγιστη κατανάλωση πόσιμου νερού. **127**
Πίνακας 6.6 : Όρια Εκροής του ΕΕΛ Λαυρίου. **146**

Πίνακας 7.1 : Προτεινόμενες οδηγίες από την πολιτεία της Καλιφόρνιας για τη χρήση υπόγειου νερού για πόση υδροφόρων που εμπλουτίζονται με υγρά απόβλητα (Crook et al., 2000 and California State Department of Health Services, 2000, Asano and Levine, 1998). **153**
Πίνακας 7.2 : Ώρες λειτουργίας της πρέσσας. **159**
Πίνακας 7.3.α: Πίνακας εσόδων της εγκατάστασης για την περίοδο μελέτης.. . **160**
Πίνακας 7.3 β: Χρέωση ανά χωρητικότητα βυτιοφόρου. **160**
Πίνακας 7.4.α: Κόστος μισθοδοσίας. **161**
Πίνακας 7.4.β: Έξοδα συντήρησης. **162**
Πίνακας 7.4.γ: Ενεργειακά έξοδα **163**
Πίνακας 7.5 : Συγκεντρωτικός πίνακας εσόδων – εξόδων.. ..... **164**
Πίνακας 7.6 : Κοστολόγηση αγωγού μεταφοράς και αντλιοστασίου. **166**
Πίνακας 7.7 : Κοστολόγηση αγωγού μεταφοράς και αντλιοστασίου. **171**
Πίνακας 7.8 Διαστάσεις και όγκος σκυροδέματος δεξαμενής αμμόφιλτρων συνεχούς ανοδικής ροής απεριόριστης άρδευσης. **171**
Πίνακας 7.9 : Συστήματα UV αστικής χρήσης. **173**
Πίνακας 7.10 : Κοστολόγηση του αγωγού μεταφοράς και του αντλιοστασίου. . **177**

Πίνακας 8.1 : Υδρευτικές ανάγκες του Δήμου Λαυρεωτικής.. ..... **181**
Πίνακας 8.2 : Συνοπτική παρουσίαση προτάσεων και κοστών **182**

Πίνακας 1 :. Στοιχεία των αγροτικών δραστηριοτήτων που συντελούνται στον Δήμο Λαυρεωτικής (ΕΛ.ΣΤΑΤ) **192**
Πίνακας 2 :.Κτηνοτροφικές Δραστηριότητες στο Δήμο Λαυρεωτικής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

..... **198**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι
Περίληψη - Abstract

Ι.1 Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, αποτελεί μια διευρυμένη θεώρηση σχετικά με τη χρήση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων, ως μέθοδος εμπλουτισμού υδροφορέων, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υπόγειων υδατικών πόρων. Ειδικότερα αξιολογήθηκαν τα οικονομοτεχνικά χαρακτηριστικά δυο μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού για την εξυγίανση παράκτιων υδροφορέων.

Στην εργασία εξετάζονται οι κύριες παράμετροι σε σχέση με την ποιότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αστικής προέλευσης και στη συνέχεια αξιολογείται η αποτελεσματικότητά τους για τη χρήση τους ως νερά εμπλουτισμού με σκοπό την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με τη χρήση συστημάτων επεξεργασίας εδάφους-υδροφορέα.

Αναλύονται διεξοδικά οι κυριότερες εδαφικές παράμετροι που αφορούν στην αποτελεσματικότητα των συστημάτων SAT, και οι οποίες αλληλοσχετίζονται με την ποιότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αστικής προέλευσης τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως νερά εμπλουτισμού. Επίσης αναλύονται όλα εκείνα τα τεχνικο-οικονομικά στοιχεία της εν λόγω μεθόδου αλλά επίσης και το νομικό και θεσμικό πλαίσιο που διέπει την εφαρμογή της.

Η διπλωματική καταλήγει στη μελέτη εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα απόβλητα, στην περιοχή του Θορικού και στην πόλη του Λαυρίου, στο Δήμο Λαυρεωτικής. Στην περιοχή προτείνονται δύο μέθοδοι εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με σκοπό τη δημιουργία υδραυλικού φραγμού ανάσχεσης του μετώπου της θαλάσσιας διείσδυσης, γεγονός το οποίο θα υποστηρίξει (ή ακόμα και κα καλύψει πλήρως) συγκεκριμένες υδατικές ανάγκες της περιοχής.

Για την περίπτωση της υποστήριξης των αρδευτικών αναγκών, προτείνεται η εφαρμογή λεκανών κατάκλυσης-SAT, με τη χρήση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων της εκροής της ΕΕΛ. Ο εμπλουτισμός στοχεύει στην ανύψωση της πιεζομετρικής επιφάνειας του φρεάτιου αλλουβιακού υδροφορέα του Θορικού, με σκοπό την ανάσχεση του θαλασσινού μετώπου και τη βελτίωση της ποιότητας των Υ.Ν. και των διαθέσιμων αποθεμάτων του υδροφόρου στρώματος.

Για την περίπτωση της υποστήριξης των υδρευτικών αναγκών, προτείνεται η εφαρμογή απευθείας εμπλουτισμού στην κορεσμένη ζώνη του καρστικού υδροφορέα του Λαυρίου. Για τη συγκεκριμένη μέθοδο, εξετάστηκε επίσης η εναλλακτική λειτουργία της ΕΕΛ Λαυρίου. Η εργασία καταλήγει στην οικονομοτεχνική αξιολόγηση των δυο παραπάνω σεναρίων, για την περιοχή του παράκτιου υδροσυστήματος του Λαυρίου.

I.2 Abstract

This Postgraduate Thesis analyses the economic and technical characteristics that regard the application of Managed Aquifer Recharge *MAR*, in a coastal hydrosystem that suffers from seawater intrusion.

Initially the study examines the main parameters concerning the quality of wastewaters of municipal and urban origin, while evaluates their effectiveness in terms of their future use as recharge waters with the use of SAT systems.

It also analyses thoroughly the main soil properties and parameters associated with the effective application of SAT systems, which are also interrelated with the quality of the treated waste waters as alternative water source for artificial recharge. Also analyses the technical and economical parameters which involve the application of such projects, together with the legislative as well as the institutional framework which governs such an application.

The study investigates two different groundwater engineering scenarios, for the protection of two different types of aquifers (granular and karstic), that also are exploited for different purposes. The alluvial phreatic aquifer is used mainly for irrigation purposes, while the karstic aquifer (karstifed and highly fractured marble layer) was used as the main water source for the water supply of the area.

For the remediation of the alluvial aquifer, the application of a Soil Aquifer Treatment –SAT– system was selected as the mot appropriate engineering method to combat overexploitation and indirectly combat seawater intrusion. This application is envisaged that will remedy the alluvial aquifer of the area, while in turn will support the irrigation needs of the local agricultural community.

The karst aquifer is planned to be remediated through direct injection of tertiary treated wastewater (of municipal origin) that will target directly to the seawater wedge that is limited within the coastal zone (app. 1km). This will provide a head difference in the mainland part of the aquifer, which in turn will combat seawater intrusion, and therefore the aquifer may regain its role as a water supply ecosystem.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο}
Αντικείμενο και Μεθοδολογία

1.1 Αντικείμενο και μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάπτυξη των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει επιφέρει περιβαλλοντικά προβλήματα στο φυσικό περιβάλλον, με βασικό πρόβλημα την υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων. Οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες υδάτων σε γεωργικές, βιομηχανικές και οικιστικές δραστηριότητες εξασφαλίζονται από επίγειες και υπόγειες υδάτινες μάζες, επιστρέφοντας τες στο περιβάλλον υποβαθμισμένες ποιοτικά και ακατάλληλες για χρήση. Η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων, δημιουργεί προβλήματα, ιδιαίτερα στις παράκτιες ζώνες. Η υδραυλική επικοινωνία του υδροφορέα με τη θάλασσα, αυξάνει τις πιθανότητες υποβάθμισης της ποιότητας του, λόγω της διείσδυσης θαλασσινού νερού. Η διείσδυση αυτή, καθιστά το νερό ακατάλληλο για διάφορες χρήσεις και δημιουργεί ενδεχομένως μη αναστρέψιμες βλάβες στο υδρογεωλογικό σύστημα.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση εφαρμογής μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού στο παράκτιο υδρογεωλογικό σύστημα του Λαυρίου, με σκοπό την υποστήριξη των υδατικών αναγκών (υδρευτικών ή/και αρδευτικών) του Δήμου Λαυρεωτικής, μέσω της βελτίωσης της ποιότητας των υπόγειων νερών της περιοχής. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έγινε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.

Η εργασία αυτή, περιλαμβάνει αρχικά την επισκόπηση μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού, καθώς και περιπτώσεων μελέτης εφαρμογής με χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων από μονάδες βιολογικού καθαρισμού σε διάφορες περιοχές του εξωτερικού αλλά και στην Ελλάδα. Με βάση το επίπεδο τρέχουσας γνώσης και τις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες (υδρολογικές, υδρογεωλογικές, διαχείριση υγρών αποβλήτων, χρήσεις νερού, ποιότητα νερού εμπλουτισμού) προτείνονται δύο σενάρια εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού για τη διαχείριση της παράκτιας περιοχής του Λαυρίου.

Για την περιοχή μελέτης, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι αρχικά η βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα γεωγραφικά, γεωμορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά του Δήμου Λαυρεωτικής. Στην συνέχεια συγκεντρώθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται, έτσι ώστε να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος νερού για την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων. Βασικό στοιχείο επίσης για την διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής αποτελεί και ο βιολογικός καθαρισμός, του οποίου η περιγραφή πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 6. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω δεδομένα προτάθηκαν δύο σενάρια εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού.

Πίνακας 1.1 Διάγραμμα Gantt το οποίο περιγράφει στάδια που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας

	2014				2015				
Βήματα στην εκτέλεση της Διπλωματικής	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν
Επίσκεψη στο Λαύριο									
Συγκέντρωση των βιβλιογραφικών πηγών									
- Βιβλιογραφικές αναφορές για ΤΕ									
- Βιβλιογραφικές αναφορές για τον Δήμο Λαυρεωτικής									
- Πληθυσμιακά στοιχεία & στοιχεία χρήσης γης									
- Τεχνικά & οικονομικά στοιχεία για την ΕΕΛ Λαυρίου									
Σύνταξη προσχέδιου περιεχομένων									
Σύνταξη κεφαλαίων									
- Βιβλιογραφική ανασκόπηση									
- Υπολογισμός Αναγκών									
- Κατάστρωση εναλλακτικών σεναρίων επίλυσης									
Τελικός Έλεγχος Κειμένων									
Παράδοση									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο}
Τεχνητός Εμπλουτισμός

2.1 Εισαγωγή

Ως φυσικός εμπλουτισμός χαρακτηρίζεται ως το νερό των κατακρημνισμάτων που φθάνει στα υδροφόρα στρώματα και τα τροφοδοτεί, είτε άμεσα με την κατείσδυση, είτε έμμεσα με τη διήθηση από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου, υπό φυσικές συνθήκες, χωρίς παρέμβαση του ανθρώπου. Το ύψος του φυσικού εμπλουτισμού είναι ορισμένο κάθε υδρολογικό έτος και εξαρτάται από τη γεωλογική σύσταση, από το βροχομετρικό ύψος και το βροχομετρικό σύστημα (ετήσια κατανομή της βροχής).

Ο άνθρωπος όμως έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ποσότητα αυτή του νερού, να προκαλέσει δηλαδή «τεχνητό εμπλουτισμό». Επομένως ως τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων νερών ή όπως λέγεται πλέον τα τελευταία χρόνια, η διαχείριση του εμπλουτισμού των υδροφόρων (MAR, management of aquifer recharge) σε μία περιοχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η αύξηση των ποσοτήτων του νερού που εισέρχεται στα υδροφόρα στρώματα με χρήση ειδικών διαδικασιών, τεχνικών, εγκαταστάσεων και διατάξεων από τον άνθρωπο.

Στην πιο ευρεία έννοια ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι η εισαγωγή πρόσθετων ποσοτήτων νερού σε ένα ή σε πολλά υδροφόρα στρώματα. Αποτελεί μια σημαντική διαδικασία ενίσχυσης του υπόγειου υδατικού δυναμικού από επιφανειακά νερά, συμβάλλοντας έτσι ουσιαστικά στον περιορισμό του φαινόμενου της λειψυδρίας, η οποία τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί σε πολλές περιοχές. Η ένταση αυτή της λειψυδρίας έχει σχέση με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών και την ανομβρία που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια καθώς και με τις διάφορες επεμβάσεις στο υδρογραφικό δίκτυο όπου προκλήθηκαν περιορισμοί των επιφανειών διήθησης του επιφανειακού νερού με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση των ποσοτήτων τροφοδοσίας των υπόγειων νερών σε σχέση με το παρελθόν. Το πρόσθετο νερό το οποίο χρησιμοποιείται μπορεί να προέρχεται από επιφανειακό νερό ή από νερό παρακείμενων υδροφόρων στρωμάτων.

Στη χώρα μας σημαντικοί υδροφορείς (κυρίως σε προσχωσιγενείς αποθέσεις των μεγάλων πεδιάδων) άρχισαν να παρουσιάζουν φαινόμενα ποσοτικής υποβάθμισης του υδατικού δυναμικού τους ήδη από τις δεκαετίες του 1950 και 1960. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή του Αργολικού Πεδίου (όπου παρουσιάστηκαν

προβλήματα υποχώρησης της στάθμης των υδάτων και κατ' επέκταση προβλήματα υφαλμύρισης).

Έτσι έχει σημασία σε μια περιοχή ή μια λεκάνη να γνωρίζουμε τις κατηγορίες αποθεμάτων του υπόγειου νερού ή την «απόδοση» των υπόγειων υδροφορέων. Συναφές θέμα είναι και η διακύμανση της στάθμης των υδροφόρων που συνδέεται με τις μεταβολές των αποθεμάτων. Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι εκείνος ο τρόπος ο οποίος θα συμβάλει στην αύξηση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων.

Με τον όρο "τεχνητός εμπλουτισμός" περιγράφουμε τη διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αύξηση, με τεχνητό τρόπο, των ποσοτήτων του υπόγειου νερού, με σκοπό τον έλεγχο του υδρολογικού συστήματος (σε τοπική ή διαχειριστική κλίμακα), την αποθήκευση νερού και τον έλεγχο της ποιότητας του νερού στα πλαίσια που αυτό είναι δυνατό.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός επιτυγχάνεται με την αύξηση της διαβρεχόμενης επιφάνειας του εδάφους και την αύξηση της χρονικής διάρκειας της διήθησης των επιφανειακών νερών προς τα υδροφόρα στρώματα (εκτός εκείνης που συμβαίνει με τον φυσικό εμπλουτισμό). Επιτυγχάνεται επίσης με διάθεση νερού απευθείας μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω φρεάτων και γεωτρήσεων.

Οι σκοποί του τεχνητού εμπλουτισμού είναι πολλοί και σπουδαίοι. Αναφέρονται παρακάτω ορισμένοι από τους σπουδαιότερους (Χρυσικού 2008):

- η αντιμετώπιση της μείωσης ή εξάντλησης του νερού στους εντατικά εκμεταλλευόμενους υδροφορείς,
- η δημιουργία υπόγειων υδατικών αποθεμάτων,
- η αποθήκευση νερού (για φρεάτιους υδροφορείς),
- ο έλεγχος του υδρολογικού συστήματος (σε τοπική ή διαχειριστική κλίμακα),
- η πρόληψη ή αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης παραθαλάσσιων υδροφόρων στρωμάτων,
- η πρόληψη της καθίζησης εδαφών λόγω υπεράντλησης και
- ο έλεγχος της ποιότητας του νερού.
- Επίσης μπορεί να επιτευχθούν στόχοι όπως είναι ο έλεγχος των πλημμύρων, η ψύξη ζεστών νερών, η άντληση πετρελαίου, η συνδυασμένη αξιοποίηση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Το νερό της επιφανειακής απορροής μπορεί να αξιοποιηθεί γενικά με τους εξής τρόπους:

- Με άμεση άντληση από την κοίτη του υδρογραφικού δικτύου, ενώ ρέει, πριν καταλήξει στη θάλασσα.
- Με κατασκευή φραγμάτων, στην τεχνητή λίμνη των οποίων αποθηκεύεται και από την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
- Με τη χρησιμοποίησή του για τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων.

Στην πρώτη περίπτωση η λύση είναι κατά κανόνα συμφέρουσα, όμως μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο μικρό ποσοστό του επιφανειακού νερού. Εξάλλου η ζήτηση νερού είναι μέγιστη όταν η παροχή του υδρογραφικού δικτύου είναι ελάχιστη ή μηδενική. Άρα σε χώρες όπως η Ελλάδα δεν αποτελεί λύση σήμερα που απαιτείται αξιοποίηση όλου του υδατικού δυναμικού, ή μεγάλου τμήματός του.

Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε (στην Ελλάδα, στις άλλες παραμεσόγειες χώρες και σε όλο τον υπόλοιπο κόσμο) κατασκευή φραγμάτων και χρησιμοποίηση του νερού από τις τεχνητές λίμνες τους. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της θέσης κατασκευής του φράγματος η λύση μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο συμφέρουσα ή και ενίοτε αρκετά έως παντελώς ασύμφορη, αλλά αναγκαία για κοινωνικούς λόγους, όταν δεν υπάρχει άλλη λύση.

Στην τρίτη τέλος περίπτωση υπάρχει λύση που κατά τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύχθηκε σιγά-σιγά γιατί έχει πολλά πλεονεκτήματα. Βέβαια η λύση αυτή ενδείκνυται όταν είναι πρόσφορες οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες και εντέλει συμφέρουσες οι οικονομικές παράμετροι στο πλαίσιο συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων μιας περιοχής ή λεκάνης. Σε ορισμένες περιοχές η λύση αυτή είναι είτε η μόνη εφικτή, είτε αναγκαία και γι’ αυτό πρέπει να εφαρμόζεται ανεξάρτητα από οικονομικές παραμέτρους και αποδόσεις.

Με τον τεχνητό εμπλουτισμό αυξάνονται οι ποσότητες των διαθέσιμων υδατικών πόρων και αν εφαρμοστεί σωστά μπορεί να αντιμετωπίσει την ανεπάρκεια νερού και τα συνακόλουθα αποτελέσματά της (υφαλμύρωση, καθιζήσεις εδαφών λόγω υπεραντλήσεων).

2.2 Προϋποθέσεις για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Βουδούρης (2015)]

Οι βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού είναι οι ακόλουθες:

- η εξασφάλιση της απαραίτητης ποσότητας νερού για εμπλουτισμό. Πηγές νερού μπορεί να είναι: επιφανειακές απορροές (μόνιμες η εποχιακές), επεξεργασμένα νερά, πηγαία νερά, βρόχινο νερό, πλημμυρικές απορροές, υπόγειο νερό και άλλες λεκάνες
- η δέσμευση ή παραχώρηση της απαιτούμενης έκτασης γης
- οι κατάλληλες γεωμορφολογικές συνθήκες (ήπιο ανάγλυφο)
- οι κατάλληλες υδρογεωλογικές συνθήκες (ζώνες αυξημένης υδραυλικής αγωγιμότητας)
- η κατάλληλη ποιότητα του νερού εμπλουτισμού και χημική συμβατότητα αυτού με το υπόγειο νερό
- η ύπαρξη βασικών έργων υποδομής (δρόμοι για πρόσβαση στην περιοχή, δίκτυα μεταφοράς νερού κ.τ.λ.)
- η ρύθμιση διάφορων νομικών προβλημάτων που αφορά την μεταφορά νερού.
- το όφελος σε σχέση με το κόστος (κατασκευαστικό και λειτουργικό) να είναι σημαντικό

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Τεχνητού Εμπλουτισμού

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Βουδούρης (2015)]

Από περιβαλλοντική άποψη, ο τεχνητός εμπλουτισμός έχει γενικά θετικές συνέπειες που συνοψίζονται στα εξής:

- ενίσχυση του υπογείου δυναμικού και αντιμετώπιση της εξάντλησης των υδροφορέων.
- αντιμετώπιση των φαινομένων καθίζησης εδαφών
- βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού
- αναστροφή της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς
- προστασία της ύπαρξης και της λειτουργίας πηγών και υγροτόπων

- μείωση των απωλειών νερού από εξάτμιση, καθώς η αποθήκευση του νερού πραγματοποιείται υπόγεια

Από την άλλη πλευρά, ως μειονεκτήματα της εφαρμογής θα μπορούσαν να αναφερθούν (Σούλιος, 2004):

- ο κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, αν χρησιμοποιηθεί ρυπασμένο νερό
- η μεγάλη επιφάνεια της γης που απαιτείται για τη λειτουργία και συντήρηση ενός συστήματος εμπλουτισμού του υπόγειου νερού.
- η ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού.
- Δυσκολία αποτελεσματικής αντιμετώπισης του φαινομένου clogging (έμφραξη) των πόρων του εδάφους και των φιλτροσωλήνων των γεωτρήσεων εμπλουτισμού

2.4 Ιστορικό εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Κολικονιάρης (2012)]

Η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού ιστορικά έχει αρχίσει κατά τη Ρωμαϊκή εποχή στην Τυνησία, όπου έχουν βρεθεί σαφή ίχνη. Και σε άλλες παραμεσόγειες περιοχές έχουν επίσης βρεθεί παρόμοια ίχνη της ίδιας εποχής. Σημαντικό έργο τεχνητού εμπλουτισμού έχουμε στα τέλη του 18ου - αρχές του 19ου αιώνα για την ύδρευση της Γαλλικής πόλης Toulouse, το οποίο βέβαια βελτιώθηκε αργότερα. Επίσης την ίδια εποχή έχουμε αντίστοιχο έργο για την ύδρευση της Γλασκώβης.

Από το τέλος του 19ου αιώνα έχουμε κάποια έργα τα οποία βελτιώνονται στις αρχές του 20ού αιώνα. Όμως εκτενώς αναπτύσσεται ο τεχνητός εμπλουτισμός από τη δεκαετία του 1950, σχεδόν σε όλο τον κόσμο, όταν λόγω υπερεκμετάλλευσης άρχισε να υποχωρεί η στάθμη υδροφόρων στρωμάτων. Έτσι στις Η.Π.Α., ιδιαίτερα στην Καλιφόρνια, αλλά και σε άλλες Πολιτείες, πριν το 1978, η ετήσια ποσότητα των νερών τεχνητού εμπλουτισμού ήταν 770×10^6 m^3, το 1978 ήταν 4×10^9 m^3 και σήμερα είναι πολύ μεγαλύτερη. Στη Γερμανία το 1982 υπήρχαν 51 έργα τεχνητού εμπλουτισμού με συνολικό ετήσιο όγκο εμπλουτισμού 474×10^6 m^3 (το 10% της χώρας σε πόσιμο νερό). Στην Ολλανδία το 1990 είχαμε ετήσιο όγκο νερού τεχνητού εμπλουτισμού 156×10^6 m^3. Στο Βέλγιο ο εμπλουτισμός με λεκάνες αλλά και γεωτρήσεις προτάθηκε για την απώθηση του υφάλμυρου μετώπου προς τη

θάλασσα, ενώ στη Φινλανδία εφαρμόζεται για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού (τα νερά των λιμνών της χώρας παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις $KMnO_4$ του οποίου η συγκέντρωση μειώνεται με χημική επεξεργασία, πλήρωση του εδάφους και άντληση από λίγο μακρύτερα). Στο Ισραήλ η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού αποτελεί τμήμα του εθνικού σχεδιασμού. Το 1968 ο όγκος του νερού εμπλουτισμού ήταν 104×10^6 m^3 ετησίως, σήμερα δε είναι πολύ μεγαλύτερος.

Επιπρόσθετα των παραπάνω ενδεικτικών περιπτώσεων, σήμερα σε όλες σχεδόν τις χώρες της Ευρώπης (Γαλλία, Τσεχία, Ρωσία, Βέλγιο, Σουηδία, Αγγλία, Ιταλία) υπάρχουν σημαντικά έργα τεχνητού εμπλουτισμού. Επίσης και σε όλο τον υπόλοιπο κόσμο (Ιαπωνία, Μέση Ανατολή, Αυστραλία, Μεξικό κλπ) υπάρχουν σήμερα ανάλογα έργα με τεράστιες ποσότητες εμπλουτιζόμενου νερού. Σημειώνουμε ενδεικτικά ότι η Γαλλική πόλη Grenoble στις δυτικές Άλπεις, υδρεύεται σχεδόν αποκλειστικά από έργο τεχνητού εμπλουτισμού που κατασκευάστηκε το 1965.

Πίνακας 2.1 Σημαντικά έργα επαναχρησιμοποίησης (Πηγή: Asano et al., 2007)

Έτος	**Τοποθεσία**	**Δυναμικότητα (m^3/d)**	**Είδος έργου**
1912-1985	Golden Gate Park, San Francisco, California, USA		Άρδευση χώρων πρασίνου και ανάπτυξη λιμνών αναψυχής
1926	Grand Canyon National Park, Arizona, USA		Άρδευση WC, ψύξη και θέρμανση νερού
1929	City of Pomona, California, USA		Άρδευση κήπων και χώρων πρασίνου
1942	City of Baltimore, Maryland, USA		Ψύξη σε βιομηχανίες μετάλλου και επεξεργασία χάλυβα στην Bethlem Steel Company
1960	City of Colorado springs, Colorado, USA		Άρδευση γηπέδων γκολφ, πάρκων, νεκροταφείων και διαδρομών περιπάτου
1961	Irvine Ranch Water District, California, USA	60000	Άρδευση, βιομηχανική και αστική χρήση και καθαρισμός WC σε υψηλά κτίρια
1962	La Soukra , Tunisia		Άρδευση εσπεριδοειδών με ανακυκλωμένο νερό και χρήση για τη μείωση της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων
1968	City of Windhoek, Namibia	21000	Σύστημα απευθείας ανακύκλωσης υγρών αποβλήτων για αύξηση αποθεμάτων πόσιμων παροχών νερού μετά από ανάμειξη
Έτος	**Τοποθεσία**	**Δυναμικότητα (m^3/d)**	**Είδος έργου**
1969	City of Wagga Wagga, Australia	10000	Άρδευση κοινόχρηστων χώρων και καθαρισμό WC
1970	Sappi Pulp and Paper group, Enstra, South Africa		Χρήση ανακτώμενων αστικών υγρών αποβλήτων στη βιομηχανία χαρτιού
1975	Κοιλάδα Ποταμού Salt, Peonix, Arizona, USA	10000	Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας
1976	Orange Country Water District, California, USA	200000	Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με απευθείας έγχυση στους υδροφορείς στο Water Factory 21

1977	Den Region Project, Tel-Aviv, Israel	500000	Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με λεκάνες διήθησης. Τα υπόγεια νερά μεταφέρονται στο νότιο μέρος της χώρας για άρδευση καλλιεργειών
1977	City of St. Petersburg, Florida, USA	100000-150000	Άρδευση πάρκων, γηπέδων γκολφ, σχολικών κήπων, άλλων χώρων πρασίνου και ψύξη νερού
1984	Tokyo Metropolitan Government, Japan		Έργο ανακύκλωσης νερού στο Shirijuku District στο Τόκιο με την προμήθεια ανακτώμενου νερού για καθαρισμό WC σε 19 ουρανοξύστες σε πυκνοκατοικημένη περιοχή.
1985	City of El Paso, Texas, USA	38000	Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με απευθείας εφαρμογή με γεωτρήσεις του Hueco Bolson και ψύξη νερού σε μονάδα παραγωγής ενέργειας
1987	Monterey Regional Water Pollution Control Agency - Menterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture, California, USA	5500	Άρδευση γεωργικών καλλιεργειών (συμπεριλαμβανομένων αγκινάρας, σέλινου κτλ.)
1989	Shoalhaven Heads Australia	120000	Άρδευση κήπων και χρήση για καθαρισμό WC σε ιδιωτικές κατοικίες.

2.5 Διεθνής εμπειρία από την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού

Οι εφαρμογές του τεχνητού εμπλουτισμού επεκτείνονται συνεχώς σε πολλές χώρες του κόσμου, ενώ οι τεχνικές του βελτιώνονται με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Χώρες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μεγάλα σχέδια εμπλουτισμού των υδροφορέων είναι οι Η.Π.Α. (από το 1957-58), το Ισραήλ (1955), Αγγλία, Γερμανία, Τσεχοσλοβακία, Ολλανδία, Βέλγιο, Σουηδία, Φινλανδία, Σοβιετική Ένωση, Ιαπωνία, Ταϊλάνδη (Μπανγκόγκ), Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία. Προχωρημένες τεχνικές τεχνητού εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται στην Ισπανία, Ελβετία, Γερμανία, Γαλλία, Σουηδία, Ισραήλ, Αίγυπτο, Αλγερία, Ιράν και Λιθουανία, Ουκρανία.

Σε ότι αφορά τη χώρα μας μεμονωμένες περιπτώσεις τεχνητού εμπλουτισμού τοπικού χαρακτήρα έχουν γίνει σε ορισμένα μέρη, όπως στην περιοχή Απεράθου Νάξου (98 μικρά φράγματα ανάσχεσης της χειμαρρικής ροής για τον εμπλουτισμό υδροφόρων στρωμάτων) και στο Αργολικό Πεδίο.

Όσον αφορά τον τεχνητό εμπλουτισμό με επαναχρησιμοποιημένα λύματα, στις Η.Π.Α. εδώ και πολλές δεκαετίες άρχισαν να χρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα μετά από επεξεργασία για τεχνητό εμπλουτισμό υδροφόρων στρωμάτων με τη μέθοδο της επιφανειακής κατάκλυσης - διήθησης. Οι Pettygrove και Asano (1985) αναφέρουν ότι στην πολιτεία της Καλιφόρνιας κατά τη διάρκεια του έτους 1977 χρησιμοποιήθηκε όγκος επεξεργασμένων αστικών λυμάτων της τάξεως των 32 x 106 m3 για τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων.

Ένα οργανωμένο και φιλόδοξο σχέδιο στη χώρα μας – που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια – είναι το πιλοτικό πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην περιοχή της Θέρμης Θεσσαλονίκης (από την ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ Α.Ε. σε συνεργασία με το Ε.Μ.Π.).

2.6 Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού υδροφορέων

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Διαμαντής κ.α. (2014)]

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται αποσκοπούν στην αύξηση της κατακόρυφης διήθησης (αύξηση του χρόνου επιφανειακής απορροής και της αντίστοιχης επιφάνειας). Μπορεί να εφαρμοστεί διήθηση μέσω ειδικών επιφανειακών κατασκευών με διαπερατό πυθμένα, επαναφόρτιση μέσω φρεάτων ή επιβαλλόμενη επαναφόρτιση.

Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία (Bianchi, 1978, Bouwer, 1995, Buchan, 1958, Committee on Ground Water, 1961, Διαμαντής κ.α.,1994, Διαμαντής κ.α., 1999, Καλλέργης, 1986, Meinzer, 1946, Muckel, 1958, Muckel, 1959, Muckel and Schiff, 1955, Nightingale and Bianchi, 1977, Oaksford, 1985, Pettyjohn, 1981, Πλιάκας και Διαμαντής, 1995, Πλιάκας, 1998, Πλιάκας και Διαμαντής, 1999, Pliakas et al., 2001, Todd, 1980, Todd and Mays, 2005) έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού, όπως:

- Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στην επιφάνεια (επιφανειακής κατάκλησης)

  - Μέθοδος λεκάνης (basin method)
  - Μέθοδος τάφρων και αυλακών (ditch and furrow method)
  - Μέθοδος πλημμύρας (flooding method)
  - Μέθοδος διευθέτησης υδρορεύματος (stream-channel modification)
  - Επανενεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδρορεύματος (stream flow reactivation or augmentation)
  - Μέθοδος άρδευσης (irrigation method)

- Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος

  - Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (natural openings method)
  - Μέθοδος ορυγμάτων (pit method)
  - Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (reverse drainage method)
  - Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού (recharge well method)
  - Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης - άντλησης (aquifer storage and recovery-ASR-wells)
  - Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (vadose zone wells)

Στην πρώτη ομάδα μεθόδων το επιφανειακό νερό ποταμού, πηγής ή χειμάρρου εκτρέπεται και οδηγείται σε ειδικά διαμορφωμένες θέσεις, στις οποίες είτε ρέει με αργό ρυθμό είτε παραμένει στάσιμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα μέρος του νερού να διηθείται και αφού περάσει την ακόρεστη ζώνη φτάνει στο υδροφόρο στρώμα και το εμπλουτίζει. Ο τρόπος αυτός παρουσιάζει πλήθος παραλλαγών και συνδυασμών, ενώ βασική προϋπόθεση για την επιτυχία του είναι η ύπαρξη υδραυλικής επικοινωνίας του νερού εμπλουτισμού με το υδροφόρο στρώμα.

Στη δεύτερη ομάδα μεθόδων, το επιφανειακό νερό οδηγείται σε πηγάδια και ενίοτε σε γεωτρήσεις μέσω των οποίων διοχετεύεται απ’ ευθείας στους υδροφόρους ορίζοντες τους οποίους εμπλουτίζει άμεσα.

Υπάρχουν ωστόσο και συνδυαστικές ή έμμεσες διαδικασίες τεχνητού εμπλουτισμού. Τέτοιες μέθοδοι είναι οι εξής:

- Συνδυασμοί επιφανειακού και υπεδαφικού εμπλουτισμού

* Συνδυασμός λεκάνης εμπλουτισμού και αποστραγγιστικού δικτύου (combination of surface – subsurface recharge)
* Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (basins with pits, shafts, or wells)

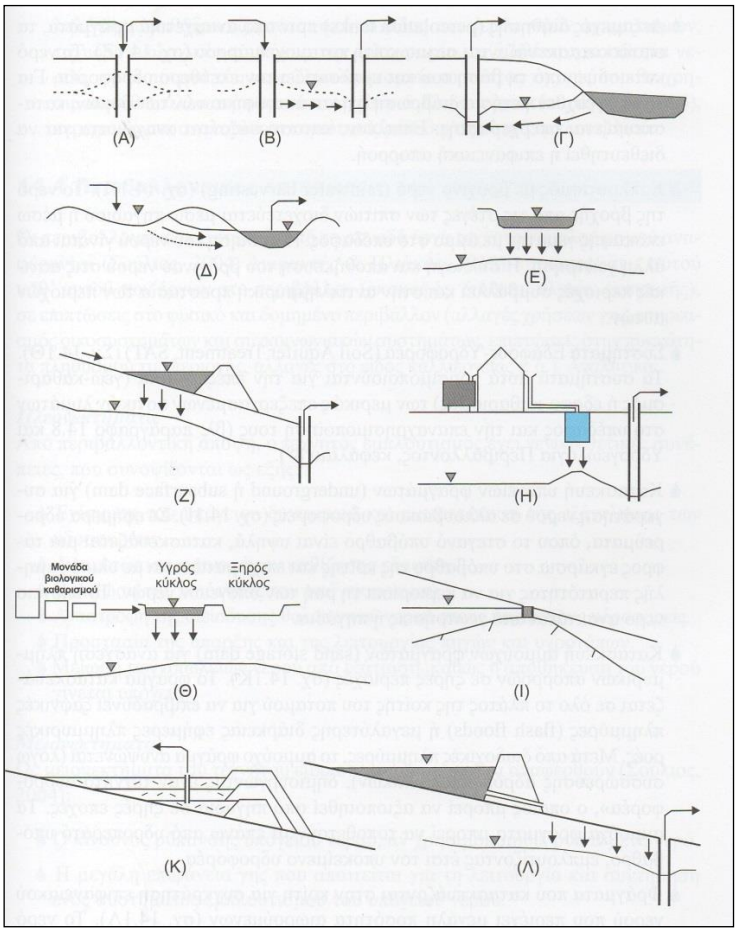
- Μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού

* Επαγωγικός εμπλουτισμός (induce recharge)
* Συμπτωματικός εμπλουτισμός (incidental recharge)
* Διευθέτηση υδροφορέων (aquifer modification)

Μεγάλη σημασία για τον εμπλουτισμό έχουν τόσο οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής όσο και η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού εμπλουτισμού. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται για τον τεχνητό εμπλουτισμό τα επεξεργασμένα αποτελέσματα από βιολογικούς καθαρισμούς.

- Μέθοδοι εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα

* Συστήματα φυσικής επεξεργασίας μέσω του εδάφους-υδροφορέα (Soil-Aquifer Treatment Systems, SAT)
* Γεωτρήσεις μετά από προηγμένες διαδικασίες καθαρισμού (Advanced Wastewater Treatment, AWT)



Εικόνα 2.1: Σχηματική παρουσίαση των διαφόρων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού (Dillon 2005, Βουδούρης 2015).

2.6.1 Μέθοδος επιφανειακής κατάκλυσης- διήθησης

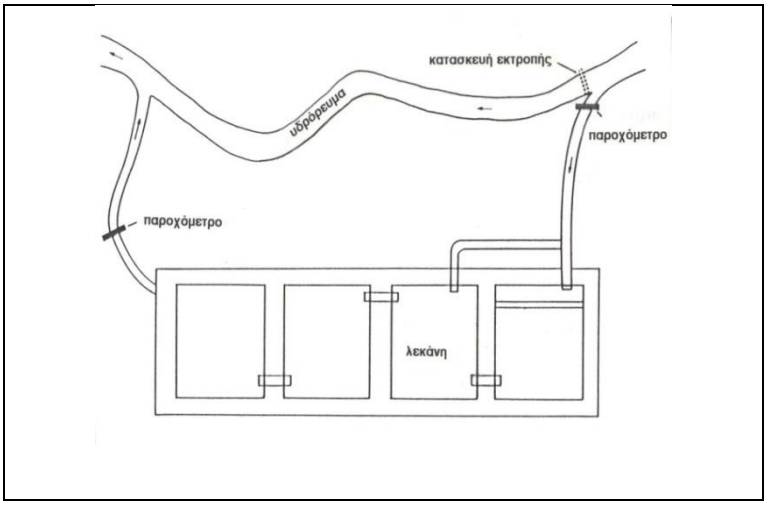
Είναι από τις πλέον απλές, τις παλαιότερες και τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους τεχνητού εμπλουτισμού. Σκοπός τους είναι η αύξηση της ποσότητας του νερού που κατεισδύει στο υπέδαφος και τροφοδοτεί τον ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα, με την παροχέτευση νερού στην επιφάνεια του εδάφους (Muckel, 1959). Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της ποσότητας του νερού που τροφοδοτεί τον υποκείμενο υδροφόρο είναι η έκταση και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής εμπλουτισμού και η χρονική διάρκεια που το νερό βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος (Todd, 1980). Η αποτελεσματικότητα ή απόδοση του Τ.Ε. μετριέται με τη ταχύτητα κίνησης του νερού προς το υπέδαφος.

Λεκάνης κατάκλυσης (basin method)

Οι λεκάνες εμπλουτισμού είναι από τις πλέον προσφιλείς μεθόδους Τ.Ε. γιατί επιτρέπουν επαρκή χρήση της επιφάνειας του εδάφους και απαιτούν σχετικά απλή συντήρηση. Το νερό εμπλουτισμού παροχετεύεται σε λεκάνες που σχηματίζονται με την κατασκευή αναχωμάτων, τάφρων ή εκσκαφών. Το μέγεθος και το σχήμα της λεκάνης προσαρμόζεται στη μορφολογία του εδάφους. Όταν το νερό διηθείται από τον πυθμένα μια λεκάνης κατάκλυσης τότε η υδροστατική επιφάνεια σχηματίζει ένα ύβωμα. Η γεωμετρία του υβώματος εξαρτάται από εκείνη της λεκάνης, τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα, την παροχή και τη διάρκεια εμπλουτισμού (Bauman, 1965, Bittinger and Tzelease, 1965, Hantush, 1967, Haskell and Bianchi, 1965).

Οι λεκάνες μπορούν να κατασκευασθούν ανεξάρτητα, όπως σε μικρές εκτάσεις όπου αποστραγγίζεται η απορροή βροχοπτώσεων ή καταιγίδων, ή σε σειρά από λεκάνες όπου παροχετεύεται το νερό υδρορρευμάτων. Η τελευταία διάταξη παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως (Oaksford, 1985):

- η δυνατότητα αποθήκευσης διευκολύνει την αύξηση του χρόνου εμπλουτισμού,
- οι ανάντη πρώτες λεκάνες βοηθούν στη διαδικασία καθαρισμού του νερού που οδηγείται στις επόμενες κατάντη λεκάνες,
- παρέχεται η ευχέρεια να τίθονται εκτός λειτουργίας λεκάνες που χρειάζονται συντήρηση (ξύσιμο, σκάψιμο, αναμόχλευση) χωρίς να παρεμποδίζεται η όλη λειτουργία του έργου εμπλουτισμού.



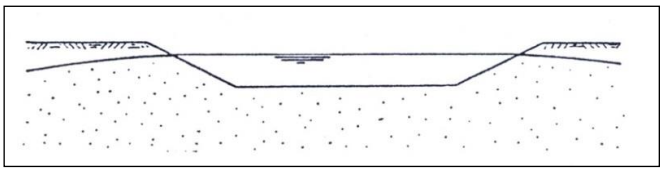
Εικόνα 2.2: Τυπική διάταξη σειράς λεκανών εμπλουτισμού παράπλευρα σε υδρόρευμα (Bianchi and Muckel, 1970, Καλλέργης 1986).

Η ικανότητα διήθησης του νερού, που πρέπει να είναι απαλλαγμένο από αιωρούμενα υλικά (ιλύ), μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη οργανικών και χημικών ουσιών στο νερό. Επίσης μπορεί να βελτιωθεί και με την καλλιέργεια βλάστησης στην επιφάνεια ή με άλλες ειδικές επεμβάσεις στη λειτουργία του έργου όπως προγραμματισμένες παύσεις λειτουργίας κάποιων λεκανών με αποξήρανσή τους και περιοδικό όργωμά τους με στόχο την αντιμετώπιση του φαινομένου της απόφραξης των εδαφικών πόρων (clogging) (Muckel, 1959, Schiff, 1955).

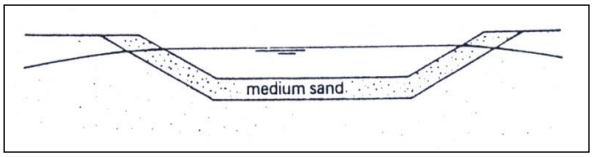
Μερικά από τα πλεονεκτήματα των λεκανών περιλαμβάνουν:

- τη δυνατότητα επαρκούς εκμετάλλευσης της εδαφικής επιφάνειας που προσφέρεται για εμπλουτισμό αφού το νερό εμπλουτισμού έρχεται σε άμεση επαφή με το 75-90% της περιοχής εμπλουτισμού (Καλλέργης, 1986),
- τη δυνατότητα συγκράτησης των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού με την κατασκευή ανάλογων λεκανών καταλλήλων διαστάσεων,
- τη δυνατότητα αποθήκευσης περιοδικών πλημμυρών για μελλοντική χρήση τους με σκοπό τον εμπλουτισμό,
- την αντιμετώπιση του φαινομένου clogging (Oaksford, 1985).

Η μέθοδος της λεκάνης επιτρέπει την άμεση επαφή του νερού εμπλουτισμού με το 75-90% της περιοχής που θα εμπλουτιστεί. Το νερό του εμπλουτισμού πρέπει να απαλλαγεί από τα αιωρούμενα υλικά (ιλύς). αυτό γίνεται στη "λεκάνη κατακράτησης ιζήματος". Συχνά οι λεκάνες του συστήματος τίθενται περιοδικά εκτός λειτουργίας, προκειμένου να καθαριστούν.Αυτό γίνεται διαδοχικά για κάθε μια λεκάνη.



Εικόνα 2.3: Απλή λεκάνη κατάκλυσης (Huisman and Olsthoorn, 1983).

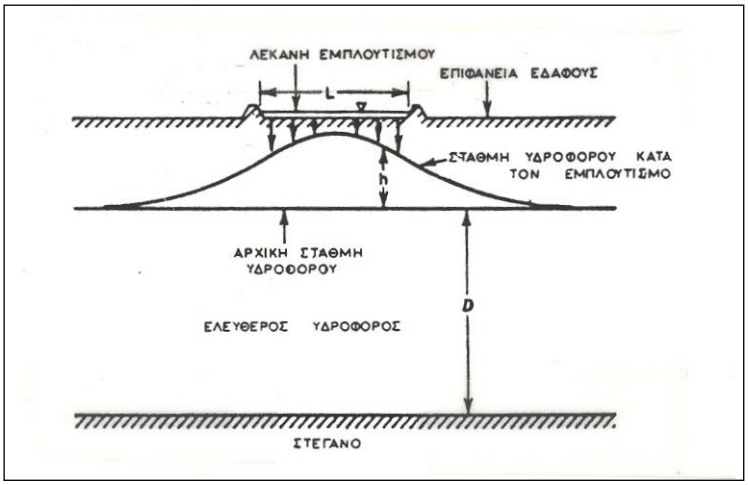


Εικόνα 2.4: Λεκάνη κατάκλυσης με στρώμα άμμου στο πυθμένα και τα πρανή (Huisman and Olsthoorn,1983).

Όταν το νερό που κατεισδύει φτάνει στον υποκείμενο ελεύθερο υδροφόρο, σχηματίζεται ένα ύβωμα στο υπόγειο νερό και το νερό εμπλουτισμού κινείται κυρίως πλευρικά προς τον υδροφόρο (σχ. 3.6) (Bouwer, 1989). Η ανύψωση του υβώματος εμπλουτισμού κατά τη διάρκεια της κατάκλισης και η πτώση του υβώματος κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης μπορεί να προβλεφθεί με την εξίσωση του Hantush (Bouwer, 1978). Η εξίσωση αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η επιρροή του συστήματος διήθησης στη στάθμη του υπόγειου νερού σε διάφορες αποστάσεις από τις λεκάνες κατάκλισης.

Αν υπάρχουν περίπλοκοι παράγοντες στο σύστημα του υδροφόρου, όπως η κλίση στο φυσικό υπόγειο νερό και άλλοι μηχανισμοί ανανέωσης ή εκμετάλλευσης του υπόγειου νερού (χείμαρροι, πηγάδια, πηγές, άντληση του υπόγειου νερού για αγροτικούς σκοπούς κτλ), η επιρροή του τεχνητού εμπλουτισμού στη στάθμη του υπόγειου νερού μπορεί να εκτιμηθεί με μοντέλα του συστήματος του υδροφόρου χρησιμοποιώντας τεχνικές ανάλυσης πεπερασμένων διαφορών ή πεπερασμένων στοιχείων.

Ο υδροφόρος θα πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική μεταβιβαστικότητα ώστε να κρατηθεί το ύβωμα του υπόγειου νερού κάτω από τον πυθμένα των λεκανών διήθησης για να αποφευχθούν μειώσεις στο ρυθμό διήθησης (Bouwer, 1989). Μια διαμήκης και στενή λεκάνη εμπλουτισμού ή μια σειρά από λεκάνες παράγουν χαμηλότερα υβώματα από ότι οι τετράγωνες ή κυκλικές λεκάνες με το ίδιο εμβαδόν και υδραυλικά φορτία.



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα ανύψωσης της υδροστατικής επιφάνειας κάτω από μια λεκάνη εμπλουτισμού (Todd, 1980, Καλλέργης, 1986).

Τάφροι και αυλάκια (ditch and furrow method)

Το νερό παροχετεύεται σε μια σειρά από τάφρους ή αυλάκια μικρού βάθους, πλάτους 0,3-1,8 m, επίπεδου πυθμένα και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους (σχ. 3.12). Το σύστημα αυτό των τάφρων και αυλακών μπορεί να έχει (Καλλέργης, 1986, Muckel, 1959):

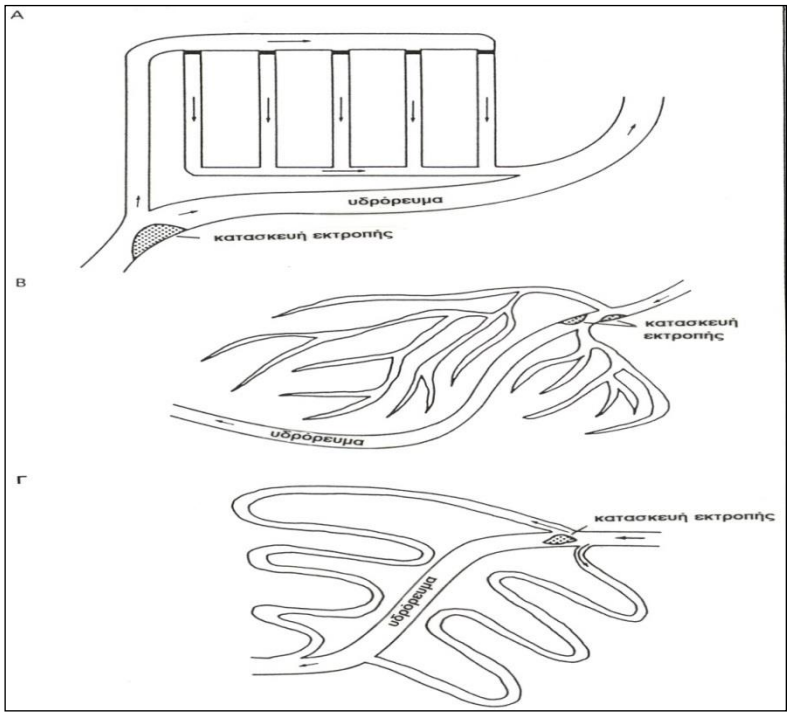
- μαιανδρική μορφή (ακολουθώντας τις ισοϋψείς),
- δενδροειδή μορφή (το κύριο κανάλι διακλαδίζεται σε δευτερεύοντα),
- πλευρική μορφή (κατασκευή μικρών καναλιών ή τάφρων πλευρικά προς το κύριο κανάλι)

Η μέθοδος αυτή είναι πρακτικά προτιμητέα όπου το νερό εμπλουτισμού περιέχει μεγάλα φορτία αιωρούμενων υλικών. Επίσης είναι καλή σε ανώμαλο εδαφικό ανάγλυφο, αλλά η επιφάνεια επαφής νερού-εδάφους σπάνια φτάνει το 10% όλης της επιφάνειας εφαρμογής του εμπλουτισμού.

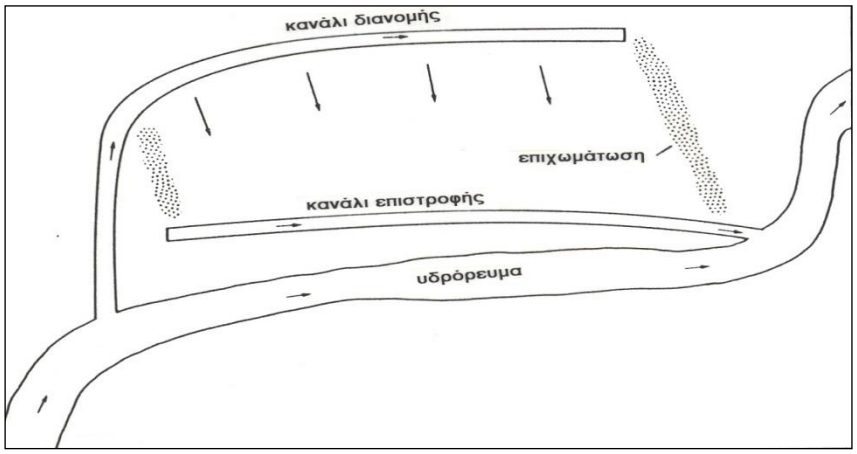
Πλημμυριζόμενης περιοχής (Flooding method)

Με τη μέθοδο αυτή, σε σχετικά μικρής κλίσης (1-3%) περιοχές, το νερό απλώνεται με τη βοήθεια καναλιών και αυλακών διανομής, με σκοπό να κατακλύσει μεγάλη έκταση σχηματίζοντας ένα στρώμα μικρού πάχους που κινείται αργά, ώστε να μη διαταραχθεί το έδαφος (σχ. 3.8). Γενικά οι ταχύτητες διήθησης είναι μεγαλύτερες σε περιοχές με αδιατάρακτη βλάστηση και αδιατάρακτο έδαφος. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, ενώ παρουσιάζει μειονεκτήματα σημαντικά, όπως (Καλλέργης, 1986, Oaksford, 1985):

- η απαίτηση για μεγάλη έκταση εφαρμογής της,
- η εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων από το νερό εμπλουτισμού,
- η δυσκολία ικανοποιητικής ανάσχεσης του νερού που πλημμυρίζει.



Εικόνα 2.6: Τυπικό σύστημα τεχνητού εμπλουτισμού τάφρων και αυλακών Α.Πλευρική διάταξη Β. Δενδριτική διάταξη Γ. Μαιανδρική διάταξη (Asano, 1985, Καλλέργης 1986).



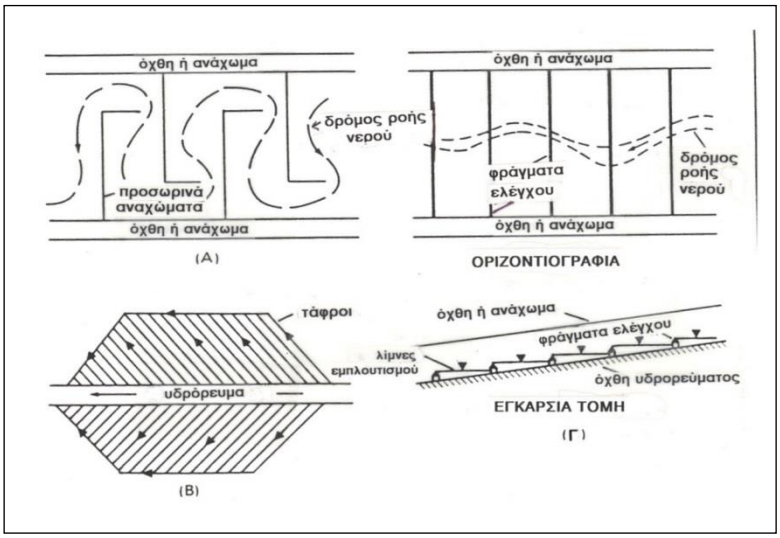
Εικόνα 2.7: Τυπική διάταξη συστήματος εμπλουτισμού με πλημμύρα (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986).

Διευθέτηση υδρορεύματος (stream - channel modification)

Με τη μέθοδο αυτή επιχειρείται η αύξηση της ικανότητας διήθησης με την κατάλληλη διευθέτηση της κοίτης υδρορεύματος με σκοπό την επιβράδυνση της ροής του νερού μέσα στο υδρόρευμα και την αύξηση της επιφάνειας της κοίτης που έρχεται σε επαφή με το νερό του υδρορεύματος (σχ. 3.14). Οι εργασίες διευθέτησης μπορεί να περιλαμβάνουν την κατασκευή χαμηλών διαφραγμάτων κλιμακωτών και εγκάρσια προς τη ροή του νερού, τη διεύρυνση, την επιπέδωση, την εκσκαφή της κοίτης, τη δημιουργία παράπλευρων τάφρων, την κατασκευή αναχωμάτων εγκάρσια προς τη ροή. Τα έργα αυτά είναι συνήθως προσωρινά, φτιαγμένα από τα υλικά του πυθμένα του υδρορεύματος και σχεδιασμένα να αυξάνουν τις ποσότητες που εμπλουτίζονται εποχιακά. Επίσης καταρρέουν εύκολα σε πιθανές πλημμύρες. Παρόλα αυτά η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική όπου αποφασίζεται να εφαρμοστεί, αφού το κόστος κατασκευής των έργων είναι σχετικά χαμηλό, η συντήρησή τους δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρή ενώ η όλη διαδικασία δεν επηρεάζει άλλες χρήσεις γης.

Επανενεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδρορεύματος (stream flow reactivation or augmentation)

Η μέθοδος αυτή επιχειρεί την εφαρμογή του εμπλουτισμού στην αρχή της πηγής τροφοδοσίας υδρορεύματος με σκοπό την επανενεργοποίηση ή την αύξηση της ικανότητας διήθησης. Η μέθοδος χρησιμοποιείται ως εναλλακτική μέθοδος Τ.Ε. σε περιοχές όπου έχουμε κοίτες εγκαταλειμμένες όπως στην περιοχή Πολυσίτου Ξάνθης (Διαμαντής et al., 1994, Πλιάκας et al., 1995, Πλιάκας, 1998, Πλιάκας et al., 1999), ή σε κοίτες που έχει μειωθεί η έκτασή τους εξ αιτίας της μεγάλης πτώσης του υποκείμενου υδροφόρου ορίζοντα, όπως στο Long Island της Νέας Υόρκης (Prince, 1982). Εκτός από το πρακτικό μέρος της ευεργετικής από υδρογεωλογική άποψη εφαρμογής του Τ.Ε., η εφαρμογή της μεθόδου αποκτά και άλλες διαστάσεις αφού με την εκ νέου ροή νερού στην κοίτη, το ευρύτερο περιβάλλον επανακτά τη διαταραγμένη φυσική του λειτουργία. Η μέθοδος αυτή βέβαια είναι λιγότερο αποτελεσματική από άλλες αφού οι ταχύτητες ροής του νερού στην κοίτη συχνά υπερβαίνουν την ταχύτητα διήθησης ενώ οι οικονομικοί πόροι για την εφαρμογή της δεν είναι πάντα διαθέσιμοι.



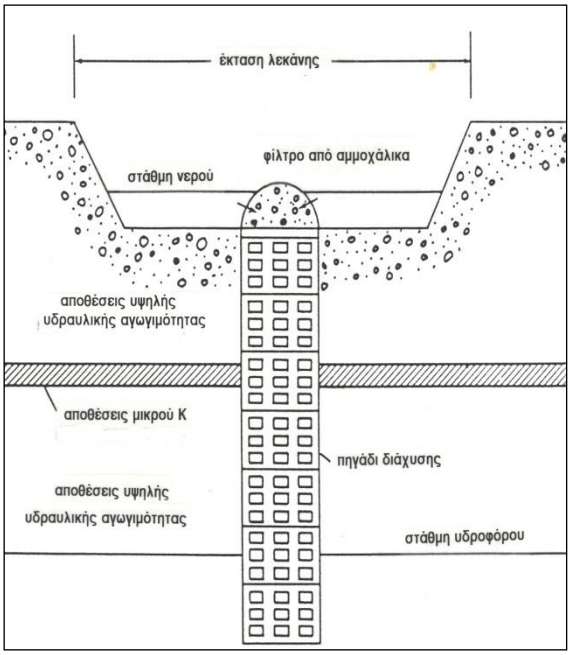
Εικόνα 2.8: Τεχνητός εμπλουτισμός με διευθέτηση υδρορεύματος Α. Εκτροπή Β. Με τάφρους Γ. Φράγματα και λεκάνες έλεγχου (Asano 1985, Καλλέργης, 1986).

Άρδευση (irrigation method)

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται εμπλουτισμός από το πλεόνασμα νερού της άρδευσης σε αρδευόμενες περιοχές κατά τις περιόδους της αγρανάπαυσης, το χειμώνα ή τις μη αρδευτικές περιόδους (σχ. 3.15). Η μέθοδος είναι παρόμοια με την τυπική διαδικασία των τεχνικών της άρδευσης, που μπορεί να περιλαμβάνουν επιφανειακή ροή του νερού, τάφρους και αύλακες, σύστημα υπόγειας άρδευσης, διατάξεις εμπλουτισμού με πλημμύρα, συστήματα καταιονισμού (Israelson, 1950). Η μέθοδος χρησιμοποιεί συνήθως μια από τις πιο πάνω τεχνικές άρδευσης, αφού εκμεταλλεύεται το πλεονάζον νερό άρδευσης. Είναι πολύ φτηνή μέθοδος γιατί χρησιμοποιείται το αρδευτικό σύστημα διανομής του νερού που ήδη είναι εγκαταστημένο και δεν χρειάζεται ιδιαίτερη προπαρασκευή του εδάφους. Το συνηθισμένο πρόβλημα της μεθόδου είναι η απόπλυση των εδαφών (leaching), με τη μεταφορά αλάτων από τη ριζική ζώνη στο υπόγειο νερό ή με την απομάκρυνση λιπασμάτων του εδάφους, προκαλώντας έτσι μείωση της παραγωγής (Καλλέργης, 1986).

2.6.2 Μέθοδος υπόγειας διήθησης

Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν τεχνικές: (i) άντλησης υδροφόρων με σκοπό την πρόκληση εμπλουτισμού από παρακείμενα επιφανειακά νερά που βρίσκονται σε άμεση υδραυλική επικοινωνία, (ii) διευθέτησης υδροφόρων ή δημιουργίας νέων υδροφόρων με σκοπό την ανανέωση ή δημιουργία αποθήκευσης υπόγειου νερού.

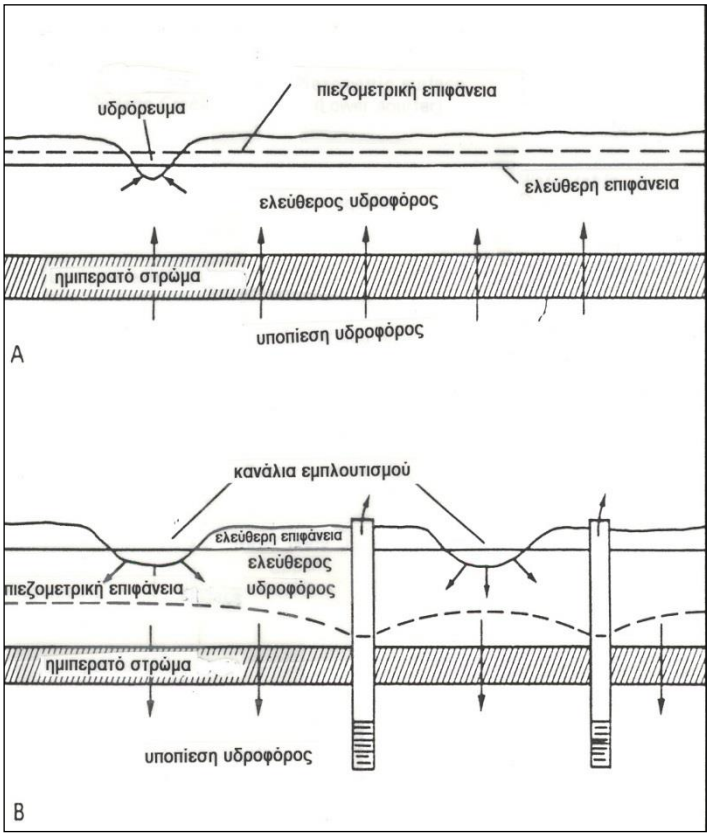


Εικόνα 2.9: Συνδυασμός λεκάνης και γεώτρησης εμπλουτισμού (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986).

Επαγωγικός εμπλουτισμός (induced surface water recharge)

Η διαδικασία αυτή του εμπλουτισμού δεν θεωρείται πάντα σαν μια αμιγής μέθοδος Τ.Ε. γιατί δεν οδηγεί τυπικά στην αύξηση της ποσότητας του υπόγειου νερού σε αποθήκευση, αλλά προκαλεί αύξηση του ρυθμού πτώσης της στάθμης ενός υδροφόρου (Buchan, 1964). Ο επαγωγικός εμπλουτισμός συμβαίνει με την άντληση υπόγειου νερού σε μια περιοχή που γειτνιάζει με ένα υδρόρευμα ή μια λίμνη (σχ. 3.11). Η πτώση στάθμης στον υδροφόρο θα προκαλέσει μεγάλη υδραυλική κλίση από το επιφανειακό σώμα νερού προς τον υδροφόρο και έτσι αυξημένη ροή του νερού από το πρώτο προς το δεύτερο. Η μέθοδος είναι φθηνή και πολύ αποτελεσματική, ιδιαίτερα αν το σώμα επιφανειακού νερού είναι μια λίμνη ή υδρόρευμα με συνεχή ροή, οπότε εξασφαλίζεται ένας συνεχής εμπλουτισμός, έστω

και αν σε γειτονική περιοχή πραγματοποιούνται απολήψεις μεγαλύτερες από τη φυσική αναπλήρωση του υδροφόρου (Καλλέργης, 1986). Η ποσότητα του νερού που εισέρχεται με τη μέθοδο αυτή στον υδροφόρο, εξαρτάται από την ποσότητα και την εγγύτητα του επιφανειακού νερού, την υδραυλική αγωγιμότητα και τη μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου, την έκταση και την περατότητα των υλικών της κοίτης του υδρορεύματος ή του πυθμένα της λίμνης και την υδραυλική κλίση που δημιουργείται κατά την άντληση (Reed et al., 1966).Θα πρέπει η ταχύτητα ροής νερού στο υδρόρευμα να είναι σημαντική, ώστε να αποφευχθεί η απόθεση ιλύος που θα προκαλέσει απόφραξη στους πόρους της κοίτης (Καλλέργης, 1986). Ο επαγωγικός εμπλουτισμός παρέχει νερό ελεύθερο οργανικών υλών και παθογόνων βακτηρίων (Kazmann, 1948, Klaer, 1953).



