



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ – ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Τεχνητός Εμπλουτισμός υπόγειων
υδροφόρων με επεξεργασμένα λύματα
μέσω συστημάτων SAT στην περιοχή
του Θριασίου Πεδίου**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεοφάνης-Άρης Π. Βαχαβιώλος-Καπράνος

Επιβλέπων : Ανδρέας Καλλιώρας, Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Δ.Π.Μ.Σ.
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κλείνοντας αυτόν το διετή κύκλο των μεταπτυχιακών μου σπουδών και αναλογιζόμενος τα όσα έζησα όλο αυτό το διάστημα, σε ακαδημαϊκό πλαίσιο, δε μπορώ παρά να αισθάνομαι ευγνώμων προς τα άτομα που συνεισέφεραν με τον έναν ή τον άλλο τρόπο τόσο στην επιτυχή περάτωση αυτής της διαδικασίας όσο και στη μετατροπή της σε κάτι πραγματικά πιο ευχάριστο από ό,τι φανταζόμουν περνώντας την πόρτα του Ε.Μ.Π. για πρώτη φορά.

Αρχικά πρέπει να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την υποστήριξη, αλλά και την ανοχή τους, όπως επίσης και την αδελφή μου. Εξίσου τους συμφοιτητές και φίλους μου για όλες εκείνες τις στιγμές που μετέτρεπαν τις εργασίες και το μάθημα σε διασκέδαση, τη γνωριμία με τους οποίους θεωρώ σημαντικότερο κέρδος και από τον τίτλο του μεταπτυχιακού. Δεν πρέπει να παραλείψω και τους καθηγητές μας στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών, ο καθένας από τους οποίους έδωσε πράγματα πολύτιμα για τη μετέπειτα πορεία μας.

Όσον αφορά την παρούσα εργασία, ευχαριστώ θερμά τον Ανδρέα Καλλιώρα, ο οποίος μου εμπιστεύτηκε την ανάθεσή της και, από τη θέση του επιβλέποντα καθηγητή μου, φρόντισε να μου δώσει τις κατευθύνσεις και τις πληροφορίες που χρειαζόμουν για την εκπόνησή της, επιδεικνύοντας παράλληλα αξιοθαύμαστη ανοχή στην, ως επί το πλείστον, μη τυπικότητά μου. Επίσης, υπάρχουν διάφορα άτομα που, όταν τους ζητήθηκε, προσφέρθηκαν αμέσως να με βοηθήσουν παρέχοντάς μου δεδομένα απαραίτητα για την ολοκλήρωση της εργασίας μου, όπως είναι οι κκ. Δημήτρης Ταρενίδης και Ιωάννης Λάππας από το Ι.Γ.Μ.Ε., καθώς και η κα. Χρυσούλα Νικόλαρου από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων.

Φάνης Βαχαβιώλος
Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	i
Πίνακας περιεχομένων	iii
Ευρετήριο Πινάκων και Εικόνων.....	vii
Περίληψη.....	xiii
Abstract.....	xv
1. Εισαγωγή	1
1.1. Αντικείμενο	1
1.2. Διάρθρωση της εργασίας.....	2
2. Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων.....	3
2.1. Εισαγωγή.....	3
2.2. Ορισμός και σκοποί του τεχνητού εμπλουτισμού.....	3
2.3. Προϋποθέσεις εφαρμογής	5
2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	5
2.5. Διεθνής εμπειρία	6
2.6. Τεχνητός εμπλουτισμός στην Ελλάδα	8
2.7. Κατηγορίες και είδη τεχνητού εμπλουτισμού.....	9
2.8. Μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού.....	10
2.8.1. Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στην επιφάνεια (Direct surface recharge).....	10
2.8.2. Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος (Direct subsurface recharge).....	19
2.8.3. Συνδυασμοί επιφανειακού και υπόγειου εμπλουτισμού (Combination of surface - subsurface recharge)	24
2.8.4. Έμμεσος εμπλουτισμός (Indirect recharge).....	25
3. Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων	27
3.1. Εισαγωγή.....	27
3.2. Εναλλακτικές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων	29
3.2.1. Αγροτική (αρδευτική) χρήση	29
3.2.2. Βιομηχανική χρήση	31
3.2.3. Αστική και περιαστική χρήση	31
3.2.4. Φόρτιση υπόγειων υδροφόρων	32
3.2.5. Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης.....	33
3.3. Διεθνές νομοθετικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση.....	33

3.3.1. Παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων	33
3.3.2. Γενικά περί Οδηγιών και Κανονισμών Διεθνών Οργανισμών	34
3.3.3. Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ./W.H.O.)	34
3.3.4. Οδηγία του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (F.A.O.) ..	40
3.3.5. Οδηγία της πολιτείας της California	42
3.3.6. Κανονισμοί στην Ευρωπαϊκή Ένωση	43
3.3.7. Κανονισμοί στις παραμεσόγειες χώρες	45
3.3.8. Άλλες χώρες	47
3.4. Ελληνική νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση	48
3.4.1. Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση	48
3.4.2. Επαναχρησιμοποίηση για αστική και περιαστική χρήση	49
3.4.3. Επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική χρήση	50
3.4.4. Επαναχρησιμοποίηση για τροφοδότηση ή εμπλουτισμό υπόγειων υδροφόρων	50
4. Περιγραφή της περιοχής μελέτης	53
4.1. Εισαγωγικά για το Θριάσιο πεδίο - Γεωμορφολογία	53
4.2. Δημογραφικά στοιχεία	54
4.3. Χρήσεις γης	55
4.4. Γεωλογία περιοχής μελέτης	56
4.4.1. Στρωματογραφικές μονάδες	56
4.5. Τεκτονική	58
5. Υδρογεωλογία	61
5.1. Υδρολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών	61
5.2. Υδροφόροι ορίζοντες	63
5.2.1. Υδρολιθολογία	63
5.2.2. Εκφόρτιση υδροφόρων	63
5.2.3. Υδρολογικά χαρακτηριστικά	64
5.2.4. Υδραυλικά χαρακτηριστικά	66
5.2.5. Πιέσεις	66
5.3. Υδροχημεία – Ρύπανση υδροφόρων	69
5.3.1. Υφαλμύριση	69
5.3.2. Γενική χημική κατάσταση	70
5.3.3. Υποβάθμιση χημικής και οικολογικής κατάστασης επιφανειακών υδατικών συστημάτων και χερσαίων οικοσυστημάτων	72

5.3.4. Έλεγχος επίδρασης στο νερό	73
5.3.5. Διάγνωση τάσης ρύπανσης	73
5.4. Επιφανειακή υδρολογία	74
6. Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων (Κ.Ε.Λ.) Θριασίου	75
6.1. Γενικά στοιχεία	75
6.2. Είδος και μέγεθος δραστηριότητας	75
6.3. Μέθοδοι επεξεργασίας	77
6.4. Λειτουργία.....	79
6.5. Φορτία λειτουργίας.....	80
6.6. Αποτελέσματα επεξεργασίας λυμάτων	81
6.6.1. BOD ₅	82
6.6.2. Αιωρούμενα στερεά (SS)	82
6.6.3. Ολικό άζωτο (T-N).....	83
6.6.4. Ολικός φώσφορος (T-P).....	84
6.6.5. Συγκεντρωτικός έλεγχος λειτουργίας	84
6.6.6. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	85
7. Συστήματα SAT (Soil-Aquifer Treatment)	87
7.1. Γενικά.....	87
7.2. Τύποι συστημάτων SAT.....	88
7.3. Γεωμορφολογικές απαιτήσεις	91
7.3.1. Διαθέσιμη έκταση γης.....	91
7.3.2. Τοπογραφία.....	92
7.4. Υδρογεωλογικές απαιτήσεις συστημάτων SAT	92
7.4.1. Βάθος ακόρεστης ζώνης.....	92
7.4.2. Εδαφικές απαιτήσεις	93
7.4.3. Τύπος υδροφορέα.....	94
7.5. Προεπεξεργασία επαναχρησιμοποιούμενων λυμάτων	94
7.5.1. Αιωρούμενα στερεά.....	94
7.5.2. Οργανικές ενώσεις	95
7.5.3. Βακτήρια και ιοί	96
7.5.4. Νιτρικά	96
7.6. Κόστος συστημάτων SAT	97
7.7. Διεθνής εμπειρία εφαρμογής συστημάτων SAT	97

7.7.1. California, Η.Π.Α.....	97
7.7.2. Άλλες πολιτείες των Η.Π.Α.....	98
7.7.3. Ισραήλ.....	98
8. Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα στο Θριάσιο Πεδίο.....	99
8.1. Ανασκόπηση	99
8.2. Επιλογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού	100
8.3. Επιλογή θέσης εγκατάστασης SAT	101
8.4. Διαστασιολόγηση	102
9. Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	105
9.1. Κόστος συστημάτων SAT	106
Βιβλιογραφικές αναφορές	107
Χρήσιμοι ιστότοποι	113
Παράρτημα.....	115

Ευρετήριο Πινάκων και Εικόνων

Πίνακες

Πίνακας 3.1. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση σε διάφορες χώρες (Τασούλα, 2007)	27
Πίνακας 3.2. Κατηγορίες χρήσης επεξεργασμένων λυμάτων και ενδεχόμενοι περιορισμοί (Τασούλα, 2007, Asano, 1991, 1994b, Αγγελάκης, 1994)	30
Πίνακας 3.3. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία – πρότυπα Engelberg (W.H.O., 1989) (πηγή : Τασούλα, 2007)	35
Πίνακας 3.4. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία – πρότυπα Blumenthal (W.H.O., 2000) (πηγή : Λύκου, 2011)	37
Πίνακας 3.5. Μετρήσεις ελέγχου προστασίας της υγείας και ελάτπωση παθογόνων μετά την επεξεργασία (Τασούλα, 2007)	39
Πίνακας 3.6. Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος διαφόρων τοξικών χημικών βασισμένα στην προστασία της ανθρώπινης υγείας (W.H.O., 2006) (πηγή: Λύκου, 2011)	39
Πίνακας 3.7. Οδηγίες F.A.O. για την ποιότητα του νερού άρδευσης (F.A.O., 1985)	41
Πίνακας 3.8. Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της California για χρήση λυμάτων στη γεωργία (State of California Title 22 Water Recycling Criteria, 2000)	43
Πίνακας 3.9. Μικροβιολογικά κριτήρια για άρδευση με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στον Π.Ο.Υ. σε σύγκρισή τους με αυτά που ισχύουν στην Ιταλία (προσαρμοσμένα από Angelakis, 2003) (πηγή : Αγγελάκης, Α., Παρανυχιανάκης, Ν., 2005)	44
Πίνακας 3.10. Πρακτικές επαναχρησιμοποίησης σε χώρες της Μεσογείου (Αγγελάκης, Α., Παρανυχιανάκης, Ν., 2005)	46
Πίνακας 3.11. Κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στην Ιαπωνία (Japan Swage Works Association, 2003 και National Land Agency, 1998)	47
Πίνακας 4.1. Πληθυσμιακή εξέλιξη των κύριων οικισμών του Θριασίου πεδίου (πηγή : ΕΛΣΤΑΤ)	55
Πίνακας 5.1. Εκτιμήσεις απολήψεων για τα υδροσημεία άντλησης της περιοχής μελέτης (ΙΓΜΕ)	67
Πίνακας 5.2. Μέσες τιμές συγκέντρωσης ανά παράμετρο και θέση δειγματοληψίας για το ΥΥΣ Θριασίου πεδίου (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ)	70
Πίνακας 6.1. Δεδομένα σχεδιασμού Κ.Ε.Λ. Θριασίου	76
Πίνακας 6.2. Έλεγχος συμμόρφωσης με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο για τα επεξεργασμένα λύματα στο Κ.Ε.Λ. Θριασίου (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	85
Πίνακας 7.1. Εδαφικές απαιτήσεις συστημάτων SAT σε σχέση με τον τύπο επεξεργασίας των λυμάτων (Crites et al., 2006 ; USEPA, 2006) (πηγή : Abel, 2014)	91
Πίνακας 7.2. Καταλληλότητα εδαφικών κλίσεων για εφαρμογή SAT (Abel, 2014)	92

Πίνακας 7.3. Καταλληλότητα εδάφους για σύστημα SAT ανάλογα με την περατότητα του πλέον περιοριστικού εδαφικού στρώματος (Crites et al., 2006) (πηγή : Abel, 2014) 93

Πίνακας 7.4. Χαρακτηριστικά ποιότητας αποβλήτου που ελήφθη από σύστημα SAT στο Salt River Floodplain West of Phoenix, Arizona, ΗΠΑ (Bouwer, 1993) 95

Εικόνες

Εικόνα 2.1. Τεχνητός εμπλουτισμός με πλημμυρισμό επιφανειών : (α) κάτοψη, (β) τομή κατά την έναρξη του εμπλουτισμού, $t=t_0$, (γ) τομή για διαφορετικούς χρόνους t_1 και t_2 από την έναρξη του εμπλουτισμού ($t_1 < t_2$) (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016).....	11
Εικόνα 2.2. (α) Νομογράφημα που δείχνει την ταχύτητα κατά τον εμπλουτισμό, V , σε σχέση με την περατότητα, k (κατά Bize, K. – Bourguet L. – Lemoine, J., 1972) και (β) μείωση της ταχύτητας εμπλουτισμού (δήθησης) με το χρόνο t (Καλλέργης, Γ., 2001)	12
Εικόνα 2.3. Τεχνητός εμπλουτισμός με τη μέθοδο λεκανών (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)	14
Εικόνα 2.4. Έργο εμπλουτισμού με πολλάπλές λεκάνες (ASCE, 1972, από Καλλέργη, 1986)..	15
Εικόνα 2.5. Δίκτυο αποστραγγιστικών τάφρων στην περιοχή Σοφιάδας (όρια Φθιώτιδας-Καρδίτσας), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνητό εμπλουτισμό (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016).....	16
Εικόνα 2.6. (α) Η εξέλιξη του υβώματος τεχνητού εμπλουτισμού κάτω από μία τάφρο, (β) η θεωρητική και πειραματική καμπύλη ανόδου του υβώματος (κατά Bize, K. – Bourguet L. – Lemoine, J., 1972, με επανασχεδίαση)	16
Εικόνα 2.7. Εμπλουτισμός με κατάκλυση. Δύο έργα με κατασκευή προσωρινών χωμάτων αναχωμάτων (Todd in Ven Te Chow ed., 1964, από Καλλέργη, 1986)	17
Εικόνα 2.8. Εμπλουτισμός υδροφόρων με διαδοχικά φράγματα σε υδρόρρευμα (Dvoracek, 1971)	18
Εικόνα 2.9. Γεώτρηση άντλησης και γεώτρηση εμπλουτισμού σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (Davis, De Wiest, 1966, από Καλλέργη, 1986)	21
Εικόνα 2.10. Γεώτρηση εμπλουτισμού με τον εξοπλισμό της. Η αντλία λειτουργεί το θέρος ενώ ο σωλήνας παράπλευρα της στήλης της αντλίας επιτρέπει τον εμπλουτισμό της γεώτρησης (Diede, 1989)	21
Εικόνα 2.11. Ειδική κατασκευή γεώτρησης εμπλουτισμού. Η μεγάλης διαμέτρου σωληνώση εμπλουτίζει το ανώτερο υδροφόρο, ενώ η μικρότερης διαμέτρου επιτρέπει τον εμπλουτισμό του βαθύτερου υδροφόρου (Pettyjohn, 1988)	22
Εικόνα 2.12. Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α) ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β) υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (κατά Todd C., 1980, από τον Καλλέργη Γ., 2001, με επανασχεδίαση)	23
Εικόνα 2.13. Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό.....	24
Εικόνα 3.1. Απόληψη νερού για αγροτική χρήση παγκοσμίως το 2000 (Kretschmer et al.,2002)	31
Εικόνα 4.1. Η περιοχή του Θριασίου πεδίου (IGME, 2010).....	53

Εικόνα 4.2. Γεωμορφολογική άποψη της περιοχής του Θριασίου πεδίου (πηγή : Google Earth)	54
Εικόνα 4.3. Χάρτης χρήσεων γης Θριασίου πεδίου (στοιχεία : geodata.gov.gr)	56
Εικόνα 4.4. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Θριασίου Πεδίου (Γ. Σκιάνης, Β.Νούτσης, 2008)	57
Εικόνα 5.1. Απόσπασμα υδρογεωλογικού χάρτη, κλ. 1:250.000, περιοχή Θριασίου πεδίου (πηγή : ΙΓΜΕ, 2010)	62
Εικόνα 5.2. Χάρτης στάθμης υδροφόρου ορίζοντα Θριασίου πεδίου (στοιχεία: ΙΓΜΕ, 2010)	64
Εικόνα 5.3. Χάρτης σημείων παρακολούθησης ΥΥΣ Θριασίου, ΙΓΜΕ, 2010 (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων - ΥΠΕΚΑ)	65
Εικόνα 5.4. Χάρτης αγωγιμότητας υπόγειου υδατικού συστήματος Θριασίου πεδίου (στοιχεία : ΙΓΜΕ, 2010)	71
Εικόνα 5.5. Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων υπόγειου υδατικού συστήματος Θριασίου πεδίου (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ)	72
Εικόνα 5.6. Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών υπόγειου υδατικού συστήματος Θριασίου πεδίου (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ)	73
Εικόνα 5.7. Ανάγλυφο και επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο Θριασίου πεδίου (Κουτσογιάννης, Μαμάσης, 2001)	74
Εικόνα 6.1. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου (πηγή : Google Earth)	75
Εικόνα 6.2. Θέση του Κ.Ε.Λ. Θριασίου στην ευρύτερη περιοχή (πηγή : Google Earth)	76
Εικόνα 6.3. Άποψη δεξαμενής καθίζησης	78
Εικόνα 6.4. Δεξαμενές ζύμωσης λάσπης	78
Εικόνα 6.5. Δεξαμενή βιολογικής επεξεργασίας	79
Εικόνα 6.6. Συνολική εικόνα ποιοτικών παραμέτρων εισερχομένων λυμάτων για το 2015 (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	81
Εικόνα 6.7. Συνολική εικόνα ποιοτικών παραμέτρων των εκροών για το 2015 (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	81
Εικόνα 6.8. Συγκεντρώσεις BOD ₅ στα εισερχόμενα λύματα (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	82
Εικόνα 6.9. Συγκεντρώσεις BOD ₅ στην εκροή (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	82
Εικόνα 6.10. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα λύματα (πηγή : astikalimata.gr)	83
Εικόνα 6.11. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών στην εκροή (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	83
Εικόνα 6.12. Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου στα εισερχόμενα λύματα (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	83
Εικόνα 6.13. Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου στην εκροή (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)	84

Εικόνα 6.14. Συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου στα εισερχόμενα λύματα (πηγή : astikalimata.ypeka.gr).....	84
Εικόνα 6.15. Συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου στην εκροή (πηγή : astikalimata.ypeka.gr).....	84
Εικόνα 7.1. Τύποι συστημάτων SAT (Bouwer, 1999) (πηγή : Abel, 2014).....	88
Εικόνα 7.2. Σχηματική παράσταση συστήματος SAT με φυσική ανάκτηση του νερού σε χείμαρρο ή άλλο υδατόρρευμα, λίμνη ή υδρολεκάνη χαμηλότερου υψομέτρου (Α), συλλογή του νερού με υπόγεια στράγγιση (Β), άντληση μέσω κεντρικού φρέατος (Γ) και άντληση μέσω περιφερειακών φρεάτων (Δ) (Bouwer, 1991) (πηγή : Διαμαντής, Πλίακας, Καλλιώρας, 2015)..	90
Εικόνα 7.3. Σύστημα τεσσάρων μικρών λεκανών διήθησης με γεώτρηση στο κέντρο για άντληση του επεξεργασμένου νερού από τον υδροφόρο (Bouwer, 1987).....	91
Εικόνα 8.1. Άποψη του τμήματος του Θριασίου πεδίου βόρεια της Αττικής Οδού (πηγή : Google Earth).....	102
Εικόνα 8.2. Προτεινόμενη διάταξη λεκανών διήθησης στο σύστημα SAT σε απόσπασμα από ορθοφωτοχάρτη του ΕΚΧΑ.....	103
Εικόνα 8.3. Άποψη της προτεινόμενης θέσης για εγκατάσταση συστήματος SAT ως προς την ευρύτερη περιοχή σε ορθοφωτοχάρτη του ΕΚΧΑ.....	104

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που απασχολούν τη διεθνή επιστημονική κοινότητα στις μέρες μας είναι αυτό της αειφόρου διαχείρισης των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Ειδικά σε περιοχές όπου η κλιματική αλλαγή έχει αρχίσει να γίνεται εμφανής ή οι ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και βιομηχανικών δραστηριοτήτων δημιουργούν υπέρογκες απαιτήσεις σε νερό οδηγώντας σε υπεραντλήσεις των διαθέσιμων αποθεμάτων, τα φαινόμενα λειψυδρίας κάνουν ολοένα και συχνότερα την εμφάνισή τους.

Λόγω των δυσμενών συνθηκών που έχουν διαμορφωθεί, ένα από τα αντικείμενα αιχμής στη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι η ανάπτυξη και χρήση μη συμβατικών πόρων, όπως είναι η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων υδατικών αναγκών. Αυτός ο λόγος έχει ωθήσει αρκετά κράτη και διεθνείς οργανισμούς να θεσπίσουν κανονισμούς ή οδηγίες, που θα συμβάλουν στην ασφαλή χρήση των εκροών υγρών αποβλήτων για διάφορες χρήσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, επιλέχθηκε ως αντικείμενο της παρούσας εργασίας η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης των εκροών του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων (Κ.Ε.Λ.) Θριασίου για τεχνητό εμπλουτισμό (Τ.Ε.) του υπόγειου υδροφόρου πεδίου του Θριασίου πεδίου, στη Δυτική Αττική. Το υπόγειο υδατικό σύστημα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει έντονη υποβάθμιση, προϊόν αφενός την έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα σε αυτή και της έντονης οικιστικής ανάπτυξης κατά τις τελευταίες δεκαετίες, που έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντική ρύπανση, και αφετέρου των υπεραντλήσεων του υδροφόρου μέσω γεωτρήσεων, οι οποίες, σε συνδυασμό με την ανεπαρκή φυσική επανατροφοδοσία του, έχουν οδηγήσει σε εκτεταμένη διείσδυση του θαλασσίου μετώπου και επακόλουθη υφαλμύριση του υδροφόρου ορίζοντα.

Αρχικά, γίνεται εκτενής ανάλυση της διαδικασίας του τεχνητού εμπλουτισμού και των διαφόρων μεθόδων του, ως μέσο ενίσχυσης της τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφόρων, ενώ, στη συνέχεια, παρουσιάζεται η πρακτική της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων, τόσο για τεχνητό εμπλουτισμό όσο και για άλλες χρήσεις, και το θεσμικό πλαίσιο το οποίο καθορίζει την εφαρμογή της σε διάφορες περιοχές ανά την υφήλιο.

Ακολούθως, εξετάζεται η περιοχή του Θριασίου πεδίου, ως περιοχή μελέτης, από άποψη γεωλογικών, γεωμορφολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών και γίνεται μία εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης με τα υπάρχοντα δεδομένα. Ταυτόχρονα, γίνεται παρουσίαση του Κ.Ε.Λ. Θριασίου και, πιο συγκεκριμένα, των εγκαταστάσεων, της λειτουργίας και των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των λυμάτων όσον αφορά τις ποιοτικές παραμέτρους των εκροών.

Αφού συνεκτιμήθηκαν όλες οι παράμετροι, θεωρήθηκε ως πλέον κατάλληλη μέθοδος για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή του Θριασίου πεδίου αυτή των συστημάτων SAT (Soil-Aquifer Treatment). Έτσι, μετά την παρουσίαση και ανάλυση λεπτομερειών της συγκεκριμένης μεθόδου, επιχειρήθηκε μια απτή προσέγγιση του θέματος, με την επιλογή

σημείων της περιοχής όπου πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για την εγκατάσταση συστημάτων SAT τα οποία θα τροφοδοτούνται από τις εκροές του Κ.Ε.Λ. Θριασίου.

Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα φάση δε γίνεται επαναχρησιμοποίηση των εκροών του Κ.Ε.Λ. Θριασίου, οι συγκεκριμένες προτάσεις μπορεί να αποτελέσουν μια εναλλακτική οδό στη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής και, γιατί όχι, τροφή για σκέψη για μελλοντικές κατευθύνσεις και δράσεις της Πολιτείας σχετικά με το λεπτό ζήτημα της Βιώσιμης Ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος.

ABSTRACT

Nowadays, the international scientific community seems to be more and more concerned by the issue of the sustainable management of the available water resources. Especially in regions highly affected by the climate change or in cases that overwhelming water demands are produced due to urban, agricultural and industrial use. As a result of these overwhelming water needs, the cases of water scarcity are constantly being observed.

Owing to such circumstances, one of the main state-of-the-art procedures in water resources management is the development and use of non-conventional resources, such as the reclaim and reuse of wastewater effluent in order to meet the increasing water needs. Therefore, many countries and national organizations have enacted regulations and directives towards the safe use of treated wastewater for various usage.

Under the particular scope, the present thesis will focus on researching the potential of taking advantage of the treated wastewater by the Wastewater Treatment Center in Thriassio Plain, Western Attica, so as to achieve the aquifer recharge in the area. The groundwater quality in the research area seems to be intensely downgraded due to regional industrial activity as well as the local population increase over the past decades. Consequently, significant pollution and overexploitation of the aquifer through wells combined with the insufficient natural recharge, have led to extended saline water intrusion.

As far as the outline of the thesis is concerned, the extended analysis of the aquifer recharge process and its methods will be the focus of the first section, while the technology of treated wastewater reuse either for recharge or alternative usage will be presented next, along with the legislation defining its implementation globally.

Progressing, the Triassio Plain area is thoroughly examined in terms of geological, geomorphological and hydrogeological conditions and using the data provided, the current situation will be evaluated. Moreover, the Thriassio Wastewater Treatment Center will be presented concerning its premises, operation and the quality features of the produced treated wastewater.

Having evaluated all the parameters, SAT (Soil-Aquifer Treatment) systems has been considered to be the most appropriate method for the implementation of aquifer recharge in Thriassio Plain. Therefore, following the presentation and a detailed analysis of the specific method, there has been an effort to approach the issue on a tangible basis, by choosing specific spots in the area, which fulfill all requirements for establishing SAT systems, supplied by the Thriassio Wastewater Treatment Center products.

Despite the fact that there is still no reuse of the treated wastewater of the Thriassio W.T.C., the proposals that this thesis makes, may serve as an alternative way, regarding the water resources management in the area and also as food for thought for future research in the field as well as reigniting State initiatives on Sustainable Development and protection of the environment as a whole.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Οι, ολοένα και αυξανόμενες, ανάγκες που δημιουργεί ο σύγχρονος τρόπος ζωής, σε συνδυασμό με την παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού και τη διαφαινόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη, αναγάγουν το νερό σε αγαθό ύψιστης σημασίας και καθιστούν αδήριτη την ανάγκη τόσο για την εξεύρεση νέων υδατικών πόρων όσο και για τη βέλτιστη δυνατή διατήρηση και διαχείριση των διαθέσιμων. Η ικανοποίηση των υπέρμετρων απαιτήσεων σε νερό γίνεται συνήθως με την αλόγιστη υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών, αφού αυτά αποτελούν την κυριότερη πηγή διαθέσιμου νερού, ειδικά στα πεδινά τμήματα, με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων λειψυδρίας, που διαρκώς εντείνεται. Το φαινόμενο αυτό έχει δυσάρεστα αποτελέσματα, όπως τη δραματική πτώση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων και την υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού.

Μέσα σε αυτό το ασφυκτικό πλαίσιο και υπό το βάρος της συνεχούς μείωσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων εμφανίζεται τις τελευταίες δεκαετίες ως μία διέξοδος στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Οι κοινωνίες αντιμετωπίζουν τη χρήση τους με έντονο σκεπτικισμό, ιδιαίτερα όσον αφορά πιθανή επαναχρησιμοποίηση για πόσιμους σκοπούς, έστω και αν η ποιότητά τους προσεγγίζει αυτή του φυσικού πόσιμου νερού. Ωστόσο, δεν ισχύει το ίδιο για περιπτώσεις χρήσης επεξεργασμένων λυμάτων στη γεωργία, τη βιομηχανία ή άλλες μη-πόσιμες χρήσεις και, κυρίως, τον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφόρων που δεν προορίζονται για απολήψεις με σκοπό την ύδρευση.

Με το σκεπτικό αυτό επιλέχθηκε ως αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας η διερεύνηση και εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής ανάλογων πρακτικών στο χώρο του Θριασίου πεδίου, στη Δυτική Αττική. Τα διαθέσιμα αποθέματα υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης είναι σε κακή ποιοτική κατάσταση, λόγω της εκτεταμένης υπαλμύρινσης του υδροφόρου ορίζοντα και της έντονης βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα σε αυτή, ενώ η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των οικιστικών κέντρων της περιοχής τις τελευταίες δεκαετίες, επιβάρυνε σημαντικά την κατάσταση.