Εικόνα 2.10: Επαγωγικός εμπλουτισμός A. Κατάσταση πριν την άντληση B. Μετά την άντληση (Pettyjohn, 1981, Καλλέργης, 1986).

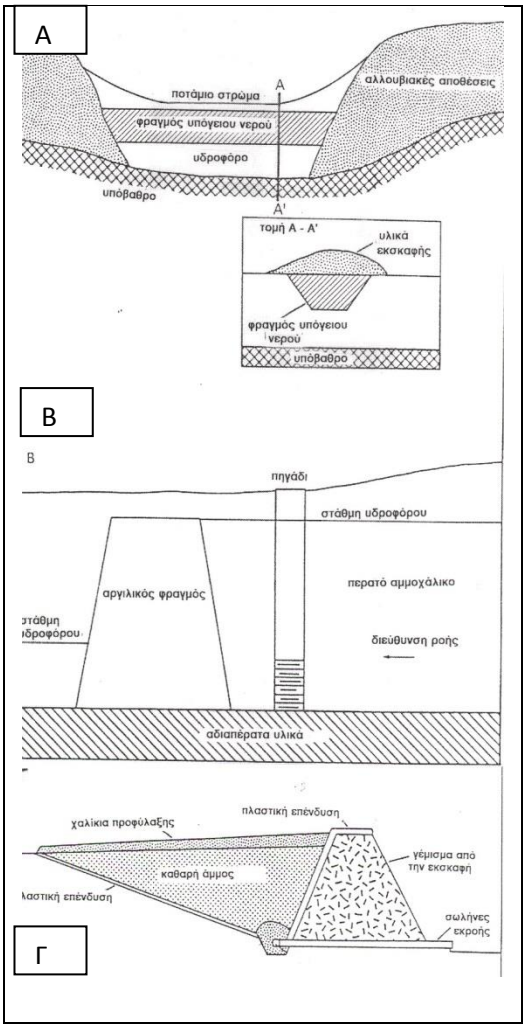
Συμπτωματικός εμπλουτισμός (incidental recharge)

Ο εμπλουτισμός αυτός είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου, που δεν συνδέονται κατ' αρχήν με τον Τ.Ε. των υδροφόρων. Σ' αυτήν την κατηγορία

ανήκει ο εμπλουτισμός που προέρχεται από το νερό της άρδευσης, των καταβόθρων, των σηπτικών δεξαμενών, των διαφόρων υπονόμων, αγωγών, καναλιών κ.λπ. Έχει υπολογισθεί ότι το 30% του νερού της άρδευσης επιστρέφει στους ελεύθερους υδροφόρους. Συχνά όμως ο συμπτωματικός εμπλουτισμός προκαλεί προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης του υπόγειου νερού (μόλυνση-ρύπανση) (Καλλέργης, 1986).

Διευθέτηση υδροφορέων (Aquifer modification)

Οι υδροφόροι μπορεί να διευθετηθούν με διάφορες κατασκευές όπως υπόγεια διαφράγματα που παρεμποδίζουν τη διαρροή τους, (Keller, 1933, Ratnoparkhi, 1978, Pettyjohn, 1981), ή με τεχνικές που δημιουργούν επιπρόσθετη αποθηκευτική ικανότητα όπως με τη δημιουργία τεχνητών υδροφόρων μικρής κλίμακας (σχ. 3.21). Στην τελευταία περίπτωση, οι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι: (i) η επιλογή καταλλήλων διαστάσεων λεκάνης αποστράγγισης, (ii) η μέριμνα για τη διατήρηση της ικανότητας αποθήκευσης στα επιθυμητά όρια, και (iii) η πρόληψη φαινομένων clogging (Helweg et al., 1978).



Εικόνα 2.11: Παραδείγματα διευθέτησης υδροφόρων Α. με παρεμπόδιση της εξόδου ροής Β. με αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας (υπόγειο διάφραγμα) Γ. κατασκευή τεχνητού υδροφορία (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986).

2.7 Προβλήματα παράκτιων υδροφορέων

[κύριες βιβλιογραφικές πηγές Βουδούρης Κ. (2015), Διαμαντής κ.α. (2014)]

Το βασικό πρόβλημα των παράκτιων υδροφορέων είναι η υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων νερών με κύρια αιτία την υφαλμύρωση, καθώς έχει παρατηρηθεί μια έντονη τάση εισχώρησης του θαλασσινού νερού στον παράκτιο καρστικό υδροφόρο ορίζοντα.

Η υφαλμύριση είναι ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα με διαλυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου. Μπορεί κατ' επέκταση να θεωρηθεί

ως ένας τύπος περιβαλλοντικής ρύπανσης, ο οποίος οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά και σε υδρογεωλογικούς παράγοντες.

Σε μία περιοχή όπου παρατηρείται θαλάσσια διείσδυση, η διαδικασία αυτή αποτελεί μια ειδική περίπτωση υφαλμύρωσης. Πολύ μεγάλο ποσοστό φαινομένων θαλάσσιας διείσδυσης οφείλεται σε υπεράντληση των παράκτιων υδροφορέων (ανθρωπογενής αιτία) και είναι ένα από τα πλέον σημαντικά προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων νερών. Ως γνωστόν, όταν οι απολήψιμες ποσότητες υπόγειου νερού υπερβαίνουν το φυσικό εμπλουτισμό ενός παράκτιου υδροφορέα, παρατηρούνται φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης. Από την άποψη των υδατικών πόρων, η θαλάσσια διείσδυση περιλαμβάνει δύο αλληλένδετους παράγοντες (Werner &Simmons, 2009):

1) την κίνηση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα υποβαθμίζοντας την ποιότητα του νερού στα υδρομαστευτικά έργα (γεωτρήσεις, πηγάδια)
2) την απώλεια του αποθηκευμένου όγκου γλυκού νερού

Αλμυρά σώματα νερού στο υπέδαφος δεν σχετίζονται απαραίτητα με την θαλάσσια διείσδυση, αλλά με άλλες αιτίες, όπως παλιά αλμυρά νερά, παλιές σαλαμούρες, παρουσία ορυκτού αλατιού, γεωθερμικά ρευστά, καθώς και διάλυση των αλάτων του εδάφους. Να σημειωθεί ότι ο ρόλος της επίδρασης των αερομεταφερόμενων υδατικών μαζών της θάλασσας με την μορφή σταγονιδίων είναι πολύ σημαντικός όσων αφορά την υφαλμύρωση των ρηχών παράκτιων υδροφορέων.

Λόγω των πολλών πηγών υφαλμύρωσης, ο ασφαλής καθορισμός της προέλευσής της απαιτεί την καλή κατανομή των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης. Η αναγνώριση της υφαλμύρωσης που προκαλείται από τη θάλασσα δεν είναι πάντα εύκολη και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες, όπως ο συντελεστής Revelle, οι λόγοι ισοτόπων $^{13}C/^{12}C$ και $^{34}S/^{32}S$, οι χημικοί λόγοι Ca/Mg, Na/Cl, Br/J, Cl/Br, Cl/SO_4 και άλλοι.

Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης αφορά κυρίως τους πορώδεις και καρστικούς υδροφορείς. Οι πορώδεις υδροφορείς αναπτύσσονται σε αδρομερείς τεταρτογενείς ή τριτογενείς αποθέσεις. Χαρακτηριστικό τους είναι οι εναλλαγές αδρομερών – υδροπερατών (χάλικες, άμμοι) και λεπτόκοκκων – στεγανών (άργιλος, ιλύς) φάσεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ελεύθερου και επάλληλων υπό πίεση υδροφόρων στρωμάτων στην ίδια, κατά την κατακόρυφη έννοια, θέση. Οι καρστικοί υδροφορείς (ανοικτά καρστ) επηρεάζονται από την θαλάσσια διείσδυση καθώς βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία με τη θάλασσα.

Η εκφόρτιση γλυκού νερού στους παράκτιους υδροφόρους γίνεται (Fetter, 1994):

1) δια μέσου πηγών στον πυθμένα των θαλασσών ή σε υδατορεύματα
2) σε ανάμειξη με το αλμυρό νερό στην ζώνη μετάβασης
3) με διαρροή δια μέσου ημιπερατών στρωμάτων κάτω από την επίδραση είτε της υδραυλικής κρίσης είτε της διαφοράς αλατότητα

Εικόνα2.12: Σχηματική αναπαράσταση επιδράσεων στους παράκτιους υδροφόρους (Essink, 2001).

2.8 Τρόπος επίλυσης

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Καλλιώρας (2014)]

Η διείσδυση της θάλασσας προκαλείται κυρίως από τη μείωση της ροής του γλυκού νερού προς τη θάλασσα ως αποτέλεσμα της υπεράντλησης του υπόγειου νερού, που προέρχεται από την εκροή από ελεύθερο υδροφόρο, ή την απελευθέρωση νερού

από ελαστική αποθήκευση, ή/και την εκροή από τη διεπιφάνεια θαλάσσιου νερού/γλυκού νερού, όπου το γλυκό νερό αντικαθίσταται από το αλμυρό νερό (Essaid, 1986). Η αλμυρή σφήνα κινείται συνεπώς προς την ενδοχώρα, η εκροή μειώνεται και το πάχος της αλμυρής σφήνας αυξάνει. Εάν διατηρηθεί κάποια ροή γλυκού νερού, τότε ενδεχομένως να αναπτυχθεί μια νέα κατάσταση ισορροπίας.

Ο έλεγχος της αλμυρής διείσδυσης απαιτεί ικανοποιητική γνώση των υδραυλικών συνθηκών του υδροφόρου και της πηγής του αλμυρού νερού. Η γνώση της έκτασης ενός προβλήματος υφαλμύρισης και η εκτίμηση της συμπεριφοράς του αλμυρού υδάτινου σώματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες εμπλουτισμού και εκφόρτισης είναι αναγκαία έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η διαχείριση του προβλήματος.

Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης είναι η παρεμπόδισή της με τη ρύθμιση του υδροφόρου, ώστε η σφήνα του θαλάσσιου νερού να ελέγχεται σε ένα αποδεκτό βαθμό. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα αποτελεί “κληρονόμημα” του παρελθόντος και η προσπάθεια δεν μπορεί παρά να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση της περαιτέρω θαλάσσιας διείσδυσης ή/και στη μείωση της έκτασης του υφιστάμενου αλμυρού νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο υδροφόρος μπορεί να είναι ρυπασμένος σε τέτοιο βαθμό, ώστε η ανάκτησή του να μην μπορεί να είναι εφικτή. Στις περιπτώσεις αυτές, η εγκατάλειψη της χρήσης του υδατικού πόρου για ύδρευση είναι η μόνη λύση, παρά το γεγονός ότι το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμη σε ορισμένες βιομηχανικές ή αγροτικές εφαρμογές.

Στην περίπτωση που πολλά βαθιά υδροφόρα συστήματα αποτελούνται από επάλληλους υδροφόρους σε εναλλαγές με βραδυϋδροφόρα, τότε οι βαθύτεροι αυτοί υπό πίεση υδροφόροι αξιοποιούνται συχνά όταν οι ανώτεροι υδροφόροι έχουν ρυπανθεί από τη διείσδυση αλμυρού νερού. Όμως, εδώ εγκυμονεί ο κίνδυνος να έχουμε διαρροή από τον υπερκείμενο προς τον υποκείμενο υδροφόρο, καθώς αυξάνουν οι διαφορές στο υδραυλικό φορτίο. Μια δυναμική απειλή για την ποιότητα του νερού στον υποκείμενο υδροφόρο εμφανίζεται στις περιπτώσεις εκείνες που οι γεωτρήσεις χαρακτηρίζονται από κακοτεχνίες. Οι γεωτρήσεις αυτές μπορεί να παράσχουν μια διαδρομή μεταβίβασης αλμυρού νερού από τον υπερκείμενο προς τον υποκείμενο υδροφόρο.

Φραγμοί ελέγχου της θαλάσσιας διείσδυσης

Οι μέθοδοι ελέγχου της θαλάσσιας διείσδυσης συνήθως έχουν εφαρμοστεί ή μελετηθεί σοβαρά μόνο σε περιοχές όπου οι υπεραντλήσεις του νερού προκάλεσαν την πτώση της στάθμης των υδροφόρων κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Σε πολλές περιοχές με σοβαρές υπεραντλήσεις, οι υδροφόροι δεν έχουν ακόμη απολέσει την ιδιότητά τους ως πηγές νερού και αυτό οφείλεται στην πολύ αργή ταχύτητα κίνησης του αλμυρού νερού. Οι σχετικοί υπεύθυνοι φορείς των περιοχών αυτών βέβαια πρέπει να λύσουν το πρόβλημα, γιατί αν το αλμυρό νερό εισβάλει στον υδροφόρο, τότε θα πάρει εκατοντάδες χρόνια για την επαναφορά της αλμυρότητας του υδροφόρου στα επίπεδα εκείνα πριν την εκμετάλλευσή του. Διάφοροι φραγμοί ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρεμπόδιση ή την επιβράδυνση της διείσδυσης αλμυρού νερού μέσα στον υδροφόρο, όπως:

- Φραγμοί άντλησης

Οι φραγμοί ή κοιλώματα άντλησης δημιουργούνται από τις συνεχείς αντλήσεις κατά μήκος μιας γραμμής γεωτρήσεων πολύ κοντά στην ακτογραμμή, με αποτέλεσμα το γλυκό νερό να ρέει προς τη θάλασσα. Το αντλούμενο γλυκό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες χρήσεις στην ενδοχώρα.

Φραγμοί άντλησης έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές για να παρεμποδίσουν ή να μειώσουν τη θαλάσσια διείσδυση. Το 1965 ένας φραγμός άντλησης μήκους 0,8 km δημιουργήθηκε στον υδροφόρο Oxnard, στην Oxnard Plain, Ventura County, στις ΗΠΑ, από το California Department of Water Resources (CDWR) (Stone, 1978). Ο πειραματικός αυτός φραγμός αποτελούμενος από 5 γεωτρήσεις σταμάτησε να λειτουργεί το 1968 εξαιτίας της διάβρωσης και επειδή αποδείχθηκε αναποτελεσματικός στην παρεμπόδιση της διείσδυσης της θάλασσας. Οι φραγμοί αυτού του τύπου μπορεί να αντλήσουν και χρήσιμο γλυκό νερό και να μην αποτελούν πολύτιμη λύση σε περιοχές που το γλυκό νερό σπανίζει. Γενικά οι Kashef (1977) και Stone (1978) θεωρούν ότι η διείσδυση της θάλασσας μπορεί τεχνικά να ελεγχθεί με τη μέθοδο αυτή, αλλά γενικά είναι πιο δαπανηρή από τους φραγμούς εμπλουτισμού (έγχυσης). Στις περισσότερες περιοχές, όπου μελετήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής των μεθόδων αυτών, φάνηκε ότι οι φραγμοί άντλησης δεν είναι εφαρμόσιμοι από οικονομικής πλευράς. Παρόλα αυτά, σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, μπορεί η εφαρμογή τους να είναι οικονομικά συμφέρουσα. όπως σε χώρους απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, ή σε παράκτιο υδροφόρο με σχετικά

περιορισμένη επικοινωνία με τη θάλασσα. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι οι αντλήσεις προκαλούν σημαντική πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού σε όλη την υδρογεωλογική λεκάνη, με αποτέλεσμα το κόστος άντλησης να αυξάνεται συνεχώς ή κάποιες γεωτρήσεις να στερεύουν, ή την ενεργοποίηση της κατακόρυφης κίνησης αλμυρού νερού προς το γλυκό υδροφόρο.

- Φραγμοί εμπλουτισμού (έγχυσης) γλυκού νερού

Υβώματα εμπλουτισμού (φραγμοί εμπλουτισμού) σχηματίζονται από γεωτρήσεις εμπλουτισμού ή έγχυσης (injection wells) με σκοπό τη διατήρηση ενός υβώματος πίεσης κατά μήκος της ακτογραμμής. Εδώ γλυκό νερό εγχέεται μέσα στον υδροφόρο με τη βοήθεια μιας γραμμής γεωτρήσεων παράλληλα προς την ακτή, αφού το νερό εμπλουτισμού ρέει τόσο προς την ενδοχώρα όσο και προς τη θάλασσα. Το δημιουργούμενο ύβωμα προστατεύει τον υδροφόρο από τη θαλάσσια διείσδυση. Ο κατάλληλος σχεδιασμός των αποστάσεων μεταξύ των γεωτρήσεων και η επιλογή των θέσεων θα διασφαλίσει ότι το νερό της θάλασσας δεν θα βρει διέξοδο μεταξύ των φραγμών για να διεισδύσει, ή να κινηθεί κατακόρυφα. Γενικά απαιτείται μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων, που έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και το πιο σημαντικό μια πηγή γλυκού νερού υψηλής ποιότητας.

Ο σχεδιασμός και ο τρόπος κατασκευής των γεωτρήσεων εμπλουτισμού εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της θέσης της γεώτρησης, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στον περιφραγματικό της γεώτρησης, το φιλτροσωλήνα της γεώτρησης, το χαλικόφιλτρο, την πάκτωση με υδαρές κονίαμα/τσιμέντο γύρω από τον περιφραγματικό και την αντλία. Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας για να μειώνει τη συχνότητα της απόφραξης (clogging), να αυξάνει την περίοδο λειτουργίας της γεώτρησης και να μειώνει το κόστος καθαρισμού. Επιπροσθέτως, η χλωρίωση του νερού εμπλουτισμού προστατεύει τους σωλήνες, εμποδίζει τις δυναμικές διαρροές και μειώνει τη βιορύπανση (βιοαπόφραξη) των σχηματισμών (fouling) (Bloetscher, 1999).

Η γεώτρηση εμπλουτισμού, όταν υπάρχει απόφραξη και η στάθμη του νερού εμπλουτισμού υπερβαίνει τα αποδεκτά επίπεδα, πρέπει να υποβάλλεται στη διαδικασία της επανανάπτυξης ανά τριετία (Bruington, 1968). Έτσι αποκαθίσταται η αποτελεσματικότητα της γεώτρησης και αυξάνεται η ειδική της ικανότητα. Επίσης, η πίεση έγχυσης του νερού εμπλουτισμού στο σωλήνα πρέπει να παρακολουθείται και να ελέγχεται προσεκτικά για να εμποδίζονται οι διακυμάνσεις της στάθμης που θα

μπορούσαν να διακόψουν τη συνέχεια του χαλικόφιλτρου ή ακόμη και προκαλέσουν βλάβες στην ίδια τη γεώτρηση.

Το νερό εμπλουτισμού εγχέεται στις γεωτρήσεις με πίεση μεμονωμένα ή και σε μικρές ομάδες γεωτρήσεων ταυτόχρονα, έτσι ώστε να εμποδίζεται η πλήρης υποχώρηση του φορτίου του υβώματος παρεμπόδισης σε περιπτώσεις αιφνίδιας διακοπής της λειτουργίας μιας γεώτρησης, που μπορεί να οφείλεται σε ατύχημα, κακή λειτουργία ή σε απεργίες. Θα πρέπει να κατασκευάζονται γεωτρήσεις ελέγχου πλησίον της γραμμής του φραγμού εμπλουτισμού για να παρακολουθούνται τα επίπεδα της στάθμης του υπόγειου νερού. Αυτό θα επέτρεπε τον ακριβή προσδιορισμό των ποσοτήτων του νερού εμπλουτισμού για να παρεμποδιστεί η θαλάσσια διείσδυση (Atkinson, 1968).

Όταν χρησιμοποιούνται γεωτρήσεις εμπλουτισμού για τον έλεγχο της θαλάσσιας διείσδυσης, η θέση σχηματισμού του υδραυλικού φραγμού θα πρέπει να προσδιορίζεται κοντά στο άκρο της αλμυρής σφήνας (Bloetscher, 1999). Τα κριτήρια ποιότητας του νερού εμπλουτισμού θα πρέπει να τίθενται με βάση τα κύρια και δευτερεύοντα σταθερότυπα του πόσιμου νερού, όπως γίνεται στις ΗΠΑ (Crook et al., 1991). Οι παράμετροι που εξετάζονται στο νερό εμπλουτισμού στις Η.Π.Α. είναι οι ακόλουθες (EPA, 1999): οι πτητικές οργανικές ενώσεις, όπως βρωμοφόρμιο, χλωροφόρμιο, διβρωμοχλωρομεθάνιο, διβρωμοδιχλωρομεθάνιο, διχλωροοξικό οξύ, διχλωρομεθάνιο, τα ανόργανα χημικά, όπως Al, An, As, αμίαντος, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, κυανιούχα άλατα, F, Fe, Pb, Mn, Hg, νιτρικά, νιτρώδη και το σύνολό τους με τη μορφή του N, Sn, Ag, τα ραδιονουκλεΐδια, όπως σωματίδια άλφα και βήτα, Ra-226, Ra-228, Rn-222, Sr-90, T, U, οι χημικές παράμετροι Cl, αφρώδεις παράγοντες (MBAS), pH, θειϊκά, TDS, Ca, Mg, Na, K, και συνολικός οργανικός άνθρακας.

Η κατασκευή του φραγμού εμπλουτισμού της Los Angeles County Flood District κόστισε από το 1953 έως το 1973, 20 εκατομμύρια $, μη συμπεριλαμβανομένου του κόστους προμήθειας (αγοράς) του νερού εμπλουτισμού και της τιμαριθμικής αναπροσαρμογής (DRBC, 1981). Το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας του φραγμού, μήκους 32 km, ήταν κατά προσέγγιση 1,5 εκατομμύρια $ την περίοδο 1978- 1980, ενώ το ετήσιο κόστος του φιλτραρισμένου νερού εμπλουτισμού ήταν 0,086 $ / m^3 νερού (Bookman-Edmonston Engineers, 1982). Το μέσο λειτουργικό κόστος για την περίοδο 1978-1980 ήταν 44.000 $ ανά km (6 γεωτρήσεις / km), δηλαδή 7000$ ανά γεώτρηση για μια υπολογισμένη έγχυση ανά ημέρα της τάξης των 3,8 x 105 m^3 νερού. Το λειτουργικό κόστος εξαρτάται από το μήκος του φραγμού, τη

γεωμετρία και τις φυσικές ιδιότητες του υδροφόρου, τις διαφορές στα επίπεδα της στάθμης του υδροφόρου σχετικά με το μέσο επίπεδο της θάλασσας και τους όγκους του εγχεόμενου νερού που εμπλουτίζει τον υδροφόρο και αντλείται για να χρησιμοποιηθεί.

Ο Stone (1978) συνοψίζει, για το Oxnard Plain, το κόστος κεφαλαίου σε 18,3 εκατομμύρια $ και το ετήσιο λειτουργικό κόστος σε 430000 $. Για φραγμό μήκους 13 km, το 1980, το κόστος κεφαλαίου είναι 1,4 εκατομμύρια $ / km ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι 34.000 $ / km. Το κόστος κεφαλαίου και το λειτουργικό κόστος ανά μονάδα νερού εμπλουτισμού είναι 1,225 $ και 0,028 $ / m3 αντίστοιχα, αν λάβουμε υπόψη ότι 1,5 δισεκατομμύρια m^3 νερού εγχέονται ετησίως στον υδροφόρο.

- Τεχνητοί υπόγειοι φραγμοί

Η δημιουργία τεχνητών υπόγειων φραγμών, σε όλη την έκταση του υδροφόρου και παράλληλα προς την ακτογραμμή, περιλαμβάνει την κατασκευή κουρτίνας από πασσαλοσανίδες (sheet piles), ή την κατασκευή τάφρων από άργιλο, ή την έγχυση αδιαπέρατων υλικών μέσω γεωτρήσεων, όπως μπεντονίτη, υδατοστεγανή άργιλο, ρευστοκονίαμα από τσιμέντο.

Ο Kashef (1997) υποδηλώνει ότι, παρά την τεχνική αρτιότητα των μεθόδων κατασκευής τους, το κόστος είναι συνήθως πάρα πολύ υψηλό, επειδή το απαιτούμενο βάθος είναι μεγάλο. Ακόμη και στις περιπτώσεις των ανώτερων στρωμάτων όπου το κόστος μπορεί να μην είναι απαγορευτικό, ο Kashef σημειώνει ότι μπορεί να έχουμε πλημμύρισμα παράκτιων χαμηλών περιοχών πίσω από το φραγμό. Υπολογισμοί του μοναδιαίου κόστους για τοιχία από υδαρό κονίαμα κυμαίνονται μεταξύ 20 και 40 $ / m^2. Έτσι, για ένα τοιχίο με εύρος παρόμοιο με το στάνταρτ εξοπλισμό εκσκαφής και 10 m βάθους, το κόστος είναι 200-400 $ ανά τρέχον m του τοιχίου. Το κόστος σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το βάθος της εκσκαφής, το μήκος του τοιχίου και το κόστος των διαθέσιμων υλικών. Φραγμοί τέτοιου είδους απαιτούν εκσκαφή μέχρι το στεγανό υπόβαθρο για να είναι αποτελεσματικοί. Τα αδιαπέρατα τοιχία μπορεί να είναι 100% αποτελεσματικά αλλά στην πράξη πάντα υπάρχουν κάποια κενά στην κατασκευή τους.

- Βιολογικοί φραγμοί

Καινοτόμες τεχνολογίες χρειάζονται για την παρεμπόδιση της προώθησης του μετώπου της διείσδυσης της θάλασσας η οποία απειλεί τις παροχές πόσιμου νερού των παράκτιων κοινοτήτων. Οι James κ.ά. (2001) παρουσιάζουν μια πρωτοποριακή μέθοδο που αναπτύχθηκε μέσω της συνεργασίας του MSE Technology Applications

και του Center for Biofilm Engineering του Πανεπιστημίου της Montana State, στις ΗΠΑ. Εργαστηριακές μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου στα πορώδη μέσα (James et al., 2000). Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια διαδικασία επιλεκτικής απόφραξης των πόρων μιας διαπερατής στρώσης με μικροβιακά μικροφίλμ. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη βακτηριακών μικροφίλμς, που μέσω της παραγωγής υπερκυτταρικών πολυμεροειδών ουσιών (EPS) φράσσουν τις οπές της πορώδους μάζας. Αυτοί οι μικροβιακοί φραγμοί μπορούν να οδηγήσουν στην παρεμπόδιση της θαλάσσιας διείσδυσης μέσω της μείωσης της υποεπιφανειακής υδραυλικής αγωγιμότητας και να αναβαθμίσουν για το λόγο αυτό τις στρατηγικές ελέγχου με εμπλουτισμό. Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ένα δοκιμαστικό στρώμα εύρους 39,62 m, μήκους 54,86 m και βάθους 6,1 m, το οποίο αποτέλεσε ένα τεχνητό υδροφόρο. Ο σχηματισμός του φραγμού από μικροφίλμς άρχισε με την εισαγωγή βακτηρίων και διαλύσεων με θρεπτικές ουσίες με γεωτρήσεις έγχυσης. Η διάλυση των βακτηρίων συνίσταται από στερούμενης τροφής κυτταρική αιώρηση του τύπου Pseudomonas fluorescens και ακολουθήθηκε ένα πρωτόκολλο της MSE που αυξάνει τη μεταφορά και την επιβίωση στο υπέδαφος των βακτηρίων. Η μέση υδραυλική αγωγιμότητα μειώθηκε πλησίον του βιοφίλμ από 2,1x10-2 στο 1,3x10-4 cm/sec, μια μείωση της τάξης του 99,4%.

Μια λεπτομερής οικονομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την εγκατάσταση ενός φραγμού από βιοφίλμ σε ένα παράκτιο υδροφόρο των δυτικών Η.Π.Α. Σήμερα η διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο αυτό ελέγχεται με γεωτρήσεις εμπλουτισμού, όπου αφού εξετάστηκαν όλα τα δεδομένα, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι τρέχουσες απαιτήσεις άντλησης γλυκού νερού θα μπορούσαν να μειωθούν κατά τουλάχιστον 50% χωρίς να διακοπεί η συνεχής παροχή νερού (James et al., 2001). Η εγκατάσταση και η συντήρηση του φραγμού θα κόστιζε 5,3 εκατομμύρια $ και θα απέφερε μειωμένο κόστος απόληψης νερού περισσότερο από 1,3 εκατομμύρια $ ετησίως. Αντίθετα, η απόδοση της επένδυσης με τη χρήση γεωτρήσεων εμπλουτισμού είναι της τάξης του 24% για μια περίοδο 30 ετών, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πρόσθετο κόστος (αυξημένο κόστος νερού και άντλησης). Όλα αυτά δείχνουν ότι η εφαρμογή των φραγμών με την τεχνολογία των βιοφίλμ μπορεί να είναι οικονομικά πολύ ελκυστική. Ένας αποτελεσματικός φραγμός από βιοφίλμ μπορεί να εγκαθιδρυθεί σε πραγματικές συνθήκες, με σοβαρά πλεονεκτήματα, αφού δεν χρειάζονται εκσκαφές και επομένως έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν περιορισμοί στο βάθος, ενώ οι παραδοσιακοί υποεπιφανειακοί φραγμοί δεν είναι οικονομικά πραγματοποιήσιμοι σε βάθος μεγαλύτερο των 6,1 m.

Τεχνητός Εμπλουτισμός

Σε περιπτώσεις παράκτιων περιοχών, όπου επαρκείς ποσότητες γλυκού νερού είναι διαθέσιμες για εμπλουτισμό, σε εποχές υψηλών βροχοπτώσεων, το πλεονάζον νερό θα μπορούσε με διαδικασίες τεχνητού εμπλουτισμού να εμπλουτίζει τους υδροφόρους, να ανυψώνει τα επίπεδα της στάθμης και να εμποδίζει τη θαλάσσια διείσδυση. Ιδιαίτερα αποτελεσματική είναι η μέθοδος αυτή στην περίπτωση υπό πίεση υδροφόρων που επικοινωνούν με τη θάλασσα και η περιοχή εμπλουτισμού τους βρίσκεται μακριά από αυτήν, όπως συμβαίνει στην Oxnard Plain της California (Stone, 1978).

Πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει η μη διάθεση επαρκούς ποσότητας νερού εμπλουτισμού, η έλλειψη φθηνής γης για τις λεκάνες εμπλουτισμού και για τις ρηχές γεωτρήσεις εμπλουτισμού και δαπανηρά τεχνικά προβλήματα στη διατήρηση επαρκούς ρυθμού εισροής. Στην Oxnard Plain, το κόστος κεφαλαίου είναι 0,45$/$m^3$ νερού εμπλουτισμού με γεωτρήσεις ετησίως συν 0,002 $/$m^3$ νερού εμπλουτισμού με κατακλύσεις. Οι ποσότητες νερού εμπλουτισμού είναι συνάρτηση των αντλήσεων υπόγειου νερού από τους χρήστες, του φυσικού εμπλουτισμού και της γεωμετρίας της λεκάνης.

2.9 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Στεργίου Μ. (2009)]

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον τεχνητό εμπλουτισμό ποικίλλουν από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να προκύψουν ωφέλιμες αλλά και επιβλαβείς συνέπειες. Γενικά, ωστόσο, το είδος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που πρέπει να ληφθούν υπ’ όψιν στο σχεδιασμό εγκαταστάσεων εμπλουτισμού περιλαμβάνουν επιπτώσεις στην οικολογία του εδάφους, στην υδρολογία και στα υδάτινα οικοσυστήματα, επιπτώσεις σε είδη εξαρτώμενα από τους παρόχθιους οικιστές και σε πιθανές επιπτώσεις στη χρήση των νερών εμπλουτισμού για ανάπλαση από τον άνθρωπο. Όπως συμβαίνει με οτιδήποτε αφορά στη χρήση νερού, οι μελετητές θα πρέπει να φροντίσουν να λάβουν υπ’ όψιν το γεγονός ότι οι επιπτώσεις δεν αφορούν μόνο τις τοπικές συνθήκες στη γειτνιάζουσα περιοχή αλλά και τις συνθήκες κατάντη (third-party effects).

Οι επιπτώσεις στην οικολογία από τον εμπλουτισμού του υπόγειου νερού είναι, στην πλειοψηφία τους, σχετικά άμεσες και προβλέψιμες, τουλάχιστον από ποιοτική άποψη. Εάν το νερό εκτρέπεται απευθείας από χείμαρρο ή άλλη επιφανειακή πηγή, η μείωση της ροής κατάντη θα έχει τις ίδιες οικολογικές συνέπειες με την εκτροπή για οποιοδήποτε άλλο σκοπό, που οδηγεί στη μείωση της ροής του χειμάρρου εξίσου χρονικά και ποσοτικά. Οι οικολογικές επιπτώσεις είναι συχνά δύσκολο να προσδιοριστούν ποσοτικά καθώς στο μεγαλύτερο μέρος τους σχετίζονται με την αντίστοιχη περιοχή και είναι δύσκολο να γενικευθούν.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εμπλουτισμού, οι λεκάνες εμπλουτισμού δημιουργούν ουσιαστικές αλλαγές στο οικοσύστημα, τόσο στην επιφάνεια του εδάφους όσο και κατά βάθος. Η φύση αυτών των αλλαγών εξαρτάται από το εάν η λεκάνη εμπλουτισμού είναι φυσική όχθη χειμάρρου, λίμνη κατασκευασμένη ειδικά για αυτό το σκοπό ή μια φυσική λεκάνη. Η ακριβής διαχείριση της λεκάνης εμπλουτισμού συχνά θα αποσκοπεί στη σωστή χρήση της οικολογίας του εδάφους προς βελτίωση της διαδικασίας εμπλουτισμού. Η διαπερατότητα του πυθμένα είναι πάντα ένα ζήτημα καθώς ο αερισμός του πυθμένα με διακοπτόμενο εμπλουτισμό επηρεάζει την πληθυσμιακή δυναμική του εδαφικού οικοσυστήματος. Η υποβάθμιση της οργανικής ύλης και η απονιτροποίηση είναι συχνά ζητούμενα.

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην οικολογία της λεκάνης εμπλουτισμού εξαρτώνται από την προσρόφηση των οργανικών και ανόργανων συστατικών στα ανώτερα στρώματα του εδάφους καθώς και από την επεξεργασία της λεκάνης όταν παύει ο εμπλουτισμός. Επίσης σημαντικό είναι το κατά πόσο είναι εφικτό να μεταβάλλεται η τοπογραφία της επιφάνειας της λεκάνης ώστε να μειώνεται ή να διατηρείται ο ακούσιος εμπλουτισμός.

Οι επιπτώσεις στις οικολογικές συνθήκες των κατώτερων στρωμάτων εξαρτώνται από το ρυθμό εμπλουτισμού και τη φύση του αντίστοιχου υδροφόρου. Αν ο εμπλουτισμός αφορά σε ένα σχετικά μεγάλου βάθους υδροφόρο, και αν το νερό δεν προσεγγίζει στο 1-2m την επιφάνεια του εδάφους στον υδροκρίτη, δεν υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην οικολογία. Αντίθετα, αν η στάθμη του νερού είναι αυξημένη οπουδήποτε στη λεκάνη μέχρι ένα μέτρο από την επιφάνεια του εδάφους, μπορεί κανείς με βεβαιότητα να θεωρήσει αύξηση των τριχοειδών σε σημαντικό βαθμό για να επιτευχθεί αύξηση της βλάστησης στην επιφάνεια, που δε θα συνέβαινε υπό διαφορετικές συνθήκες (ειδικά σε άνυδρες περιοχές). Το ίδιο μπορεί να θεωρηθεί και για την οικολογία του εδάφους. Και σε αυτή την περίπτωση, τα αποτελέσματα είναι

άμεσα συνδεδεμένα με την αντίστοιχη περιοχή και το αν οι συνέπειες είναι επιθυμητές ή όχι εξαρτάται από τη φύση τους αλλά και από το σκοπό του εμπλουτισμού. Συνήθως, οι απώλειες εξαιτίας της εξατμισοδιαπνοής θεωρούνται επιζήμιες, λόγω της απώλειας του αποθηκευμένου νερού και της αύξησης της αλατότητας του υπόγειου νερού.

Κατά μήκος των οχθών πολλών ποταμών στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, ο φυσικός εμπλουτισμός οδηγεί σε σημαντική αύξηση των φρεατόφυτων, όπως για παράδειγμα της μιμόζας. Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για να μην αναπτύσσεται βλάστηση, όπως φυτοφάρμακα και κοπή, με σκοπό να αυξηθεί η ροή στον ποταμό. Παρόλο που η απομάκρυνση της βλάστησης καθιστά μεγαλύτερη ποσότητα υδάτων διαθέσιμη, τελικά, στις περισσότερες περιπτώσεις προκαλεί μάλλον απώλειες παρά οφέλη όσον αφορά στην αποθήκευση υπόγειου νερού, καθώς το νερό κινείται γρηγορότερα κατάντη γεγονός που περιορίζει την κατείσδυση. Η απομάκρυνση της βλάστησης και κατά συνέπεια η αύξηση της ροής, εντείνει επιπλέον τη διάβρωση. Καθότι η αξία των παρόχθιων οικιστών, ειδικά σε ξηρές περιοχές, αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο, πολλοί ειδικοί επισημαίνουν ότι η ζημιά από την απομάκρυνση της βλάστησης επισκιάζει όλα τα πιθανά οφέλη.

Πέρα από τις επιπτώσεις στην οικολογία των εν λόγω περιοχών, πρέπει να πραγματοποιηθεί και μία ευρύτερη προσέγγιση. Καθώς ο εμπλουτισμός των υπόγειων νερών είναι μία εναλλακτική που τυπικά προτιμάται σε περιοχές που το νερό είναι περιορισμένο, οι μελετητές θα πρέπει να λάβουν επιπλέον υπ’ όψιν πως το νερό θα είναι εξίσου περιορισμένο για το σύνολο του οικοσυστήματος. Ως εκ τούτου, η απόφαση για την πηγή εμπλουτισμού αλλά και για τη συνολική διαχείριση της εφαρμογής του έργου εμπλουτισμού ενδέχεται να οδηγήσει άλλα μέλη του οικοσυστήματος να αντιμετωπίσουν τις συνέπειες της μείωσης των αποθεμάτων σε νερό, με ευρύτερες τελικά επιπτώσεις.

Με μεγαλύτερο απόθεμα και αυξάνοντας τη ροή του υπόγειου νερού, ο τεχνητός εμπλουτισμός μεταβάλλει τον υδρολογικό κύκλο. Νερό από την επιφάνεια του εδάφους που διαφορετικά δε θα είχε διεισδύσει στα υπόγεια αποθέματα, οδηγείται στο υπέδαφος μέσω κατείσδυσης ή τεχνικών έγχυσης, Αυτή η τροποποίηση στο υδατικό δυναμικό της περιοχής μπορεί να έχει ευεργετικές συνέπειες ή αντίστροφα.

Στις περιοχές όπου η βασική ροή των ποταμών ενισχύεται από τις υπόγειες εκροές, προσθήκη στα αποθέματα και στη ροή του υπόγειου νερού με εμπλουτισμό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερες, ενισχυμένες ροές σε ξηρές περιόδους ή σε

περιόδους χαμηλής ροής. Η παροχή των πηγών μπορεί, επίσης, να διατηρηθεί σε υψηλότερα επίπεδα εν μέσω ξηρών περιόδων από τις υψηλές στάθμες των υπόγειων νερών ως αποτέλεσμα της εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού. Η αυξημένη διάθεση υπόγειου νερού σε πηγές και χείμαρρους θα μείωνε, κατά κάποιο τρόπο, το εύρος των διακυμάνσεων στην κυκλική ροή τους και συνεπώς θα βοηθούσε στην ενίσχυση των σχετικών υγροτόπων. Σε παράκτιες περιοχές, η αυξημένη ροή των ποταμών αλλά και του υπόγειου νερού στις εκβολές ενδέχεται να βοηθήσει στην ανάσχεση της υφάλμυρης σφήνας προς την ενδοχώρα, παρέχοντας ένα είδος υδραυλικού φραγμού στο θαλασσινό μέτωπο.

Η άντληση υπόγειου νερού από ορισμένες γεωλογικούς σχηματισμούς μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμες συμπιέσεις στις στρώσεις ιλύος και αργίλου στον υδροφόρο, οι οποίες, με τη σειρά τους, οδηγούν στην καθίζηση της επιφάνειας του εδάφους. Μέσω του τεχνητού εμπλουτισμού, οι πηγές υπόγειου νερού μπορούν να αποκατασταθούν ή να διατηρηθούν σε επίπεδα τέτοια ώστε να προλαμβάνουν ή να μειώνουν την καθίζηση.

Μία έμμεση επίπτωση στο περιβάλλον μπορεί να προκύψει από το γεγονός ότι καθώς η στάθμη των υπόγειων νερών ανυψώνεται λόγω του τεχνητού εμπλουτισμού, χρησιμοποιείται λιγότερη ενέργεια για να αντληθεί μία ορισμένη ποσότητα νερού. Αυτό έχει ως συνέπεια την τελική εξοικονόμηση ενέργειας, ανάλογα με τη μέθοδο εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκε και τις απαιτήσεις σε ενέργεια της διαδικασίας εμπλουτισμού. Επιπλέον, εάν το νερό που χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό είναι καλύτερης ποιότητας σε σχέση με το ήδη υπάρχον νερό στον υδροφόρο, η ποιότητα του ανακτώμενου νερού μπορεί να βελτιωθεί και να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των απαιτήσεων επεξεργασίας στο στάδιο της άντλησης. Αυτό μπορεί επίσης να έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Κατά μια αρνητική πλευρά, η παροχέτευση επιφανειακού νερού ή λυμάτων για υπόγειο εμπλουτισμό, μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της ροής κατάντη, ειδικά αν η παροχέτευση γίνεται σε άλλη λεκάνη αποστράγγισης ή αν το υπόγειο νερό δεν τροφοδοτεί τα εν λόγω κατάντη επιφανειακά υδάτινα σώματα. Συνεπακόλουθα, η μειωμένη ροή μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες αλλαγές σε υγροτόπους και στις συνθήκες αλατότητας στις εκβολές. Η αύξηση της αλατότητας στις εκβολές μπορεί να προκύψει από τη μείωση της ροής γλυκού νερού, προκαλώντας ανεπιθύμητες μεταβολές στην οικολογική κατάστασή τους. Οι κόλποι του San Francisco και της Florida αποτελούν παραδείγματα εκβολών όπου οι οικολογικές συνθήκες

μεταβλήθηκαν λόγω της αύξησης της αλατότητας, η οποία προκλήθηκε από τη μείωση των εισροών σε γλυκό νερό, παρόλο που οι παροχετεύσεις γλυκού νερού στις περιοχές αυτές δεν είναι ενδεικτικές εγκαταστάσεων εμπλουτισμού υπόγειου νερού αλλά προκαλούνται ευρέως από τις αυξημένες απαιτήσεις σε νερό. Ενδέχεται, επίσης, να προκύψει μόλυνση των χειμάρρων κατάντη, εάν ο εμπλουτισμός δε σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπ' όψιν τις εκτεταμένες ανάγκες της περιοχής.

Η αυξημένη στάθμη των υπόγειων νερών, η οποία προκλήθηκε από τεχνητό εμπλουτισμό, μπορεί συχνά να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις. Εάν η στάθμη του υπόγειου νερού φτάσει στο επίπεδο της πρώτης υπεδαφικής ζώνης, το έδαφος μπορεί να γίνει κεκορεσμένο με νερό και να υποστεί αλμύριση, με αποτέλεσμα η αρχική βλάστηση της περιοχής να επηρεαστεί αρνητικά. Οι υπόγειες κατασκευές, υπόγειοι αγωγοί, περιοχές χαλικοληψίας και άλλες υποδομές, οι οποίες κατασκευάστηκαν πριν την αύξηση της στάθμης των υπόγειων νερών, μπορούν να πλημμυρίσουν. Τα αποστραγγιστικά έργα θα πρέπει να μπορούν να μειώσουν τη στάθμη του υπόγειου νερού και να διατηρούν τις υποδομές στεγνές σε περίπτωση πλημμύρας ή άλλων αρνητικών επιπτώσεων.

Ίσως η πιο δύσκολα προβλέψιμη και πιο δύσκολο να αποκατασταθεί από όλες τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τεχνητού εμπλουτισμού με χρήση λυμάτων, είναι η πιθανότητα υποβάθμισης του υπόγειου νερού. Ο εμπλουτισμός με νερά υποβαθμισμένης ποιότητας μπορεί να εισάγει στο υπόγειο νερό μικρόβια, ανόργανα και οργανικά χημικά συστατικά, με την πιθανότητα να προκληθούν προβλήματα στο περιβάλλον. Όπως προαναφέρθηκε, βιοχημικές και γεωχημικές αντιδράσεις ανάμεσα στο νερό του εμπλουτισμού και στο ήδη υπάρχον υπόγειο νερό και/ή στα υλικά του υδροφόρου, μπορεί να οδηγήσει στην ενεργοποίηση χημικών συστατικών του ορυκτολογικού πλαισίου του υδροφόρου. Επιπρόσθετα, ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί να μεταφέρει ρύπους ανθρωπογενούς προέλευσης από τη ζώνη αερισμού στο υπόγειο νερό και σε υδροφόρους όπου δεν είναι επιθυμητό. Η υποβάθμιση της ποιότητας του ανακτώμενου νερού μπορεί να απαιτεί επεξεργασία του υπόγειου νερού που πριν δεν ήταν απαραίτητη. Φυσικές αποθέσεις σε επιφανειακά νερά υπόγειων νερών των οποίων η ποιότητα έχει τροποποιηθεί με εμπλουτισμό με λύματα, θα μπορούσαν επίσης να είναι επιζήμιες για την οικολογία των υδάτων της περιοχής. Η αδυναμία να προσδιοριστούν όλα τα οργανικά συστατικά του νερού εμπλουτισμού, σε συνδυασμό με τη δυσχέρεια να προβλεφθούν οι βιοχημικές και γεωχημικές αλλαγές στο υπέδαφος, προκαλεί αβεβαιότητα όσον αφορά στην

πιθανότητα υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού αλλά και στις επακόλουθες περιβαλλοντικές και οικολογικές συνέπειες.

2.10 Κόστος Τεχνητού Εμπλουτισμού

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Στεργίου Μ. (2009)]

Το κόστος της επεξεργασίας του νερού χαμηλής ποιότητας σε προδιαγραφές πόσιμου νερού είναι γενικά απαγορευτικό. Ωστόσο, είναι λογικό να αναλογιστούμε εάν μια εναλλακτική προσέγγιση θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις ανάγκες αποθήκευσης χωρίς να επηρεάζει την ποιότητα του νερού, το περιβάλλον ή τη δημόσια υγεία.

Το υπολογιζόμενο κόστος της διήθησης (του φιλτραρίσματος) του επιφανειακού νερού στην Αργεντινή, χρησιμοποιώντας λεκάνες και κανάλια, είναι \$0.20/m^3. Οι λεκάνες και τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν το 1977 σε πειραματικό σχέδιο στη λεκάνη του ποταμού San Juan κόστισαν \$31,300. Το συγκρίσιμο κόστος των watertraps στην Αργεντινή υπολογίστηκε μεταξύ \$133 και \$167. Το συνολικό κόστος μια διάταξης νερού χωρητικότητας 5,700 m^3, εξοπλισμένης με ένα πηγάδι εξαγωγής 14 m, υπολογίζεται σε \$6,325. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης εκτιμάται σε \$248 το χρόνο. Τα κόστη παραγωγής υπολογίζονται σε περίπου \$0.30/m για τα πρώτα πέντε χρόνια λειτουργίας, \$0.17/m για τα επόμενα πέντε χρόνια (για λειτουργία 5 με 10 χρόνων) και \$0.15/m για τα επόμενα πέντε χρόνια (10 με 15 χρόνια λειτουργίας).

Στην Τζαμάικα το αρχικό ολικό κόστος για έγχυση μέσω διοχέτευσης του νερού είναι λιγότερο από \$15,000. Αυτό το κόστος είναι σχετικό με την κατασκευή και χωροθέτηση των λεκανών εισροής και των καναλιών που οδηγούν το νερό επιφανειακής απορροής στις δημιουργούμενες οπές. Τα κόστη συντήρησης είναι χαμηλά, λιγότερα από \$5,000 για ένα πρόγραμμα 18 μηνών (ή κάτω από \$3,500/χρόνο) (O'Hare et al., 1986).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο}
Επεξεργασία Αποβλήτων

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Ανδρεάδης (2009), Στεργίου Μ. (2009)]

3.1 Εισαγωγή

Η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου από λύματα και απόβλητα γίνεται με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Οι διεργασίες αυτές έχουν ως στόχο τη δέσμευση και αφαίρεση των ρύπων από τη μάζα του νερού. Κύρια επιδίωξη της επεξεργασίας είναι η απαλλαγή της μάζας του αποβλήτου από τους ρύπους και αν είναι δυνατόν η εξουδετέρωση των ρύπων. Ο συνδυασμός των διεργασιών επεξεργασίας καθορίζει και το είδος του συστήματος ως φυσικοχημικό ή βιολογικό καθαρισμό.

Η συμμόρφωση με την Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία σχετικά με τη διάθεση των αστικών αποβλήτων (Οδηγία 91/271 της Ευρωπαϊκής Ένωσης) είχε ως συνέπεια την κατασκευή και λειτουργία ενός σημαντικού αριθμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) στην Ελλάδα κατά την τελευταία εικοσαετία. Η Οδηγία εκτός από τις προβλέψεις για τη συλλογή και επεξεργασία, επιβάλλει συστηματική παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, πριν τη διάθεσή τους σε τελικούς αποδέκτες.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271/ΕΚ, ορίζει ως «πρωτοβάθμια επεξεργασία» την επεξεργασία των αστικών λυμάτων με φυσική ή χημική μέθοδο, που περιλαμβάνει την καθίζηση των αιωρουμένων στερεών ή με άλλες μεθόδους με τις οποίες η τιμή BOD_5 των εισερχομένων λυμάτων μειώνεται τουλάχιστον κατά 20% πριν την απόρριψη, το δε συνολικό φορτίο των αιωρουμένων στερεών στα εισερχόμενα λύματα μειώνεται κατά 50% τουλάχιστον. Η προεπεξεργασία πολλές φορές διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία και απόδοση των συστημάτων επεξεργασίας που ακολουθούν.

Ως «δευτεροβάθμια επεξεργασία» ορίζεται η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με μέθοδο που, κατά κανόνα, περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία με δευτεροβάθμια καθίζηση ή με άλλες μεθόδους με τις οποίες εξασφαλίζεται η καθορισμένη ποιότητα των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων.

3.2 Διαδικασία επεξεργασίας αποβλήτων

Η μέθοδος επεξεργασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων (είδος και φύση ρυπαντών, αιωρούμενα, κολλοειδή, διαλυμένα σωματίδια, τη βιοδιασπασιμότητα και την τοξικότητα των οργανικών και των ανόργανων συστατικών), την απαιτούμενη ποιότητα της τελικής εκροής (από τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία), το κόστος της επεξεργασίας και τη διαθεσιμότητα γης για την κατασκευή της εγκατάστασης.

Στην προεπεξεργασία και πρωτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνονται διεργασίες όπως εσχαρισμός, εξάμμωση, εξισορρόπηση, εξουδετέρωση, αφαίρεση λιπών και ελαίων, καθίζηση. Η βιολογική επεξεργασία (απομάκρυνση οργανικού φορτίου από 50 - 1000 mg/l BOD σε λιγότερο από 15 mg/l BOD) γίνεται σε αεριζόμενες λίμνες με ενεργό ιλύ ή βιολογικά φίλτρα ή μέσω αναερόβιας χώνευσης. Στη τριτοβάθμια επεξεργασία αφαιρούνται ειδικοί ρυπαντές με διύλιση (απομάκρυνση κολλοειδών), προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (απομάκρυνση διαλυμένων οργανικών ενώσεων) ή χημική οξείδωση (απομάκρυνση διαλυμένων οργανικών ενώσεων).

Ειδικές επεξεργασίες (απαραίτητες για ρεύματα αποβλήτων που περιέχουν βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα, τοξικά και παρεμποδίζουν την βιολογική επεξεργασία) περιλαμβάνουν κατακρήμνιση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, χημική οξείδωση, απογύμνωση (air ή steam stripping), εναλλαγή ιόντων και αντίστροφη όσμωση.

Εικόνα 3.1: Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (www.miper.gr).

3.3 Βιολογικός Καθαρισμός

Ένας βιολογικός καθαρισμός είναι μια διάταξη η οποία περιλαμβάνει τρία στάδια επεξεργασίας:

- Στο **πρωτοβάθμιο στάδιο** γίνεται ο καθαρισμός με κατακράτηση μεγάλων στερεών άμμου και λιπών.
- Στο **δευτεροβάθμιο στάδιο** επεξεργασίας κατακρατούνται οι οργανικές ουσίες που καταναλώνουν το οξυγόνο και
- Στο **τρίτο στάδιο** γίνεται η απαραίτητη απολύμανση.

Πρωτοβάθμιο στάδιο

Το πρώτο στάδιο είναι η προεπεξεργασία των λυμάτων, στην οποία λαμβάνει χώρα η πρωτοβάθμια καθίζηση. Έτσι στην αρχή της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού βρίσκεται ένα φρεάτιο εισόδου όπου εκεί ένας αγωγός με ένα αντλιοστάσιο φέρνει τα λύματα στο σημείο όπου γίνεται η εσχάρωση. Στο σημείο αυτό της διάταξης σχάρες συγκρατούν όλα τα μεγάλα στερεά, ενώ στη συνέχεια γίνεται η εξάμμωση, όπου αφαιρείται η άμμος (το στοιχείο αυτό το οποίο καταστρέφει τις αντλίες, τους σωλήνες κλπ). Στη συνέχεια ένα φρεάτιο ισοκατανέμει τις ποσότητες νερού στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Δευτεροβάθμιο στάδιο

Είναι στάδιο της διαδικασίας καθαρισμού λυμάτων (αστικών και βιομηχανικών) κατά το οποίο οι εύκολα αποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις που περιέχονται στα λύματα διασπώνται και αδρανοποιούνται μέσω μικροοργανισμών που τρέφονται από αυτές. Έπεται συνήθως της πρωτοβάθμιας μηχανικής επεξεργασίας και ακολουθείται, όταν αυτό είναι απαραίτητο, από τριτοβάθμια φυσικοχημική επεξεργασία. Οι ποσότητες των λυμάτων που επεξεργάζεται ένας βιολογικός καθαρισμός μπορεί να είναι γύρω στις μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα.

Η βιολογική επεξεργασία πραγματοποιείται μέσα σε μία δεξαμενή, το βιοαντιδραστήρα, όπου διοχετεύονται τα απόβλητα, αφού σε προηγούμενη βαθμίδα

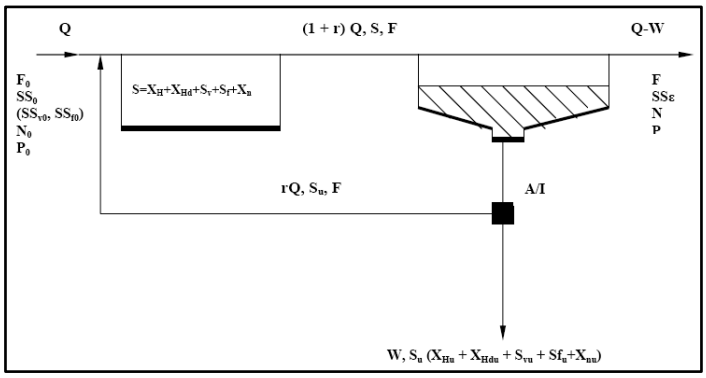
έχει γίνει κατακράτηση των στερεών υλών. Τα λύματα έρχονται σε επαφή με ένα μίγμα μικροοργανισμών (βιομάζα), που βρίσκεται με τη μορφή αιωρούμενων συσσωματωμάτων (βιο - κροκίδων), σε μια αεριζόμενη δεξαμενή και σε καθεστώς πλήρους μίξης. Στο βιοαντιδραστήρα υπάρχει μεγάλος αριθμός ετεροτροφικών μικροοργανισμών, που αποτελούν τη βιολογική ιλύ (λάσπη), ενώ παράλληλα, μέσω ενός συστήματος αερισμού, διοχετεύεται στη μάζα των αποβλήτων αέρας, που είναι απαραίτητος για τη διεργασία και γίνεται συνεχής ανάδευση του νερού και της βιολογικής μάζας. Συχνά, αντί για αέρας διοχετεύεται στα απόβλητα καθαρό οξυγόνο, που αυξάνει την απόδοση του βιοαντιδραστήρα, δηλαδή την ικανότητα επεξεργασίας αποβλήτων ανά μονάδα όγκου του.

Οι μικροοργανισμοί διασπούν τους οργανικούς ρύπους και τρέφονται από αυτούς, ενώ ταυτόχρονα πολλαπλασιάζονται. Όταν πλέον καταναλώσουν όλη την ποσότητα των οργανικών ουσιών που έχουν την ικανότητα να διασπάσουν και ολοκληρωθεί η βιολογική διεργασία, αρχίζουν να καταναλώνουν το δικό τους οργανικό υλικό, οπότε μειώνεται η συνολική τους μάζα.

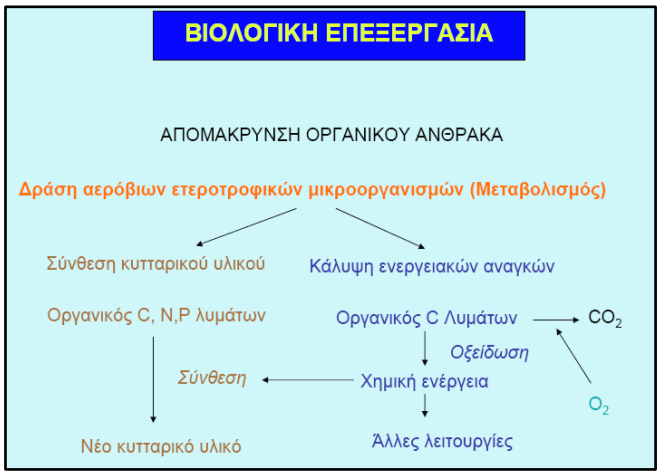
Μετά τη δεξαμενή αερισμού το μίγμα λυμάτων, μικροοργανισμών και προσροφημένων αδρανών στερεών, που ονομάζεται ανάμικτο υγρό και συμβολίζεται συνήθως ως MLSS, εισέρχεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης [12]. Εκεί οι εναπομείναντες ζώντες μικροοργανισμοί διαχωρίζονται και επαναδιοχετεύονται στο βιοαντιδραστήρα, ενώ το καθαρισμένο νερό μπορεί να μεταβιβαστεί σε υδάτινους αποδέκτες στο περιβάλλον ή να περάσει από τρίτη βαθμίδα επεξεργασίας.

Μετά το διαχωρισμό των μικροοργανισμών, στη δεξαμενή καθίζησης παραμένει ένα υπόλειμμα (ιλύς) από στερεά υλικά, οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομήθηκαν, νεκρούς μικροοργανισμούς κ.λπ. Η ιλύς αυτή πρέπει να αδρανοποιηθεί πριν απορριφθεί στο περιβάλλον, πρέπει επομένως να υποστεί επεξεργασία - συμπύκνωση (πάχυνση), αερόβια ή αναερόβια χώνευση (για τη διάσπαση μακρομοριακών οργανικών ενώσεων), αφυδάτωση και τελικά απόθεση στο περιβάλλον ή καύση.

Πρόσφατα, άρχισαν να εφαρμόζονται δύο μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας της ιλύος, η θέρμανση υπό πίεση και η υγρή οξείδωση. Η ανάγκη επεξεργασίας της ιλύος εισάγει γενικά ένα επιπλέον κόστος στη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού.



Εικόνα 3.2: Σύστημα ενεργού ιλύος (Τσώνης 2004).



Εικόνα 3.3: Δράσεις κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων (Τσώνης 2004).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όλες οι πόλεις με πληθυσμό πάνω από 15.000 κατοίκους υποχρεούνταν μέχρι το 2000 να εγκαταστήσουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού για την επεξεργασία των λυμάτων τους, ενώ από το 2005 την ίδια υποχρέωση θα έχουν δήμοι και κοινότητες με πληθυσμό από 2.000 έως 15.000 κατοίκους.

Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Το νερό μετά τα δυο πρώτα στάδια φτάνει σε σημαντική καθαρότητα, αλλά ακόμα περιέχει κάποιες χημικές ουσίες ή βακτηρίδια. Η αφαίρεσή τους απαιτεί κάποια ακόμη στάδια καθαρισμού. Ένα αρχικό στάδιο είναι ο αερισμός που επιτυγχάνεται με

τη διοχέτευση φυσαλίδων στο νερό με τη βοήθεια αεροσυμπιεστών. Το οξυγόνο διαλύεται στο νερό και οξειδώνει τις ουσίες που βρίσκονται σε αυτό, ειδικά τις οργανικές.

Μια δεύτερη επεξεργασία μπορεί να είναι το πέρασμα των νερών από ουσίες που μπορούν να προσροφήσουν ρύπους. Η πιο δραστική από αυτές είναι ο λεγόμενος ενεργός άνθρακας. Ένα κιλό ενεργού άνθρακα είναι σε θέση να προσροφήσει 250 γραμμάρια φαινόλης και διάφορες άλλες ρυπαντικές ουσίες. Όταν εξαντλείται μπορεί να αναζωογονηθεί με θέρμανση στους 600^{o}C χωρίς επαφή με τον αέρα.

Η απολύμανση του νερού μπορεί να γίνει με αέριο χλώριο, που όμως του αφήνει άσχημη γεύση. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και άλλες ουσίες που μπορούν να βελτιώσουν τη γεύση του ή τις ιδιότητές του, ανάλογα φυσικά με την χρήση για την οποία προορίζεται στη συνέχεια.

Τα τελευταία χρόνια κερδίζει συνεχώς έδαφος η ιδέα της ανακύκλωσης του νερού των βιολογικών καθαρισμών. Με τη μέθοδο αυτή τα επεξεργασμένα λύματα υφίστανται έναν επί πλέον καθαρισμό και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για άρδευση, για τεχνητό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων και για βιομηχανική χρήση. Η χρησιμοποίηση του νερού στις παραπάνω δραστηριότητες εφαρμόζεται σε αρκετές περιοχές του κόσμου και θα μπορούσε να ειπωθεί ότι αποτελεί συνηθισμένη τεχνολογία. Αυτό που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων ως πόσιμου νερού.

3.4 Μέθοδοι επεξεργασίας του νερού

Τα λύματα που μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλες πηγές νερού για υπόγειο εμπλουτισμό, περιλαμβάνουν αστικά λύματα, επιφανειακές απορροές και ροή από επιστροφές άρδευσης. Ο Πίνακας 3.1 είναι μία σύνοψη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που αφορούν στη χρήση λυμάτων για εμπλουτισμό. Από τους τρεις τύπους λυμάτων για εμπλουτισμό, τα επεξεργασμένα αστικά λύματα είναι μακράν τα πιο συνήθη, χωρικά και χρονικά, ποιοτικά και ποσοτικά. Εξαίρεση αυτής της γενίκευσης αποτελούν οι περιοχές όπου τα ακατέργαστα αστικά λύματα και τα νερά της βροχής αναμειγνύονται σε ένα κοινό αποχετευτικό σύστημα.

Σε σύγκριση με άλλες πιθανές πηγές υποβαθμισμένου νερού, η ποιότητα των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων έχει διακριθεί ευρέως, για διάφορα επίπεδα

επεξεργασίας, εξαιτίας των κανονισμών που αφορούν στην απόθεση της εκροής αστικών λυμάτων αλλά κι επειδή τα αστικά λύματα είναι μία διαχρονική πηγή για εμπλουτισμό. Ο όγκος των πληροφοριών που αφορούν στην ποιότητα της επιφανειακής απορροής και τη ροή από επιστροφές άρδευσης είναι πολύ μικρότερος, ειδικά αν λάβει κανείς υπ' όψιν το μεγάλο εύρος τους. Επομένως, η διάκριση των επιφανειακών απορροών και της ροής από επιστροφές άρδευσης πρέπει να γίνει από μία πολύ λιγότερο συστηματική και εκτεταμένη βάση δεδομένων από ότι για τα αστικά λύματα.

Τα συστατικά που εμπνέουν ανησυχία στα αστικά λύματα, περιλαμβάνουν οργανικές ενώσεις, αζωτούχες ενώσεις, παθογόνους οργανισμούς και αιωρούμενα στερεά. Οι διαδικασίες επεξεργασίας είναι άμεσα διαθέσιμες και έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την επεξεργασία αστικών λυμάτων σε επίπεδα αποδεκτά για διάφορες εφαρμογές εμπλουτισμού. Ωστόσο, ακόμα κι αν υποστεί επεξεργασία σε πολύ υψηλό βαθμό, η απολύμανση της εκροής με χλώριο έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία παραπροϊόντων απολύμανσης (Disinfection By-Products, εφεξής DBPs) από τα υπάρχοντα οργανικά συστατικά. Αυτά τα DBPs προκαλούν ανησυχία αν το ανακτημένο υπόγειο νερό προορίζεται για πόσιμες χρήσεις.

Η ποιότητα των αστικών επιφανειακών απορροών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας και της ποιότητας της βροχόπτωσης, των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών της λεκάνης αποξήρανσης, του διαστήματος που μεσολάβησε από την τελευταία βροχόπτωση και, για τις βόρειες περιοχές, την εποχή του χρόνου. Τα συστατικά που εμπνέουν ανησυχία στις αστικές επιφανειακές απορροές είναι τα μέταλλα, οι οργανικές ενώσεις, οι παθογόνοι οργανισμοί, τα αιωρούμενα στερεά και, σε βόρεια κλίματα κατά τη χειμερινή περίοδο, τα αδιάλυτα στερεά και ο εμπλουτισμός με χλώριο εξαιτίας της αποπάγωσης των δρόμων. Τα νερά από τις βροχοπτώσεις συνήθως δεν υφίστανται επεξεργασία. Ωστόσο, η εμπειρία δείχνει ότι υπάρχουν διάφορες κατάλληλες μέθοδοι που μπορούν να επεξεργαστούν το νερό της βροχής πριν την κατείσδυση. Γενικά, το βρόχινο νερό στις αστικές περιοχές είναι καλύτερης ποιότητας αλλά η ποσότητές του μπορεί να είναι υπερβολικά ασταθείς και απρόβλεπτες εξαιτίας της φυσικής ποικιλομορφίας των βροχοπτώσεων. Ο εμπλουτισμός με βρόχινο νερό συχνά προϋποθέτει επιφανειακή αποθήκευση και ρύθμιση της ροής καθώς τα συστήματα εμπλουτισμού δεν έχουν τη δυνατότητα να επιτρέπουν άμεση κατείσδυση όλης της ποσότητας που συσσωρεύτηκε από μία ξαφνική και ακατάσχετη βροχόπτωση. Το

βρόχινο νερό στις αστικές περιοχές κατεισδύει καλύτερα στις εγκαταστάσεις εμπλουτισμού στην περιοχή της πηγής.

Τα όμβρια ύδατα από βιομηχανικές περιοχές είναι πολύ ασταθή σε ποιότητα, ειδικά όσον αφορά σε τοξικές ουσίες. Εξαιτίας αυτής της ασταθούς ποιότητας και της μεγάλης πιθανότητας σοβαρής μόλυνσης, τα όμβρια ύδατα από βιομηχανικές περιοχές δε θεωρούνται κατάλληλα για υπόγειο εμπλουτισμό. Το νερό από το λιώσιμο πάγου σε αστικές περιοχές μπορεί, επίσης, να είναι κακή επιλογή εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε αλάτι. Η ροή σε περιόδους ξηρασίας σε εγγειοβελτιωτικά έργα μπορεί να συνδέεται με ιδιαίτερα μολυσμένες και ακατάλληλες ποσότητες νερού (όπως τα ακατέργαστα αστικά λύματα, βιομηχανικά ύδατα, και παράνομες αποθέσεις επικίνδυνων υλικών) και πρέπει, επίσης, να αποφεύγονται. Ως εκ τούτου, για να γίνει εκμετάλλευση των όμβριων υδάτων από αστικές περιοχές ως νερά εμπλουτισμού, πρέπει με προσοχή να απομονωθεί η αποδεκτή ροή στις αστικές περιοχές από πιο μολυσμένες ροές ή να υπάρξει επιπρόσθετη επεξεργασία επί τόπου, για τις ποσότητες που προέρχονται από τις κρίσιμες περιοχές.

Η ροή από τις επιστροφές άρδευσης εμφανίζει τη μεγαλύτερη ποικιλομορφία όσον αφορά στην ποιότητα, από τις τρεις πιθανές πηγές νερού. Ποικίλει μεταξύ υψηλής ποιότητας επιφανειακά νερά έως νερών με αλατότητα ως και 10.000 mg/L. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ροής από τις επιστροφές άρδευσης δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά, εκτός από το αυτά που αφορούν στην αλατότητα και τις συγκεντρώσεις αζώτου. Σε υγρές περιοχές, το περιεχόμενο σε άλατα της ροής από επιστροφές άρδευσης δεν αποτελεί πρόβλημα, αλλά σε ημίξηρες περιοχές μπορεί να εμπλουτιστεί από 8 έως 10 φορές σε σχέση με το νερό που χρησιμοποιείται. Οι συγκεντρώσεις του αζώτου μπορεί να είναι υψηλές, έως και 100 με 200 mg/L. Τα αιωρούμενα στερεά και οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, συμπεριλαμβανομένου του σεληνίου, ουρανίου, βορίου και αρσενικού δημιουργούν επίσης προβληματισμό. Τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων ενδέχεται επίσης να προκαλέσουν πρόβλημα στη ροή από επιστροφές άρδευσης, αλλά στην πλειοψηφία τους, τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων σχετίζονται με σωματίδια και απομακρύνονται άμεσα με αιωρούμενα στερεά. Η ροή από επιστροφές άρδευσης, σε γενικές γραμμές, δεν υφίσταται επεξεργασία, αλλά υπάρχουν ισχύουσες διαδικασίες επεξεργασίας για την απομάκρυνση των επικίνδυνων συστατικών σε αποδεκτά επίπεδα. Ωστόσο, αμφισβητείται η αποτελεσματικότητα, όσον αφορά σε οικονομικό επίπεδο, για το αλμυρό νερό.

Στο παρελθόν, οι επιφανειακές και υπόγειες επιστροφές άρδευσης, αποθέτονταν απλά σε χείμαρρους, λίμνες και τη θάλασσα χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό πλέον αλλάζει και υπάρχει μία τάση για αυξημένο σχεδιασμό ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον, όπως η αποθήκευση σε λεκάνες εξάτμισης και η τελική απόθεση του άλατος ως στερεό απόβλητο, επεξεργασία ή έγχυση σε μεγάλο βάθος, σε κλειστούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος αυτών των τεχνικών, οι αποδόσεις της άρδευσης πρέπει να αυξηθούν, και οι ροές από επιστροφή πρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν, όσο αυτό είναι δυνατόν, για άρδευση (π.χ. για ανάπτυξη αλατοανθεκτικών καλλιεργειών), για να μειωθεί ο όγκος της ροής από επιστροφή που τελικά παράγεται.

Η διαθεσιμότητα λυμάτων για εμπλουτισμό ποικίλλει ευρέως μέσα στη χώρα. Συνολικά τα όμβρια ύδατα μπορούν να παρέχουν περίπου 100 acre-feet ανά τετραγωνικό μίλι το χρόνο (περίπου $47{,}7\times10^3$ m^3/km^2/έτος), σε περιοχές που έχουν περίπου 25 cm βροχή ετησίως, αλλά η ποσότητα αυτή μπορεί να φτάσει περίπου τα 1000 acre-feet ανά τετραγωνικό μίλι το χρόνο, σε πιο υγρές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών (περιοχές με περίπου 125 cm βροχής ετησίως). Προφανώς, ορισμένη ποσότητα από αυτό το νερό μπορεί να εκτρέπεται από εγκαταστάσεις εμπλουτισμού, εξαιτίας της χαμηλής ποιότητας (όπως στην περίπτωση αστικών περιοχών), γεγονός που μειώνει τη διαθέσιμη ποσότητα. Η ροή αστικών λυμάτων μπορεί επίσης να ποικίλει, ανάλογα με τον πληθυσμό που εξυπηρετείται σε μία κοινότητα. Τα μεγάλα αστικά κέντρα μπορούν να παρέχουν έως και 1500 acre-feet ανά τετραγωνικό μίλι το χρόνο λυμάτων για εμπλουτισμό, αλλά οι περισσότερες μικρές πόλεις παρέχουν περίπου το 1/10, εξαιτίας της μικρής πυκνότητας του πληθυσμού. Η ποσότητα της ροής από επιστροφές άρδευσης, που είναι διαθέσιμη για εμπλουτισμό, ποικίλει ιδιαίτερα, ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης, την αποτελεσματικότητα συλλογής της ροής, της απαιτήσεις των καλλιεργειών και τις ποσότητες βροχόπτωσης. Η ποσότητα της ροής από επιστροφές άρδευσης στις ποσότητες επιφανειακού ή υπόγειου νερού το 1985 στις Ηνωμένες Πολιτείες εκτιμήθηκαν περίπου στα 45.000.000 acre-feet (Solley et al., 1988). Αυτή η ποσότητα αποτελεί το 29% των 154.000.000 acre-feet που χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση το 1985. Η Καλιφόρνια και το Αϊντάχο ήταν μακράν οι πιο σημαντικοί χρήστες νερού για άρδευση, αποτελώντας μαζί το 37% του συνόλου.

Η τοποθεσία της πηγής των λυμάτων είναι επίσης μεγάλης σημασίας. Ενώ τα όμβρια ύδατα και τα αστικά λύματα βρίσκονται συνήθως κοντά στην περιοχή χρήσης, οι

περισσότερες ροές από επιστροφές άρδευσης βρίσκονται πιο μακριά από τις κατοικημένες περιοχές.

Πίνακας 3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση διαφόρων τύπων λυμάτων για εμπλουτισμό υπόγειου νερού

Αστικά λύματα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Λύματα που έχουν υποστεί πρωτογενή επεξεργασία	Υψηλό TOC για πιθανή βελτίωση της απονιτρωποίησης	Χαμηλή ποιότητα νερού, σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών, θρεπτικών συστατικών, BOD και διαλυμένων στερεών σε σχέση άλλα αστικά λύματα.
	Σχετικά σταθερή ροή	Δυναμικό δημιουργίας παραπροϊόντων απολύμανσης
	Χωροθετούνται κοντά στο κύριο σημείο εφαρμογής	
Λύματα που έχουν υποστεί δευτερογενή επεξεργασία	Υπάρχουν ευρέως	Ανεκτή έως χαμηλή ποιότητα νερών
	Σχετικά σταθερή ροή	
	Μεγάλοι όγκοι	
	Χωροθετούνται κοντά στο κύριο σημείο εφαρμογής	
Λύματα που έχουν υποστεί προχωρημένη (τριτογενή) επεξεργασία	Αστικά λύματα καλύτερης δυνατής ποιότητας	Υψηλό κόστος
	Χαμηλό TOC με ελάπτωση του δυναμικού δημιουργίας παραπροϊόντων απολύμανσης	
	Σχετικά σταθερή ροή	
	Χωροθετούνται κοντά στο κύριο σημείο εφαρμογής	
Επιστροφές από άρδευση		Υψηλή συγκέντρωση φυτοφαρμάκων και εντομοκτόνων
		Υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών και αλάτων
		Ακανόνιστη ροή

Συνέχεια πίνακα 3.1

Όμβρια ύδατα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Όμβρια ύδατα αστικών περιοχών	Λύματα με την πιθανώς καλύτερη δυνατή ποιότητα	Ακανόνιστη ροή
	Πιο συνηθισμένα όμβρια ύδατα	
	Χωροθετούνται κοντά στο κύριο σημείο εφαρμογής	
Όμβρια ύδατα βιομηχανικών περιοχών		Υψηλά ακανόνιστη τοξική ποιότητα
Νερά από λιώσιμο χιονιού σε αστικές περιοχές		Υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ειδικά σε περιοχές όπου εφαρμόζονται τεχνικές αποπάγωσης
Εκροές όμβριων λυμάτων σε συνθήκες ξηρών καιρικών συνθηκών		Υψηλή συγκέντρωση φυτοφαρμάκων και εντομοκτόνων
		Πιθανότητα ρύπανσης από ακατάλληλες εκροές
Μεικτό σύστημα αποχέτευσης		Περιέχει ακατέργαστα λύματα με παθογόνους ρυπαντές
		Πιθανότητα να περιέχει τοξικές ουσίες από όμβρια ύδατα παλαιότερων βιομηχανικών ή εμπορικών περιοχών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο}
Χρήση Υγρών Αποβλήτων για Τεχνητό Εμπλουτισμό

[κύριες βιβλιογραφικές πηγές: ΔΕΥΑ, 2004, AwwaRF and WERF, 2006, Icekson, et al., 2002, http://www.lifewateragenda.org/html/news-gr.html]

4.1 Εισαγωγή

Είναι πλέον συνήθης πρακτική η χρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με σκοπό είτε την παρεμπόδιση διείσδυσης θαλασσίου ύδατος στους υδροφορείς, είτε την ανύψωση της στάθμης υφισταμένων υδροφορέων, είτε την αποθήκευση νερού για σκοπούς άρδευσης ή ακόμη και ύδρευσης.

Αν και όλες οι εφαρμογές εμπεριέχουν τον δυνητικό κίνδυνο της μόλυνσης του υπόγειου υδροφορέα, εάν τα απόβλητα δεν έχουν υποστεί τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας, ειδικά η τελευταία εφαρμογή αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερο σκεπτικισμό από τους καταναλωτές.

Τα αστικά λύματα μετά από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για τον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφόρων στρωμάτων με τη μέθοδο της επιφανειακής κατάκλυσης και κυρίως με τη βοήθεια λεκανών εμπλουτισμού, στην περίπτωση αυτή η ζώνη αερισμού και σε ορισμένες περιπτώσεις ο υδροφόρος, δρουν ως φυσικά, επιβραδυντικά φίλτρα που ουσιαστικά μειώνουν τη συγκέντρωση διαφόρων ρυπαντών μέσω φυσικών, χημικών και μικροβιολογικών διαδικασιών. Τα αιωρούμενα στερεά διηθούνται, οι βιοδιασπώμενες οργανικές ενώσεις διαχωρίζονται, οι μικροοργανισμοί απορροφώνται ή καταστρέφονται εξαιτίας άλλων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο έδαφος, οι συγκεντρώσεις αζώτου μειώνονται με απονιτροποίηση, οι συνθετικές οργανικές ενώσεις απορροφώνται και/ή βιοδιασπώνται και τέλος, ο φώσφορος, οι φθοριούχες ενώσεις και τα βαρέα μέταλλα προσροφώνται, καθιζάνουν ή αλλιώς αδρανοποιούνται

Βασική προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων (Todd 1970) είναι η νέκρωση των βακτηριδίων και των ιών κατά την επεξεργασία τέτοιων νερών, ενώ παράλληλα πρέπει να αφαιρούνται τα βαρέα μέταλλα και να εξουδετερώνονται οι οργανικές ουσίες. Έτσι, το σύστημα επεξεργασίας εδάφους-

υδροφόρου μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό βήμα στην όλη διαδικασία της κατεργασίας για επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων.

Εφόσον η λιθολογική σύσταση του εδάφους είναι κατάλληλη, η ακόρεστη ζώνη του εδάφους μέσω της οποίας κατέρχονται τα επεξεργασμένα λύματα ενεργεί σαν φυσικό φίλτρο κατακρατώντας αιωρούμενα στερεά, οργανικές ενώσεις, βακτήρια, ιούς και μικροοργανισμούς. Επιτυγχάνεται επίσης σημαντική μείωση των αζωτούχων ενώσεων, του φωσφόρου και των βαρέων μετάλλων. Το επεξεργασμένο νερό εισερχόμενο στο υδροφόρο στρώμα κινείται μέσα σ' αυτό και υφίσταται περαιτέρω αυτοκαθαρισμό από μικροοργανισμούς. Επιπλέον παρατηρείται καθίζηση φωσφορικών, απορρόφηση οργανικών ενώσεων, ενώ εξαφανίζεται και η οσμή του (Pescod, 1992).

Νερά που προηγουμένως είχαν υποστεί επεξεργασία και διοχετεύτηκαν μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα κινούνται και ενσωματώνονται σ' αυτόν, με αποτέλεσμα να φτάνουν σε μεγάλες αποστάσεις. Εκεί, στις νέες θέσεις τους, αντλούμενα με τη βοήθεια γεωτρήσεων παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά του καθαρού υπόγειου νερού. Το ανακτώμενο νερό μπορεί να υποστεί περεταίρω επεξεργασία (post-treatment) ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την επιλογή της πιο οικονομικής διαδικασίας επεξεργασίας ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τελική ποιότητα των νερών.

Ο βαθμός καθαρότητας του νερού αυτού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι:

- το πόσο επιβαρημένο είναι το χρησιμοποιούμενο νερό εμπλουτισμού,
- η λιθολογική σύσταση της ακόρεστης ζώνης του εδάφους και του υδροφορέα,
- το βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους,
- οι απαιτήσεις μας για το βαθμό εξυγίανσης και καθαρότητας του νερού και
- ο χρόνος παραμονής του νερού στο έδαφος και στο υδροφόρο και η απόσταση μετακίνησής του από τη θέση εμπλουτισμού

Παρόλο που σχετικές έρευνες έδειξαν ότι η μεγαλύτερη βελτίωση της ποιότητας των ανακτώμενων νερών συμβαίνει κατά την κίνησή τους στο ανώτερο τμήμα του εδάφους, εν τούτοις σαν γενικός κανόνας δίδεται ότι ο χρόνος παραμονής των νερών στο έδαφος καθώς και στον υδροφόρο πρέπει να είναι τουλάχιστον ένας μήνας, ενώ μια υπόγεια διαδρομή τουλάχιστον 100 m κρίνεται αναγκαία (Pescod, 1992).

Η φυσική μέθοδος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μέσω εδάφους και υδροφορέα είναι γνωστή διεθνώς ως "Συστήματα ταχείας διήθησης" (Rapid - Infiltration Systems, κοινώς "RI systems") ή ως "Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας (των υγρών αποβλήτων) μέσω εδάφους - υδροφορέα" (Soil - Aquifer Treatment Systems), κοινώς "SAT systems". Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ευρέως στις ΗΠΑ (Καλιφόρνια, Αριζόνα, Φλόριντα) και στο Ισραήλ (Bouwer, 1985), ενώ υπάρχουν αντιδράσεις από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) για πιθανή δημιουργία κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία.

Στην εξεταζόμενη μέθοδο, τα λύματα μετά το βιολογικό καθαρισμό διοχετεύονται σε λεκάνες και από εκεί γίνεται η διήθησή τους μέσω της ακόρεστης ζώνης του εδάφους. Στη συνέχεια το νερό κινούμενο μέσα στο υδροφόρο στρώμα φιλτράρεται περαιτέρω. Με τον τρόπο αυτό παρουσιάζεται θεαματική βελτίωση της ποιότητας του επεξεργασμένου αποβλήτου και το νερό ενσωματώνεται στα νερά του υδροφόρου. Στην ακόρεστη ζώνη δεν πρέπει να υπάρχει αργιλικό στρώμα, το οποίο θα εμπόδιζε το νερό εμπλουτισμού να φθάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Επίσης, η επιφάνεια του νερού του υδροφόρου πρέπει να είναι τουλάχιστον ένα μέτρο πιο κάτω από τον πυθμένα της λεκάνης εμπλουτισμού και το υδροφόρο πρέπει να έχει καλή μεταβιβαστική ικανότητα (ώστε η στάθμη του υδροφόρου να μην ανυψώνεται υπερβολικά κάτω από τη λεκάνη εμπλουτισμού).

Πολύ καλά αποτελέσματα εμφανίζονται όταν τα ανώτερα στρώματα εδάφους έχουν σύσταση άμμου ή ιλύος είτε όταν αποτελούνται από λεπτόκοκκη άμμο πάχους στρώματος τουλάχιστον 1 m και βαθύτερα αναπτύσσονται πιο υδροπερατά στρώματα π.χ. αδρομερείς άμμοι ή και αμμοχάλικα.

Στην περίπτωση που κατευθείαν από τα ανώτερα στρώματα έχουμε πολύ υδροπερατά υλικά (χονδρόκοκκες άμμους, χαλίκια, κροκάλες) η εφαρμογή της μεθόδου είναι επισφαλής γιατί τα νερά αυτά εισέρχονται γρήγορα στον υδροφορέα προτού προλάβουν να αυτοκαθαριστούν ικανοποιητικά.

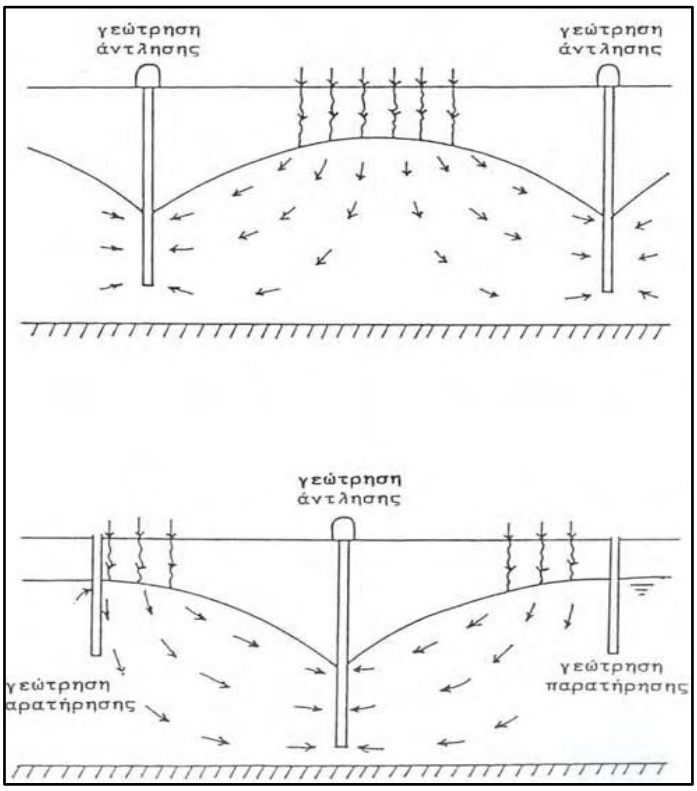
Στο επόμενο σχήμα δίδονται δύο διατάξεις εφαρμογής της μεθόδου. Το “αναζωογονημένο” νερό ανακτάται από τον υδροφορέα με άντληση (μέσω γεωτρήσεων).

Στο επάνω σχήμα οι λεκάνες διατάσσονται σε μια σειρά και οι γεωτρήσεις σε δύο σειρές εκατέρωθεν των λεκανών. Στην περίπτωση αυτή οι γεωτρήσεις αντλούν νερό

προερχόμενο τόσο από το σύστημα εμπλουτισμού, όσο και από το υδροφόρο (στο σχήμα φαίνονται τα βέλη υπόγειας ροής του νερού).

Στο κάτω σχήμα οι λεκάνες κατασκευάζονται σε δύο παράλληλες ζώνες και οι γεωτρήσεις κατά μήκος μιας γραμμής ισαπέχουσας από τις εκατέρωθεν λεκάνες. Στην περίπτωση αυτή οι γεωτρήσεις αντλούν αποκλειστικά το αυτοκαθαριζόμενο νερό του συστήματος εμπλουτισμού.

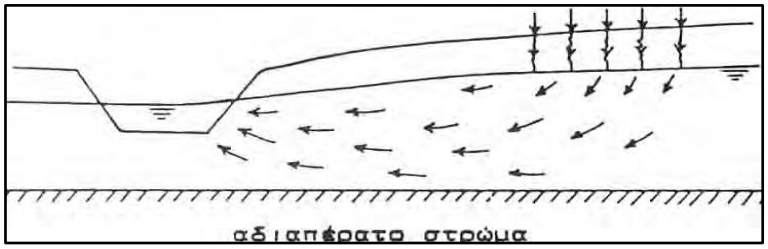
Η μέθοδος, εφ' όσον εφαρμοσθεί σωστά, αφαιρεί από τα νερά όλα τα οργανικά υλικά, τα αιωρούμενα σωματίδια, τα βακτήρια, τους ιούς και τα φωσφορικά και μειώνει σε σημαντικό βαθμό τις συγκεντρώσεις αζώτου και βαρέων μετάλλων, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Αυτά ισχύουν για τα κοκκώδη υδροφόρα στρώματα. Απεναντίας στα υδροφόρα με δευτερογενές ενεργό πορώδες, με τον εμπλουτισμό δε βελτιώνεται επαρκώς η ποιότητα των υγρών αποβλήτων.



Εικόνα 4.1: Διατάξεις έργων εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά λύματα. Οι γεωτρήσεις άντλησης εκατέρωθεν της σειράς των λεκανών (άνω) και σε σειρά στο μέσον μεταξύ δύο παράλληλων σειρών λεκανών εμπλουτισμού (κάτω) (www.geo.auth.gr).

Η μέθοδος SAT έχει τα εξής πλεονεκτήματα: είναι απλή στην εφαρμογή της, έχει μικρό κόστος και το αυτόκαθαριζόμενο νερό εύκολα αντλείται (με γεώτρηση) από το

υδροφόρο. Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής μπορεί να ελεγχθεί η αξιοπιστία του συστήματος με εκτέλεση των απαραίτητων χημικών και μικροβιολογικών αναλύσεων του νερού.



Εικόνα 4.2: Εφαρμογή της μεθόδου φυσικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μέσω εδάφους υδροφορέα για την προστασία ποταμού από τη ρύπανση (www.geo.auth.gr).

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προστασία των επιφανειακών νερών, π.χ. ποταμών, υδατορευμάτων, λιμνών και της θάλασσας από τη ρύπανση ή τη μόλυνση από βεβαρημένα ή μολυσμένα νερά. Τα λύματα αντί να χύνονται απευθείας στον αποδέκτη (ποτάμι, λίμνη ή θάλασσα) και να ρυπαίνουν τα επιφανειακά νερά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω της μεθόδου SAT για την προστασία των νερών αυτών.

Ο Bouwer (1993) αναφέρει το εξής παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου. Στο Phoenix της Αριζόνας (ΗΠΑ) έγινε ένα έργο στην κοιλάδα του ποταμού Salt που βασικά συνίσταται από 4 λεκάνες εμπλουτισμού συνολικής έκτασης 160 στρεμμάτων, παράλληλες μεταξύ τους και μια γεώτρηση βάθους 60 m ανάμεσα στις 4 λεκάνες. Ως νερό εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται αστικά λύματα μετά από δευτεροβάθμιο βιολογικό καθαρισμό. Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται στα 17 m και τόσο η ακόρεστη ζώνη όσο και το υδροφόρο συνίστανται από αμμοχάλικες. Η γεώτρηση έχει τους φιλτροσωλήνες σε βάθη από 35-55 m.

Το πρόγραμμα λειτουργίας των λεκανών είναι δύο εβδομάδες να είναι κατακλυσμένες και δύο εβδομάδες ξηρές. Η μέση ταχύτητα διήθησης είναι 0,5 m την ημέρα. Το ανακτημένο με άντληση της γεώτρησης νερό είναι κατάλληλο για άρδευση καλλιεργειών, ακόμα και λαχανικών, για πότισμα αστικών πάρκων και τροφοδοσία λιμνών αναψυχής.

Πριν από την κατασκευή και λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος κρίνεται αναγκαίο να γίνονται πειράματα με μικρής κλίμακας λεκάνες, π.χ. διαστάσεων τουλάχιστον 2x2

m για να προσδιοριστούν η ταχύτητα διήθησης, η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου και γενικά η αποτελεσματικότητα της μεθόδου στη συγκεκριμένη θέση.

Η εναλλαγή υγρών - ξηρών κύκλων στις λεκάνες είναι απαραίτητη γιατί έτσι ο ατμοσφαιρικός αέρας βοηθά στην αποσύνθεση οργανικών ενώσεων. Τυπικές περίοδοι υγρών-ξηρών κύκλων των λεκανών ποικίλλουν από 8 ώρες ξηρές και 16 ώρες γεμάτες, έως 2 εβδομάδες ξηρές και 2 εβδομάδες γεμάτες. Το βάθος του νερού κατά την κατάκλυση πρέπει να είναι μικρό, π.χ. λιγότερο από 0,3 m ώστε να μικραίνει ο κίνδυνος ανάπτυξης αλγών στον πυθμένα. Επίσης, είναι προτιμότερο να έχουμε πολλές και μικρές (αβαθείς) λεκάνες παρά λίγες και μεγάλες (βαθιές), για να υπάρχει ευελιξία για καλύτερη διαχείριση των υγρών -ξηρών κύκλων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η διαδικασία επεξεργασίας αστικών λυμάτων περιλαμβάνει πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία και στη συνέχεια απολύμανση και εφαρμογή συστήματος SAT, εάν το νερό δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για πόσιμη χρήση. Στην περίπτωση που ιοί ή άλλοι παθογόνοι μικροοργανισμοί παραμένουν στο νερό μετά το σύστημα SAT, αυτό μπορεί να υποστεί περεταίρω απολύμανση αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση χωρίς περιορισμούς (π.χ. άρδευση καρπών που καταναλώνονται ωμοί ή για νερά που προορίζονται για οικιακή χρήση, πάρκα, παιδικές χαρές, γήπεδα γκολφ ή ιδιωτικές αυλές) ή για ψυχαγωγικούς σκοπούς, όπως, για παράδειγμα, πισίνες. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να είναι από μόνη της επαρκής ως προ-επεξεργασία στην περίπτωση των αστικών λυμάτων. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ολικό οργανικό άνθρακα (Total Organic Carbon, εφεξής TOC) της πρωτοβάθμιας εκροής, μπορεί να συντελέσει στη βελτίωση της ποιότητας που επιτυγχάνεται μέσω SAT καθώς ενισχύει την απονιτροποίηση και τη βιοδιάσπαση του TOC.

Στις περιπτώσεις που το νερό μετά το σύστημα SAT πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για πόση, η μετεπεξεργασία (post-treatment) κρίνεται απαραίτητη ώστε να απομακρυνθεί το TOC που υπολείπεται καθώς και πιθανοί παθογόνοι μικροοργανισμοί ανθεκτικοί στο SAT. Η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει διήθηση με ενεργό άνθρακα, αντίστροφη όσμωση ή διήθηση με μεμβράνη και απολύμανση. Επιπλέον, ενδέχεται να υπάρξει επιπλέον προ-επεξεργασία (pretreatment), όπως, για παράδειγμα, απομάκρυνση του αζώτου, διήθηση και απολύμανση, όταν αυτό απαιτείται από τους σχετικούς κανονισμούς, όπου τα εδάφη και οι υδροφόροι είναι ιδιαίτερα χονδρόκοκκοι ώστε να παράσχουν επαρκή επεξεργασία ή όπου το νερό μετά το σύστημα SAT αντλείται από τυχαία εγκατεστημένες (όχι προκαθορισμένες

χωροταξικά) γεωτρήσεις οπότε η μετά το σύστημα SAT επεξεργασία καθίσταται μη εφαρμόσιμη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αραίωση με τα υπόγεια νερά της περιοχής πραγματοποιείται έτσι ώστε να είναι εφικτή η πόση του ανακτώμενου νερού χωρίς περεταίρω επεξεργασία. Οι προτεινόμενοι κανονισμοί της California, για παράδειγμα, ορίζουν ότι το αντλούμενο νερό, από συστήματα SAT που χρησιμοποιούν επεξεργασμένα αστικά λύματα, δεν πρέπει να περιέχει άνω του 20-50 % από ανακτώμενο νερό (ανάλογα και με το επίπεδο της προεπεξεργασίας και τις συνθήκες της περιοχής). (Hultquist et al., 1991).

Με βάση το κύριο κριτήριο συνεχούς ύπαρξης ακόρεστης ζώνης κάτω από τις λεκάνες εμπλουτισμού ικανού πάχους έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιηθούν οι κατάλληλες και απαραίτητες αερόβιες διεργασίες και η αναμενόμενη απομάκρυνση των ανεπιθύμητων μικροβίων, οι σχετικοί κανονισμοί της California, USA (Hultquist et al., 1991) προτείνουν ελάχιστο βάθος της στάθμης της ελεύθερης υδροστατικής επιφάνειας του υπόγειου νερού κάτω από την επιφάνεια του εδαφικού πυθμένα των λεκανών εμπλουτισμού να είναι περί τα 3 m. Βέβαια σε άλλες περιπτώσεις, όπως στην Ολλανδία, σε εφαρμογές εμπλουτισμού με bank infiltration systems, οι ανάλογες διεργασίες συντελούνται ελεγχόμενα κάτω από τη στάθμη τού υπόγειου νερού.

4.2 Διεθνής Εφαρμογή

Ο Τεχνητός Εμπλουτισμός άρχισε να εφαρμόζεται στην Ευρώπη, στις αρχές του 19ου αιώνα με την μορφή του επαγωγικού εμπλουτισμού για την υδροδότηση πόλεων όπως στην Γλασκώβη της Σκωτίας το 1810 και στην Τουλούζη της Γαλλίας το 1820. Στο τέλος του ίδιου αιώνα εφαρμόστηκε και στις Η.Π.Α., και συγκεκριμένα σε δύο πολιτείες στο Denver με χρήση της μεθόδου των λεκανών κατάκλυσης και στην Καλιφόρνια με άρδευση. Η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού έχει σταθερά αυξηθεί σε ολόκληρο τον κόσμο από τότε και κυρίως από τις δεκαετίες του ΄50 και του ΄60 και μετά. Στις δεκαετίες αυτές η «δεύτερη βιομηχανική επανάσταση» συνέβαλε στην εντατικοποίηση της ρύπανσης των επιφανειακών νερών των ποταμών. Έτσι το πόσιμο νερό αποτελούσε σε πολλές περιοχές δυσεύρετο και ακριβό αγαθό.

Η μεγαλύτερη χρήση του τεχνητού εμπλουτισμού αποσκοπεί στην επαναπλήρωση μειωμένων διαθέσιμων ποσοτήτων υπογείων νερών για την κάλυψη αστικών, βιομηχανικών και αρδευτικών αναγκών ή στην βελτίωση της ποιότητας τους.

Προχωρημένες τεχνικές εμφανίζονται στην Γερμανία, την Σουηδία , το Ισραήλ, την Αίγυπτο, την Αλγερία, το Ιράν, την Λιθουανία, το Τουρκμενιστάν, το Ουζμπεκιστάν, και την Ουκρανία. Ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόζεται, επίσης ευρέως και για τον έλεγχο της διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές της Αυστραλίας, των Κάτω Χωρών, του Ισραήλ, του Μαρόκου, της Σενεγάλης, των Η.Π.Α., της Ιαπωνίας. Στην Ιαπωνία ο τεχνητός εμπλουτισμός χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιοχές και στην αντιμετώπιση προβλημάτων καθίζησης από υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων. Στην Ρουμανία, τη Βουλγαρία και τη Γαλλία ο τεχνητός εμπλουτισμός συμβάλει στην συμπλήρωση του νερού άρδευσης που προέρχεται από υπόγειες τροφοδοσίες.

Στις Η.Π.Α., από το 1950 κυρίως και μέχρι σήμερα, ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόζεται σε όλες σχεδόν τις πολιτείες με μεγάλη ποικιλία μεθόδων και στόχων. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αποσκοπούν κυρίως στον περιορισμό της διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές ή σε επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων. Η μεγαλύτερη σε έκταση προσπάθεια εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού συντελείται στην Καλιφόρνια.

Η χρήση αποβλήτων για εμπλουτισμό εφαρμόστηκε στην Αθήνα των προχριστιανικών χρόνων, ενώ η χρήση λυμάτων στον εμπλουτισμό με άρδευση έγινε στην Γερμανία, τον 16^{ο} αιώνα. Η μέθοδος αυτή διαδόθηκε σε ολόκληρη την Ευρώπη και συνεχίστηκε στις αποικίες των κρατών, όπως την Νότια Αφρική, την Αυστραλία το Μεξικό στις οποίες πολλές από τις μεγάλες φάρμες εφήρμοσαν υπόγεια στραγγιστήρια για να μεταφέρουν το πλεόνασμα του υπόγειου νερού του τεχνητού εμπλουτισμού σε γειτονικούς χείμαρρους. Σε ημίξηρες περιοχές των Η.Π.Α., όπως η Καλιφόρνια, η Αριζόνα ,η Φλόριντα και άλλες περιοχές, αλλά και στο Ισραήλ, στην πόλη του Τελ Αβίβ, εφαρμόζεται με επιτυχία επί σειρά ετών εμπλουτισμός με την μέθοδο της φυσικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μέσω του εδάφους – υδροφορέα, γνωστή διεθνώς με την ονομασία ‘Soil Aquifer Treatment” (SAT) και με αποτελέσματα την ικανοποίηση αναγκών διαφόρων χρήσεων, κυρίως της άρδευσης. Στο Ορλάντο της Φλόριντας (Η.Π.Α.) λειτουργεί, από το 1987, το μεγαλύτερο σύστημα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων των Η.Π.Α. για άρδευση και εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα μέσω λεκανών διήθησης.

Στις περισσότερες χώρες - κράτη μέλη της Ε.Ο.Κ., ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόζεται με μεγάλη ποικιλία και εύρος εφαρμογών, ενώ υπάρχουν σχέδια για μελλοντική και συστηματικότερη ανάπτυξη των μεθόδων εφαρμογής του. Στην

Ιρλανδία, την Ιταλία, το Λουξεμβούργο και την Πορτογαλία, δεν εφαρμόζεται τεχνητού εμπλουτισμού και δεν υπάρχουν σχέδια εφαρμογής του στο άμεσο μέλλον. Η Σουηδία, οι Κάτω Χώρες και η Γερμανία, σε εθνικό επίπεδο, βασίζονται σημαντικά στις εφαρμογές του τεχνητού εμπλουτισμού, ο οποίος συμμετέχει με 15-20% στο συνολικό όγκο των υδατικών πόρων κυρίως στις δύο πρώτες χώρες. Στην Γερμανία το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται γύρω στο 10%, αλλά ποικίλει αισθητά από πόλη σε πόλη. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι στην κοιλάδα Ruhr, ο τεχνητός εμπλουτισμός έχει εφαρμοστεί συστηματικά ήδη για μεγάλο χρονικό διάστημα ,περίπου ένα αιώνα. Στο Βέλγιο, την Δανία, τη Γαλλία, την Ελλάδα, την Αγγλία, την Ισπανία, και την Ελβετία ο τεχνητός εμπλουτισμός αντιπροσωπεύει ελάχιστο ποσοστό του νερού που διατίθεται από εταιρίες εθνικές ή δημοτικές, χωρίς βέβαια να εξαιρούνται περιπτώσεις καθαρά τοπικού χαρακτήρα, όπου έχουμε σημαντική ανατροπή του ποσοστού αυτού. Τρείς είναι οι βασικοί σκοποί εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού σε όλες τις χώρες που προαναφέρθηκαν.

- Ο πρώτος και κυριότερες είναι η παροχή δημόσιου νερού
- Ο δεύτερος είναι να προκύψουν έμμεσα περιβαλλοντικά οφέλη (Βέλγιο, Κάτω Χώρες, Αγγλία)
- Ο τρίτος είναι η διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του νερού.

Η πιο κοινή μέθοδος εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού ,πιθανότατα πάνω από 90%, είναι εκείνη της λεκάνης κατάκλυσης κοντά σε όχθες μεγάλων ποταμών, από όπου προέρχεται και το νερό εμπλουτισμού. Σε μικρότερη έκταση χρησιμοποιούνται τα κανάλια, οι λίμνες και οι λιμνοδεξαμενές. Μέθοδοι με επεξεργασμένα λύματα εφαρμόζονται στην Δανία, ενώ υπάρχουν σχέδια για ανάλογη εφαρμογή και στην Ελλάδα στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης. Η οικονομική ενθάρρυνση για την ανάπτυξη του τεχνητού εμπλουτισμού στην Ευρώπη είναι περιορισμένη και παρουσιάζεται με δύο μορφές:

a) την άμεση οικονομική υποστήριξη (Δανία, Γαλλία)
b) τη μείωση του κόστους χρέωσης της απόληψης νερού (Κάτω Χώρες, Αγγλία)

Στην Κύπρο, από το 1982, έχει εφαρμοστεί συστηματικά ο τεχνητός εμπλουτισμός με μεθόδους κυρίως κατάκλυσης, δηλαδή με λιμνοδεξαμενές σε αλλουβιακές νεογενείς αποθέσεις, σε μεγάλους υδροφορείς του νησιού, όπως Γερμασόγειας, Ακρωτηρίου, Ξεροποτάμου και Μαρωνίου, με στόχο την κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση αλλά και την αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης. Οι υδροφορείς αυτοί έχουν στερηθεί το φυσικό τους εμπλουτισμό λόγω της κατασκευής ανάντη ταμιευτήρων. Σε πειραματική βάση έχουν διεξαχθεί και γεωτρήσεις εμπλουτισμού με

όχι όμως μέχρι στιγμής ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Το 1993 άρχισε να λειτουργεί ένα σύστημα 120 απορροφητικών έργων, το οποίο αποτελείται από 17 γεωτρήσεις και 103 πηγάδια. Εμπλουτίζοντας με όμβρια νερά τον παράκτιο υδροφορέα των Κοκκινοχωριών.

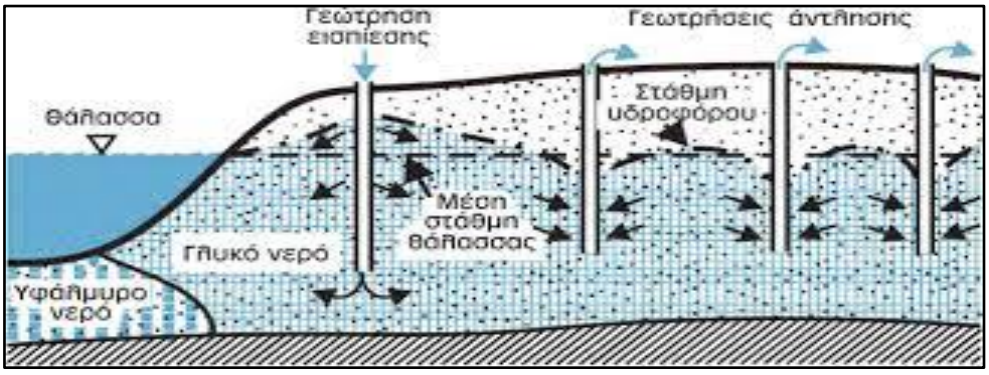
Πιο συγκεκριμένα παραδείγματα των εφαρμογών αυτών παρουσιάζονται παρακάτω.

Η.Π.Α.

Σε παραλιακή ζώνη της πόλης Palo Alto κατασκευάστηκε ένα σύστημα γεωτρήσεων εμπλουτισμού για να δημιουργηθεί ένα είδος φράγματος στο θαλάσσιο μέτωπο που είχε αρχίσει να διεισδύει στην ενδοχώρα. Οι γεωτρήσεις τροφοδοτούσαν τον ανώτερο παραθαλάσσιο υδροφορέα με 7570 m^3/ ημέρα. Για τον εμπλουτισμό του υδροφόρου στρώματος χρησιμοποιήθηκαν τα αστικά λύματα της περιοχής, αφού πρώτα είχαν υποστεί επεξεργασία στη τοπική μονάδα βιολογικού καθαρισμού.

Μια δεύτερη σειρά από γεωτρήσεις άντλησης, διαμορφώθηκε σε συγκεκριμένη απόσταση από την πρώτη προς την ενδοχώρα, έτσι ώστε να αντλείται το βεβαρημένο ποιοτικά νερό εμπλουτισμού για να μην ενσωματωθεί στο υδροφόρο και υποβιβαστεί έτσι η ποιότητα των υπόγειων νερών.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά λύματα με τη μέθοδο της υπόγειας διήθησης . ελλοχεύει μεγάλος κίνδυνος να εισαχθούν ρυπαντές στο υδροφόρο στρώμα, για τον λόγο αυτό απαιτείται η ιδιαίτερα σοβαρή μελέτη πριν από την εφαρμογή (Pettyjohn, 1988). Η μελέτη πρέπει να αναφέρεται στην εκάστοτε περίπτωση και να περιλαμβάνει στοιχεία γεωλογικά, αλλά και στοιχεία για τα λύματα, όπως μικροβιολογικά στοιχεία και στοιχεία τοξικότητας.



Εικόνα 4.3:Εμπολυτισμός παραθαλάσσιου υδροφόρου με γεωτρήσεις για την προστασία από την διείσδυση του παραθαλάσσιου μετώπου (geo.auth.gr).

Στο Orange Country της Καλιφόρνιας, χρησιμοποιούνται από το 1976 απόβλητα, τα οποία έχουν επεξεργαστεί ποιοτικά σε βαθμό που προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, για την φόρτιση του υπόγειου υδροφόρου στρώματος που χρησιμοποιείται για ύδρευση, με σκοπό την παρεμπόδιση εισβολής θαλάσσιου ύδατος. Το Orange Country αποτελεί ένα πολύ πετυχημένο παράδειγμα εμπλουτισμός με γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης (ASR). Μετά από έρευνες δεκαπέντε χρόνων διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα του υπογείου νερού διατηρήθηκε σταθερή και σχεδιάζεται η επέκταση της παροχής φόρτισης, από 57000 m^3/ ημέρα σε περίπου 200000.

Λιβύη

Οι Rekaya και Bedmar (1989) αναφέρουν τα αποτελέσματα ενός πιλοτικού ερευνητικού προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού με αστικά λύματα που πραγματοποιήθηκε το 1986 στην παραθαλάσσια περιοχή Oued Souhil, Νοτιοανατολικά της Τύνιδας.

Το τοπικό υδροφόρο στρώμα αναπτύσσεται σε αλλουβιακές αποθέσεις που συνίστανται βασικά από άμμους (πάχους 15-20 m) και έχουν ως υπόβαθρο ένα αργιλικό στρώμα πλειστοκαινικής ηλικίας. Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθη μεταξύ 10 και 12 m, ενώ γίνεται εντατική εκμετάλλευση του υδροφορέα για την άρδευση 3000 στρεμμάτων εσπεριδοειδών.

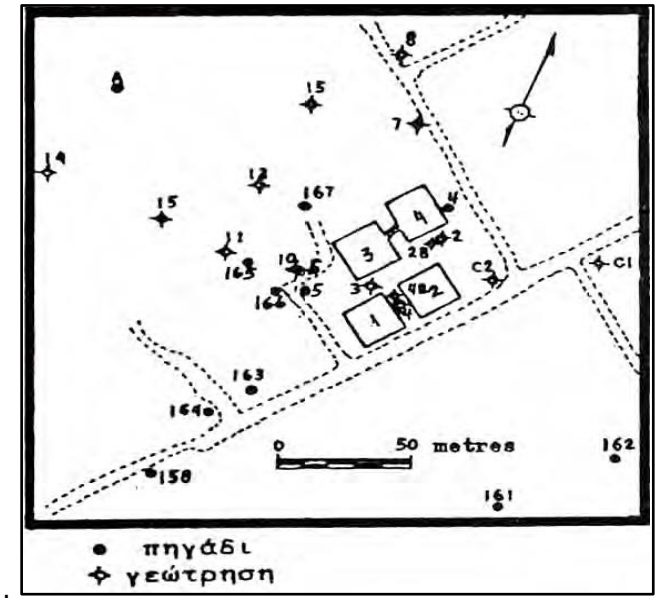
Σκοπός του προγράμματος ήταν να εξετασθεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης αστικών λυμάτων από τρεις γειτονικές πόλεις με πληθυσμό 200.000 κατοίκων, μετά από βιολογικό καθαρισμό με τη μέθοδο των λεκανών. Ο πιλοτικός σταθμός αποτελείτο από 4 λεκάνες, διαστάσεων 20 m x 20 m x 1,7 m η κάθε μια και από 3 πηγάδια και 18 πιεζομετρικές γεωτρήσεις.

Τα πειράματα τεχνητού εμπλουτισμού έγιναν σε δύο ζεύγη λεκανών εναλλάξ συνολικά για 69 ημέρες και απορροφήθηκε όγκος νερού 7.500 m^3 ή 833 m^3/ημέρα. Το ύψος του νερού στις λεκάνες ήταν 1 m.

Το βασικό συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι μειωνόταν σχετικά γρήγορα η απορροφητικότητα του νερού λόγω "clogging" του πυθμένα από τα αιωρούμενα στερεά και τις ουσίες που περιείχε το νερό εμπλουτισμού. Ήταν απαραίτητο λοιπόν να εναλλάσσονται γρήγορα οι υγροί και οι ξηροί κύκλοι στις λεκάνες για να αναμοχλεύεται ο πυθμένας τους.

Η μέθοδος κρίθηκε πάντως κατάλληλη και προτάθηκε να γίνουν 10 όμοιοι σταθμοί στην περιοχή για να αξιοποιηθούν όλα τα επεξεργασμένα νερά του βιολογικού καθαρισμού για τον εμπλουτισμό του υδροφορέα. Το μόνο αρνητικό ήταν ότι παρατηρήθηκε μικρή επιβάρυνση της ποιότητας του υπόγειου νερού με ιόντα Cl-, SO_4^{2-}, Ca^{2+} και κάποια μικρή αύξηση του pH.

Η διάταξη του έργου εμπλουτισμού όπως εφαρμόστηκε φαίνεται στο αμέσως επόμενο σχήμα



Εικόνα 4.4: Διάταξη έργου εμπλουτισμού με λεκάνες στην περιοχή Gued Souhil της Λιβύης (Rekaya and Bedtnar, 1989).

Σουηδία

Στη Σουηδία λεκάνες διήθησης βρίσκονται σε λειτουργία από το 1898. Υπάρχουν 1.800 σχέδια τεχνητού εμπλουτισμού στη χώρα και οι 80 από τους 284 δήμους χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνολογία

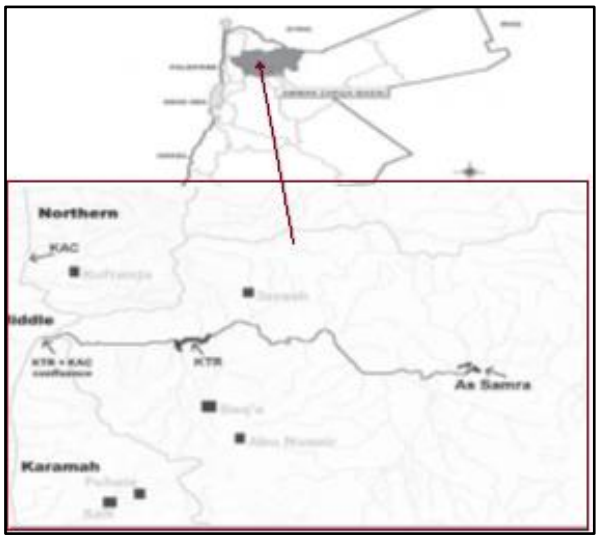
Ιορδανία

Τα λύματα της Ιορδανίας μπορούν να χαρακτηριστούν πολύ ισχυρά, με υψηλή αλατότητα και ασήμαντα βαρέα μέταλλα και τοξικά οργανικά. Τις περασμένες δύο δεκαετίες η Ιορδανία στηριζόταν σε λίμνες σταθεροποίησης αποβλήτων (Waste

Stabilization Ponds – WSP) για την επεξεργασία των λυμάτων. Η εκροή από τα κέντρα επεξεργασίας αναμιγνυόταν με φρέσκο νερό και ακολουθούσε αποθήκευση του νερού. Καθώς αυξάνεται η ποσότητα των λυμάτων μελετώνται σχέδια εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης, όπως ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπογείων υδάτων.

Εικόνα 4.5: Η περιοχή της Ιορδανίας και σύνορά της με το Ισραήλ (www.haniotika-nea.gr).

Η Ιορδανία έχει έκταση 90000 km2 και περιορισμένες πηγές νερού. Το 2007 υπήρχαν σε λειτουργία 17 εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων. Μεγάλο μέρος του παραγόμενου νερού χρησιμοποιείται για άρδευση, ενώ ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού μπορεί να γίνει με φρέατα ή γεωτρήσεις ή με συστήματα επεξεργασίας εδάφους-υδροφορέα (δηλαδή με φυσικά συστήματα) SAT. Η τελευταία είναι και η πιο κατάλληλη μέθοδος για τη χώρα, καθώς δεν απαιτεί πολύ καλή ποιότητα ύδατος όπως οι γεωτρήσεις και είναι η καλύτερη για τις δευτεροβάθμιες εκροές. Οι κάποιες αντιδράσεις του κοινού αναμένεται να εκλείψουν με την επέκταση και αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας.



Εικόνα 4.6: Η περιοχή έρευνας του Amman, η λεκάνη Zarqa και η κοιλάδα της Ιορδανίας. Φαίνεται η ροή από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων του As-Samra στον ταμιευτήρα King Talat (KTR) και μετά στο κανάλι King Abdullah (KAC).

Μέχρι τώρα τα βαρέα μέταλλα και άλλες παρατηρούμενες παράμετροι δεν θέτουν σημαντικά εμπόδια στην προοπτική της επαναχρησιμοποίησης. Με την ανάπτυξη νέων εγκαταστάσεων και με την εφαρμογή αυστηρών κανονισμών μπορούν να επιτευχθούν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το σύστημα που χρησιμοποιείται είναι αυτό της αντίστροφης όσμωσης για τον περαιτέρω καθαρισμό.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί λοιπόν να χρησιμοποιηθεί για λόγους αποθήκευσης νερού ή εμπλουτισμού και βελτίωσης της ποιότητας.

Σημαντικά σχέδια εμπλουτισμού των υπογείων νερών έχουν αναφερθεί και στην Ινδία με εξαιρετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Κύπρος

Οι Κύπριοι αναφέρουν ότι: οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τα λύματα ήταν οι Έλληνες πριν 2000 περίπου χρόνια. Η πρακτική αυτή χρησιμοποιείται επίσης από αιώνες στην Κίνα, ενώ στην Ευρώπη η χρήση των λυμάτων ήταν κοινή πρακτική στη Γερμανία από το 16ο αιώνα και στην Αγγλία από το 19ο αιώνα.

Στην Κύπρο η επεξεργασία και στη συνέχεια η χρήση του ανακυκλωμένου νερού για γεωργικούς σκοπούς θεωρείται απολύτως αναγκαία και τούτο γιατί προσφέρει την καλύτερη αντιμετώπιση του θέματος από υγειονομικής άποψης και εξασφαλίζει ποσότητα νερού για γεωργική ή άλλη χρήση.

Λόγω των ξηροθερμικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, οι συνήθεις υδατικοί πόροι τόσο οι επιφανειακοί όσο και οι υπόγειοι έχουν σχεδόν εξαντληθεί. Με την ολοένα αυξανόμενη έλλειψη καλής ποιότητας νερού και την αυξανόμενη ζήτησή του, προκύπτει μια πιεστική ανάγκη για εξεύρεση άλλων λύσεων. Η πίεση γίνεται ακόμα μεγαλύτερη με τις συνεχείς ανομβρίες. Γι' αυτό η χρήση του ανακυκλωμένου νερού αντιμετωπίζεται σαν μέρος του σχεδιασμού και της ανάπτυξης των υδατικών πόρων.

Έτσι το θέμα της επεξεργασίας και διάθεσης του ανακυκλωμένου νερού άρχισε να παρουσιάζεται ουσιαστικά από το 1970. Από το 1980 άρχισε να απαιτείται από τις αρμόδιες αρχές η εγκατάσταση βιολογικών μονάδων επεξεργασίας των λυμάτων και στη συνέχεια η ορθολογική χρήση τους. Ενώ από το 1985 άρχισε η μελέτη και η κατασκευή βιολογικών σταθμών επεξεργασίας των λυμάτων σε μικρές κοινότητες και χωριά.

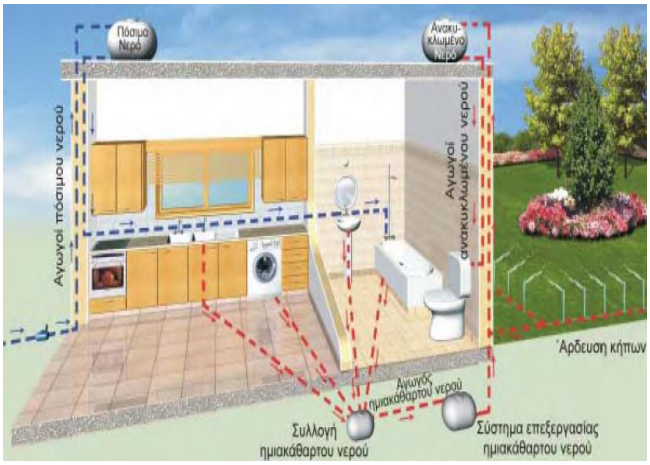
Από τα κεντρικά αποχετευτικά συστήματα των πόλεων, εκείνο της Λευκωσίας λειτουργεί από το 1980 και το ανακυκλωμένο νερό τοποθετείται στην ξηρή κοίτη του Πεδιαίου ποταμού, ενώ της Λεμεσού λειτουργεί από το 1995 και το νερό χρησιμοποιείται για άρδευση φυτειών ανατολικά και δυτικά της Λεμεσού. Το αποχετευτικό της Πάφου λειτούργησε το 2002 και το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται για εμπλουτισμό του υδροφορέα/ ποταμού της Έζουσας, για τον εμπλουτισμό χρησιμοποιούνται χωμάτινες δεξαμενές καθίζησης πάνω από το αλλουβιακό υδροφόρο στρώμα του ποταμού. Ο εμπλουτισμός είναι συνεχής και κατά μέσο όρο στέλνονται 6000-7000 m^3 νερού την ημέρα. Η παραχθείσα ποσότητα ανακυκλωμένου νερού κατά το έτος 2005, ανήλθε στα 2.5 εκατ. m^3.

Το υπόγειο νερό αντλείται από τις επτά υφιστάμενες γεωτρήσεις του Αρδευτικού Έργου Πάφου στον ποταμό Έζουσας και στέλνεται στο κεντρικό κανάλι του ίδιου έργου από όπου μεταφέρεται και το νερό από το φράγμα του Ασπρόκρεμμου. Το αναμεμιγμένο νερό διατίθεται για άρδευση διαφόρων φυτειών χωρίς οποιοδήποτε περιορισμό. Αντλούνται περίπου 2.5 εκατ. m^3 το χρόνο, όσο δηλαδή και ο εμπλουτισμός.

Στις μικρές κοινότητες και χωριά υπάρχουν 30 περίπου σταθμοί επεξεργασίας και το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται για άρδευση ή για εμπλουτισμό. Σημειώνεται πάντως ότι θα υπάρξει και επέκταση των υφιστάμενων Βιολογικών Σταθμών. Υπολογίζεται ότι το διαθέσιμο νερό για άρδευση από τους Βιολογικούς Σταθμούς

μέχρι το 2012 θα ανέλθει στα 52,7 εκατ. m^3 το χρόνο, μέχρι το 2015 στα 58,5 και μέχρι το 2030 στα 66,3 εκατ. m^3 νερού το χρόνο.

Στην Κύπρο εκτιμάται ότι με την ανακύκλωση του ημιακάθαρτου νερού επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πόσιμου νερού πέραν του 35%.



Εικόνα 4.7:Οικιακή χρήση ανακυκλωμένου νερού.

4.2.1 Οδηγίες του Παγκόσμιο Οργανισμού Υγείας (WHO) και του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO)

(κύρια βιβλιογραφική πηγή Στεργίου Μαρία, «Εμπλουτισμός των υπόγειων νερών με την χρήση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας. Η περίπτωση της Ν. Περάμου του Ν. Καβάλας», Ξάνθη 2009)

Δύο βασικές "φιλοσοφίες", αυτή του WHO και της Παγκόσμιας Τράπεζας και αυτή της Πολιτείας της Καλιφόρνιας χρησιμοποιούνται σήμερα ως πρότυπα στη καθιέρωση κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υδατικών αποβλήτων. Αυτές εμπεριέχουν βασικές διαφορές και σε κάποιο βαθμό είναι αντιφατικές. Σημειώνεται ότι οι περισσότερες από τις διαφορές στις δύο προαναφερόμενες φιλοσοφίες αφορούν την απαιτούμενη ποιότητα των εκροών για άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται ωμά (όπως μαρούλια, λάχανα, κ.ά.) ή αυτά που κατά τη διαδικασία της άρδευσης έρχονται σε άμεση επαφή με τις εφαρμοζόμενες ΕΥΑ (πατάτες). Όμως σε μια γενική θεώρηση των έργων άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με ΕΥΑ, ελάχιστα έργα αφορούν άρδευση λαχανικών. Έτσι, το σύνολο σχεδόν τέτοιων έργων αφορά την άρδευση άλλων γεωργικών καλλιεργειών όπως δενδρωδών (εσπεριδοειδή, ελαιώνες), φυτών μεγάλης καλλιέργειας (αραβόσιτος, μηδική βαμβάκι), αμπελώνων, γηπέδων γκολφ, καλλωπιστικών ειδών και άλλων.

Διάφοροι διεθνείς Οργανισμοί έχουν ασχοληθεί με κριτήρια ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων. Οι οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων περιγράφονται αναλυτικά στις ενότητες που ακολουθούν.

Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization).

Κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ΠΟΥ, (1989) με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας και άλλων διεθνών οργανισμών, διερευνήθηκαν οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση:

(α) Επίπεδο επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων.
(β) Περιορισμένη άρδευση γεωργικών καλλιεργειών.
(Υ) Επιλογή μεθόδου εφαρμογής.
(δ) Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης σε παθογόνους μικροοργανισμούς των εκροών υγρών αποβλήτων, του εδάφους ή των γεωργικών καλλιεργειών.

Η αποτελεσματικότητα των μέτρων αυτών (αυτόνομα ή σε συνδυασμό) στη μείωση της μετάδοσης ασθενειών διερευνήθηκε από τους Blumenthal et al. (1998). Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 και τα συμπεράσματα μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

(α) Η άρδευση με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων, εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
(β) Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ή η λήψη μέτρων που περιορίζουν την ανθρώπινη επαφή με τις εκροές υγρών αποβλήτων, ελαττώνει τους κίνδυνους μόλυνσης, που όμως εξακολουθούν να υφίσταται έστω σε χαμηλότερα επίπεδα.
(γ) Ο περιορισμός της άρδευσης σε καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων δεν καταναλώνονται ωμά (περιορισμένη άρδευση) συνεισφέρει αποτελεσματικά στη πρόληψη ασθενειών, τουλάχιστον για τους καταναλωτές.
(δ) Η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των εκροών, όπως είναι η υποεπιφανειακή άρδευση, θεωρείται μια ιδιαίτερα αποτελεσματική πρακτική.