Η κατασκευή και λειτουργία του Κ.Ε.Λ. Θριασίου Πεδίου τα τελευταία χρόνια, προσφέρει μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική πρόταση για την ενίσχυση των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής, δεδομένου ότι με την επικρατούσα κατάσταση, η υποβάθμισή τους συνεχίζεται και το μέτωπο της θαλάσσιας διείσδυσης επεκτείνεται με ανησυχητικούς ρυθμούς. Ελλείψει άλλης, υγιούς, πηγής τροφοδοσίας των υπογείων υδάτων του Θριασίου πεδίου, η επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων μετά την κατάλληλη επεξεργασία τους στις υπερσύγχρονες εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού του Κ.Ε.Λ. Θριασίου, τα οποία προς το παρόν καταλήγουν στη θαλάσσια περιοχή του κόλπου της Ελευσίνας, ίσως αποτελεί ένα βήμα προς την εξισορρόπηση του υδατικού ισοζυγίου και την αναβάθμιση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής και, γιατί όχι, την κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσει και η χώρα μας στην προσπάθεια μιας βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών της πόρων.

1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το 2^ο κεφάλαιο αναφέρεται στον τεχνητό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, ξεκινώντας από γενικά στοιχεία και μια ιστορική αναδρομή της χρήσης του, εν συνεχεία παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνικής, ενώ στο τέλος γίνεται εκτενής ανάλυση των διαφόρων κατηγοριών και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού καθώς και αναφορά σε διάφορες περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύεται το θέμα της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αποβλήτων για διάφορους σκοπούς, μέσω διαφόρων παραδειγμάτων, και παρουσιάζεται το θεσμικό πλαίσιο που διέπει την εν λόγω διαδικασία τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες περιοχές του πλανήτη.

Συνεχίζοντας, στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται η πρώτη εισαγωγή στην περιοχή μελέτης, με παρουσίαση αρχικά γενικών, γεωγραφικών και δημογραφικών στοιχείων, ενώ μετά εκτίθεται η γεωλογία του Θριασίου πεδίου.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύεται ανεξάρτητα η υδρογεωλογία και η επιφανειακή υδρολογία της περιοχής μελέτης, αφού αποτελεί ουσιαστικά τον κεντρικό άξονα της εργασίας και εκτιμήθηκε ότι χρήζει ξεχωριστής παρουσίασης.

Το 6^ο κεφάλαιο ασχολείται με το Κ.Ε.Λ. Θριασίου σε επίπεδο εγκαταστάσεων και λειτουργίας και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας επεξεργασίας των λυμάτων.

Στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ξεχωριστά ο τεχνητός εμπλουτισμός με τη μέθοδο των συστημάτων SAT, οι προϋποθέσεις που αυτή θέτει, το κόστος και τα αποτελέσματα που έχει η εφαρμογή της σε άλλες περιοχές.

Στο 8^ο και σημαντικότερο κεφάλαιο, επιχειρείται μια προσπάθεια πιο πρακτικής προσέγγισης του θέματος του τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα, με κατάθεση συγκεκριμένων προτάσεων για εφαρμογή τ.ε. μέσω συστημάτων SAT στην περιοχή του Θριασίου πεδίου.

Τέλος, στο 9^ο κεφάλαιο παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εκπόνηση της εργασίας και προτείνονται πιθανά πεδία μελλοντικής διερεύνησης.

2. ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

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

- με άμεση άντληση από την κοίτη του υδρογραφικού δικτύου, ενόσω 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. Άλλωστε, η ζήτηση νερού εμφανίζεται μέγιστη όταν η παροχή του υδρογραφικού δικτύου είναι ελάχιστη ή μηδενική. Άρα σε χώρες όπως η Ελλάδα δεν αποτελεί λύση, ειδικά σήμερα που απαιτείται αξιοποίηση όλου ή, σε κάθε περίπτωση, μεγάλου τμήματος του υδατικού δυναμικού του.

Στη δεύτερη περίπτωση, έχουμε στην Ελλάδα, σε 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 και παντελώς ασύμφορη, αλλά αναγκαία για κοινωνικούς λόγους όταν δεν υπάρχει άλλη λύση.

Στην τρίτη, τέλος, περίπτωση, υπάρχει λύση που κατά τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύχθηκε λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. 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.

2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΙ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Σε μια λεκάνη ή περιοχή, υπό φυσικές συνθήκες, χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου, 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, είναι ο φυσικός εμπλουτισμός. Το ύψος του είναι ορισμένο κάθε υδρολογικό έτος και εξαρτάται από τη γεωλογική σύσταση, από το βροχομετρικό ύψος και το βροχομετρικό σύστημα (την ετήσια κατανομή της βροχής). Ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ποσότητα αυτή του νερού, να προκαλέσει δηλαδή *τεχνητό εμπλουτισμό*. Επομένως, ως τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την αύξηση των ποσοτήτων του μετεωρικού νερού που εισέρχεται στα υδροφόρα στρώματα με χρήση διαδικασιών, τεχνικών, εγκαταστάσεων και διατάξεων από τον άνθρωπο. Στην πιο ευρεία έννοια θα λέγαμε ότι τεχνητός εμπλουτισμός είναι η εισαγωγή πρόσθετων ποσοτήτων νερού στα υδροφόρα στρώματα. Το πρόσθετο αυτό νερό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακό νερό ή από νερό από παρακείμενα

υδροφόρα στρώματα, από τα οποία περισσεύει (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016).

Ο τεχνητός εμπλουτισμός αποτελεί μια σημαντική διαδικασία ενίσχυσης του υπόγειου υδατικού δυναμικού από επιφανειακά νερά, συμβάλλοντας έτσι ουσιαστικά στον περιορισμό του φαινομένου της λειψυδρίας, η οποία έχει ενταθεί σε πολλές περιοχές τα τελευταία χρόνια. Η ένταση αυτή της λειψυδρίας έχει σχέση με την υπερεκμετάλλευση των υπογείων 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 (Πλιάκας, 1998).

Ο Τ.Ε. έχει χρησιμοποιηθεί στο διεθνή χώρο εδώ και 200 χρόνια περίπου, με ελάχιστες εφαρμογές στην Ελλάδα κυρίως κατά τις τελευταίες δεκαετίες, σε ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων που εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς, όπως (Πλιάκας, 1998, Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016) :

- η αύξηση της εκμεταλλεύσιμης ποσότητας υπόγειου νερού ή η δημιουργία προσωρινής υπόγειας αποθήκης για εκμετάλλευση,
- η αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας (δηλαδή του υδρολογικού ισοζυγίου) υδροφόρων στρωμάτων ή συστημάτων, που διαταράχθηκε λόγω υπερεκμετάλλευσής (υπεράντλησής) τους ή η πρόληψη της επαπειλούμενης διατάραξης του υδρολογικού ισοζυγίου,
- η πρόκληση ανόδου της στάθμης σε παράκτια υδροφόρα στρώματα για την αποφυγή ή την αναχαίτιση διείσδυσης της θάλασσας και υφαλμύρισης των υδροφορέων,
- η άνοδος ή έστω η διατήρηση της στάθμης υδροφόρων στρωμάτων για την αποφυγή συνίζησής τους και υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους,
- η τροποποίηση της ποιότητας υπόγειου νερού με εμπλουτισμό του από άλλο, κατάλληλο ποιοτικά,
- η επεξεργασία επιφανειακών νερών προς εκμετάλλευση δια της διήθησής τους από κατάλληλα εδαφικά-γεωλογικά στρώματα,
- η διατήρηση της παροχής που επαπειλείται με μείωση ή και πλήρη στείρευση ή επαναλειτουργία στείρευθείσης ήδη πηγής, αντλούμενου φρέατος (ή γεώτρησης) ή κάθε υδροληπτικού (υδρομαστευτικού) έργου,
- η ενεργειακή χρήση νερού με εισαγωγή κρύου και άντληση ζεστού σε περιοχές γεωθερμικών πεδίων,
- η λειτουργία ψυκτικών εγκαταστάσεων και μηχανισμών εργοστασίων με την εισαγωγή θερμού νερού και την άντληση κρύου,
- η αντιμετώπιση πλημμυρικών παροχών με τη διοχέτευση μέρους τους σε περιοχές με διατάξεις-εγκαταστάσεις τεχνητού εμπλουτισμού,
- η συνδυασμένη διαχείριση υπόγειων και επιφανειακών νερών,
- η άντληση πετρελαίου με μικρότερο κόστος,
- η ανάπτυξη καλλιεργειών.

2.3. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για επιτυχή εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού είναι οι ακόλουθες (Πλιάκας, 1998, Πλιάκας και Διαμαντής, 1998, Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016) :

- η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας επιφανειακού νερού,
- η ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών (επιφάνειες και υπέδαφος με μεγάλη περατότητα, υδροφόρα στρώματα σε αλληλουχία και σε υδραυλική σύνδεση κλπ),
- η ποιότητα του επιφανειακού νερού να είναι κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτή του υπόγειου,
- η εφαρμογή σε περιοχές κατάλληλες από γεωμορφολογικής άποψης,
- η απουσία νομικών προβλημάτων και κωλυμάτων,
- η ύπαρξη βασικών έργων υποδομής ή η δυνατότητα κατασκευής τους,
- το κόστος κατασκευής και λειτουργίας να μην είναι ασύμφορο.

2.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Στα πλεονεκτήματα του Τ.Ε. μπορούν να αναφερθούν τα εξής (Πλιάκας, 1998, Πλιάκας και Διαμαντής, 1998, Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016) :

- περιβαλλοντικά έχει γενικά θετικές επιπτώσεις, όπως είναι η βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού, η προστασία της ύπαρξης και της λειτουργίας πηγών και υγροτόπων, η αποφυγή συνίζησης και άρα ποσοτικής υποβάθμισης υδροφορέων, η αποφυγή ή αναχαίτιση διείσδυσης θαλασσινού νερού στα παράκτια υδροφόρα στρώματα,
- λαμβάνουν χώρα διεργασίες φυσικού καθαρισμού, οι οποίες απομακρύνουν μολυσματικούς παράγοντες, καθώς το σχετικά επιβαρυμένο επιφανειακό νερό διαπερνά και φιλτράρεται μέσω του εδάφους και διεισδύει σε ποικίλους γεωλογικούς σχηματισμούς,
- οι υπόγειοι ταμιευτήρες δε διατρέχουν τους κινδύνους φυσικών καταστροφών των επιφανειακών ταμιευτήρων (κατολισθήσεις, πλημμύρες, άμεσες μολύνσεις κλπ),
- δεν αχρηστεύεται λόγω υπεράντλησης τυχόν υπάρχουσα υποδομή από γεωτρήσεις, αγωγούς κλπ,
- μειώνονται οι απώλειες νερού λόγω εξάτμισης.

Τα πλεονεκτήματα αυτά μπορεί να επισκιαστούν από ορισμένα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του Τ.Ε. και είναι (Πλιάκας, 1998, Πλιάκας και Διαμαντής, 1998, Κουμαντάκης) :

- η πιθανή αδυναμία επαναπλήρωσης του νερού εμπλουτισμού,
- η μεγάλη επιφάνεια που απαιτείται για τη λειτουργία και συντήρηση ενός συστήματος διάθεσης υπόγειου νερού (συμπεριλαμβανομένου και του αντίστοιχου

υπόγειου ταμιευτήρα), σε σχέση με εκείνη που απαιτείται για ένα ανάλογο σύστημα παροχής επιφανειακού νερού,

- η δυσκολία απομάκρυνσης των αλάτων μαγνησίου, ασβεστίου, σιδήρου, μαγγανίου ή άλλων στοιχείων που πιθανόν να υπάρχουν στο νερό εμπλουτισμού,
- η απαίτηση συνεχούς και επιμελούς παρακολούθησης των συστημάτων Τ.Ε.,
- η αδυναμία αποτελεσματικής αντιμετώπισης του φαινομένου clogging (απόφραξη των πόρων του εδάφους),
- ο κίνδυνος ρύπανσης-μόλυνσης του υπόγειου νερού αν, έστω και επεισοδιακά, χρησιμοποιηθεί ρυπασμένο-μολυσμένο νερό εμπλουτισμού,
- το γεγονός ότι δε συναντώνται συχνά στη φύση κατάλληλες συνθήκες υπό οικονομικά συμφέροντες όρους για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού,
- η αδυναμία ικανοποίησης αιφνίδιων απαιτήσεων σε νερό, αφού οι υπόγειοι υδροφορείς δε μπορούν να αποστραγγιστούν τόσο εύκολα όσο οι αντίστοιχοι επιφανειακοί ταμιευτήρες,
- το σχετικά μεγάλο κόστος μιας ενδεχόμενης επέκτασης των συστημάτων διήθησης υπόγειου νερού.

2.5. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Πλιάκας, 1998)

Ο Τ.Ε. άρχισε να εφαρμόζεται στην Ευρώπη, στις αρχές του 19ου αιώνα, με τη μορφή του επαγωγικού εμπλουτισμού για την υδροδότηση πόλεων (Γλασκώβη - Σκωτία 1810, Τουλούζη - Γαλλία 1820) (Huisman and Olsthoorn, 1983) και στις Η.Π.Α., την τελευταία δεκαετία του ίδιου αιώνα (στο Denver με λεκάνες κατάκλυσης, στην Καλιφόρνια με άρδευση) (Pettyjohn, 1981). Η εφαρμογή του Τ.Ε. έχει σταθερά αυξηθεί σε ολόκληρο τον κόσμο από τότε και κυρίως από τις δεκαετίες του 1950 και του 1960 και μετά, όταν η *δεύτερη βιομηχανική επανάσταση* συνέβαλε στην, όλο και μεγαλύτερη με το χρόνο, ρύπανση των επιφανειακών νερών των ποταμών, που είχε ως συνέπεια το πόσιμο νερό να αποτελεί σε πολλές περιοχές δυσεύρετο και ακριβό αγαθό (Huisman and Olsthoorn, 1983).

Η μεγαλύτερη χρήση του Τ.Ε. αποσκοπεί στην επαναπλήρωση μειωμένων διαθέσιμων ποσοτήτων υπόγειων νερών για την κάλυψη αστικών, βιομηχανικών και αρδευτικών αναγκών ή στη βελτίωση της ποιότητάς τους. Προχωρημένες τεχνικές εφαρμόζονται σε Ισπανία, Ελβετία, Γερμανία, Γαλλία, Σουηδία, Ισραήλ, Αίγυπτο, Αλγερία, Ιράν, Λιθουανία, Τουρκμενιστάν, Ουζμπεκιστάν, Ουκρανία. Ο Τ.Ε. εφαρμόζεται, επίσης, ευρέως για τον έλεγχο της θαλάσσιας διείσδυσης σε παράκτιες περιοχές της Αυστραλίας, των Κάτω Χωρών, του Ισραήλ, του Μαρόκο, της Σενεγάλης, των Η.Π.Α, της Ιαπωνίας. Στην Ιαπωνία ο Τ.Ε. χρησιμοποιείται στην αντιμετώπιση προβλημάτων καθίζησης σε περιοχές υπερβολικής άντλησης. Στη Ρουμανία, τη Βουλγαρία και τη Γαλλία ο Τ.Ε. συμβάλλει στη συμπλήρωση του νερού άρδευσης που προέρχεται από υπόγειες τροφοδοσίες (Pettyjohn, 1981).

Στις Η.Π.Α., από το 1950 κυρίως και μέχρι σήμερα, ο Τ.Ε. εφαρμόζεται σε όλες σχεδόν τις πολιτείες με μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων και στόχων. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αποσκοπούν κυρίως στο περιορισμό της διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές ή στην

επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων. Η μεγαλύτερη σε έκταση προσπάθεια εφαρμογής Τ.Ε. συντελείται στην Καλιφόρνια (Pettyjohn, 1981).

Στην Τυνησία έχουν ανακαλυφθεί εγκαταστάσεις τεχνητού εμπλουτισμού που χρονολογούνται από τη Ρωμαϊκή εποχή (Bize et al., 1972). Η χρήση αποβλήτων για εμπλουτισμό εφαρμόστηκε στην Αθήνα των προχριστιανικών χρόνων, ενώ η χρήση λυμάτων στον εμπλουτισμό με άρδευση έγινε στη Γερμανία, τον 16ο αιώνα. Η μέθοδος αυτή διαδόθηκε σε όλη την Ευρώπη και συνεχίστηκε στις αποικίες, όπως τη Νότιο Αφρική, την Αυστραλία, το Μεξικό, όπου πολλές από τις μεγάλες φάρμες εφήρμοσαν υπόγεια στραγγιστήρια για να μεταφέρουν το πλεόνασμα του υπόγειου νερού του Τ.Ε. σε γειτονικούς χείμαρρους (Pettyjohn, 1981).

Σε ημίξερές περιοχές των Η.Π.Α. (California, Arizona, Florida κ.α.) και στο Ισραήλ (Tel Aviv) εφαρμόζεται με επιτυχία, επί σειρά ετών, εμπλουτισμός με τη μέθοδο της φυσικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μέσω του εδάφους - υδροφορέα, γνωστή διεθνώς με την ονομασία "Soil Aquifer Treatment" (S.A.T.), με αποτέλεσμα την ικανοποίηση αναγκών διαφόρων χρήσεων, κυρίως της άρδευσης. Παρόμοιες εφαρμογές αναφέρονται τα τελευταία χρόνια και σε άλλες περιοχές, όπως στη Νότιο Αφρική (Wright et al., 1996). Στο Orlando της Florida (Η.Π.Α.) λειτουργεί, από το 1987, το μεγαλύτερο στις Η.Π.Α. σύστημα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση και εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα μέσω λεκανών διήθησης (Παπαδόπουλος κ.α., 1995).

Στα περισσότερα κράτη-μέλη της Ε.Ε., ο Τ.Ε. εφαρμόζεται με μια μεγάλη ποικιλία και εύρος εφαρμογών, ενώ υπάρχουν σχέδια για μελλοντική και συστηματικότερη ανάπτυξη του. Σε Ιρλανδία, Ιταλία, Λουξεμβούργο και Πορτογαλία, δεν εφαρμόζεται Τ.Ε., ενώ δεν υπάρχουν σχέδια εφαρμογής του στο άμεσο μέλλον. Η Σουηδία, οι Κάτω Χώρες και η Γερμανία, σε εθνικό επίπεδο, βασίζονται σημαντικά στις εφαρμογές του Τ.Ε., ο οποίος συμμετέχει με 15 - 20% στο συνολικό όγκο των υδατικών πόρων κυρίως στις δύο πρώτες χώρες. Στη Γερμανία, το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται στο 10%, αλλά ποικίλλει αισθητά από πόλη σε πόλη. Είναι άξιο αναφοράς ότι στην κοιλάδα του Ruhr, ο Τ.Ε. έχει εφαρμοστεί συστηματικά ήδη για μεγάλο χρονικό διάστημα (περίπου έναν αιώνα). Σε Βέλγιο, Δανία, Γαλλία, Ελλάδα, Αγγλία, Ισπανία, Ελβετία, ο Τ.Ε. αντιπροσωπεύει ελάχιστο μόνο ποσοστό του νερού που διατίθεται από εταιρείες εθνικές ή δημοτικές, χωρίς βέβαια να εξαιρούνται περιπτώσεις καθαρά τοπικού χαρακτήρα, όπου παρατηρείται σημαντική ανατροπή του ποσοστού αυτού. Τρεις είναι οι βασικοί σκοποί εφαρμογής του Τ.Ε. σε όλες τις χώρες που προαναφέρθηκαν :

- η παροχή δημόσιου νερού,
- να προκύψουν έμμεσα περιβαλλοντικά οφέλη (Βέλγιο, Κάτω Χώρες, Αγγλία),
- η διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του νερού.

Η πιο κοινή μέθοδος εφαρμογής Τ.Ε. (πιθανόν πάνω από 90%) είναι εκείνη της λεκάνης κατάκλυσης κοντά στις όχθες μεγάλων ποταμών απ' όπου προέρχεται και το νερό εμπλουτισμού. Σε μικρότερη έκταση χρησιμοποιούνται τα κανάλια, οι λίμνες και οι λιμνοδεξαμενές. Μέθοδοι με επεξεργασμένα λύματα εφαρμόζονται στη Δανία, ενώ υπάρχουν σχέδια για ανάλογη εφαρμογή και στην Ελλάδα στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης. Η

οικονομική ενθάρρυνση για την ανάπτυξη του Τ.Ε. στην Ευρώπη είναι περιορισμένη και παρουσιάζεται με δύο μορφές:

- την άμεση οικονομική υποστήριξη (Δανία, Γαλλία) και
- τη μείωση του κόστους χρέωσης της απόληψης νερού (Κάτω Χώρες, Αγγλία) (Connorton et al., 1995).

Στην Κύπρο, ήδη από το 1982, έχει εφαρμοστεί συστηματικά ο Τ.Ε., κυρίως με μεθόδους κατάκλυσης (λιμνοδεξαμενές σε αλλουβιακές αποθέσεις) σε μεγάλους υδροφορείς του νησιού (Γερμασόγειας, Ακρωτηρίου, Ξεροποτάμου και Μαρωνίου), με στόχο την κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης αλλά και την αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης. Οι υδροφορείς αυτοί έχουν στερηθεί τον φυσικό τους εμπλουτισμό λόγω κατασκευής ανάντη ταμιευτήρων (Γεωργίου, 1991). 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 (17 γεωτρήσεις και 103 πηγάδια) εμπλουτίζοντας με όμβρια νερά τον παράκτιο υδροφορέα των Κοκκινοχωριών (Κωνσταντίνου, 1995).

2.6. ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

Στην Ελλάδα δεν έχουμε ούτε μακρά παράδοση εφαρμογής, ούτε καν ουσιαστικά πρακτική εφαρμογή (πλην ελαχίστων περιπτώσεων), ούτε εκτενή πειραματική - πιλοτική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού, αν και έχουμε ιδιαίτερα πρόσφορες συνθήκες και πολλά προβλήματα που αυτός θα έλυσε. Μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις και προσπάθειες εφαρμογής Τ.Ε. παρατίθενται παρακάτω.

Στην πεδινή περιοχή νότια της Ξάνθης, εφαρμόστηκε πιλοτικά τεχνητός εμπλουτισμός, με τη μέθοδο λεκανών κατάκλυσης στην περιοχή Βαφεϊκών και με τη μέθοδο πλημμυρισμού παλιών κοιτών στην περιοχή Πολυσίτου από επιστημονικό κλιμάκιο του ΔΠΘ.

Στην περιοχή Ν. Πέλλας (χωριά Ριζό, Πετραία, Πλεύρωμα) έγιναν πειράματα τεχνητού εμπλουτισμού με εισπίεση από γεωτρήσεις από ερευνητές του ΕΘΙΑΓΕ.

Στην περιοχή του Φυλληίου όρους, βορειοδυτικά των Φαρσάλων, έγινε πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού σε καρστική περιοχή από γεώτρηση. Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε να γίνει από σήραγγα με φρεάτια κατά θέσεις μέσα στο καρστ, αλλά αυτό δεν υλοποιήθηκε.

Στην παράκτια Κορινθία, έγινε πιλοτική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού βασικά από πηγάδια αλλά και από γεωτρήσεις. Το νερό αντλήθηκε από ποτάμι χωρίς επεξεργασία, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν κάποιες αποφράξεις.

Στη Βιομηχανική Περιοχή Πατρών (ΒΙΠΕΠ), το 1993, εφαρμόστηκε πειραματικά ο Τ.Ε. μέσω μιας γεώτρησης στα πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα της λεκάνης του Πείρου ποταμού, στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος της Αθηναϊκής Ζυθοποιίας που εκτελέστηκε από το Water Research Center σε συνεργασία με το Εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών (Fleet κ.α., 1995).

Στο Αργολικό Πεδίο έχουμε μια σειρά από προσπάθειες εφαρμογής Τ.Ε., με πρώτη εκείνη του Υπουργείου Γεωργίας (Υ.Ε.Β.), την περίοδο 1963-1966, με τη μέθοδο των φρεάτων. Χρησιμοποιήθηκαν περί τα 60 φρέατα εμπλουτισμού και αξιοποιήθηκαν τα χειμερινά νερά των πηγών Κεφαλαρίου και Λέρνης. Ο εμπλουτισμός συνεχίστηκε και τις χρονιές 1967 και 1968, όταν εγκαταλείφθηκε πλέον η προσπάθεια λόγω έλλειψης συστηματικού δικτύου μεταφοράς του επιφανειακού νερού και ανόρυξης πολλών βαθιών γεωτρήσεων στην περιοχή. Η δεύτερη προσπάθεια ξεκίνησε με την πρόταση του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών μέσω ερευνητικού προγράμματος, που του ανατέθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας το 1984, με θέμα την υπαλυμύρωση των υδροφορέων του Αργολικού Πεδίου, για εφαρμογή Τ.Ε. με τα νερά των πηγών Κεφαλαρίου και Λέρνης. Το 1986-1987, εφαρμόστηκε Τ.Ε. σε δύο χειμάρρους του πεδίου με την κατασκευή λεκανών διήθησης και 5 γεωτρήσεων εμπλουτισμού για εκμετάλλευση των χειμερινών ροών, χωρίς όμως αποτέλεσμα. Η τρίτη προσπάθεια έγινε το 1993 με την κατασκευή της προσαγωγού διώρυγας Αναβάλου. Έτσι το 1994 άρχισε ο Τ.Ε. μέσω πηγαδιών, 80 γεωτρήσεων και 11 γεωτρήσεων εμπλουτισμού, καλύπτοντας μια έκταση 40.000 στρεμμάτων (Βαφειάδης, 1995, Ζυμής, 1994, Θάνος, 1994) (Πλιάκας, 1998).

Στην περιοχή Απεράθου της Νάξου, από το 1987, ξεκίνησε μια προσπάθεια εφαρμογής Τ.Ε. με την κατασκευή 98 μικρών χαμηλών φραγμάτων ανάσχεσης της χειμαρρικής ροής για τον εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής (Γλέζος, 1994).

2.7. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

Ανάλογα με τη βάση της κατάταξης, ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες κατηγορίες με επιμέρους είδη.

Θεωρώντας ως βάση το υδραυλικό φορτίο, υπάρχουν δύο κατηγορίες :

- Κατηγορία *ήπιου εμπλουτισμού*. Πρόκειται για διοχέτευση επιφανειακού νερού σε μεγάλες επιφάνειες, κατά κανόνα επίπεδες, στις οποίες τα επιφανειακά και γενικά τα αβαθή γεωλογικά στρώματα να είναι κατά το δυνατό περατά. Οι επιφάνειες αυτές μπορεί να έχουν αναχώματα, οπότε δημιουργούνται λεκάνες ή ακόμα να έχουν κάποιες τάφρους. Στις επιφάνειες αυτές το νερό έχει αρκετό χρόνο παραμονής ώστε να απορροφάται από το έδαφος μεγάλο μέρος ή και το σύνολό του. Γενικά το ύψος του νερού είναι μικρό, προκειμένου να μη δημιουργείται μεγάλο υδραυλικό φορτίο.
- Κατηγορία *δυναμικού εμπλουτισμού*. Πρόκειται ουσιαστικά για περιπτώσεις στις οποίες γίνεται εισπίεση νερού σε βάθος, με την άσκηση υδραυλικού φορτίου. Αυτό μπορεί να γίνει από γεωτρήσεις, φρέατα και βαθιές τάφρους. Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ελεύθερα όσο και σε υπό πίεση υδροφόρα στρώματα. Είναι δυνατό να γίνει εισπίεση νερού και τροφοδοσία είτε σε μικρό είτε σε μεγάλο βάθος, τόσο στη μη κορεσμένη ζώνη όσο και στην κορεσμένη.

Άλλη κατάταξη του Τ.Ε. μπορεί να προκύψει με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας από την οποία υλοποιείται. Με τον τρόπο αυτό διακρίνονται οι εξής κατηγορίες :

- Κατηγορία *εμπλουτισμού από επιφάνειες*. Μπορεί να γίνει από διάφορες επιφάνειες που κατακλύζονται ή πλημμυρίζονται με νερό που έχει γενικά μικρό ύψος. Ανήκει στην κατηγορία του ήπιου εμπλουτισμού.
- Κατηγορία *εμπλουτισμού από τάφρους, αύλακες, ορύγματα, λάκκους*. Πρόκειται για χρησιμοποίηση οποιωνδήποτε μορφών τεχνητών εκσκαφών χωρίς ιδιαίτερα μεγάλο βάθος από τις οποίες γίνεται εμπλουτισμός. Το νερό μέσα σε αυτές τις εκσκαφές έχει ύψος λίγα μέτρα, επομένως ασκείται κάποιο περιορισμένο φορτίο και η ροή είναι κατακόρυφη ή πλευρικά πλάγια.
- Κατηγορία *εμπλουτισμού από γεωτρήσεις και φρέατα*. Μπορεί να γίνει σε μεγάλο βάθος με άσκηση υδραυλικού φορτίου με οριζόντια ροή του εισπιεζόμενου νερού. Ανήκει στην κατηγορία δυναμικού εμπλουτισμού.

Τέλος μια άλλη κατάταξη μπορεί να γίνει με κριτήριο τη σκοπιμότητα του Τ.Ε. :

- *Άμεσος ή σκοπούμενος εμπλουτισμός*. Είναι η κατηγορία εκείνη του εμπλουτισμού που επιτυγχάνεται σκόπιμα με έργα, διαδικασίες, ενέργειες, εργασίες, διατάξεις που γίνονται για αυτόν ακριβώς το λόγο και έχουν αυτό το σκοπό.
- *Έμμεσος ή επαγόμενος ή συμπτωματικός ή τυχαίος εμπλουτισμός*. Είναι η κατηγορία εκείνη του εμπλουτισμού που επιτυγχάνεται έμμεσα, είναι δηλαδή «υποπροϊόν» ενεργειών ή κατασκευών που έχουν άλλο σκοπό.

Η σημαντικότερη κατηγοριοποίηση του Τ.Ε. θεωρείται ότι είναι αυτή που βασίζεται στα γεωλογικά-μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας εφαρμογής του και σε αυτή τη βάση θα εξεταστούν παρακάτω οι διάφορες μέθοδοι Τ.Ε.

2.8. ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Πλιάκας, 1998)

2.8.1. Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στην επιφάνεια (Direct surface recharge)

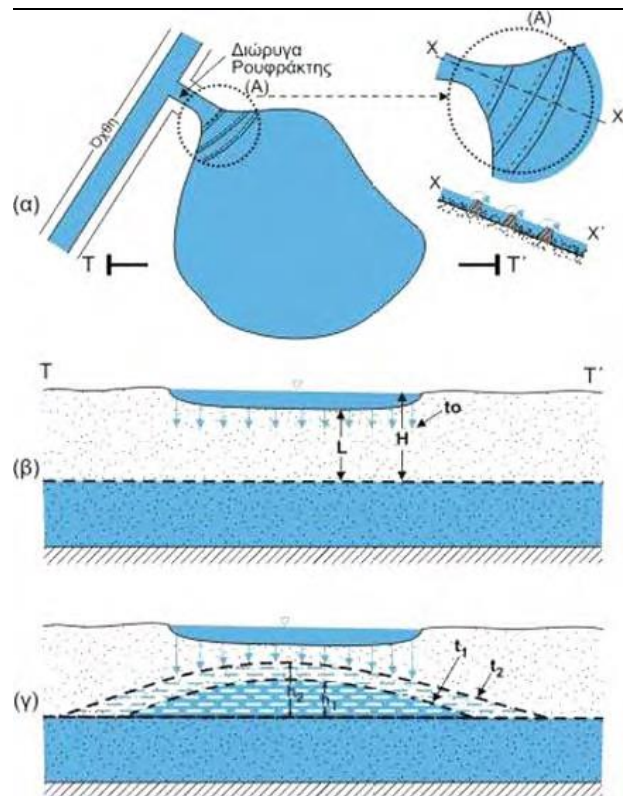
Είναι από τις πλέον απλές, τις παλαιότερες και τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους Τ.Ε.. Σκοπός τους είναι η αύξηση της ποσότητας του νερού που κατεισδύει στο υπέδαφος και τροφοδοτεί τον ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα, με την παροχέτευση νερού στην επιφάνεια του εδάφους (Muckel, 1959). Οι πιο σημαντικοί 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.

2.8.1.1. Μέθοδος πλημμυρισμού (κατάκλυσης) επιφανειών (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

Η κατάκλυση επιφανειών είναι μια πολύ συνήθης μέθοδος με την οποία μπορεί να γίνει τεχνητός εμπλουτισμός μόνο σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα, ίσως και σε ημιεγκλωβισμένα, όχι όμως σε ισχυρά υπό πίεση και, ιδιαίτερα, όχι σε αρτεσιανά.

Επιλέγονται κατά το δυνατό επίπεδες επιφάνειες δίπλα ή κοντά σε ποταμό ή χείμαρρο των οποίων τα εδαφικά στρώματα είναι αρκετά περατά. Το νερό της κατάκλυσης προέρχεται από τον παρακείμενο ή τον πλησιέστερο ποταμό ή χείμαρρο και διοχετεύεται με ειδικές κατασκευές με διώρυγες και ρουφράκτες ή αντλείται από αυτόν. Η ποσότητα νερού που κατεισδύει και καταλήγει στο υποκείμενο υδροφόρο στρώμα, δηλαδή η παροχή εμπλουτισμού, εξαρτάται από :

- την επιφάνεια της κατακλυζόμενης επιφάνειας,
- το συντελεστή κατακόρυφης περατότητας των στρωμάτων που υπέρκεινται του υδροφόρου στρώματος και
- τη χρονική διάρκεια κατά την οποία πραγματοποιείται ο τεχνητός εμπλουτισμός.

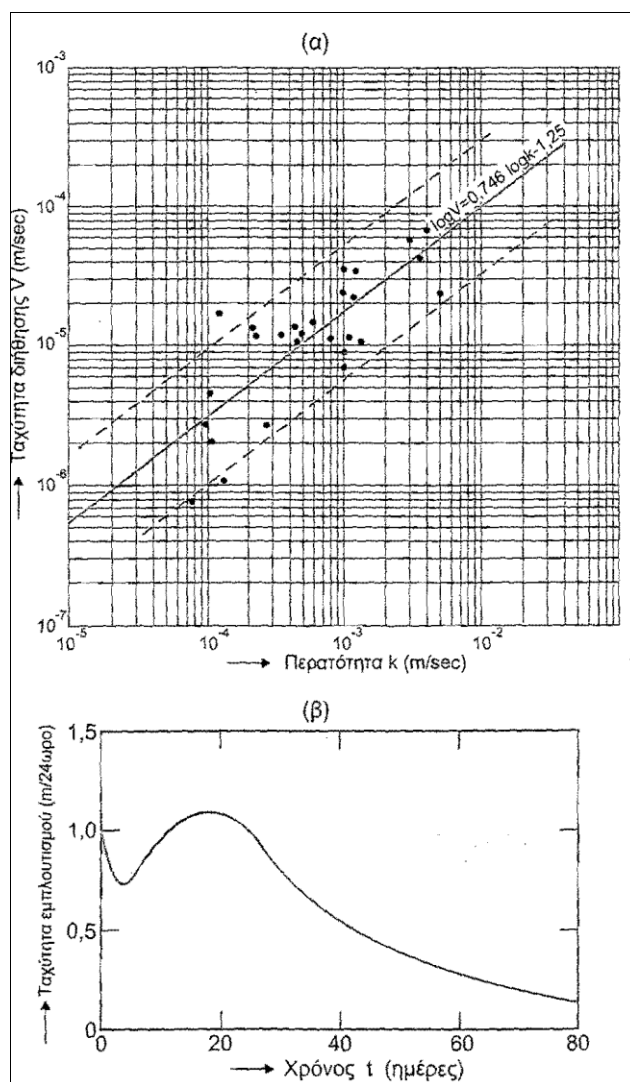


Εικόνα 2.1. Τεχνητός εμπλουτισμός με πλημμυρισμό επιφανειών : (α) κάτοψη, (β) τομή κατά την έναρξη του εμπλουτισμού, $t=t_0$, (γ) τομή για διαφορετικούς χρόνους t_1 και t_2 από την έναρξη του εμπλουτισμού ($t_1 < t_2$) (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

Η ταχύτητα διήθησης του νερού από τον πυθμένα προς το υποκείμενο υδροφόρο στρώμα εξαρτάται από την περατότητα εδάφους-υπεδάφους. Στο νομογράφημα (α) της Εικόνας 2.2α, δίνεται η φαινόμενη ταχύτητα διήθησης V , σε συνάρτηση με την περατότητα k . Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αρχική αυτή ταχύτητα κυμαίνεται από 0,2 m/d έως 1,0 m/d, ανάλογα με την περατότητα, με κάποιες αποκλίσεις. Στην πράγματικότητα, η απορρόφηση νερού κυμαίνεται

περίπου από 0,5 lt/h έως 15 lt/h ανά 1 m² (για αντίστοιχες περατότητες από 10⁻⁵ m/sec έως 10⁻² m/sec).

Το χρησιμοποιούμενο νερό είναι συχνά θολό, καθώς μεταφέρει υλικά τόσο διαλυμένα και αιωρούμενα σε αυτό, όσο και φερτά στον πυθμένα. Αυτά είναι κυρίως λεπτόκοκκα και επικάθονται στον πυθμένα ή καθιζάνουν σε αυτόν, δημιουργώντας ένα αργιλικό επιφλοιώμα με πολύ μικρή περατότητα, το οποίο είναι στεγανό και το πάχος του αυξάνει με το χρόνο. Για το λόγο αυτό, η ταχύτητα διήθησης αρχίζει να μειώνεται λίγες μέρες μετά την έναρξη της διαδικασίας εμπλουτισμού (Εικόνα 2.2β). Στο σχήμα αυτό φαίνεται αρχικά μια μείωση της ταχύτητας λόγω ύπαρξης αερίων και στη συνέχεια αύξηση. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής περατότητας αυξάνεται ανάλογα με τον κορεσμό σε υγρασία. Μετά τη μέγιστη τιμή ακολουθεί μια βαθμιαία μείωση της ταχύτητας διήθησης (Εικόνα 2.2β), λόγω απόθεσης αργιλικού επιφλοιώματος στην επιφάνεια, το οποίο αποκτά με το χρόνο συνεχώς μεγαλύτερο πάχος, προκαλώντας απόφραξη των πόρων του και μείωση της περατότητας (clogging).



Εικόνα 2.2. (α) Νομογράφημα που δείχνει την ταχύτητα κατά τον εμπλουτισμό, V , σε σχέση με την περατότητα, k (κατά Bize, K. – Bourguet L. – Lemoine, J., 1972) και (β) μείωση της ταχύτητας εμπλουτισμού (διήθησης) με το χρόνο t (Καλλέργης, Γ., 2001)

Η απόθεση αυτού του επιφλοιώματος, που μπορεί να μειώσει δραστικά την ποσότητα εμπλουτισμού, είναι ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα. Για τη μείωση των συνεπειών αυτού του φαινομένου και, σε κάθε περίπτωση, την επιβράδυνσή του, κατασκευάζονται λεκάνες καθίζησης στην αρχή των κατακλυζομένων επιφανειών μέσα στις οποίες καθιζάνουν και παγιδεύονται τα αιωρούμενα και φερτά υλικά. Πέραν αυτού, αποφεύγεται κατα το δυνατόν η χρήση πολύ θολών νερών για τεχνητό εμπλουτισμό. Επίσης χρησιμοποιούνται ειδικά χημικά ή και βακτηριοκτόνα για την αποφυγή της απόφραξης των πόρων. Τέλος, υπάρχει και η λύση του καθαρισμού της επιφάνειας κατάκλυσης κατά περιόδους.

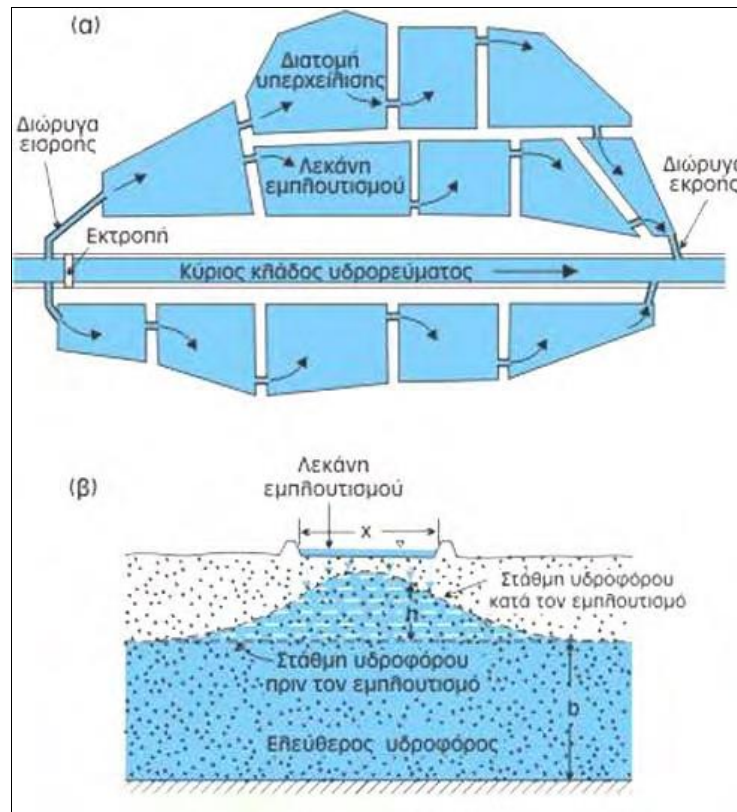
2.8.1.2. Μέθοδος λεκάνης (basin method)

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 και 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, επειδή (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 τίθενται εκτός λειτουργίας λεκάνες που χρειάζονται συντήρηση (ξύσιμο, σκάψιμο, αναμόχλευση), χωρίς να παρεμποδίζεται η όλη λειτουργία του έργου εμπλουτισμού.

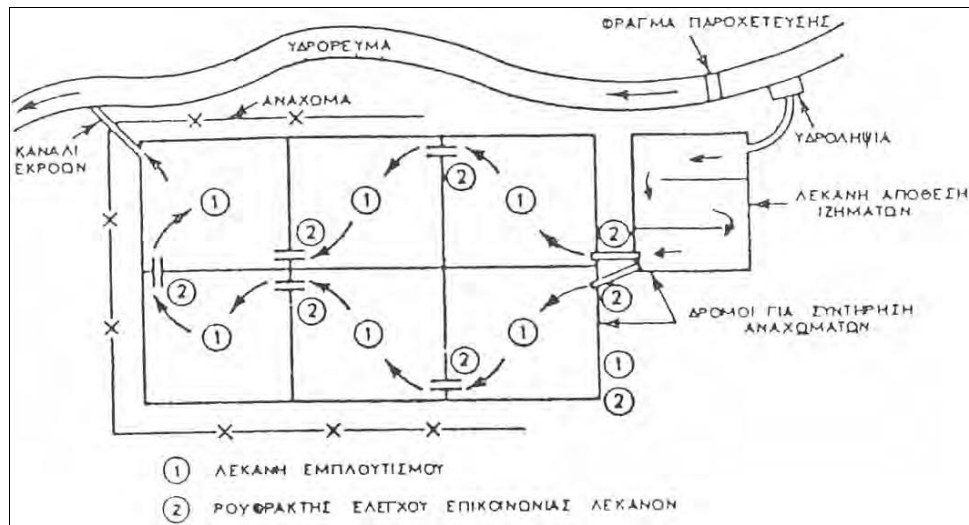
Η ικανότητα διήθησης του νερού, το οποίο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από αιωρούμενα υλικά (ιλύ), μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη οργανικών και χημικών ουσιών στο νερό, όπως επίσης και με την καλλιέργεια βλάστησης στην επιφάνεια ή με άλλες ειδικές επεμβάσεις στη λειτουργία του έργου όπως προγραμματισμένες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



Εικόνα 2.3. Τεχνητός εμπλουτισμός με τη μέθοδο λεκανών (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

Σ τα πλεονεκτήματα των λεκανών περιλαμβάνονται :

- η 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)
- η δυνατότητα συγκράτησης των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού με την κατασκευή ανάλογων λεκανών καταλλήλων διαστάσεων,
- η δυνατότητα αποθήκευσης περιοδικών πλημμυρών για μελλοντική χρήση τους με σκοπό τον εμπλουτισμό,
- η αντιμετώπιση του φαινομένου clogging (Oaksford, 1985).



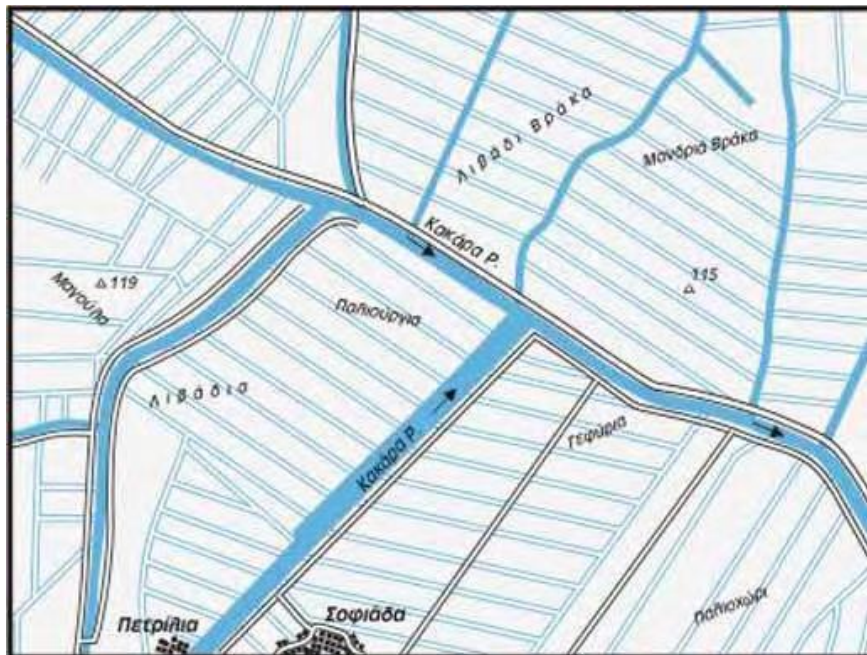
Εικόνα 2.4. Έργο εμπλουτισμού με πολλαπλές λεκάνες (ASCE, 1972, από Καλλέργη, 1986)

2.8.1.3. Μέθοδος τάφρων και αυλάκων (ditch and furrow method)

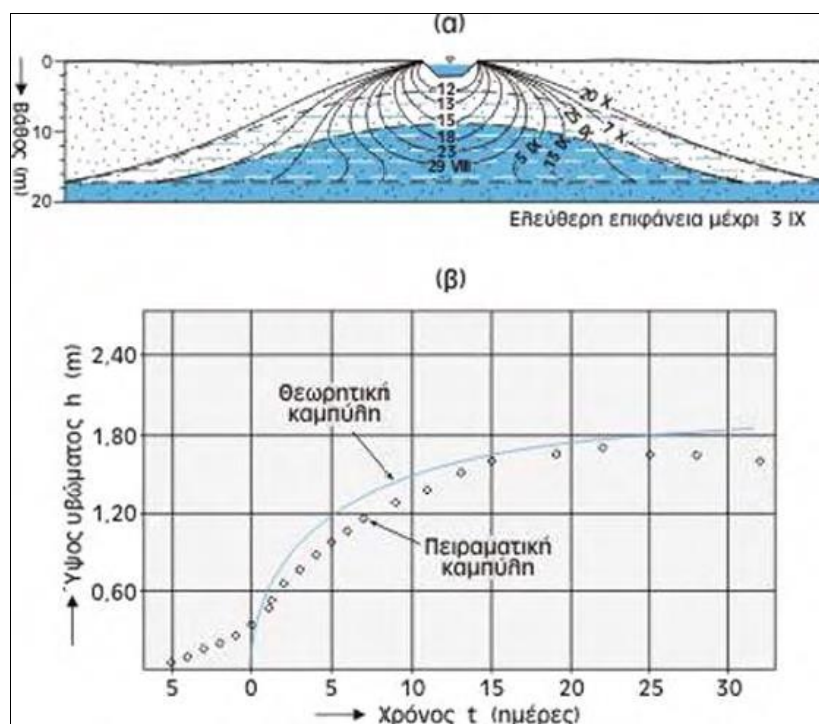
Συνίσταται από μια σειρά από τάφρους ή αυλάκια μικρού βάθους, πλάτους 0,30–1,80m, επίπεδου πυθμένα και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, στην οποία παροχετεύεται το νερό. Το σύστημα αυτό των τάφρων και αυλακών μπορεί να έχει (Καλλέργης, 1986, Muckel, 1959):

- μαιανδρική μορφή (ακολουθώντας τις ισοϋψείς),
- δενδροειδή μορφή (το κύριο κανάλι διακλαδίζεται σε δευτερεύοντα) και
- 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.



Εικόνα 2.5. Δίκτυο αποστραγγιστικών τάφρων στην περιοχή Σοφιάδας (όρια Φθιώτιδας-Καρδίτσας), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνητό εμπλουτισμό (Διαμαντής Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, 2016)

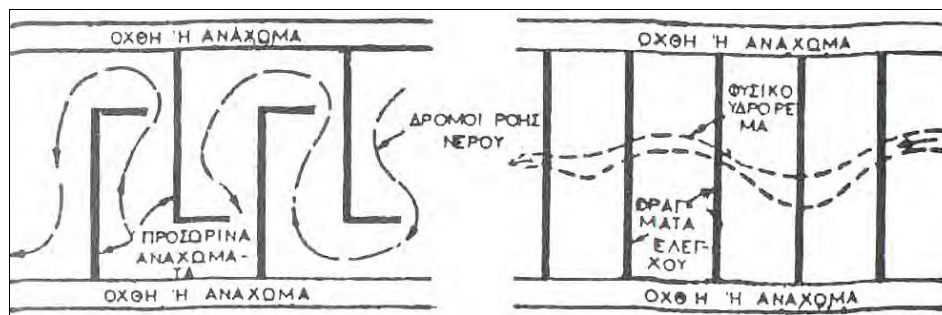


Εικόνα 2.6. (α) Η εξέλιξη του υβώματος τεχνητού εμπλουτισμού κάτω από μία τάφρο, (β) η θεωρητική και πειραματική καμπύλη ανόδου του υβώματος (κατά Bize, K. – Bourguet L. – Lemoine, J., 1972, με επανασχεδίαση)

Είναι προφανές ότι σε ένα δίκτυο τάφρων τα υβώματά τους μετά από κάποιο χρόνο συνενώνονται και προκαλείται βαθμιαία γενική άνοδος της στάθμης.

2.8.1.4. Μέθοδος διευθέτησης υδατορρέυματος (Stream – channel modification)

Με τη μέθοδο αυτή επιχειρείται η αύξηση της ικανότητας διήθησης με την κατάλληλη διευθέτηση της κοίτης υδατορρέυματος, με σκοπό την επιβράδυνση της ροής του νερού μέσα στο υδατόρρευμα και την αύξηση της επιφάνειας της κοίτης που έρχεται σε επαφή με το νερό του υδατορρέυματος. 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 υδρορρέυματος 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.



Εικόνα 2.7. Εμπλουτισμός με κατάκλυση. Δύο έργα με κατασκευή προσωρινών χωμάτινων αναχωμάτων (Todd in Ven Te Chow ed., 1964, από Καλλέργη, 1986)

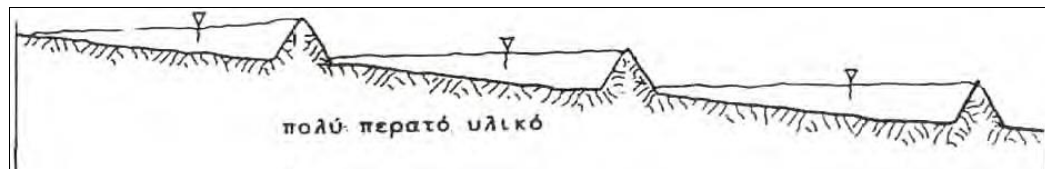
2.8.1.5. Επανενεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδατορρέυματος (Stream flow reactivation or augmentation)

Η μέθοδος αυτή επιχειρεί την εφαρμογή του εμπλουτισμού στην αρχή της πηγής τροφοδοσίας υδατορρέυματος με σκοπό την επανενεργοποίηση ή την αύξηση της ικανότητας διήθησης. Η μέθοδος χρησιμοποιείται ως εναλλακτική μέθοδος Τ.Ε. σε περιοχές όπου έχουμε κοίτες εγκαταλελειμμένες όπως στην περιοχή Πολυσίτου Ξάνθης (Διαμαντής κ.α., 1994, Πλιάκας κ.α., 1995) 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.

2.8.1.6. Μέθοδος ανάσχεσης της χειμαρρικής ροής

Η κατασκευή μικρών, χαμηλών διαδοχικών φραγμάτων κατά μήκος των χειμάρρων ανακόπτει τη ροή των όμβριων νερών με συνέπεια μέρος αυτών να κατεισδύει στο υπέδαφος και να εμπλουτίζει τα υδροφόρα στρώματα. Τα έργα αυτά λειτουργούν παράλληλα και ως αντιδιαβρωτικά και αντιπλημμυρικά και ελέγχουν σε κάποιο βαθμό την παροχή των χειμάρρων.

Οι θέσεις των φραγμάτων αυτών επιλέγονται με βάση γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια. Κατασκευάζονται συνήθως σε ορεινές ή ημιορεινές περιοχές.



Εικόνα 2.8. Εμπλουτισμός υδροφόρων με διαδοχικά φράγματα σε υδατόρρευμα (Dvoracek, 1971)

Εφαρμογή του τρόπου αυτού εμπλουτισμού αναφέρεται από το Γλέζο (1992, 1994) στην Απείραθο της νήσου Νάξου. Αναφέρεται ότι μέχρι το 1988 είχαν κατασκευασθεί 98 τέτοια μικρά φράγματα σε δύο ημιορεινές μικροκοιλάδες του νησιού. Το ύψος των φραγμάτων κυμαίνεται από 0,50-3,50 m, το πλάτος τους από 1 έως 10 m και η υδροχωρητικότητά τους είναι μερικών εκατοντάδων m³ το καθένα. Τα αποτελέσματα, για τη χρονική περίοδο 1989-1992, ήταν πολύ ενθαρρυντικά, αφού από το 1990 άρχισε η εμφάνιση νερού σε όλα τα αποξηραθέντα πηγάδια και τις υδρομαστευτικές στοές και αυξήθηκε η παροχή των πηγών στην περιοχή των φραγμάτων.

2.8.1.7. Μέθοδος άρδευσης (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. 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).

2.8.1.8. Χρησιμοποίηση καρστικών περιοχών

Οι καρστικές επιφάνειες, ιδίως μάλιστα αυτές οι οποίες δεν έχουν φυτική ή εδαφική κάλυψη, παρουσιάζουν τεράστια διηθητικότητα και μπορούν να απορροφούν νερό με μεγάλες ταχύτητες (μεγάλες παροχές).

Στις επιφάνειες αυτές μπορούμε να εκχύσουμε νερό το οποίο μεταφέρεται εκεί από γειτονικό ποτάμι με αγωγούς. Το νερό κατεισδύει άμεσα και τροφοδοτεί τα υποκείμενα καρστικά υδροφόρα στρώματα, από τα οποία μπορεί αυτόματα να μεταγγιστεί πλευρικά σε άλλα γειτονικά καρστικά ή μη, π.χ. αλλουβιακά. Στην περίπτωση αυτή των καρστικών επιφανειών η απώλεια νερού λόγω εξατμισοδιαπνοής είναι ελάχιστη.

Η επιλογή της καρστικής επιφάνειας γίνεται με τα ακόλουθα κριτήρια :

- να μη βρίσκεται μακριά από τα ποτάμια από τα οποία αντλείται το νερό,
- να έχει μεγάλη απορροφητικότητα, δηλαδή να είναι έντονα καρστικοποιημένη, να έχει πυκνό δίκτυο ρωγμών-διακλάσεων,
- να συνδέεται γεωλογικά-υδρογεωλογικά με μεγάλα καρστικά υδροφόρα στρώματα τα οποία τελικά θα εμπλουτίζονται.

Καρστικές επιφάνειες μπορούν να απορροφούν τεράστιες ποσότητες νερού και από αυτές μπορεί να γίνεται εμπλουτισμός με μεγάλες παροχές. Η γεωλογική σύσταση της Ελλάδας έχει πολλές τέτοιες επιφάνειες και αντίστοιχες γεωλογικές συνθήκες. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το νερό πρέπει να αντλείται και να μεταφέρεται με αγωγούς.

2.8.2. Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος (Direct subsurface recharge)

Οι μέθοδοι αυτές αποσκοπούν στην επίτευξη απευθείας τροφοδοσίας των υδροφόρων. Συνήθως χρησιμοποιούνται όταν ένα ημιπερατό υπό πίεση υδροφόρο στρώμα διαχωρίζει την πηγή τροφοδοσίας του νερού εμπλουτισμού από τον υδροφόρο που πρόκειται να εμπλουτισθεί. Σε όλες αυτές τις μεθόδους δίνεται μεγάλη σημασία στην ποιότητα του νερού εμπλουτισμού αφού το νερό εισέρχεται στον υδροφόρο χωρίς την προηγούμενη επεξεργασία που υφίσταται όταν κατεισδύει μέσω της ακόρεστης ζώνης. Όλες οι μέθοδοι χρησιμοποιούν σημαντικά μικρότερη επιφάνεια εμπλουτισμού από εκείνη των μεθόδων επιφανειακού εμπλουτισμού.