(ε) Η εφαρμογή τριτοβάθμιας ή και προωθημένης επεξεργασίας, αποτελεί το αποτελεσματικότερο μέτρο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών. Επίσης, στην περίπτωση αυτή δεν επιλογή των αρδευόμενων καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).

Πίνακας 4.1. Μέθοδοι αντιμετώπισης κινδύνων ρύπανσης και/ή μόλυνσης από επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ΕΔΕΥΑ, 2004).

Θεωρούμενοι παράγοντες	*Κανένα μέτρο επεξεργασίας*	*Περιορισμός καλλιεργειών*	*Μέτρα κατά την διάθεση των αποβλήτων (π.χ. υπεδάφεια εφαρμογή)*	*Έλεγχος ανθρώπινης έκθεσης*	*Μερική επεξεργασία*	*Μερική επεξεργασία και περιορισμός*	*Μερική επεξεργασία και έλεγχος έκθεσης*	*Περιορισμός καλλιεργειών και έλεγχος έκθεσης*	*Πλήρης επεξεργασία*
Υγρά απόβλητα	++	++	++	++	+	+	+	++	-
Έδαφος	++	++	++	++	+	+	+	++	-
Καλλιέργειες	++	++	-	++	+	+	+	++	-
Εργάτες	++	++	-	+	+	+		+	-
Καταναλωτές	++	-	-	+	+	-	+	-	-

Βαθμός ρύπανσης (υγρά απόβλητα, έδαφος, καλλιέργειες) ή κίνδυνος (εργάτες, καταναλωτές)
++ *υψηλός*
+ *χαμηλός*
- *ασφάλεια*

Ιδιαίτερη σημασία δίδεται στον προορισμό χρήσης της αρδευόμενης καλλιέργειας με βάση την οποία η άρδευση διακρίνεται σε δυο κατηγορίες: την "περιορισμένη", που αφορά καλλιέργειες που τα προϊόντα τους δεν καταναλώνονται νωπά και την "απεριόριστη", που μπορεί να εφαρμοσθεί ακόμη και για την άρδευση λαχανικών, γηπέδων, πάρκων, και άλλων χώρων αναψυχής και κοινόχρηστων χώρων. Στην πρώτη περίπτωση ουσιαστικά δεν απαιτούνται μικροβιολογικά κριτήρια, συνιστάται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας, που μπορεί να είναι από πρωτοβάθμια επεξεργασία μέχρι επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες (Πίνακας 4.2). Επισημαίνεται, ότι με την επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής (επιφανειακή ή υποεπιφανειακή άρδευση), είναι δυνατή η άρδευση καλλιεργειών, που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά καθώς αποφεύγεται η άμεση επαφή των καρπών με τους παθογόνους οργανισμούς. Σε αυτή την περίπτωση η συλλογή των εδώδιμων καρπών από το έδαφος, απαγορεύεται, ενώ ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνίσταται η διακοπή της άρδευσης δύο εβδομάδες πριν

από τη συγκομιδή. Στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης συνιστάται η τήρηση συγκεκριμένων μικροβιολογικών κριτηρίων, τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς (<1 αυγό/L), και ως προς τα FC (<1000 FC/100 mL), με ακόμη αυστηρότερα κριτήρια (<200 FC/100 mL) για ορισμένες περιπτώσεις, όπως η άρδευση πάρκων και γενικά χώρων με αυξημένη ανθρώπινη επαφή. Σημειώνεται, ότι τα κριτήρια αυτά είναι λιγότερο αυστηρά από προγενέστερα κριτήρια του WHO για απεριόριστη άρδευση που ήταν max 100 FC/100 mL.

Πίνακας 4.2. Συνιστώμενες μικροβιολογικές οδηγίες του WHO (1989) για την χρήση υγρών αποβλήτων στη γεωργία (ΕΔΕΥΑ, 2004).

Κατηγορία καλλιεργειών	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτεθειμένη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις [β] (αριθμητικός μέσος αρ. αυγών/L [γ])	FC (γεωμετρικός μέσος αρ./100 ml [γ])	Προτεινόμενη επεξεργασία υγρών αποβλήτων για να επιτύχουμε την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα
Α	Άρδευση καλλιεργειών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται νωπά, αθλητικοί χώροι, δημόσια πάρκα [δ]	Εργάτες, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤1000[δ]	Σειρά λιμνών σταθεροποίησης σχεδιασμένες ώστε να επιτυγχάνεται η προσδιορισμένη μικροβιολογική ποιότητα ή ισοδύναμη επεξεργασία.
Β	Άρδευση σιτηρών, δενδρωδών, βιομηχανικών χορτοδοτικών καλλιεργειών και βοσκοτόπων [ε]	Εργάτες	≤1	Δεν συνιστώνται κριτήρια	Διατήρηση στις λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 μέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση εντερικών νηματωδών και FC.
Γ	Περιορισμένη άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας Β, όπου δεν λαμβάνει χώρα έκθεση εργατών και κοινού.	Καμία	Μη εφαρμόσιμη	Μη εφαρμόσιμη	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από την αρδευτική τεχνολογία, αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια ιζηματοποίηση

[α] Σε ειδικές περιπτώσεις, τοπικοί επιδημιολόγοι, κοινωνικό - πολιτιστικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και οι οδηγοί να τροποποιούνται ανάλογα.

[β] Τα είδη Ascaris και Trichuris και νηματοσκώληκες

γ Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου

[δ] Μια αυστηρότερη οδηγία (200 κοπρώδη κολοβακτηρίδια ανά 100mL) είναι κατάλληλη για δημόσια γκαζόν, όπως γκαζόν ξενοδοχείων, με το οποίο το κοινό μπορεί να έρθει σε απευθείας επαφή

[ε] Στην περίπτωση των οπωροφόρων δέντρων, η άρδευση θα πρέπει να διακόπτεται 2 εβδομάδες πριν την συγκομιδή και κανένα φρούτο δεν πρέπει να συλλέγεται από το έδαφος. Η άρδευση με εκτοξευτήρα θα πρέπει να αποφεύγεται.

Γενικά, η οδηγία του ΠΟΥ (1989) βασίζεται κυρίως στα δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών, σε συνδυασμό με μία εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Επίσης, θεωρεί όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια, που υφίστανται έντονη κριτική από τις αναπτυγμένες χώρες (ΗΠΑ, Αυστραλία και άλλες).

Αυξημένο ενδιαφέρον επίσης, παρατηρείται για την πρόληψη επιπτώσεων στην δημόσια υγεία από χημικά συστατικά που περιέχονται στις εκροές αστικών υγρών αποβλήτων, που επαναχρησιμοποιούνται στη γεωργία. Οι πιθανές διαταραχές στην υγεία από τέτοιες χημικές ουσίες προκάλεσαν σημαντικούς προβληματισμούς και ώθησαν τον WHO να προχωρήσει στη διαμόρφωση οδηγίας για ασφαλέστερη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών. Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας (WHO, 1995) συνοψίζονται στα:

(α) Σε περιπτώσεις εφαρμογής ενός εκτεταμένου και αποτελεσματικού προγράμματος ελέγχου βιομηχανικών αποβλήτων, τότε δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή μπορεί να εφαρμόζεται σε καλλιέργειες χωρίς περιορισμούς, στο βαθμό, που καλύπτονται τα προτεινόμενα υγειονομικά και αγρονομικά κριτήρια.

(β) Επειδή τα ανεπεξέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, μπορεί να περιέχουν σημαντικές ποσότητες χημικών ρυπαντών, η εφαρμογή τους στο έδαφος πρέπει να καθορίζεται με βάση τις ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των ρυπαντών στο έδαφος.

(γ) Σε ότι αφορά το νιτρικό άζωτο και τα ιόντα νατρίου, που θεωρήθηκαν έπειτα από ειδική πρόταση του WHO, εξαιτίας των πιθανών αιματολογικών και καρδιοαγγειακών συνεπειών, που μπορούν να προκαλέσουν μακροπρόθεσμα, όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό, προτείνεται: (i) Το νιτρικό άζωτο στις επεξεργασμένες εκροές δεν θα πρέπει να τεθούν ειδικά όρια. Αντίθετα, τα κριτήρια ποιότητας του FAO για το νερό άρδευσης θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν ως γενική οδηγία (όπου για συγκεντρώσεις NO3-N: χαμηλότερες από 5 mg/L δεν θέτουν κανένα περιορισμό στη χρήση, 5-30 mg/L θέτουν ελάχιστους περιορισμούς και υψηλότερες από 30 mg/L θέτουν σημαντικούς περιορισμούς). (ii) Δεν θα πρέπει να τεθούν αυστηρά όρια για το νάτριο, αλλά να τηρηθεί το επίπεδο εκείνο για το οποίο το νάτριο είναι από τη φύση του περιοριστικό στο πόσιμο νερό γευστικά (~ 200 mg/L).

Η διαμόρφωση αριθμητικών τιμών για τις μέγιστες συγκεντρώσεις ρυπαντών στο έδαφος βασίστηκε στην εκτίμηση του κινδύνου, που αφορούν την υγεία, ακολουθώντας τα εξής στάδια:

(α) Προσδιορισμός κινδύνου: Χρησιμοποιούνται επιδημιολογικά και τοξικολογικά στοιχεία και πληροφορίες για την χημική σύσταση των αποβλήτων, κυρίως για τον προσδιορισμό πιθανών τοξικών ρυπαντών υψηλής επικινδυνότητας.

(β) Ανάλυση δόσης-απόκρισης: Καθορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη προσλαμβάνουσα ποσότητα των ρυπαντών υπό τη μορφή ημερήσιας αποδεκτής πρόσληψης (acceptable daily intake).

(γ) Διαδρομή έκθεσης και ανάλυση σεναρίων: Προσδιορίζονται οι τρόποι και τα σενάρια έκθεσης ενός πληθυσμού στους ρυπαντές. Καθορίζονται ποσοτικά οι συντελεστές μεταφοράς ρυπαντών για κάθε στάδιο της έκθεσης.

(δ) Υπολογισμός φόρτισης ρυπαντών: Με βάση την ημερήσια αποδεκτή πρόσληψη, το στάδιο και τα σενάρια έκθεσης, καθορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα των ρυπαντών στο έδαφος

Η ικανότητα του εδάφους να αποδομεί, να προσροφά, να εξασθενίζει και να απενεργοποιεί ρυπαντές λήφθηκε επίσης, υπ' όψιν στην ανάπτυξη αριθμητικών τιμών. Σε αντιδιαστολή, η προσέγγιση που ακολουθείται σε μερικές αναπτυγμένες Ευρωπαϊκές χώρες, οδήγησε στην υιοθέτηση ιδιαίτερα αυστηρών ορίων που αφορούν την πρόληψη συσσώρευσης ρυπαντών στο έδαφος, όταν αυτό λειτουργεί ως αποδέκτης υγρών αποβλήτων. Οι συνιστώμενες από τον WHO μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις χημικών συστατικών στο νερό άρδευσης, που προέρχεται από εκροές υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3. Σημειώνεται, ότι τα όρια αναφέρονται σε συγκεντρώσεις ρυπαντών στο έδαφος, καθώς η πρόσληψη των ρυπαντών από τις καλλιέργειες εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις τους στο έδαφος, ενώ συνυπολογίζονται οι υφιστάμενες συγκεντρώσεις ρυπαντών στο περιβάλλον.

Πίνακας 4.3. Προτεινόμενα όρια για χημικούς ρυπαντές (ανόργανα στοιχεία και οργανικές ενώσεις στο έδαφος) από τον WHO (1989) (ΕΔΕΥΑ, 2004).

Οργανικές ενώσεις	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξ. β.)	Ανόργανα στοιχεία	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξ. β.)
Aldin	0,2	As	9
Benzene	0,03	B	2900
Benzo(a)pyrene	3	Be	20
Chlorodane	0,3	Cd	7
Chlorobenzene	α.σ.	Cr	3200
Chloroform	2	F	2600
Dichlorophenols	α.σ.	Pd	150
2,4-D	10	Mn	5
DDT	α.σ.	Ni	850
Dieldrin	0,03	Se	140
Heptachlor	1	Ag	3
Hexachlorobenzene	40		
Hexachloroethane	2		
Pyrene	480		
Lindane	0,6		
Methoxychlor	20		
Pentachlorophenol	320		
PCBs	30		
Tetrachloroethane	4		
Tetrachlorothylene	250		
Toluene	50		
Toxaphene	9		
2,4,5-T	α.σ.		
2,3,7,8 TCDD	30		

α.σ.: ανεπαρκή στοιχεία

ξ. β.: ξηρό βάρος

Η πρόθεση του WHO να προωθήσει την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών εκμεταλλεύσεων θα πρέπει να αξιολογηθεί σε σχέση με τη σημασία και τη δυνατότητα εφαρμογής της με βάση τις επικρατούσες κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην πρώτη του προσπάθεια να εκδώσει οδηγία για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, ο WHO (1973) κάλυψε ένα ευρύτερο πεδίο εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης. Για την επαναχρησιμοποίηση ανακυκλωμένου νερού σε εφαρμογές αναψυχής, με αυξημένη ανθρώπινη επαφή και για διάφορες αστικές εφαρμογές με εξαίρεση τη χρήση για ύδρευση, είχε προταθεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, φίλτρανση με φίλτρα άμμου και απολύμανση. Διαφοροποίηση

παρατηρήθηκε ωστόσο, για την περίπτωση της αστικής χρήσης, όπου προδιαγράφονταν μόνο γενικές απαιτήσεις για την αποτελεσματική απομάκρυνση βακτηρίων και την μερική απομάκρυνση των ιών, ενώ για χρήσεις αναψυχής με ανθρώπινη επαφή καθορίζονταν τα 100 FC/100 mL στο 80% των δειγμάτων και η απουσία χημικών ουσιών, που προκαλούν ερεθισμό του δέρματος.

Η οδηγία του WHO (1989), καθορίζει κριτήρια ποιότητας νερού για άρδευση, που όμως έχουν εκφραστεί προβληματισμοί για την αποτελεσματικότητα τους. Οι λόγοι αυτοί αφορούν κυρίως το γεγονός ότι η οδηγία έχει σχεδιαστεί για τον έλεγχο της μικροβιακής ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, ενώ τα κριτήρια του νερού άρδευσης δεν αφορούν μόνο περιπτώσεις, όπου εκροές υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται απ' ευθείας για άρδευση. Επίσης, αφορούν περιπτώσεις όπου η χρήση των εκροών γίνεται έμμεσα με νερό ποταμών που χρησιμοποιούνται ως αποδέκτες τους. Επιπλέον, τα όρια που αφορούν τον έλεγχο των εντερωδών νηματωδών, ουσιαστικά αποτελούν οδηγία για το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και όχι κριτήριο για το οποίο απαιτείται συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο της εκροής. Ειδικότερα, η σχετικά μικρή εμπειρία που υπάρχει σχετικά με τον έλεγχο των αυγών των εντερωδών νηματωδών στο νερό άρδευσης, καθιστά δύσκολη την εφαρμογή αυτής της παραμέτρου στην πράξη κι ουσιαστικά τείνει να καταστήσει τα FC ως το μοναδικό βακτηριολογικό κριτήριο για την ποιότητα των εκροών που χρησιμοποιούνται για άρδευση. Με βάση αυτά είναι προφανές, ότι και όταν ακόμη εφαρμόζεται το ίδιο επίπεδο μικροβιολογικής ποιότητας, δεν εξασφαλίζεται απαραίτητα το ίδιο επίπεδο προστασίας, όταν υπάρχει άμεση' άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και έμμεση άρδευση μερικώς επεξεργασμένων ή και ανεπεξέργαστων, που αραιώνονται σε νερά ποταμών, ιδίως όταν πρόκειται για αυγά εντερωδών νηματωδών ή άλλες μικροβιακές παραμέτρους.

Οδηγία του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization)

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) στην προσπάθειά του να διαμορφώσει κριτήρια ποιότητας για το νερό άρδευσης, που να αντιμετωπίζουν προβλήματα δημόσιας υγείας, πρότεινε τη χρήση της οδηγίας σε ότι αφορά όρια FC που προτείνονται από τον WHO.

Η καταλληλότητα της οδηγίας του ΠΟΥ να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για το νερό άρδευσης διαφαίνεται στο σημείο της οδηγίας, όπου χαρακτηριστικά αναφέρεται:

"Μικρότερος βαθμός απομάκρυνσης (απ' αυτόν που απαιτείται για να επιτευχθεί η προτεινόμενη ποιότητα της οδηγίας για απεριόριστη άρδευση), μπορεί να είναι αποδεκτός, εάν άλλα μέτρα προστασίας της δημόσιας υγείας εφαρμοσθούν ή η ποιότητα των υγρών αποβλήτων μετά την επεξεργασία, βελτιωθεί περαιτέρω με αραίωση με φυσικά νερά, παρατεταμένη αποθήκευση ή μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις με ποταμούς ή αγωγούς" (WHO, 1989).

Εκτός από την αντιμετώπιση των κινδύνων δημόσιας υγείας, που οφείλονται στη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση, ο FAO έχει προτείνει και οδηγίες για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού καθώς και μια σειρά αγρονομικών μέτρων προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση των αρδευόμενων καλλιεργειών. Με βάση την ταξινόμηση αυτή το νερό άρδευσης κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες ποιότητας, έτσι ώστε ο χρήστης να αποφαίνεται για τα πιθανά πλεονεκτήματα, όσο και τα προβλήματα, που αφορούν τη χρήση δεδομένης ποιότητας νερού για άρδευση (Πίνακες 5.4, 5.5). Η γενική αυτή κατηγοριοποίηση αφορά κατά κύριο λόγο τη χρήση συμβατικών πηγών αρδευτικού νερού. Ωστόσο, θεωρείται εξ' ίσου εφαρμόσιμη και στη περίπτωση αξιολόγησης της ποιότητας εκροών αποβλήτων για άρδευση.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι μια σημαντική διαφορά στην προσέγγιση της οδηγίας του WHO από αυτή του FAO για τη χρήση εκροών αποβλήτων για άρδευση συνίσταται στη θέσπιση κριτηρίων για τοξικές παραμέτρους (βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία και τοξικές οργανικές ενώσεις). Οι οδηγίες του FAO αποσκοπούν στην αντιμετώπιση αρνητικών επιδράσεων στην απόδοση των γεωργικών καλλιεργειών παρά στη βάση μιας προσέγγισης και ανάλυσης του κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία όπως αυτή που θεωρείται από τον WHO.

Πίνακας 4.4. Οδηγίες για ερμηνεία της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, ΕΔΕΥΑ, 2004).

Αρδευτικό πρόβλημα	Βαθμός περιορισμού χρήσης			
	Μονάδες	Χωρίς πρόβλημα	Αυξανόμενο πρόβλημα	Σοβαρό πρόβλημα
Αλατότητα (επηρεάζει κυρίως την διαθεσιμότητα του νερού στην καλλιέργεια)				
ECw	dS/m	<0,75		
TDS	mg/l	<450		
Διαπερατότητα (επηρεάζει την ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος και εκτιμάται με συνδυασμένη θεώρηση των ECw SAR [a] ή SAR adj [a])				
SAR=0-3 και ECw	dS/m	>0,7	0,7-0,2	<0,2
SAR=3-6 και ECw	dS/m	>1,2	1,2-0,3	<0,3
SAR=6-12 και ECw	dS/m	>1,9	1,9-0,5	<0,5
SAR=12-40 και Ecw	dS/m	>2,9	2,9-1,3	<1,3
SAR=20-40 και ECw	dS/m	>5,0	5,0-2,9	<2,9
Ειδική τοξικότητα ιόντων (επηρεάζει κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)				
- Νάτριο (Na^{+})[β]				
α. Επιφανειακή άρδευση (SAR)	mg/l	<3,0	3-9	>9
β. Άρδευση με καταιονισμό	mg/l	<70	<70	
- Χλώριο (Cl^{-}) [β]				
α. Επιφανειακή άρδευση (SAR)	mg/l	<140	140-350	>350
β. Άρδευση με καταιονισμό	mg/l	<100	>100	
- Βόριο (B^{+3}) σε ίχνη	mg/l	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Διάφορες άλλες επιδράσεις (αφορούν κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)				
- Άζωτο (συνολικό N)	mg/l	<5,0	5-30	>30
Δυσανθρακικά (HCO_3^{-}), μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό	mg/l	<90	90-500	>500
- pH	Κανονική διακύμανση: 6,5 - 8,4			
- Υπολείμματα χλωρίου, μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό	mg/l	<1,0	1,0-5,0	>5,0

[a] Λόγος προσρόφησης νατρίου. Όταν πρόκειται για αρδεύσεις με προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο προσαρμοσμένος SAR adj

[β] Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις συγκεντρώσεις των ιόντων Na + και Cl -, κυρίως σε περιπτώσεις άρδευσης με καταιονισμό, εξαιτίας της δυνατότητας προσρόφησης τους από το φύλλωμα διάφορων καλλιεργειών.

Πίνακας 4.5. Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις στοιχείων σε ίχνη στο αρδευτικό νερό (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, ΕΔΕΥΑ, 2004).

Στοιχεία	Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις *	Παρατηρήσεις
Al (Αργίλιο)	5,00	Σε όξινα εδάφη (pH <5,5) προξενεί μείωση της παραγωγικότητας, αλλά σε αλκαλικά (pH>7,0) προξενεί κατακρήμνιση του Fe και περιορίζεται η τοξικότητα του.
As (Αρσενικό)	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει και κυμαίνεται από 12mg/l σε αγρωστώδη έως κάτω από 0,05 mg/l στο ρύζι.
Be (Βερύλιο)	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει από 5 mg/l στα λαχανικά έως 0,5 mg/l στα φασόλια (νάνα).
Cd (Κάδμιο)	0,01	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/l, σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό στα φασολάκια, σακχαρότευτλα και γογγυλώδη είδη. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας του δυναμικού αθροιστικής συσσώρευσης του σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς
Co (Κοβάλτιο)	0,05	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/l, σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό σε φυτά τομάτας. Τείνει, όμως, να αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Cr (Χρώμιο)	0,20	Γενικά θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο. Προτείνονται σχετικά συντηρητικές συγκεντρώσεις εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης για τις τοξικές του επιδράσεις σε φυτικά είδη
Cu (Χαλκός)	0,20	Σε συγκεντρώσεις από 0,1 έως 1,0 mg/l σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό σε αρκετά είδη φυτών
F (Φθόριο)	1,00	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Fe (Σίδηρος)	5,00	Σε καλά αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό στα φυτά. Συνεργεί στην μείωση του pH του εδάφους και ανταγωνίζεται το P και το Mo. Επίσης, εναποτίθεται σε διάφορα μέρη των δικτύων διανομής του αρδευτικού νερού και ακόμη κα σε φυτικές επιφάνειες στις περιπτώσεις άρδευσης με καταιονισμό
Li (Λίθιο)	2,50	Σε συγκεντρώσεις μέχρι 5,0 mg/l, είναι ανεκτικό στα περισσότερα είδη φυτών. Είναι κινητικό στο έδαφος. Στα εσπεριδοειδή, όμως, είναι τοξικό σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (>0,07 mg/l). Γενικά, επιδρά όμοια με το B.
Mn (Μαγγάνιο)	0,20	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις από 0,1 έως 1,0 mg/l, αλλά μόνο σε όξινα εδάφη.
Mo (Μόλυβδένιο)	0,01	Σε κανονικές συγκεντρώσεις δεν είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Mo.
Ni (Νικέλιο)	0,20	Τοξικό σε διάφορα είδη φυτών σε συγκεντρώσεις από 0,5 έως 1,0 mg/l. Η τοξικότητα του, όμως ελαττώνεται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη
Pb (Μόλυβδος)	5,00	Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προξενήσει ανάσχεση αύξησης των φυτικών κυττάρων
Se (Σελήνιο)	0,02	Τοξικό στα φυτά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,025mg/l) καθώς επίσης και σε ζώα που τρέφονται με τροφές που παράχθηκαν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις Se. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις θεωρείται απαραίτητο στοιχείο στα ζώα.
Sn (Κασσίτερος)	-	Δεν προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητα του είναι άγνωστη.
Ti (Τιτάνιο)	-	(βλέπε σχόλιο για Sn)
W (Βολθάνιο)	-	(βλέπε σχόλιο για Sn)
V (Βενάδιο)	0,10	Τοξικό σε πολλά φυτά σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις
Zn (Ψευδάργυρος)	2,00	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν. Η τοξικότητα του ελαττώνεται σε εδάφη με pH>6,0 και καλής υφής η οργανικά εδάφη.

* Οι μέγιστες συγκεντρώσεις βασίζονται στην εφαρμογή αρδευτικού νερού 1200mm/yr σε εδάφη υπο ορθολογική γεωργική σιαχείριση

Πίνακας 4.6. Οδηγίες για τα κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων μη-απευθείας χρήσης τους για ύδρευση (Jimenez, 2003).

(α) Εμπλουτισμός με λεκάνες διήθησης

- Πρωτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση, επιπρόσθετα αυτής στο SAT, εναλλαγή ξηρών και υγρών περιόδων, καθώς επίσης και υδραυλικών φορτίσεων και φορτίσεων μάζας για την αποφυγή ρύπανσης του εδάφους, στη περίπτωση που τα αιωρούμενα στερεά είναι κυρίως ανόργανα συστατικά.
- Πρωτοβάθμια προωθημένη επεξεργασία και απολύμανση, επιπρόσθετα εναλλαγή ξηρών και υγρών περιόδων, καθώς επίσης και υδραυλικών φορτίσεων και φορτίσεων μάζας για την αποφυγή ρύπανσης του εδάφους, στη περίπτωση που τα αιωρούμενα στερεά είναι κυρίως ανόργανα συστατικά.
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση με ορθή λειτουργία του συστήματος SAT.
- Πιθανή προωθημένη επεξεργασία εξαρτωμένη από τις τοπικές προϋποθέσεις.
- Επίτευξη κριτηρίων πόσιμου νερού μετά από κατείσδυση.
- Παρακολούθηση κολοβακτηριδίων, pH, υπολειμματικού χλωρίου, κριτήρια πόσιμου νερού ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.
- Απόσταση του σημείου άντλησης (600 m) ή αναλόγως με τις τοπικές συνθήκες.

(β) Εμπλουτισμός με γεωτρήσεις σε υδροφορείς για πόσιμη χρήση.

- Δευτεροβάθμια επεξεργασία, φίλτρανση, απολύμανση, εξελιγμένη επεξεργασία.
- Ποιότητα πόσιμου νερού με μη-ανιχνεύσιμα FC/100 mL, περιορισμένη θολότητα, 1mg/L υπολειμματικό χλώριο, pH μεταξύ 6,5 και 8,5 και άλλα.
- Απόσταση του σημείου άντλησης (600 m) ή αναλόγως με τις τοπικές συνθήκες.

4.3 Εφαρμογές στον Ελλαδικό Χώρο

Γενικά η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της ΕΕ διέπεται από την οδηγία 91/271/EEC (EU, 1991). Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως με αυτή της ΕΕ. Σύμφωνα με αυτήν, έχουν τεθεί χρονικά όρια προσαρμογής και τήρησης των όρων επεξεργασίας. Επίσης, εκτιμάται ότι Ευρωπαϊκές οδηγίες για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών αστικών υγρών αποβλήτων είναι βέβαιο ότι θα θεσπιστούν σύντομα. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στη διαφορετικότητα Νοτίων και Βορίων χωρών σε ό,τι αφορά τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Όπως προαναφέρεται, στην Οδηγία 91/271/EC, άρθρο 12 παρ. 1, αναφέρεται ρητά ότι

«επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα επαναχρησιμοποιούνται οποτεδήποτε θεωρούνται κατάλληλα».

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο των υδατικών πόρων χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Χαρακτηριστικό είναι ότι από το 1900 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί περίπου 300 νόμοι και νομοθετικά, βασιλικά και προεδρικά διατάγματα, γενικής, ειδικής και τοπικής έκτασης που συνθέτουν το νομικό πλαίσιο διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Ο Ν. 1739/87 (Υπουργείο Ανάπτυξης, 1987) αποτελούσε το βασικότερο νομοθέτημα που έχει εκδοθεί στον τομέα διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ο Νόμος αυτός κατήργησε πολλές από τις διατάξεις των προαναφερθέντων νόμων και εκσυγχρονίζεται σε κάποιο βαθμό η ισχύουσα νομοθεσία σε ό,τι αφορά στην ορθολογική διαχείριση του συστήματος "υδατικός πόρος-χρήση του". Αυτός διαμόρφωσε ένα νέο θεσμικό πλαίσιο και τους αναγκαίους μηχανισμούς για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας μας το οποίο όμως δεν έτυχε ουσιαστικής εφαρμογής. Πρόσφατα, ο τελευταίος Ν.3199/03 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2003) επιχειρεί εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας υδατικών πόρων με αυτή της ΕΕ (Οδηγία 60/2000/ΕC). Όμως ούτε ο Νόμος αυτός αναφέρεται σε αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Έτσι, το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων που εξαρτάται από αυτούς στην ΕΕ διέπεται από την οδηγία 60/2000/EC (EU, 2000). Παρόλο που στην οδηγία αυτή δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων πιστεύεται ότι η ευαισθητοποίηση των Ευρωπαίων πολιτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος θα συμβάλει θετικά στην προώθηση ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων για χρήση περιθωριακών νερών. Όμως, οι νομοθετικές διαδικασίες στην ΕΕ είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Έτσι, λαμβανομένου υπόψη ότι οι ελλειμματικές περιοχές σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους εντοπίζεται κυρίως στον Ευρωπαϊκό Νότο και όχι στο σύνολο των Χωρών μελών της ΕΕ, πιθανόν να υπάρξει σχετική ολιγωρία και καθυστέρηση νομοθετικής ρύθμισης.

Με το δεδομένο ότι τα ανακτώμενα και επαναχρησιμοποιούμενα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποτελούν έναν νέο υδατικό πόρο και μία σταθερή πηγή νερού για άρδευση, θα ήταν δυνατό:

(α) Να υπάρξει νομοθετική τροποποίηση του Ν. 3199/03, έτσι, ώστε να προβλεφθεί η διαχείρισή τους με τρόπο που να εναρμονίζεται με τα προαναφερθέντα στη ενότητα

των νομικών θεμάτων που συνδέονται με αυτά (σύστημα αδειοδότησης, περιορισμοί κατά χρήση, αποζημιώσεις, μηχανισμοί τιμολόγησης, έκδοση κανονισμών λειτουργίας και διαχείρισης για κάθε έργο ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και άλλα).

(β) Να εκδοθεί υγειονομική διάταξη με βάση τη διεθνή εμπειρία και τεχνογνωσία, που να ορίζει τις προδιαγραφές καταλληλότητας εκροών υγρών αποβλήτων.

(γ) Να ληφθεί υπόψη ότι μια νέα Οδηγία για τα βιοστερεά που παράγονται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων προωθείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η ενσωμάτωση της παραπάνω Οδηγίας στο Ελληνικό δίκαιο θα μπορούσε να συμπεριλάβει και την επαναχρησιμοποίηση των εκροών, αφού και στις δύο περιπτώσεις πρόκειται για αξιοποίηση προϊόντων των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κριτήρια διάθεσης για δευτεροβάθμια εκροή βάσει απόφασης των υπουργείων Εσωτερικών και Δημόσιας Υγείας του 1965 (Υπουργεία Εσωτερικών και Δημόσιας Υγείας, 1965), στα οποία δεν γίνεται αναφορά σε θέματα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης. Επίσης, όπως προαναφέρεται δεν υπάρχουν κανονισμοί για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών σε επίπεδο ΕΕ. Έτσι, η ανάγκη για τη ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών για την ανακύκλωση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο είναι εμφανής (Angelakis et al., 1999).

Στην Ελλάδα, όπως, και σε άλλες χώρες του κόσμου, έχει υιοθετηθεί η πρακτική της ανακύκλωσης εκροών υγρών αποβλήτων προοδευτικά χωρίς την απαρχή θεσμοθέτηση σχετικών κριτηρίων (Tsagarakis el al., 2001). Όμως, σήμερα, όπως προαναφέρεται, πολλές χώρες έχουν θεσπίσει εθνικές οδηγίες ή κανονισμούς προσαρμοσμένες στις τοπικές κοινωνικοοικονομικές και φυσικές συνθήκες ή έχουν εναρμονισθεί με αυτές διεθνών οργανισμών (WHO, US EPA, FAO και άλλων).

Στη χώρα μας οι βασικές χρήσεις που ενδιαφέρουν είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (πρανών δρόμων, πάρκων κ.ά.) και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων για την προστασία τους κυρίως από την υφαλμύρωση. Για κάθε κατηγορία όμως, θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ποσοτικοποιοτικά κριτήρια καθώς, επίσης και κάθε ιδιαίτερη θεώρηση σε περιπτώσεις που μια παραδοσιακή υδατική πηγή, αντικαθίσταται με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Όπως είναι φυσικό, ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται σε χρήσεις που

συνεπάγονται αυξημένη επαφή με τον άνθρωπο. Έτσι, τα αναγκαία κριτήρια ποιότητας θα πρέπει να διαφοροποιούνται όχι μόνο μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών επαναχρησιμοποίησης, αλλά ακόμη και στην ίδια κατηγορία ανάλογα στις επιμέρους χρήσεις (όπως είναι η άρδευση εδώδιμων και βιομηχανικών φυτικών ειδών).

Προσφάτως, ομάδα ειδικών στην ανακύκλωση του νερού πρότεινε διεθνείς οδηγίες για την ανακύκλωση του νερού βασιζόμενες στις προκαταρκτικές οδηγίες της Αυστραλίας (Anderson et al., 2001). Οι οδηγίες αυτές είναι βασισμένες στον αριθμό των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων και στο επίπεδο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στην Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί προκαταρκτική μελέτη για ανάπτυξη και εφαρμογή κριτηρίων ποιότητας (Αγγελάκης et al., 2000). Αυτά τα κριτήρια συνοψίζονται στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7. Προτεινόμενα ελάχιστα μικροβιολογικά και φυσικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών στην Ελλάδα (Tsagarakis el al., 2004, ΕΔΕΥΑ, 2004).

No	Κριτήρια ποιότητας νερού	Προτεινόμενες χρήσεις
1η	I.N. [a] ≤0,1 eggs/l	(α) Αστικές περιοχές με μεγάλη πρόσβαση του κοινού
	FC ≤ 10 efu/100ml	(β) Σε καζανάκια τουαλέτας και κλιματισμό
	TSS ≤ 10 mg/l	(γ) Πλύση αυτοκινήτων
2η	I.N. ≤ 1 eggs/l	(α) Τεχνητές λίμνες, υδατικά σώματα και ρυάκια με υψηλή πρόσβαση του κοινού [b]
	FC ≤ 100 efu/100ml	(β) Σιντριβάνια, τεχνητές πηγές και άλλοι χώροι αναψυχής
	TSS ≤ 20 mg/l	(γ) Καθαρισμός δρόμων
3η	I.N. ≤1 eggs/l	(α) Άρδευση σανοδοτικών φυτών [c], φυτών που προορίζονται για κονσερβοποίηση και λαχανικών που καταναλώνονται μαγειρεμένα, φυτώρια, κλπ
	FC ≤ 1000 efu/100ml	
	TSS ≤ 35 mg/l	(β) Υδατοκαλλιέργειες (Aquaculture)
4η	I.N. ≤1 eggs/l	(α) Άρδευση δασικών εκτάσεων, βιομηχανικές περιοχές και ζώνες πρασίνου, όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού
	FC ≤ 10000 efu/100ml	(β) Βιομηχανική χρήση (εκτός βιομηχανίες τροφίμων) [d]
	TSS ≤ 35 mg/l	(γ) Τεχνητές λίμνες, σώματα νερού και ρέματα όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού
5η	I.N. ≤1 eggs/l	Εμπλουτισμός υδροφορέων απευθείας έκχυση και/ή επιφανειακή εφαρμογή [b,e,f]
	FC ≤ 100 efu/100ml	
	TSS ≤ 10 mg/l	

[a] I.N.: intestinal nematodes που περιλαμβάνουν τις παρακάτω οικογένειες: Strongyloides, Trichostrogylus, Toxacara, Enterobius, και Capillaria. Δεν είναι εφαρμόσιμα όρια για τις περισσότερες χρήσεις

[b] Θα πρέπει να απαιτηθούν όρια για τα NO3- , όπως TN<15 και <50 mg/l για εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα, απευθείας έκχυση και επιφανειακή εφαρμογή, αντίστοιχα και NO3--<100 mg/l για λίμνες και ρέματα.

[c] Θα πρέπει να απαιτηθούν όρια για Taenia sp. (<1 eggs /l)

[d] Θα πρέπει να απαιτηθούν όρια για βιομηχανική ψύξη αναφορικά με Legionella phennophila.

[e] Απαιτείται ελάχιστο βάθος του υδροφορέα 5m

[f] Στην περίπτωση της απευθείας έκχυσης σε υδροφορέα που χρησιμοποιείται για πόσιμη χρήση θα πρέπει να θεωρηθούν τα κριτήρια για πόσιμο νερό.

Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε όμοιες αρχές με αυτές άλλων χωρών και διεθνών οργανισμών (Anderson et al., 2001, Gerba and Rose, 2002). Σε οποιαδήποτε εφαρμογή των προτεινόμενων κριτηρίων θα πρέπει να θεωρούνται τα παρακάτω σχόλια:

(α) Να εξετάζονται κατά ελάχιστο 4 δείγματα.

(β) Να πληρείται η κατανομή Student t.

(γ) Οι τιμές για τα κριτήρια αυτά θα πρέπει να πληρούνται για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα, βάσει μέσων τιμών τους.

(δ) Απαιτείται έλεγχος οσμών στις περιπτώσεις εφαρμογής στην επιφάνεια του εδάφους και σε περιοχές που γειτνιάζουν με αστικές περιοχές.

(ε) Δεν απαιτούνται κριτήρια για άρδευση στην περίπτωση της υποεπιφανειακής εφαρμογής. (ζ) Για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση χλωρίου για απολύμανση των εκροών. Επιπλέον θα πρέπει να θεωρηθεί: (i) ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, (ii) αποθήκευση της εκροής με στόχο την επιπλέον επεξεργασία και την αύξηση της διαθεσιμότητας και (iii) παρακολούθηση της ποιότητας με προγραμματισμένες δειγματοληψίες σε συγκεκριμένες θέσεις, συχνότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

(στ) Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία ανακυκλωμένα υγρά απόβλητα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για άρδευση φυτών που δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο.

Δήμος Θέρμης – Νομός Θεσσαλονίκης

Το έργο LIFE99/ENV/GR/000590 με τίτλο: "Πιλοτικός εμπλουτισμός υδροφορέων με απευθείας υπόγεια διάθεση και άρδευση, για την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης στα πλαίσια ολοκληρωμένης αειφορικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων" εντάσσεται στην προσπάθεια ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων που εφαρμόζεται στη λεκάνη του Ανθεμούντα - Ανατολικής Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα το έργο αφορά την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων με σκοπό τον έλεγχο του μετώπου της υφαλμύρωσης και τη βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής.

Αντικείμενο του έργου είναι ο ολοκληρωμένος και τεκμηριωμένος καθορισμός των ποιοτικών προδιαγραφών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων, προσαρμοσμένων στις ελληνικές συνθήκες, και η αξιολόγησή τους σε πιλοτική μονάδα επαναχρησιμοποίησης, με επιλεχθείσες μεθόδους εμπλουτισμού την άρδευση, την επιφανειακή και την υπεδάφεια διάθεση. Το πιλοτικό έργο υλοποιείται στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Θέρμης, όπου κατασκευάσθηκε και λειτουργεί μονάδα προωθημένης (πλήρους) επεξεργασίας των δευτεροβάθμιων εκροών της, δυναμικότητας 800-1000 m^3/ημέρα. Η μονάδα προωθημένης επεξεργασίας περιλαμβάνει τα στάδια της χημικής κροκίδωσης, της

διήθησης σε αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο άμμου, της απορρόφησης σε φίλτρο ενεργού άνθρακα και τέλος της απολύμανσης με όζον. Τα πλήρως επεξεργασμένα αστικά λύματα χρησιμοποιούνται για τον τεχνητό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων μέσω έξι κλινών διάθεσης και ενός φρέατος, ενώ μέρος αυτών οδηγείται προς άρδευση. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει επίσης πλήρεις εργαστηριακές αναλύσεις και συνεχείς προσδιορισμούς των ρύπων και του μικροβιακού φορτίου σε όλα τα στάδια της πιλοτικής εφαρμογής και βελτιστοποίηση της λειτουργίας της.

Στις δράσεις του έργου περιλαμβάνονται επίσης η διερεύνηση σκοπιμότητας επαναχρησιμοποίησης λυμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε όλη την Ελλάδα καθώς και η μελέτη σκοπιμότητας εφαρμογής της αναπτυχθείσας τεχνολογίας σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή του πιλοτικού έργου.

Στο πλαίσιο του έργου LIFE οργανώνονται δράσεις δημοσιοποίησης που αφορούν στην εξοικονόμηση νερού για αστικές, βιομηχανικές και αγροτικές χρήσεις και στη διάδοση τεχνικών και εφαρμογών ανακύκλωσης νερού και επεξεργασμένων λυμάτων, κυρίως στον γεωργικό και βιομηχανικό τομέα.

Δράση 1:

- Διαμόρφωση κριτηρίων ποιότητας λυμάτων για τους εναλλακτικούς τρόπους επαναχρησιμοποίησης στον Ελληνικό χώρο.
- Παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Θέρμης.
- Καθορισμός της σύστασης των λυμάτων στην έξοδο της μονάδας. Σχεδιασμός του συστήματος πλήρους επεξεργασίας των λυμάτων.

Πιο αναλυτικά η δράση περιλαμβάνει:

Ανάλυση εφαρμοζόμενων μεθόδων επαναχρησιμοποίησης και διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τους στις Ελληνικές συνθήκες. Κριτική παρουσίαση των υφιστάμενων διεθνώς νομοθεσιών και εφαρμοζόμενων πρακτικών με στόχο την προσαρμογή τους στις ελληνικές συνθήκες. Καθορισμός των εκάστοτε απαιτούμενων ποιοτικών χαρακτηριστικών λυμάτων τόσο από χημικής όσο και από μικροβιολογικής και αγρονομικής άποψης.

Ως αποτέλεσμα των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κατά τη διάρκεια του προγράμματος και της αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης στον

ελληνικό χώρο, που μεταξύ άλλων αναφέρονται στις προσφορότερες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών τους, γίνονται προτάσεις σχετικά με όρια και οδηγίες που μελλοντικά μπορεί να αναπτυχθούν. Στόχος είναι η παρουσίαση ορίων κατάλληλων για τον Ελληνικό χώρο με βάση το σκεπτικό που αναπτύχθηκε, και τα οποία μπορεί να αποτελέσουν τη βάση για περαιτέρω συζήτηση μεταξύ των αρμόδιων φορέων.

Οι προτάσεις παρουσιάζονται αναφορικά με τους διαφορετικούς τύπους επαναχρησιμοποίησης, οπότε σε κάθε περίπτωση καθορίζονται συγκεκριμένα όρια και προτείνονται, όπου είναι δυνατόν, κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας.

1. Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Απαιτείται αρχικά, διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης άρδευσης βάσει των αρδευόμενων καλλιεργειών και του τρόπου εφαρμογής του νερού. Η περιορισμένη άρδευση αφορά σε καλλιέργειες όπως δάση, εκτάσεις όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Ως προς τους τρόπους εφαρμογής του νερού, η μέθοδος του καταιονισμού δεν επιτρέπεται. Η απεριόριστη άρδευση μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια, ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.

Η ελάχιστη επεξεργασία λυμάτων που απαιτείται για την περιορισμένη άρδευση είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία για την παραγωγή εκροής με συγκεντρώσεις BOD5 και SS χαμηλότερες από 25 και 35 mg/l αντίστοιχα, για το 95% των δειγμάτων και συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων χαμηλότερες από 200 FC/100 ml, ως διάμεση τιμή και 800 FC/100 ml για το 95% των δειγμάτων.

Η απαίτηση ως προς την απομάκρυνση αζώτου αφορά σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 30 mg/l, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με μερική απονιτροποίηση. Σε περιπτώσεις μεγάλων χρόνων αποθήκευσης των λυμάτων σε επιφανειακούς ταμιευτήρες, απαιτείται προχωρημένη επεξεργασία για την απομάκρυνση θρεπτικών

ώστε η τελικά παραγόμενη εκροή να περιέχει συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου μικρότερες από 15 mg/l και 4 mg/l αντίστοιχα. Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν τα συστήματα ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα όπως φυσικά ή επί τόπου συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD/SS = 25/35) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης.

Η ελάχιστη επεξεργασία που απαιτείται για απεριόριστη άρδευση είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, που ακολουθείται από τριτοβάθμια (συνήθως κροκίδωση, συσσωμάτωση, καθίζηση, διύλιση) και απολύμανση, για την παραγωγή εκροής με συγκεντρώσεις BOD5 και SS μικρότερες από 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων και τιμές θολότητας μικρότερες από 2 NTU ως διάμεση τιμή. Η συγκέντρωση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων θα πρέπει να διατηρείται μικρότερη από 5 FC/100 ml για το 80% των δειγμάτων και μικρότερη από 15 FC/100 ml για το 95% των δειγμάτων χωρίς να υπερβαίνει την τιμή 100 FC/100 ml για κανένα δείγμα.

Οι απαιτήσεις ως προς την απομάκρυνση αζώτου είναι κοινές με τις αντίστοιχες στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης, όπως και οι μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση των SS είναι χαμηλότερη από 20 mg/l για το 80% των δειγμάτων, η τριτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να γίνει είτε με απευθείας διύλιση (κροκίδωση, συσσωμάτωση και διύλιση) ή με διύλιση επαφής (κροκίδωση, και διύλιση), ακολουθούμενη από απολύμανση. Άλλες μέθοδοι τριτοβάθμιας επεξεργασίας μπορεί να εφαρμοσθούν κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης και με δεδομένο την ποιότητα επεξεργασίας, η οποία πρέπει να είναι ισοδύναμη με το τυπικό σύστημα τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

Τα όρια για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8 Επιπρόσθετα των ορίων του Πίνακα 4.8, θα πρέπει να τηρούνται και τα όρια μετάλλων του Πίνακα 4.9. Η καταλληλότητα του ανακτημένου νερού για σκοπούς άρδευσης θα πρέπει να επαληθευθεί βάσει των γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.8: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στην Ελλάδα

	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια /FC 100 ml	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
Περιορισμένη άρδευση *Δάση και περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους* *Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται*	200 *διάμεση τιμή* 800 *για το 95% των δειγμάτων*	25 *για το 95% των δειγμάτων*	35 *για το 95% των δειγμάτων*	-	— Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία[α] — Απολύμανση[β]
Απεριόριστη άρδευση *Όλες οι καλλιέργειες όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού*	5 *για το 80% των δειγμάτων* 15 *για το 95% των δειγμάτων* 100 *μέγιστη τιμή*	10 *για το 80% των δειγμάτων*	10 *για το 80% των δειγμάτων*	2 *διάμεση τιμή*	— Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία[α] — Τριτοβάθμια επεξεργασία[β] — Απολύμανση[γ]

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα όπως φυσικά και επί τόπου συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD/SS=25/35) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 30 mg/l, με εξαίρεση στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των λυμάτων σε ταμιευτήρες όπου οι συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου πρέπει να διατηρούνται σε 15 mg/l και 4 mg/l αντίστοιχα.

β) Χλωρίωση, οζόνωση ή άλλου είδους απολυμαντικές ενώσεις, υπεριώδεις ακτινοβολία (UV), μέθοδοι μεμβρανών

γ) Το τυπικό σύστημα περιλαμβάνει: κροκίδωση, συσσωμάτωση, καθίζηση, διύλιση. Απευθείας διύλιση ή διύλιση επαφής μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου η δευτεροβάθμια εκροή περιέχει λιγότερα από 20 mg/l SS για το 80% των δειγμάτων.

Πίνακας 4.9: Προτεινόμενα μέγιστα όρια βαρέων μετάλλων σε ανακτημένα λύματα

Βαρέα Μέταλλα	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/L)
Al (αργίλιο)	5000
As (αρσενικό)	100
Be (βηρύλλιο)	100
Cd (κάδμιο)	10
Co (κοβάλτιο)	50
Cr (χρώμιο)	100
Cu (χαλκός)	200
F (φθόριο)	1000
Fe (σίδηρος)	5000
Li (λίθιο)	2500
Mn (μαγγάνιο)	200
Mo (μολυβδαίνιο)	10
Ni (νικέλιο)	200
Pb (μόλυβδος)	5000
Se (σελήνιο)	20
V (βανάδιο)	100
Zn (ψευδάργυρος)	2000
Hg (υδράργυρος)	5

Πίνακας 4.10.: Οδηγίες για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση

Πιθανό πρόβλημα κατά την άρδευση	Μονάδες	Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή		
		Μηδαμινός	Μικρός-Μέτριος	Σηπτικός
Αλατότητα				
EC_w[1]	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
or				
TDS (ολικά διαλυμένα)	mg/l	<450	450-2000	>2000
Διαπερατότητα				
SAR[2] = 0 - 3 και EC_w		>0,7	0,7-0,2	<0,2
3-6		>1,2	1,2-0,3	<0,3
6-12		>1,9	1,9-0,5	<0,5
12-20		>2,9	2,9-1,3	<1,3
20-40		>5,0	5,0-2,9	<2,9
Ειδική τοξικότητα ιόντων				
Νάτριο (Na)				
Επιφανειακή άρδευση	SAR	<3	3-9	>9
Καταιονισμός	mg/l	<70	>70	
Χλωριόντα (Cl)				
Επιφανειακή άρδευση	mg/l	<140	140-350	>350
Καταιονισμός	mg/l	<100	>100	
Βόριο (B)	mg/l	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Άλλες επιπτώσεις				
Άζωτο (NO_3-N)[3]	mg/l	<5	5-30	>30
HCO_3	mg/l	<90	90-500	>500
pH	Τυπικό διάγραμμα 6,5-8,0			
Υπολειμματικό Cl (καταιονισμός)		<1	1-5	>5

[1] EC_w ηλεκτρική αγωγιμότητα σε deciSiemens ανά μέτρο στους 25°C

[2] SAR βαθμός απορρόφησης νατρίου

[3] NO_3-N νιτρικό άζωτο σε όρους στοιχείων αζώτου

2. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για αστική χρήση πλήν πόσης και χρήσεις αναψυχής

Οι τρόποι αυτοί επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνουν το πότισμα μεγάλων εκτάσεων (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκόλφ, δημόσια πάρκα) και εγκαταστάσεων αναψυχής, την κατάσβεση πυρκαϊών, νερό για τη συμπύκνωση εδαφών, νερό για τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, νερό για διακοσμητικά σιντριβάνια και νερό για καθαρισμό τουαλετών. Ως προς την απαιτούμενη επεξεργασία η περιορισμένη αστική χρήση απαιτεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, ενώ η απεριόριστη προϋποθέτει επιπρόσθετα τριτοβάθμια επεξεργασία.

Ο διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης αστικής χρήσης είναι μια αξιόπιστη και ασφαλής διαδικασία υπό την προϋπόθεση ότι τα θεσμικά, οργανωτικά κι διαχειριστικά μέσα μπορούν να εξασφαλίσουν τη σωστή εφαρμογή της. Η εκπλήρωση αυτής της προϋπόθεσης είναι ωστόσο αμφίβολη στην περίπτωση της Ελλάδας. Προτείνονται λοιπόν κοινά όρια τόσο για την περιορισμένη όσο και για την απεριόριστη αστική χρήση και τις χρήσεις αναψυχής, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9. Και στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις του Πίνακα 5.11.

Πίνακας 4.11.: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για αστική χρήση εκτός πόσης και χρήσεις αναψυχής στην Ελλάδα

	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια /FC 100 ml	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκόλφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια, νερό για καθαρισμό τουαλέτας.	5 *για το 80% των δειγμάτων* 15 *για το 95% των δειγμάτων* 100 *μέγιστη τιμή*	10 *για το 80% των δειγμάτων*	10 *για το 80% των δειγμάτων*	2 *διάμεση τιμή*	— Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία[α] — Τριτοβάθμια επεξεργασία[β] — Απολύμανση[γ]

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα όπως φυσικά και επί τόπου συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD/SS=25/35) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 30 mg/l, με εξαίρεση στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των λυμάτων σε ταμιευτήρες όπου οι συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου πρέπει να διατηρούνται σε 15 mg/l και 4 mg/l αντίστοιχα.

β) Το τυπικό σύστημα περιλαμβάνει: κροκίδωση, συσσωμάτωση, καθίζηση, διύλιση. Απευθείας διύλιση ή διύλιση επαφής μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου η δευτεροβάθμια εκροή περιέχει λιγότερα από 20 mg/l SS για το 80% των δειγμάτων.

γ) Χλωρίωση, οζόνωση ή άλλου είδους απολυμαντικές ενώσεις, υπεριώδεις ακτινοβολία (UV), μέθοδοι μεμβρανών

3. Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία

Η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη βιομηχανία περιλαμβάνει νερά ψύξης, λεβήτων και χρήσης κατά τις διάφορες διεργασίες. Σε περιπτώσεις νερών ψύξης μιας χρήσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, τα οποία μετά από απολύμανση περιέχουν συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων μικρότερες από 200 FC /100 ml (διάμεση τιμή). Για όλες τις άλλες περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακυκλώνεται στα αντίστοιχα συστήματα ψύξης, η ελάχιστη απαίτηση επεξεργασίας είναι η τριτοβάθμια. Πρόσθετη επεξεργασία μπορεί να απαιτηθεί σε ειδικές περιπτώσεις. Ο Πίνακας 4.12. συνοψίζει τα προτεινόμενα όρια και μεθόδους επεξεργασίας κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη βιομηχανία.

Πίνακας 4.12.: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στη βιομηχανία, στην Ελλάδα

	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια /FC 100 ml	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
Νερό ψύξης μιας χρήσης	200 *διάμεση τιμή* 800 *για το 95% των δειγμάτων*	25 *για το 95% των δειγμάτων*	35 *για το 95% των δειγμάτων*	-	— Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία [β] — απολύμανση [γ]
Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, λέβητας και νερό χρήσης	5 *για το 80% των δειγμάτων* 15 *για το 95% των δειγμάτων* 100 *μέγιστη τιμή*	10 *για το 80% των δειγμάτων*	10 *για το 80% των δειγμάτων*	2 *διάμεση τιμή*	— Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία[α] — Τριτοβάθμια επεξεργασία[δ] — Απολύμανση[γ]

α) Πρόσθετη επεξεργασία μπορεί να απαιτείται ανάλογα με τις ειδικές κατά περίπτωση απαιτήσεις.

β) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα όπως φυσικά και επί τόπου συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD/SS=25/35) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 30 mg/l, με εξαίρεση στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των λυμάτων σε ταμιευτήρες όπου οι συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου πρέπει να διατηρούνται σε 15 mg/l και 4 mg/l αντίστοιχα.

γ) Χλωρίωση, οζόνωση ή άλλου είδους απολυμαντικές ενώσεις, υπεριώδεις ακτινοβολία (UV), μέθοδοι μεμβρανών

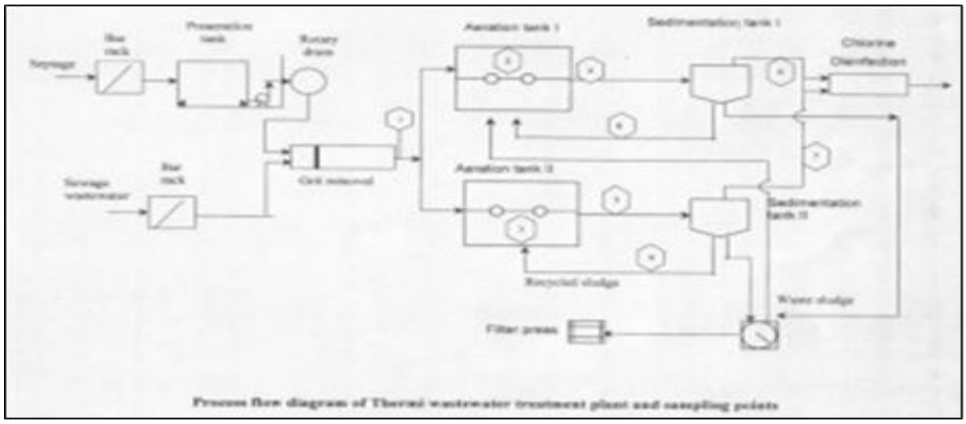
δ) Το τυπικό σύστημα περιλαμβάνει: κροκίδωση, συσσωμάτωση, καθίζηση, διύλιση. Απευθείας διύλιση ή διύλιση επαφής μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου η δευτεροβάθμια εκροή περιέχει λιγότερα από 20 mg/l SS για το 80% των δειγμάτων

4. Άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση

Προτείνεται η απαγόρευση της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άμεση ή έμμεση πόση.

5. Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα για χρήση εκτός πόσης

Ο εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με επεξεργασμένα λύματα μπορεί να επιτραπεί στις περιπτώσεις όπου αποδεδειγμένα ο υδροφορέας δεν χρησιμοποιείται για σκοπούς ύδρευσης. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων μετά τον εμπλουτισμό του υδροφορέα με λύματα θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον ισοδύναμη με την ποιότητα που απαιτείται για απεριόριστη αρδευτική ή αστική χρήση. Ωστόσο, με δεδομένη την αβεβαιότητα ως προς μελλοντικές πιθανές χρήσεις του υδροφορέα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα. Κατά συνέπεια απαιτείται επαρκής βαθμός επεξεργασίας για την απομάκρυνση οργανικών που θα περιλαμβάνει, εκτός από δευτεροβάθμια βιολογική και τριτοβάθμια επεξεργασία, προχωρημένες μεθόδους κατάλληλες για την απομάκρυνση διαλυτού οργανικού υλικού (π.χ. ενεργός άνθρακας ή μεμβράνες). Σε περιπτώσεις εμπλουτισμού μέσω διήθησης από την επιφάνεια του εδάφους με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος αναμένεται απομάκρυνση των οργανικών που θα κατακρατηθούν στο έδαφος, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η προχωρημένη επεξεργασία. Θα πρέπει να τονιστεί ωστόσο ότι ανεξάρτητα από τον ελάχιστο απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας, είναι απαραίτητη η εκτέλεση ειδικών υδρογεωλογικών μελετών, που θα αναφέρονται στην εκάστοτε περιοχή ώστε να είναι δυνατή η με ασφάλεια αποφυγή διείσδυσης λυμάτων σε υπόγειους υδροφορείς που χρησιμοποιούνται για απόληψη πόσιμου νερού.



Εικόνα 4.8:.Διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. Θέρμης.

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων ενεργοποιημένης ιλύος (Ε.Ε.Λ.) Θέρμης επεξεργάζεται βοθρολύματα και αστικά λύματα από το 1994 και έχει δυναμικότητα 12.000 ισοδύναμους κατοίκους. Η μονάδα περιλαμβάνει δεξαμενή υποδοχής βοθρολυμάτων, δύο περιστρεφόμενα κόσκινα, αμμοσυλέκτη, δύο δεξαμενές αερισμού 1200 m3 και δύο δεξαμενές καθίζησης και τέλος χλωρίωση. Η μονάδα απομάκρυνσης της λάσπης περιλαμβάνει τον παχυντή, την ταινιοφιλτρόπρεσσα και μία κλίνη ξήρανσης. Η παρακολούθηση της λειτουργίας της ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 1999 και για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της έχουν γίνει οι παρακάτω ενέργειες:

- Συνεχής παρακαλούθηση της ποιότητας των εισερχόμενων και εξερχομένων λυμάτων
- Προγραμματισμός των ρυθμών τροφοδοσίας της μονάδας με βοθρολύματα και αστικά λύματα και του ρυθμού ανακυκλοφορίας και απομάκρυνσης λάσπης, με σκοπό τη διατήρηση σταθερών συνθηκών βιολογικής επεξεργασίας.
- Εγκατάσταση ενός περιστρεφόμενου κόσκινου για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών από το ρεύμα εισόδου των βοθρολυμάτων.
- Εγκατάσταση συσκευής συνεχούς μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου στις δεξαμενές αερισμού.
- Κατασκευή κλίνης ξήρανσης.
- Καθαρισμός των δεξαμενών βοθρολυμάτων, αερισμού και καθίζησης καθώς και των περιμετρικών καναλιών από χρονιες αποθέσεις φερτών υλικών.

Τα χαρακτηριστικά της εκροής της μονάδας σήμερα είναι: BOD_5<40 mg/L, COD<100 mg/L, and T.S.S.<45 mg/L. Τέλος στο πλάισιο αυτής της δράσης εκπονήθηκε οριστική μελέτη με πλήρη διαστασιολόγηση του απαραίτητου εξοπλισμού της μονάδας προωθημένης επεξεργασίας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αντίστοιχες σχεδιαστικές παράμετροι.

Πίνακας 4.13.: Σχεδιαστικές παράμετροι εγκατάστασης προωθημένης επεξεργασίας

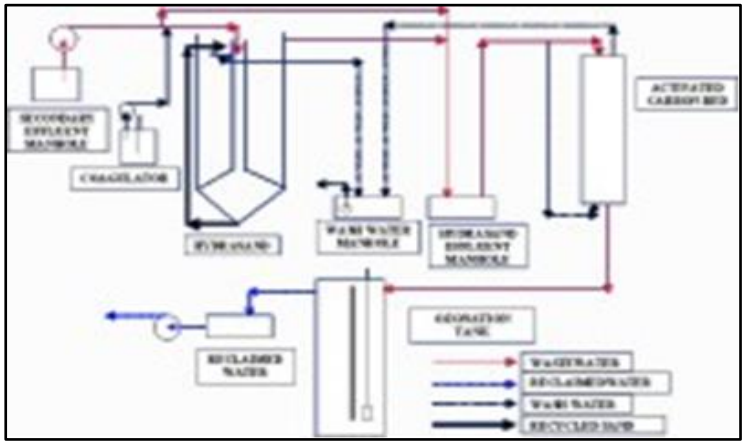
ΜΟΝΑΔΑ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ
Κροκίδωσης - φίλτρανσης	Υδραυλικό φορτίο: $10 m^3/m^2$ h Διάμετρος: 1,5m Ύψος: 2,6m
Στήλη προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα	Υδραυλικό φορτίο: $10 m^3/m^2$ h EBCT: 10min Διάμετρος: 2,1m Ύψος: 5m
Απολύμανση με όζον	Δόση όζοντος: 15mg/l Χρόνος επαφής: 15min Όγκος δεξαμενής: $9 m^3$

Δράση 2:

- Κατασκευή πιλοτικού συστήματος για την επιπλέον επεξεργασία λυμάτων σε συνέχεια της Ε.Ε.Λ. Θέρμης.
- Εκκίνηση λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας, παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής και βελτιστοποίηση της λειτουργίας της.