2.8.2.1. Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (Natural openings method)

Ο εμπλουτισμός επιτυγχάνεται μέσα από φυσικά ανοίγματα που προέρχονται από σπάσιμο ή διάλυση ασβεστόλιθων ή άλλων ευδιάλυτων πετρωμάτων. Αυτό το σύστημα εμπλουτισμού είναι σχετικά χαμηλού κόστους, μπορεί όμως η εφαρμογή της μεθόδου να επισκιασθεί από ανεπιθύμητες δυσμενείς εδαφικές και γεωλογικές συνθήκες.

2.8.2.2. Μέθοδος ορυγμάτων (Pit method)

Αν σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους υπάρχουν στρώματα μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας, τότε ο υποκείμενος υδροφόρος μπορεί να εμπλουτισθεί με τη διάνοιξη βαθιών ορυγμάτων ή φρεάτων που να διαπερνούν τα πιο πάνω στρώματα (Kelly, 1967, McWhorter et al., 1972). Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η αιωρούμενη στο νερό ιλύς καθιζάνει στον πυθμένα του ορύγματος και δεν επικάθεται στα τοιχώματα του, λόγω της μεγάλης κλίσης τους (Bianchi et

al., 1970). Προκειμένου να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα κατά τον εμπλουτισμό, πρέπει να δοθεί προσοχή στη γεωμετρία του ορύγματος (Dvorace et al., 1963, Scot et al., 1967). Η εφαρμογή της μεθόδου είναι περιορισμένη αφού η δαπάνη κατασκευής και συντήρησης είναι μεγάλη αν συγκριθεί με τις μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού. Μπορεί όμως να μειωθεί αισθητά αν χρησιμοποιηθούν εγκαταλειμμένα ή χαλικιώδη ορύγματα.

2.8.2.3. Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (Reverse drainage method)

Με τη μέθοδο αυτή, το νερό διοχετεύεται σε ένα υπόγειο δίκτυο αγωγών από το οποίο διηθείται στο έδαφος, παρόμοια με τη τεχνική της υπόγειας άρδευσης. Η διαδικασία της μεθόδου είναι αντίστροφη εκείνης της διαδικασίας κατά την οποία συγκεντρώνεται και απομακρύνεται νερό από την κορεσμένη ζώνη. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η ασήμαντη χρήση της επιφάνειας του εδάφους, λύση αρκετά δελεαστική για την εφαρμογή της σε περιοχές όπου η αξία της γης είναι μεγάλη. Τέτοια παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου έχουμε στην Ιαπωνία (Public Works Research Institute, 1980) και στην Κύπρο (Whetstone, 1956).

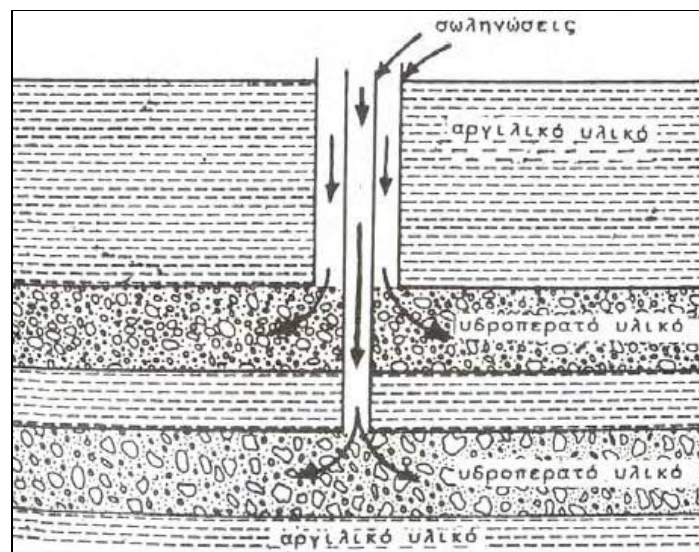
2.8.2.4. Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού (Recharge well method)

Σαν γεώτρηση εμπλουτισμού μπορεί να θεωρηθεί μια γεώτρηση που διαβιβάζει νερό από την επιφάνεια προς τους υποκείμενους υδροφόρους (Todd, 1980) και λειτουργεί κατά αντίστροφη φορά σε σχέση με μια γεώτρηση άντλησης. Οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό βαθιών αρτεσιανών υδροφόρων απομονωμένων από την επιφάνεια εξαιτίας της ύπαρξης ενδιάμεσων υλικών χαμηλής περατότητας, ή εκεί όπου υπεισέρχονται παράγοντες οικονομίας χώρου, όπως σε αστικές περιοχές. Οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τροφοδοσία δύο ή περισσότερων υδροφόρων συγχρόνως ή να επιτύχουν την υδραυλική επικοινωνία, όπου οι υδραυλικές συνθήκες το επιτρέπουν, απομονωμένων μεταξύ τους υδροφόρων. Επίσης το νερό εμπλουτισμού δεν είναι απαραίτητο πάντα να προέρχεται από επιφανειακή πηγή τροφοδοσίας. Εκτός από τον αρχικό σκοπό τους που είναι ο εμπλουτισμός των υδροφόρων που παρέχουν πόσιμο νερό, οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται, επίσης, για τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούνται για ψύξη όπως και για να ανανεώνουν με γλυκό νερό τους παράκτιους υδροφορείς που αντιμετωπίζουν προβλήματα διείσδυσης αλμυρού νερού. Σημαντικοί παράγοντες που ελαττώνουν προοδευτικά την απόδοση εμπλουτισμού των γεωτρήσεων αποτελούν :

- η μείωση της περατότητας των φίλτρων των γεωτρήσεων και του υδροφόρου γύρω από τις γεωτρήσεις, λόγω της απόθεσης αιωρούμενης ιλύος που περιέχει το νερό εμπλουτισμού (clogging effect),
- η μεταφορά στον υδροφόρο από το νερό εμπλουτισμού, μεγάλων ποσοτήτων διαλυμένου αέρα,
- η πιθανή παρουσία βακτηρίων στο νερό εμπλουτισμού με συνέπεια την ανάπτυξη ανεπιθύμητων καλλιεργειών στις σωληνώσεις των γεωτρήσεων,
- η ενδεχόμενη υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο (Na) με αποτέλεσμα την πιθανή αποκροκίδωση του εδάφους.

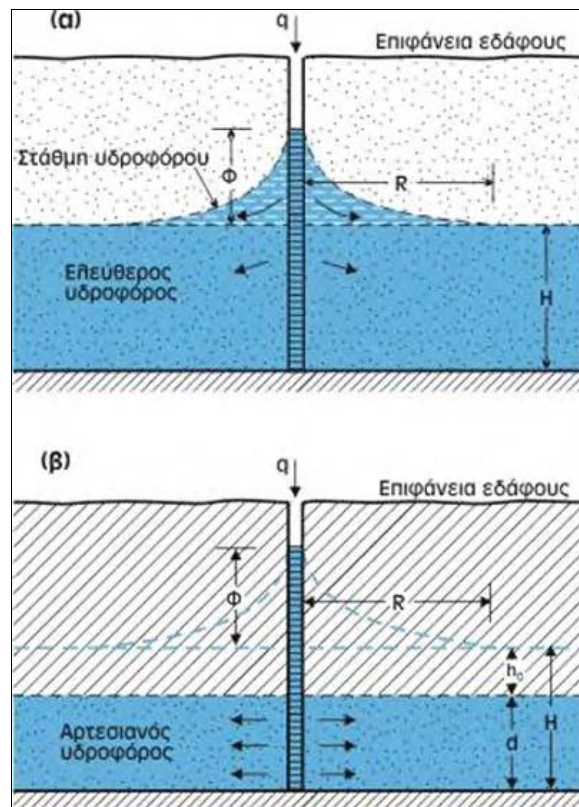
Εικόνα 2.10. Γεώτρηση εμπλουτισμού με τον εξοπλισμό της. Η αντλία λειτουργεί το θέρους ενώ ο σωλήνας παράπλευρα της στήλης της αντλίας επιτρέπει τον εμπλουτισμό της γεώτρησης (Diede, 1989)

Σε επίπεδες παράκτιες περιοχές, όπου δεν προσφέρεται η κατασκευή ταμιευτήρων και οι υδροφόροι ορίζοντες έχουν αλμυρίσει, ενδείκνυται η προσωρινή αποθήκευση γλυκού νερού σε γεωτρήσεις στις οποίες προηγείται ο εμπλουτισμός και ακολουθεί η άντληση, ενώ η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυξάνει με κάθε κύκλο "εμπλουτισμός - αποθήκευση - άντληση" (Brown et al., 1977, Esmail et al., 1967, Kumar et al., 1970).



Εικόνα 2.11. Ειδική κατασκευή γεώτρησης εμπλουτισμού. Η μεγάλης διαμέτρου σωληνώση εμπλουτίζει το ανώτερο υδροφόρο, ενώ η μικρότερης διαμέτρου επιτρέπει τον εμπλουτισμό του βαθύτερου υδροφόρου (Pettyjohn, 1988)

Η χρήση υγρών αποβλήτων για εμπλουτισμό με γεωτρήσεις περιορίζεται μόνον σε περιπτώσεις που πρόκειται να αντιμετωπισθούν ειδικά προβλήματα, όπως η καθίζηση του εδάφους, η διείσδυση θαλασσινού νερού, κλπ. Η δαπάνη επεξεργασίας των αποβλήτων είναι αρκετά υψηλή, προκειμένου να φθάσει η ποιότητα τους τα επιτρεπόμενα όρια ποιότητας χρήσης νερού εμπλουτισμού με τη μέθοδο αυτή (Baier et al., 1971, Schicht, 1971).



Εικόνα 2.12. Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α) ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β) υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (κατά Todd C., 1980, από τον Καλλέργη Γ., 2001, με επανασχεδίαση)

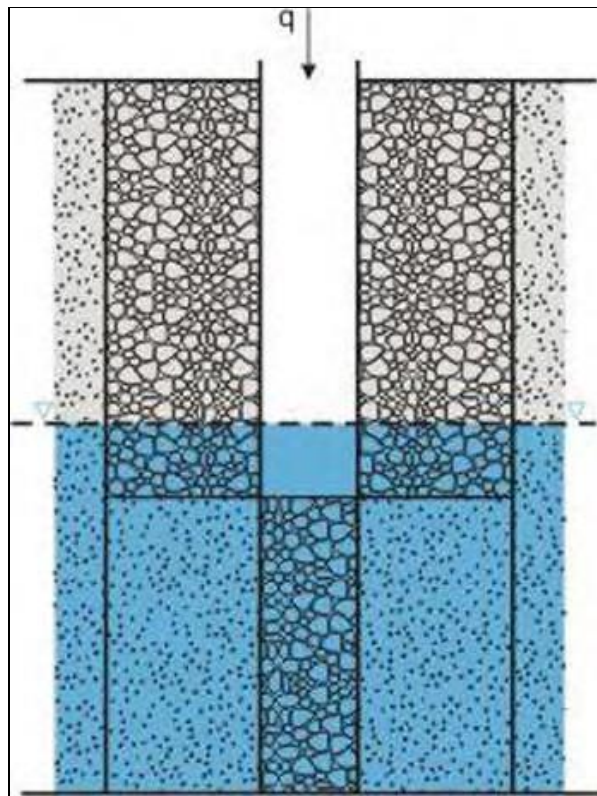
2.8.2.5. Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης (Aquifer storage and recovery wells – ASR wells)

Είναι μια νέα μέθοδος Τ.Ε. που διαδίδεται διεθνώς με γοργούς ρυθμούς. Οι γεωτρήσεις αυτές αποτελούν συνδυασμό γεωτρήσεων εμπλουτισμού και άντλησης. Χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει διαθέσιμο πλεονάζον νερό, και αντλούνται όταν το νερό χρειάζεται. Οι ASR γεωτρήσεις τυπικά χρησιμοποιούνται με σκοπό την εποχιακή αποθήκευση πόσιμου νερού σε περιοχές όπου η ζήτηση νερού είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο του καλοκαιριού από εκείνη της περιόδου του χειμώνα ή το αντίστροφο. Το χειμερινό πλεόνασμα νερού, με τις ASR γεωτρήσεις, αποθηκεύεται υπόγεια και αντλείται κατά το καλοκαίρι (ή το αντίστροφο), αυξάνοντας έτσι τις ποσότητες πόσιμου νερού που παρέχουν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πόσιμου νερού και συντελώντας στη μείωση του κόστους της λειτουργίας όλου του συστήματος, αφού μετά την άντληση, το νερό χρειάζεται απλώς μόνο χλωρίωση (Bouwer, 1995b).

2.8.2.6. Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (Vadose zone method)

Τα πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη είναι πηγάδια που διατρέχουν την ακόρεστη ζώνη φτάνοντας σε βάθος 10-50 m και έχουν διάμετρο 1-2 m. Χρησιμοποιούνται για την απόθεση και διήθηση των απορροών των καταιγίδων σε περιοχές με σχετικά χαμηλές βροχοπτώσεις και χωρίς εγκαταστάσεις αποχέτευσης όμβριων νερών. Τα πηγάδια αυτά διανοίγονται σε περατούς σχηματισμούς, στην ακόρεστη ζώνη τους που αυτή μπορεί να διηθήσει τα νερά της βροχής με

ικανοποιητικές ταχύτητες. Όπου το βάθος του υδροφόρου είναι μεγάλο (100-300 m), η εφαρμογή αυτού του τύπου των πηγαδιών είναι αρκετά πιο φτηνή από εκείνη των γεωτρήσεων εμπλουτισμού, και προτιμάται η πρώτη. Το κύριο πρόβλημα των πηγαδιών αυτών είναι η δημιουργία του φαινομένου clogging στα τοιχώματα του πηγαδιού, και η αδυναμία αποκατάστασης του προβλήματος σε αντίθεση με τις δυνατές διορθωτικές παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν στις τυπικές γεωτρήσεις εμπλουτισμού (άντληση ή εκ νέου ανάπτυξη). Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή, όπως και η των τυπικών γεωτρήσεων εμπλουτισμού, είναι αρκετά πιο δαπανηρή από τις αντίστοιχες μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού. Τέλος, ζώνες ακόρεστες που έχουν μολυνθεί πρέπει να αποκλείονται για την εφαρμογή της μεθόδου (Bouwer, 1995b).



Εικόνα 2.13. Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό

2.8.3. Συνδυασμοί επιφανειακού και υπόγειου εμπλουτισμού (Combination of surface – subsurface recharge)

Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις για την κάλυψη ειδικών αναγκών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι επιφανειακού εμπλουτισμού σε συνδυασμό με μεθόδους υπεδαφικού εμπλουτισμού συνδυάζοντας έτσι τα πλεονεκτήματα των πρώτων (ευκολία συντήρησης, μεγάλες επιφάνειες διήθησης, δυνατότητα αποθήκευσης νερού) με αυτά των δευτέρων (προσπέλαση σε βαθύτερους υδροφόρους και ελάχιστες απαιτήσεις σε γη).

2.8.3.1. Συνδυασμός λεκάνης εμπλουτισμού και αποστραγγιστικού δικτύου (Basins with subsurface drainage collectors and wells)

Η δυνατότητα εμπλουτισμού λεκανών εμπλουτισμού που βρίσκονται πάνω σε στρώματα υλικών με σχετικά μεγάλο πάχος και μικρή υδραυλική αγωγιμότητα, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την τοποθέτηση υπόγειου συστήματος οριζόντιων σωλήνων συλλογής του νερού μεταξύ των λεκανών και των υποκειμένων στρωμάτων που προαναφέρθηκαν και διοχέτευση του σε γεωτρήσεις που διαπερνούν τα στρώματα αυτά και εμπλουτίζουν έτσι βαθύτερους υδροφόρους (Bianchi et al., 1978).

2.8.3.2. Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (Basins with pits, shafts or wells)

Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει στις λεκάνες να αποθηκεύσουν νερό και στη συνέχεια στα ορύγματα, τις εκσκαφές ή τις γεωτρήσεις να διανείμουν το νερό γρήγορα σε περισσότερο περατές ζώνες που υπόκεινται των περιοχών εμπλουτισμού (Aronson et al., 1974, Pettyjohn, 1968).

2.8.4. Έμμεσος εμπλουτισμός (Indirect recharge)

Παρότι δεν προκύπτει από την κατηγοριοποίηση των μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού με κριτήριο τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας εφαρμογής του αλλά με βάση τη σκοπιμότητά του, πρέπει να γίνει ειδική μνεία στον έμμεσο ή επαγωγικό εμπλουτισμό, ο οποίος δεν είναι άμεσα επιδιωκόμενος, αλλά ένα είδος «παρενέργειας» σε διαδικασίες και ενέργειες χρησιμοποίησης υδατινών πόρων, σε κάθε περίπτωση όμως επιθυμητής παρενέργειας.

Οι περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να συμβαίνει επαγωγικός τεχνητός εμπλουτισμός παρουσιάζονται παρακάτω.

2.8.4.1. Από αρδευόμενες και υπεραρδευόμενες εκτάσεις.

Ανάλογα με το ρυθμό και την ένταση των αρδεύσεων, ένα ποσοστό του αρδευτικού νερού καταλήγει τελικά στον υποκείμενο υδροφόρο, τον οποίο εμπλουτίζει. Για να προκύπτει θετικό ισοζύγιο πρέπει το αρδευτικό νερό να είναι επιφανειακό από αρδευτικό δίκτυο τροφοδοτούμενο από ποτάμι ή λίμνη και όχι να αντλείται από τα υποκείμενα υδροφόρα. Ο εμπλουτισμός αυτός εξαρτάται από :

- το ρυθμό και την ένταση της άρδευσης,
- το βάθος στο οποίο βρίσκεται η στάθμη του υδροφορέα και
- την περατότητα των υποκειμένων εδαφικών και γεωλογικών στρωμάτων.

Συνέπεια αυτής της τεχνητής τροφοδοσίας μπορεί να είναι :

- μια εποχιακή αντιστροφή της ανώτερης και κατώτερης ετήσιας στάθμης,
- μια βαθμιαία άνοδος της στάθμης με το χρόνο μέχρι κάποιο οριακό επίπεδο που ρυθμίζεται από τις οριακές συνθήκες

2.8.4.2. Από τεχνητές λίμνες (φράγματα – λιμνοδεξαμενές)

Από τον πυθμένα τους γίνεται μία συνεχής διήθηση νερού προς τα υποκείμενα υδροφόρα, τα οποία επανατροφοδοτούν. Προκαλείται έτσι ένας έμμεσος εμπλουτισμός.

2.8.4.3. Από υπερεκμετάλλευση (υπεράντληση) υδροφόρων

Όταν γίνεται υπεράντληση, η στάθμη των υδροφόρων υποβιβάζεται, έχοντας ως συνέπεια τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής, την αύξηση της διήθησης από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου από τεχνητές τάφρους, από τον πυθμένα φυσικών και τεχνητών λιμνών και άλλων συγκεντρώσεων επιφανειακού νερού και τη μείωση ή ακόμα και μηδενισμό της ανάβλυσης και της εκροής προς κοίτες, επιφάνεια εδάφους κλπ.

Όλα τα παραπάνω σημαίνουν περισσότερο νερό για εκμετάλλευση, άρα έμμεσο εμπλουτισμό. Το γεγονός αυτό βέβαια δεν αναιρεί τις αρνητικές συνέπειες που αναφέρθηκαν.

2.8.4.4. Από άντληση πλησίον ποταμών, λιμνών κλπ

Η άντληση πλησίον ποταμών, λιμνών και γενικά επιφανειακών νερών, προκαλεί πτώση της στάθμης που συνεπάγεται διήθηση επιφανειακού νερού προς τη γέωτρηση, δηλαδή έμμεσο εμπλουτισμό των υδροφορέων. Ενίοτε αυτό γίνεται σκόπιμα για την ανανέωση και ποιοτική αναβάθμιση του επιφανειακού νερού.

3. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Αγγελάκης και Παρανουχιανάκης, 2005)

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για άρδευση καλλιεργειών, εφαρμόζεται στην πράξη επί αιώνες και φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς (Angelakis and Spyridakis, 1996 και Angelakis *et al.*, 2005). Παρόλο, που η άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων, είναι παράλληλα και ένας αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας (με μηδενική εκροή για τελική διάθεση), η εφαρμογή ενός ελαχίστου επιπέδου επεξεργασίας πριν την εφαρμογή τους στο έδαφος κρίνεται αναγκαία, ακόμη και στην περίπτωση άρδευσης κτηνοτροφικών, δασικών ή άλλων εκτάσεων με μηδενική ανθρώπινη επαφή. Η προεπεξεργασία αυτή επιβάλλεται για λόγους προστασίας της δημόσιας υγείας, την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την πρόληψη ζημιών στις καλλιέργειες και την απρόσκοπτη λειτουργία των αγωγών μεταφοράς και εφαρμογής (Asano, 1985).

Η αξιοποίηση των εκροών των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) αποτελεί σήμερα μια δυνατή, εναλλακτική και καθοριστική προσέγγιση στο θέμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων με βάση την αειφόρο ανάπτυξη.

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχετικά έργα, σε αυξημένο μάλιστα αριθμό και έκταση, προγραμματίζονται και υλοποιούνται κάθε έτος σε αρκετές χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, την Αυστραλία, το Ισραήλ, στην Ιαπωνία, στις χώρες του Μαγκρέμπ και της Νοτίου Αφρικής. Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της και των υφιστάμενων διαφορών μεταξύ των κρατών-μελών, η Ε.Ε. δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα μέχρι σήμερα με αντικείμενα ανακύκλησης και επαναχρησιμοποίησης νερού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1 παρακάτω.

Πίνακας 3.1. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση σε διάφορες χώρες (Τασούλα, 2007)

Χώρα και περιοχή ή πόλη	Αρδευόμενη έκταση (σε στρέμματα)
Αργεντινή, Μεντόζα	57000
Αυστραλία, Μελβούρνη	100000
Γερμανία	280000
ΗΠΑ	134750
Ινδία	855000
Ισραήλ	88000
Κίνα	13330000
Κουβέιτ	120000
Μαρόκο	60000
Μεξικό	3400000
Νότια Αφρική, Γιοχάνεσμπουργκ	18000
Περού, Λίμα	68000
Σαουδική Αραβία, Ριάντ	28500
Σουδάν, Χαρτούμ	28000
Τυνησία	73500
Χιλή, Σαντιάγο	160000

Οι ξηρασίες των τελευταίων ετών στην Ισπανία, στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, θέτουν επιτακτικά το θέμα της ανακύκλωσης νερού. Εξάλλου, η έλλειψη νερού τοπικά και η διάχυτη ρύπανση σε όλη την Ευρώπη που επιτείνουν περιβαλλοντικά προβλήματα, έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον σε τέτοια αντικείμενα. Επομένως, η πρακτική αυτή αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον, εξαιτίας της μείωσης της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων που προβλέπεται εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου του παγκοσμίως και της αύξησης της θερμοκρασίας. Όπως προαναφέρεται, δεσπόζουσα κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και χώρων πρασίνου και αναψυχής, καθώς τα θέματα της ποιότητας που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι ευκολότερο να αντιμετωπισθούν στην άρδευση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις (Angelakis and Tchobanoglous, 1995). Σημειώνεται ότι με τις διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες είναι δυνατή η παραγωγή ακόμη και πόσιμου νερού από περιθωριακά νερά, όπως είναι οι εκροές υγρών αποβλήτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όμως θα πρέπει να λαμβάνονται και να εξετάζονται θέματα όπως είναι η προστασία της δημόσιας υγείας, το υψηλό κόστος επεξεργασίας και η κοινωνική αποδοχή.

Για κάθε ωφέλιμη χρήση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτοί τελικά προσδιορίζουν τις απαιτούμενες διεργασίες και τεχνολογίες επεξεργασίας και φυσικά το απαιτούμενο κόστος. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια. Τα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία είναι αμφιλεγόμενα, αφού η απαιτούμενη ποιότητα του νερού καθορίζεται από τις προδιαγραφές της κάθε βιομηχανικής χρήσης. Αντίθετα, τα κριτήρια ποιότητας που πρέπει να πληροί το ανακυκλωμένο νερό που προορίζεται για πόσιμη χρήση δεν είναι αμφιλεγόμενα, αλλά θέματα κοινωνικής αποδοχής και φυσικά επικινδυνότητας έχουν περιορίσει την εφαρμογή της. Αντίθετα, τα κριτήρια για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, παρόλο την συμπληρωματική επεξεργασία που περιλαμβάνουν κατά τη διήθηση και κατείσδυση των εκροών, σήμερα στην Ε.Ε. και άλλες χώρες, αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό. Σε τέτοια συστήματα το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στα επίπεδα των συγκεντρώσεων νιτρικών, υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και άλλων οργανικών ενώσεων, που υπάρχουν σε ίχνη στις εκροές αποβλήτων (Aertgeerts and Angelakis, 2003).

Η κατάσταση διαφοροποιείται στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, καθώς επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται, κυρίως όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς και πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και την προοριζόμενη χρήση της αρδευόμενης καλλιέργειας (Asano and Levine, 1996). Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρή έλλειψη νερού και έλλειψη πόρων, επιδιώκουν με την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών να υπερασπιστούν και υιοθετούν τις ισχύουσες, λιγότερο αυστηρές, οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) (WHO, 1989) (Τασούλα, 2007).

3.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Οι τύποι επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων επεξεργασίας λυμάτων, βάσει της ακόλουθης χρήσης τους, μπορούν να διαιρεθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, την επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς και την επαναχρησιμοποίηση για πόσιμους σκοπούς (Λύκου, 2011).

Οι δύο αυτές κύριες κατηγορίες περιλαμβάνουν τις ακόλουθες υποπεριπτώσεις (Λύκου, 2011) :

(α) Μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- i. Αγροτική (αρδευτική)
- ii. Βιομηχανική
- iii. Αστική/περιαστική
- iv. Φόρτιση υπόγειων υδροφορέων

(β) Πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- i. Άμεση (εμπλουτισμός του δικτύου ύδρευσης)
- ii. Έμμεση (εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων)

Συνοπτικά, η κατηγοριοποίηση των τύπων επαναχρησιμοποίησης παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2.

3.2.1. Αγροτική (αρδευτική) χρήση

Το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 80% ενώ παγκοσμίως ανέρχεται σε 70%, γεγονός που απεικονίζεται και στην Εικόνα 3.1 (WssTP, 2013). Συγκεκριμένα, στην Ευρώπη, η συνολική ετήσια απόληψη νερού από το περιβάλλον, η οποία προορίζεται για ικανοποίηση των αναγκών της αγροτικής παραγωγής είναι περίπου 10^5 hm³ (Καραβίτης, 2005). Σε περίπτωση που οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για τις αγροτικές εφαρμογές, μπορεί να εμπλουτιστούν με κατάλληλα επεξεργασμένα απόβλητα. Αυτό, εκτός από την προφανή εξοικονόμηση υδάτινων πόρων, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή, καθώς το νερό που προέρχεται από επεξεργασμένα απόβλητα μπορεί να είναι εμπλουτισμένο με θρεπτικά συστατικά για τις καλλιέργειες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παραγωγικότητα (Τασούλα, 2007).

Στις μέρες μας η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για αγροτική άρδευση αποτελεί ευρέως διαδεδομένη τεχνική. Για παράδειγμα, το 90% των λυμάτων της Πόλης του Μεξικού χρησιμοποιείται μετά από σχετική επεξεργασία για άρδευση των παρακείμενων περιοχών. Παρόμοια παραδείγματα συναντώνται τόσο στις ΗΠΑ όσο και σε περιοχές της Μέσης Ανατολής (Λύκου, 2011).

Πίνακας 3.2. Κατηγορίες χρήσης επεξεργασμένων λυμάτων και ενδεχόμενοι περιορισμοί (Τασούλα, 2007, Asano, 1991, 1994b, Αγγελάκης, 1994)

Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης λυμάτων	Ενδεχόμενοι περιορισμοί
1. Άρδευση αγροτικών καλλιεργειών <ul style="list-style-type: none"> - άρδευση συγκομιδής - εμπορικά φυτώρια 2. Άρδευση περιαστικού πρασίνου <ul style="list-style-type: none"> - πάρκα - αυλές σχολείων - διαχωριστική ζώνη (νησίδα) αυτοκινητοδρόμων - γήπεδα γκολφ - νεκροταφεία - ζώνες πρασίνου κατοικιών 	<ul style="list-style-type: none"> - Επίδραση της ποιότητας νερού, ιδιαίτερα, των αλάτων στο έδαφος και στη συγκομιδή. - Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία σε σχέση με τους μικροοργανισμούς (βακτηρίδια, ιούς και παράσιτα). - Ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών αν δεν γίνει κατάλληλη διαχείριση. - Εμπορικότητα της σοδειάς και δημόσια αποδοχή.
3. Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία <ul style="list-style-type: none"> - ψύξη - τροφοδοσία λέβητα - νερό επεξεργασίας 	<ul style="list-style-type: none"> - Τα συστατικά των επεξεργασμένων λυμάτων σχετίζονται με τον σχηματισμό πουρί, τη διάβρωση, τη βιολογική ανάπτυξη και τη δυσσομία. - Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία, ιδιαίτερα μεταφορά μικροσταγονιδίων (aerosols) με οργανικά και παθογόνους μικροοργανισμούς στο νερό ψύξης και παθογόνους μικροοργανισμούς στα νερά διαφόρων επεξεργασιών.
4. Ενίσχυση και εξευγενισμός υπόγειων υδροφορέων <ul style="list-style-type: none"> - ανανέωση υπόγειων υδροφορέων 	<ul style="list-style-type: none"> - Ίχνη οργανικών στα επεξεργασμένα λύματα και η τοξικολογική επίδρασή τους. - Ολικά διαλυμένα στερεά, μέταλλα, νιτρικά ιόντα και παθογόνοι μικροοργανισμοί στα επεξεργασμένα λύματα.
5. Περιβαλλοντικές χρήσεις/Αναψυχή <ul style="list-style-type: none"> - λίμνες - ιχθυοκαλλιέργειες - αύξηση παροχής ρευμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> - Ανησυχίες για την υγεία λόγω των βακτηριδίων και των ιών. - Ευτροφισμός εξ απτίας του αζώτου (N) και του φωσφόρου (P). - Αισθητική (οσμές).
6. Αστικές χρήσεις πλην ύδρευσης <ul style="list-style-type: none"> - πυροπροστασία - κλιματισμός - πλύσιμο τουαλέτας 	<ul style="list-style-type: none"> - Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία σχετικά με τη μεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών από μικροσταγονίδια (aerosols). - Επίδραση της ποιότητας νερού στο σχηματισμό πουρί, στη διάβρωση, στη βιολογική ανάπτυξη και τη δυσσομία. - Πιθανές διασταυρώσεις-συνδέσεις με το δίκτυο ύδρευσης.
7. Επαναχρησιμοποίηση για ύδρευση <ul style="list-style-type: none"> - σύμμιξη στην παροχή νερού 	<ul style="list-style-type: none"> - Ίχνη οργανικών στα επεξεργασμένα λύματα και οι τοξικολογικές επιδράσεις τους. - Υπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών. - Αισθητική και δημόσια αποδοχή. - Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία σχετικά με τη μεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων και των ιών.



Εικόνα 3.1. Απόληψη νερού για αγροτική χρήση παγκοσμίως το 2000 (Kretschmer et al.,2002)

3.2.2. Βιομηχανική χρήση

Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες οι οποίες χρησιμοποιούν νερό κατά την παραγωγική διαδικασία το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου νερού. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανακυκλωμένα λύματα είναι το νερό τροφοδοσίας λεβήτων, το νερό κατεργασίας και κυρίως το νερό ψύξης.

Σύμφωνα με μετριοπαθή οικονομικά σενάρια, οι απαιτήσεις σε νερό της παγκόσμιας βιομηχανίας θα αυξηθούν από $800 \times 10^9 \text{ m}^3$ το 2009 σε $1.500 \times 10^9 \text{ m}^3$ το 2030. Οι απολήψεις νερού για βιομηχανική χρήση ανέρχονται σε 16% της παγκόσμιας ζήτησης σήμερα και αναμένεται να φτάσουν το 22% μέχρι το 2030. Η αύξηση αυτή κατά κύριο λόγο οφείλεται στην Κίνα (The 2030 Water Resources Group, 2009). Στην Ευρώπη, οι τομείς της βιομηχανίας και της ενέργειας καταναλώνουν το 40% της συνολικής απαιτούμενης ποσότητας νερού. Ο τομέας της βιομηχανίας με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό είναι αυτός της μεταποίησης (WssTP, 2013).

Στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλειας, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του λεκανοπεδίου Αθηνών, ανακυκλώνονται περίπου $30.000 \text{ m}^3/\text{d}$ αποβλήτων, αφού επεξεργαστούν σε αυτόματους ηθμούς. Τα 2/3 του ανακυκλωμένου νερού χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης των συμπιεστών αέρα, ενώ το υπολειπόμενο 1/3 απολυμαίνεται με εφαρμογή ακτινοβολίας UV, και χρησιμοποιείται για άρδευση του πρασίνου και ως νερό πλύσης διαφόρων εξαρτημάτων (Λύκου, 2011).

3.2.3. Αστική και περιαστική χρήση

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστικά περιβάλλοντα αυξάνεται σε παγκόσμια κλίμακα, κυρίως σε μη πόσιμες χρήσεις, αλλά σε περιπτώσεις περιοχών υπερβολικής λειψυδρίας και σε έμμεσα ή ακόμα και άμεσα πόσιμες χρήσεις. Τα συστήματα αστικής επαναχρησιμοποίησης προσφέρουν μεγάλο εύρος επιλογών και σταδιακά μετατρέπονται σε βασικό άξονα των στρατηγικών για τη διασφάλιση του νερού που προορίζεται για αστική χρήση (Rygaard et al., 2011). Το ανακτημένο αυτό νερό μπορεί να προέρχεται από οικιακή, εμπορική ή και βιομηχανική χρήση, ακόμα και από όμβρια ύδατα ή απόνερα. Η επεξεργασία του ανακτημένου νερού κυμαίνεται από μηδενική, σε περιπτώσεις συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ομβρίων υδάτων, έως σχολαστική χρήση μεμβρανών και χημικών (WssTP, 2013).

Τα ανακτημένα λύματα έχουν ευρύ φάσμα χρήσεων, καθώς συνηθίζεται η χρήση τους τόσο για άρδευση περιαστικού πράσινου, όπως είναι δημοσίων πάρκων, νεκροταφείων, γηπέδων γκολφ, πρασίνου σε νησίδες κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμων όσο και για την αποθήκευση ύδατος για σκοπούς πυρόσβεσης αλλά εσχάτως και τη χρήση τους σε παράλληλο κύκλωμα ύδρευσης για την τροφοδοσία σε καζανάκια τουαλέτας. Ειδικά η τελευταία χρήση, απολαμβάνει ευρείας αποδοχής στην Ιαπωνία, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις έχει οδηγήσει σε οικονομία πόσιμου νερού έως και 30% (WssTP, 2013). Η Κίνα είναι επίσης μια περιοχή με σημαντική αύξηση της επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων σε αστικές χρήσεις (Yi et al. 2011), ενώ στην Ευρώπη η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης ανακτημένων λυμάτων είναι η Ισπανία, που αναμένεται να φτάσει σε μεγέθη της τάξεως των 1.300 hm³ ετησίως το 2025 (Hochstrat et al. 2005;2006).

Στην κατηγορία της αστικής επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάγονται και περιβαλλοντικά προσανατολισμένες χρήσεις τους, όπως είναι η δημιουργία τεχνητών λιμνών για αναψυχή, η αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων ή η διατήρηση και ενίσχυση υδροβιότοπων (Τασούλα, 2007, Χρυσικού, 2008).

3.2.4. Φόρτιση υπόγειων υδροφόρων

Είναι πλέον συνήθης πρακτική η χρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με σκοπό την παρεμπόδιση διείσδυσης θαλασσίου ύδατος στους υδροφορείς, την ανύψωση της στάθμης υφισταμένων υδροφορέων, τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους και την αποθήκευση νερού για σκοπούς άρδευσης ή ακόμη και ύδρευσης (Λαγούδη, 2013). Η τελευταία περίπτωση είναι αυτή που κυρίως αντιμετωπίζεται με έντονο σκεπτικισμό από το ευρύ κοινό, παρότι όλες οι προαναφερθείσες εφαρμογές εμπεριέχουν τον κίνδυνο αρνητικών επιπτώσεων στην ποιότητα των υδάτων του υπόγειου αποδέκτη σε περίπτωση που τα λύματα δεν έχουν υποστεί την απαιτούμενη επεξεργασία (Χρυσικού, 2008).

Ωστόσο δε μπορούν να παραβλεφθούν σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη πρακτική και αφορούν κυρίως τη μείωση του κόστους τόσο για την αποθήκευση, σε σύγκριση με τους επιφανειακούς ταμιευτήρες, όσο και για την τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων μέσω της διήθησης και κατείσδυσης δια μέσου του εδαφικού υλικού, ανάλογα βέβαια και με τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη μέθοδο επαναπλήρωσης (Λύκου, 2011).

Ταυτόχρονα, αποφεύγονται ή περιορίζονται σε σημαντικό βαθμό ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η εξάτμιση, η ρύπανση και ο ευτροφισμός που παρατηρούνται συχνά σε περιπτώσεις επιφανειακής αποθήκευσης.

3.2.5. Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για σκοπούς ύδρευσης μπορεί να γίνει είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω εμπλουτισμού υδροφόρων. Ωστόσο λαμβάνει χώρα σε πολύ περιορισμένη κλίμακα, κατά βάση σε περιπτώσεις άνυδρων περιοχών όπου τεχνικοοικονομικά αποτελεί τη μοναδική βιώσιμη λύση. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν οι διαστημικοί σταθμοί, στους οποίους γίνεται επαναχρησιμοποίηση του συνόλου σχεδόν των αποβλήτων, γεγονός πάντως το οποίο συνεπάγεται ιδιαίτερα αυξημένο κόστος (Χρυσικού, 2008, Λύκου, 2007).

Παρά το γεγονός ότι η σύγχρονη τεχνολογία καθιστά δυνατό τον καθαρισμό των υγρών αποβλήτων σε ποιότητα νερού κατάλληλου για πόση, το συγκεκριμένο θέμα αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερο σκεπτικισμό. Αυτό οφείλεται στις πιθανές χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία από ενδεχόμενη ανάμειξη και αντίδραση ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη εκροή, ακόμα και κάτω από συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας. (Χρυσικού, 2008, Λύκου, 2007). Τυγχάνει ευρύτατης αποδοχής η θέση ότι τα συνήθη κριτήρια ποιότητας του πόσιμου νερού επαρκούν μόνο σε περιπτώσεις υδροληψίας από πηγές που ακόμα δεν έχουν υποστεί ρύπανση και όχι από ανακτημένα απόβλητα.

Στην τελευταία περίπτωση, τα κριτήρια είναι μεν αυστηρότερα, αλλά δεν έχουν ακόμα καθοριστεί επακριβώς. Μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου νερού εκτιμάται ότι έχουν αναγνωρισθεί, ενώ για ελάχιστες από αυτές έχουν εξακριβωθεί οι επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία (National Research Council, 1980) (WssTP, 2013).

3.3. ΔΙΕΘΝΕΣ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

3.3.1. Παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005)

Κατά την θέσπιση οδηγιών ή κανονισμών, που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων λαμβάνονται υπόψη. Οι κυριότεροι από αυτούς μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

(α) *Προστασία δημόσιας υγείας.* Η χρήση επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Για αυτό το σύνολο των οδηγιών επαναχρησιμοποίησης επικεντρώνονται στη προστασία της δημόσιας υγείας. Σε περιπτώσεις μη πόσιμων χρήσεων, οι κανονισμοί αναφέρονται κύρια στα όρια παθογόνων οργανισμών στο ανακυκλωμένο νερό. Ωστόσο, όταν σχεδιάζεται επαναχρησιμοποίηση για έμμεση πόση ή για εμπλουτισμό υδροφορέων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση, τα επίπεδα διάφορων τοξικών οργανικών ενώσεων λαμβάνονται υπόψη θέτοντας μέγιστα όρια και απαιτούμενες διεργασίες επεξεργασίας πριν από την εφαρμογή.

(β) *Απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την χρήση.* Ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση του η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού πρέπει να πληροί ορισμένα φυσικοχημικά κριτήρια. Πολλές

βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές απαιτούν συγκεκριμένα επίπεδα φυσικών και χημικών παραμέτρων του νερού για την ομαλή και απρόσκοπτη χρήση του σε δεδομένες εφαρμογές. Όσον αφορά την άρδευση, ορισμένα συστατικά που βρίσκονται στο αρδευτικό νερό μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών ή καλλωπιστικών φυτών το έδαφος και τους υποκείμενους υδροφορείς. Ωστόσο, όρια φυσικοχημικών παραμέτρων σπάνια συμπεριλαμβάνονται στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης.

(γ) *Περιβαλλοντικές θεωρήσεις.* Οι εκροές υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να εγκυμονούν κινδύνους στην φυσική πανίδα και χλωρίδα στην περιοχή που γίνεται εφαρμογή τους. Ακόμη, φυσικοί υδατικοί αποδέκτες που δέχονται εκροές υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να υποβαθμίζονται ποιοτικά.

(δ) *Αισθητικοί λόγοι.* Εκροές υγρών αποβλήτων που προορίζονται για χρήσεις, όπως άρδευση πάρκων, καθαρισμό τουαλετών ή ψυχαγωγία, δεν θα πρέπει να διαφέρουν στη εμφάνιση τους από το φυσικό νερό. Δηλαδή, θα πρέπει να είναι διαυγείς, άχρωμες και άοσμες. Ακόμη, η χρήση ανακυκλωμένου νερού για ψυχαγωγία θα πρέπει να μην ευνοεί την ανάπτυξη αλγών.

(ε) *Πολιτικοί λόγοι.* Νομοθετικές αποφάσεις, που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων επηρεάζονται από την υδατική πολιτική, την τεχνολογική εφαρμογή και το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των αναγκαίων έργων. Παρόλο, που οι νομοθετικές υπηρεσίες λαμβάνουν υπόψη το κόστος που συνεπάγονται οι κανονισμοί στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων και στους χρήστες, αυτό δεν πρέπει να είναι σε βάρος της υγείας των πολιτών και της προστασίας του περιβάλλοντος.

3.3.2. Γενικά περί Οδηγιών και Κανονισμών Διεθνών Οργανισμών (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005)

Σε διεθνές επίπεδο, οι μέχρι σήμερα γνωστές οδηγίες και κανονισμοί κριτηρίων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων βασίζονται σε δύο κύριες "φιλοσοφίες", αυτή του WHO, του FAO και της Παγκόσμιας Τράπεζας και αυτή της Πολιτείας της Καλιφόρνιας. Αυτές χρησιμοποιούνται σήμερα ως πρότυπα στη καθιέρωση κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών 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 και λάχανα) ή αυτά που κατά τη διαδικασία της άρδευσης έρχονται σε άμεση επαφή με τις εφαρμοζόμενες εκροές (πατάτες). Όμως σε μια γενική θεώρηση των έργων άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων, ελάχιστα έργα αφορούν άρδευση λαχανικών. Έτσι, το σύνολο σχεδόν τέτοιων έργων αφορά την άρδευση άλλων γεωργικών καλλιεργειών όπως δένδρωδων (εσπεριδοειδή και ελιές), φυτών μεγάλης καλλιέργειας (όπως αραβοσίτου, μηδικής και βαμβακιού), αμπελώνων, γηπέδων γκολφ, πάρκων και διαφόρων άλλων χώρων πρασίνου και καλλωπιστικών ειδών.

3.3.3. Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ. / W.H.O.)

Η Οδηγία του Π.Ο.Υ. (W.H.O., 1989) βασίζεται, κυρίως, στα δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μια εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι πολλές φορές στις χώρες αυτές χρησιμοποιούνταν λύματα εντελώς ακατέργαστα για άρδευση ακόμη και φρέσκων λαχανικών, πράγμα το οποίο είναι εντελώς απαράδεκτο για τη δημόσια υγεία. Έτσι, ο Π.Ο.Υ. έθεσε όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια για την άρδευση με εκροές επεξεργασμένων λυμάτων, οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν με απλές και όχι δαπανηρές διαδικασίες επεξεργασίας. Τα κριτήρια όμως αυτά έχουν υποστεί και εξακολουθούν να υφίστανται έντονη κριτική στις αναπτυσσόμενες χώρες (Τασούλα, 2007).

Πίνακας 3.3. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία – πρότυπα Engelberg (W.H.O., 1989) (πηγή : Τασούλα, 2007)

Κατηγορία	Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα πληθυσμού	Εντερικοί νηματώδεις (α) (γεωμετρικός μέσος αυγών ανά Lt) (β)	Κολοβακτηρίδια περιττωματικής προέλευσης (FC) (γεωμετρικός μέσος αυγών ανά 100ml) (β)	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει μετά την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
A.	Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων, αθλοπαιδιών, δημοσίων πάρκων κλπ (γ)	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	< 1	< 1000	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
B.	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων (δ)	Εργάτες	< 1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση κολοβακτηριδίων περιττωματικής προέλευσης
Γ.	Όπως η κατηγορία Β με εξασφάλιση μη	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από την τεχνολογία του

	έκθεσης εργαζομένων και κοινού				συστήματος άρδευσης, αλλά όχι μικρότερη απο πρωτοβάθμια επεξεργασία
--	--------------------------------------	--	--	--	---

(α) Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris*

(β) Κατά την περίοδο άρδευσης

(γ) Το αυστηρότερο κριτήριο των 200FC/100ml και πρέπει να εφαρμόζεται σε γκαζόν όπου υπάρχει πρόσβαση κοινού, π.χ. ξενοδοχεία κλπ

(δ) Στην περίπτωση οπωροφόρων δέντρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν τη συλλογή των φρούτων και τα φρούτα δε θα πρέπει να συλλέγονται από το έδαφος. Δε θα πρέπει επίσης να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό.

Στα κριτήρια της οδηγίας του Π.Ο.Υ. (1989) που παρουσιάζονται παραπάνω στον Πίνακα 3.3., δίνεται έμφαση στην επιλογή του τύπου των αρδευόμενων καλλιεργειών, βάσει του οποίου προκύπτει ο διαχωρισμός της άρδευσης σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- Στην *περιορισμένη* άρδευση, η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν καταναλώνονται ωμά (δημητριακά, βιομηχανικά φυτά, φυτά που προορίζονται για ζωοτροφές, βοσκοτόπια, δένδρα) και
- Στην *απεριόριστη* άρδευση, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας, αλλά ακόμα και για πότισμα γηπέδων, πάρκων κλπ.

Στην περιορισμένη άρδευση συνίσταται τουλάχιστον η εφαρμογή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και επιπροσθέτως η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με το νερό της επαναχρησιμοποίησης μέσω κατάλληλης αρδευτικής μεθόδου, η συλλογή καρπών από το έδαφος και η απαγόρευση άρδευσης τις τελευταίες δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή, χωρίς όμως να θέτει μικροβιολογικά κριτήρια. Αντίθετα, στην απεριορίστη άρδευση τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια τόσο για τους εντερικούς νηματώδεις μικροοργανισμούς (είδη *Ascaris* και *Trichuris*, <1 ανά λίτρο), όσο και για τα κολοβακτηρίδια περιττωματικής προέλευσης (FC < 1000 ανά 100 ml). Μάλιστα, σε περιπτώσεις όπως είναι η άρδευση χλοοταπίτων (γκαζόν) σε χώρους προσβάσιμους στο κοινό, το τελευταίο κριτήριο γίνεται ακόμα πιο αυστηρό (FC<200 ανά 100 ml) (Τασούλα, 2007).

Μετά τη δημοσίευση των προτύπων Engelberg διεξήχθησαν επιπλέον επιδημιολογικές μελέτες λοιμώξεων, που συνδέονταν με την κατανάλωση τροφίμων κατά την παραγωγή των οποίων είχε γίνει χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων. Οι μελέτες διενεργήθηκαν κυρίως στο Μεξικό και τη Χιλή, χώρες στις οποίες η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων είναι ευρέως διαδεδομένη τόσο σε καλλιέργειες μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας (Λύκου, 2011).

Συγκεκριμένα σε μικρές κοινότητες χρησιμοποιούσαν τα λύματα στις καλλιέργειες χωρίς καμία επεξεργασία. Οι καλλιέργειες ραντίζονταν με τα λύματα αυτά κάθε αυτά ή έπειτα από μικρή παραμονή τους σε λίμνες. Έπειτα από αυτές τις μελέτες ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας δημοσίευσε το 2000 πιο αυστηρά και λεπτομερή πρότυπα από τα προηγούμενα, τα πρότυπα Blumenthal, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4 (Λύκου, 2011).

Πίνακας 3.4. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία – πρότυπα Blumenthal (W.H.O., 2000) (πηγή : Λύκου, 2011)

Κατηγορία	Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα πληθυσμού	Μέθοδος άρδευσης	Εντερικοί νηματώδεις (α) (γεωμετρικός μέσος αυγών ανά Lt) (β)	Κολοβακτηρίδια περιττωματικής προέλευσης (FC) (γεωμετρικός μέσος αυγών ανά 100ml) (β)	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει μετά την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
A1.	Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων, αθλοπαιδιών, δημοσίων πάρκων κλπ (γ)	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	Όλες	< 0.1	< 1000	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
A2.	Όπως A1 αλλά σε περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα και/ή όπου έχει εφαρμοσθεί χημική θεραπεία κατά της ελμιντίασης	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	Όλες	< 0.1	< 1000	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
B1.	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκο-	Εργάτες εκτός από ανηλίκους κάτω των 15 ετών και γειτονικών κοινοτήτων	Ψεκάσμος ή καταιονισμός	< 1	< 100000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης ωρίμανσης ή ισοδύνα-

	τόπων και δένδρων (δ)					μη επεξεργασία (ε)
B2.	Όπως B1	Όπως B1	Ροή ή βύθιση	< 1	< 1000	Όπως B1
B3.	Όπως B1	Όπως B1	Όλες	< 0.1	< 1000	Όπως B1
Γ.	Όπως η κατηγορία Β με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Μικροάρδευση	Δεν τίθενται όρια	Δεν τίθενται όρια	Επεξεργασία που απαιτείται από την τεχνολογία του συστήματος άρδευσης, αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια επεξεργασία

(α) Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris*

(β) Κατά την περίοδο άρδευσης

(γ) Το αυστηρότερο κριτήριο των 200FC/100ml και πρέπει να εφαρμόζεται σε γκαζόν όπου υπάρχει πρόσβαση κοινού, π.χ. ξενοδοχεία κλπ

(δ) Στην περίπτωση οπωροφόρων δέντρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν τη συλλογή των φρούτων και τα φρούτα δε θα πρέπει να συλλέγονται από το έδαφος. Δε θα πρέπει επίσης να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό.

(ε) π.χ. δευτεροβάθμια ακολουθούμενη από φιλτράρισμα ή καθίζηση

Ο Π.Ο.Υ. δημοσίευσε και τρίτη έκδοση της Οδηγίας του το 2006 (W.H.O., 2006). Βασικό κριτήριο που εφαρμόζεται σε αυτή για την προστασία της δημόσιας υγείας είναι να μην προκαλείται επιπρόσθετη επιβάρυνση ασθένειας μεγαλύτερη από 10^{-6} DALY (disability/adjusted life year) βλάβη ανά άτομο ετησίως (PPPY – per person per year) λόγω ενασχόλησης σε αγροτικές εκτάσεις αρδευόμενες με επαναχρησιμοποιούμενα επεξεργασμένα λύματα ή κατανάλωσης προϊόντων προερχόμενων από αντίστοιχες εκτάσεις (συμπεριλαμβανομένων αυτών που τρώγονται ωμά) (Τασούλα, 2007).

Ο διαχωρισμός σε περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση της πρώτης έκδοσης της Οδηγίας του Π.Ο.Υ. για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων στη γεωργία (1989), διατηρείται και σε αυτή του 2006. Ωστόσο, όσον αφορά την περιορισμένη άρδευση, στην τελευταία προτείνονται επιπλέον μικροβιολογικά κριτήρια σε σχέση με την αρχική. Συγκεκριμένα, προτείνεται η ποιότητα εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων να έχει συγκέντρωση *E.Coli* μικρότερη από 10^4 ανά 100ml για γεωργία εντατικής εργασίας (όπως είναι η τυπική κατάσταση στις αναπτυσσόμενες χώρες) και μικρότερη από 10^5 ανά 100ml για υψηλά μηχανοποιημένη γεωργία (βιομηχανοποιημένες χώρες), ενώ στην αρχική Οδηγία του 1989 υπήρχε σύσταση μόνο για τους εντερικούς νηματώδεις μικροοργανισμούς (γεωμετρικός μέσος αυγών ανά λίτρο) ≤ 1 και όχι για μείωση άλλων παθογόνων ή *E.Coli*. Αντίθετα, στην περίπτωση

της απεριόριστης άρδευσης, η Οδηγία του 2006 θέτει ελαστικότερα μικροβιολογικά κριτήρια από την αντίστοιχη Οδηγία του 1989, η οποία έθετε μόνον τον περιορισμό για κολοβακτηρίδια περιττωματικής προέλευσης (F.C. – fecal coliforms) < 1000 ανά 100ml. Στην τελευταία, χρονικά, Οδηγία, η συνιστώμενη μείωση των παθογόνων κατά 6 – 7 log (λογαριθμικές μονάδες) μπορεί να επιτευχθεί με επεξεργασία που οδηγεί σε χαμηλότερη ποιότητα (π.χ. $\leq 10^4$ E.Coli ανά 100ml, όπως για περιορισμένη άρδευση), επιπλέον όμως συνεπικουρούμενη από μετρήσεις ελέγχου προστασίας της υγείας μετά την επεξεργασία (post-treatment health protection control measures), όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5 (Τασούλα, 2007).

Πίνακας 3.5. Μετρήσεις ελέγχου προστασίας της υγείας και ελάττωση παθογόνων μετά την επεξεργασία (Τασούλα, 2007).

Μέτρηση ελέγχου	Ελάττωση παθογόνων (λογαριθμικές μονάδες)	Παρατηρήσεις
Άρδευση με σταγόνα	2 – 4	2 λογαριθμικές μονάδες για χαμηλής ανάπτυξης συγκομιδή 4 λογαριθμικές μονάδες για υψηλής ανάπτυξης συγκομιδή
Καταστροφή Παθογόνων	0.5 - 2 / ημέρα	Καταστροφή μετά την τελευταία άρδευση και πριν τη συγκομιδή (η τιμή εξαρτάται από το κλίμα, τον τύπο της συγκομιδής κ.ά.)
Απόδοση πλυσίματος	1	Πλύσιμο συγκομιδών σαλάτας, φρούτων και λαχανικών με καθαρό νερό
Απόδοση απολύμανσης	2	Πλύσιμο συγκομιδών σαλάτας, φρούτων και λαχανικών με ασθενές απολυμαντικό διάλυμα και ξέπλυμα με καθαρό νερό
Απόδοση καθαρίσματος	2	Φρούτα, συγκομιδές ριζών

Συμπερασματικά, η Οδηγία του Π.Ο.Υ. προτείνει τρόπους και μεθόδους άρδευσης και επεξεργασίας των λυμάτων ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και την κατανάλωση, αλλά και ελάχιστα ποιοτικά κριτήρια για τις εκροές (Λύκου, 2011). Ακόμα, περιλαμβάνει προτάσεις για επιτρεπτές συγκεντρώσεις χημικών στο έδαφος, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6. Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος διαφόρων τοξικών χημικών βασισμένα στην προστασία της ανθρώπινης υγείας (W.H.O., 2006) (πηγή: Λύκου, 2011)

Χημικό στοιχείο	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg)
Αντιμόνιο	36
Αρσενικό	8
Βάριο*	302
Βηρύλλιο*	0,2
Βόριο*	1,7
Κάδμιο	4
Φθόριο	635
Μόλυβδος	84
Υδράργυρος	7
Μολυβδένιο*	0,6
Νικέλιο	107

Σελήνιο	6
Άργυρος	3
Θάλλιο*	0,3
Βανάδιο*	47

*Τα όρια για αυτά τα στοιχεία βρίσκονται μέσα στις τυπικές τιμές των εδαφών

Οργανική ένωση	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg)
Aldrin	0,48
Βενζένιο	0,14
Chlordane	3
Χλωροβενζένιο	211
Χλωροφόρμιο	0,47
2,4-D	0,25
DDT	1,54
Διχλωροβενζένιο	15
Dieldrin	0,17
Διοξίνες	0,00012
Επταχλωρίδιο	0,18
Εξαχλωροβενζένιο	1,40
Λιντάνιο	12
Methoxychlor	4,27
PAHs (βενζοπυρένιο)	16
PCBs	0,89
Πενταχλωροφαινόλη	14
Πυρένιο	41
Στυρένιο	0,68
2,4,5-T	3,82
Τετραχλωροαιθάνιο	1,25
Τετραχλωροαιθυλένιο	0,54
Τολουένιο	12
Τοχαρphen	0,0013
Τριχλωροαιθάνιο	0,68

3.3.4. Οδηγία του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (F.A.O.)