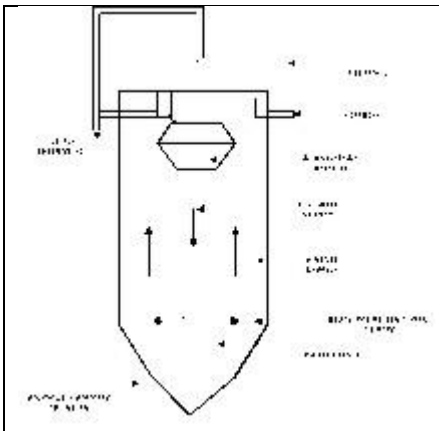
Η πιλοτική μονάδα προωθημένης επεξεργασίας, δυναμικότητας 800 m3/d δευτεροβάθμιων εκροών κατασκευάσθηκε στην Ε.Ε.Λ. Θέρμης. Η μονάδα αποτελείται από τα παρακάτω στάδια: κροκίδωση, διήθηση μέσω φίλτρου άμμου, απορρόφηση σε στήλη ενεργού άνθρακα και απολύμανση με όζον. Το διάγραμμα ροής φαίνεται στο σχήμα 2. Η τροφοδοσία του φίλτρου άμμου γίνεται από ένα φρεάτιο συγκέντρωσης των δευτεροβάθμιων εκροών της ΕΕΛ μέσω επιφανειακής αντλίας με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: παροχή 45 m3/h, πίεση 2 bar, ισχύ 25 HP. Τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα εισέρχονται στη βάση του αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου άμμου μετά από προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού. Η μονάδα κροκίδωσης περιλαμβάνει πλαστική δεξαμενή 500 L με αναδευτήρα (1 HP, 200 rpm) για την ανάδευση και αποθήκευση του υλικού κροκκίδωσης και μία διαφραγματική αντλία (0,25 kW, PA 38 C) για την προσθήκη της κατάλληλης ποσότητας κροκκιδωτικού στα εισερχόμενα λύματα. Η ανάμειξη του κροκκιδωτικού με τα λύματα λαμβάνει χώρα μέσα στο σωλήνα, μήκους 4 μέτρων, πριν την είσοδο στο φίλτρο άμμου.

Εικόνα 4.9.:Εγκατάσταση επεξεργασμένων λυμάτων.



Εικόνα 4.10: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (www.anatoliki.gr)

Στο εικόνα 4.11. φαίνονται οι λεπτομέρειες κατασκευής του αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου, και τα κύρια χαρακτηριστικά του δίνονται στον Πίνακα 4.14.



Εικόνα 4.11. Αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο

Πίνακας 4.14. Τεχνικά χαρακτηριστικά αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου

Παράμετροι	Τιμές
Ύψος στήλης άμμου	2000 mm
Ύψος φίλτρου	6335 mm
Συνολικό ύψος	7865 mm
Διάμετρος	2543 mm
Επιφάνεια διήθησης	5,10 m^2
Πτώση Πίεσης	300-500 mm
Μέγεθος κόκκων άμμου	0,9 mm
Ροή Αέρα	13 Nm^3/h
Reject flow	2-12 %

Μετά την φίλτρανση τα απαλλαγμένα από στερεά λύματα συγκεντρώνονται σε φρεάτιο. Τα επεξεργασμένα λύματα του φίλτρου άμμου διοχετεύονται στη συνέχεια από το φρεάτιο μέσω επιφανειακής αντλίας στην στήλη ενεργού άνθρακα. Τα χαρακτηριστικά της αντλίας είναι:παροχή 45 m3/h, πίεση 6 bar, ισχύ 25 HP. Η στήλη απορρόφησης ενεργού άνθρακα έχει τις ακόλουθες διαστάσεις: διάμετρος 2100 mm, ύψος στήλης ενεργού άνθρακα 4900 mm. Τελικά, τα επεξεργασμένα λύματα από τον πυθμένα του φίλτρου ενεργού άνθρακα τροφοδοτούνται στην μονάδα απολύμανσης όζοντος. Η αντίστροφη πλύση του ενεργού άνθρακα γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα ανάλογα με την αύξηση της πτώσης πίεσης. Το νερό έκπλυσης διοχετεύεται στη βάση της στήλης ενεργού άνθρακα με τη βοήθεια αντλίας και ενός συστήματος τριών βανών. Τα στραγγίσματα από την κορυφή της στήλης συλλέγονται στο φρεάτιο στραγγισμάτων και από εκεί με τη βοήθεια υποβρύχιας αντλίας στις δεξαμενές αερισμού της ΕΕΛ.

Τέλος η μονάδα απολύμανσης αποτελείται από τα παρακάτω:

- Δύο γεννήτριες παραγωγής όζοντος με δυναμικότητα παραγωγής όζοντος 450 g/h ανά γεννήτρια από υγρό οξυγόνο.
- Μία τσιμεντένια δεξαμενή επαφής 15 m^3, που είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα τα επεξεργασμένα λύματα έρχονται σε επαφή με το όζον ενώ στο δεύτερο τμήμα λαμβάνει χώρα οξείδωση των εναπομεινάντων ρυπογόνων ουσιών και μικροοργανισμών.
- Δύο κεραμικοί διαχυτές φυσαλίδων για τη διανομή του όζοντος, τοποθετημένους στον πυθμένα του πρώτου τμήματος της δεξαμενής επαφής.
- Ένα θερμικό καταστροφέα για την περίσσεια όζοντος στην έξοδο της δεξαμενής επαφής.
- Μία δεξαμενή αποθήκευσης του υγρού οξυγόνου

Τα ανακτημένα λύματα συλλέγονται σε ένα φρεάτιο και από εκεί με τη βοήθεια επιφανειακής αντλίας οδηγούνται στην δεξαμενή αποθήκευσης 800 m3 για να χρησιμοποιηθούν είτε για εμπλουτισμό είτε για άρδευση. Στο φρεάτιο υπάρχει και σωλήνας υπερχείλισης για περίπτωση βλάβης της αντλίας εξόδου της μονάδας, μέσω του οποίου τα επεξεργασμένα λύματα διοχετεύονται σε παρακείμενο χείμαρρο.

Η μονάδα προωθημένης επεξεργασίας έχει εξοπλισθεί με όλες τις απαραίτητες συσκευές (βάνες, ροόμετρο και φλοτέρ, alarms) για την συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο της πίεσης και της ροής του λύματος σε κάθε συσκευή της μονάδας. Επιπλέον αυτές οι συσκευές εξασφαλίζουν την σωστή και ασφαλή λειτουργία όλης της μονάδας

Πίνακας 4.15: Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας στη φάση της εκκίνησης

Σημείο	COD (mg/l)	Απορρόφηση στα 254nm	Θολερότητα (NTU)	Ολικά αιωρούμενα στερεά (mg/l)
Εισροή αμμόφιλτρου	91-99	0,388-0,503	19	38
Εκροή αμμόφιλτρου	51,5-67	0,284-0,343	9,7	2
Εκροή ενεργού άνθρακα	20-24	0,013-0,129	6,8	0
Εκροή όζοντος	2-15	0-0,006	2,6	0

Δράση 3:

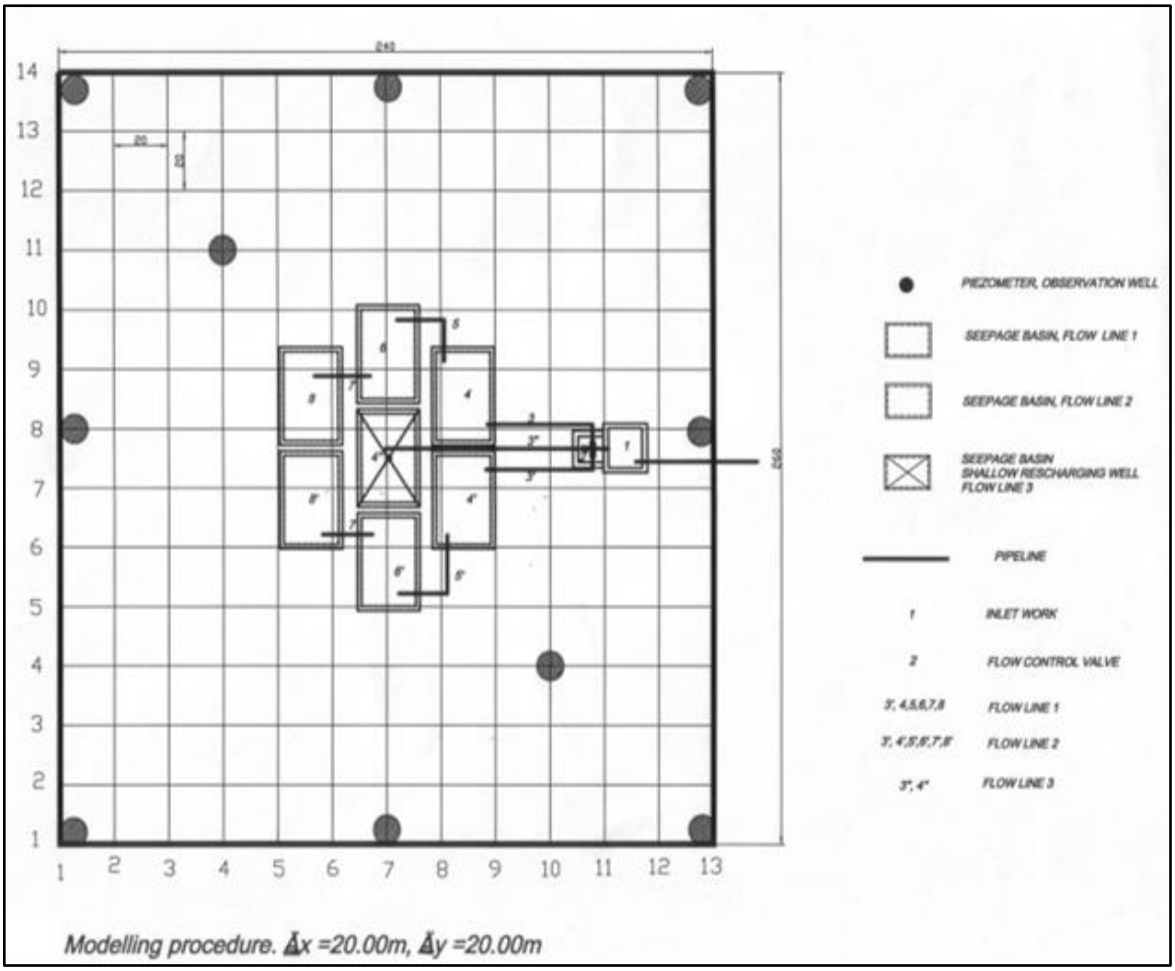
- Εκπόνηση υδραυλικής-γεωλογικής μελέτης εκτίμησης των χαρακτηριστικών των υπόγειων υδροφορέων στην περιοχή επέμβασης. Σχεδιασμός πιεζομετρικών και παραγωγικών γεωτρήσεων.
- Ενίσχυση του υδροφορέα με χρήση επεξεργασμένων λυμάτων. Παρακολούθηση της εξέλιξης των χαρακτηριστικών του νερού και του φαινομένου της υφαλμύρωσης.
- Εφαρμογή επεξεργασμένων λυμάτων σε πιλοτικό αγρό.
- Αξιολόγηση κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην περίπτωση της άρδευσης και της απευθείας ενίσχυσης των υδροφορέων

Εικόνα 4.12.: Κλίνες εμπλουτισμού.

Τα ανακτημένα λύματα χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό υδροφορέων, ενώ μέρος τους διατίθεται για την άρδευση καλλιεργειών, ανάλογα με τις εποχιακές ανάγκες. Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφορέων επιτυγχάνεται μέσω επιφανειακής ελεγχόμενης κατείσδυσης από διάταξη 6 κλινών και ενός φρέατος. Οι διαστάσεις των δεξαμενών είναι 16,6 x 26,6m και ο πυθμένας τους έχει επιστρωθεί με χαλίκι (0,15cm) για καλύτερο αερισμό του υποστρώματος. Το φρέαρ έχει πληρωθεί με χαλίκι σε βάθος 8m.

Ο σχεδιασμός των δεξαμενών έγινε για ταχύτητα διήθησης 1m3/m2 d και στάθμη λυμάτων 0,5m.

Για τη συγκέντρωση των επεξεργασμένων λυμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την άρδευση καλλιεργειών, κατασκευάστηκε μια δεξαμενή συγκέντρωσης χωρητικότητας 800m3. Η μελέτη των αποτελεσμάτων της άρδευσης θα γίνει μέσω της δημιουργίας πειραματικών αγρών (καλαμπόκι, τριφύλλι, σιτάρι, βαμβάκι).



Εικόνα 4.13: Διάταξη δεξαμενών εμπλουτισμού και πιεζομετρικών γεωτρήσεων.

Έχει επίσης εγκατασταθεί ένα σύστημα παρακολούθησης για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, το οποίο αποτελείται από 10 πιεζομετρικές γεωτρήσεις, γύρω από τη διάταξη των κλινών εμπλουτισμού, online αισθητήρα για τη μέτρηση διαλελυμένων οργανικών συστατικών στην εκροή της προωθημένης επεξεργασίας. Τέλος το σύστημα παρακολούθησης περιλαμβάνει πρόγραμμα φυσικοχημικών αναλύσεων των διαφόρων καλλιεργειών που θα αρδευτούν με τα επεξεργασμένα απόβλητα.

Το σύστημα παρακολούθησης συλλέγει επίσης στοιχεία μέσω των οποίων παρακολουθείται η ποιότητα του νερού του υπόγειου υδροφορέα.

Από τα αποτελέσματα αυτά θα εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τόσο του εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα, όσο και της άρδευσης.

Δράση 4:

- Διερεύνηση σκοπιμότητας επαναχρησιμοποίησης εκροών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα.
- Εφαρμογή των αποτελεσμάτων του προτεινόμενου προγράμματος σε περιοχές με παρόμοια προβλήματα και ενσωμάτωσή τους στις προδιαγραφές κατασκευής μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Σκοπός της δράσης είναι η άμεση εφαρμογή του τεχνολογικού μοντέλου, που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες δράσεις, στα έργα επεξεργασίας λυμάτων της περιοχής, και ο τεχνικός εμπλουτισμός των υδροφορέων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης.

Η δράση περιλαμβάνει:

- Ποιοτικό έλεγχο εκροών από διάφορες ΕΕΛ, με επιδίωξη την κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη κάλυψη όλης της Ελλάδας και με στόχο την εκτίμηση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων και τον προσδιορισμό του απαιτούμενου βαθμού επεξεργασίας και απολύμανσης των λυμάτων.
- Εκτέλεση εργαστηριακής κλίμακας πειραμάτων σε εναλλακτικά σχήματα επεξεργασίας και απολύμανσης λυμάτων με στόχο την περιγραφή και την θέσπιση γενικών προδιαγραφών των απαιτούμενων έργων επεξεργασίας και απολύμανσης.

- Ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων στις οριστικές μελέτες και τις προδιαγραφές κατασκευής νέων ΕΕΛ στην περιοχή του έργου.
- Μελέτη σκοπιμότητας εφαρμογής της αναπτυχθείσας τεχνολογίας σε υπάρχουσες ΕΕΛ στην περιοχή του έργου-πιλότου, δυναμικότητας 130.000 (Αγγελοχώρι), 40.000 (Ν. Καλλικράτεια) και 1.500.000 κατοίκων (Θεσσαλονίκη).

Στα πλαίσια του Προγράμματος το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ανέλαβε την οργάνωση ενός εκτεταμένου προγράμματος δειγματοληψιών από 15 περίπου Ε.Ε.Λ. που βρίσκονται στην ηπειρωτική αλλά και στη νησιωτική Ελλάδα, ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη κάλυψη του Ελληνικού χώρου με στόχο τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων λυμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης αυτών. Για τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων γίνονταν οι ακόλουθες αναλύσεις:

1) TSS, 2) Θολότητα, 3) διαπερατότητα σε υπεριώδη ακτινοβολία, 4) pH, 5) αλκαλικότητα, 6) χλωριόντα, 7) αμμωνιακό άζωτο, 8) νιτρικό και νιτρώδες άζωτο, 9) φωσφορικά, 10) ολικό και διαλυτό COD, 11) ολικό BOD5, 12) ολικά και περιττωματικά κολοβακτηρίδια.

Ο Πίνακας 4.16. παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά εκροών 14 εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων από διάφορες πόλεις της Ελλάδας.

Πίνακας 4.16. Χαρακτηριστικά εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από διάφορες ΕΕΛ στην Ελλάδα

ΕΕΛ	TSS mg/l	Ολικό COD mg/l	Θολερότητα NTU	pH	Διαπερατότητα σε UV	Χλωροϊόντα mg/l	Φωσφορικά mg/l	Νιτρικό και Νιτρώδες άζωτο mg/l
Καρδίτσα	29,17	39,05	18,67	6,83	69,70%	49,98	6,06	7,02
Άργος	4,67	23,81	3,00	7,62	75,90%	2481,73	17,77	8,87
Καβάλα	5,67	21,90	7,73	7,21	66,37%	62,48	12,96	3,75
Λάρισα	4,33	36,19	4,67	7,29	65,77%	64,98	20,94	12,37
Λαμία	3,33	20,00	5,67	7,38	63,13%	57,48	12,21	1,10
Καστοριά	14,33	52,38	12,83	7,63	56,73%	84,97	4,42	0,42
Θεσσαλονίκη	17,83	43,81	11,00	7,23	60,53%	1012,19	25,01	10,13
Ιωάννινα	5,17	33,40	5,47	7,15	61,83%	92,47	19,67	1,51
Κώς	6,83	45,29	4,70	7,65	63,80%	1524,53	1,18	0,95
Ηράκλειο	13,50	107,98	8,83	7,20	46,57%	637,30	4,92	3,49
Χαλκίδα	5,83	31,43	4,43	7,23	61,43%	939,71	23,61	9,19
Καλαμάτα	4,17	31,43	4,17	7,45	64,70%	312,40	18,95	3,47
Λειβαδιά	31,50	66,67	26,33	7,27	44,50%	64,98	11,26	1,21
Ξάνθη	3,33	37,14	4,00	7,34	64,23%	57,48	12,67	2,13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο}
Περιοχή Μελέτης – Δ. Λαυρεωτικής

[κύριες βιβλιογραφικές πηγές Χαλισιανή (2007), Παυλόπουλος (1997)]

5.1 Εισαγωγή

Ο Δήμος Λαυρεωτικής εκτείνεται στο νοτιοανατολικό άκρο του Νομού Αττικής και απέχει περίπου 50 χιλιόμετρα από την Αθήνα. Αποτελείται από τους δήμους Λαυρίου και Κερατέας και τις κοινότητες του Αγίου Κωνσταντίνου, Καλυβιών, Κουβαρά, Παλαιάς Φώκαιας, Αναβύσσου και Σαρωνίδας. Τόσο η θέση όσο και το πλούσιο σε μεταλλεύματα υπέδαφος της Λαυρεωτικής, είχαν ως αποτέλεσμα την κατοίκηση τους από τους πρώιμους Νεολιθικούς χρόνους. Η έκταση της είναι περίπου 200.000 στρέμματα και ορίζεται από το ακρωτήριο του Σουνίου τον όρμο Κακή Θάλασσα στον Νότιο Ευβοϊκό και τον κόλπο της Αναβύσσου στο νότιο Σαρωνικό.

Το Λαύριο, το οποίο κατά την αρχαιότητα (πριν το 1000 π.Χ.) ήταν γνωστό με την ονομασία Θορικό, και αργότερα ως Εργαστήρι κατά την διάρκεια του Μεσαίωνα και του μέσου με τέλους της πρώτης χιλιετίας, αποτελεί μια αξιόλογη κωμόπολη με έντονο ιστορικό και βιομηχανικό χαρακτήρα στο νοτιοανατολικό μέρος της Αττικής. Ο δήμος του Λαυρίου έχει έκταση περίπου 42.000 στρεμμάτων και πληθυσμό 7.078, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Από το 1884 έως το 1956 συνδέονταν με την πρωτεύουσα με σιδηροδρομικό δίκτυο μήκους 67km, που κατασκευάστηκε από την Ελληνική Εταιρία Μεταλλουργείων Λαυρίου. Το μεγάλο μήκος των ακτών αποτελεί σημαντικό φυσικό πόρο, το ίδιο και ο φυσικός δρυμός του Σουνίου, ο οποίος κατά ένα μεγάλο μέρος εμπίπτει στο δήμο. Το λιμάνι του Λαυρίου με την επιβατική κυρίως κίνηση, οι τουριστικές δραστηριότητες και η μεγάλη ανάπτυξη της παραθεριστικής κατοικίας διαμορφώνουν τα νέα δεδομένα σήμερα.

Το Λαύριο είναι μία από τις νεότερες βιομηχανικές πόλεις της Ελλάδας με σύγχρονο ρυμοτομικό σχέδιο και πλούσιο αρχαιολογικό ενδιαφέρον. Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει έντονη τουριστική ανάπτυξη, η οποία οφείλεται στις αρχαιότητες του Σουνίου, τα φυσικά κάλλη της ενδοχώρας, στα μεταλλευτικά μνημεία του Λαυρίου, στο ήπιο κλίμα και στις παραλίες του ανατολικού Σαρωνικού.

Από την αρχαιότητα το Λαύριο ήταν γνωστό για τα ορυχεία μεταλλευμάτων αργύρου για κατασκευή νομισμάτων και τις Λαυρεωτικές Γλαύκες, που βοήθησαν στην ανάπτυξη του εμπορίου και των άλλων κλάδων της εθνικής οικονομίας. Έτσι επικράτησε να λέγεται ότι ο «χρυσός αιώνας» του Περικλή οφείλεται στον «αργυρό αιώνα» του Λαυρίου. Με το Λαυριακό θησαυρό οι Έλληνες δημιούργησαν, χάρη στην διορατικότητα του Θεμιστοκλή, τον ισχυρό στόλο με τον οποίο νίκησαν τους Πέρσες και έσωσαν ολόκληρη την Ελλάδα από την Περσική επέλαση.

Η δραστηριότητα των Λαυρεωτικών μεταλλείων συνεχίστηκε εντατικά αλλά μετά την επικράτηση των Μακεδόνων και τον ανταγωνισμό από τα πλούσια μεταλλεία του Παγγαίου, το Λαύριο δέχθηκε άμεσα ένα σοβαρό πλήγμα. Η παρακμή του ήταν πλέον εμφανής. Με την ρωμαϊκή κατάκτηση το Λαύριο αναζωογονήθηκε αλλά μετά από μία σειρά επαναστάσεων των δούλων που εργάζονταν στα μεταλλεία οδηγήθηκε στο οριστικό τέλος του.

Κατά τον 19^{ο} αιώνα το Λαύριο αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά κέντρα του σύγχρονου ελληνικού κράτους. Ήδη από το 1860 έρχονται στην Λαυρεωτική νεότεροι μεταλλευτές. Το 1865 ιδρύεται η ιταλό-γαλλική μεταλλουργική εταιρία Serpieri-Roux Fressynet C.E., η οποία σύντομα έρχεται σε σύγκρουση με την ελληνική κυβέρνηση, μια σύγκρουση η οποία έγινε γνωστή ως «Λαυρεωτικό ζήτημα». Ο Ανδρέας Συγγρός μετονομάζει την εταιρία σε Ελληνική Εταιρία Μεταλλουργείων Λαυρίου, η οποία τελικά κλείνει το 1917 ενώ η Γαλλική Εταιρία Μεταλλείων, στην οποία είχε παραχωρηθεί το μεγαλύτερο μέρος του υπεδάφους της Λαυρεωτικής είχε την ίδια κατάληξη 60 χρόνια αργότερα, το 1977.

Ο πληθυσμός του Λαυρίου ήταν διαφόρων κοινωνικών στρωμάτων και δημιουργήθηκε με την εισροή εργατών και άλλου προσωπικού των εταιριών από διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Πολλοί Ιταλοί μηχανικοί και εργοδηγοί και Ισπανοί καμινιστές αποτελούν τη σημαντικότερη μετανάστευση, ενώ από το 1887 έως το 1982 Μανιάτες δημιούργησαν τον συνοικισμό της Νεάπολης.

Η νέα εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου του Λαυρίου το 19^{ο} αιώνα άνοιξε το δρόμο για την δημιουργία μίας νέας πόλης, η οποία μέχρι τότε ήταν αδόμητη, εκτός από το ψαροχώρι του Κυπριανού.

Η κρίση στο Λαύριο επήλθε με το κλείσιμο των μεγάλων παραγωγικών μονάδων στα τέλη της δεκαετίας του ’80. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η αύξηση της ανεργίας, η οποία με την σειρά της οδήγησε τους βιομηχανικούς εργάτες να εγκαταλείψουν την πόλη, με αποτέλεσμα τη ραγδαία μείωση του πληθυσμού της περιοχής. Μέσα σε λίγα μόνο χρόνια τέθηκε πρόβλημα ύπαρξης της ίδιας της πόλης του Λαυρίου, ενώ τοπικοί και κεντρικοί φορείς στράφηκαν στην ανάπτυξη του λιμανιού το οποίο θα συνέβαλλε τόσο στην ανάπτυξη της περιοχής αλλά και στην αύξηση των θέσεων εργασιακής απασχόλησης.

Το 1991 αποφασίστηκε η ανακατασκευή του λιμανιού ως εθνικής εμβέλειας έργου για την εξυπηρέτηση των επιβατών (επιβατικό λιμάνι) και εμπορευμάτων (εμπορικό λιμάνι) από και προς τις Κυκλάδες και το Ανατολικό Αιγαίο. Σήμερα το κεντρικό λιμάνι του Λαυρίου παρουσιάζει περιορισμένη επιβατική δραστηριότητα με ferry boat προς την Κέα και την Κύθνο και εμπορική δραστηριότητα με πτωτικές τάσεις.

Την σημερινή εποχή στο Λαύριο ο χώρος των μεταλλείων παραμένει ανεκμετάλλευτος ενώ δέχεται κατά καιρούς επισκέψεις από διάφορους συλλέκτες ορυκτών, σπηλαιολόγους και άλλους επιστήμονες.

Οι μοναδικές ίσως επιχειρήσεις που απορροφούν σήμερα το τοπικό εργατικό δυναμικό και παρουσιάζουν κάποια σχετική βιωσιμότητα είναι οι τουριστικές επιχειρήσεις, οι εγκαταστάσεις των ναυπηγείων της Olympic Marine, η χημική μονάδα DOW στο Θορικό και η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα της ΔΕΗ στον Άγιο Νικόλαο.

Το ήπιο ξηρό κλίμα που επικρατεί στην περιοχή μελέτης, είναι η αιτία της ανάπτυξης στην περιοχή παραδοσιακών γεωργικών καλλιεργειών, όπως αμπελώνες και δημητριακά, καθώς και την παραγωγή άλατος στις αλυκές της Αναβύσσου. Ταυτόχρονα η μικρή απόσταση από τις συνοικίες της πρωτεύουσας, η πολυμορφία των ακτών της – εναλλαγές ομαλών αμμωδών κολπίσκων, με απόκρημνες ακτές- και η καθαρότητα των νερών της θάλασσας, καθιστούν ανέκαθεν την περιοχή τουριστικό και παραθεριστικό πόλο έλξης.

Οι σύγχρονες αυτές ανάγκες, κυρίως για δεύτερη παραθεριστική κατοικία και για τουριστικές εγκαταστάσεις οδήγησαν στην αλλαγή χρήσης της γης. Γεωργικές εκτάσεις εγκαταλείφθηκαν και οικοπεδοποιήθηκαν αποδίδοντας γρήγορα κέρδη στους ιδιοκτήτες (που είναι κυρίως μόνιμοι κάτοικοι της περιοχής), ενώ παράλληλα

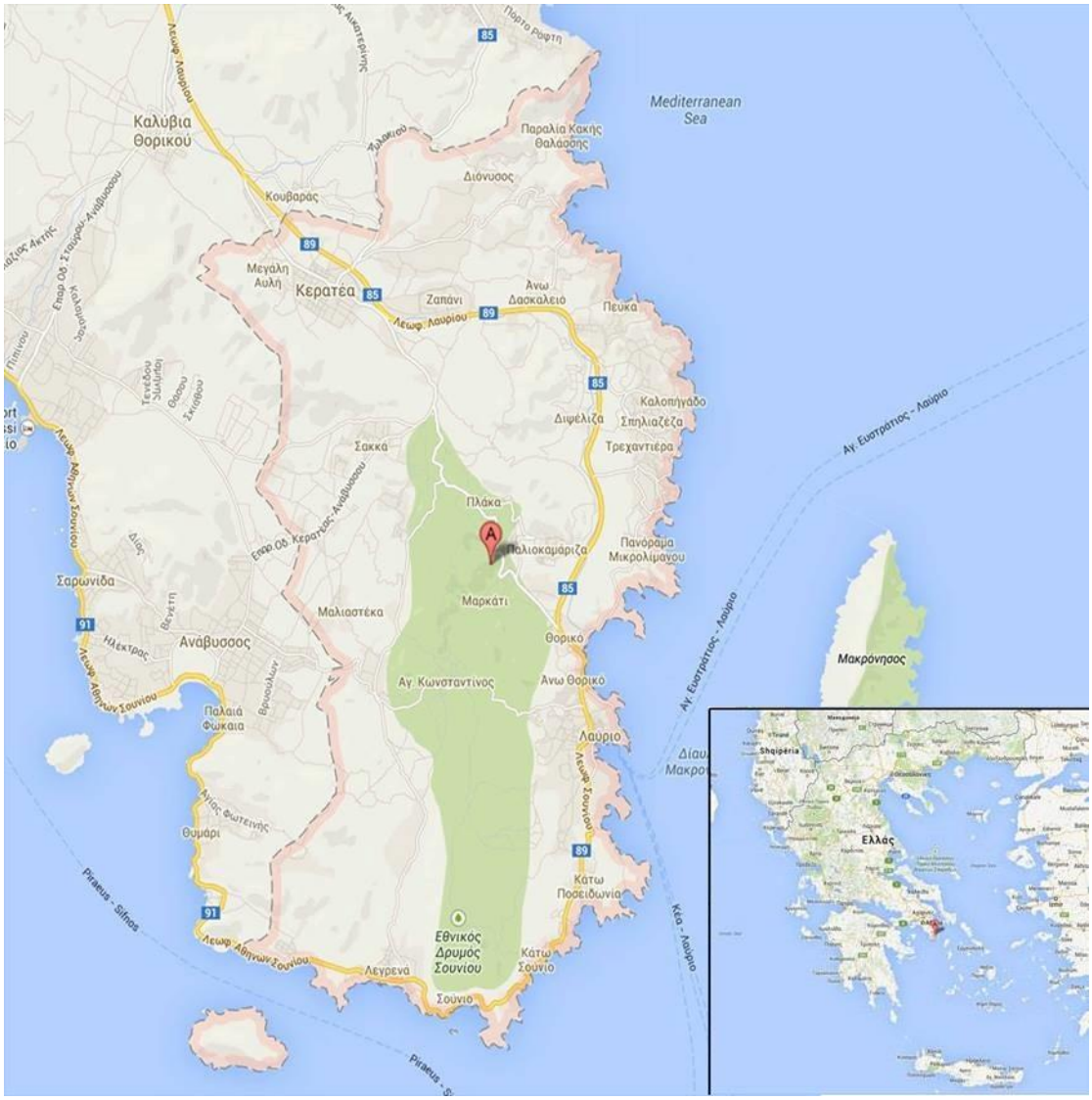
δασικές εκτάσεις και αυτές οικοπεδοποιήθηκαν. Εξάλλου η οικοπεδοποίηση, η κατασκευή σπιτιών και δρόμων γίνεται χωρίς πολεοδομικό σχέδιο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μία αυθαίρετη και άναρχη οικιστική ανάπτυξη.

Αυτή ακολουθεί ένας όγκος αποβλήτων δυσανάλογος με αυτόν που το ίδιο το σύστημα μπορεί να αφομοιώσει. Η συνεχής και χωρίς οικονομοτεχνικό σχέδιο ανάπτυξη της περιοχής κυρίως από οικιστική, γεωργική και βιομηχανική άποψη έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αλλοίωση των φυσικών παραμέτρων και του δυναμικού του περιβάλλοντος. Αυτό έχει ως κύρια συνέπεια την όχι σωστή επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάζονται με την ανάπτυξη της περιοχής, προκαλώντας ταυτόχρονα κοινωνικά και οικονομικά αδιέξοδα, όπως μείωση των θέσεων εργασίας, καταστροφή και ρύπανση του περιβάλλοντος , υποβάθμιση του επιπέδου ζωής των μόνιμων κατοίκων και άλλα.

Επιπλέον όμως, η νότια Αττική και ειδικότερα οι περιοχές της Αναβύσσου, της Κερατέας και του Λαυρίου αποτελούν όχι μόνο περιοχές δεύτερης κατοικίας και κέντρα παραθερισμού, όπως είναι σήμερα στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, αλλά και μακροπρόθεσμα περιοχές οικιστικής εξάπλωσης της πρωτεύουσας. Κατ' αυτόν τον τρόπο η προβλεπόμενη σύνδεση των περιοχών αυτών με επαναλειτουργία του σιδηροδρομικού δικτύου Αθηνών-Λαυρίου και η ανάπτυξη του εθνικού δρυμού των Λεγρενών και Αγίου Κωνσταντίνου θα μπορούσε να αναβαθμίσει και να ανυψώσει το επίπεδο ζωής των κατοίκων τους.

Από γεωμορφολογική άποψη η περιοχή ενδιαφέροντος φαίνεται ότι συνδέεται γεωλογικά και τεκτονικά, τόσο με τον χώρο της Ηπειρωτικής Ελλάδας όσο και με εκείνον των Βορείων Κυκλάδων. Η παλαιογεωγραφική αυτή σύνδεση της με αυτούς τους δύο χώρους συνεπάγεται την ύπαρξη στην Νότια Αττική ενός πλήθους γεωμορφών που γενετικά και εξελικτικά εξαρτώνται από τις γεωμορφικές συνθήκες που επικράτησαν στους δύο αυτού χώρους. Η νότια Αττική λοιπόν αποτελεί μία μεταβατική γεωμορφολογική ενότητα μεταξύ της Ηπειρωτικής Ελλάδας και των Κυκλάδων.

Η γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής του Λαυρίου είναι αναγκαία για την κατανόηση του καθεστώτος στην περιοχή και την καλύτερη επισκόπηση της κατάστασης των υπογείων υδάτων.



Εικόνα 5.1: Ο δήμος της Λαυρεωτικής (maps.google.com).

5.2 Γεωγραφία της περιοχής

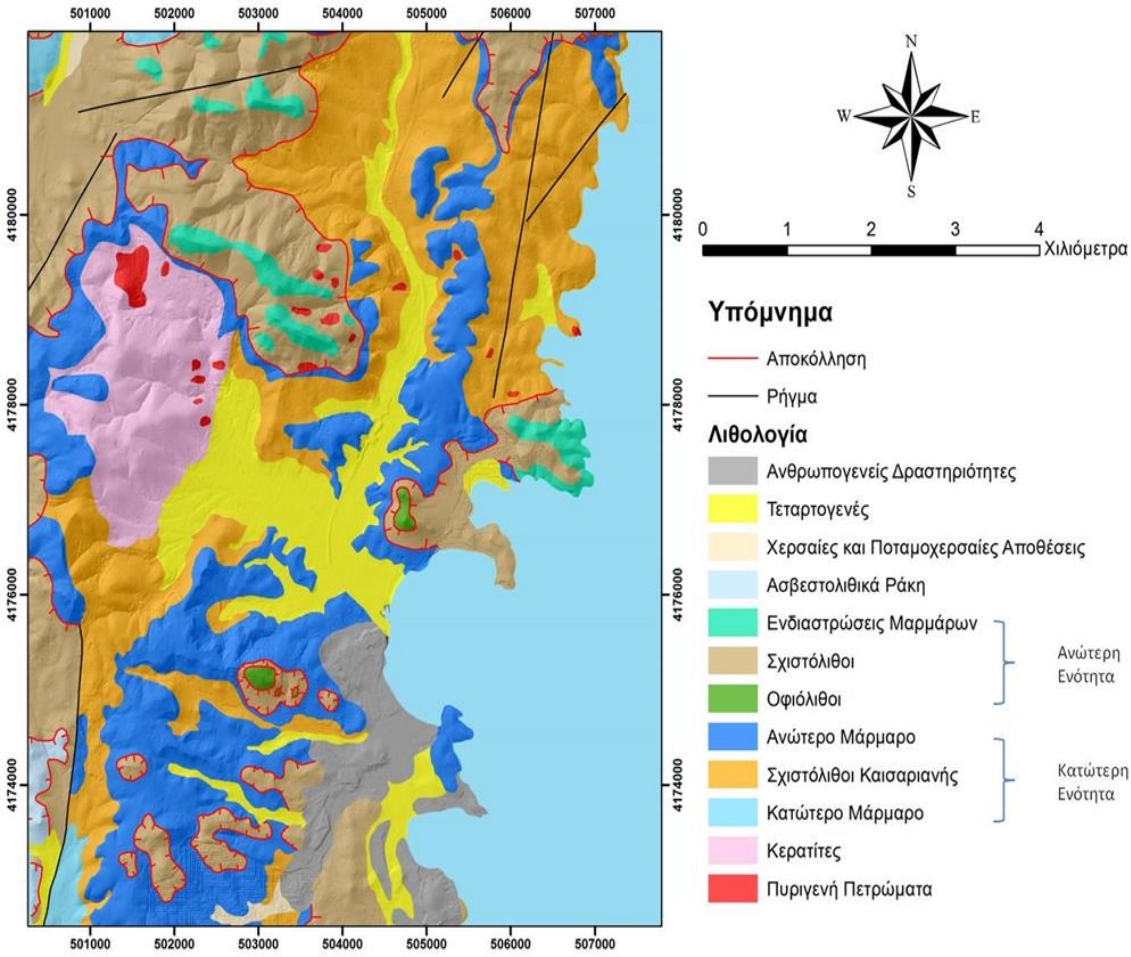
Με τον όρο Λαυρεωτική σήμερα εννοείτε ο ορεινός όγκος νότια της Κερατέας που εκτείνεται μέχρι το Σούνιο και βρέχεται ανατολικά από θάλασσα και δυτικά οριοθετείται από την κοιλάδα της Αναβύσσου και από θάλασσα. Το φυσικό ανάγλυφο διαμορφώνεται από τους ορεινούς όγκους ενώ συναντώνται δύο μεγάλες κοιλάδες.

Στην μία κοιλάδα αυτή της Κερατέας, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ των ορεινών όγκων Μερέντας, Μαυροβουνίου, κύριας Λαυρεωτικής και του Πανείου, το υψόμετρο κυμαίνεται γύρω στα 150m. Στο νότιο και ανατολικό τμήμα της διαρρέεται από το ρέμα Ποτάμι το οποίο εκβάλει βόρεια του Λαυρίου, στην περιοχή Θορικού. Στο

βόρειο τμήμα της διαρρέεται από το ρέμα του Αγίου Γεωργίου που εκβάλλει στην Βραυρώνα.

Η δεύτερη κοιλάδα είναι η κοιλάδα της Αναβύσσου η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του Πανείου όρους, του Ολύμπου και της κύριας Λαυρεωτικής. Το υψόμετρο της κυμαίνεται από 0 έως 60m και διαρρέεται από ρεύμα με αδιαμόρφωτη κοίτη που καταλήγει στον κόλπο της Αναβύσσου.

Κατά μήκος των ακτών της Λαυρεωτικής όσο και στο εσωτερικό, συναντώνται και άλλες κοιλάδες μικρότερης έκτασης όπως η κοιλάδα των Καλυβιών Ολύμπου, των Λεγραινών, του Πασαλιμανιού, του Λαυρίου, του Θορικού, του Πανόρμου, των Μεγάλων Πεύκων και του Μεσονησίου.



Εικόνα 5.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (ΙΓΜΕ 1983, με τροποποιήσεις).

5.3 Γεωλογία της περιοχής

Η επίδραση του νερού στην επιφάνεια της γης, διαμορφώνει και επηρεάζει άμεσα και σε μεγάλο ποσοστό την μορφή καθώς και την εξέλιξη του ανάγλυφου της. Όλα τα υδρογραφικά δίκτυα που αναπτύσσονται στην περιοχή του Δήμου Λαυρεωτικής εμφανίζουν εποχιακή ροή , παρουσιάζουν δηλαδή ροή μετά από έντονη περίοδο βροχοπτώσεων, κάτι που συμβαίνει κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

Από υδρογραφική άποψη στην ευρύτερη περιοχή διακρίνονται τρείς κύριες υδρογραφικές λεκάνες :

I. Η υδρογραφική λεκάνη του Αδάμι – Ποτάμι στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της περιοχής. Ο κύριος άξονας της λεκάνης απορροής έχει αρχικά διεύθυνση δύση - ανατολή και μετά ακολουθεί τη διεύθυνση βορά - νότου. Η εκφόρτιση της λεκάνης γίνεται προς τα ανατολικά στον όρμο του Θορικού.
II. Η υδρογραφική λεκάνη της Αναβύσσου, στο δυτικό τμήμα της περιοχής, με διεύθυνση του κύριου άξονα βορειοανατολική – νοτιοδυτική, η εκφόρτιση της οποίας πραγματοποιείται προς τα νοτιοδυτικά στον όρμο της Αναβύσσου.
III. Η υδρογραφική λεκάνη Καμαρίζας - Λεγρενών με διεύθυνση κύριου άξονα βορά- νότου και εκφόρτιση προς τον νότο στον όρμο των Λεγρενών.

Όπως φαίνεται, λοιπόν οι κύριες υδρογραφικές λεκάνες της νότιας Αττικής εκφορτίζονται σε περιοχές του Δήμου Λαυρεωτικής.

Παράλληλα, στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται σημαντική υπόγεια απορροή η οποία κυρίως εντοπίζεται στις προσχωματικές αποθέσεις, όπου αναπτύσσεται φρεάτιος ορίζοντας και στις περισσότερες περιπτώσεις ακολουθεί την γενική διεύθυνση του κύριου αποστραγγιστικού κλάδου. Ο υπόγειος υδροφορέας εμφανίζεται ετερογενής από θέση σε θέση και σε ορισμένες περιοχές περιορίζεται από τους αδιαπέραστους σχηματισμούς του υποβάθρου.

Ο εμπλουτισμός των προσχώσεων σε νερό προκύπτει κυρίως από το νερό των ποταμών που διηθείται ή από την απευθείας κατείσδυση των βροχών. Άλλες πηγές εμπλουτισμού είναι και οι πλευρικές μεταγγίσεις των πλευρικών κορημάτων. Δευτερεύουσας σημασίας, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις είναι και ο εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα από νερό πλευρικών μεταγγίσεων από την επαφή με αποσαθρωμένα καλύμματα σχιστολίθων, όπως και από τις καρστικές μεταγγίσεις των ανθρακικών πετρωμάτων.

Εποχιακές πηγές εμφανίζονται κυρίως στις επαφές μεταξύ των μαρμάρων και σχιστολίθων , φακών μαρμάρων και σχιστολίθων η φυλλιτών, αλλουβιακών προσχώσεων και φυλλιτών, οι οποίες είναι μικρής δυναμικότητας και διαλείπουσες.

Οι παραπάνω συνθήκες επηρεάζουν την γεωμορφολογία της περιοχής με αποτέλεσμα την παρουσία διαφορετικών δομών στην περιοχή μελέτης. Οι πιο σημαντικές γεωμορφολογικές δομές που υπάρχουν στην περιοχή του Λαυρίου είναι οι εξής:

- Οι καρστικές μορφές (μορφολογικοί σχηματισμοί που προκύπτουν από την διαλυτική δράση του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, σε πετρώματα πού είναι αρκετά ευδιάλυτα στο νερό) και ειδικότερα τα σπήλαια και οι γλυφές. Υπάρχουν στο νότιο τμήμα της περιοχής όπου εκεί αναπτύσσεται το ανώτερο μάρμαρο. Τρία από τα πιο γνωστά σπήλαια που συναντούμε στην περιοχή είναι η σπηλιά του «Κίτσου» (η οποία βρίσκεται στο ύψωμα Μικρό Ριμπάρι) η σπηλιά «Χόνι Λάγκι» (η οποία έχει περιληφθεί στα όρια του αρχαιολογικού χώρου της Μερέντας) και η σπηλιά Κερατέας (σε υψόμετρο 548 μ.). Στις καρστικές μορφές μπορούν να συμπεριληφθούν και οι κωνικοί λόφοι που εμφανίζονται πάνω σε κάποιες επιφανειακές ισοπεδώσεις. Η δημιουργία των κωνικών καρστικών μορφών προϋποθέτει κλιματικές συνθήκες υγρές και θερμές που διαφέρουν πολύ από τις σημερινές.
- Οι επιφάνειες ισοπέδωσης (μορφές διάβρωσης η οποίες είναι σχετικά επίπεδες και ομαλές) συναντώνται σε όλους τους λιθολογικούς σχηματισμούς και οι μεγαλύτερες επιφάνειες ισοπέδωσης παρατηρούνται στα μάρμαρα και στο φυλλιτικό σύστημα. Ωστόσο μικρότερες σε έκταση γεωμορφές, παρατηρούνται και στα νεογενή πετρώματα. Η πλειοψηφία των επιφανειών ισοπέδωσης συναντώνται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του Λαυρίου.
- Κώνοι κορημάτων (μορφές απόθεσης που αποτελούνται από γωνιώδη υλικά τα οποία συγκεντρώνονται από την επίδραση της βαρύτητας και αποκτούν μορφή κώνου) υπάρχουν κυρίως στις περιοχές του όρμου Γάιδαρος, στον Χάρακα, στο Τουρκολίμανο και στην περιοχή Θυμάρι. Στην περιοχή του Χάρακα εμφανίζονται οι παλαιότεροι κώνοι που είναι συνεκτικοί και στο ανατολικό τμήμα της περιοχής συναντώνται κώνοι κορημάτων, καθώς εκεί το υδρογραφικό δίκτυο εξέρχεται από το ανώτερο μάρμαρο και περνά τις τεταρτογενείς αποθέσεις.
- Οι υπολειμματικές μορφές διάβρωσης εμφανίζονται κατά ομάδες κυρίως στο νότιο τμήμα της περιοχής. Ειδικότερα, συναντώνται στο κόλπο του Χάρακα,

των Λεγρενών και στην περιοχή του Σουνίου. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιες μεμονωμένες εμφανίσεις στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής

- Beachrocks (ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί που αποτελούν μορφές θαλάσσιας απόθεσης) που υπάρχουν κυρίως στην Πουντανέζα, στο Κάτω Σούνιο, στο λιμάνι του Σουνίου, στον όρμο των Λεγρενών και στο Τουρκολίμανο. Πρόκειται για συνεκτικά ψαμμιτικά πετρώματα κυμαινόμενης αντοχής και πρόσφατης γεωλογικής ηλικίας. Αποτελούνται από υλικά διαφόρων διαστάσεων, άμμοι, κροκάλες τα οποία είναι συγκολλημένα με συνδετικό υλικό που αποτελείται συνήθως από μαγνησιούχο ασβεστίτη.
- Θίνες (αιολικές αποθέσεις άμμου), οι οποίες κάνουν την εμφάνιση τους σταθεροποιημένες λόγω της ύπαρξης βλάστησης και συναντώνται στο νότιο τμήμα του όρμου του Θορικού, στην Πούντα, στο Πασσαλιμάνι, στο λιμάνι του Σουνίου, στον όρμο των Λεγρενών και στον κόλπο της περιοχής Θυμάρι. Πρόκειται για αιολικές αποθέσεις άμμου και προϋποθέτουν για τον σχηματισμό τους μια μεγάλη προσφορά άμμου και άνεμο ισχυρό και μεγάλης χρονικής διάρκειας, ικανό να μεταφέρει το υλικό σε μία περιοχή που να μπορεί να συσσωρευτεί, χωρίς την ύπαρξη εμποδίων κατά την μεταφορά.

Η γεωλογική εξέλιξη της περιοχής είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία κοιτασμάτων, τα μεταλλεύματα των οποίων συγκεντρώνονται αποκλειστικά σε μάρμαρα, στις θέσεις που αυτά βρίσκονται σε επαφή με τους σχιστόλιθους, κοντά στις γρανιτικές φλέβες. Το γεγονός αυτό ήταν γνωστό και στα αρχαία χρόνια και για αυτό το λόγο κατασκεύαζαν φρέατα στους σχιστόλιθους οι οποίοι είναι πιο μαλακοί από τα μάρμαρα.

Η ρύπανση που είχαν και έχουν προκαλέσει τα απορρίμματα αυτών των εργασιών στην περιοχή έχει ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια πλέον και για τον λόγο αυτό θα πρέπει οι αρμόδιοι φορείς να λάβουν μέτρα προστασίας προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση της περιοχής (Katerinopoulos. A. Zisimopoulou E., 1994)

Για να επιτευχθεί αυτό, ένα πρώτο βήμα είναι η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με το πρόβλημα και τις επιπτώσεις αυτού στον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης θα πρέπει να ληφθούν και μέτρα προστασίας, μερικά από τα οποία εναπόκεινται στην καλή θέληση των πολιτών.

Από την άλλη πλευρά το Λαύριο καθότι είναι μια σπάνια περιοχή θα πρέπει να ενισχύσει το ενδιαφέρον των αρμοδίων αλλά και των ερευνητών. Στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Λαυρεωτικής υπάρχουν περισσότερες από 265 ορυκτά

δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα φυσικό μουσείο που μπορεί να ενισχύσει τον γεωτουρισμό της περιοχής (Βουρλάκος Ν.,1992). Η πολυμορφία των ορυκτών και οι αρχικά ατελείς μέθοδοι εξακρίβωσης προκαλούσαν συχνά προβλήματα στην αναγνώριση του είδους με αποτέλεσμα πολλά ορυκτά να έχουν περισσότερα από ένα ονόματα (Κορδέλας Α.,1993).

Στην περιοχή του Λαυρίου υπάρχουν περισσότερα από 2000 μεταλλευτικά πηγάδια καθώς και πολλές στοές ιδιαίτερου αρχαιολογικού και πολιτισμικού ενδιαφέροντος, γεγονός πολύ θετικό για την περιοχή. Ωστόσο δεν υπάρχει καμία ενημέρωση περιπατητή της περιοχής για τον πλούτο της περιοχής (Δημητριάδης Αλ. 1999)

5.4 Γεωμορφολογία της περιοχής

Το ήπιο ανάγλυφο χαρακτηρίζει την περιοχή της Λαυρεωτικής με ακτογραμμή σχετικά σταθερή με μέση ή μικρή κλίση. Στην περιοχή συναντώνται μικρά υδρογραφικά δίκτυα με εποχική ροή με σημαντικότερο το ρέμα του Παταμού που πηγάζει από τους λόφους που περιβάλλουν την Κερατέα και καταλήγει στον όρμο του Θορικού. Έχει σταθερή γεωμορφολογική κοίτη και είναι περιοδικής ροής.

5.5 Κλίμα της περιοχής

Στην περιοχή του δήμου Λαυρεωτικής οι φυσικογεωγραφικοί παράγοντες οι οποίοι παίζουν ρόλο στις διαφοροποιήσεις του κλίματος είναι κυρίως η διαμόρφωση του ανάγλυφου και της βλάστησης.

Από τις αρχές του 5^{ου} αιώνα π. Χ. με την τεράστια αύξηση των μεταλλουργικών δραστηριοτήτων των Αθηναίων, η υλοτομία αυξήθηκε κατακόρυφα, αφού ο ξυλάνθρακας αποτελούσε πρώτη ύλη για την επεξεργασία και αναγωγή του αργυρούχου μόλυβδου σε άργυρο, στα εργαστήρια τήξης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη αποψίλωση της περιοχής (Κακαβογίαννης Ε.,1989). Όπως έχουμε ήδη αναφέρει από τον 6^{ο} αιώνα μ.Χ. μέχρι και το 1860 οι εργασίες στα μεταλλεία σταμάτησαν με αποτέλεσμα με ξαναγεννηθούν η χλωρίδα και η πανίδα έτσι τα πεύκα σκέπασαν τον τόπο μέχρι τις ακτές. Από περιηγητές της εποχής εκείνης έχουμε μαρτυρίες για ένα όμορφο πευκοδάσος, αλλά και για εκτεταμένα σκάμματα, στοές, μεταλλευτικά φρέατα αλλά και σωρούς των εκβολάδων και των σκωριών. Από το 1873 και μετά το πευκοδάσος, με την εκ νέου έναρξη της μεταλλευτικής δραστηριότητας υπέστη μεγάλες καταστροφές.

Στο σύνολο του ο ελληνικός χώρος κατατάσσεται στον Μεσογειακό τύπο κλίματος, με κύρια χαρακτηριστικά την εμφάνιση βροχοπτώσεων κατά την ψυχρή εποχή του έτους και την ξηρασία κατά την θερινή περίοδο.

Για την μελετώμενη περιοχή της Λαυρεωτικής δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός που να λειτούργησε για ικανοποιητικό αριθμό ετών ώστε να έχουμε ακριβή περιγραφή των κλιματικών συνθηκών της περιοχής. Τα μόνα κλιματολογικά στοιχεία που υπάρχουν για την περιοχή είναι του Μετεωρολογικού σταθμού της ΔΕΗ, ο οποίος λειτουργούσε από το 1969 μέχρι το 1978, κοντά στις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ. Κύρια χαρακτηριστικά της περιοχής είναι η παρουσία μιας ξηράς, άνομβρου θερινής περιόδου και οι περιορισμένες βροχοπτώσεις, κυρίως το φθινόπωρο και τον χειμώνα και δευτερευόντως κατά την διάρκεια της άνοιξης.

Όσον αφορά τις ανεμοπιέσεις, χαρακτηριστικό του κλίματος είναι η επικράτηση των Βορειοανατολικών, Βορείων, και Βορειοδυτικών ανέμων. Τα θαλάσσια ρεύματα έχουν σημαντική ένταση γεγονός το οποίο οφείλεται στους ισχυρούς ανέμους που προέρχονται από την Ανατολική Θράκη. Ένα μέρος των ρευμάτων διέρχεται από το στενό Λαυρίου- Μακρονήσου με αποτέλεσμα να δημιουργείται ισχυρό θαλάσσιο ρεύμα στις ανατολικές ακτές της Λαυρεωτικής.

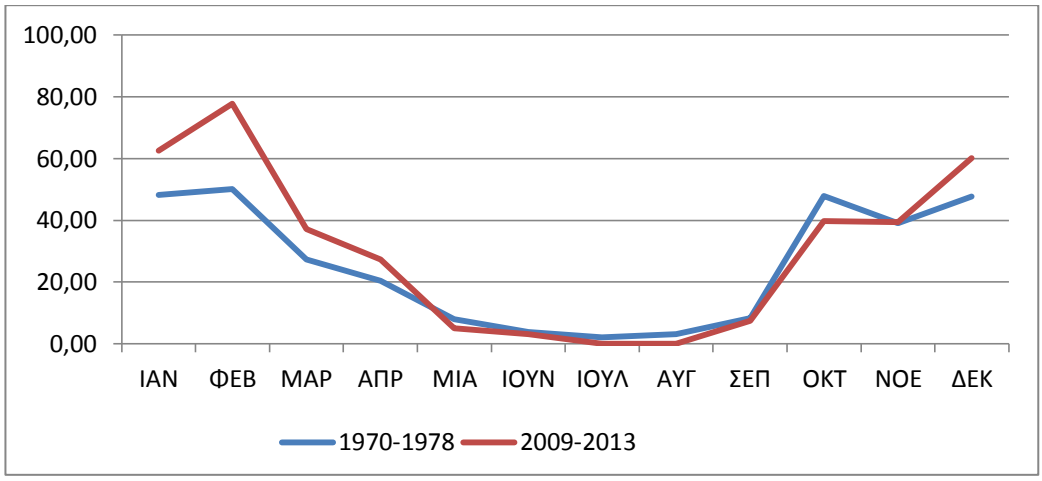
Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής είναι από τον μετεωρολογικό σταθμό της Αγίας Μαρίνας Λαυρίου

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.1 η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 17,6^{o}C με μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους 25,4 ^{o}C τον Ιούλιο και 10,7 ^{o}C τον Ιανουάριο αντίστοιχα. Η μέση μέγιστη και ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας κυμαίνεται από 28,1 ^{o}C μέχρι 23,0 ^{o}C τον μήνα Ιούλιο και 12,8 ^{o}C μέχρι 8,6 ^{o}C τον μήνα Ιανουάριο

Πίνακας 5.1:Πίνακας απόλυτων Θερμοκρασιών του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού με βάση την περίοδο 1961-1990 (ΕΜΥ)

ΜΗΝΑΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [ºC]	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [ºC]	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [ºC]
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	-2,9	22,1	10,2
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	-3,2	22	10,5
ΜΑΡΤΙΟΣ	-1,6	25	12,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	4,2	28,4	16
ΜΑΙΟΣ	8	33,9	20,6
ΙΟΥΝΙΟΣ	11,5	3,5	25
ΙΟΥΛΙΟΣ	15,5	42	27,8
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	16	39,2	27,6
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	10,4	37,2	24,3
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	6,3	32,2	19,3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1,4	25,8	15,4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	-1,4	22,5	12

Η υγρομετρική κατάσταση του αέρα στην περιοχή του Λαυρίου δεν διαφέρει σχεδόν καθόλου από εκείνη που εμφανίζεται στις διάφορες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Οι μέσες μηνιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται από 62,3% που είναι η ελάχιστη τιμή και εμφανίζεται δύο φορές του χρόνο, τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, μέχρι 74% που είναι η μέγιστη τιμή της και παρατηρείται τον μήνα Ιανουάριο. Τέλος η μέση ετήσια τιμή ανέρχεται σε 68,9%, μπορεί έτσι να παρατηρηθεί ότι η διακύμανση των μεγίστων και ελάχιστων τιμών είναι πολύ περιορισμένη.



Εικόνα 5.3:Συσχέτιση της μηνιαίας βροχόπτωσης (mm) για τις δύο περιόδους διαθέσιμων δεδομένων(1970-1978 και 2009-2013).

Ο άνεμος είναι ένα κλιματικό στοιχείο εξαρτώμενο από τα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής , όπως είναι οι ορεινοί όγκοι, το υψόμετρο, τις μάζες ξηράς και της θάλασσας και άλλα. Με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία όλων των σταθμών της περιοχής της Νότιας Αττικής, προκύπτει ότι οι άνεμοι που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σε όλη την διάρκεια του έτους είναι σε γενικές γραμμές άνεμοι βόρειων διευθύνσεων.

Για τον σταθμό της Αγίας Μαρίνας Λαυρίου, οι άνεμοι που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σε όλη την διάρκεια του έτους είναι οι βόρειο-βορειοανατολικής διεύθυνσης (21,43%), στην συνέχεια οι βόρειοι (17,88%)και τέλος οι βόρειο-βορειοδυτικοί (11,86%). Την μικρότερη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζουν οι νοτιοανατολικής διεύθυνσης άνεμοι (1,04%), οι ανατολικοί(2,53%) και οι δυτικοί(2,93%). Η συχνότητα νηνεμιών κυμαίνεται περίπου στο 3,5%.Η μέγιστη ριπή ανέμου που έχει παρατηρηθεί είναι της τάξης των 39 m/sec, ενώ η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου ανέρχεται σε 6,3m/sec με μεγαλύτερες μηνιαίες τιμές τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο 7,2m/sec και μικρότερη τον Μάιο 4,6 m/sec.

Πίνακας 5.2: Ετήσια συχνότητα και ένταση ανέμων ανά διεύθυνση (ΕΜΥ)

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ	Δ	ΒΔ	ΑΠΝΟΙΑ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
ΝΗΝΕΜΙΑ									3,74	3,74
ΑΣΘΕΝΕΙΣ	4,76	2,52	2,73	1,58	1,63	2,72	2,87	3,57		22,38
ΜΕΤΡΙΟΙ	18,91	14,20	4,43	1,71	5,63	5,14	4,06	3,97		58,05
ΙΣΧΥΡΟΙ	5,36	0,13	0,21	0,09	0,23	0,50	0,39	0,53		14,44
ΟΡΜΗΤΙΚΟΙ	0,5	0,39	0,00	0,01	0,05	0,04	0,08	0,07		1,39
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	29,8	24,21	7,37	3,39	8,40	8,40	7,40	8,14	3,74	100,00

5.6 Γενικά πληθυσμιακά στοιχεία

Ήδη από τον 19^{ο} αιώνα το Λαύριο αποτέλεσε μια σημαντική μονάδα μεταποιητικής και εξορυκτικής δραστηριότητας στον ελλαδικό χώρο, με αποτέλεσμα να γίνει πόλος εσωτερικής μετανάστευσης η οποία κινήθηκε προς το Λαύριο κατά δύο μεγάλα μεταναστευτικά ρεύματα (Πάντειο Πανεπιστήμιο, «Μελέτη Ανάπτυξης του Λαυρίου, τόμος Α',1994). Η μεταλλευτική δραστηριότητα και η μεταποίηση ήταν οι παράγοντες που προκάλεσαν τα δύο μεταναστευτικά ρεύματα, τις περιόδους 1864-1930 και 1950 και μετά, αντίστοιχα. Οι πρόσφυγες και των δύο ρευμάτων προήλθαν από περιοχές με παράδοση και στους δύο τομείς, όσον αφορά στην Μεταλλουργεία από την Μήλο, την Σαντορίνη, την Σέριφο και την Νάξο ενώ όσων αφορά στην μεταποίηση από την Βόρειο Ελλάδα, Στερεά Ελλάδα, Πελοπόννησο και Κρήτη. Εκτός από τα δύο κύματα

εσωτερικής μετανάστευσης εισήλθαν στην χώρα πρόσφυγες από τις πρώην σοσιαλιστικές χώρες καθώς και από την Αίγυπτο και από άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Ιταλία, Ισπανία). Ο σημερινός μόνιμος πληθυσμός του Λαυρίου, παρόλο που το μεγαλύτερο ποσοστό των εργατών αυτών έχει αποχωρήσει λόγω της έλλειψης θέσεων εργασίας, προέρχεται από τα δύο μεγάλα μεταναστευτικά ρεύματα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την απουσία γηγενούς πληθυσμού και την επικράτηση στον πληθυσμό των τοπικών χαρακτηριστικών του αστικού βιομηχανικού εργάτη χωρίς κτηματική περιουσία, αλλά με καταβολές και συγγενικές σχέσεις με άλλα μέρη της Ελλάδας, (Κορδάτος Γ.,1972)

Στον μόνιμο πληθυσμό του Λαυρίου περιλαμβάνονται και οι παραθεριστές, οι οποίοι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους διαμένουν μεταξύ του Λαυρίου και του Σουνίου και στα Λεγραινά τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες.

Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο πληθυσμός της Δημοτικής Ενότητας Λαυρεωτικής ανέρχεται στους 9611 κατοίκους. Μακροπρόθεσμα πιθανολογείται ότι ο πληθυσμός θα παραμείνει στάσιμος ή ενδεχομένως και να μειωθεί ανάλογα με την διάρκεια και την ένταση της περιόδου αποβιομηχάνισης και ανεργίας, η οποία αναγκάζει τους κατοίκους του Λαυρίου να μετακινηθεί προσωρινά η και μόνιμα εκτός Λαυρίου προκειμένου να εξασφαλίσουν εργασιακή απασχόληση.

Η κύρια απασχόληση των μόνιμων κατοίκων στης Δημοτικής Κοινότητας είναι οι τουριστικές επιχειρήσεις αναψυχής καθώς και οι αγροτικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο}
Διαχείριση Υδατικών Αναγκών και Υγρών Αποβλήτων

6.1 Εισαγωγή

Το νερό είναι το αγαθό εκείνο το οποίο χρησιμοποιείται όχι μόνο για πόση αλλά και για την καθαριότητα, την βιομηχανία, την βιοτεχνία, την γεωργία, την κτηνοτροφία και για άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η κατανάλωση του νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διαβίωσης του πληθυσμού και από το είδος της περιοχής η οποία πρόκειται να τροφοδοτηθεί, δηλαδή αν πρόκειται για βιομηχανικούς η αγροτικούς οικισμούς. Οι αγροτικοί οικισμοί έχουν γενικά μικρότερες ανάγκες ενώ οι βιομηχανικές περιοχές, τα προάστια και οι λουτροπόλεις εμφανίζουν σημαντικότερες ανάγκες (Martz G. 1971).

Στην περίπτωση του Λαυρίου, η περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως λουτρόπολη με βιοτεχνικές, αγροτικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες.