Η προστασία της ανθρώπινης υγείας από την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων αποτέλεσε πρωταρχικό εγχείρημα για τα Ηνωμένα Έθνη. Ο αρμόδιος οργανισμός (F.A.O.) υιοθετεί τα μικροβιολογικά κριτήρια του ΠΟΥ στις προτάσεις του αναφορικά με την αξιοποίηση ανακτημένου νερού ΕΕΛ σε διάφορες χρήσεις. Βέβαια, εφόσον ο κανονισμός του Π.Ο.Υ. δεν τυγχάνει της πλήρους αποδοχής από τους επιστήμονες των ανεπτυγμένων χωρών, το ίδιο συμβαίνει και με τις προτάσεις του F.A.O. Ωστόσο, τα κριτήρια του οργανισμού δεν επικεντρώνονται αποκλειστικά στον περιορισμό των κινδύνων για τη δημόσια υγεία, τα οποία πηγάζουν από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, αλλά επιδιώκουν και την

προστασία της αγροτικής παραγωγής μέσω αγρονομικών μέτρων. Η ποιότητα του αρδευόμενου νερού κατηγοριοποιείται με βάση την παρουσία αλάτων, την τοξικότητα, τη διαπερατότητα του εδάφους κ.α. (Πίνακας 3.7). Η διάκριση αυτή είναι εφαρμόσιμη στην άρδευση με νερό από συμβατικές πηγές, αλλά και με νερό υποβαθμισμένης ποιότητας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, μπορούν να μετρηθούν οι περιεκτικότητες των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS), του νατρίου (Na) και τοξικών ιόντων, ώστε να ελεγχθεί εάν ικανοποιούνται τα όρια που έχουν καταρτιστεί από το F.A.O. (Pescod, 1992, Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005, Λαγούδη, 2013)

Στον παρακάτω Πίνακα 3.7, εξετάζεται το ενδεχόμενο πρόβλημα (διαπερατότητα, αλατότητα, τοξικότητα και pH), στη συνέχεια καθορίζεται το διάστημα τιμών της πρώτης παραμέτρου και έπειτα προσδιορίζεται η τιμή αναφοράς της δεύτερης παραμέτρου, στη στήλη με την κατηγοριοποίηση του επιπέδου κινδύνου (Λύκου, 2011).

Πίνακας 3.7. Οδηγίες F.A.O. για την ποιότητα του νερού άρδευσης (F.A.O., 1985)

Ενδεχόμενο πρόβλημα				Κανένα	Μέτριο	Σοβαρό
				Επιπτώσεις στο έδαφος		
Διαπερατότητα	SAR=	0-3,0	E ECw=	>0,7	0,7-0,2	<0,2
		3,0-6,0		>1,2	1,2-0,3	<0,3
		6,0-12,0		>1,9	1,9-0,5	<0,5
		12,0-20,0		>2,9	2,9-1,3	<1,3
		20,0-40,0		>5,0	5,0-2,9	<2,9
				Επιπτώσεις στις καλλιέργειες		
Αλατότητα			ECw (dS/m)	<0,7	0,7-3,0	>3,0
			TDS(mg/l)	<450	450-2000	>2000
Ειδική τοξικότητα ιόντων		Νάτριο	SAR	<3,0	3,0-9,0	>9,0
		Χλώριο	meq/lt	<4,0	4,0-10,0	>10,0
		Βόριο	mg/lt	<0,7	0,7-3,0	>3,0
NO₃-N		Βέλτιστο	mg/lt	<5	5-30	>30
HCO₃		διάστημα	meq/lt	<1,5	1,5-8,5	8,5
pH		τιμών		6,5-8,4		

Πρέπει να σημειωθεί μια σημαντική διαφορά στη προσέγγιση της οδηγίας του W.H.O. από αυτή του F.A.O. για τη χρήση εκροών αποβλήτων για άρδευση, συνίσταται στη θέσπιση κριτηρίων για τοξικές παραμέτρους (βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία και τοξικές οργανικές ενώσεις). Οι οδηγίες του F.A.O. 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 W.H.O. (Αγγελάκης Α., Παρανυχιανάκης Ν., 2005).

3.3.5. Κανονισμός της πολιτείας της California

Τα ισχύοντα κριτήρια στην πολιτεία της Καλιφόρνιας περιλαμβάνουν τέσσερις κατηγορίες ποιότητας ανακυκλωμένου νερού. Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης εκτός από όρια παθογόνων οργανισμών, θολότητας και απαιτήσεις επεξεργασίας περιλαμβάνουν προδιαγραφές και για την αξιοπιστία της επεξεργασίας. Οι προδιαγραφές αυτές αναφέρονται σε εφεδρικά συστήματα ενέργειας και ασφαλείας, πολλαπλές ή εφεδρικές μονάδες επεξεργασίας, σε αποθήκευση ή διάθεση μερικώς επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε περιπτώσεις ανάγκης, ελαχιστοποίηση παρακάμψεων στη διαδικασία επεξεργασίας, μηχανισμούς παρακολούθησης, αυτοματοποίηση λειτουργίας και θέματα σχεδιασμού για πιο ευέλικτη λειτουργία. Επιπλέον οι προτεινόμενες προσθήκες στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνουν τις ακόλουθες απαιτήσεις αποστάσεων ασφαλείας (Αγγελάκης Α., Παρανυχιανάκης Ν., 2005):

- (α) δεν επιτρέπεται η άρδευση με ανακτημένα υγρά απόβλητα, που δεν έχουν υποστεί απολύμανση σε απόσταση 50 m από οποιοδήποτε γεώτρηση πόσιμου νερού,
- (β) για εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας που έχουν δεχτεί απολύμανση η απόσταση είναι 30 m,
- (γ) για εκροές τριτοβάθμιας επεξεργασίας (δευτεροβάθμια, φίλτρανση και απολύμανση) η απόσταση πρέπει να είναι 15 m και τέλος,
- (δ) δεν επιτρέπεται η αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που έχουν δεχτεί τριτοβάθμια επεξεργασία σε απόσταση μικρότερη από 30 m από κατοικίες ή μέρη όπου είναι ιδιαίτερα αυξημένος ο κίνδυνος να συμβεί τυχαία έκθεση (State of California, 2003).

Άλλα μέτρα ελέγχου χώρου, περιλαμβάνουν περιορισμό των απορροών κατά τη χρήση ανακυκλωμένου νερού, προστασία χώρων αναψυχής, από ανθρώπινη επαφή, τοποθέτηση προειδοποιητικών πινακίδων. Σε θέσεις, όπου χρησιμοποιείται ανακτημένο νερό, απαγόρευση απευθείας σύνδεσης συστημάτων ανακτημένου νερού σε συστήματα διανομής πόσιμου νερού, εφαρμογή συστημάτων αποτροπής επιστροφής νερού στα δίκτυα διανομής πόσιμου νερού σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται διπλό σύστημα, δηλαδή πόσιμου και ανακτημένου νερού (State of California, 2003).

Η πολιτεία της California έχει επίσης θεσπίσει κριτήρια εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων (άμεσα και έμμεσα) με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα από το 1974, τα οποία έχουν αναθεωρηθεί (Aertgeerts and Angelakis, 2003). Παρόμοια κριτήρια έχουν θεσπίσει και άλλες Πολιτείες των ΗΠΑ.

Πίνακας 3.8. Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της California για χρήση λυμάτων στη γεωργία (State of California Title 22 Water Recycling Criteria, 2000).

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια, TC ανά 100ml (5)	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων (1)	Δεν τίθενται όρια	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2), πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κλπ	<23 (διάμεση τιμή)	Οξειδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών (3), τεχνητές λίμνες αναψυχής (2α)	<2,2 (διάμεση τιμή)	Οξειδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2β)	<2,2 (διάμεση τιμή με απόλυτο μέγιστο Το 23) (6)	Οξειδωση, κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση

(1) Για τους οπωρώνες και τους αμπελώνες τίθεται ως προϋπόθεση ότι οι καρποί δεν έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το έδαφος

(2) Λίμνες για αισθητική απόλαυση, χωρίς να έρχεται το κοινό σε επαφή με το νερό

(2α) Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα

(2β) Λίμνες για χρήσεις χωρίς περιορισμό επαφής του νερού με το ανθρώπινο σώμα

(3) Εξαιρέσεις μπορούν να γίνουν σε βρώσιμες καλλιέργειες που υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους

(4) Η θολρότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2 μονάδες θολρότητας κατά τη διάρκεια του 24ώρου

(5) Η διάμεση τιμή προκύπτει από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων αναλύσεων των 7 ημερών που αυτές πραγματοποιήθηκαν

(6) Η μέγιστη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνεται σε περισσότερα του ενός δείγματα για οποιαδήποτε περίοδο 30 ημερών

3.3.6. Κανονισμοί στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσόγειου είναι η απουσία ενός ενιαίου, διεθνούς ή έστω και περιφερειακού, νομοθετικού πλαισίου. Αξιοσημείωτη είναι η απουσία νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην ΕΕ. Η μόνη αναφορά η οποία είναι αρκετά γενικόλογη γίνεται στην Οδηγία 91/271/EC "...περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων", όπου στο άρθρο 12, § 1 αναφέρεται ότι: «Τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι

σκόπιμο» (EC, 1991). Ειδικότερα, για τον χώρο της ΕΕ σημαντική παράμετρος για την έλλειψη ενιαίας θεώρησης, είναι οι διαφοροποιήσεις στη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και στις χρήσεις τους μεταξύ των βορείων, των κεντρικών και των νοτίων χωρών - μελών της.

Στο πλαίσιο αυτό, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον όχι μόνο στη νότια Ευρώπη κυρίως, αλλά και σε χώρες της κεντρικής Ευρώπης. Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση εφαρμόζεται ήδη σε αρκετά εκτεταμένο επίπεδο στις Μεσογειακές χώρες-μέλη της ΕΕ. Οι περισσότερες από τις χώρες αυτές, προωθούν τη θέσπιση κριτηρίων, συχνά όμως με τη μορφή όχι συγκεκριμένης, σε εθνική κλίμακα δεσμευτικής νομοθεσίας, αλλά με τη μορφή οδηγιών (Αγγελάκης Α., Παρανυχιανάκης, Ν., 2005).

3.3.6.1. Ιταλία

Στην Ιταλία η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων ρυθμίζεται σε εθνικό επίπεδο με τον κανονισμό “D.M. 12 Giugno 2003, n.185”. Επίσης, κάθε περιφέρεια έχει το δικαίωμα να θεσπίσει δικούς της κανόνες οι οποίοι όμως θα σέβονται τα ελάχιστα ποιοτικά όρια που καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο. Σύμφωνα με την ιταλική νομοθεσία οι επιτρεπόμενες χρήσεις των επεξεργασμένων λυμάτων είναι: αρδευτική, αστική και βιομηχανική (Λύκου, 2011).

Τα ποιοτικά κριτήρια που παρουσιάζονται είναι ιδιαίτερα αυστηρά καθώς σε πολλές παραμέτρους οι τιμές ταυτίζονται με αυτές του πόσιμου νερού. Επίσης, ο αριθμός των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη είναι αρκετά μεγάλος (περίπου 55), ενώ καθορίζονται τιμές για χημικές, φυσικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005, Τασούλα, 2007, Λύκου, 2011)

Πίνακας 3.9. Μικροβιολογικά κριτήρια για άρδευση με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στον Π.Ο.Υ. σε σύγκρισή τους με αυτά που ισχύουν στην Ιταλία (προσαρμοσμένα από Angelakis, 2003) (πηγή : Αγγελάκης, Α., Παρανυχιανάκης, Ν., 2005)

Οργανισμός ή περιοχή	TC (MPN/100ml) ^α	FC (MPN/100ml)	E.Coli (MPN/100ml) ^δ	Περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι (MPN/100ml)	Αυγά IN (no/lt)
W.H.O.	Δεν ορίζεται	1000 ^β	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	1
Ιταλία (παλαιά)	2 ^β 20 ^γ	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται
Ιταλία (νέα)	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	10 ^β	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται
Σικελία	3000 ^β	1000 ^β	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	1
Emilia Romagna	2 ^β 20 ^γ	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται
Puglia	2 ^β 20 ^γ	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται

^α Μέσες τιμές 7 συνεχόμενων ημερήσιων δειγματοληψιών

^β Απεριόριστη άρδευση

^γ Περιορισμένη άρδευση

^δ Επιπλέον ορίζονται 53 παράμετροι

3.3.6.2. Γαλλία

Στη Γαλλία, όπου η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων για άρδευση έχει εφαρμοσθεί σχεδόν ένα αιώνα πριν, το 1991 δημοσιεύθηκαν οι «Οδηγίες Υγείας» για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση καλλιεργειών. Οι Οδηγίες αυτές ακολουθούν ουσιαστικά την Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O.), προσθέτουν όμως επιπλέον περιορισμούς (π.χ. για τις τεχνικές άρδευσης, τις καθορισμένες αποστάσεις μεταξύ των περιοχών άρδευσης και των κατοικημένων περιοχών) (Τασούλα, 2011).

3.3.6.3. Ισπανία (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Λαγούδη, 2013)

Η Ισπανία έχει παράδοση σε προγράμματα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων με περίπου 322 (Iglesias, 2009) να βρίσκονται σε εφαρμογή και τον εθνικό υδρολογικό σχεδιασμό να είναι ευνοϊκός ως προς αυτά. Οι εκροές των ΕΕΛ αξιοποιούνται κατά ποσοστό 10,6% σε έργα επαναχρησιμοποίησης, ενώ ποσοστό 71% εξ' αυτών αναλογεί στην άρδευση καλλιεργειών, 17,7% σε περιβαλλοντικές χρήσεις, 7,1% σε έργα ανάπλασης, 4% σε αστική χρήση και 0,3% σε βιομηχανική (Iglesias, 2009). Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Ισπανίας, το 2008, ο όγκος του ανακτημένου νερού ανήλθε στα 447,34 εκατομμύρια m³ (Iglesias, 2009).

Η περίπτωση της Ισπανίας παρουσιάζει αρκετά κοινά στοιχεία με αυτή της Ιταλίας, διότι σε διάφορες περιοχές με αυτονομία θεσμών (λ.χ. Καταλονία, Ανδαλουσία) έχουν διαμορφωθεί επιμέρους κανονισμοί, οι οποίοι είτε συμπληρώνουν τους ισχύοντες σε εθνικό επίπεδο είτε αποκλίνουν από αυτούς σε αυστηρότητα και πλησιάζουν περισσότερο το πνεύμα της Οδηγίας του Π.Ο.Υ.

Ο πλέον πρόσφατος νόμος που διέπει την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων ψηφίστηκε το 2007 και φέρει τον τίτλο «Reuse of Reclaimed Water: Quality Criteria» (Royal Decree 1620/2007 της 7ης Δεκεμβρίου) (Iglesias, 2009).

Στις μέρες μας, το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Ισπανίας προσανατολίζεται προς την κατάρτιση Εθνικού Σχεδίου Επαναχρησιμοποίησης Νερού μελλοντικά, όπου πιθανόν να συμπεριληφθεί ο αποκλεισμός της διάθεσης των αποβλήτων στις παραθαλάσσιες περιοχές (zero discharge) και η αξιοποίησή τους για την ικανοποίηση υδατικών αναγκών.

3.3.7. Κανονισμοί στις παραμεσόγειες χώρες

Σ' όλες τις χώρες της λεκάνης της Μεσογείου με εξαίρεση την Αλβανία και τις χώρες της τέως Γιουγκοσλαβίας, υπάρχει έκδηλο ενδιαφέρον σε μη συμβατικούς υδατικούς πόρους, όπως είναι οι εκροές που έχουν ανακτηθεί από επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα. Οι εφαρμοζόμενες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης εκροών αστικών υγρών αποβλήτων σε χώρες της Μεσογείου αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 3.10 (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Πίνακας 3.10. Πρακτικές επαναχρησιμοποίησης σε χώρες της Μεσογείου (Αγγελάκης, Α., Παρανυχιανάκης, Ν., 2005)

Χώρες	Αστική χρήση	Απεριόριστη γεωργική και βιομηχανική χρήση	Περιορισμένη γεωργική χρήση	Μη ανακύκλωση
Αλβανία				✓
Αλγερία ^α	✓			
Βοσνία & Ερζεγοβίνη				✓
Κροατία				✓
Κύπρος	✓	✓	✓	
Αίγυπτος	✓		✓	
Γαλλία	✓	✓	✓	
Ελλάδα	✓		✓	
Ισραήλ	✓	✓	✓	
Ιταλία		✓	✓	
Λίβανος			✓	
Λιβύη			✓	
Μάλτα			✓	
Μονακό				✓
Μαρόκο			✓	
Σλοβενία				✓
Ισπανία	✓	✓	✓	
Συρία			✓	
Τυνησία	✓	✓	✓	
Τουρκία			✓	

^α Μόνο για κτηνοτροφικά φυτά, βοσκές και δενδρώδεις καλλιέργειες

3.3.8. Άλλες χώρες

3.3.8.1. Ιαπωνία

Στην Ιαπωνία σε αντίθεση με άλλες χώρες που βρίσκονται σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων είναι για αναβάθμιση του περιβάλλοντος, καθαρισμό τουαλετών, βιομηχανική χρήση και παραγωγή χιονιού. Αναλυτικά οι επαναχρησιμοποιούμενες σήμερα ποσότητες φαίνονται στον Πίνακα 3.11 (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Πίνακας 3.11. Κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στην Ιαπωνία (Japan Swage Works Association, 2003 και National Land Agency, 1998)

Κατηγορία	Ποσότητα ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	Ποσοστό (%)
Καθαρισμός WC :	76,8	29,8
(α) σε μεγάλη κλίμακα	5,8	
(β) τοπικά	71,0	
Αναψυχή	114,6	44,5
Παραγωγή χιονιού	29,3	11,4
Φύτευση δένδρων	0,2	0,1
Νερό καθαρισμού	0,4	0,2
Άρδευση γεωργικών καλλιεργειών	12,9	5,0
Βιομηχανική χρήση	23,3	9,0
Συνολική	257,5	100,0

3.3.8.2. Αυστραλία

Η Υπηρεσία EPA στην Πολιτεία New South Wales (NSW) έχει την υπευθυνότητα για τη ρύθμιση της επεξεργασίας και διάθεσης των εκροών υγρών αποβλήτων. Η Πολιτεία NSW από το 1984 έχει θεσπίσει ένα συμβούλιο για την ανάπτυξη οδηγιών και προώθηση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων. Πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι στην περιοχή του Sidney επεξεργάζονται περίπου $1,3 \text{ Mm}^3/\text{d}$ από τα οποία $0,031 \text{ Mm}^3/\text{d}$ επαναχρησιμοποιούνται. Οι αντίστοιχες ποσότητες στην περιοχή της Melbourne $0,8 \text{ Mm}^3/\text{d}$ και $0,017 \text{ Mm}^3/\text{d}$. Τόσο στην περιοχή του Sidney όσο και στην περιοχή της Melbourne παρατηρούνται αυξητικές τάσεις επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων (Anderson, 2004) (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

3.4. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

Γενικά η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της Ε.Ε. διέπεται από την οδηγία 91/271/ΕΕC (ΕC, 1991). Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίστηκε πλήρως μ' αυτή της ΕΕ. Σύμφωνα με αυτήν, τέθηκαν χρονικά όρια προσαρμογής και τήρησης των όρων επεξεργασίας. Παρ' όλα αυτά παρέμεινε η έλλειψη ενός ξεκάθਾਰου θεσμικού πλαισίου που να ρυθμίζει την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων (Λύκου, 2011).

Σε αυτή την κατεύθυνση δημοσιεύτηκε η Κ.Υ.Α. 145116/2011 (Φ.Ε.Κ. 354Β/8-3-2011) με τίτλο «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», η οποία αργότερα τροποποιήθηκε με την Κ.Υ.Α. 191002/2013, και αποτελεί την ισχύουσα νομοθεσία στη χώρα μας όσον αφορά το συγκεκριμένο ζήτημα.

Σκοπός της εν λόγω απόφασης είναι, όπως ορίζεται σε αυτή, η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων, η οποία θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από :

- την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής και
- την έντονη ταπείνωση ή/και υπαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση, την προϊούσα λειψυδρία και την είσοδο του θαλασσιού μετώπου σε παραλιακές περιοχές.

Εκτός αυτού, η Κ.Υ.Α. 145116/2011 αποσκοπεί και στη βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων μέσω της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, με απαραίτητη προϋπόθεση τη διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

Σύμφωνα με τις διατάξεις της, η συγκεκριμένη νομοθεσία εφαρμόζεται στην προγραμματισμένη επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για γεωργική χρήση (άρδευση), για την τροφοδότηση των υπόγειων υδροφόρων, για αστική και περιαστική χρήση, για βιομηχανική χρήση και, υπό προϋποθέσεις, για υδατικά συστήματα απόληψης νερού για ανθρώπινη κατανάλωση. Ακόμα, βρίσκει εφαρμογή και στην περίπτωση επεξεργασμένων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων τα οποία είναι μη επικίνδυνα, για επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική χρήση ή περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης και τροφοδότηση υπόγειων υδροφόρων από τους οποίους δε γίνεται απόληψη για σκοπούς ύδρευσης.

3.4.1. Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Διακρίνονται δύο τύποι άρδευσης, με βάση το είδος των καλλιεργειών, το σύστημα άρδευσης και την προσβασιμότητα του κοινού στην αρδευόμενη έκταση :

- η άρδευση με περιορισμούς (περιορισμένη) και
- η άρδευση χωρίς περιορισμούς (απεριόριστη).

Η *άρδευση με περιορισμούς (περιορισμένη)*, αφορά μόνο σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή 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.

Η *άρδευση χωρίς περιορισμούς (απεριόριστη)*, μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά. Κατά την απεριορίστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περιορισμοί στην πρόσβαση.

Για την περιορισμένη ή απεριορίστη άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα απαιτείται η εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του συστήματος της άρδευσης ανάλογα με το συγκεκριμένο είδος της καλλιέργειας και τη συγκεκριμένη περιοχή. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει:

(α) το υδατικό ισοζύγιο, σε συνάρτηση και με τις αρδευόμενες καλλιέργειες και το ισοζύγιο οργανικού φορτίου και θρεπτικών καθώς και κρίσιμων ιχνοστοιχείων, προκειμένου να προσδιορισθεί η ανά μονάδα αρδευόμενης επιφάνειας επιτρεπόμενη φόρτιση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

(β) τον υπολογισμό της συνολικά απαιτούμενης εδαφικής έκτασης,

(γ) τα προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και κατά περίπτωση, τα απαιτούμενα προγράμματα παρακολούθησης των χαρακτηριστικών του εδάφους και των αρδευόμενων καλλιεργειών,

(δ) τα τυχόν απαιτούμενα πρόσθετα μέτρα και όρια για την συγκεκριμένη εφαρμογή (ενδεχόμενη περίφραξη της αρδευόμενης έκτασης, τρόπος άρδευσης, κλπ),

(ε) τα απαιτούμενα μέτρα ενημέρωσης και προστασίας για τους χρήστες και τους καταναλωτές, που πρέπει να λαμβάνονται, με ευθύνη του φορέα υλοποίησης της άρδευσης, ο οποίος μπορεί να είναι ο φορέας διαχείρισης ή ο άμεσος χρήστης του ανακτημένου νερού, καθώς και

(στ) τον προσδιορισμό των τυχόν ελάχιστων απαιτούμενων αποστάσεων της συγκεκριμένης εφαρμογής από υφιστάμενες ή μελλοντικές υδροληψίες ή άλλες χρήσεις.

3.4.2. Επαναχρησιμοποίηση για αστική και περιαστική χρήση

Η επαναχρησιμοποίηση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για αστικές και περιαστικές δραστηριότητες αναφέρεται σε χρήσεις εκτός από αυτές που είναι για λόγους πόσης, κολύμβησης και οικιακών δραστηριοτήτων.

Τέτοιες δυνατότητες περιλαμβάνουν κυρίως το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου, όπως δημόσια πάρκα, άλση, νεκροταφεία, γήπεδα γκολφ, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, αυλές οικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής, καθώς και νερό για την κατάσβεση πυρκαϊών, για τη συμπύκνωση εδαφών, για τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, για διακοσμητικά συντριβάνια, για τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών και υγροβιοτόπων και την ενίσχυση των επιφανειακών ρευμάτων.

3.4.3. Επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική χρήση

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στη βιομηχανία περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης, αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η ως άνω επαναχρησιμοποίηση δεν εφαρμόζεται στις βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Για τη βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση πέραν των νερών ψύξης μιας χρήσης, απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία, η οποία καθορίζεται ανάλογα με το είδος της εν λόγω επαναχρησιμοποίησης.

3.4.4. Επαναχρησιμοποίηση για τροφοδότηση ή εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων

Σύμφωνα με την ΚΥΑ, ο τεχνητός εμπλουτισμός πρέπει να αποβλέπει :

- στη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων,
- στην αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης, όπως για άρδευση, που συνήθως είναι εποχιακή,
- στην ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα που μπορεί να φθίνει λόγω υπερκεμετάλλευσης και επειδή η φυσική ανανέωση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό και
- στον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους.

Βασική προϋπόθεση που τίθεται για την τροφοδότηση υπόγειου υδροφόρου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα είναι να μην αποτελεί πεδίο απόληψης νερού για ανθρώπινη κατανάλωση ούτε να προορίζεται μελλοντικά για παρόμοια χρήση.

Για την αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα, που ενδέχεται να έχουν αρνητική επίδραση σε μελλοντικές χρήσεις του υδροφορέα, απαιτείται :

- 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.
- Στις περιπτώσεις εμπλουτισμού με μέθοδο διήθησης διαμέσου 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.

Τα επιτρεπόμενα όρια για τις μικροβιολογικές, τις συμβατικές και άλλες χημικές παραμέτρους, καθώς και η εκάστοτε κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία, το είδος και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων, στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για τροφοδότηση ή εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων παρατίθενται στους πίνακες του Παραρτήματος Α, ωστόσο οι πιο σημαντικές αναφέρονται παρακάτω :

- Escherichia Coli : ≤ 200 EC / 100ml διάμεση τιμή,
- Ολικά κολοβακτηρίδια : ≤ 2 TC / 100ml για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 / 100ml για το 95% των δειγμάτων,
- BOD₅ : ≤ 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων,
- Αιωρούμενα στερεά : ≤ 2 mg/l για το 80% των δειγμάτων,
- Θολότητα : ≤ 2 NTU διάμεση τιμή
- Η απαιτούμενη επεξεργασία είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση.

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΘΡΙΑΣΙΟ ΠΕΔΙΟ - ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή του Θριασίου Πεδίου γεωγραφικά και διοικητικά ανήκει στη Δυτική Αττική και οφείλει το όνομά της στο Δήμο Θριάς ή Θριούντος στον οποίο ανήκε κατά την αρχαιότητα.

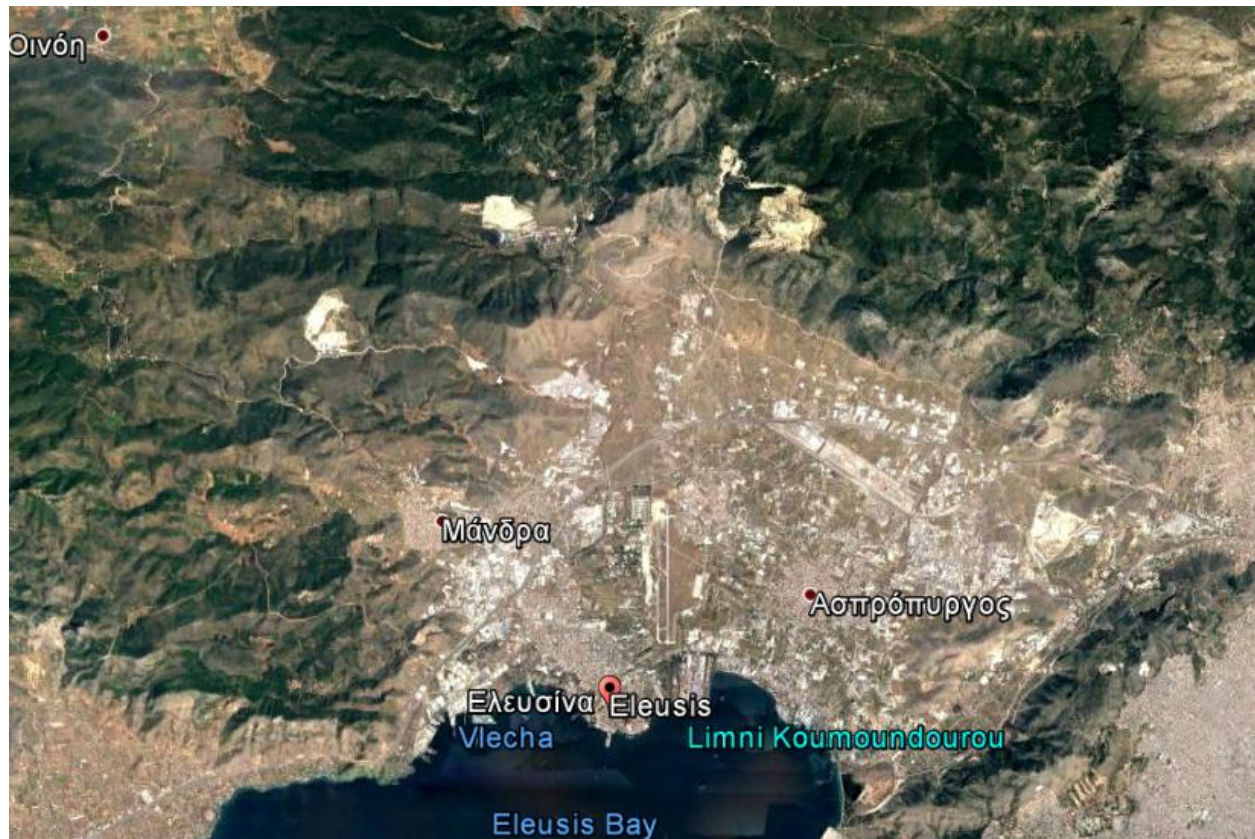
Οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους *Πατέρας* (1.132 μ) στα δυτικά, *Πάρνηθα* (1.413 μ) στο βόρειο τμήμα, *Αιγάλεω* (468 μ) και *Ποικίλο* (465 μ) στα ανατολικά και νοτιοανατολικά, ενώ στο νότιο τμήμα του βρέχεται από τα νερά του *Σαρωνικού κόλπου* και, συγκεκριμένα, του μικρότερου κόλπου της *Ελευσίνας*, σε ένα μήκος περίπου 15 χιλιομέτρων. Όλοι οι ορεινοί όγκοι έχουν διεύθυνση σχεδόν Α-Δ έως ΒΔ-ΝΑ (Χρυσικού, 2008).



Εικόνα 4.1. Η περιοχή του Θριασίου πεδίου (ΙΓΜΕ, 2010)

Η εξεταζόμενη περιοχή χαρακτηρίζεται από το ήπιας, στο μεγαλύτερο μέρος της, μορφολογικής κλίσης ανάγλυφο, ενώ στα βόρεια αυτής κυριαρχεί το υψηλό, με βαθιά διάβρωση, τοπίο της οροσειράς της Πάρνηθας (ΙΓΜΕ, 2010).

Η έκταση του Θριασίου Πεδίου ανέρχεται σε 84 km², περίπου, αποτελώντας τη μεγαλύτερη πεδιάδα στα δυτικά της Αθήνας.



Εικόνα 4.2. Γεωμορφολογική άποψη της περιοχής του Θριασίου πεδίου (πηγή : Google Earth)

4.2. ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : ΕΛΣΤΑΤ)

Το Θριάσιο πεδίο διοικητικά ανήκε στη *Νομαρχία Δυτικής Αττικής* και συγκεκριμένα στην *Επαρχία Μεγαρίδος*, έως την περασμένη δεκαετία. Με την εφαρμογή του νόμου «Καλλικράτης» για τη διοικητική διαίρεση της χώρας, περιήλθε στην *Περιφέρεια Αττικής*, ευρισκόμενο στην *Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής*.

Από γεωγραφικής άποψης, αναπτύσσεται στο μεγαλύτερο τμήμα του εντός των ορίων των Δήμων *Ελευσίνας*, *Ασπρόπυργου* και *Μάνδρας-Ειδυλλίας*, ενώ τμήμα του ανήκει και στο Δήμο *Φυλής*.

Τα κυριότερα οικιστικά κέντρα του Θριασίου πεδίου είναι :

- η Ελευσίνα,
- ο Ασπρόπυργος,
- η Μάνδρα και
- η Μαγούλα.

Η περιοχή αποτελεί το σημαντικότερο βιομηχανικό κέντρο της χώρας, αφού μερικές από τις μεγαλύτερες ελληνικές βιομηχανίες έχουν τις εγκαταστάσεις τους εκεί, ιδιαίτερα στην περιοχή του Ασπρόπυργου. Παράλληλα, το Θριάσιο πεδίο αποτελούσε ανέκαθεν κέντρο αγροτικής δραστηριότητας μεγάλης σημασίας για το Λεκανοπέδιο Αττικής, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει

εξελιχθεί στο σημαντικότερο διαμετακομιστικό κέντρο εμπορίου της Ελλάδας, με δεκάδες εταιρείες logistics να εγκαθίστανται στην ευρύτερη περιοχή.

Ως επακόλουθο, ο πληθυσμός της περιοχής του Θριασίου πεδίου παρουσιάζει συνεχώς ανοδικές τάσεις, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.1, όπου παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η εξέλιξη του πληθυσμού των κύριων οικισμών που προαναφέρθηκαν, βάσει των απογραφών πληθυσμού των τελευταίων δεκαετιών.

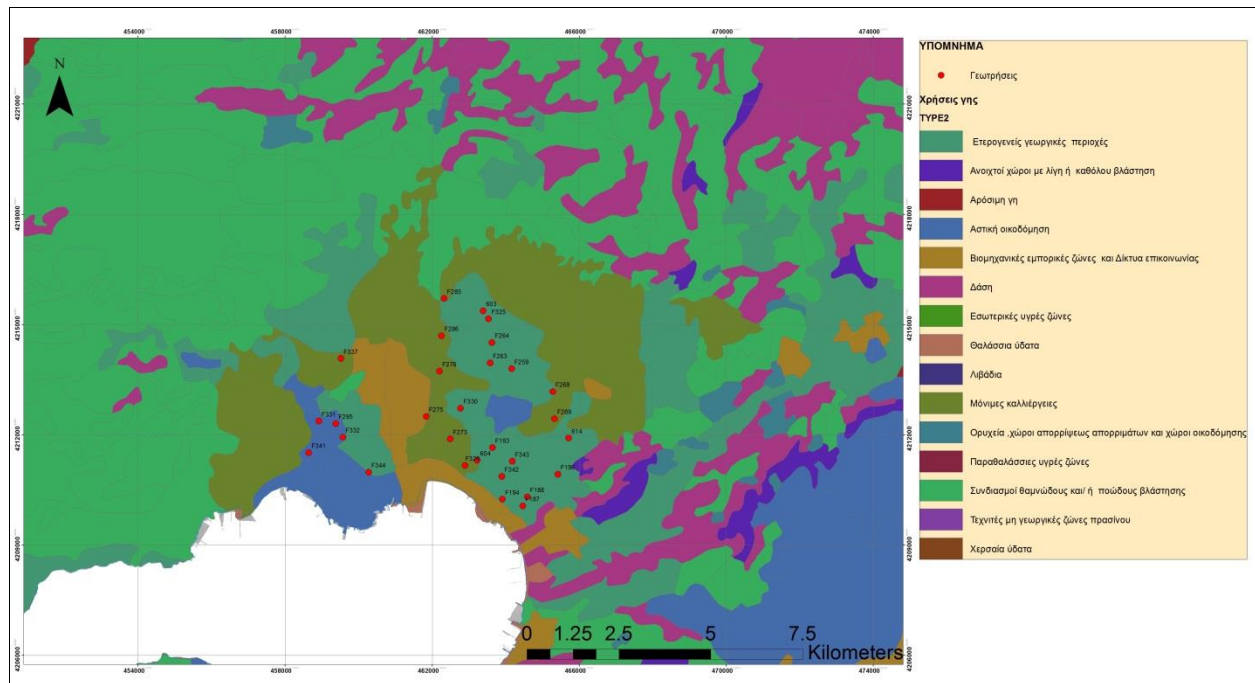
Πίνακας 4.1. Πληθυσμιακή εξέλιξη των κύριων οικισμών του Θριασίου πεδίου (πηγή : ΕΛΣΤΑΤ)

	1940	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	9154	11190	15527	18535	20320	22793	26121	24910
ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΣ		5855	8162	11183	12541	15815	27927	30251
ΜΑΝΔΡΑ	3594	3908	5503	8042	8804	11343	12739	17885
ΜΑΓΟΥΛΑ	458	432	675	1214	1915	1663	3758	4992

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η βιομηχανοποίηση της περιοχής οδήγησε σε αλματώδη αύξηση του πληθυσμού, για την Ελευσίνα κυρίως κατά τις δεκαετίες του 1950 και 1960, ενώ για τους άλλους μεγάλους οικισμούς αργότερα. Όπως είναι φυσικό, η συγκέντρωση ολοένα και μεγαλύτερου πληθυσμού, σε συνδυασμό με την παράλληλη επέκταση της βιομηχανικής δραστηριότητας (η οποία βέβαια την τελευταία δεκαετία βρίσκεται σε ύφεση), έχει ως επακόλουθο τη σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση της περιοχής και κατ' επέκταση και την υποβάθμιση του υπόγειου υδροφόρου, αφενός λόγω μεγαλύτερων απαιτήσεων για υδροληψίες για κάλυψη των διαφόρων αναγκών και αφετέρου λόγω της ραγδαίας αύξησης των ποσοτήτων οικιακών και βιομηχανικών, αντίστοιχα, λυμάτων που παράγονται στην ευρύτερη περιοχή.

4.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το Θριάσιο πεδίο αποτελεί σημαντικό βιομηχανικό κέντρο εδώ και δεκαετίες, με μερικές από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες της χώρας να έχουν την έδρα τους στην περιοχή. Η βιομηχανική ζώνη του Θριασίου εκτείνεται στο νότιο τμήμα του, κατά μήκος των παραλίων του και στη ζώνη γύρω από την Εθνική Οδό Αθηνών-Κορίνθου, προκειμένου να εξυπηρετούνται ευκολότερα οι βιομηχανίες σε θέματα προμηθειών και μεταφορών. Στο κεντρικό τμήμα του Θριασίου επικρατεί η χρήση κατοικίας, ενώ σημαντική έκταση καλύπτουν και οι εγκαταστάσεις του στρατιωτικού αεροδρομίου της Ελευσίνας. Παράλληλα, μετά την κατασκευή της Αττικής Οδού, στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας, δεκάδες επιχειρήσεις logistics εγκαταστάθηκαν στη ζώνη εκατέρωθεν αυτής, η οποία διασχίζει το Θριάσιο πεδίο κατά μήκος του κεντρικού του τμήματος. Τέλος, στο βόρειο τμήμα δεσπόζουν οι χρήσεις γης αντιστοιχούν σε μόνιμες καλλιέργειες και μικρό μόνο ποσοστό δεσμεύεται για εμπορικές ή βιομηχανικές χρήσεις. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο χάρτη χρήσεων γης της Εικόνας 4.3.



Εικόνα 4.3. Χάρτης χρήσεων γης Θριασίου πεδίου (πηγή : geodata.gov.gr)

4.4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.4.1. Στρωματογραφικές μονάδες

Από γεωλογικής σκοπιάς, την περιοχή συνιστούν οι κάτωθι σχηματισμοί, κατά σειρά ηλικίας, από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους.

4.4.1.1. Σχιστοψαμμίτες και ασβεστόλιθοι του παλαιοζωικού

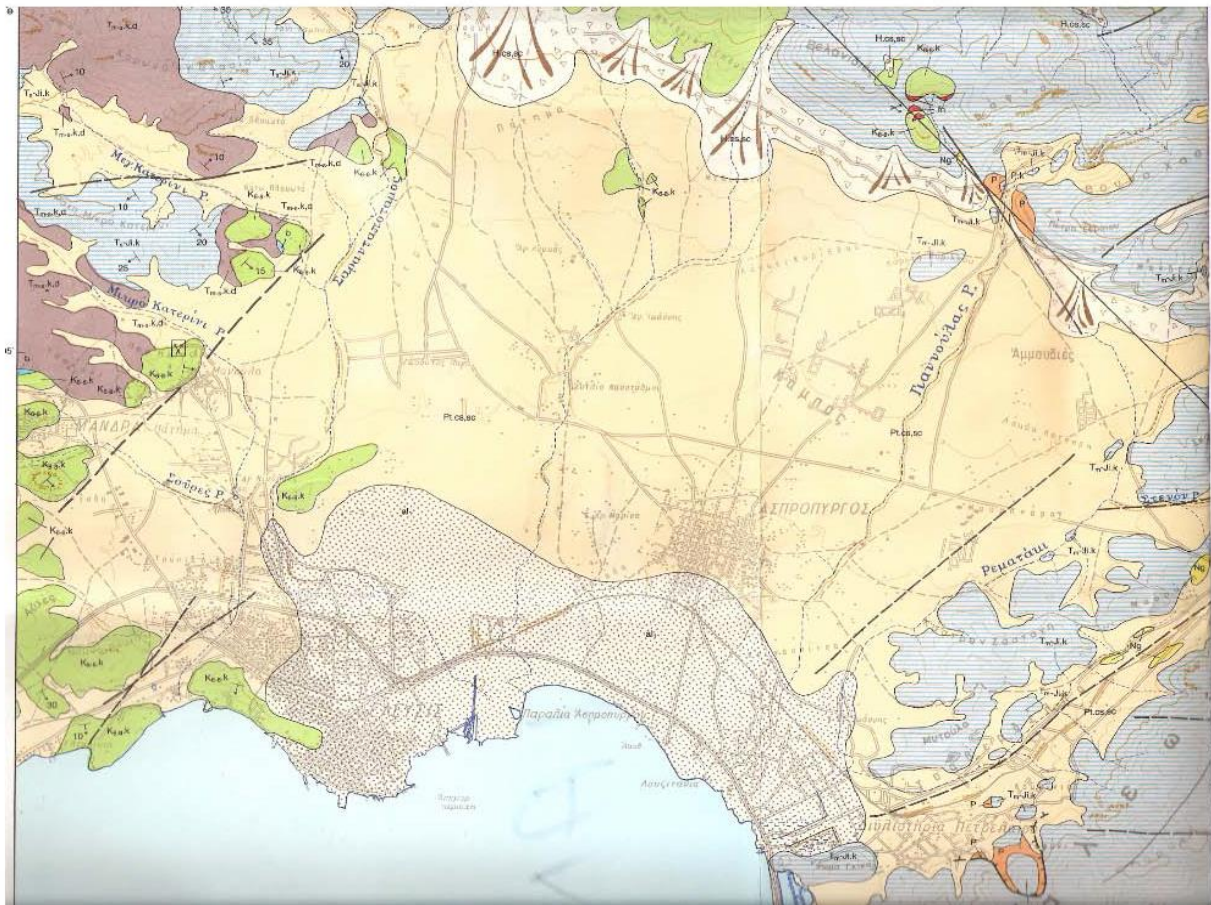
Το παλαιοζωικό σύστημα στρωμάτων καλύπτει πολύ μικρό τμήμα της όλης περιοχής, αναπτυσσόμενο κυρίως στο ΝΑ άκρο αυτής, στη ΒΔ πλευρά του όρους Αιγάλεω, καθώς επίσης και σε διάφορες θέσεις κοντά στα όρια της λεκάνης απορροής, στην περιοχή των νοτίων κρασπέδων του οροπεδίου των Σκούρτων και στην περιοχή της Κάζας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από κροκαλοπαγή, αργιλικούς και ψαμμικούς σχιστολίθους, γραουβάκες, χαλαζίτες, όπως επίσης και από ενστρώσεις πλακωδών ασβεστολίθων. Η παραπάνω σειρά στρωμάτων ανήκει, από πλευράς ηλικίας στο Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο. Επι αυτών αναπτύσσονται ασβεστόλιθοι, κερατοφύρες και κερατοφυρικοί τόφφοι, οι οποίοι ανήκουν στο Πέρμιο – Κάτω Τριαδικό (Αθ. Δούνας, Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

4.4.1.2. Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι

Οι μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι καταλαμβάνουν ολόκληρη σχεδόν την περιμετρική ζώνη του πεδίου, κατέχοντας το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής, σχηματίζοντας έτσι τα όρη *Αιγάλεω*, *Πάρνηθα* και *Πατέρας*.

Κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, από πλευράς ηλικίας, ανήκουν στο Τριαδικό, και οι υπόλοιποι στο Κρητιδικό, το οποίο αναπτύσσεται κυρίως στο Ανατολικό τμήμα της περιοχής. Μια πολύ

GEOLOGICAL MAP - THRIASSION AREA

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ**

al - αλλούβια

al₁ – αργιλοαμμώδη παραλιακών περιοχών

H.cs.sc. – πλευρικά κορήματα

Pt.cs.sc. – ριπίδια χειμάρρων

Ng - νεογενή

K₆₋₈.k – ασβεστόλιθοι Κενομανίου - Σενωνίου

T_s.Ji.k – ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες Ανώτερου Τριαδικού – Κατώτερου Ιουρασικού

T_m.Ji.k – ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες Μέσου Τριαδικού – Κατώτερου Ιουρασικού

T_{m-s}.k,d – ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού

Εικόνα 4.4. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Θριασίου Πεδίου (Γ. Σκιάνης, Β.Νούσης, 2008)

μικρή έκταση στα ΒΔ κράσπεδα της λεκάνης απορροής συνίσταται από ιζήματα του Ιουρασικού (ασβεστόλιθοι, σχιστοκερατόλιθοι, σερπεντίνες).

Οι Τριαδικόι ασβεστόλιθοι μεταπίπτουν στους κατώτερους οριζοντές τους σε δολομίτες και έρχονται σε τεκτονική επαφή με τους υποκείμενους παλαιοζωικούς σχηματισμούς.

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί, λευκού, τεφρόλευκου ή ερυθρόλευκου χρώματος κατά τόπους, παρουσιάζονται γεβικά άστρωτοι, συχνά έχουν σακχαρώδη υφή και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι διαρρηγμένοι και αποκαρστωμένοι, ενώ ξεπερνούν τα 150 μέτρα.

Οι Ανωκρητιδικόι ασβεστόλιθοι αποτελούνται από δύο οριζοντες :

- ο κατώτερος ασβεστολιθικός οριζοντας αποτελείται από συμπαγή μαργαϊκό λεπποστρωματώδη ασβεστόλιθο, εναλλασσόμενο με λεπποφυλλώδεις μάργες και
- ο ανώτερος ασβεστολιθικός οριζοντας αποτελείται από συμπαγείς παχυστρωματώδεις ταφρομέλανους ασβεστόλιθους (Αθ. Δούνας, Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

4.4.1.3. Νεογενή ιζήματα

Συνίστανται από μάργες, ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Η επιφανειακή ανάπτυξή τους είναι πολύ περιορισμένη, μολονότι φαίνεται ότι αυτά αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του υποβάθρου του Θριασίου Πεδίου, όπως έχει αποδειχθεί από γεωτρήσεις και φρέατα.

Επιφανειακά, εμφανίζονται εντός του ρέματος «Τσαβερδέλλα» (στην περιοχή «Μουζάκα») και στην περιοχή «Στρέφι» και «Χάνι Κάμπολη», Β-ΒΑ της Μαγούλας, σε απόσταση περίπου 8-10 χλμ (Αθ. Δούνας, Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

4.4.1.4. Τεταρτογενείς αποθέσεις

Καταλαμβάνουν σχεδόν εξ ολοκλήρου την πεδινή έκταση της περιοχής και αποτελούνται από διλουβιακούς και αλλουβιακούς σχηματισμούς.

Οι διλουβιακοί σχηματισμοί αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κροκαλοπαγών και ερυθρών αργίλων, των οποίων η συνοχή ποικίλλει από θέση σε θέση. Οι κροκάλες και οι λατύπες των αδρομερών υλικών των στρωμάτων αυτών είναι κυρίως ασβεστολιθικές, αλλά κατά τόπους και άλλης σύστασης, όπως κερατολιθικής σχιστολιθικής κλπ. Το συνδετικό υλικό είναι ασβεστοαργιλοψαμμιτικό. Το αλλούβιο συνίσταται από πρόσφατες προσχώσεις και τεφροπράσινες αργίλους, που αναπτύσσονται σε μία παράκτια ζώνη καλυπτόμενη από καλλιεργήσιμη γη (Αθ. Δούνας, Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

4.5. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η σειρά των νεοπαλαιοζωικών ιζημάτων χαρακτηρίζεται από έντονη πτύχωση. Η ασβεστολιθική σειρά δεν παρουσιάζει γενικά πτυχώσεις και έχει επωθηθεί επί των νεοπαλαιοζωικών σχηματισμών. Η κύρια επιφανειακή εμφάνιση των παλαιοζωικών ιζημάτων βρίσκεται στην περιοχή Κάζας μέχρι την Πάρνηθα και αποτελεί στενή λωρίδα με διεύθυνση Α-Δ. Στις δύο πλευρές της λωρίδας αυτής αναπτύσσονται ασβεστόλιθοι που με αλλεπάλληλα παράλληλα

μεγάλα ρήγματα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ κατέρχονται σταδιακά προς Βορρά και προς Νότο, δημιουργώντας τεκτονικό κέρασ (HORST).

Εκτός αυτού του συστήματος ρηγμάτων, υπάρχει στην περιοχή και άλλο με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στη δράση των δύο συστημάτων ρηγμάτων που προκάλεσαν την καταβύθιση του νότιου τμήματος της Πάρνηθας οφείλει τον σχηματισμό του το Θριάσιο πεδίο.

Κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν, σημειώθηκαν στην περιοχή ανοδικές ηπειρογενετικές κινήσεις, όπως φαίνεται από την ύπαρξη αναβαθμίδων στις όχθες των χειμάρρων της περιοχής (Αθ. Δούνας, Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

5.1 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Για την περιγραφή της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής διακρίνονται σε 4 βασικές ομάδες σε κάθε μια από τις οποίες η ικανότητα αποθήκευσης και διακίνησης του υπόγειου νερού παρουσιάζει διαφορές.

Στην *πρώτη ομάδα* περιλαμβάνονται οι αλλουβιακοί σχηματισμοί που θεωρούνται μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας.

Στη *δεύτερη ομάδα* περιλαμβάνονται οι παλαιές τεταρτογενείς αποθέσεις (Πλειστόκαινο) του Θριασίου πεδίου. Οι αλλουβιακοί σχηματισμοί και οι Πλειστοκαινικές αποθέσεις μπορούν υπό προϋποθέσεις να θεωρηθούν ως ενιαίος υδρογεωλογικός σχηματισμός, τουλάχιστον στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Στην *τρίτη ομάδα* περιλαμβάνονται οι ανθρακικοί σχηματισμοί του Κρητιδικού και Τριαδικού αποτελούμενοι από ασβεστολίθους, δολομιτικούς ασβεστολίθους και δολομίτες με γενικά μέση έως υψηλή υδροπερατότητα οφειλομένη στο δευτερογενές πορώδες, κυρίως των ασβεστολίθων, λόγω ρηγμάτωσής τους από την τεκτονική δράση.

Η *τέταρτη ομάδα* περιλαμβάνει πετρώματα του Παλαιοζωϊκού αποτελούμενα από αργιλικούς σχιστολίθους, ψαμίτες και φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστολίθων. Θεωρείται πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός (πολύ μικρή έως ανύπαρκτη περατότητα). Το δευτερογενές πορώδες είναι ελάχιστο σε σχέση με τον καρστικό σχηματισμό.

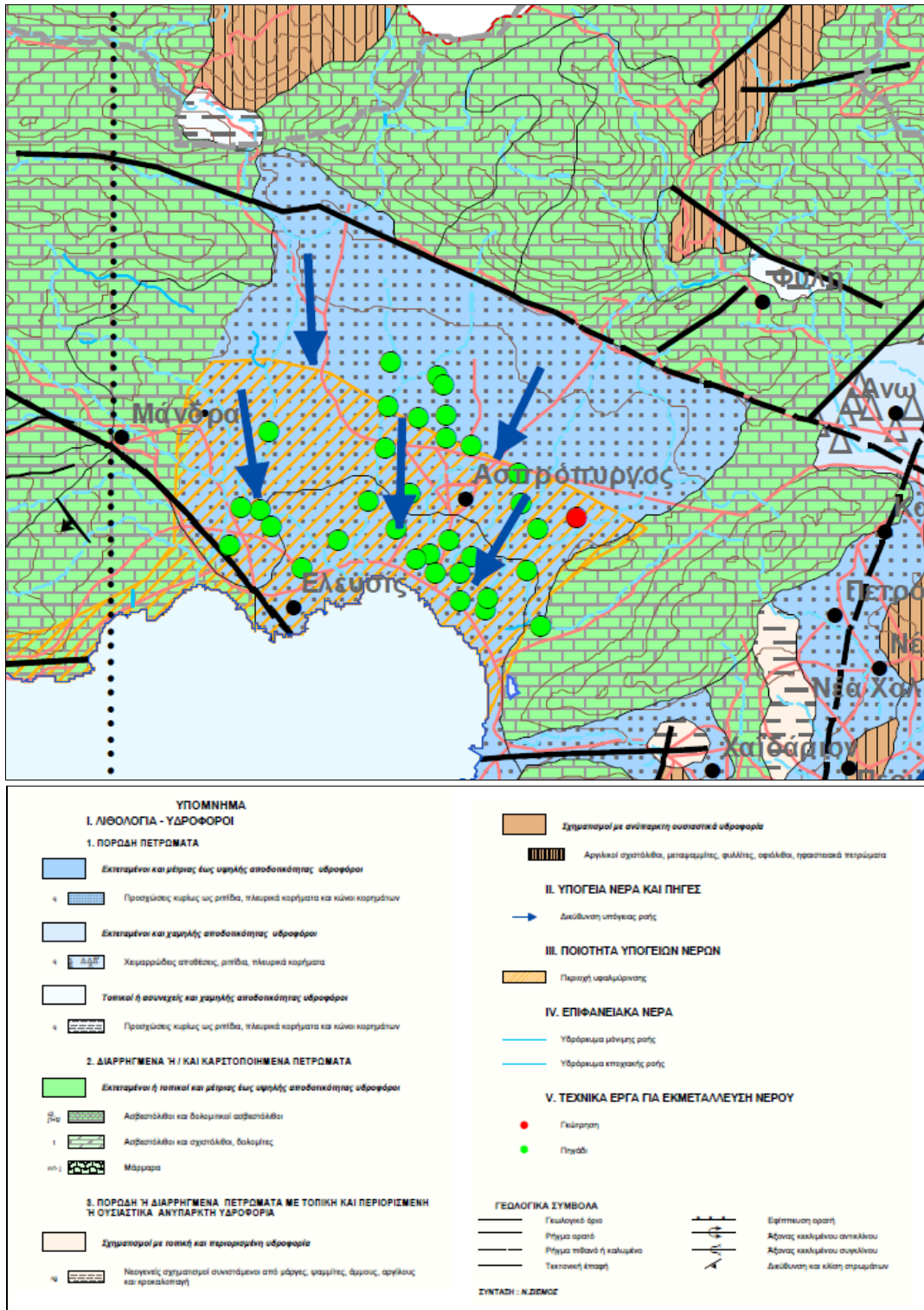
Το όλο κοκκώδες σύστημα χαρακτηρίζεται από μέση έως υψηλή υδροδυναμικότητα με υδροφορία ελεύθερου τύπου (unconfined aquifer).

Οι σχηματισμοί που διαμορφώνουν υδροφορία και συναντώνται στο Θριάσιο Πεδίο είναι :

- *Αλλουβιακές προσχώσεις.* Εκτείνονται στην παράκτια ζώνη του Θριασίου πεδίου και παρουσιάζουν γενικά μεγάλη περατότητα. Συνίστανται κυρίως από άμμους, πηλούς, χάλικες και κροκάλες. Παρουσιάζουν πρωτογενές πορώδες και είναι χαλαροί σχηματισμοί.
- *Πλειστοκαινικές αποθέσεις.* Χαρακτηρίζονται από μέση περατότητα. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται κατά μέσο όρο γύρω στα 100 m, ενώ στα άκρα του βαθμιαία ελαττώνεται και συνήθως είναι μικρότερο των 50 m. Το υπόβαθρό του συνίσταται από ανθρακικά πετρώματα.
- *Ανθρακικοί σχηματισμοί Κρητιδικού και Τριαδικού.* Συμπεριφέρονται ως ενιαίο καρστικό υδροφόρο σύστημα γενικά αξιόλογης υδροδοτικής δυνατότητας. Πάντως δεν υφίστανται γεωτρητικά στοιχεία επαρκούς χωρικής κατανομής για το εν λόγω σύστημα.

Όσον αφορά τα πετρώματα του Παλαιοζωϊκού (αργιλικό σχιστόλιθοι κ.α.), συμπεριφέρονται στο σύνολό τους ως αδιαπέρατοι πρακτικά σχηματισμοί και δεν υδροφορούν. Παρότι παρατηρείται τοπική αύξηση του δευτερογενούς πορώδους κατά τα ανθρακικά μέλη του συστήματος, γενικά

χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως ανύπαρκτη υδρολογική λειτουργία λόγω μειωμένου υδραυλικού δεσμού με την όλη μάζα.



Εικόνα 5.1. Απόσπασμα υδρογεωλογικού χάρτη, κλ. 1:250.000, περιοχή Θριασίου πεδίου (πηγή : ΙΓΜΕ, 2010).