6.2 ΄Υδρευση-Οικιακές χρήσεις

Με βάση τις διατάξεις που δημοσιεύθηκαν στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως το 1991 (ΦΕΚ Β 174, σελ. 1373) οι καταναλώσεις νερού για κάθε κάτοικο κυμαίνεται από 100 λίτρα έως 200 λίτρα ανά κάτοικο και ημέρα. Παράλληλα το συγκεκριμένο ΦΕΚ παρουσιάζει αναλυτικά σε πίνακα τα όρια των καταναλώσεων και για τις τουριστικές και άλλες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε μία περιοχή.

Για τον υπολογισμό των αναγκών της περιοχής λαμβάνεται υπ' όψην η μέγιστη δυνατή κατανάλωση. Συνεπώς με δεδομένο ότι ο πληθυσμός του Λαυρίου ανέρχεται στους 9611 κατοίκους, η ετήσια ανάγκη για ύδρευση της περιοχής υπολογίζεται σε περίπου 701603000 λίτρα. Δηλαδή, προσεγγίζει τα 7017000 m^3.

Στην περιοχή όμως υπάρχουν χώροι εστίασης και ξενοδοχειακές μονάδες που αυξάνουν τις απαιτήσεις σε νερό ύδρευσης. Σύμφωνα με τα στοιχεία της περιοχής υπάρχουν τουλάχιστον 18 εστιατόρια – ταβέρνες και 8 ξενοδοχεία και ξενώνες. Αν συμπεριληφθούν και οι δημόσιες υπηρεσίες, το κέντρο υγείας και τα σχολεία της περιοχής τότε η συνολική ανάγκη για πόσιμο νερό φτάνει τα **$7{,}8 \times 10^6\ m^3$.**

Πίνακας 6.1 Βιομηχανικές και βιοτεχνικές ανάγκες (Martz, 1971)

Είδος επιχείρησης	Ανάγκες σε l/day
Εργαστήριο μπύρας ανά 100 l μπύρας	1000 έως 2000
Γαλακτοπαραγωγικές εγκαταστάσεις ανά 100l γάλακτος	400 έως 800
Πλυντήρια ρούχων ανά kg ρούχων	30 έως 50
Σφαγεία, ανά κεφαλή μεγάλου ζώου	300 έως 400
Εστιατόρια ανά πελάτη	15 έως 20
Ξενοδοχεία ανά κρεβάτι	300 έως 600
Πλυντήρια αυτοκινήτων ανά μικρό ή μεγάλο αυτοκίνητο	200 έως 300

Πίνακας 6.2 Καταναλώσεις δημόσιας χρήσεως (Martz, 1971)

Καταναλωτής	Ανάγκες σε l/day
Σχολεία ανά μαθητή	20 έως 50
Στρατώνες ανά άτομο	200 έως 400
Νοσοκομεία ανά κλίνη	400 έως 1000
Κτήρια διοικήσεως ανά υπάλληλο	40 έως 60
Λουτρά ανά λουτήρα	300 έως 500
Κεντρικές αγορές ανά m^2	3 έως 5
Καθαρισμός δρόμων ανά m^2	0,1 έως 2

6.3 Αγροτικές Δραστηριότητες

Με βάση τα στοιχεία από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία για τις γεωργικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός του Δημοτικού Διαμερίσματος το 2010, προκύπτει ο πίνακας 1 του παραρτήματος ο οποίος παρουσιάζει ποσοτικοποιημένα τα αγροτικά και γεωργικά προϊόντα που παράγονται στην περιοχή του Δήμου Λαυρεωτικής.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι αν και η συνολική έκταση των εν δυνάμει καλλιεργήσιμων χωραφιών ανέρχεται σε 2962 στρέμματα, το 2010 καλλιεργήθηκαν μόλις τα 1047 στρέμματα. Στον πίνακα 6.3. παρουσιάζεται σε ποσοστά τοις εκατό η φυτοκάλυψη του 2010.

Πίνακας 6.3.: Ποσοστά κάλυψης από τα είδη καλλιεργειών

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΙΔΟΥΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ (%)
Αγγούρια	5	0,4775549
Αμπέλια	40	3,8204394
Αρακάς	25	2,3877746
Βίκος	100	9,5510984
Βρώμη	150	14,326648
Δενδρώδης	53	5,0620821
Ελαιόδεντρα	430	41,069723
Κολοκυθάκια	10	0,9551098
Κουνουπίδια	5	0,4775549
Κριθάρι	150	14,326648
Λάχανα	5	0,4775549
Μαρούλια	15	1,4326648
Πατάτες	3	0,286533
Σιτάρι	20	1,9102197
Σπανάκι	15	1,4326648
Τομάτες	13	1,2416428
Φασολάκια	5	0,4775549

Για τον υπολογισμό των αναγκών σε αρδευτικό νερό θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Blaney – Criddle. Βασικά στοιχεία για την μέθοδο αυτή είναι το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται η περιοχή μελέτης μας, η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις ανά μήνα στην περιοχή, η καλλιεργούμενη έκταση, καθώς και το ποσοστό της καταλαμβανόμενης έκτασης από το κάθε είδος φυτού.

Κατ’ αρχήν θα πρέπει να σημειωθεί ότι η καθαρή απαίτηση των καλλιεργειών σε αρδευτικό νερό καθ’ έκαστο μήνα ισούται με την διαφορά μεταξύ της αναγκαίας καταναλώσεως και της βροχοπτώσεως του αντίστοιχου μήνα. Όταν η μηνιαία βροχόπτωση υπερβαίνει την αντίστοιχη αναγκαία κατανάλωση, τότε δεν απαιτείται άρδευση και η επιπλέον βροχόπτωση θεωρείται ότι χάνεται χωρίς να συνεισφέρει για την κάλυψη των αναγκών σε νερό κατά τον επόμενο μήνα.

Επιπλέον η μέση μηνιαία Καθαρή απαίτηση σε αρδευτικό νερό του πλέον απαιτητικού μήνα πρέπει να αυξηθεί κατά ποσοστό 30% περίπου για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών των καλλιεργειών κατά το θερμότερο και ξηρότερο έτος.

Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι μέρος της παροχετευόμενης από το δίκτυο ποσότητας νερού χάνεται λόγω εξατμίσεων και διηθήσεων εντός των αρδευτικών καναλιών, λόγω επιφανειακής απορροής και βαθειάς διήθησης εντός των αγρών καθώς και για λόγους οι οποίοι σχετίζονται με την λειτουργία του αρδευτικού συστήματος.

Για την κάλυψη των απωλειών αυτών η καθαρή απαίτηση σε αρδευτικό νερό πρέπει να αυξηθεί κατά ποσοστό το οποίο εξαρτάται από όλους τους παράγοντες οι οποίοι συντελούν στις ανωτέρω απώλειες νερού. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν το είδος και την κατάσταση των αγωγών μεταφοράς και διανομής του αρδευτικού νερού, την προπαρασκευή των γαιών για άρδευση, την χρησιμοποιούμενη μέθοδο άρδευσης και την πείρα των αρδευτών και, τέλος, το εφαρμοζόμενο πρόγραμμα διανομής του νερού στα αγροκτήματα.

Από τους ανωτέρω παράγοντες καθορίζεται ο συνολικός Βαθμός αποδόσεως του αρδευτικού συστήματος $E_δ$, που ισοδυναμεί με το ποσοστό της παροχετευόμενης ποσότητας νερού το οποίο τελικώς αποθηκεύεται μέσα στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών προς χρήση από τα φυτά. Για συνήθεις μεθόδους επιφανειακής αρδεύσεως και μέσα σε συνθήκες εδάφους, ο επιτυγχανόμενος Βαθμός αποδόσεως κατά την εφαρμογή του νερού $E_α$ δεν υπερβαίνει συνήθως την τιμή $E_α$=0,70 ο δε βαθμός αποδόσεως του αρδευτικού συστήματος την τιμή $E_δ$=0,60 (αναφερόμενος στην συνολική παροχετευόμενη ποσότητα νερού). Συνεπώς το ποσοστό αύξησης της Καθαρής απαίτησης για την κάλυψη των διαφόρων απωλειών είναι πρέπει να είναι ίσο προς $(1/E_δ - 1)$που σημαίνει για $E_δ$=0,60 το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 67% περίπου.

Στην περίπτωση του Δήμου Λαυρεωτικής, ο οποίος βρίσκεται σε β. γεωγραφικό πλάτος 41° με εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου προσδιορίζεται ο απαιτούμενος όγκος νερό για τις καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή (Πίνακας 6.4).

Πίνακας 6.4.: Απαιτούμενος όγκος νερού ανά είδος καλλιέργειας.

Αμπέλια							
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0,45	62,39304	42,00415
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,6	106,09523	98,073
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,7	138,92407	135,0907
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0,7	150,05722	147,9461
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0,7	139,09049	136,0016
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0,7	112,68673	104,3978
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0,6	78,605288	30,78307
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0,35	35,40456	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	60292,71
Αραβόσιτος		(Βρώμη, Βίκος)					
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0	0	0
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,12	21,219045	13,19682
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,4	79,38518	75,55185
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0,6	128,62047	126,5094
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0,62	123,19443	120,1055
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0,45	72,441471	64,15258
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	216837,4

Δενδρώδη		(Αμυγδαλιές, Λεμονιές, Πορτοκαλιές)					
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0,27	23,101493	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0,34	29,402617	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0,4	45,909094	18,63132
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0,46	63,779552	43,39066
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,5	88,412688	80,39047
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,53	105,18536	101,352
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0,54	115,75843	113,6473
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0,54	107,29838	104,2095
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0,52	83,710144	75,42126
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0,48	62,88423	15,06201
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0,43	43,497031	4,363698
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0,3	26,33922	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	64028,9
Ελαιόδεντρα							
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0	0	0
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,35	61,888882	53,86666
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,75	148,84721	145,0139
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	1,15	246,52257	244,4115
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0,7	139,09049	136,0016
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0,35	56,343366	48,05448
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	585648,2

Κριθάρι							
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0,32	27,379548	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0,6	51,886971	1,831415
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0,98	112,47728	85,1995
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	1,08	149,7433	129,3544
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,45	79,571419	71,5492
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0	0	0
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0	0	0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0	0	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0	0	0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	93765,88
Λαχανικά		(Αγγουράκια, Αρακάς, Κολοκυθάκια, Κουνουπίδια, Λάχανα, Μαρούλια, Σπανάκι, Φασολάκια, Λοιπά)					
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0,23	31,889776	11,50089
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,49	86,644434	78,62221
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,67	132,97018	129,1368
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0,78	167,20661	165,0955
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0,78	154,98654	151,8977
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0,64	103,02787	94,73898
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0,4	52,403525	4,581303
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	114525,9

Πατάτες							
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	Ρ	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0,45	62,39304	42,00415
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,8	141,4603	133,4381
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,95	188,5398	184,7065
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0,9	192,93071	190,8196
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0	0	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0	0	0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	3588,457
Σιτάρι							
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Τ [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ Ρ [mm]	Ρ	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0,2	17,112217	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0,4	34,591314	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0,8	91,818189	64,54041
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	1,1	152,51632	132,1274
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,6	106,09523	98,073
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0	0	0
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0	0	0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0	0	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0	0	0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	12797,65

Τομάτες							
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ T [°c]	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ P [mm]	P	f	k	u	u'
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,2	48,2	6,69	85,56109	0	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,5	50,06	6,69	86,47829	0	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,4	27,28	8,32	114,7727	0	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16	20,39	8,98	138,6512	0	0	0
ΜΑΙΟΣ	20,6	8,02	10,08	176,8254	0,41	72,498404	64,47618
ΙΟΥΝΙΟΣ	25	3,83	10,15	198,463	0,74	146,86258	143,0292
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,8	2,11	10,29	214,3675	0,93	199,36173	197,2506
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,6	3,09	9,58	198,7007	0,98	194,72668	191,6378
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,3	8,29	8,37	160,981	0,89	143,27313	134,9842
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,3	47,82	7,73	131,0088	0	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,4	39,13	6,67	101,1559	0	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12	47,74	6,45	87,7974	0	0	0
						Συνολικός όγκος [m^3]	20641,68

Συνεπώς, ο συνολικός ετήσιος όγκος αρδευτικού νερού που χρειάζεται η περιοχή του Δήμου Λαυρεωτικής για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών είναι 1172127 m^3 δηλαδή περίπου **$1{,}2 \times 10^6\ m^3$** .

6.3 Κτηνοτροφία

Με βάση τα στοιχεία από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία για τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός του Δήμου Λαυρεωτικής το 2010, προκύπτει ο Πίνακας 2 του παραρτήματος, ο οποίος παρουσιάζει ποσοτικοποιημένα την κτηνοτροφική δραστηριότητα της περιοχής.

Η κατανάλωση πόσιμου νερού από τα ζώα επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες είναι:

1) Το είδος και το σωματικό βάρος του ζώου: Επειδή η πέψη και η απορρόφηση των προϊόντων της προϋποθέτει την παρουσία νερού. Υπολογίζεται ότι ανά kg καταναλισκόμενης ξηράς ουσίας οι ανάγκες σε νερό είναι κατά την απλή συντήρηση περίπου 1,5 lt για τους χοίρους, τα πρόβατα και τα πτηνά, 2 lt, για το μόνοπλα (άλογα κ.τ.λ.) και 3,5lt για τα βοοειδή. Οι ποσότητες αυτές περιορίζονται ανάλογα, όταν το ζώο καταναλώνει μεγάλες ποσότητα χλωρών ή υδαρών ζωοτροφών.

2) Το είδος και το ύψος παραγωγής: οι ανάγκες των ζώων σε νερό αυξάνονται ανάλογα με την ποσότητα του παραγόμενου γάλακτος και το ύψος της ωοτοκίας, δεδομένου ότι το γάλα περιέχει ανάλογα με το είδος 80-90% νερό και τα αυγά κατά μέσο όρο 68%. Για τον λόγο αυτό και παρόλο ότι αυξανόμενης της παραγωγής αυξάνεται και η κατανάλωση ξηράς ουσίας, οι ανάγκες των παραγωγικών ζώων σε πόσιμο νερό είναι πολύ υψηλότερες από τις αντιστοιχούσες στην καταναλισκόμενη ξηρά ουσία και υπολογίζεται 2,5-3,0 lt για τους χοίρους, τα πρόβατα και τα πτηνά, 3,5 lt για τις αίγες και τις φοράδες και μέχρι 6,0 lt για τις αγελάδες ανά kg καταναλισκόμενης ξηράς ουσίας.
3) Το είδος των τελικών προϊόντων του καταβολισμού των πρωτεϊνών: Στα θηλαστικά τελικό προϊόν είναι κυρίως η ουρία η οποία, επειδή σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξική για τα κύτταρα, αποβάλλεται ως αραιό υδατικό διάλυμα με τα ούρα. Για τον λόγο αυτό, όσο πλουσιότερο είναι το σιτηρέσιο σε πρωτεΐνη τόσο περισσότερη και η ποσότητα των αποβαλλόμενων ούρων και μεγαλύτερες οι ανάγκες του ζώου σε πόσιμο νερό. Στα πτηνά τελικό προϊόν αποτελεί το ελάχιστα υδροδιαλυτό ουρικό οξύ και γι' αυτό τα ούρα των πτηνών είναι πυκνά και λίγα και οι ανάγκες σε νερό αναλογικά είναι μικρότερες.
4) Η περιεκτικότητα της τροφής σε υδροδιαλυτά άλατα: Επειδή τα άλατα αυτά και ιδίως εκείνα του καλίου (K) και του νατρίου (Na) αυξάνουν την ωσμωτική πίεση του αίματος, το ζώο, για να αποκαταστήσει την ισοτονία, αυξάνει την κατανάλωση νερού και, παράλληλα, την αποβολή ηλεκτρολυτών με την κόπρο και τα ούρα.
5) Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος: Υπό θερμοκρασίες περιβάλλοντος ανώτερη της ουδέτερης ζώνης κάθε είδους, στην οποία η θερμοκρασία του σώματος του ζώου διατηρείται σταθερή, τα ζώα αποβάλουν την πλεονάζουσα ζωική θερμότητα είτε με την εφίδρωση και εξάτμιση του ιδρώτα (κυρίως μόνοπλα και βοοειδή), είτε υπό μορφή υδρατμών από το αναπνευστικό σύστημα (λοιπά είδη ζώων), παράλληλα δε αυξάνουν την κατανάλωση πόσιμου νερού για να υποβιβάσουν την θερμοκρασία του σώματος

Επειδή για τους αναφερθέντες λόγους η ημερήσια κατανάλωση πόσιμου νερού δεν είναι σταθερή, τα ζώα πρέπει να έχουν στην διάθεση τους νερό ώστε να πίνουν όσο και όταν κατά περίπτωση χρειάζονται. Υπολογίζεται, λοιπόν, γενικά ότι ανάλογα με την φυσιολογική κατάσταση των ζώων και υπό κανονικές συνθήκες εκτροφής και διατροφής, η ημερήσια κατανάλωση πόσιμου νερού

ανέρχεται σε 20-60 lt στα βοοειδή, 50-100 lt στις γαλακτοπαραγωγές αγελάδες, 20-85 lt στα άλογα, ανάλογα με την ένταση και την διάρκεια της εργασίας, 6-16 lt στους χοίρους και 12-25 lt στις χοιρομητέρες, 3-6 lt στα πρόβατα και, τέλος, 0,14-0,30 lt στα πτηνά ανάλογα με την ηλικία τους και το ρυθμό ωοτοκίας.

Πίνακας 6.5: Συνολική μέγιστη κατανάλωση πόσιμου νερού

ΕΙΔΟΣ ΖΩΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΖΩΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΝΕΡΟ (lt)
Αίγες	108	6	648
Άλογο	3	85	255
Αρνιά	490	6	2940
Κατσίκια	39	6	234
Όνοι	22	85	1870
Όρνιθες	700	0,3	210
Πουλερικά	1000	0,3	300
Πρόβατα	59155	6	354930
Χοίροι	230	16	3680
Χοιρομητέρες	0	25	0
ΣΥΝΟΛΟ	61747		365067

Από τον πίνακα 6.9. προκύπτει ότι με τα στοιχεία του 2010 η μέγιστη ανάγκη για πόσιμο νερό ανά ημέρα για την κτηνοτροφία είναι περίπου 365067lt, 365,067 m^3. Συνεπώς οι ημερήσιες απαιτήσεις των κτηνοτρόφων για την εκτροφή των ζώων τους από το σύστημα ύδρευσης είναι περίπου 400 m^3. Δεδομένου ότι το δίκτυο κατασκευάζεται με σκοπό την κάλυψη και μελλοντικών αναγκών, θα έπρεπε να κατασκευαστεί με παροχή 500 m^3/ημέρα. Αυτό σημαίνει ότι η ετήσια παροχή του δικτύου θα έπρεπε να είναι 182500 m^3 ή αλλιώς **$0{,}18\times10^6$ m^3.**

6.4 Κόστος των αναγκών σε νερό

Από τις παραπάνω ανάγκες, στην περιοχή του Δήμου Λαυρεωτικής οι αγροτικές καλύπτονται από γεωτρήσεις, εκμεταλλευόμενοι τα υπόγεια αποθέματα νερού που βρίσκονται στους υδροφορείς της περιοχής.

Οι υπόλοιπες ανάγκες, δηλαδή οι ανάγκες για πόσιμο νερό τόσο για τους κατοίκους της περιοχής όσο και για τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες, καλύπτονται από το σύστημα ύδρευσης της ΔΕΥΑΤΗΛ. Το κόστος για το κάθε κυβικό μέτρο νερού είναι

1,39€. Έτσι το συνολικό ετήσιο κόστος για την ύδρευση της περιοχής του Δήμου Λαυρεωτικής ανέρχεται σε **11120000€.**

6.5 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων στο Λαύριο

[κύρια βιβλιογραφική πηγή: Ανδρεάδης Ι. (2006)]

Ο Βιολογικός Καθαρισμός ή αλλιώς η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων έχει ως στόχο την εξυγίανση και τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, είτε αυτά είναι αστικά είτε βιομηχανικά.

Το σύστημα της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στο Λαύριο είναι, ο παρατεταμένος αερισμός με τη μέθοδο Bio-Denitro και αποτελεί παραλλαγή του συστήματος της ενεργού ιλύος. Μη έχοντας πρωτοβάθμια καθίζηση, με χρόνο παραμονής στερεών στην δεξαμενή αερισμού 25 – 30 ημέρες, πετυχαίνεται σε ποσοστό πάνω από 98 %, βιολογική απομάκρυνση αζώτου και στερεών, με αρκετά καλή σταθεροποιημένη ιλύ στην αφυδάτωση.

Η εκροή της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων του Λαυρίου, αφού υποστεί χλωρίωση, καταλήγει μέσω υποθαλάσσιου αγωγού (σε βάθος 35 μέτρων) στον υδάτινο αποδέκτη.

Το αποχετευτικό δίκτυο της πόλης του Λαυρίου συνδέθηκε με την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) τον Αύγουστο του 2006 (1^{η} σύνδεση – 1ο σπίτι 26/8/06). Μέχρι τότε η ΕΕΛ Λαυρίου λειτουργούσε αποκλειστικά με βοθρολύματα (καθώς δεν είχε ολοκληρωθεί το έργο της αποχέτευσης). Το υπάρχον έργο επεξεργασίας επεξεργάζεται και διαθέτει στον θαλάσσιο αποδέκτη περίπου λύματα ισοδύναμου πληθυσμού 8.000 κατοίκων (καθώς έχει συνδεθεί περίπου το 70 % της πόλης του Λαυρίου) και περίπου 2.000 m^3 από βοθρολύματα ημερησίως. Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Λαυρίου βρίσκεται στο στάδιο της επέκτασης καθώς η μέγιστη δυναμικότητά της είναι μικρή σε σχέση με τα φορτία που δέχεται καθημερινά (η παροχή σχεδιασμού ήταν 1,720 m^3/d). Στην πράξη όμως, η ΕΕΛ δέχεται πολύ περισσότερα λύματα από όσο θα έπρεπε, παρόλα αυτά η ποιότητα εκροής είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Το σύστημα έτσι όπως αρχικά σχεδιάστηκε και λειτούργησε, παρέπεμπε σε ένα τυπικό σύστημα Ενεργού Ιλύος με μέθοδο επεξεργασίας των λυμάτων την χημική κατακρήμνιση (πρωτοβάθμια καθίζηση με χρήση κροκιδωτικών) και βιολογική

επεξεργασία με την μέθοδο αερισμού. Έτσι επιτυγχάνεται απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (BOD, COD) και επιτυγχάνεται νιτροποίηση – απονιτροποίηση (απομάκρυνση αμμωνίας και νιτρικών ή αζώτου γενικότερα). Η προσθήκη κροκιδωτικών (στάδιο της κροκίδωσης, χημική κατακρήμνιση) έχει σαν σκοπό να επιταχύνει την καθίζηση των στερεών και να απομακρυνθούν ως πρωτοβάθμια ιλύς. Για να επιτευχθεί σταθεροποίηση της πρωτοβάθμιας ιλύος υπάρχει ένας αερόβιος χωνευτής και στην συνέχεια αναμιγνύεται η σταθεροποιημένη πλέον πρωτοβάθμια ιλύς με την ιλύ από την δευτεροβάθμια καθίζηση και οδηγούνται σε έναν παχυντή βαρύτητας πριν φτάσουν στην αφυδάτωση. Όμως το σύστημα έδειξε ότι λειτουργεί καλύτερα με την μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού (παραλλαγή του συστήματος της Ενεργού Ιλύος). Έτσι λοιπόν παρακάμφθηκε η πρωτοβάθμια καθίζηση με αποτέλεσμα να μείνουν ανενεργές 2 δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης και ο αερόβιος χωνευτής.

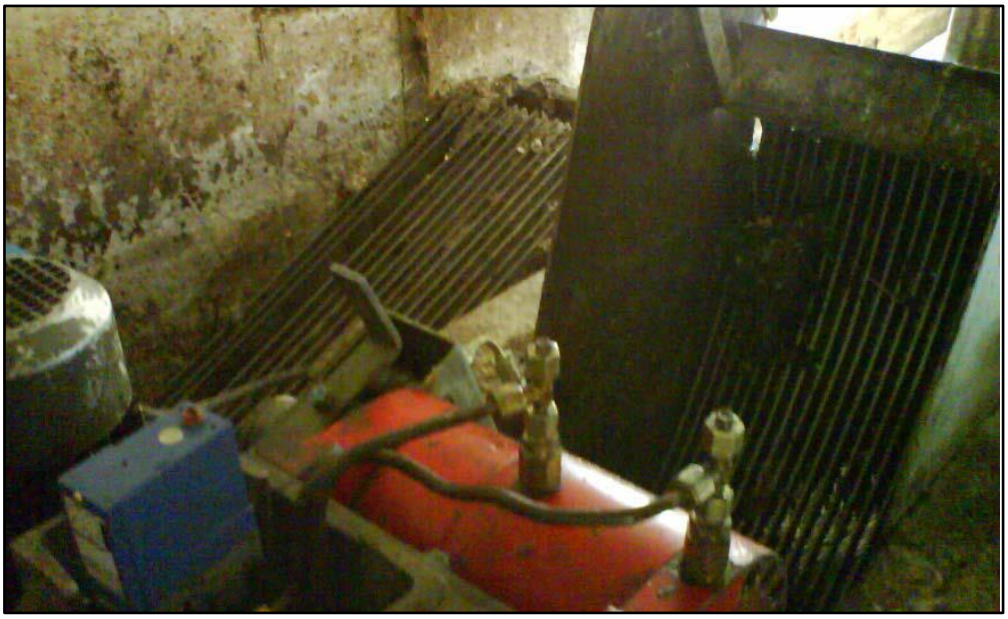
Εικόνα 6.1: Αερόβιος χωνευτής (Ανδρεάδης, 2006).

Εικόνα 6.2:Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (Ανδρεάδης, 2006).

Η ιλύς πλέον με χρόνο παραμονής στερεών περίπου τις 35 ημέρες στην δεξαμενή αερισμού, θεωρείται πλήρως σταθεροποιημένη. Έτσι λοιπόν, το σύστημα της ΕΕΛ Λαυρίου είναι, «Παρατεταμένος Αερισμός με την μέθοδο BIO-DENITRO» (ο όρος Bio-Denitro εξηγείται στη συνέχεια). Στην συνέχεια γίνεται η περιγραφή των επιμέρους σταδίων επεξεργασίας της ΕΕΛ.

Στην είσοδο της εγκατάστασης βρίσκεται ο χώρος εκκένωσης των βυτιοφόρων. Ο χώρος είναι διαμορφωμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να πραγματοποιείται άνετα η διακίνηση των βυτιοφόρων τα οποία καταγράφονται στην είσοδο από το κτίριο υποδοχής. Υπάρχουν τρία στόμια εκκένωσης (το ένα εφεδρικό) και τα λύματα διοχετεύονται μέσω αγωγού στο στάδιο της προεπεξεργασίας.

Οι μονάδες του σταδίου προεπεξεργασίας είναι στεγασμένες σε κτίριο που εξαερίζεται μηχανικά κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για τους εργαζόμενους σε αυτό. Τα λύματα αρχικά, φθάνουν στο φρεάτιο άφιξης και περνούν με φυσική ροή από την εσχάρωση. Η εσχάρωση αποτελείται από μία αυτόματη υδραυλική τοξωτή εσχάρα με 20 mm ανοίγματα και μία απλή χειροκίνητη παρακαμπτήρια εσχάρα. Σε περίπτωση βλάβης ή έμφραξης της αυτόματης εσχάρας τα λύματα υπερχειλίζουν μόνα τους στο κανάλι της απλής εσχάρας. Τα εσχαρίσματα συλλέγονται σε κοχλιόπρεσσα όπου συμπιέζονται και στραγγίζονται στο 50 % του αρχικού τους όγκου και από εκεί εκκενώνονται σε δοχεία αποθήκευσης προς αποκομιδή.

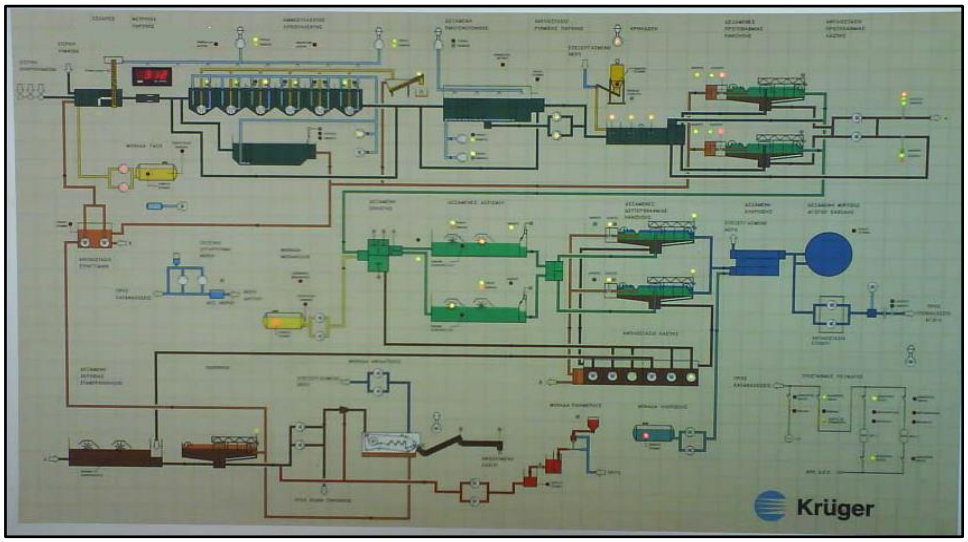


Εικόνα 6.3: Εσχάρες (αριστερά η χειροκίνητη και δεξιά η μηχανοκίνητη). (Ανδρεάδης,2006).

Μετά την εσχάρωση τα λύματα περνούν σε κανάλι τύπου Parshall για την μέτρηση της παροχής ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται έλεγχος της στάθμης στην εσχάρα. Εν συνεχεία, τα λύματα περνούν στην δεξαμενή εξάμμωσης – λιποσυλλογής - αφαίρεσης θειούχων.

Ο εξαμμωτής, απομονώνεται με θυρόφραγμα και είναι αεριζόμενος. Ο χρόνος παραμονής των λυμάτων είναι τέτοιος ώστε η ταχύτητα μέσα στον εξαμμωτή να μην υπερβαίνει τα 0.3 m/sec, ταχύτητα κατά την οποία καθιζάνουν άμμος, χαλίκια και άλλα ανόργανα στερεά μεγέθους άνω των 0.2 mm. Η άμμος καθιζάνει στον πυθμένα, απ' όπου αντλείται και απομακρύνεται με αεραντλίες ετεροχρονισμένης λειτουργίας προς των διαχωριστή άμμου και από κει καταλήγει σε δοχείο αποθήκευσης άμμου προς αποκομιδή.

Παράλληλα με τον εξαμμωτή, δημιουργείται κανάλι ηρεμίας της ροής για την επίπλευση των λιπών (λιποσυλλέκτης), τα οποία συλλέγονται με τη βοήθεια ηλεκτροκίνητου υπερχειλιστή του οποίου ο περιοδικός υποβιβασμός συγκεντρώνει λίπη ανάμικτα με υγρά σε παράπλευρο φρεάτιο απ' όπου στραγγίζονται τα υγρά και τα λίπη αφαιρούνται προς αποκομιδή. Ταυτόχρονα με την εξάμμωση, αφαιρούνται τα θειούχα με κατακρήμνιση προσθέτοντας χλωριούχο θειικό σίδηρο ανάντη του διαύλου Parshall. Στην είσοδο του εξαμμωτή, υπάρχει αυτόματος μετρητής ph για την αποφυγή αποδοχής τυχόν ακατάλληλων αποβλήτων (για παράδειγμα βιομηχανικά απόβλητα) στην είσοδο της εγκατάστασης. Τέλος να σημειωθεί ότι, στους κλειστούς χώρους των εσχαρών και του εξαμμωτή υπάρχουν αυτόματοι μετρητές υδρόθειου και μεθανίου για την ασφάλεια των εργαζομένων.



Εικόνα 6.4: Πίνακας Ελέγχου Ε.Ε.Λ. Λαυρίου (Ανδρεάδης, 2006).

Μετά την προεπεξεργασία τα λύματα κατευθύνονται προς την δεξαμενή ομογενοποίησης, όπου παραμένουν αεριζόμενα (για την αποφυγή τυχόν αναερόβιων συνθηκών), για να ομογενοποιηθούν (λόγω της διαφορετικής ποιότητας που μπορούν να έχουν τα βοθρολύματα) αλλά και για εξισορροπηθεί η παροχή. Η δεξαμενή ομογενοποίησης έχει όγκο 800 m3. Έπειτα με τη χρήση κατάλληλου αντλιοστασίου, διοχετεύεται με σταθερή παροχή προς τα υπόλοιπα στάδια επεξεργασίας της εγκατάστασης. Το πρόβλημα με την παροχή υπήρχε κυρίως κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της ΕΕΛ, όπου τα φορτία ήταν πολύ μικρά και δεν έπεφταν ομοιόμορφα κατά την διάρκεια της ημέρας μέσα στην εγκατάσταση. Τώρα πλέον κάτι τέτοιο έχει εξαλειφθεί.

Εικόνα 6.5: Δεξαμενή Ομογενοποίησης (Ανδρεάδης,2006).

Ο αερισμός της δεξαμενής γίνεται από ζεύγος φυσητήρων (ο ένας εφεδρικός, με δυναμικότητα κάθε φυσητήρα 1.200 m3/hr) και διαχυτήρες χοντρής φυσαλίδας στη δεξαμενή. Οι φυσητήρες είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο προεπεξεργασίας. Στη δεξαμενή υπάρχουν επίσης, αυτόματοι μετρητές υδρόθειου και μεθανίου για την ασφάλεια των εργαζομένων.

Σε επαφή με την δεξαμενή ομογενοποίησης βρίσκεται το αντλιοστάσιο ρύθμισης παροχής με το οποίο καταθλίβονται τα λύματα με σταθερή παροχή προς τα υπόλοιπα στάδια επεξεργασίας. Η σταθερότητα της παροχής – ανεξαρτήτου στάθμης στη δεξαμενή, επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο αντλιών θετικής εκτόπισης (η μία εφεδρική, με δυναμικότητα κάθε αντλίας 72 m3/hr). Οι αντλίες λειτουργούν αυτόματα και κατ’ εναλλαγή ελεγχόμενες από χρονοδιακόπτες. Μόνο μία αντλία λειτουργεί τη φορά. Επίσης, προστατεύονται από λειτουργία εν κενώ με ηλεκτρόδια στάθμης στη δεξαμενή ομογενοποίησης.

Τα λύματα από το αντλιοστάσιο ρύθμισης παροχής κατευθύνονται στο στάδιο της κροκίδωσης όπου γίνεται προσθήκη χημικών (υδράσβεστος) και λαμβάνει χώρα η κροκίδωση των στερεών. Η μονάδα κροκίδωσης αποτελείται από μία δεξαμενή ανάμιξης και μία δεξαμενή κροκίδωσης αποτελούμενη από δύο διαμερίσματα (με χρόνο παραμονής 26 min). Τα χημικά προστίθενται στα λύματα στη δεξαμενή ανάμιξης (με χρόνο παραμονής τα 12,5 sec) και αναμιγνύονται με αυτά με τη βοήθεια ενός γρήγορα περιστρεφόμενου βυθισμένου αναμικτήρα με φτερωτή.

Εικόνα 6.6: Μονάδα κροκκίδωσης (Ανδρεάδης,2006).

Προσθέτοντας υδράσβεστο στα λύματα, τα αιωρούμενα στερεά και τα κολλοειδή σωματίδια σχηματίζουν συσσωματώματα λάσπης που καθιζάνουν στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (αλλά αφού έχει καταργηθεί η πρωτοβάθμια καθίζηση, έχει παρακαμφθεί και η κροκίδωση καθώς τα λύματα διέρχονται από κει χωρίς όμως πλέον καμία προσθήκη χημικών). Για τον βέλτιστο σχηματισμό των συσσωματωμάτων, τα στερεά διατηρούνται σε αιώρηση στα δύο διαμερίσματα με τη βοήθεια δύο αργόστροφων αναδευτήρων.

Ο αναμικτήρας στη δεξαμενή ανάμιξης και οι δύο αναδευτήρες στις δεξαμενές κροκίδωσης ελέγχονται τοπικά και λειτουργούν συνεχώς. Η δοσομέτρηση του ασβέστη ελέγχεται με σήματα από το αντλιοστάσιο ρύθμισης παροχής.

Πολλές φορές στις εγκαταστάσεις που λειτουργούν με σύστημα ενεργού ιλύος δημιουργούνται συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη νηματοειδών βακτηριδίων

(filamentous) τα οποία προκαλούν φαινόμενα όπως η διόγκωση της λάσπης ή του αφρισμού της λάσπης και έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων των ρυπαντών στην εκροή (για παράδειγμα αυξημένα στερεά στην έξοδο). Έχει αποδειχθεί ότι ο κίνδυνος ανάπτυξης νηματοειδών βακτηριδίων μειώνεται εφόσον κατασκευαστεί μία αναερόβια δεξαμενή πριν τις δεξαμενές αερισμού στην οποία αναμιγνύεται η ανακυκλοφορούσα λάσπη με τα λύματα.

Εικόνα 6.7: Δεξαμενή επιλογής (Ανδρεάδης,2006).

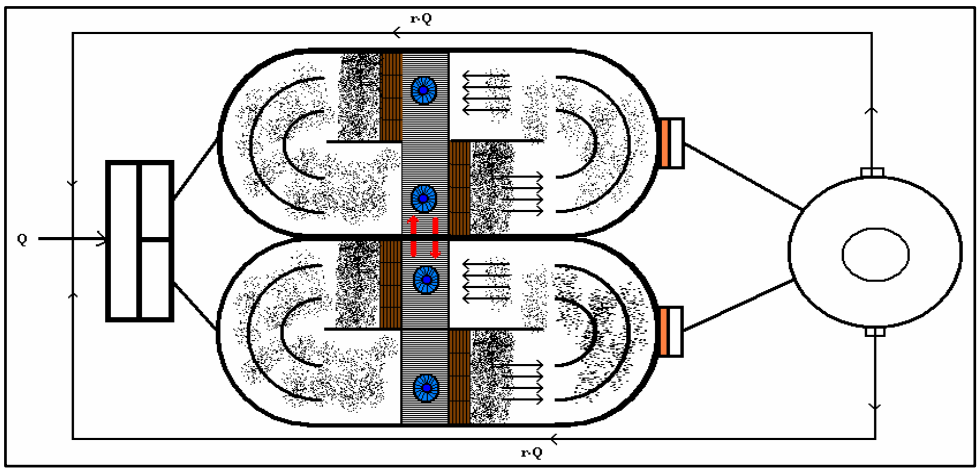
Από την δεξαμενή επιλογής τα λύματα και η λάσπη που ανακυκλοφορεί, οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής ΙΙ που βρίσκεται σ' επαφή με τη δεξαμενή και το οποίο είναι εφοδιασμένο με αυτόματα κινούμενο οριζόντια διανομέα που διανέμει τα λύματα στις δύο δεξαμενές αερισμού.

Η λειτουργία του μηχανικού διανομέα επιτρέπει την εισροή λυμάτων σε μία μόνο από τις δεξαμενές αερισμού κάθε φορά, έτσι ώστε η ροή των λυμάτων να μπορεί να ελεγχθεί όπως επιβάλει η μέθοδος Bio-Denitro.

Στις δεξαμενές αερισμού πραγματοποιείται η διεργασία καθαρισμού των αποβλήτων. Εδώ οι οργανικές ουσίες και το άζωτο που περιέχονται στα λύματα αποσυντίθενται βιολογικά από αερόβιους μικροοργανισμούς που καταναλώνουν οξυγόνο (μέθοδος ενεργού ιλύος).

Ο ειδικός τρόπος λειτουργίας της εγκατάστασης (που καλείται διαδικασία Bio-Denitro) εξασφαλίζει μία ελεγχόμενη βιολογική αποσύνθεση των νιτρικών (απονιτροποίηση) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Εκτός από την μέθοδο λειτουργίας Bio-Denitro είναι εξίσου δυνατή η λειτουργία των δεξαμενών αερισμού ως 2 ανεξάρτητες παράλληλες δεξαμενές.

Για τη διατήρηση στη ζωή και την αναπαραγωγή των μ/ο της ενεργού ιλύος είναι απαραίτητη η παρουσία τροφής και οξυγόνου. Τα απόβλητα που τροφοδοτούν την εγκατάσταση αποτελούν πηγή τροφής για τους μ/ο, ενώ το απαραίτητο οξυγόνο διοχετεύεται στα απόβλητα από κατάλληλους αεριστήρες, που παράλληλα προκαλούν ανάμιξη των αποβλήτων. Ο αερισμός εξασφαλίζει την παρουσία ικανής συγκέντρωσης οξυγόνου και την ικανοποιητική ανάμιξη για να έρχονται σε επαφή οι μικροοργανισμοί με τις ρυπαντικές ουσίες των αποβλήτων (τροφή).



Εικόνα 6.8: Κάτοψη της δεξαμενής αερισμού σε σκαρίφημα (Ανδρεάδης,2006).

Οι δύο δεξαμενές αερισμού είναι εξοπλισμένες με δύο επιφανειακούς αεριστήρες τύπου βούρτσα η καθεμία. Ο προσφερόμενος εξοπλισμός και η διάταξη της δεξαμενής επιτυγχάνει την επαρκή οξυγόνωση και ανάδευση των λυμάτων χωρίς τη δημιουργία νεκρών ζωνών ανάμιξης.

Ο αερισμός και η διάταξη των αεριστήρων, η γεωμετρία των δεξαμενών και η σχετική τοποθέτησή τους έχει υπολογιστεί έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση μεταφοράς οξυγόνου στο υγρό. Η ρύθμιση της οξυγόνωσης γίνεται με τη βοήθεια οξυγονομέτρων, στις δεξαμενές αερισμού και η στάση / εκκίνηση των ροτόρων γίνεται αυτόματα. Τα υπερχειλιζόμενα λύματα από τις δεξαμενές αερισμού οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής ΙΙΙ και από εκεί κατανέμονται στις δύο δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Ο λόγος της ημερήσιας ποσότητας της τροφής που περιέχεται στα λύματα και εκφράζεται ως kg BOD/d προς τη ποσότητα (kg SS) των μ/ο (ενεργός ιλύς) στις δεξαμενές αερισμού καλείται λόγος F:M. Η βιολογική διεργασία έχει σχεδιαστεί για λόγο F:M = 0,094 και μεγάλους χρόνους αερισμού. Έτσι, εξασφαλίζεται ένας υψηλός βαθμός καθαρισμού.

Τα απόβλητα στις δεξαμενές αερισμού έχουν υδραυλικό χρόνο παραμονής 46 hr, χρόνος ικανός για τον καθαρισμό τους, αλλά και για τη σταθεροποίηση της λάσπης. Σταθεροποίηση της λάσπης σημαίνει σχεδόν πλήρης αποσύνθεση των οργανικών συστατικών της. Για να γίνει πλήρης σταθεροποίηση της λάσπης καθίσταται αναγκαίος ο διαχωρισμός των καθαρισμένων από την ενεργό ιλύ, η οποία επιστρέφει στις δεξαμενές αερισμού για να μείνει εκεί μέχρι να σταθεροποιηθεί πλήρως.

Εικόνα 6.9: Δεξαμενή αερισμού σε τέλεια λειτουργία(Ανδρεάδης,2006).

Ο διαχωρισμός των μ/ο (ενεργός ιλύς) από τα καθαρισμένα απόβλητα γίνεται στις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Η λάσπη που καθιζάνει επιστρέφει μες τις αντλίες ανακυκλοφορίας στη δεξαμενή επιλογής όπου και αναμιγνύεται με τα εισερχόμενα λύματα και διοχετεύεται στις δεξαμενές αερισμού. Επειδή οι μ/ο αναπαράγονται και πολλαπλασιάζονται συνέχεια, είναι αναγκαία σε συνεχή βάση, η απομάκρυνση μιας ποσότητας λάσπης ίσης με την ποσότητα της καθαρής αύξησης των μ/ο. Η ποσότητα αυτή των μ/ο μαζί με τα οργανικά στερεά που δεν αποσυντίθενται και τα ανόργανα στερεά των αποβλήτων (που επίσης δεν αποσυντίθενται βιολογικά) αποτελούν την γνωστή «περίσσεια» λάσπης.

Ο σχεδιασμός και εξοπλισμός της εγκατάστασης έχει γίνει έτσι ώστε η λειτουργία της να είναι σύμφωνη με τη διεργασία Bio-Denitro, δηλ. για βιολογική απομάκρυνση αζώτου. Η βιολογική απομάκρυνση αζώτου στις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος γίνεται συνήθως με μία διαδικασία δύο σταδίων. Στο 1ο στάδιο, η αμμωνία οξειδώνεται σε

νιτρικά (νιτροποίηση) και στο 2ο στάδιο, τα νιτρικά μετατρέπονται με μια άλλη βιολογική διεργασία (απονιτροποίηση) σε αέριο άζωτο (ελεύθερο άζωτο).

Το άζωτο που περιέχεται στη μάζα των λυμάτων που εισρέουν στην εγκατάσταση επεξεργασίας βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνίας ή οργανικών ενώσεων. Η απομάκρυνση της αμμωνίας πραγματοποιείται, όπως προαναφέραμε, με την διεργασία της νιτροποίησης κάτω από την επίδραση ενός ειδικού είδους μικροοργανισμών (νιτροποιητές). Οι νιτροποιητές είναι παρόντες στις δεξαμενές αερισμού όταν η ηλικία της λάσπης είναι μεγαλύτερη από περίπου 8 ημέρες τον Χειμώνα και 5 ημέρες το Καλοκαίρι και όταν δεν υπάρχουν ουσίες που εμποδίζουν την ανάπτυξή τους. Σε αερόβιες συνθήκες (περίσσεια οξυγόνου) οι μ/ο αυτοί είναι ικανοί να οξειδώσουν το αμμωνιακό άζωτο (NH3-N) σε νιτρικό άζωτο (NO3-N) απομακρύνοντας έτσι την αμμωνία από τα απόβλητα. Οι αερόβιες συνθήκες επιτυγχάνονται με τη λειτουργία των αεριστήρων στη δεξαμενή που είναι επιθυμητή η νιτροποίηση. Η νιτροποίηση πραγματοποιείται παράλληλα με την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (BOD). Ο αερόβιος λόγος F:M που είναι ίσος με 0,15 kg BOD/kg SS·d εξασφαλίζει την πραγματοποίηση της νιτροποίησης. Επειδή η κατανάλωση οξυγόνου στη νιτροποίηση είναι περίπου 40 % μεγαλύτερης εκείνης για την απομάκρυνση του BOD και για τον ενδογενή μεταβολισμό, είναι πολύ σημαντικό να επαρκεί η διατιθέμενη ποσότητα οξυγόνου.

Η απομάκρυνση των νιτρικών πραγματοποιείται με ένα άλλο είδος μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος που χρησιμοποιούν το νιτρικό άζωτο ως πηγή οξυγόνου, ανάγοντας έτσι το νιτρικό άζωτο σε αέριο άζωτο που εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Για να πραγματοποιηθεί η διεργασία αυτή είναι απαραίτητο η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου να είναι περίπου μηδέν (ανοξικές συνθήκες) και να υπάρχει διαθέσιμη πηγή οργανικού άνθρακα. Στη διαδικασία Bio-Denitro τα εισερχόμενα απόβλητα χρησιμοποιούνται ως πηγή άνθρακα και οι ανοξικές συνθήκες επιτυγχάνονται με τη λειτουργία των ροτόρων σε χαμηλές στροφές περιστροφής οι οποίοι διατηρούν την ενεργό ιλύ σε αιώρηση χωρίς όμως να διοχετεύουν οξυγόνο στο ανάμικτο υγρό. Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται στις δεξαμενές αερισμού, όπου εισέρχονται τα απόβλητα με κατάλληλη ρύθμιση των υπερχειλιστών εισροής και εκροής.

Τα απόβλητα διέρχονται και από τις δύο δεξαμενές αερισμού, των δύο γραμμών βιολογικής επεξεργασίας επειδή η διεργασία Bio-Denitro βασίζεται στην περιοδική επιβολή διαφορετικών συνθηκών στις δύο δεξαμενές αερισμού. Η διέλευση μεταξύ

των δεξαμενών Α και Β πραγματοποιείται από τη μία προς την άλλη διαμέσου ανοίγματος στο κοινό τοίχωμα (Εικ.6.11., κόκκινα βέλη). Η διεύθυνση της ροής των λυμάτων καθορίζεται από τον διανομέα και τους υπερχειλιστές εκροής στις δεξαμενές αερισμού. Πάντα υπάρχει εκροή μόνο από τη μία δεξαμενή αερισμού για την οποία ο υπερχειλιστής εκροής είναι κλειστός.

Εικόνα 6.10: Υπερχειλιστές εκροής (ένας ανοιχτός και ο άλλος κλειστός). (Ανδρεάδης,2006).

Η πραγματοποίηση της διεργασίας της απονιτροποίησης απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενώσεων άνθρακα (BOD) σε σχέση με την ποσότητα του αζώτου, έτσι ώστε ο λόγος ενώσεων C:N να είναι μεγαλύτερος από 3.8. Στην παρούσα εγκατάσταση επειδή αρχικά δεν επιτυγχανόταν τέτοιος λόγος, γινόταν προσθήκη μεθανόλης.

Η δεξαμενή αποθήκευσης μεθανόλης βρίσκεται θαμμένη σε εξωτερικό χώρο και οι δοσομετρικές αντλίες βρίσκονται τοποθετημένες σε ιδιαίτερο κτίριο με αντιεκρηκτικές προδιαγραφές. Οι δοσομετρικές αντλίες (εκ των οποίων η μία εφεδρική), ελέγχονται με σύστημα αυτοματισμού που δέχεται σήμα από το αντλιοστάσιο ρύθμισης παροχής. Η προσθήκη γίνεται στη δεξαμενή επιλογής. Στον υπαίθριο χώρο πάνω από τη δεξαμενή και στο κτίριο βρίσκονται τοποθετημένοι αυτόματοι μετρητές μεθανόλης για την ασφάλεια των εργαζομένων.

Ο έλεγχος της διεργασίας γίνεται με τη ρύθμιση:

- Της στάσης / εκκίνησης και ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής των ροτόρων
- Της βύθισής τους και
- Της θέσης των υπερχειλιστών εισροής / εκροής στις δεξαμενές αερισμού

Με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος Bio-Denitro, που βρίσκεται στον κύριο πίνακα ελέγχου. Επίσης, τα σήματα από τα όργανα που αναφέρθηκαν προηγουμένως καταγράφονται στον πίνακα ελέγχου.

Εικόνα 6.11: Δωμάτιο ελέγχου από τον οποίο γίνεται αυτόματα η ρύθμιση και ο έλεγχος των διεργασιών της εγκατάστασης μέσω των προγραμμάτων PLC και Η/Υ εξοπλισμένου με σύστημα SCADA. (Ανδρεάδης,2006).

Με το πρόγραμμα Bio-Denitro ρυθμίζεται η στάση / εκκίνηση των ροτόρων και η βύθισή τους στη δεξαμενή αερισμού με βάση τη συγκέντρωση του οξυγόνου που μετριέται στις δεξαμενές. Σε περίπτωση χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου στη δεξαμενή οι αεριστήρες λειτουργούν συνεχώς και μόνο όταν υπάρχουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου γίνονται διακοπές στη λειτουργία τους. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας καθόσον αποδίδεται στο σύστημα τόσο οξυγόνο όσο ακριβώς απαιτείται, ενώ παράλληλα αποφεύγεται η φθορά των αεριστήρων.

Τα καθαρισμένα απόβλητα από τις δεξαμενές αερισμού οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής ΙΙΙ από όπου ισοκατανέμονται στις δύο δεξαμενές τελικής καθίζησης από τους δύο υπερχειλιστές. Με την τοποθέτηση ξυλοσανίδων υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης οποιαδήποτε από τις δεξαμενές καθίζησης. Οι υπερχειλιστές αποτελούνται από δύο ρυθμιζόμενες μεταλλικές πλάκες.

Στο φρεάτιο έχει επίσης τοποθετηθεί και αυτόματος μετρητής αιωρούμενων στερεών, το σήμα του οποίου καταγράφεται στον κεντρικό πίνακα ελέγχου.

Τα λύματα εισάγονται στο κέντρο κάθε δεξαμενής από μία ειδική διάταξη εισροής, που αναστρέφει τη ροή των λυμάτων και περιορίζει τη κινητική τους ενέργεια. Επειδή η ταχύτητα ροής των λυμάτων στη δεξαμενή είναι πολύ μικρή, η λάσπη καθιζάνει. Τα καθαρισμένα λύματα οδηγούνται προς την περιφέρεια της δεξαμενής, όπου

υπερχειλίζουν προς το περιφερειακό κανάλι εκροής απαλλαγμένα από τα στερεά και καταλήγουν έπειτα στο φρεάτιο εκροής, που βρίσκεται στην περιφέρεια της δεξαμενής. Από κει, οδηγούνται στη δεξαμενή χλωρίωσης. Τα επιπλέοντα στερεά ανέρχονται στην επιφάνεια, απ' όπου κατακρατούνται από τα πετάσματα αφρού που βρίσκονται στην περιφέρεια της δεξαμενής.

Εικόνα 6.12: Δεξαμενές Τελικής Καθίζησης (Ανδρεάδης,2006).

Το κυκλικό ξέστρο συγκεντρώνει τα στερεά που καθιζάνουν προς τον κώνο συλλογής, που βρίσκεται στο κέντρο της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, απ' όπου ένας σωλήνας μεταφέρει τη λάσπη προς το αντλιοστάσιο βιολογικής λάσπης. Πάνω στο ξέστρο είναι τοποθετημένη μία λεπίδα αφρών, με την οποία οδηγούνται τα επιπλέοντα στερεά και οι αφροί προς τα πετάσματα αφρών που βρίσκονται τοποθετημένα στην περιφέρεια της δεξαμενής και από κει καταλήγουν στη χοάνη συλλογής αφρών. Αυτή χαμηλώνει και το νερό που υπερχειλίζει μεταφέρει τα επιπλέοντα και τον αφρό προς το φρεάτιο αφρού. Το ξέστρο ρυθμίζεται επί τόπου και λειτουργεί συνέχεια.

Από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης, τα καθαρισμένα λύματα οδηγούνται στη δεξαμενή χλωρίωσης με σκοπό να μειωθεί στο ελάχιστο ο αριθμός των παθογόνων μ/ο. Στον θάλαμο εισόδου της δεξαμενής χλωρίωσης προστίθεται διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου και εξασφαλίζεται η ικανοποιητική ανάμιξη νερού-χλωρίου.

Εικόνα 6.13: Δεξαμενή χλωρίωσης (Ανδρεάδης,2006).

Οι δοσομετρικές αντλίες χλωρίου βρίσκονται στο κτίριο αφυδάτωσης. Η συγκέντρωση του χλωρίου στη δεξαμενή χλωρίωσης είναι γύρω στα 0.3 mg/lt με μέγιστη συγκέντρωση τα 0.60 mg/lt. Ο εξοπλισμός έχει τη δυνατότητα να παρέχει επαρκείς δόσεις χλωρίου και για τη μέγιστη παροχή. Οι δοσομετρικές αντλίες του χλωρίου ελέγχονται με σύστημα αυτοματισμού που δέχεται σήματα από τις αντλίες ρύθμισης παροχής και το ηλεκτρόδιο μέτρησης υπολειμματικού χλωρίου. Η ποσότητα του χλωρίου υπολογίζεται από τον χρόνο λειτουργίας των αντλιών και τη δυναμικότητά τους.

Η δεξαμενή φόρτισης- διάθεσης δέχεται τα επεξεργασμένα λύματα πριν την διάθεσή τους με τον αγωγό εκβολής. Ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενή είναι 307 m^3, στο σημείο όπου ανοίγει αυτόματα το καλπέ διάθεσης, ενώ υπάρχει ακόμη περιθώριο 100 m^3 σε περίπτωση υπερχείλισης ανάγκης.

Η παράκαμψη της δεξαμενής είναι δυνατή μέσω συστήματος φρεατίων, ενώ υπάρχει και σύστημα ανίχνευσης στάθμης που δίνει οπτικοακουστικά σήμα στο κτίριο διοίκησης σε περιπτώσεις υπέρβασης των επιτρεπόμενων ορίων.

Το αντλιοστάσιο διάθεσης, αποτελείται από δύο αντλίες (η μία εφεδρική) με δυναμικότητα 360 m^3/hr. Οι αντλίες αναρροφούν τα επεξεργασμένα λύματα από τη δεξαμενή φόρτισης και τα καταθλίβουν με τη βοήθεια καταθλιπτικού αγωγού (αγωγός μεταφοράς) στο φρεάτιο κατάληξης, από όπου με φυσική ροή διατίθενται στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού. Η αυτόματη λειτουργία του αντλιοστασίου διακόπτεται κατά προτεραιότητα όταν η στάθμη στο φρεάτιο κατάληξης που καταθλίβει, φτάσει στην ανώτατη τιμή (υπερχείλιση). Για την προστασία από υδραυλικό πλήγμα, υπάρχει υπαίθριο αεροφυλάκιο

.Ο αγωγός μεταφοράς, διοχετεύει τα επεξεργασμένα λύματα από το αντλιοστάσιο διάθεσης της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (παροχής 100 lt/sec) μέχρι το φρεάτιο κατάληξης στη θέση Βρυσάκι σε υψόμετρο, περίπου + 60 m. Ο αγωγός είναι κατασκευασμένος από πιεστικές σωλήνες σκληρού χλωριούχου πολυβινυλίου χωρίς πλαστικοποιητικό (σκληρό PVC 100) εξωτερικής διαμέτρου Φ 400 και πίεσης λειτουργίας 16 atm. Ο καταθλιπτικός αγωγός (Φ 400) έχει μήκος, περίπου 120 m και παροχή 100 lt/sec.

Ο υποθαλάσσιος αγωγός, έχει μήκος περίπου 240 m και καταλήγει σε βάθος – 35 m. Ο υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης λυμάτων, είναι κατασκευασμένος από σωλήνες υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE) εξωτερικής διαμέτρου Φ 355 και

ονομαστικής πίεσης λειτουργίας 6 atm. Το κατάντη τμήμα του αγωγού μήκους 30 m διαμορφώνεται σε διαχυτήρα που φέρει 4 κατακόρυφα επιστόμια ανά 10 m. Τα επιστόμια είναι κατασκευασμένα από σωλήνες υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE) ονομαστικής πιέσεως 6 atm και εξωτερικής διαμέτρου Φ 125 mm πλην του τελευταίου (προς τα κατάντη) επιστομίου που είναι κατασκευασμένο από σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου Φ 140 mm. Η παροχή και αυτού του αγωγού είναι 100 lt/sec.

Εικόνα 6.14: Σπάσιμο υποθαλάσσιου αγωγού (Ανδρεάδης, 2006).

Μέσω του αντλιοστασίου της λάσπης, μέρος της καθιζάνουσας δευτεροβάθμιας λάσπης στις δεξαμενές καθίζησης αντλείται πίσω στις δεξαμενές αερισμού ως ανακυκλοφορούσα λάσπη και το υπόλοιπο αντλείται στον παχυντή ως περίσσεια λάσπη. Από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης, η λάσπη μεταφέρεται δια βαρύτητας στο αντλιοστάσιο λάσπης. Το αντλιοστάσιο λάσπης αποτελείται από δύο υγρούς θαλάμους, έκαστος των οποίων εξυπηρετεί την αντίστοιχη δεξαμενή καθίζησης και είναι εφοδιασμένο με 4 αντλίες ανακυκλοφορίας και δύο αντλίες περίσσειας λάσπης.

Η ανακυκλοφορία μιας επαρκούς ποσότητας καθιζάνουσας λάσπης είναι απαραίτητη αφ’ ενός για να αποφευχθεί η συσσώρευσή της στις δεξαμενές καθίζησης και αφετέρου για να εξασφαλιστεί μία ικανοποιητική ποσότητα ενεργού ιλύος στις δεξαμενές αερισμού για την αποσύνθεση των οργανικών υλών των ανεπεξέργαστων λυμάτων. Η ποσότητα της ανακυκλοφορούσας λάσπης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των λυμάτων. Και επειδή το μεγαλύτερο μέρος των λυμάτων που επεξεργάζεται η εγκατάσταση είναι βοθρολύματα (δηλ. λύματα που αλλάζει συνεχώς η σύστασή τους), αλλάζει πολύ συχνά και η ποιότητα της ιλύος.

Για να διατηρηθεί σε σταθερό επίπεδο η συγκέντρωση της ενεργού ιλύος στις δεξαμενές αερισμού, ένα μέρος της λάσπης από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης αντλείται στον παχυντή ως περίσσεια λάσπης.

Η λειτουργία των αντλιών ανακυκλοφορίας και περίσσειας λάσπης ελέγχεται από χρονοδιακόπτες.

Στον παχυντή βαρύτητας καταλήγει η περίσσεια λάσπης της βιολογικής επεξεργασίας. Στον παχυντή η περίσσεια λάσπη καθιζάνει δια βαρύτητας. Μία αργά κινούμενη διάταξη ανάδευσης / σάρωσης εξασφαλίζει το βέλτιστο βαθμό ανάδευσης. Η λάσπη εισέρχεται στη δεξαμενή μέσω ειδικής διάταξης εισόδου με την οποία αντιστρέφεται η ροή λάσπης και μειώνεται η ταχύτητά της. Τα στερεά καθιζάνουν στο πυθμένα της δεξαμενής και το υπερκείμενο υγρό υπερχειλίζει και μέσω ενός υπερχειλιστή που βρίσκεται στην περιφέρεια της δεξαμενής, οδηγείται δια βαρύτητας στο αντλιοστάσιο στραγγιδίων. Ο σαρωτής πυθμένα εξασφαλίζει τη μεταφορά της λάσπης που έχει καθιζήσει στο θάλαμο λάσπης στο κέντρο της δεξαμενής. Ο σαρωτής ελέγχεται επί τόπου και λειτουργεί συνεχώς.

Εικόνα 6.15: Παχυντής Βαρύτητας (Ανδρεάδης, 2006).

Από τον παχυντή βαρύτητας, η λάσπη αντλείται στην ταινιοφιλτρόπρεσσα όπου αφυδατώνεται μεταξύ 2 ταινιών από περίπου 4 % ποσοστό στερεών (που έχει η παχυμένη ιλύς) σε περίπου 18 % ποσοστό στερεών στην αφυδατωμένη πλέον ιλύ. Η λάσπη αντλείται με δύο (η μία εφεδρική) αντλίες θετικής εκτόπισης. Η παροχή της κάθε αντλίας είναι μεταβαλλόμενη μέσω ηλεκτρομειωτήρα με ρυθμιζόμενη περιοχή στροφών έτσι ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση της προστιθέμενης ποσότητας λάσπης ανάλογα με τις ικανότητες αφυδάτωσης της λάσπης.

Για να αφυδατωθεί η λάσπη αναμιγνύεται με πολυμερές πριν αντληθεί στην πρέσσα. Το πολυμερές αποθηκεύεται σε σάκους των 50 kg και αναρροφάται στο δοχείο διάλυσης, όπου διαλύεται σε νερό με μηχανική διάταξη ανάδευσης. Από τη δεξαμενή αυτή το πολυμερές αφού ωριμάσει προστίθεται στη λάσπη με τη βοήθεια δύο αντλιών (εκ των οποίων η μία εφεδρική), μέσα σε έναν ειδικό αναμικτήρα για ανάμιξη της λάσπης και πολυμερούς πριν η λάσπη οδηγηθεί στην πρέσσα.

Η βασική λειτουργία της πρέσσας περιλαμβάνει δύο φάσεις:

- Τη φάση της στράγγισης κατά την οποία το μίγμα (πολυμερούς - λάσπης) τοποθετείται σε μια οριζόντια φιλτροταινία που κινείται αργά και είναι πλεκτή από NYLON. Μια σειρά από πλαστικές προεξοχές κατανέμουν το μίγμα ομοιόμορφα πάνω στη ταινία ώστε να δημιουργηθεί ένα ομοιόπαχο στρώμα. Καθώς η ταινία γυρίζει αργά, το νερό στραγγίζει μέσα από τα κενά της φιλτροταινίας.
- Η φάση της συμπίεσης κατά την οποία το μίγμα εγκλείεται σε δύο φιλτροταινίες και συμπιέζεται ανάμεσα σε περιστρεφόμενα ράουλα κάτω από αυξανόμενη πίεση.

Η αφυδατωμένη λάσπη οδηγείται με σύστημα ελικοειδών μεταφορέων στον στεγασμένο χώρο αποθήκευσης, δίπλα στο κτίριο αφυδάτωσης. Από τον χώρο αποθήκευσης η λάσπη μεταφέρεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα στο χώρο απόθεσης με τη βοήθεια ιδιωτικού φορτηγού.

Η φιλτροταινία της πρέσσας καθαρίζεται συνεχώς με επεξεργασμένα λύματα μέσω δύο αντλιών νερού έκπλυσης. Τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται από τη δεξαμενή χλωρίωσης στην υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης βιομηχανικού νερού κάτω από το κτίριο αφυδάτωσης.

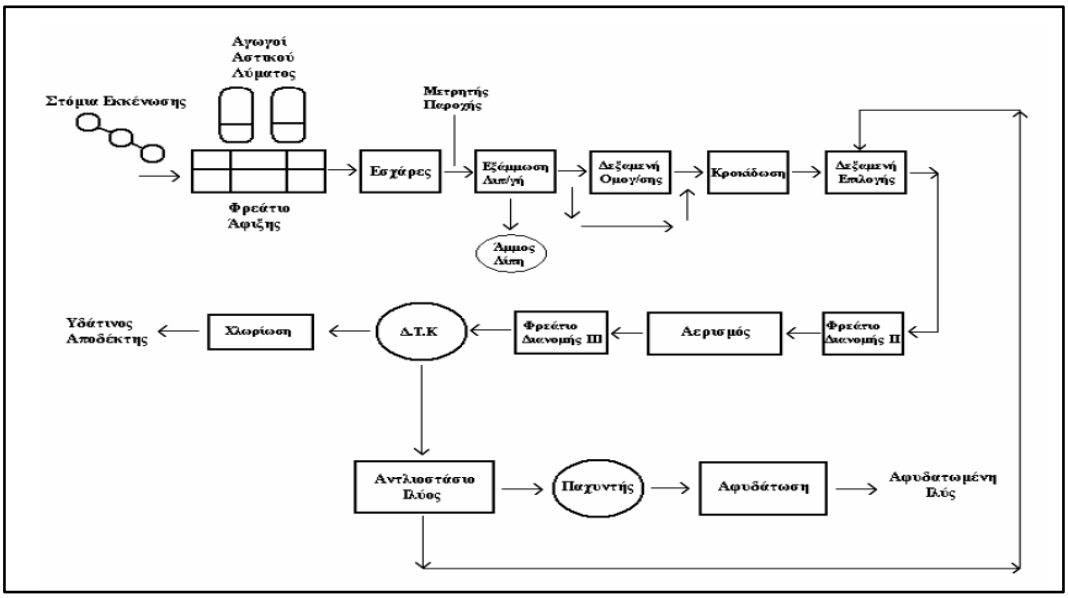
Σε περίπτωση βλάβης της ταινιοφιλτρόπρεσσας, ή σε περίοδο υπερφόρτωσης της εγκατάστασης με λύματα, η αφυδάτωση της παχυμένης ιλύος γίνεται στην κλίνη ξήρανσης. Η παχυμένη λάσπη οδηγείται με άντληση προς τη θέση πουν βρίσκεται η κλίνη ξήρανσης. Η κλίνη είναι εξοπλισμένη με χειροκίνητη βάνα και αγωγό για την ισοκατανομή της παχυμένης λάσπης σε όλη την επιφάνεια. Σε κανένα τμήμα της κλίνης δεν πρέπει να γίνει τροφοδότηση με νέα λάσπη, εάν πρώτα δεν έχει αφυδατωθεί και απομακρυνθεί η λάσπη που υπήρχε ήδη στο τμήμα αυτό.

Τα στραγγίδια από τη ξήρανση της λάσπης οδηγούνται στο αντλιοστάσιο στραγγιδίων. Για να διευκολυνθεί η απομάκρυνση της ξηραμένης λάσπης από την κλίνη, στο εμπρόσθιο μέρος της κλίνης υπάρχουν ελαφρές κινητές ξύλινες θυρίδες. Για την εκκένωση της κλίνης οι θυρίδες απομακρύνονται ώστε να γίνεται εύκολα η απομάκρυνση της λάσπης με ένα μηχανικό φορτωτή.

Εικόνα 6.16: Κλίνη ξήρανσης (Ανδρεάδης, 2006).

Τα στραγγίδια από την προεπεξεργασία, τον παχυντή, την μηχανική αφυδάτωση, την κλίνη ξήρανσης, τα λύματα από τις εγκαταστάσεις υγιεινής και το νερό από τα φρεάτια αφρού, οδηγούνται δια βαρύτητας στο αντλιοστάσιο στραγγιδίων απ' όπου αντλούνται προς τα κανάλια εσχάρων. Η λειτουργία των αντλιών ελέγχεται από αισθητήρα στάθμης.

Τέλος, στο γράφημα που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά τα επιμέρους στάδια επεξεργασίας της ΕΕΛ.



Εικόνα 6.17: Διάγραμμα ροής (Ανδρεάδης, 2006).

Όσον αφορά το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο διάθεσης λυμάτων, η Κοινοτική Οδηγία 91/271/ΕΟΚ αναφέρεται στις απαιτήσεις εκροής από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων και κάνει διάκριση μεταξύ «ευαίσθητων» και «λιγότερο ευαίσθητων» περιοχών. Στις ευαίσθητες περιοχές πέραν της αφαίρεσης οργανικού φορτίου, προβλέπει και την απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών (άζωτο και φώσφορος). Η ΕΕΛ Λαυρίου έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να

πραγματοποιείται βιολογική απομάκρυνση αζώτου και έχει προβλεφθεί μελλοντικά να γίνεται και απομάκρυνση φωσφόρου.

Για την περίπτωση του Λαυρίου, όπου ο ισοδύναμος πληθυσμός κυμαίνεται μεταξύ 10.000 και 100.000 κατοίκων, η Κοινοτική Οδηγία προδιαγράφει τις παρακάτω απαιτήσεις:

Πίνακας 6.6: Όρια Εκροής του ΕΕΛ Λαυρίου

Παράμετρος	Συγκέντρωση*
BOD_5	25 mg/lt
COD	125 mg/lt
SS	35 mg/lt
Ολικός P**	2 mg/lt
Ολικό N**	15 mg/lt

* Ο έλεγχος γίνεται με 24ωρα δείγματα ανάλογα της παροχής και ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων είναι 12 δείγματα ανά έτος για ισοδύναμο πληθυσμό από 10.000 έως 49.999. Ο ανώτατος αριθμός δειγμάτων που επιτρέπεται να αποκλίνουν από τα άνω όρια, ορίζεται σε 2 (17 %).

** Αναφέρονται στις χαρακτηρισμένες ως ευαίσθητες περιοχές. Ο υδάτινος αποδέκτης (ανοιχτή θάλασσα) δεν χαρακτηρίζεται ως ευαίσθητος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{Ο}
Αξιολόγηση Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού στην Περιοχή Μελέτης

7.1 Εισαγωγή

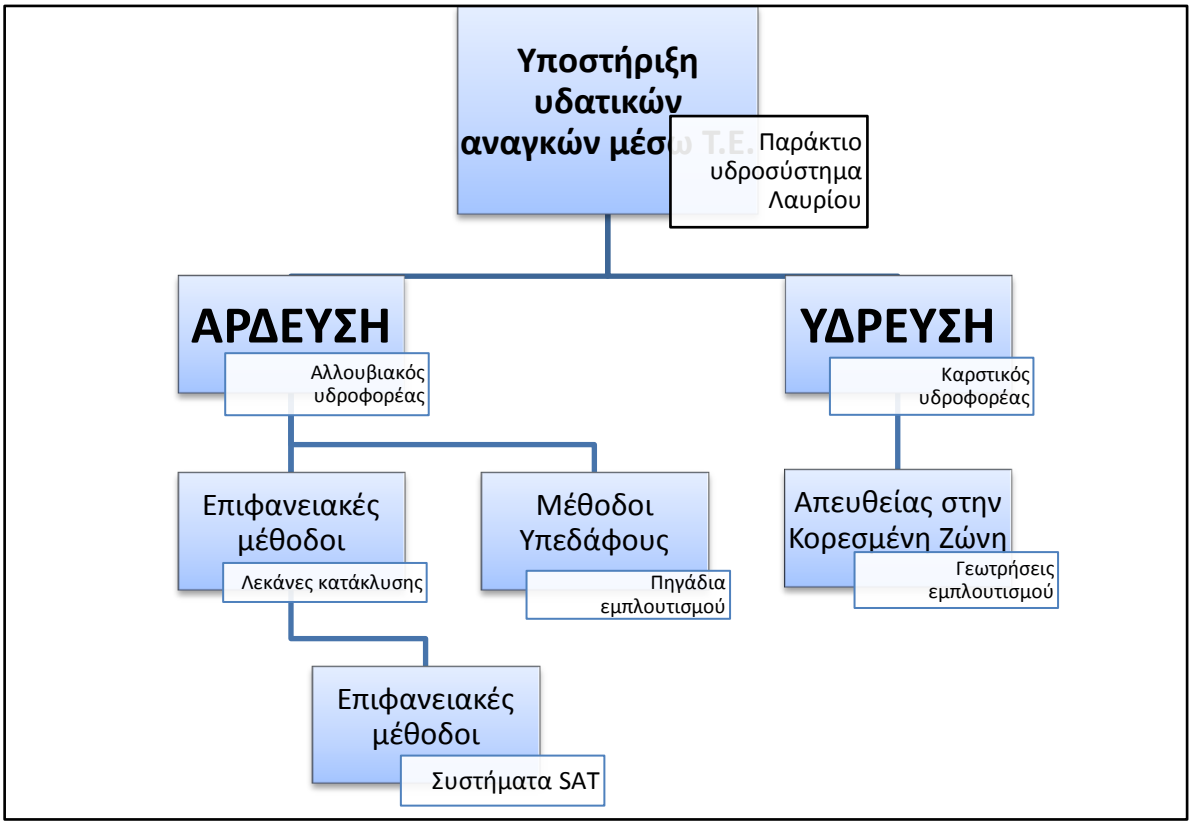
Οι επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανθρώπου και του φυσικού του περιβάλλοντος είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η κοινωνία σήμερα. Η ορθή αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού έγκειται στην επίτευξη του βέλτιστου εναρμονισμού της επιστημονικής και τεχνολογικής προόδου με τις διαδικασίες που συντελούνται στη βιόσφαιρα (Ανδρεαδάκης, 1986). Με γνώμονα, λοιπόν, την χρήση της τεχνολογίας του τεχνητού εμπλουτισμού, προτείνονται τρόποι εφαρμογής τις τεχνολογίας αυτής για την επιτυχή διαχείριση των αποθεμάτων νερού στο υπόγειο υδροφορέα της περιοχής του Δήμου Λαυρεωτικής.

Στην κεφάλαιο αυτό, έχοντας αναλύσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τεχνητού εμπλουτισμού καθώς και τις μεθόδους εφαρμογής του τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο θα αναλυθεί η επιλογή αλλά και η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού με βάση της απαιτήσεις και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (υδρολογικά, υδρογεωλογικά, γεωλογικά, χρήσεις γης, χρήσεις υπόγειων νερών) της περιοχής μελέτης. Η ανάλυση αυτή γίνεται μέσα από την περιγραφή και την παρουσίαση του τρόπου σχεδιασμού αλλά και των οικονομικών, νομικών και θεσμικών θεωρήσεων των έργων τεχνητού εμπλουτισμού.

Ένας από τους βασικούς στόχους της ανά χείρας μεταπτυχιακής διατριβής αποτελεί η διαχείριση και υποστήριξη των υδατικών αναγκών (αρδευτικών και υδρευτικών) της περιοχής του Λαυρίου, μέσω της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων της ΕΕΛ Λαυρίου της ΔΕΥΑΤΗΛ (Εικ. 7.1). Το είδος της υδατικής ανάγκης που πρόκειται να υποστηριχθεί αποτελεί τον αποκλειστικό παράγοντα για:

1. την επιλογή της μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού,
2. το είδος του παράκτιου υδροφορέα (αλλουβιακός ή καρστικός) που θα στοχεύσει ο Τ.Ε.
3. την ποιότητα του νερού εμπλουτισμού

Οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται από την εκμετάλλευση του ελεύθερου αλλουβιακού υδροφορέα, ο οποίος περιβάλλεται -και τροφοδοτείται- από σκληρά πετρώματα (σχιστόλιθοι και μάρμαρα). Για την προστασία αλλά και την ενίσχυση του υδροφορέα στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαχείρισης των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων του αλλουβιακού υδροφορέα προτείνεται η εφαρμογή επιφανειακού τεχνητού εμπλουτισμού. Δεδομένων των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου υδροφόρου στρώματος (σημαντικό πάχος ακόρεστης ζώνης -μεγαλύτερο των 15m στο προτεινόμενο οικόπεδο-) επιλέγεται η εφαρμογή της μεθόδου των συστημάτων Επεξεργασίας Εδάφους-Υδροφορέα (Soil Aquifer Treatment, SAT) μέσω λεκανών κατάκλυσης.



Εικόνα 7.1: Διάγραμμα διαχείρισης των υδατικών αναγκών μέσω τεχνητού εμπλουτισμού.

Οι υδρευτικές ανάγκες της περιοχής μέχρι τη δεκαετία του ’80 (απο το 1984 η πόλη εξυπηρετείται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε.), καλύπτονταν από τον καρστικό υδροφορέα της περιοχής (καρστικοποιημένα και κατακερματισμένα μάρμαρα) μέσω υδρευτικών γεωτρήσεων βόρεια της πόλης του Λαυρίου. Η αύξηση του πληθυσμού της πόλης του Λαυρίου, και κατά συνέπεια οι απολήψεις υπόγειου νερού από τον παράκτιο καρστικό υδροφορέα της περιοχής λόγω της αυξανόμενης ζήτησης, είχαν ως

αποτέλεσμα τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Το πρόβλημα της αλμύρισης του υδροφορέα κατέστησε το νερό ακατάλληλο για υδρευτική χρήση και έτσι εγκαταλείφθηκε αυτή η πηγή τροφοδοσίας. Λόγω της ύπαρξης παράκτιου καρστικού υδροφορέα ο οποίος βρίσκεται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης, η μέθοδος τεχνητού εμπλουτισμού που προκρίνεται είναι αυτή της απ' ευθείας έγχυσης, μέσω γεωτρήσεων εμπλουτισμού. Συνεχής εισαγωγή νερού εμπλουτισμού στη γειτνιάζουσα περιοχή με την ακτογραμμή θα δημιουργήσει υδραυλικό ύβωμα το οποίο θα λειτουργεί ως υδραυλικός φραγμός για την ανάσχεση του μετώπου της θαλάσσιας διείσδυσης.

Στις επόμενες παραγράφους, αναλύονται διεξοδικά τα οικονομο-τεχνικά χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων πιθανών μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού, με σκοπό την αξιολόγηση της βιωσιμότητας της εκάστοτε επιλογής.

7.2 Σχεδίαση συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού

Τα συστήματα κατείσδυσης για τον τεχνητό εμπλουτισμό των υπόγειων νερών ή τα συστήματα SAT για επεξεργασία και αποθήκευση νερών χαμηλής ποιότητας πρέπει να προσαρμόζονται στην υδρογεωλογία της περιοχής, την ποιότητα των νερών εμπλουτισμού και στο κλίμα. Γενικά, το βάθος των λεκανών απορροής πρέπει να είναι μικρότερο των 30 cm και οι λεκάνες θα πρέπει να είναι υδραυλικά ανεξάρτητες ώστε έκαστη να μπορεί να πλημμυρίζει, να αποξηραίνεται και να καθαρίζεται ανάλογα με το βέλτιστο πρόγραμμα. Οι διάφορες δομές στην είσοδο δεν πρέπει να προκαλούν διάβρωση του εδάφους η οποία επιφέρει απόφραξη στους πυθμένες των λεκανών (clogging). Οι περίοδοι ξηρασίας πρέπει να αρχίζουν πριν οι ρυθμοί κατείσδυσης φτάσουν σε χαμηλά επίπεδα έτσι ώστε η αποξήρανση να προκύπτει ως αποτέλεσμα φυσικής κατείσδυσης και να μην απαιτείται άντληση ή αποστράγγιση των λεκανών. Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπάρχει επαρκώς μεγάλος αριθμός λεκανών ώστε η λειτουργία τους να είναι ευπροσάρμοστη (εναλλαγή πλημμύρας, ξηρασίας και καθαρισμού), με ορισμένες λεκάνες σε ετοιμότητα/ αναμονή για τον έλεγχο μεγάλων ροών ή ροών κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλούς ρυθμούς κατείσδυσης. Οι ρυθμοί μπορεί να είναι χαμηλοί, για παράδειγμα, το χειμώνα, όταν το νερό είναι κρύο, η αποξήρανση είναι αργή και η ανάκτηση της κατείσδυσης είναι ημιτελής ή το καλοκαίρι οπότε τα άλγη και οι βιομεμβράνες στους πυθμένες αναπτύσσονται γρηγορότερα.

Όπου δεν υπάρχει εμπειρία στον τεχνητό εμπλουτισμό, απαιτείται επαρκής διερεύνηση του χώρου και επί τόπου δοκιμές με πιλοτικά ή δοκιμαστικά προγράμματα, ειδικά αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν επεξεργασμένα αστικά λύματα ή άλλα νερά υποβαθμισμένης ποιότητας. Τα αποτελέσματα αυτών των πιλοτικών προγραμμάτων χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για το σχεδιασμό αλλά και για να διαμορφωθούν τα κριτήρια για τη βέλτιστη λειτουργία ενός συστήματος σε πραγματική κλίμακα. Ακόμη όμως και όταν το σύστημα αυτό κατασκευαστεί και τεθεί σε λειτουργία, ενδέχεται να χρειαστεί μεγαλύτερος συντονισμός για να βελτιωθεί η απόδοσή του. Τέλος, τα συστήματα κατείσδυσης πρέπει να είναι υπό διαρκή παρακολούθηση ώστε να είναι δυνατή κάθε άμεση επέμβαση σε περίπτωση που παρουσιαστεί πρόβλημα.

Εάν τα συστήματα εμπλουτισμού με χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων δε σχεδιαστούν ή δεν υποστούν σωστή διαχείριση (για παράδειγμα, εάν δεν αποξηρανθούν ή καθαριστούν επαρκώς) ο ρυθμός κατείσδυσης θα μειωθεί και οι λεκάνες θα πληρωθούν χωρίς να υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος για την αποξήρανσή τους. Τέτοιες καταστάσεις προκαλούν επιπλέον μείωση στο ρυθμό κατείσδυσης ενώ τα λύματα συνεχίζουν να εισέρχονται και το βάθος του νερού στις λεκάνες αυξάνεται. Το γεγονός αυτό προκαλεί συμπίεση στο στρώμα απόφραξης και οδηγεί στην επιπλέον ανάπτυξη άλγεων στις λεκάνες, ενώ οι ρυθμοί κατείσδυσης μειώνονται επιπλέον έως ότου το όλο σύστημα τελικά να καθίσταται αναποτελεσματικό. Για να αποτραπεί αυτή η μείωση της αποτελεσματικότητας, θα πρέπει πάντα να υπάρχει επαρκής έκταση λεκανών ώστε να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα η στάθμη των νερών και να είναι εφικτή η ομαλή ξήρανση και καθαρισμός για να διατηρούνται οι ρυθμοί κατείσδυσης σε υψηλά επίπεδα.

7.3 Οικονομικές, νομικές και θεσμικές θεωρήσεις

[κύρια βιβλιογραφική πηγή Στεργίου (2009)]

Το μέλλον του εμπλουτισμού των υπόγειων νερών με τη χρήση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας θα επηρεαστεί καθοριστικά από τις οικονομικές, νομικές και θεσμικές ρυθμίσεις. Πράγματι, τα όποια θεσμικά εμπόδια μπορεί να αποδειχθούν πιο κατασταλτικά από οποιοδήποτε τεχνικό περιορισμό. Από οικονομική άποψη, ο εμπλουτισμός του υδροφόρου με νερό χαμηλής ποιότητας ενδέχεται να είναι πιο ελκυστικός στο μέλλον λόγω της διαρκώς μειούμενης διαθεσιμότητας σε επιφανειακές υδάτινες πηγές. Επιπλέον, οι διαρκώς αυστηρότεροι κανονισμοί που

αφορούν στα λύματα μπορεί να καταστήσουν το αυξημένο κόστος που τους αποδίδεται και αφορά στις πόσιμες και μη χρήσεις σχετικά πιο ελκυστικό, συγκριτικά με το κόστος άλλων νέων πηγών.

Η δυνατότητα εφαρμογής, από οικονομική άποψη, εμπλουτισμού με νερό υποβαθμισμένης ποιότητας ποικίλει ανάλογα με την περίπτωση. Το ανακτημένο νερό θα είναι πρόσφορο, από οικονομικής άποψης, εφόσον αποτελεί τη λιγότερο δαπανηρή πηγή νερού για εμπλουτισμό. Το κόστος της επεξεργασίας για να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές των λυμάτων προς εμπλουτισμό είναι καίριας σημασίας. Ωστόσο, το κόστος επηρεάζεται εξίσου από την απόσταση που θα πρέπει να μεταφερθεί το ανακτημένο νερό για απόθεση ή έγχυση αλλά και από τις τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν για την απόθεση ή την έγχυση. Το αν είναι οικονομικά εφικτή η εφαρμογή εξαρτάται επίσης και από το ποια θα είναι τα οφέλη που τελικά θα αποδώσει το εμπλουτισμένο νερό. Εφόσον οι χρήστες είναι πρόθυμοι να καλύψουν πλήρως το κόστος του εμπλουτισμού, υπάρχει *prima facie* βεβαιότητα ότι τα οφέλη θα υπερβούν το κόστος.

Από οικονομική αλλά και νομική άποψη, η ανάγκη να καθοριστούν κανόνες τόσο για τα νερά των πηγών όσο και για τα ανακτώμενα νερά είναι επιτακτική. Η αποτυχία να συμβεί κάτι τέτοιο καθιστά τον εμπλουτισμό με νερά υποβαθμισμένης ποιότητας πολύ λιγότερο ελκυστικό από ότι σε άλλη περίπτωση.

Σε αυστηρά νομικό επίπεδο, το βασικό ερώτημα είναι το πώς θα διαμορφωθεί πολιτική που να προστατεύει τη δημόσια υγεία, το κοινό καλό και το περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα δε θα επιβάλλει ακατάλληλους ή κατασταλτικούς ελέγχους στις εγκαταστάσεις εμπλουτισμού. Οι περισσότεροι από τους ισχύοντες νόμους εστιάζουν στην αναγκαιότητα να προστατευθεί η ποιότητα του υπόγειου νερού ενώ υπάρχουν και νόμοι που απευθύνονται άμεσα στη χρήση νερού από εμπλουτισμό.

Το νομοθετικό πλαίσιο στις ΗΠΑ που αφορά στον εμπλουτισμό είναι μεγάλου εύρους. Στην California και την Arizona υπάρχουν λεπτομερείς και περιεκτικοί νόμοι και κανονισμοί ενώ άλλες πολιτείες δεν έχουν θεσπίσει νομοθεσία για το θέμα ή το έχουν κάνει ανεπαρκώς. Παρόλο που υπάρχουν ομοσπονδιακοί νόμοι που διέπουν κάποιες συγκεκριμένες φάσεις της διαδικασίας εμπλουτισμού, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση δεν έχει ηγηθεί σημαντικά στην ανάπτυξη κατάλληλων ιδρυμάτων που να ελέγχουν τον εμπλουτισμό με λύματα. Στο μεγαλύτερο μέρος, η ανάπτυξη τέτοιων ιδρυμάτων έχει αποκεντρωθεί και αυτή η προσέγγιση ίσως, στο μέλλον, αποδεχθεί μη λειτουργική. Η πολιτεία της Καλιφόρνιας ανέπτυξε κατευθυντήριες οδηγίες για

την πόσιμη χρήση του νερού από γεωτρήσεις σε υδροφόρους που εμπλουτίστηκαν με εκπομπές υγρών αποβλήτων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1. Προτεινόμενες οδηγίες από την πολιτεία της Καλιφόρνιας για τη χρήση υπόγειου νερού για πόση υδροφόρων που εμπλουτίζονται με υγρά απόβλητα (Crook et al., 2000 and California State Department of Health Services, 2000, Asano and Levine, 1998)

Τύπος ρύπανσης	Τύπος εμπλουτισμού	
	Επιφανειακή κατάκλυση	Υπόγεια έγχυση
Παθογόνοι μικροοργανισμοί		
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία	SS ≤ 30 mg/l	
- Φιλτράρισμα	≤ 2 NTU	
- Απολύμανση	4 - log απενεργοποίηση ιού, ≤2,2, coliform ανά 100ml	
- Χρόνος παραμονής στο υπέδαφος	6 μήνες	12 μήνες
- Οριζόντιος διαχωρισμός	150m	600m
Ρυθμισμένοι ρυπαντές (regulated contaminants)	Σύμφωνα με τα ανώτερα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης ρυπαντών στο πόσιμο νερό για τις Η.Π.Α. (maximum contaninant level - MCL)	
Μη ρυθμισμένοι ρυπαντές (regulated contaminants)		
Δευτεροβάθμια επεξεργασία	BOD ≤ 30mg/l, TOC ≤ 16 mg/l	
Αντίστροφη όσμωση	1mg/l TOC του αρχικού λύματος στη γεώτρηση πόσιμου νερού	100% επεξεργασία για TOC ≤ 1 mg/l/RWC
Κριτήρια κατάκλυσης για SAT. Τιμή απομάκρυνσης 50%	Βάθος του υπόγειου νερού με αρχικό ρυθμό διήθησης <0,5 cm/min=3m, <0,7cm/min=6m	
Παρακολούθηση υβώματος	Ένδειξη δυνατότητας υποχώρησης του υβώματος	
Συνεισφορά ανανεωμένου νερού στο νερό της γεώτρησης (redaimed water contribution, RWC)	≤ 50%	

Στην Ελλάδα το θεσμικό πλαίσιο που καθορίζει τους όρους για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων καθορίζεται από την ΚΥΑ 145116 (ΦΕΚ 354Β, 8/3/2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις».

Για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση, αναφέρονται δύο τύποι άρδευσης με βάση το είδος των καλλιεργειών, το σύστημα άρδευσης και την προσβασιμότητα του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή:

α. Η άρδευση με περιορισμούς (περιορισμένη), η οποία αφορά μόνο σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωσηή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος, όπως καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων.

Ως προς το σύστημα της άρδευσης, δεν επιτρέπεται η μέθοδος του καταιονισμού. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση δεν επιτρέπεται. Σε περίπτωση που υπάρχει προσβασιμότητα σε ανθρώπους ή ζώα, εκτός των χρηστών, πρέπει να λαμβάνονται κατά περίπτωση πρόσθετα μέτρα, όπως περίφραξη, ορισμός απαγορευτικής ζώνης για ορισμένες χρήσεις από τα όρια της αρδευόμενης έκτασης, απαγόρευση βοσκής ζώων για ορισμένο χρόνο μετά την άρδευση.

β. Η άρδευση χωρίς περιορισμούς (απεριόριστη), η οποία μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά.

Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περι ορισμοί στην πρόσβαση.

Επίσης στη συγκεκριμένη ΚΥΑ αναφέρεται ότι ο εμπλουτισμός των υδροφορέων με επεξεργασμένα λύματα, κυρίως αποσκοπεί:

α) στη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων,

β) στην αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης όπως για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή.

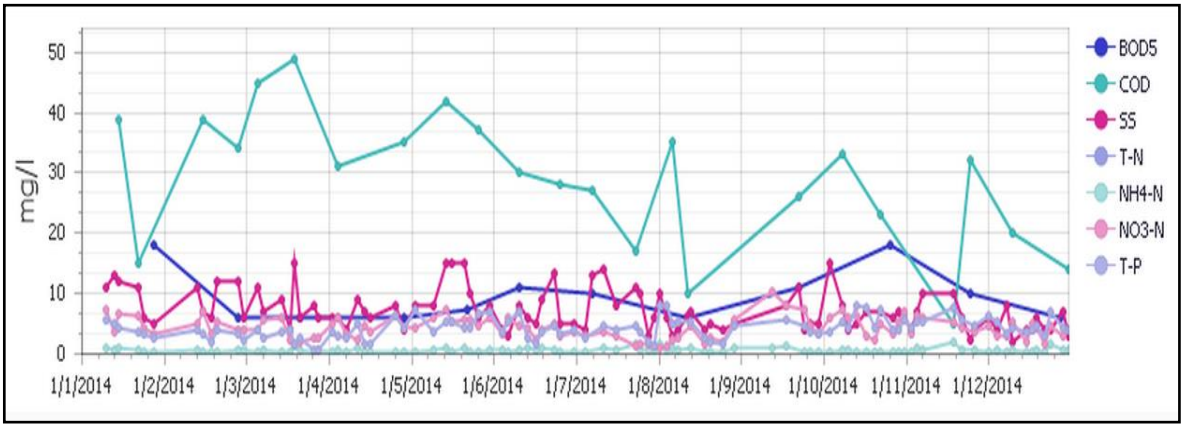
Για την αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα, που ενδέχεται να παραβλάψουν μελλοντικές χρήσεις των υπογείων υδάτων του υδροφορέα, απαιτείται:

α) Στις περιπτώσεις άμεσου εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα σε επιλεγμένες θέσεις γεωτρήσεων, επαρκής βαθμός επεξεργασίας για την απομάκρυνση οργανικών που περιλαμβάνει, εκτός από δευτεροβάθμια βιολογική και ενδεχόμενη τριτοβάθμια επεξεργασία, προχωρημένες μεθόδους κατάλληλες για την απομάκρυνση διαλυτού οργανικού υλικού, όπως μέσω μεμβρανών τουλάχιστον υπερδιήθησης ή ισοδύναμης αποτελεσματικότητας εναλλακτικής μεθόδου προχωρημένης επεξεργασίας.

β) Στις περιπτώσεις εμπλουτισμού με μέθοδο διήθησης δια μέσου στρώματος εδάφους με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος, η αποφυγή των πρόσθετων προχωρημένων μεθόδων επεξεργασίας στο βαθμό που τεκμηριώνεται ότι επιτυγχάνεται επαρκής κατακράτηση οργανικών από το έδαφος.

7.4 Προτεινόμενες Λύσεις

Από τα στοιχεία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων στο Λαύριο, τα οποία αναρτώνται στο διαδίκτυο, πιστοποιείται η καταλληλότητα των εκροών για τεχνητό εμπλουτισμό με μεθόδους επιφανειακής κατάκλυσης – διήθησης, με σκοπό την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Η πιστοποίηση αυτή έγινε μετά την σύγκριση των στοιχείων του βιολογικού καθαρισμού με τα προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στην Ελλάδα, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8.



Εικόνα 7.2: Διάγραμμα περιεκτικότητας σε BOD_5, COD, SS, T-N, NH_4-N, NO_3-N, T-P της εκροής του ΕΕλ Λαυρίου (ΔΕΥΑΤΗΛ) το έτος 2014.

Με βάση, λοιπόν τα παραπάνω, προτείνεται η χρήση της εκροής του ΕΕλ Λαυρίου με δύο διαφορετικά εναλλακτικά σχήματα λειτουργίας τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Οι προτάσεις αυτές αναλύονται παρακάτω. Για την κάθε μία παρουσιάζονται τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά για την εφαρμογή τους όσο και τα οικονομικά στοιχεία με σκοπό την αξιολόγηση τους.

7Α. Πρώτη πρόταση εφαρμογής – Σύστημα SAT για τον εμπλουτισμό του αλλουβιακού υδροφορέα του Θορικού.

Η πρώτη πρόταση, περιλαμβάνει τη χρήση της εκροής από τον Ε.Ε.Λ. του Λαυρίου (ΔΕΥΑΤΗΛ) η οποία έχει υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία. Αυτή με κατάλληλα διαστασιολογημένο αγωγό θα παροχετεύεται σε συγκεκριμένη τοποθεσία, όπου θα έχουν κατασκευαστεί διαμορφωμένες λεκάνες κατάκλυσης με σκοπό τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα μέσω συστήματος SAT.

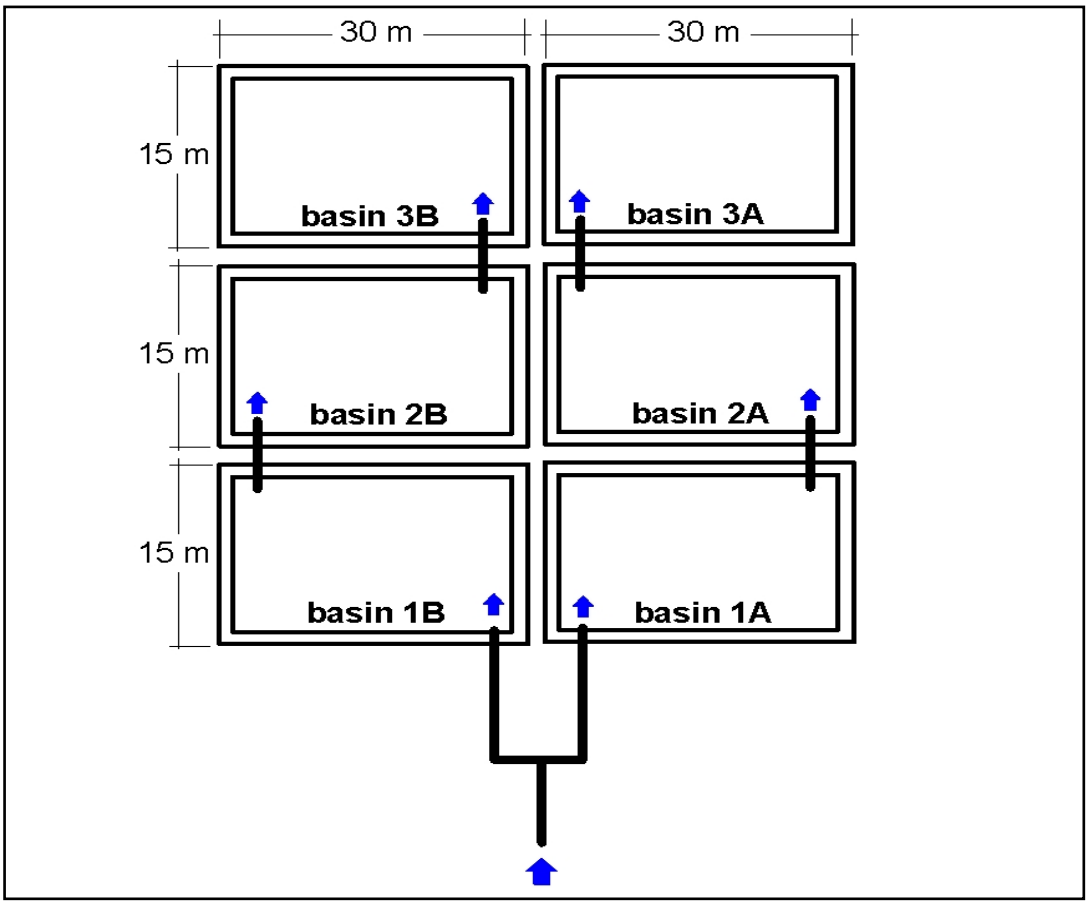
7. Α.1 Τεχνικά Στοιχεία

Η πρώτη ενέργεια στο πλαίσιο της πρότασης αρχικού σχεδιασμού ενός ενδεικτικού πιλοτικού έργου τεχνητού εμπλουτισμού στο Δήμο Λαυρεωτικής είναι η επιλογή κατάλληλου χώρου εγκατάστασης του προτεινόμενου έργου. Η επιλογή αυτή θα πρέπει να γίνει με κριτήρια εδαφοτεχνικά και υδρογεωλογικά, αλλά και διαθεσιμότητας κατάλληλων αγροτικών εκτάσεων -δημοσίων ή ιδιωτικών-. Στην τελευταία περίπτωση θα πρέπει να συνυπολογιστεί και ο παράγοντας του απαιτούμενου κόστους πιθανής απαλλοτρίωσης που πολλές φορές αποβαίνει καθοριστικός και ίσως σε κάποιες περιπτώσεις απαγορευτικές για την τελική επιλογή.

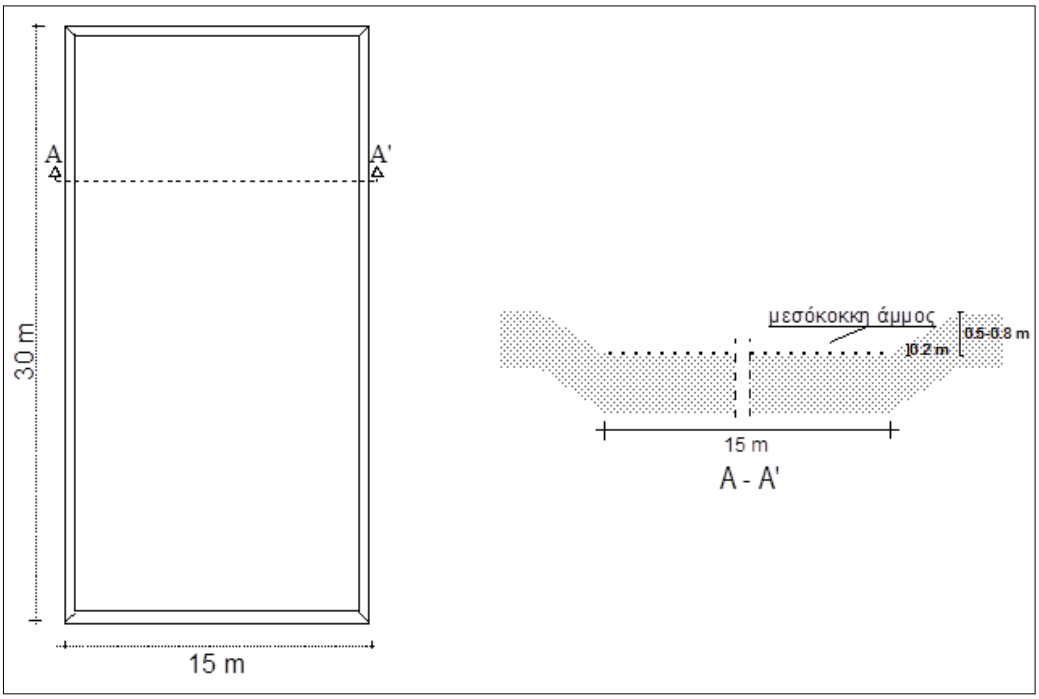
Με βάση το κύριο κριτήριο συνεχούς ύπαρξης ακόρεστης ζώνης κάτω από τις λεκάνες εμπλουτισμού ικανού πάχους έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιηθούν οι κατάλληλες και απαραίτητες αερόβιες διεργασίες και η αναμενόμενη απομάκρυνση των ανεπιθύμητων μικροβίων, οι σχετικοί κανονισμοί της California, USA (Hultquist et al., 1991) προτείνουν ελάχιστο βάθος της στάθμης της ελεύθερης υδροστατικής επιφάνειας του υπόγειου νερού κάτω από την επιφάνεια του εδαφικού πυθμένα των λεκανών εμπλουτισμού να είναι περί τα 3 m. Έτσι προτείνεται (Εικ. 7.3):

1. Η διαμόρφωση στεγανής δεξαμενής καθαρών που θα υποδέχεται την εκροή από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού και η οποία με κατάλληλη υδραυλική μελέτη θα πρέπει να διαστασιολογηθεί (διαστάσεις πυθμένα, βάθος και χωρητικότητα).

2. Την εκσκαφή για τη διαμόρφωση 2 συστημάτων ρηχών λεκανών κατάκλυσης –εμπλουτισμού (ή κατά άλλους διήθησης) Α και Β, με τρείς λεκάνες το καθένα και με προτεινόμενες ενδεικτικά διαστάσεις η κάθε μια: επιφάνειας 15 m × 30 m, βάθους 0,50-0,80 m, ώστε να επιτυγχάνεται ελεγχόμενα κατάκλυση νερού με βάθος το πολύ 20-30 cm (για να αποφεύγεται όσο το δυνατόν η γρήγορη εμφάνιση του προβλήματος της απόφραξης των εδαφικών πόρων του πυθμένα των λεκανών - clogging).
3. Επίστρωση του πυθμένα των λεκανών με χαλίκι ή μεσόκοκκη άμμο (0,10-0,20 cm)
4. Την τοποθέτηση αγωγών για τη διοχέτευση του νερού από τη δεξαμενή στις λεκάνες, όπως και των αγωγών που θα συνδέουν τις λεκάνες ανά τρεις μεταξύ τους.
5. Την επιλογή ή/και ανόρυξη γεωτρήσεων ή/και πιεζομέτρων για την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας του εμπλουτισμού τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.



Εικόνα 7.3: Σκαρίφημα διάταξης και διαστάσεων των λεκανών εμπλουτισμού στο πλαίσιο της ενδεικτικής πρότασης εφαρμογής πιλοτικού συστήματος SAT στην περιοχή έρευνας (2 συστήματα λεκανών Α και Β με τρείς λεκάνες το καθένα).



Εικόνα 7.4: Κάτοψη και τομή προτεινόμενης λεκάνης εμπλουτισμού.

7. Α.2 Οικονομικά Στοιχεία

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
[κύρια βιβλιογραφική πηγή Ανδρεάδης (2009)]

Τα οικονομικά στοιχεία δίδονται με την μορφή πινάκων και περιγράφονται αναλυτικά, τα έσοδα της εγκατάστασης και από πού αυτά προέρχονται, όπως και τα έξοδα, τα οποία με τη σειρά τους επιμερίζονται στα πάγια έξοδα και στα μεταβαλλόμενα έξοδα ανά μήνα. Στα πάγια έξοδα συμπεριλαμβάνονται, το κόστος μισθοδοσίας, κόστος συντήρησης των μηχανημάτων (λάδια – γράσα, πολυηλεκτρολύτης, χλώριο, χημικά αντιδραστήρια για τις αναλύσεις, εργαλεία, τεφλόν για τους κοχλίες και τα εργατικά), το κόστος διάθεσης της αφυδατωμένη ιλύος (έχει υπολογιστεί κατά μέσο όρο ανά μήνα) και το κόστος για τα είδη 1ης ανάγκης για το προσωπικό του βιολογικού, τα οποία παραμένουν σταθερά ανά μήνα. Στα μεταβαλλόμενα έξοδα ανά μήνα, συμπεριλαμβάνεται μόνο το ενεργειακό κόστος.

Πίνακας 7.2 Ώρες λειτουργίας της πρέσσας

Μήνας	Ώρες λειτουργίας της πρέσσας
Νοέμβριος 06	56,77
Δεκέμβριος 06	64,84
Ιανουάριος 07	99,33
Φεβρουάριος 07	61,7
Μάρτιος 07	102,4
Απρίλιος 07	101,82
Μάιος 07	94,39
Ιούνιος 07	105,46
Ιούλιος 07	86,71
Αύγουστος 07	103,77
Σεπτέμβριος 07	103,2
Οκτώβριος 07	70,75

Από τον παραπάνω πίνακα, ένας μέσος όρος λειτουργίας ανά μήνα είναι 87 hr. Κάθε ώρα η πρέσσα, παράγει 3 m3 αφυδατωμένης ιλύος (εμπειρικά, με βάση την ποσότητα που βγάζει καθημερινά), επομένως, η πρέσσα παράγει τον μήνα 261 m3 / month. Το κόστος διάθεσης της αφυδατωμένης ιλύος είναι στα 6 € /m3 ιλύος. Άρα, το κόστος διάθεσης για κάθε μήνα είναι 1566 €, κάνοντας όμως αποφορολόγηση (:1.19), το καθαρό κόστος είναι 1316 € /month. Όπως και το κόστος για το είδη 1ης ανάγκης για το προσωπικό του βιολογικού ορίστηκε στα 50 €/month (και περιλαμβάνει γάντια, σαπούνια, χαρτιά υγείας και κουζίνας, οινοπνεύματα κ.ά).

Έσοδα

Τα έσοδα της εγκατάστασης, προέρχονται από το αντίτιμο που πληρώνουν οι οδηγοί των βυτιοφόρων κάθε φορά που εκκενώνουν το βυτίο στην εγκατάσταση (έσοδα από βοθρολύματα) αλλά και από το λογαριασμό που πληρώνουν οι καταναλωτές του Λαυρίου για την αποχέτευση (έσοδα από αστικά λύματα). Συγκεντρωτικά ο πίνακας των εσόδων φαίνεται ακολούθως:

Πίνακας 7.3.α: Πίνακας εσόδων της εγκατάστασης για την περίοδο μελέτης.

	Έσοδα βιολογικού καθαρισμού	
Μήνας	Βυτιοφόρα	Αποχέτευση
Νοέμβριος 06	32913,44	
Δεκέμβριος 06	34221,02	
Ιανουάριος 07	32873,13	
Φεβρουάριος 07	29335,29	
Μάρτιος 07	40987,4	
Απρίλιος 07	39253,75	
Μάιος 07	40972,28	
Ιούνιος 07	43963,02	
Ιούλιος 07	51946,24	
Αύγουστος 07	49542,02	
Σεπτέμβριος 07	38855,47	
Οκτώβριος 07	37862,2	49750,3
	Μ.Ο.	4145,86
Σύνολο	476871,12	

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα, βλέπουμε ότι όσον αφορά τα έσοδα από τα βυτιοφόρα, εμφανίζεται μία αύξηση κατά τους θερινούς μήνες που οφείλεται κυρίως στην αύξηση των παροχών. Η χρέωση ανά βυτίο γίνεται ως εξής:

Πίνακας 7.3.β: Χρέωση ανά χωρητικότητα βυτιοφόρου

Χωρητικότητα Βυτίου (m3)	Χρέωση (€)
1 έως 10	10
15	16
20	20
25	25

Τα βυτιοφόρα της πόλης του Λαυρίου επιβαρύνονται με έξοδα της τάξης των 25€ για κάθε 25m^3, κόστος το οποίο θα καθιστούσε μία μέση χρέωση για τα βοθρολύματα της τάξης του 1€/m^3. Με βάση όμως την παροχή των βοθρολυμάτων για την περίοδο

μελέτης (Νοέμβριος 2006 – Οκτώβριος 2007), είναι γνωστό ότι η εγκατάσταση δέχθηκε μόλις 476,87 ευρώ για 739,44 m^3 βοθρολυμάτων (ενώ με βάση τα παραπάνω θα έπρεπε να εισπράξει 739,44 ευρώ). Αυτή η διαφορά οφείλεται στο ότι υπάρχουν βυτιοφόρα τα οποία δεν πληρώνουν το αντίτιμο γιατί εξυπηρετούν τους Δήμους Λαυρίου και Κερατέας. Άρα, λαμβάνοντας υπόψη και αυτούς, μία νέα τροποποιημένη μέση χρέωση για τα βοθρολύματα θεωρείται η 0,65 €/m^3.

Τέλος, όσον αφορά στα έσοδα από την αποχέτευση, επειδή το 1ο σπίτι συνδέθηκε από τις 26/08/06 και κάθε μέρα ακολουθούσαν και άλλα μέχρι και σήμερα όπου έχει συνδεθεί περίπου το 65 – 70 % της πόλης, τα έσοδα της αποχέτευσης, τουλάχιστον για την περίοδο μελέτης, εμφάνιζαν μορφή γεωμετρικής προόδου. Λόγω του ότι δεν μας δόθηκαν όμως στοιχεία αναλυτικά για τα έσοδα ανά μήνα, έχοντας το σύνολο, υπολογίστηκε ένας μέσος όρος για κάθε μήνα. Ουσιαστικά, οι παροχές και αντιστοίχως, τα έσοδα θα είναι σταθερά για περαιτέρω μελέτη της αποχέτευσης καθώς θα έχει συνδεθεί το μεγαλύτερο μέρος της πόλης. Απλά στην παρούσα μελέτη, παρουσιάστηκε το πρόβλημα επειδή ήταν η έναρξη του δικτύου και κάθε μέρα συνδέονταν ολοένα και περισσότερα σπίτια.

Έξοδα

Τα έξοδα, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, επιμερίζονται σε πάγια έξοδα και στα μεταβαλλόμενα έξοδα. Με την μορφή πινάκων, φαίνονται στην συνέχεια τα έξοδα αυτά και αναλύονται. Τα πάγια έξοδα είναι:

Πίνακας 7.4.α: Κόστος μισθοδοσίας

	Έξοδα Μισθοδοσίας (€)	
Μήνας	Σύνολο	Μ.Ο. ανά μήνα
Νοέμβριος 06		3.815,50 €
Δεκέμβριος 06	7.631,00 €	3.815,50 €
Ιανουάριος 07		3.346,08 €
Φεβρουάριος 07		3.346,08€
Μάρτιος 07		3.346,08 €
Απρίλιος 07		3.346,08 €
Μάιος 07		3.346,08 €
Ιούνιος 07	33.460,84 €	3.346,08 €
Ιούλιος 07		3.346,08 €
Αύγουστος 07		3.346,08 €
Σεπτέμβριος 07		3.346,08 €
Οκτώβριος 07		3.346,08 €
Σύνολο	41.091,84 €	

Τα έξοδα συντήρησης της ΕΕΛ Λαυρίου, που περιλαμβάνουν όπως αναφέρθηκε και παραπάνω λάδια-γράσα των μηχανημάτων, εργαλεία και χημικά (χλώριο, πολυηλεκτρολύτης και αντιδραστήρια για το χημείο), αποτελούν έξοδα τα οποία μπορούν να θεωρηθούν σταθερά ανά μήνα. Χωρίς να παρουσιάζουν ιδιαίτερες μεταβολές, μπορεί και εδώ να υπολογιστεί μία μέση τιμή. Ο παρακάτω πίνακας, προήλθε από το σύνολο των κινήσεων (τιμολόγια) τα οποία όμως περιλαμβάνουν και έξοδα συντήρησης μηχανημάτων οι οποίες πραγματοποιούνται κάθε 5–10 χρόνια (ανάλογα με το είδος της φθοράς). Έτυχε λοιπόν, την περίοδο μελέτης να παρουσιαστούν και τέτοιες περιπτώσεις οι οποίες καλό θα ήταν, να μην συμπεριληφθούν στο μηνιαίο κόστος συντήρησης καθώς θα προκύψει πολύ ανώτερο του κανονικού. Οι τιμές που τελικά δεν θα ληφθούν υπόψη, εμφανίζονται με αστερίσκο.

Πίνακας 7.4.β: Έξοδα συντήρησης

Έξοδα βιολογικού (€)		
Περίοδος	Τιμή	Έξοδα/μήνα
Νοέμβριος 06	20000*	1366
Δεκέμβριος 06	7736,2	6043,5
Ιανουάριος 07	1667,67	3033,67
Φεβρουάριος 07	221,01	1587,01
Μάρτιος 07	1457,75	2823,75
Απρίλιος 07	17297,08	1663,08
Μάιος 07	1018,5	2384,5
Ιούνιος 07	6688,71	4054,71
Ιούλιος 07	987,5	2353,5
Αύγουστος 07	6695,74	3161,74
Σεπτέμβριος 07	380	1746
Οκτώβριος 07	6384,75	2850,75
Σύνολο	70534,6	33068,21

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, συνολικά για ένα χρόνο, το κόστος των τιμολογίων είναι 33068.21 ευρώ, δηλαδή μία μέση τιμή για κάθε μήνα είναι, 2756 ευρώ. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και το κόστος διάθεσης της ιλύος (1316 €/μήνα) και το κόστος για τα είδη πρώτης ανάγκης του προσωπικού (50 €/μήνα). Στις παραπάνω τιμές έχει γίνει αποφορολόγηση (: 1.19).

Στην συνέχεια απεικονίζονται με την μορφή πίνακα τα μεταβαλλόμενα έξοδα ανά μήνα, που περιλαμβάνουν μόνο το ενεργειακό κόστος (λογαριασμοί ΔΕΗ). Και εδώ έχει γίνει αποφορολόγηση (:1.09).

Πίνακας 7.4.γ: Ενεργειακά έξοδα

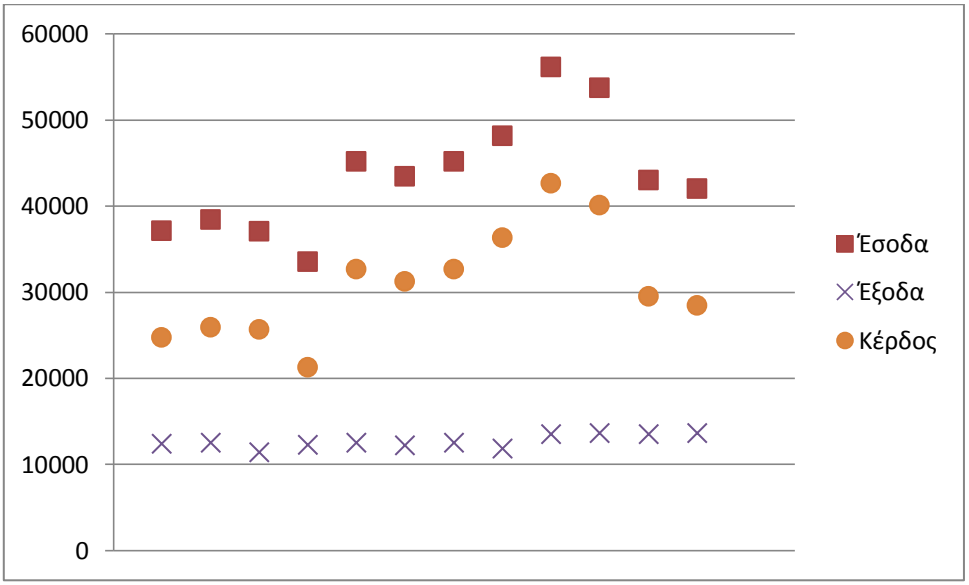
Έξοδα για ΔΕΗ (€)				
Μήνας	Αντλιοστάσιο Α'	Αντλιοστάσιο Β'	Εγκατάσταση	Σύνολο Μήνα
Νοέμβριος 06	381,06	517,62	4892,59	5791,27
Δεκέμβριος 06	326,53	462,16	5128,83	5917,52
Ιανουάριος 07	402,81	366,13	4520,13	5289,07
Φεβρουάριος 07	553,8	477,11	5129,21	6160,12
Μάρτιος 07	577,39	510,02	5289,11	6376,52
Απρίλιος 07	635,38	444,09	5036,72	6116,19
Μάιος 07	413,78	493,3	5475,29	6382,37
Ιούνιος 07	418,5	394,58	4882,6	5695,68
Ιούλιος 07	762,63	461,92	6174,97	7399,52
Αύγουστος 07	1347,19	373,37	5824,83	7545,39
Σεπτέμβριος 07	492,99	626,32	6293,36	7412,67
Οκτώβριος 07	548,56	492,09	6460,02	7500,67
			Σύνολο	77586,99

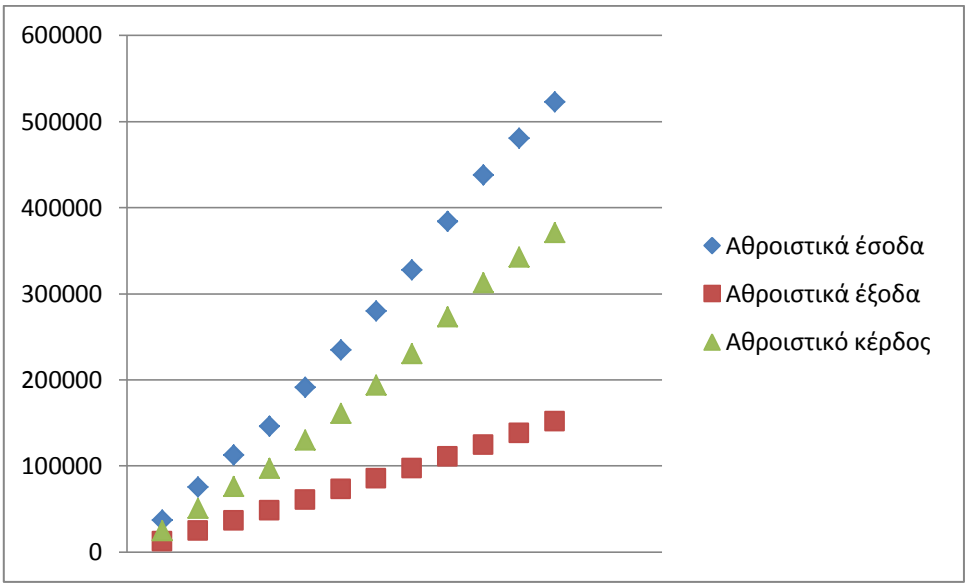
Συγκεντρωτικά, ένας πίνακας εσόδων – εξόδων και τα αντίστοιχα διαγράμματα, φαίνονται στην συνέχεια:

Πίνακας 7.5: Συγκεντρωτικός πίνακας εσόδων – εξόδων.

Μήνας	Έσοδα	Αθροιστικά	Έξοδα	Αθροιστικά	Διαφορά	Αθροιστικά
Νοέμβριος 06	37059,3	37059,3	12362,77	12362,77	24696,53	24696,53
Δεκέμβριος 06	38366,88	75426,18	12489,02	24851,79	25877,86	50574,39
Ιανουάριος 07	37018,99	112445,17	11391,15	36242,94	25627,84	76202,23
Φεβρουάριος 07	33481,15	145926,32	12262,2	48505,14	21218,95	97421,18
Μάρτιος 07	45133,26	191059,58	12478,6	60983,74	32654,66	130075,84
Απρίλιος 07	43399,61	234459,19	12218,27	73202,01	31181,34	161257,18
Μάιος 07	45118,14	279577,33	12484,45	85686,46	32633,69	193890,87
Ιούνιος 07	48108,88	327686,21	11797,76	97484,22	36311,12	230201,99
Ιούλιος 07	56092,1	383778,31	13501,6	110985,82	42590,5	272792,49
Αύγουστος 07	53687,88	437466,19	13647,47	124633,29	40040,41	312832,9
Σεπτέμβριος 07	43001,33	480467,52	13514,75	138148,04	29486,58	342319,48
Οκτώβριος 07	42008,06	522475,58	13602,75	151750,79	28405,31	370724,79
	522475,58		151750,79		370724,79	

Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα που απεικονίζουν την γραφική σχέση εσόδων – εξόδων , όπως και τις αθροιστικές τους καμπύλες. Στα διαγράμματα επίσης απεικονίζεται και το κέρδος.





Εικόνα 7.5: γραφήματα εσόδων – εξόδων.

Στα παραπάνω γραφήματα, μπορεί να δει κανείς την διακύμανση των εσόδων, εξόδων αλλά και του κέρδους, τα οποία παρουσιάζουν μία αύξηση κυρίως τους θερινούς μήνες λόγω της αναμενόμενης αύξησης της παροχής.

Αγωγός Μεταφοράς

Τα οικονομικά στοιχεία για την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του νερού εμπλουτισμού για την κατάκλυση της λεκάνης, στα πλαίσια της πρώτης προτεινόμενης λύσης, υπολογίζονται με βάση τα τιμολογιακά στοιχεία του Υπουργείο

Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. Έτσι με βάση μία αρχική χάραξη του αγωγού μεταφοράς καταρτίζεται ο παρακάτω πίνακας.

Εικόνα 7.6: Προεπισκόπηση αγωγού και λεκάνης κατάκλυσης.

Πίνακας 7.6:Κοστολόγηση αγωγού μεταφοράς και αντλιοστασίου

α/α	Εργασίες	Α.Τ.	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Ε.Μ.	Ποσότητες	Τιμή Μονάδας	Δαπάνη
1	Εκσκαφές ορυγμάτων γαιώδεις-ημιβραχώδεις με φόρτωση και μεταφορά προϊόντων εκσκαφής	1	3.10.02.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6081.1	m^3	3019	8,58	25903,02
ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΕΣ								
2	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη	2	12.18.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	mg	59980	1,85	110963
3	Καμπύλες συστολής και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	3	12.19 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	mg	1298	3,00	3894
4	Φλάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	4	12.2 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	mg	348	4,50	1566
5	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης	5	12.21.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	km	0,50	1000,00	500
6	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	6	12.21.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	km	0,50	1000,00	500
7	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	7	12.21.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	km	0,50	2000,00	1000
ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ								
8	Εκσκαφές θεμελίων τεχν. έργου γαιώδεις-ημιβραχώδεις	8	3.17 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6054	m^3	30,10	3,85	115,885
9	Ξυλότυποι επιπέδων επιφανειών	9	3.18.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6055	m^3	120,92	7,60	918,992
10	Κατασκευές από σκυρόδεμα C 8/10	10	9.10.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6324	m^3	14,85	62,00	920,7
11	Κατασκευές από σκυρόδεμα C 20/25	11	9.10.05 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6327	m^3	31,26	81,00	2532,06
12	Σιδηρούς οπλισμός S500	12	9.26 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6311	mg	4562	0,90	4105,8

	σκυροδεμάτων							
13	Κατασκευή αντιολισθηρού βιομηχανικού δαπέδου με εποξειδικό ρητινοκονίαμα	13	73.93ΥΔΡ	ΟΙΚ 7373.1	m^2	44,17	50,00	2208,5
14	Στεγάνωση επιφάνειας δώματος με διπλή στρώση ασφαλτόπανου και τσιμεντοκονίαμα προστασίας	14	Β 37.2 ΟΔΟ	ΟΔΟ 2412	m^2	28,30	11,50	325,45
15	Οπτοπλινθοδομές με διάκενους τυποποιημένους οπτόπλινθους 9x12x19 cm πάχους 1 πλίνθου (μπατικοί τοίχοι)	15	46.10.04 ΟΙΚ	ΟΙΚ 4664.1	m^2	30,25	30,00	907,5
16	Επίχρισμα τριπτά - τριβιστά με μαρμαροκονίαμα	16	71.31 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7131	m^2	97,35	10,00	973,5
17	Χρωματισμοί επιφανειών	17	77.80.02 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7785.1	m^2	25,45	9,00	229,05
18	Υδροχρωματισμοί επιφανειών σκυροδέματος με ακρυλικό υδατοδιαλυτό τσιμεντόχρωμα	18	77.10 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7725	m^2	10,25	3,50	35,875
19	Θερμομόνωση τοίχων με πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 50mm	19	79.47 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7934	m^2	25,45	10,50	267,225
20	Υγρομόνωση σκυροδέματος με διπλή ασφαλτική επάλειψη	20	Β 36 ΟΔΟ	ΟΔΟ 2411	m^2	38,92	1,50	58,38
21	Κατασκευές με περιορισμένη μηχανουργική επεξεργασία	21	11.05.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6751	mg	650	1,90	1235
22	Μεταλλικές θύρες, τυποποιημένες, βιομηχανικής προέλευσης συρόμενες με περσίδες αερισμού	22	62.50 ΟΙΚ	ΟΙΚ 6236	m^2	1,87	180,00	336,6
23	Υαλοστάσιο αλουμινίου τετράφυλλα συρόμενα, μη χωνευτά	23	65.19 ΟΙΚ	ΟΙΚ 6530	m^2	2,88	105,00	302,4
24	Κουφώματα από ηλεκτροστατικά βαμμένο αλουμίνιο βάρους 12-24 kg/m^2 περσιδωτά	24	65.01.02 ΟΙΚ	ΟΙΚ 6501	m^2	2,88	180,00	518,4
25	Δικλίδες, συρταρωτές DN250 χλσ. 16 ατμ. με ωτίδες	25	13.03.03.08 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	650,00	650
26	Δικλίδες, συρταρωτές DN300 χλσ. 16 ατμ. με ωτίδες	26	13.03.03.09 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	740,00	740
27	Βαλβίδες αντεπιστροφής ελαστικής έμφραξης DN250, 16 ατμ.	27	Τ.Ε	ΗΛΜ 84	τεμ.	1	790,00	790
28	Εξαρμώσεις ονομαστικής διαμέτρου DN 250, 16 ατμ.	28	13.15.02.09 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	410,00	410
29	Εξαρμώσεις ονομαστικής διαμέτρου DN 300, 16 ατμ.	29	13.15.02.10 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	590,00	590
30	Αντλία Q=750 m^3/h , Ημαν=60m	30	Τ.Ε	ΗΛΜ 21	τεμ.	1	58000,00	58000
31	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Α/Σ	31	Τ.Ε	ΗΛΜ 51	τεμ.	1	45000,00	45000
32	Υποσταθμός	32	Τ.Ε	ΗΛΜ 51	τεμ.	1	70000,00	70000

Με βάση λοιπόν του παραπάνω πίνακα η συνολική δαπάνη για την κατασκευή του αγωγού και του απαραίτητου αντλιοστασίου ανέρχεται στα 367.000 €. Το ποσό αυτό ισοδυναμεί με ετήσια δαπάνη 9.175 €/έτος, καθώς θεωρείται ότι η διάρκεια ζωής των έργων είναι περίπου 40 έτη.

Λεκάνη κατάκλυσης

Το κόστος του συστήματος λεκανών κατάκλυσης έγκειται αφενός στην απαλλοτρίωση του χώρου κατασκευής όσο και την εκσκαφή της περιοχής κατάλληλα ώστε να δημιουργηθούν οι έξι προτεινόμενες λεκάνες.

Με δομένες τις αντικειμενικές αξίες τις περιοχής η οποίες βρέθηκαν στο φύλο της Εφημερίδας της Κυβερνήσεως, (ΦΕΚ Β 1499 σελ. 22464, 330€/m^2, για την περιοχή του Θορικού) προκύπτει η αξία απαλλοτρίωσης της έκτασης 3510m^2 για τον τεχνητό εμπλουτισμό. Η αξίας συνεπώς του οικοπέδου ανέρχεται στα 1.158.300 €. Παράλληλα και σύμφωνα με το τιμολόγιο των εργασιών (5,2€/m^3) , το κόστος εκσκαφής κάθε λεκάνης κατάκλυσης, με όγκο εκσκαφής περίπου 390m^3, ανέρχεται σε 2028 €. Συνεπώς το συνολικό κόστος των εκσκαφών είναι 12168€. Για τον καλύτερο καθαρισμό του νερού εμπλουτισμού που τελικά θα φτάσει στον υπόγειο υδροφορέα προτείνεται η χρήση μεσόκοκκου φίλτρου με πάχος 0,2 m. Συνεπώς ο συνολικός όγκος μεσόκοκκου υλικού που χρειάζεται ανέρχεται σε 540 m^3, το κόστος του οποίου υπολογίζεται να αγγίζει τα 151.200€.

Συνεπώς το συνολικό κόστος του συστήματος λεκανών κατάκλυσης ανέρχεται στα **1.321.668€**.

7Β. Δεύτερη πρόταση εφαρμογής

Στη δεύτερη πρόταση, πρώτα θα επεκταθεί ο βιολογικός καθαρισμός έτσι ώστε να έχει και τριτοβάθμια επεξεργασία. Έπειτα, τα αποτελέσματα της τριτοβάθμιας επεξεργασίας με κατάλληλα διαστασιολογημένο αγωγό θα μεταφέρονται σε συγκεκριμένη τοποθεσία, όπου βρίσκεται το παλιό αντλιοστάσιο. Στο σημείο αυτό θα πραγματοποιείται απευθείας τεχνητός εμπλουτισμός του καρστικού υδροφορέα.

7Β.1 Τεχνικά Στοιχεία

Επέκταση για τριτοβάθμια επεξεργασία
(κύρια βιβλιογραφική πηγή Κολικονιάρης (2012), «Τεχνικοοικονομική αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας αστικών λυμάτων με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση»)

Για την περαιτέρω επεξεργασία των αστικών λυμάτων της περιοχής προτείνεται η χρήση αμμοδιυλιστήριο με απολύμανση UV – B ή με χλωρίωση-αποχλωρίωση, καθώς αποτελούν τις οικονομικότερες λύσεις (Κολικονιάρης, 2012).Για την εργασία προτείνεται η χρήση αμμοδιυλιστηρίου και απολύμανση με UV-B.

Αμμοδιυλιστήριο

Το πιο διαδεδομένο υλικό μια τυπικής διάταξης διυλιστηρίου είναι η άμμος. Έτσι και στη παρούσα διπλωματική το υλικό πλήρωσης που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι αυτό.

Τα αμμοδιυλιστήρια, κατά κύριο λόγω είναι διακοπτόμενης ροής. Αυτό σημαίνει πως τα λύματα θα περάσουν μία φορά από το διυλιστικό μέσο και η λειτουργία θα διακοπεί όταν προκύψει ανάγκη καθαρισμού. Υπάρχουν όμως και συστήματα διύλισης συνεχούς λειτουργίας σε περιπτώσεις που συνήθως το ύψος κλίνης ξεπερνά τα 1,4m. Με την συνεχή λειτουργία επιτυγχάνεται η δυνατότητα έκπλυσης του διυλιστικού μέσου ταυτόχρονα με την λειτουργία της διύλισης.

Σύμφωνα με την νομοθεσία τα κριτήρια σχεδιασμού του αμμόφιλτρου είναι :

• βάθος διυλιστικού μέσου (L) ≥ 1,40 m,
• ενεργή διάμετρο κόκκων άμμου (De) ≈ 1 mm,
• συντελεστή ομοιομορφίας κόκκων άμμου (u) 1,45-1,60
• επιφανειακή φόρτιση ≤ 8 m3/m2 /hr για κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Πρέπει να αναφερθεί πως τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν απευθείας διύλιση όπως ορίζεται από την ελληνική νομοθεσία.

Τα αμμοδιυλιστήριο αποτελείται από μία σειρά δομικών τμημάτων που στο σύνολό τους απαρτίζουν το εν λόγω σύστημα. Τα βασικά από αυτά είναι :

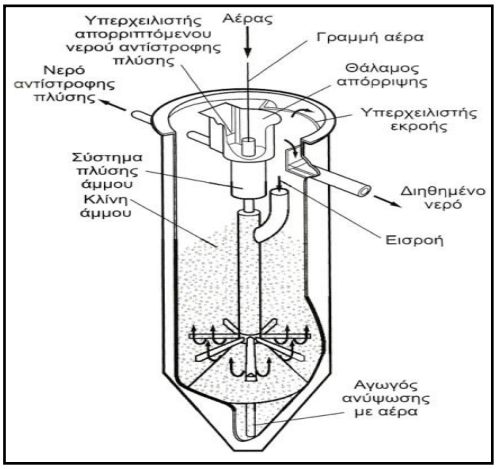
- Η δεξαμενή διύλισης

- Το σύστημα συλλογής των επεξεργασμένων λυμάτων
- Το μέσο διύλισης
- Το σύστημα τροφοδοσίας και διανομής των λυμάτων προς επεξεργασία
- Βοηθητικός εξοπλισμός

Ο βοηθητικός εξοπλισμός με την σειρά του περιλαμβάνει:

- Τα αντλιοστάσια
- Τις αντλίες
- Τα ακροφύσια
- Τη διάταξη εκτροπής των επεξεργασμένων λυμάτων
- Τους διάφορους αυτοματισμούς (θυροφράγματα)

Προτείνεται η χρήση αμμοδιυλιστηρίου συνεχούς ροής. Στην περίπτωση αυτή τα υγρά ανέρχονται της κλίνης διύλισης (ανοδική ροή) και απομακρύνονται από την κορυφή του συστήματος. Με την χρήση αεραντλιών η άμμος ανέρχεται από τον πυθμένα στην κορυφή και από την κίνησή της στο διηθημένο νερό ξεπλένεται. Η προς τα κάτω κίνηση της άμμου ρυθμίζεται από ένα κωνικό παρέμβυσμα πυθμένα, το οποίο τοποθετείται κάτω από τα στοιχεία κατανομής του προς διύλιση ρεύματος ενώ η διασταύρωσή της με το ρεύμα εκροής εξασφαλίζει μεγάλη ικανότητα παγίδευσης στερεών.



Εικόνα 7.7: Αμμοδιυλιστήριο συνεχούς ανοδικής ροής (Κολικονιάρης, 2012).

Τα αμμόφιλτρα αυτού του τύπου δέχονται δευτεροβάθμια εκροή με SS 30-35 mg/l και δίνουν στην έξοδο 10mg/l στο 80% τον δειγμάτων. Ακολουθούν τα στοιχεία των αμμοφίλτρων σύμφωνα με τους προμηθευτές :

Πίνακας 7.7 Στοιχεία αμμόφιλτων συνεχούς ανοδικής ροής

A/A	Παροχή σχεδιασμού (m^3/day)	Αριθμός φίλτρων	Επιφάνεια (m^2)	Διάρκεια ζωής (έτη)
1	200	1	3	15
2	1000	2	10	
3	2000	4	20	
4	10000	16	96	
5	20000	32	192	
6	100000	144	864	
7	200000	288	1728	

Τα αμμόφιλτρα που χρησιμοποιούνται για τις εκάστοτε περιπτώσεις δεν είναι του ίδιου τύπου. Αναλυτικότερα:

A/A	1	2	3	4	5	6	7
	Αυτοστήρικτα φίλτρα ανοξείδωτου χάλυβα			Δεξαμενές σκυροδέματος			

Αντίστοιχα δίδονται και οι διαστάσεις της κάθε πιθανής δεξαμενής.

Πίνακας 7.8 Διαστάσεις και όγκος σκυροδέματος δεξαμενής αμμόφιλτρων συνεχούς ανοδικής ροής απεριόριστης άρδευσης

A/A	Παροχή σχεδιασμού (m^3/day)	Διάμετρος φίλτρου (m)	Συνολικό ύψος (m)	Όγκος σκυροδέματος (m^3)	Διάρκεια ζωής (έτη)
1	200	-	-	-	40
2	1000	-	-	-	
3	2000	-	-	-	
4	10000	2,44	6,7	220,14	
5	20000	2,44	6,7	440,3	
6	100000	2,44	6,7	1981	
7	200000	2,44	6,7	3962	

Απολύμανση με UV-B

Η παραγωγή της ακτινοβολίας UV γίνεται με λυχνίες που περιέχουν ατμούς υδραργύρου και φορτίζονται μέσω ηλεκτρικού τόξου. Η παραγόμενη ενέργεια από τη

διέγερση των ατμών υδραργύρου που περιέχονται στη λυχνία, έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας.

Τα συστήματα απολύμανσης για να επιτύχουν το σκοπό λειτουργίας τους απαρτίζονται από διάφορα μέρη. Τα κυριότερα είναι (Lawrence et al., 2008) :

• UV λυχνίες
• Εξωτερικό περίβλημα χαλαζία
• Πυκνωτές για τροφοδοσία ρυθμιζόμενης ισχύος
• Παροχή ισχύος
• Σταθεροποιητής έντασης (ballast)

Οι βασικές διατάξεις που λαμβάνουν χώρα κατά την απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία είναι δύο.

• Συστήματα ανοιχτού – καναλιού
• Συστήματα κλειστού – καναλιού

Στο σύστημα ανοιχτού – καναλιού οι λαμπτήρες μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια παράλληλα με την ροή καθώς και κατακόρυφα κάθετα με την ροή. Η παροχή σχεδιασμού κατανέμεται μεταξύ ενός αριθμού ανοιχτών καναλιών και ένα από αυτά διατίθεται πάντα σε εφεδρεία. Οι λαμπτήρες σε αυτήν την διάταξη δεν έρχονται σε επαφή με τα λύματα παρά μόνο βρίσκονται πάνω από τους διαπερατούς αγωγούς, ή πάνω από την περιοχή των λυμάτων. Για την προστασία των λαμπτήρων τοποθετείται περίβλημα χαλαζία.

Στο σύστημα κλειστού – καναλιού οι λαμπτήρες μπορούν να τοποθετηθούν κάθετα που είναι και η συνηθέστερη διάταξη αλλά σε κάποιες περιπτώσεις και οριζόντια στη ροή των λυμάτων. Οι λαμπτήρες σε αυτήν την διάταξη είναι βυθισμένοι στα λύματα και διαθέτουν ενσωματωμένη διάταξη μηχανικού καθαρισμού των περιβλημάτων χαλαζία για την διατήρηση της απόδοσης. Λόγω ιδιομορφίας αυτών των λαμπτήρων και τον υψηλών θερμοκρασιών των τοιχωμάτων των καναλιών, η ισχύς τους είναι ανεξάρτητη από την θερμοκρασία εκροής.

Οι λαμπτήρες σε αυτήν την διάταξη βυθίζονται μέσα στα λύματα και για την προστασία τους έχει τοποθετηθεί ένα περίβλημα χαλαζία.

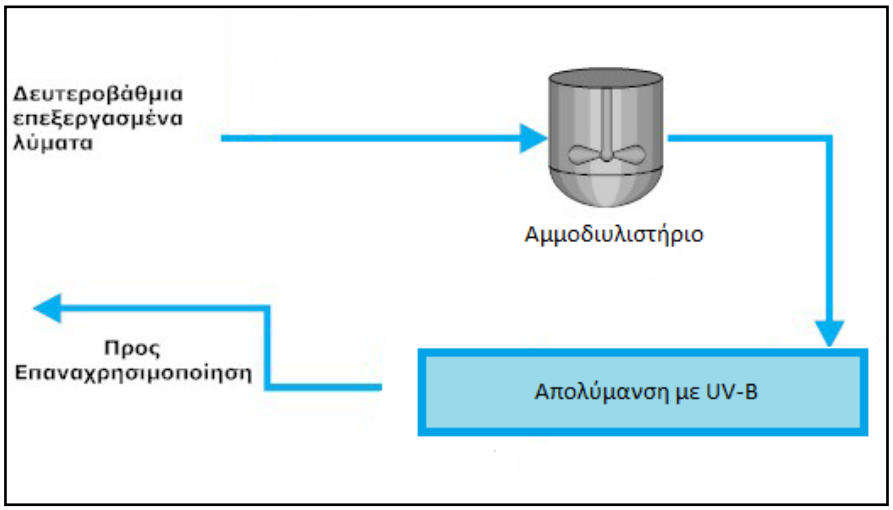
Στον πίνακα 7.4 ακολουθούν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των παραπάνω τύπων UV.

Πίνακας 7.9 Συστήματα UV αστικής χρήσης

Α/Α	Παροχή σχεδιασμού (m^3/day)	Διάμετρος φίλτρου (m)	Αριθμός λυχνιών	Δόση (mJ/cm^2)	Ισχύς (kW)	Διάρκεια ζωής (έτη)
1	200	Β	3	150	0,45	15
1Α	200	Α	8	70	0,7	
2	1000	Β	4	85	1	
2Α	1000	Α	24	80	2,1	
3	2000	Β	8	75	2	
3Α	2000	Α	48	800	4,2	
3Β	2000	Γ	16	110	4	
4	10000	Γ	32	82,9	8	
4Α	10000	Β	32	75	8	
5	20000	Γ	64	81,2	16	
5Α	20000	Β	72	85	18	
6	100000	Γ	240(1 κανάλι)	62,4	60	
7	200000	Γ	280(2 κανάλια)	62,4	120	

Οι αναφερόμενες δόσεις είναι UDVDis στο τέλος του χρόνου ζωής των λυχνιών με τον ανάλογο συντελεστή ρύπανσης και συστήματος καθαρισμού. Για να διασφαλιστεί η απολύμανση στα χαμηλά επίπεδα που απαιτείται τα συστήματα ανοιχτού τύπου Β,Γ έχουν πάντα δύο τράπεζες σε σειρά.

Συνεπώς η προτεινόμενη διάταξη της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι:



Εικόνα 7.8: προτεινόμενη διάταξη τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

Αγωγός παροχή/μεταφοράς του νερού εμπλουτισμού

Ο άμεσος εμπλουτισμός θα πραγματοποιηθεί μέσω των γεωτρήσεων που υπάρχουν στο Τεχνολογικό και Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 4,4km απο την ΕΕΛ Λαυρίου.

Με τον τρόπο αυτό θα εμπλουτιστεί ο υπόγειος υδροφορέας. Έτσι θα αναπληρώνεται το νερό που θα αντλείται από το παλιό αντλιοστάσιο για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της περιοχής.

7Β.2 Οικονομικά Στοιχεία

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων

Με βάση τα στοιχεία από την ΔΕΥΑΤΗΛ, όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης είναι περίπου 370724,79 € (πίνακας 7.5)

Για την επέκταση του βιολογικού καθαρισμού, όπως προαναφέρθηκε θα χρησιμοποιηθεί αμμοδιυλιστήριο συνεχούς παροχής και απολύμανση με UV-B. Έτσι με βάση την παροχή των αστικών λυμάτων, η οποία σε αιχμή ισούται με 8558 m^3/day, διαστασιολογούνται ανάλογα τα απαιτούμενα μέρη της επέκτασης.

Αμμοδιυλιστήριο

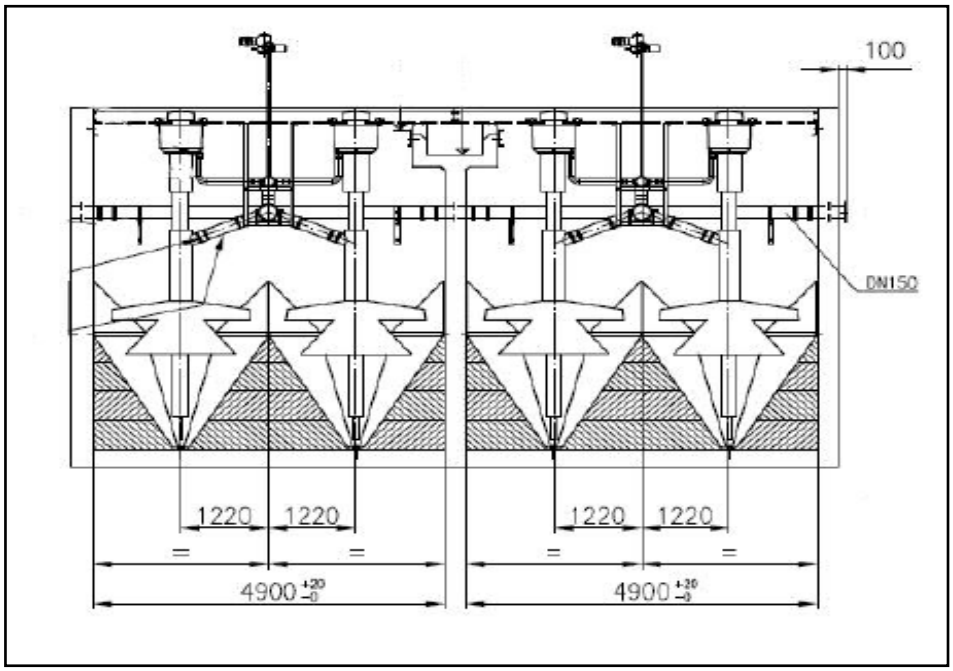
Τόσο για την διαστασιολόγηση όσο και για την κοστολόγηση θεωρήθηκε ως παροχή σχεδίασης, μια παροχή 10000 m^3/hr. Έτσι με βάση αυτήν την παροχή διαμορφώθηκε και το παρακάτω κοστολόγιο για τα αμμοδιυλιστήρια συνεχούς ανοδικής ροής που προτείνονται να χρησιμοποιηθούν.

Με τον Κολικονιάρη (2012), για την διάταξη του βιολογικού καθαρισμού του Λαυρίου θα χρησιμοποιηθούν 16 αμμοδιυλιστήρια συνολικής επιφάνειας 96 m^2 και κόστους 358000€. Το κάθε φίλτρο έχει διάμετρο 2,44 m και ύψος 6,7m. Η διάταξη αυτή θα βρίσκεται εντός δεξαμενής από σκυρόδεμα, ο συνολικός όγκος του σκυροδέματος που θα χρειαστεί ανέρχεται σε 220,14 m^3 με κόστος κατασκευής 57237 €. Στην διάταξη συμπεριλαμβάνονται ακόμα και 2 αεροσυμπιεστές με κόστος 14800€, οι οποίοι θα λειτουργούν με παροχή σχεδιασμού 1120 l/min. Δεδομένου ότι η κατασκευή πρέπει να βρίσκεται 0,8 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους θα

πραγματοποιηθούν εκσκαφές όγκου 742 m^3, που θα κοστίσουν 3858 €. Στα κόστη τις κατασκευής πρέπει να συμπεριληφθούν τόσο το κόστος εξοπλισμού όσο και το κόστος της εγκατάστασης, 372800€ και 111840€ αντίστοιχα. Έτσι το πάγιο κόστος της κατασκευής φτάνει 545735 €.

Ωστόσο έξοδα της κατασκευής αποτελούν η λειτουργία και η συντήρηση αυτής. Η καθημερινή λειτουργία του αμμοδιυλιστηρίου, με χρέωση 0,09 €/kWh, θα κοστίζει 6307 €/έτος, ενώ η συντήρηση ανέρχεται στα 467 €/έτος.

Επειδή τα αποτελέσματα της διεργασίας αυτής προορίζονται για αστική χρήση προβλέπεται η προσθήκη χημικών στο πρώτο στάδιο, η οποία κοστίζει 19754 €/έτος. Έτσι το συνολικό ετήσιο κόστος της διάταξης του αμμοδιυλιστηρίου κοστίζει 72006 €/έτος.



Εικόνα 7.9: Τομή αμμόφιλτρων συνεχούς ανοδικής ροής σε δεξαμενές (Κολικονιάρης, 2012).

Απολύμανση με υπεριώδεις ακτινοβολία UV – B

Με γνώμονα την οικονομικότερη λύση, και τα οικονομικά στοιχεία που παρουσιάζονται στην μεταπτυχιακή διατριβή του Κολικονιάρη τον Οκτώβριο του 2012, επιλέχθηκε η διάταξη 4Α. Στην η διάταξη αυτή είναι σε κλειστό θάλαμο, στον οποίο περιέχονται 32 λυχνίες, όπως φαίνεται και στο πίνακα 7.4, και κοστίζει 85000 €.

Η απολύμανση πραγματοποιείται μέσα σε δεξαμενή από σκυρόδεμα, της οποίας η κατασκευή κοστίζει περίπου 630€. Το πάγιο κόστος της απολύμανσης με υπεριώδεις ακτινοβολία περιλαμβάνει εκτός από το προαναφερθέν κόστος του εξοπλισμού και το κόστος της εγκατάστασης, το οποίο υπολογίζεται ίσο με 25500€.

Το συνολικό κόστος λειτουργίας της απολύμανσης ανέρχεται στα 11107€/έτος, καθώς η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια κοστίζει 6307 €/έτος και η συντήρηση 4800 €/έτος αντίστοιχα.

Συνεπώς το συνολικό κόστος όλης της επέκτασης θα είναι τον για τα πρώτα 15 χρόνια 92374 €/έτος, το οποίο απλά θα μειώσει το ετήσιο κέρδος της ΔΕΥΑΤΗΛ.

Αγωγός Μεταφοράς

Αντίστοιχα με την πρώτη πρόταση το κόστος του αγωγού μεταφοράς του νερού εμπλουτισμού από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού στις γεωτρήσεις του Τεχνολογικού Πάρκου Λαυρίου ΕΜΠ (Εικ. 7.10) προκύπτει με βάση το τιμολόγιο του Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. Έτσι με βάση μία αρχική χάραξη του αγωγού μεταφοράς καταρτίζεται ο παρακάτω πίνακας.

Εικόνα 7.10: Αγωγός μεταφοράς για την περίπτωση απευθείας εμπλουτισμού.

Πίνακας 7.10: Κοστολόγηση του αγωγού μεταφοράς και του αντλιοστασίου

α/α	Εργασίες	Α.Τ.	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Ε.Μ.	Ποσότητες	Τιμή Μονάδας	Δαπάνη
1	Εκσκαφές ορυγμάτων γαιώδεις-ημιβραχώδεις με φόρτωση και μεταφορά προϊόντων εκσκαφής	1	3.10.02.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6081.1	m^3	4398	8,58	37734,8
ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΕΣ								
2	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη	2	12.18.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	mg	8737,26	1,85	16163,9
3	Καμπύλες συστολής και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	3	12.19 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	mg	1890,89	3	5672,67
4	Φλάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	4	12.2 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	mg	506,96	4,5	2281,32
5	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης	5	12.21.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	km	0,73	1000	730
6	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	6	12.21.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	km	0,73	1000	730
7	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	7	12.21.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6630.1	km	0,73	2000	1460
ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ								
8	Εκσκαφές θεμελίων τεχν. έργου γαιώδεις-ημιβραχώδεις	8	3.17 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6054	m^3	30,1	3,85	115,885
9	Ξυλότυποι επιπέδων επιφανειών	9	3.18.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6055	m^3	120,92	7,6	918,992
10	Κατασκευές από σκυρόδεμα C 8/10	10	9.10.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6324	m^3	14,85	62	920,7
11	Κατασκευές από σκυρόδεμα C 20/25	11	9.10.05 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6327	m^3	31,26	81	2532,06
12	Σιδηρούς οπλισμός S500 σκυροδεμάτων	12	9.26 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6311	mg	4562	0,9	4105,8
13	Κατασκευή αντιολισθηρού βιομηχανικού δαπέδου με εποξειδικό ρητινοκονίαμα	13	73.93ΥΔΡ	ΟΙΚ 7373.1	m^2	44,17	50	2208,5
14	Στεγάνωση επιφάνειας δώματος με διπλή στρώση ασφαλτόπανου και τσιμεντοκονίαμα προστασίας	14	Β 37.2 ΟΔΟ	ΟΔΟ 2412	m^2	28,3	11,5	325,45
15	Οπτοπλινθοδομές με διάκενους τυποποιημένους οπτόπλινθους 9x12x19 cm πάχους 1 πλίνθου (μπατικοί τοίχοι)	15	46.10.04 ΟΙΚ	ΟΙΚ 4664.1	m^2	30,25	30	907,5
16	Επίχρισμα τριπτά - τριβιστά με μαρμαροκονίαμα	16	71.31 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7131	m^2	97,35	10	973,5
17	Χρωματισμοί επιφανειών	17	77.80.02 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7785.1	m^2	25,45	9	229,05

18	Υδροχρωματισμοί επιφανειών σκυροδέματος με ακρυλικό υδατοδιαλυτό τσιμεντόχρωμα	18	77.10 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7725	m^2	10,25	3,5	35,875
19	Θερμομόνωση τοίχων με πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 50mm	19	79.47 ΟΙΚ	ΟΙΚ 7934	m^2	25,45	10,5	267,225
20	Υγρομόνωση σκυροδέματος με διπλή ασφαλτική επάλειψη	20	Β 36 ΟΔΟ	ΟΔΟ 2411	m^2	38,92	1,5	58,38
21	Κατασκευές με περιορισμένη μηχανουργική επεξεργασία	21	11.05.02 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6751	mg	650	1,9	1235
22	Μεταλλικές θύρες, τυποποιημένες, βιομηχανικής προέλευσης συρόμενες με περσίδες αερισμού	22	62.50 ΟΙΚ	ΟΙΚ 6236	m^2	1,87	180	336,6
23	Υαλοστάσιο αλουμινίου τετράφυλλα συρόμενα, μη χωνευτά	23	65.19 ΟΙΚ	ΟΙΚ 6530	m^2	2,88	105	302,4
24	Κουφώματα από ηλεκτροστατικά βαμμένο αλουμίνιο βάρους 12-24 kg/m2 περσιδωτά	24	65.01.02 ΟΙΚ	ΟΙΚ 6501	m^2	2,88	180	518,4
25	Δικλίδες, συρταρωτές DN250 χλσ. 16 ατμ. με ωτίδες	25	13.03.03.08 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	650	650
26	Δικλίδες, συρταρωτές DN300 χλσ. 16 ατμ. με ωτίδες	26	13.03.03.09 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	740	740
27	Βαλβίδες αντεπιστροφής ελαστικής έμφραξης DN250, 16 ατμ.	27	Τ.Ε	ΗΛΜ 84	τεμ.	1	790	790
28	Εξαρμώσεις ονομαστικής διαμέτρου DN 250, 16 ατμ.	28	13.15.02.09 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	410	410
29	Εξαρμώσεις ονομαστικής διαμέτρου DN 300, 16 ατμ.	29	13.15.02.10 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6651.1	τεμ.	1	590	590
30	Αντλία Q=750 m3/h , Ημαν=60m	30	Τ.Ε	ΗΛΜ 21	τεμ.	1	58000	58000
31	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Α/Σ	31	Τ.Ε	ΗΛΜ 51	τεμ.	1	45000	45000
32	Υποσταθμός	32	Τ.Ε	ΗΛΜ 51	τεμ.	1	70000	70000

Όπως προκύπτει λοιπόν το συνολικό κόστος κατασκευής του αγωγού και του αντλιοστασίου ανέρχεται στα 439.000€, το οποίο ποσό ισοδυναμεί με ετήσια δαπάνη 10975 €/έτος θεωρώντας διάρκεια ζωής των έργων ίση με 40 έτη.

Γεωτρήσεις στο Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου

Για τη δημιουργία του υδραυλικολύ φραγμού στο μέτωπο υφαλμύρισης θα χρησιμοποιηθούν τέσσερεις γεωτρήσεις στο χώρο του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου του Λαυρίου. Οι γεωτρήσεις θα συνδέονται με αγωγό συνολικού μήκους 550 m. Το κόστος του αγωγού σύνδεσης των γεωτρήσεων, όπως αυτός

φαίνεται στην εικόνα 7.10, υπολογίζεται με βάση την τιμολογιακή πολιτική του υπουργείου και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Εικόνα 7.11: Εσωτερικός αγωγός σύνδεσης των γεωτρήσεων στο ΤΠΠΛ ΕΜΠ.

Πίνακας 7.11: Κοστολόγηση αγωγού σύνδεσης των γεωτρήσεων

α/α	Εργασίες	Α.Τ.	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Ε.Μ.	Ποσότητες	Τιμή Μονάδας	Δαπάνη
1	Εκσκαφές ορυγμάτων γαιώδεις-ημιβραχώδεις με φόρτωση και μεταφορά προϊόντων εκσκαφής	1	3.10.02.01 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6081.1	m^3	550	8,58	4719
HDPE								
2	Ονομαστικής διαμέτρου DN250/PN12,5atm	2	12.14.01.33 ΥΔΡ	ΥΔΡ 6622.3	μ.μ	550	70,00	38500

Άρα το ετήσιο κόστος για τη σύνδεση των γεωτρήσεων ανέρχεται στα 1087,5 €/έτος, θεωρώντας διάρκεια ζωής 40 έτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^{Ο}
Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση εφαρμογής μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού στο παράκτιο υδρογεωλογικό σύστημα του Λαυρίου, με σκοπό την υποστήριξη των υδατικών αναγκών (υδρευτικών ή/και αρδευτικών) του Δήμου Λαυρεωτικής, με τη χρήση επαναχρησιμοποιημένων λυμάτων απο την ΕΕΛ Λαυρίου (ΔΕΥΑΤΗΛ).

Οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται μέσα από την εκμετάλλευση του φρεάτιου αλλουβιακού υδροφορέα, ο οποίος παρουσιάζεται στις αλλουβιακές αποθέσεις. Για την προστασία αλλά και την ενίσχυση του υδροφορέα στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαχείρισης των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων της περιοχής προτείνεται η εφαρμογή συστημάτων Επεξεργασίας Εδάφους-Υδροφορέα, SAT (Soil-Aquifer-Treatment). Η περιοχή πληρεί τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού, με βάση τα υδρογεωλογικά της χαρακτηριστικά αλλά και με βάση την ποιότητα του νερού εμπλουτισμού και το είδος των καλλιεργειών σε συνδυασμό με τις τρέχουσες πρακτικές άρδευσης.

Οι υδρευτικές ανάγκες ανάγκες του Λαυρίου, καλύπτονταν έως το 1984 από τον καρστικό υδροφορέα της περιοχής, ο οποίος υπέστει ποιοτική υποβάθμιση (υφαλμύριση εξαιτίας της διείσδυσης θαλασσινού νερού) ως αποτέλεσμα των υπεραντλήσεων λόγω αυξημένης ζήτησης. Υπό το πρίσμα της παρούσας έρευνας, εξετάζεται η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων έγχυσης με σκοπό τη δημιουργία υδραυλικού υβώματος και την ανάσχεση του μετώπου της θαλάσσιας διείσδυσης, ώστε να ανακτήσει ο καρστικός υδροφορέας την υπηρεσία του ως πηγή νερού ύδρευσης. Στην ανάλυση που παρατίθεται με λεπτομέρειες στο αντίστοιχο κεφάλαιο (Κεφ. 7), περιέχεται και η μετατροπή της λειτουργίας της ΕΕΛ Λαυρίου από δευτεροβάθμια σε τριτοβάθμια επεξεργασία, ώστε να πληρεί τις προϋποθέσεις της τρέχουσας νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, αφού παρατηρήθηκαν οι χρήσεις νερού τις περιοχής του Λαυρίου, οι οποίες και παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 8.1, προτάθηκαν δύο διαφορετικά σενάρια με τα οποία ο Δήμος Λαυρεωτικής θα μπορούσε να υποστηρίξει τις υδατικές του ανάγκες με τη χρήση των υδατικών αποθεμάτων ων υπόγειων υδροφορέων της περιοχής.

Πίνακας 8.1: Υδατικές ανάγκες του Δήμου Λαυρεωτικής.

Χρήση	Όγκος νερού (m^3/έτος)	Δίκτυο κάλυψης των αναγκών	Κόστος
Ύδρευση	7.800.000	ΔΕΥΑΤΗΛ	11.120.000,00 €
Κτηνοτροφία	182.500		
Άρδευση	1.172.127	γεωτρήσεις	δωρεάν*

* δεν περιλαμβάνονται στην μελέτη το κόστος συντήρησης των γεωτρήσεων.

Το κόστος κάθε προτεινόμενης εφαρμογής τεχητού εμπλουτισμού έχει υπολογιστεί με βάση χαρακτηριστικά και στοιχεία που αναλύονται και παρουσιάζονται αναλυτικά στο 7^{ο} Κεφάλαιο, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί έκαστη πρόταση. Τα κόστη της κάθε πρότασης συνοψίζονται στον πίνακα 8.2.

Στο πρώτο σενάριο – ***πρόταση Α***, προτείνεται η μεταφορά της εκροής (δευτεροβάθμια επεξεργασία) της ΕΕΛ Λαυρίου, με συγκεκριμένο σύστημα, με σκοπό την κατασκευή και λειτουργία συστήματος SAT. Με τον τρόπο αυτό θα εμπλουτίζεται ο υπόγειος υδροφορέας με μέσο ετήσιο ρυθμό εμπλουτισμού 766.500 m^3, γεγονός που θα ενισχύσει τον υπόγειο υδροφορέα καλύπτοντας ποσοστό μεγαλύτερο του 50% των αρδευτικών αναγκών.

Στο δεύτερο σενάριο – ***πρόταση Β***, η μέση παροχή του βιολογικού καθαρισμού (766.500 m^3) απαιτείται αρχικά να υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία, με χρήση αμμοδιυλιστηρίου και απολύμανσης με υπεριώδεις ακτινοβολία UV-B. Η εκροή θα μεταφέρεται -με κατάλληλο σύστημα μεταφοράς- σε γεωτρήσεις εμπλουτισμού στο χώρο του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου Λαυρίου (ΕΜΠ). Η εφαρμογή αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη τις υδρευτικές ανάγκες της περιοχής. Η κάλυψη των αναγκών και η διάθεση του νερού θα πραγματοποιείται από το παλιό αντλιοστάσιο, το οποίο αντλεί το νερό του καρστ από ψηλότερο σημείο.

Πίνακας 8.2: Συνοπτική παρουσίαση προτάσεων και κοστών

Πρόταση Α		**Πρόταση Β**	
Χρήση των υγρών αποβλήτων μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία τους στην Ε.Ε.Λ και μεταφορά σε λεκάνες κατάκλυσης για τον εμπλουτισμού του υδροφορέα που χρησιμοποιείται για την άρδευση της περιοχής		Χρήση των υγρών αποβλήτων μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία τους στην Ε.Ε.Λ και μεταφορά σε λεκάνες κατάκλυσης για τον εμπλουτισμού του υδροφορέα που χρησιμοποιείται για την άρδευση της περιοχής	
Βιολογικός καθαρισμός		Βιολογικός καθαρισμός	
Έξοδα*	151.750,79 €	Έξοδα *	151.750,79 €
Έσοδα*	522.475,58 €	Έσοδα *	522.475,58 €
Κέρδος *	370.724,79 €	Κέρδος *	370.724,79 €
Επέκταση βιολογικού καθαρισμού		Επέκταση βιολογικού καθαρισμού	
Δεν προβλέπεται		Αμμοδιυλιστήριο **	72.006,00 €
		Απολύμανση με UV-B **	20.368,00 €
		Συνολικό κόστος ***	92.374,00 €
Αγωγοί μεταφοράς		Αγωγοί μεταφοράς	
Κόστος *	9.175,00 €	Κόστος *	10.975,00 €
Λεκάνη κατάκλυσης		Γεωτρήσεις	
Κόστος **	33.100,00 €	Κόστος *	1.087,50 €
Δίκτυο διανομής		Δίκτυο διανομής	
Δεν προβλέπεται		Αντλιοστάσιο	192.171,30 €
Συνολικό κόστος *	**42.275,00 €**	**Συνολικό κόστος ***	**296.607,30 €**

* υπολογίστηκαν σε ετήσια βάση.

** Με βάση την διάρκεια ζωής των έργων, για την λεκάνη κατάκλυσης θεωρήθηκε διάρκεια ζωής 40 ετών, όπως και για τα κατασκευαστικά μέρη της επέκτασης του βιολογικού καθαρισμού. Ενώ τα μηχανικά μέρη της επέκτασης έχουν 15 έτη διάρκεια ζωής.

*** Το κόστος αυτό είναι για τα πρώτα 15 χρόνια.

Με βάση τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων συμπεραίνεται ότι η χρήση μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή μελέτης θα μπορούσε να αποφέρει πολλά θετικά αποτελέσματα τόσο από άποψη ποιοτικής προστασίας του υπόγειου υδατικού δυναμικού, όσο και από οικονομική άποψη. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού θα ήταν πιο αποτελεσματικά εαν ΕΕΛ Λαυρίου συνδέονταν με το δίκτυο αποχέτευσης περισσότερων κατοικιών, καθώς μέχρι τώρα

έχει συνδεθεί μόνο το 60% περίπου των κατοικιών της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό θα αυξανόταν ετήσιος ρυθμός εκροής της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων και κατά συνέπεια οι ετήσιοι ρυθμοί εμπλουτισμού.

Από οικονομική άποψη παρατηρείται ότι από τα ετήσια έσοδα της ΔΕΥΑΤΗΛ θα μπορούσαν να καλυφθούν οικονομικά και οι δύο προτεινόμενες λύσεις. Αναλυτικότερα τα οικονομικά αποτελέσματα είναι τα εξής:

- Η εφαρμογή του πρώτου σεναρίου δράσης θα βοηθούσε στην εξυγίανση του υδροφόρου ορίζοντα του αλλουβιακού υδροφορέα. Με αυτό τον τρόπο η βελτίωση στην ποιότητα του νερού άρδευσης θα αποφέρει και παράλληλη βελτίωση στην ποιότητα των καλλιεργειών, κάτι που θα αποφέρει έσοδα στους καλλιεργητές της περιοχής.

- Η εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου θα έχει άμεσα οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές του Δήμου Λαυρεωτικής, καθώς με τον τρόπο αυτό το κόστος κάλυψης των αναγκών ύδρευσης και κτηνοτροφίας θα περιοριστεί μόνο στο κόστος συντήρησης των αγωγών και του αντλιοστασίου. Αυτό θα αποφέρει ετήσιο κέρδος της τάξης τουλάχιστον των 11.000.000 €

Για την πληρέστερη μελέτη των θετικών αποτελεσμάτων που θα μπορούσε να επιφέρει η εφαρμογή των προτάσεων αυτών προτείνονται:

1. Η μελέτη της ποιότητας του νερού των υδροφορέων, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει στην πρόταση συγκεκριμένων καλλιεργειών για την βέλτιστη αξιοποίηση των παροχών νερού αλλά και την οικονομική ενίσχυση των καλλιεργητών.
2. Η τοποθέτηση μετρητών παροχής, για την πλήρη απεικόνιση των αναγκών κατανάλωσης όλων των κατοίκων της περιοχής.
3. Η εγκατάσταση γεωτρήσεων ελέγχου τόσο για την λειτουργία του συστήματος λεκανών κατάκλυσης όσο και σε μία απόσταση ανάντη των γεωτρήσεων εμπλουτισμού για τον έλεγχο λειτουργίας του φραγμού στο μέτωπο υφαλμύρωσης.
4. Η υδραυλική/υδρογεωλογική/υδρολογική μελέτη για την πιθανή εφαρμογή και των δύο προτάσεων. Μια τέτοια μελέτη θα βοηθήσει στον προσδιορισμό τον παροχών εκείνων που θα αποφέρουν τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα στην προστασία του παράκτιου υδροσυστήματος του Λαυρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^{Ο}
Βιβλιογραφία

1. Asano T. (1985). Artificial Recharge of Groundwater. Boston, Mass: Butterworth.
2. Asano T. et al., (1992). Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. Water Sci. Technol. 26: 1513-1524.
3. Asano, T., Levine, A.D., (1998). Wastewater reclamation, recycling, and reuse: an introduction. In: Asano, T. (ed.) Wastewater reclamation and reuse. Technomic, Lancaster, Pennsylvania, p. 1-56.
4. AwwaRF (American Water Works Association Research Foundation) and WERF (Water Environment Research Foundation), (2006). Advances in Soil Aquifer Treatment Research for Sustainable Water Reuse. Published by AwwaRF and American Water Works Association, USA. 200+xxxix p.
5. Bianchi, W. C., (1978). Artificial ground water recharge. In: Irrigation Drainage and Flood Control State-of-the Art. No 1. International Commission on Irrigation and Drainage. Pp.331-335.
6. Bouwer H., (1982). Design considerations for earth linings for seepage control. Ground Water 20 (5): 531-537.
7. Bouwer H., (1984). Wastewater renovation in rapid infiltration systems. Ground Water 22: 696-705.
8. Bouwer H., (1990). Effect of water depth and ground water table on infiltration from recharge basins. Pp. 377-384 in: Proceedings of the 1990 National Conference of the Irrigation and Drainage Division. American Society of Civil Engineers, S. C. Harris ed. Durango, Colo. July 11-13, 1990.
9. Bouwer H., (1991). Simple derivation of the retardation equation and application to preferential flow and macrodispersion. Ground Water 29 (1):41-46.
10. Bouwer H., and R. C. Rice, (1984). Hydraulic properties of stony vadose zones. Ground Water 22 (6): 696-705.
11. Bouwer H., and R. C. Rice, (1989). Effect of water depth in ground water recharge basins on infiltration rate. J. Irrig. Drain. Eng. 115 (4):556-568.
12. Bouwer, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal, V. 10, No 1, pp. 121-142.
13. Bouwer, H., (1978). Ground Water Hydrology. New York: McGraw-Hill. 480 pp.
14. Bouwer, H., (1985). Renovation of Wastewater with rapid-infiltration land treatment systems. Pp. 249-282 in Artificial Recharge of Groundwater, T. Asano, ed. Boston, Mass.: Butterworth
15. Bouwer, H., (1995). Issues in artificial recharge. 2nd International Symposium on wastewater reclamation and reuse". International Association on Water Quality, Iraklion, Crete, Greece, 17-20/10/1995, pp.871-880.
16. Bouwer, H. (1999). Artificial recharge of groundwater: systems, design, and management. In: Mays LW (ed) Hydraulic design handbook. McGraw-Hill, New York, pp. 24.1-24.44

17. Buchan, S., (1958). Replenishment of aquifers by artificial methods. In: Symposium on Ground Water, Calcutta, India, 1955. Pub. 4. Calcutta, India: Central board of Geophysics, pp.327-334.
18. California State Department of Health Services, (2000). Water recycling criteria, title 22. Sacramento, California.
19. Chang A. C. and A. L. Page, (1985). Soil deposition of trace metals during groundwater recharge using surface spreading. pp. 609-626 in Artificial Recharge of Groundwater, T. Asano, ed. Boston, Mass.: Butterworth.
20. Committee on Ground Water, (1961). Recharge and Withdrawal. In: American Society of Civil Engineers Manual of Engineering Practice, No. 40, pp.72-92.
21. Committee on Ground Water, (1961). Recharge and Withdrawal. In: American Society of Civil Engineers Manual of Engineering Practice, No. 40, pp.72-92.
22. Foreman T. L. et al., (1993). Results of a 1-year rapid infiltration/extraction (RIX) demonstration project for tertiary filtration. Pp. 21-36 in proceedings of the Water Environment Federation 66th Annual Conference and Exposition, Oct. 3-7, 1993, Anaheim, Calif. Alexandria, Va. : Water Environment Federation.
23. GEOSERVICE, (2000). 'Cystallization technologies for prevention of saline water intrusion', CRYSTECHSALIN (EVK1-2000-631): Geological-hydrogeological and geochemical survey of the Greek test site in Eleftheres basin, Greece. Report 1, Research Directorates, 5th Framework Program, Energy, Environment and Sustainable Development, European Commission, pp. 64.
24. Gerba C. and S. Goyal, (1985). Pathogen removal from wastewater during groundwater recharge. Pp. 283-318 in Artificial Recharge of Groundwater, T. Asano, ed. Boston, Mass.: Butterworth.
25. Ghodrati M. and W. A. Jury, (1990). A field study using dyes to characterize preferential flow of water. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1558-1563.
26. Hamaker J. W. and J. M. Thompson, (1972). Absorption. Pp. 49-144 in Organic Chemicals in the Soil Environment, C. A. I. Goring and J. W. Hamaker eds. New York: Marcel Dekker.
27. Hillel D., (1987). Unstable flow in layered soils; a review. Hydrological Processes 1 (2): 143-147.
28. Howard P. H. et al., (1991). Handbook of Environmental Degradation Rates. Chelsea, Mich: Lewis.
29. Howard P. H., (1990). Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals Vol I and II. Chelsea, Mich: Lewis.
30. http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR300062018 (πληροφορίες για την ΕΕΛ Λαυρίου)
31. http://www.deyathl.gr (ιστότοπος της ΔΕΥΑΤΗΛ)
32. http://www.lifewateragenda.org/html/news-gr.html (Life project 99/ENV/GR/000590, titled "Pilot Artificial Recharging of Aquifers through Direct Injection and Irrigation, for Seawater Intrusion Control within the Framework of Integrated and Sustainable Water Management").
33. Huisman L. and T. N. Olsthoorn, (1983). Artificial Groundwater Recharge. Boston, Mass.: Pitman.
34. Hultquist R. H., R. H. Sakaji and T. Asano, (1991). Proposed California regulations for ground water recharge with reclaimed municipal wastewater. Pp.

759-764 in: Proceedings of the 1991 Specialty Conference, Environmental Engineering, American Society for Civil Engineers. Reno, Nev. July 1991.

35. Icekson E., O. Avraham, J. Sack and H. Cikurel, (2002). Water reuse in Israel – The Dan Region Project: evaluation of water quality and reliability of plant's operation. Proceedings of the IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Iraklion, Greece, 26-29/9/2002, pp. 491-496.
36. Kallioras A. Pliakas F. and Diamantis I., (2006). Conceptual model of a coastal aquifer system in northern Greece and assessment of saline vulnerability due to seawater intrusion conditions. Journal of Environmental Geology, Vol. 51, n. 3, pp. 349-361.
37. Martz G.(2008) Υδραυλική των οικισμών, Υδεύσεις 1, Αθήνα
38. Meinzer, O. E., (1946). General Principles of Artificial Ground-Water Recharge. Economic Geology V. 41(3), pp.191-201.
39. Muckel, D. C. and Schiff, L., (1955). Replenishing Ground Water by Spreading. U.S. Department of Agriculture, Yearbook of Agriculture, pp. 302-310.
40. Muckel, D. C., (1959). Replenishment of Ground Water Supplies by Artificial Means. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1195.
41. National Research Council, (1983). Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington, D. C.: National Academy Press
42. National Research Council, (1994a). Ground water recharge using waters of impaired quality. Washington, D. C.: National Academy Press
43. National Research Council, (1994b). Science and Judgment in Risk Assessment. Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants. Washington, D. C.: National Academy Press.
44. Nightingale, H. I. and Bianchi, W. C., (1977). Environmental aspects of Water spreading for Ground-Water Recharge. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No.1568, Agric. Research Service, U.S. Dept. of Agric., 21pp.
45. Oaksford, E. T., (1985). Artificial recharge: methods, hydraulics and monitoring. Artificial Recharge of Groundwater, Edited by Asano T., Butterworth Publishers, Chapter 4, pp. 69-127.
46. Pettyjohn, W. A., (1981). Introduction to artificial groundwater recharge. NWWA/EPA-600/2-81-236, Robert S.Kerr Environmental Research Laboratory, US Environmenral Protection Agency, Ada, Oklahoma.
47. Pliakas F., A. Kallioras, I. Diamantis and I. Giougis, (2007). Seawater intrusion in a coastal phreatic aquifer of Kavala Prefecture, Northern Greece. Proceedings of the 10th International Conference on the Environmental Science and Technology (CEST2007), University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, and Global Nest, 5-7/9/2007, Cos Island, Greece, Vol. B, pp. 626-633.
48. Pliakas F., Diamantis I and Petalas C., (2001). Saline water intrusion and groundwater artificial recharge in east delta of Nestos River. Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology, University of the Aegean, Global Nest, Syros, Greece, 3-6/9/2001, Vol. 2, pp. 719-726.
49. Pliakas F., Diamantis, I., and Petalas, C., (2001). Saline water intrusion and groundwater artificial recharge in east delta of Nestos river. Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology,

University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, and Global Nest, Ermoupolis, Syros, Greece, 3-6/9/2001, Vol. 2, pp. 719-726.
50. Pliakas F., I. Diamantis, A. Kallioras and C. Petalas, (2003). Environmental effects of a proposed groundwater artificial recharge project in Vafeika plain area of Xanthi region in Thrace, Greece. Proceedings of the 2nd International Conference on Ecological Protection of the Planet Earth. Bio – Environment and Bio – Culture. Sofia, Bulgaria, 5-8/6/2003, pp. 364-371.
51. Pratt P. F. et al., (1972). Nitrate in deep soil profiles in relation to fertilizer rates and leaching volume. J. Environ. Qual. 19:396-401.
52. Todd, D. K., and Mays L. W. (2005). Groundwater Hydrology (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
53. U.S. Environmental Protection Agency, EPA, (1992). 'Guidelines for Water Reuse'. Technology Transfer Manual EPA/625/R-92/004. U.S. EPA. Washington, D.C. 247 p.
54. U.S. National Research Council, (1994). 'Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality'. National Academy Press, Washington, D.C., 283 p.
55. Ανδρεαδάκης Α., Καθηγητής ΕΜΠ, Μαμάης Δ., Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Απολύμανση Εκροών
56. Ανδρεάδης Ι., (2009), "Τεχνικοοικονομική ανάλυση και περιγραφή της Λειτουργίας της ΕΕΛ Λαυρίου" ,Αθήνα
57. Βαφειάδης Π. (1995) "Τεχνητός Εμπλουτισμός του Υδροφόρου Στρώματος" , Θεσσαλονίκη
58. Βουδούρης Κ. (2015), "Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού", Εκδόσεις Τζιόλας Αθήνα
59. Διαμαντής Ι. και Πλιάκας Φ.(1998) Ο τεχνητός Εμπλουτισμός των Υπογείων Νερών και Εφαρμογές του στην Ελλάδα και το Διεθνή Χώρο
60. Διαμαντής Ι. και Φ. Πλιάκας, (2008). Επιλεγμένα Θέματα Προχωρημένης Υδρογεωλογίας. Σημειώσεις για το Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Υδραυλική Μηχανική του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
61. Διαμαντής, Ι., Πλιάκας, Φ., και Πεταλάς, Χ., (1999). Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Βαφέϊκων του Νομού Ξάνθης. Πρακτικά 5ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, 12-14/11/1999, Λευκωσία, Κύπρος, σελ. 81-96.
62. Διαμαντής, Ι., Πλιάκας, Φ., και Τζεβελέκης, Θ., (1994). Τεχνητός εμπλουτισμός με επαναδραστηριοποίηση αδρανοποιημένων κοιτών: μια πρώτη προσέγγιση. Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας, (24-28/11/1993, Πάτρα), σελ.107-118, Αθήνα.
63. ΙΓΜΕ, (1983). Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας 1:500,000, 2η έκδοση, Αθήνα.
64. Καλλέργης Γ., (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμοι Α και Β. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα
65. Καλλιώρας, Α., (2008). Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του δυτικού παράκτιου τμήματος του Ν. Ροδόπης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., Ξάνθη.

66. Καλλιώρας, Α., (2014), «Τεχνητός Εμπλουτισμός» Σημειώσεις για το Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα
67. Κολικονιάρης Πέτρος (2012), «Τεχνικοοικονομική αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας αστικών λυμάτων με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση», Αθήνα
68. Κουμαντάκης Ι. (2007) Αξιοποίηση, Διαχείριση και προστασία υπογείων υδροφορέων, Σημειώσεις για το Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα
69. Κουμαντάκης Ι. (2007) Προχωρημένη Υδρολογία, Σημειώσεις για το Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα
70. Κουμαντάκης Ι.(2001) Τεχνητός εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων ως εργαλείο διαχείρισης υδατικών πόρων, Τρίπολη
71. Λέκκας Θ.,(1996) Περιβαλλοντική Μηχανική Διαχείριση Υδατικών Πόρων , Μυτιλήνη.
72. Παπαδόπουλος Φ., Παπαδόπουλος Α. και Βαφειάδης Π., (1995). Η επαναπλήρωση του υδροφορέα με επεξεργασμένα αστικά λύματα σαν μία προοπτική αντιμετώπισης της εδαφικής καθίζησης της περιοχής Καλοχωρίου Νομού Θεσσαλονίκη. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής 22-26/5/1995, Θεσσαλονίκη, σελ57-64.
73. Παυλόπουλος Κοσμάς (1997) "Γεωμορφολογική εξέλιξη της Νότιας Αττικής", Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα
74. Πλιάκας Φ., (2008). Ειδικά Θέματα της Υδραυλικής των Υπόγειων Νερών. Συμπληρωματικές σημειώσεις του μαθήματος: Υδραυλική των Υπόγειων Νερών, του 8ου εξαμήνου σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
75. Πλιάκας, Φ. (1998). Έρευνα επί των κατάλληλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού σε ετερογενείς υδροφορείς αλλουβιακών σχηματισμών. Εφαρμογή σε υδροφορείς του πεδινού τμήματος Ξάνθης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
76. Πλιάκας, Φ. και Διαμαντής, Ι., (1995). Διερεύνηση εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε υδροφορείς πεδινού τμήματος της Λεκάνης Βιστωνίδας (Ξάνθης). Πρακτικά 3ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας, 3-5/11/1995, Ηράκλειο Κρήτης, σελ. 443-453
77. Πλιάκας, Φ. και Διαμαντής, Ι., (1999). Εφαρμογές τεχνητού εμπλουτισμού σε ετερογενείς υδροφορείς αλλουβιακών πεδίων. Η περίπτωση του πεδινού τμήματος Ξάνθης. Πρακτικά Ημερίδας που διοργάνωσε η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας με θέμα “Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων” στην Ξάνθη στις 28/5/1999, σελ. 31-56.
78. Σακκάς Ι. (2007) Τεχνική Υδρολογία, Θεσσαλονίκη
79. Στεργίου Μαρία (2009) , «Εμπλουτισμός των υπόγειων νερών με την χρήση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας. Η περίπτωση της Ν. Περάμου του Ν. Καβάλας», Ξάνθη
80. Τσώνης Σ.,(2004) Επεξεργασία Λυμάτων, Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
81. ΦΕΚ Β 1499 - 20.6.2013 σελίδες(22463-22470)
82. ΦΕΚ Β 174 - 26.3.1991 σελίδες(1371 - 1378)
83. ΦΕΚ Β 354 – 8.3.2011 «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις»

84. Χαλισιανή Στ.(2007), "Γεωμορφολογική και Ανθρωπογενής εξέλιξη του λιμένος Λαυρίου" ,Αθήνα
85. Χρυσικού Ελένη, (2008) «Τεχνικός Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα λύματα-Περίπτωση εφαρμογής στο Θριάσιο Πεδίο» , Αθήνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^{Ο}
Παράρτημα

Παράρτημα Α – Αγροτικές Δραστηριότητες

Πίνακας 1: Στοιχεία των αγροτικών δραστηριοτήτων που συντελούνται στον Δήμο Λαυρεωτικής (ΕΛ.ΣΤΑΤ)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΙΔΟΥΣ	ΕΚΤΑΣΗ -Η- ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΣΕ ΔΕΝΔΡΩΝΕΣ	ΣΕ ΠΑΡΑΓΩΓ. ΗΛΙΚΙΑ	ΣΥΝ. ΑΜΠΕΛΩΝ	ΠΑΡΑΓ.ΞΗΡΩΝ ΣΤΑΦΙΔΩΝ	ΠΑΡΑΓ.ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ	ΠΑΡΑΓ.ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΓΛΕΥΚΟΠΟΙΗΜ.
Σιτάρι σκληρό	20	4000	-	-	-	-	-	-
Κριθάρι για σανό	150	44000	-	-	-	-	-	-
Βρώμη για σανό	150	60000	-	-	-	-	-	-
Βίκος για σανό	100	45000	-	-	-	-	-	-

Λοιπά σανά (από ρόβι, λαθούρια, μπιζέλια, φακή κλπ.)	-	-	-	-	-	-	-	-
Πατάτες άνοιξης	3	12000	-	-	-	-	-	-
Σύνολο εκτάσεων φυτών μεγάλης καλλιέργειας και λοιπών καλλιεργειών	423	-	-	-	-	-	-	-
Ποτίστηκαν το 2010	3	-	-	-	-	-	-	-
Καθαρή έκταση	423	-	-	-	-	-	-	-
Καθαρή έκταση που ποτίστηκε το 2010	3	-	-	-	-	-	-	-
1α. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας και λοιπές καλλιέργειες	423	3	-	-	-	-	-	-

1β. Κηπευτική γη, θερμοκήπια, εμπορικοί ανθόκηποι, σπορεία	98	98	-	-	-	-	-	-
1γ. Αγρανάπαυση 1 - 5 ετών (πρώτη εγγραφή)	1915	-	-	-	-	-	-	-
1. Σύνολο αροτραίων καλλιεργειών	2439	101	-	-	-	-	-	-
2. Δενδρώδεις καλλιέργειες	483	53	-	-	-	-	-	-
3. Άμπελοι Σταφιδάμπελοι	40	-	-	-	-	-	-	-
Γενικό Σύνολο των εκτάσεων	2962	154	-	-	-	-	-	-
Λάχανα	5	10000	-	-	-	-	-	-
Κουνουπίδια	5	10000	-	-	-	-	-	-
Σπανάκι	15	15000	-	-	-	-	-	-
Αρακάς χλωρός	10	5000	-	-	-	-	-	-
Αρακάς ξερός (καρπός)	15	30000	-	-	-	-	-	-
Μαρούλια	15	15000	-	-	-	-	-	-

Τομάτες επιτραπέζιες για νωπή χρήση, υπαίθρου	10	20000	-	-	-	-	-	-
Τομάτες επιτραπέζιες για νωπή χρήση, υπό κάλυψη (θερμοκήπια)	3	15000	-	-	-	-	-	-
Φασολάκια χλωρά	5	2500	-	-	-	-	-	-
Κολοκυθάκια	10	10000	-	-	-	-	-	-
Αγγούρια υπαίθρου	5	17500	-	-	-	-	-	-
Λοιπά (μαϊντανός, άνηθος κ.λπ.)	3	1500	-	-	-	-	-	-
Σύνολο κηπευτικών εκτάσεων	115	-	-	-	-	-	-	-
Ελαιόδεντρα για ελιές βρώσιμες	50	8000	700	800	-	-	-	-
Ελαιόδεντρα για ελιές ελαιοποιήσεως	380	45000	4500	4140	-	-	-	-

Λεμονιές	-	600	-	30	-	-	-	-
Πορτοκαλιές	-	300	-	20	-	-	-	-
Αχλαδιές	-	550	-	20	-	-	-	-
Συκιές για νωπά σύκα	-	13500	-	500	-	-	-	-
Αμυγδαλιές	-	2500	-	250	-	-	-	-
Σύνολο εκτάσεων	483	-	-	-	-	-	-	-
Ποτίστηκαν το 2010	53	-	-	-	-	-	-	-
1. Άμπελοι, κυρίως για οινοπαραγωγή	-	-	-	-	40	-	-	20000
Σύνολο Εκτάσεων	-	-	-	-	40	-	-	-

Παράρτημα Β – Κτηνοτροφικές Δραστηριότητες

Πίνακας 2: Κτηνοτροφικές Δραστηριότητες στο Δήμο Λαυρεωτικής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

ΠΕΡΙΓΑΦΗ ΕΙΔΟΥΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΖΟΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	ΑΡ.ΣΦΑΓ. ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΔΗΜ. ΔΙΑΜΕΡ.	ΑΡ.ΣΦΑΓ. ΕΞΩ ΑΠΟ ΔΗΜ. ΔΙΑΜΕΡ.	ΒΑΡΟΣ ΣΦΑΓ.ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΔΗΜ. ΔΙΑΜΕΡ.	ΒΑΡΟΣ.ΣΦΑΓ. ΕΞΩ ΑΠΟ ΔΗΜ. ΔΙΑΜΕΡ.
α) Ίπποι Άρρενες	3	-	-	-	-	-
α) Όνοι Άρρενες	10	-	-	-	-	-
β) Όνοι Θήλεις	12	-	-	-	-	-
α) Χοίροι αναπαραγωγής (γουρούνες και κάπροι επιβάσεως)	15	-	-	-	-	-
β) Χοίροι κρεοπαραγωγής, γενικά	100	-	-	-	-	-
α) Πρόβατα Οικόσιτα	-	-	-	-	-	-
β) Πρόβατα Κοπαδιάρικα	477	-	-	-	-	-
γ) Πρόβατα Νομαδικά	140	-	-	-	-	-
α) Αίγες Οικόσιτες	70	-	-	-	-	-
Όρνιθες χωρικής εκτροφής	700	-	-	-	-	-
β) Μέλισσες σε ευρωπαϊκές κυψέλες	513	-	-	-	-	-
Γουρούνες αναπαραγωγής	-	-	-	-	-	-
β) Πρόβατα κοπαδιάρικα	-	45000	-	-	-	-
γ) Πρόβατα νομαδικά	-	13500	-	-	-	-
α) Αίγες Οικόσιτες	-	9968	-	-	-	-
Αρνιά κάτω του έτους	-	-	43	447	390	4000
Κατσίκια κάτω του έτους	-	-	39	-	350	-

Χοιρίδια μέχρι 20 κιλά καθαρό βάρος	-	-	80	-	1500	-
Ζυγούρια και πρόβατα	-	-	38	-	800	-
Βιτούλια και αίγες	-	-	38	-	740	-
Χοίροι πάνω από 20 κιλά καθαρό βάρος	-	-	35	-	1900	-
Πουλερικά - εκτός από στρουθοκαμήλους	-	-	1000	-	1600	-
α) Όρνιθες που γέννησαν	700	-	-	-	-	-