5.2. ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ

5.2.1. Υδρολιθολογία (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Δούνας, Α., Παναγιωτίδης Γ., 1964)

Η κυκλοφορία του νερού διαμέσου των ασβεστολίθων γίνεται αφενός μέσω των διαρρήξεων τους και αφετέρου μέσω των καρστικών αγωγών. Η περατότητα των πλειστοκαινικών κροκαλοπαγών οφείλεται κατά κύριο λόγο στη ρηγματώσή τους. Τέλος, τα νεογενή ιζήματα χαρακτηρίζονται από εναλλαγή στρωμάτων τελείως στεγανών (μάργες) και ημιπερατών (ψαμμίτες – μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Αυτή η αλληλουχία των στρωμάτων έχει ως συνέπεια τη δημιουργία αλληπάλληλων ασθενών γενικά υδροφόρων οριζόντων, ειδικά αρτεσιανών όπου τα στρώματα παρουσιάζουν κλίση ως προς τον ορίζοντα (Αθ. Δούνας & Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

Κύριοι υδροφόροι ορίζοντες αναπτύσσονται αφενός εντός των τεταρτογενών κροκαλοπαγών και αφετέρου εντός των ασβεστολίθων. Κατόπιν παρακολούθησης της στάθμης σε παρακείμενα φρέατα, συνάγεται ότι οι υδροφόροι αυτοί ταυτίζονται (Αθ. Δούνας & Γρ. Παναγιωτίδης, 1964).

Συμπερασματικά, ο σχηματισμός είναι καθολικά υδροφόρος, με ελεύθερη στάθμη εξελισσόμενη από την ακτή έως και τις πλέον ανάντη περιοχές του, όπου η υδροφορία αποκτά υψόμετρο μέχρι 50m και είναι γενικά ασθενής.

5.2.2. Εκφόρτιση υδροφόρων

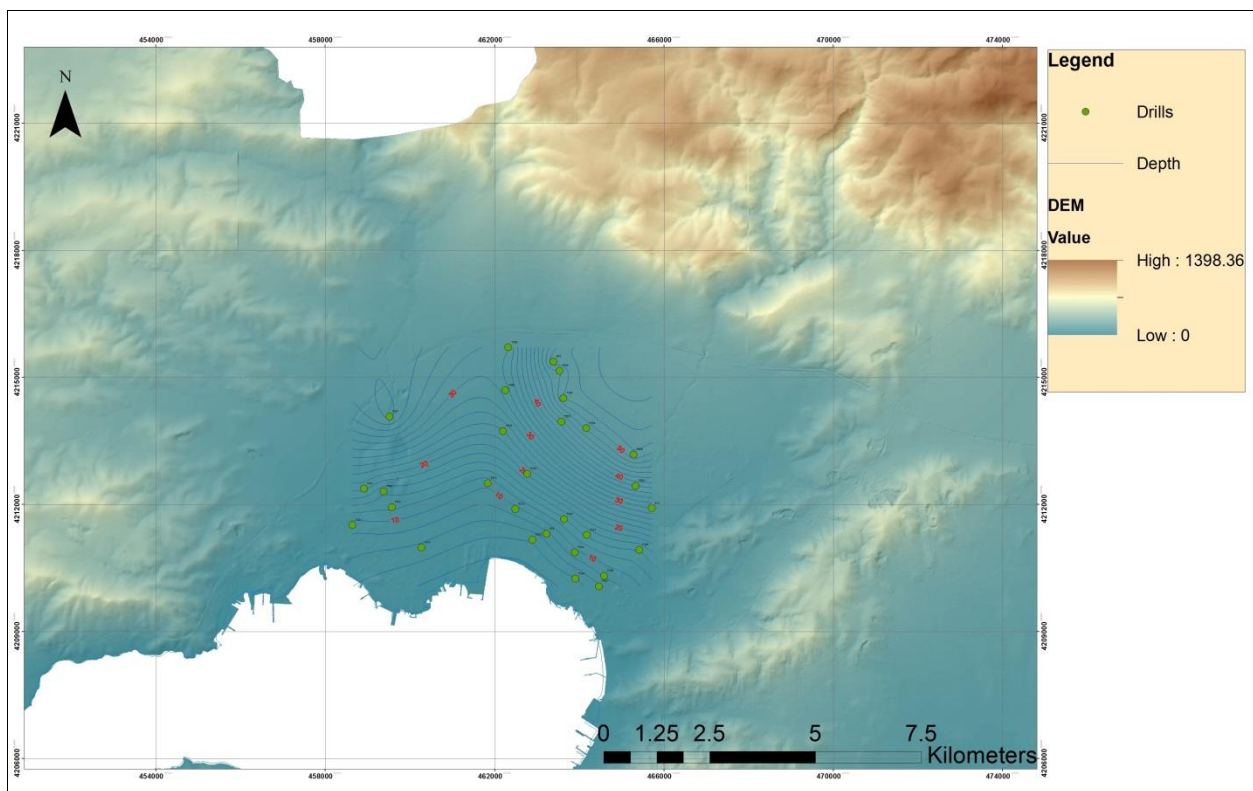
Η εκφόρτιση αυτού του ενιαίου υδροφόρου γίνεται κυρίως μέσω παράκτιων καρστικών πηγών, οι οποίες εμφανίζονται στις περιοχές όπου τα ασβεστολιθικά κράσπεδα του Θριασίου Πεδίου διατέμνονται από την ακτογραμμή. Τέτοιες παράκτιες πηγές παρατηρούνται στη Δ-ΝΔ απόληξη του όρους Αιγάλεω, κοντά στην περιοχή του Σκαραμαγκά, εντός της λίμνης Κουμουνδούρου και στις όχθες του ρέματος Τσαβερδέλλα, σε απόσταση λίγων μέτρων από την ακτή. Επίσης, πολυάριθμες παράκτιες και υποθαλάσσιες καρστικές πηγές παρατηρούνται και στο άλλο άκρο του ασβεστολιθικού κρασπέδου, στην περιοχή της Ελευσίνας. Εκτός από τα προαναφερθέντα σημεία, εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα γίνεται και με υπόγεια ροή μέσω νεότερων γεωλογικών σχηματισμών (Εικόνα 5.1).

Η παράκτια αργιλική ζώνη των αλλουβίων, λόγω του χαμηλού συντελεστή διαπερατότητάς της, παίζει ανασχετικό ρόλο στην ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού και προκαλεί ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ελωδών εκτάσεων σε περιοχές χαμηλού υψόμετρου.

Ο φραγμός αυτός της παράκτιας αργιλικής ζώνης αλλάζει την πορεία του υπόγειου νερού και το στρέφει προς την κατεύθυνση των ασβεστολιθικών περιοχών της περιμέτρου του Πεδίου, μέσω των οποίων η ροή είναι περισσότερο άνετη. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η αποστράγγιση της περιοχής γίνεται μόνο διαμέσου των ασβεστολίθων, δεδομένου ότι ένα ποσοστό αυτής λαμβάνει χώρα μέσω των αλλουβιακών σχηματισμών.

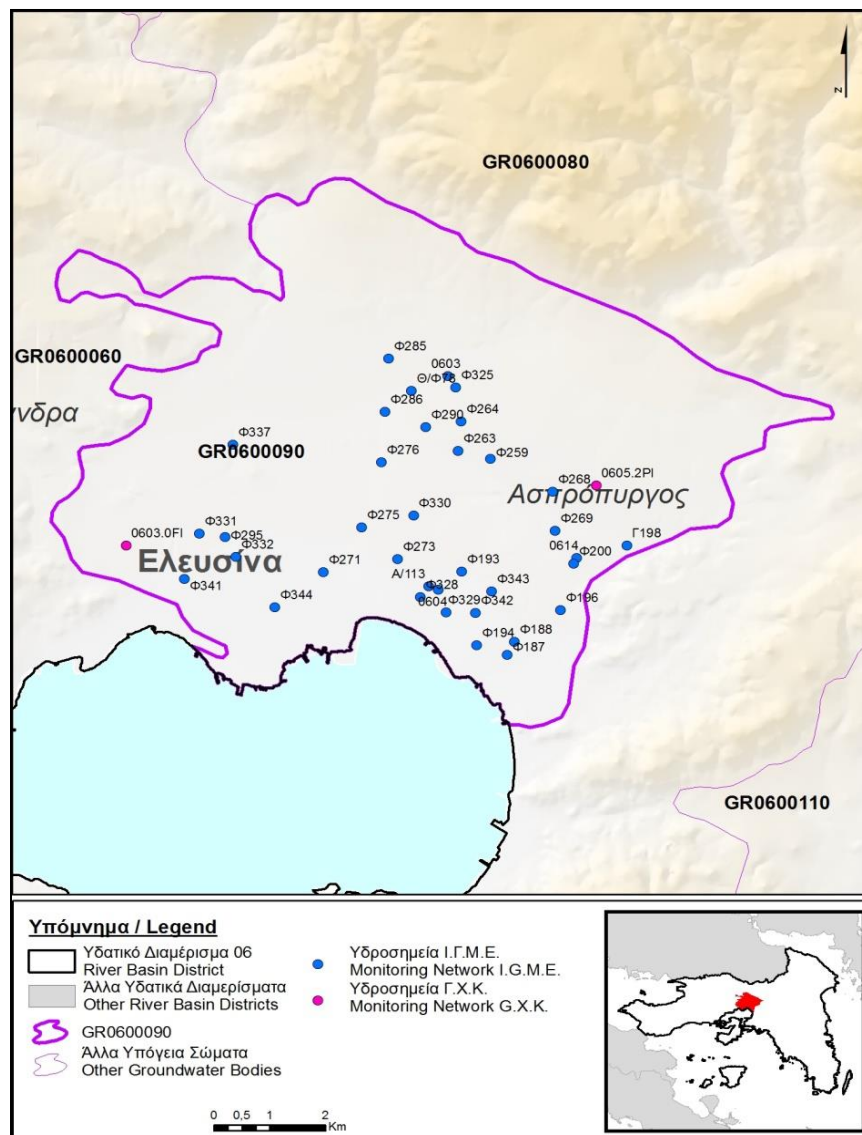
5.2.3. Υδρολογικά χαρακτηριστικά

Το μέγιστο βάθος στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα φτάνει τα 80 m περίπου, ενώ το μέσο βάθος της εκτιμάται στα 30 m. Ειδικότερα, το βάθος της στάθμης της υδροφορίας στο κοκκώδες σύστημα του Θριασίου πεδίου (σύμφωνα με υδρομετρήσεις στα σημεία παρακολούθησης) ευρίσκεται περί τα 20 m στο κέντρο της λεκάνης και περί τα 45 – 55 m στο βόρειο τμήμα του υδροφόρου. Στα χαμηλότερα υψόμετρα, προς την παραλία, το βάθος της στάθμης της υδροφορίας κυμαίνεται μεταξύ 6 και 13 m περίπου. Γενικά, δεν παρατηρούνται μεγάλες αυξομειώσεις της στάθμης στην περιοχή, αφού τα από αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουν γίνει, προκύπτει ότι το ετήσιο πλάτος κύμανσης της στάθμης ανέρχεται σε 1,30 m περίπου (ΙΓΜΕ, 2010). Το μέγεθος αυτό, συγκρινόμενο με το μέσο βάθος της στάθμης, δε θεωρείται ιδιαίτερος σημαντικό.



Εικόνα 5.2. Χάρτης στάθμης υδροφόρου ορίζοντα Θριασίου πεδίου (στοιχεία : ΙΓΜΕ, 2010)

Ο σχηματισμός του Θριασίου Πεδίου τροφοδοτείται από τα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα και τις διάφορες επιφανειακές απορροές.



Εικόνα 5.3. Χάρτης σημείων παρακολούθησης ΥΥΣ Θριασίου, ΙΓΜΕ, 2010 (πηγή : Ε.Γ.Υ.)

5.2.3.1. Βροχομετρικά δεδομένα - Ανανεώσιμα αποθέματα

Σύμφωνα με στοιχεία από το Μετεωρολογικό Σταθμό της Ελευσίνας, το μέσο ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης για την περιοχή του Θριασίου πεδίου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του σταθμού ανέρχεται στα 380mm, με τη μέγιστη τιμή στην περιοχή να φτάνει τα 700mm και την ελάχιστη τα 250mm, αντίστοιχα.

Δεδομένου ότι η έκταση της περιοχής μελέτης είναι περίπου 84 km², συνάγεται ότι ο όγκος των κατακρημνισμάτων σε ετήσια βάση είναι, κατά προσέγγιση, 32 x 10⁶ m³.

Η εξάτμιση στην περιοχή του Θριασίου πεδίου έχει υπολογιστεί ότι φτάνει το 65%-70%. Αυτό μεταφράζεται, κατά μέσο όρο, σε όγκο νερού περίπου 21.5 x 10⁶ m³ ετησίως.

Επίσης, η επιφανειακή απορροή έχει εκτιμηθεί σε $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, ήτοι 8% περίπου των εισροών λόγω βροχοπτώσεων.

Από τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν, προκύπτει το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής από τη σχέση :

$$P = E + I + R,$$

όπου :

- P, είναι ο όγκος των κατακρημνισμάτων,
- E, οι απώλειες λόγω εξάτμισης,
- I, οι κατεισδύσεις και
- R, η επιφανειακή απορροή.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι η ετήσια κατείσδυση ανέρχεται σε $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού, το οποίο τροφοδοτεί τον υπόγειο υδροφόρο της περιοχής σε ετήσια βάση.

5.2.4. Υδραυλικά χαρακτηριστικά

Για τα κύρια υδραυλικά μεγέθη του κοκκώδους υδροφόρου συστήματος του Θριασίου πεδίου, οι έρευνες που έχουν διαξαχθεί έχουν οδηγήσει στα ακόλουθα συμπεράσματα (ΙΓΜΕ, 2010) :

Η *υδραυλική περατότητα*, K, εκτιμάται ότι κυμαίνεται κατά μέσο όρο μεταξύ 10^{-5} και 10^{-4} m/sec, ωστόσο το εύρος των τιμών είναι αρκετά μεγάλο, δεδομένης της ύπαρξης τόσο πολύ υδροπερατών όσο και σχεδόν αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών. Στην πραγματικότητα, στα πλαίσια υδρογεωλογικών μελετών, γίνεται παραδοχή δύο διαφορετικών ζωνών υδραυλικής αγωγιμότητας · μίας για τις προσχώσεις κοντά στην ακτή και μία για τους Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς στα ανάντη.

Η *υδραυλική κλίση* στην περιοχή μελέτης έχει υπολογιστεί στο 5%.

Οι *πιεζομετρικές γραμμές* που έχουν υπολογιστεί είναι ομαλές με τιμές που κυμαίνονται από σχεδόν μηδέν στην παράκτια ζώνη έως 20m περίπου στα υψηλότερα σημεία προς το Βορρά.

Η *αποθηκευτικότητα* του υδροφορέα εκτιμάται ότι λαμβάνει τιμές από 8% έως 18% περίπου.

5.2.5. Πιέσεις

Η περιοχή του Θριασίου πεδίου εμφανίζει μεγάλες ανάγκες σε υδατικούς πόρους, οι οποίες υπαγορεύονται από την έντονη βιομηχανική και αγροτική δραστηριότητα που αναπτύσσεται σε αυτή. Οι ανάγκες αυτές καλύπτονται μέσω υδροληψίας από τα πολυάριθμα υδροσημεία (πηγάδια και γεωτρήσεις) της περιοχής, τα οποία καταγράφονται στον Πίνακα 5.1.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 5.1, προκύπτουν ετήσιες απολήψεις της τάξης των $9 \times 10^6 \text{ m}^3$, γεγονός το οποίο, σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα δεδομένα των ετήσιων εισροών, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το υπόγειο υδροφόρο σύστημα του Θριασίου πεδίου παρουσιάζεται *ελλειμματικό* κατά περίπου 10^6 m^3 νερού σε ετήσια βάση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρά το σημαντικό έλλειμμα που παρουσιάζει το υδροφόρο σύστημα του Θριασίου κάθε χρόνο, δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα κάποιο εγχείρημα τεχνητού εμπλουτισμού.

Πίνακας 5.1. Εκτιμήσεις απολήψεων για τα υδροσημεία άντλησης της περιοχής μελέτης (ΙΓΜΕ, 2010)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΟ Υ	X	Y	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΗ ΝΕΡΟΥ (m ³)
Γ184	465429	4210515	22.000
Γ197	465659	4211670	11.000
Γ281	462947	4215411	73.000
Γ282	463167	4215595	9.000
Φ180	467066	4209754	3.600
Φ181	466017	4209635	8.400
Φ182	465793	4210113	9.000
Φ183	465745	4210236	7.200
Φ185	465137	4210608	6.300
Φ188	464582	4210319	2.700
Φ189	463382	4210493	2.700
Φ190	464625	4210518	3.600
Φ191	465362	4210439	3.100
Φ193	463637	4211649	5.400
Φ194	463898	4210260	4.200
Φ195	462777	4211513	4.500
Φ196	465413	4210932	4.500
Φ199	464573	4213986	7.200
Φ260	463988	4213989	36.000
Φ261	463110	4213716	2.500
Φ262	463403	4214022	12.000
Φ263	463574	4213960	7.500
Φ264	463625	4214515	10.000
Φ265	464327	4213433	16.000
Φ266	464667	4213216	12.000
Φ267	464812	4212968	8.400
Φ268	465276	4213182	9.000
Φ269	465321	4212442	8.400
Φ270	464813	4213153	55.000
Φ271	461151	4211660	3.600
Φ272	461930	4211594	2.800
Φ273	462492	4211900	5.400

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΟ Υ	X	Y	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΗ ΝΕΡΟΥ (m ³)
Φ274	462128	4212210	10.000
Φ275	461837	4212489	5.400
Φ276	462184	4213720	14.000
Φ277	462157	4213196	7.000
Φ279	462447	4212763	5.400
Φ280	463161	4214239	10.500
Φ283	462705	4215752	7.000
Φ284	462655	4215505	13.000
Φ285	462315	4215723	6.000
Φ286	462261	4214706	5.000
Φ287	462604	4215043	3.000
Φ288	462800	4215350	36.000
Φ289	463212	4214763	30.000
Φ290	462991	4214394	20.000
Φ291	462674	4214334	21.000
Φ292	462234	4214089	14.000
Φ293	458819	4213243	9.000
Φ294	458986	4212564	8.000
Φ295	459375	4212315	5.500
Φ325	463530	4215162	3.000
Φ326	463479	4214669	14.000
Φ327	462932	4212114	18.000
Φ328	462903	4211158	3.600
Φ330	462764	4212731	3.000
Φ331	458912	4212379	1.800
Φ332	459568	4211945	3.600
Φ333	459836	4211882	1.800
Φ334	459959	4212128	1.500
Φ335	460300	4212188	1.300
Φ336	460567	4211816	3.600
Φ337	459530	4214072	19.000
Φ338	458469	4211580	3.600
Φ341	458640	4211518	2.000
Φ342	463901	4210876	2.000
Φ343	464171	4211276	2.000
Φ344	460270	4210986	1.500

5.3. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ – ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : ΙΓΜΕ, 2010)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το Θριασίο πεδίο είναι μια περιοχή ιδιαίτερα επιβαρυνμένη από άποψη ρύπανσης, καθώς σε αυτή βρίσκονται και λειτουργούν μερικές από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες της χώρας, ενώ παράλληλα αποτελεί και σημαντικό αγροτικό κέντρο της ευρύτερης περιοχής του Λεκανοπεδίου. Η συγκέντρωση των δραστηριοτήτων αυτών, σε συνδυασμό με τη σημαντική οικιστική ανάπτυξη της περιοχής τις τελευταίες δεκαετίες και την επακόλουθη αύξηση του πληθυσμού, συνεπάγεται μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών και αστικών λυμάτων, τμήμα των οποίων καταλήγει άμεσα ή έμμεσα στους επιφανειακούς και υπόγειους αποδέκτες.

Στην περιοχή έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες για να διαπιστωθεί η ποιοτική κατάσταση των διαθέσιμων υδατικών και εδαφικών πόρων, γεγονός που αποδεικνύει τόσο το δεδομένο πρόβλημα ρύπανσης όσο και τη μεγάλη σημαντικότητα του Θριασίου πεδίου ως οικονομικού κέντρου.

Στον Πίνακα 5.2 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις στα σημεία παρακολούθησης της περιοχής για τις παραμέτρους που καθορίζουν την ποιότητα του υπόγειου υδατικού συστήματος.

5.3.1. Υφαλμύριση

Στο απόσπασμα του υδρογεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ της Εικόνας 5.1, παρουσιάζεται η ολομέτωπη θαλάσσια διείσδυση στην περιοχή του Θριασίου πεδίου, το πλάτος της οποίας κυμαίνεται από 4 έως και 7 χιλιόμετρα περίπου, αποτέλεσμα της συνεχούς υπεράντλησης του υπόγειου υδροφόρου της περιοχής, ο οποίος είναι ούτως ή άλλως ελλειμματικός, όπως προαναφέρθηκε.

Τα στοιχεία του Πίνακα 5.2 συνηγορούν προς αυτή την κατεύθυνση, αφού φαίνεται ότι από τα 35 υδροσημεία της περιοχής, στα 19 οι μέσες τιμές αγωγιμότητας υπερβαίνουν το 100% και σε άλλα 2 το 75%, αντίστοιχα, της ανώτερης αποδεκτής τιμής (2500 μ S/cm). Όσον αφορά τη συγκέντρωση χλωριόντων, οι αντίστοιχοι αριθμοί είναι 23 και 1.

Γενικά, οι τιμές της αγωγιμότητας λαμβάνουν τιμές από 400 μ S/cm έως 7622 μ S/cm, με τις μεγαλύτερες να εμφανίζονται στα υδροσημεία που βρίσκονται πλησιέστερα στην ακτογραμμή καθώς και στα ανατολικά όρια του υπόγειου υδατικού συστήματος, όπου έχει διεισδύσει το θαλάσσιο μέτωπο, και τις μικρότερες στο βόρειο τμήμα του πεδίου (Εικόνα 5.3).

Οι τιμές της συγκέντρωσης χλωριόντων κυμαίνονται μεταξύ 16,5 mg/l και 2246 mg/l, με την κατανομή τους στο χώρο να είναι παρόμοια με αυτή των αντίστοιχων τιμών της αγωγιμότητας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.4.

Από άποψη υφαλμύρισης λοιπόν, το υπόγειο υδατικό σύστημα του Θριασίου πεδίου αξιολογείται ότι βρίσκεται σε *κακή χημική κατάσταση* (Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ, 2010).

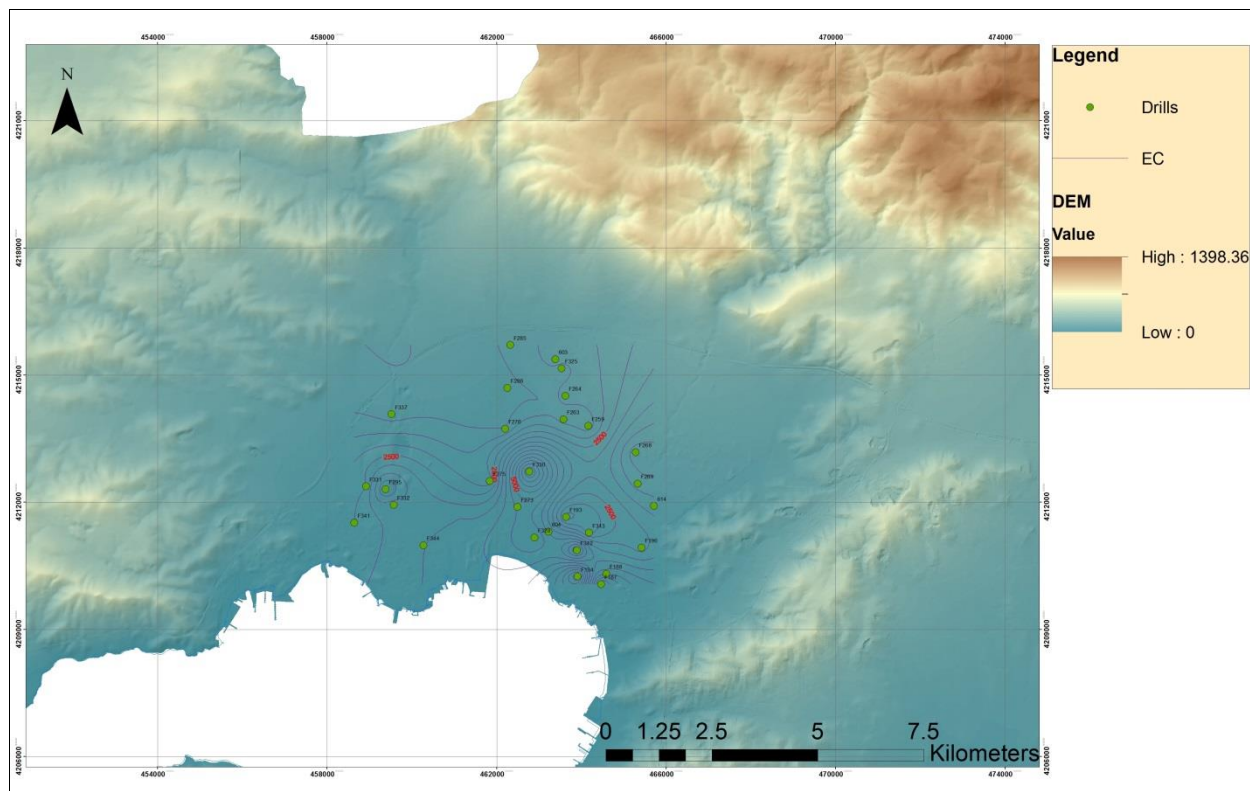
Πίνακας 5.2. Μέσες τιμές συγκέντρωσης ανά παράμετρο και θέση δειγματοληψίας για το ΥΥΣ Θριασίου πεδίου (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΕΙΔΟΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	pH	EC (μS/cm)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Mg (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Cr (μg/l)	Ni (μg/l)	Pb (μg/l)	Cd (μg/l)	Al (μg/l)	As (μg/l)	Hg (μg/l)
ΑΝΩΤΕΡΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΤΙΜΗ			6.5-9.5	2500	250	250	50	50	0,5	0,5	50	20	25	5	200	10	1
75% ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΤΙΜΗΣ			-	1875	187,5	188	37,5	37,5	0,38	0,38	37,5	15	18,8	3,75	150	7,5	0,75
0604	Π	7/1	7,9	3348	593,6	290,4	129,7	73,4	<0,05	<0,26	5	<5	7	<1	150	6	<1
0614	Π	8/0	7,6	3418	810,8	205,9	118,2	134,3	<0,10	<0,30	-	-	-	-	-	-	-
Φ187	Π	3/2	7,7	5349	1156,9	687,3	47,5	119,7	<0,05	<0,26	<5	16	<9	<1	603	9,5	<1
Φ188	Π	4/1	7,7	4291	1072,0	307,9	51,2	93,6	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	<5	<5	<1
Φ193	Π	4/2	7,8	923	72,7	65,8	74,5	39,1	<0,05	<0,26	<6	8,5	<5	<1	426,5	<5	<1
Φ194	Π	4/1	7,8	400	16,5	27,4	<50	14,1	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	250	<5	<1
Φ196	Π	3/1	7,5	2299	523,7	246,3	37,2	70,2	<0,05	<0,26	<5	8	<5	<1	35	<5	<1
Φ259	Π	7/1	7,9	1144	112,3	64,4	151,0	60,7	<0,05	<0,26	11	7	8	<1	550	5	<1
Φ263	Π	4/1	7,6	1280	108,3	100,9	251,0	72,4	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	<5	<5	<1
Φ264	Π	5/1	7,7	1479	158,7	142,4	228,2	72,4	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	<5	<5	<1
Φ268	Π	4/1	7,7	3464	647,3	246,0	100,8	74,2	<0,05	<0,26	9	<1	5	<1	<5	7	<1
Φ269	Π	4/1	7,5	4534	1206,5	290,8	217,0	205,5	<0,06	<0,26	9	12	5	<1	650	<5	<1
Φ271	Π	2/0	7,7	3393	845,0	192,8	27,9	60,8	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ273	Π	4/0	7,6	5485	1484,9	286,8	232,5	235,9	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ275	Π	4/0	7,9	1758	303,5	100,3	30,4	44,7	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ276	Π	4/2	7,8	1009	72,3	48,2	97,7	39,7	<0,05	<0,26	<7	<5,5	<7,5	<1	642	<5	<1
Φ285	Π	4/0	7,8	1143	119,6	52,6	128,8	59,1	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ286	Π	4/1	7,8	961	72,4	44,5	98,4	47,3	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	500	<5	<1
Φ290	Π	2/0	7,9	970	70,4	53,8	91,5	47,4	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ295	Π	4/1	7,6	4772	1283,8	298,0	82,2	127,8	<0,06	<0,26	<5	<5	<5	<1	<5	7	<1
Φ325	Π	4/1	7,7	1189	116,2	57,1	134,8	65,8	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	<5	<5	<1
Φ328	Π	4/1	7,9	4962	1114,3	453,3	131,8	153,5	<0,05	<0,26	5	7	31	<1	590	6	<1
Φ329	Π	2/0	7,6	4691	1077,5	333,5	120,9	152,5	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ330	Π	4/0	7,6	7622	2246,0	324,5	279,0	347,8	<0,05	<0,26	-	-	-	-	-	-	-
Φ331	Π	4/1	7,6	2285	411,3	202,8	102,4	81,0	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	<5	<5	<1
Φ332	Π	4/1	7,6	3372	767,3	225,8	49,6	80,9	<0,05	<0,26	6	<5	<5	<1	<1	<5	<1
Φ337	Π	4/1	7,9	776	71,9	55,9	31,0	33,2	<0,05	<0,26	61	48	<5	<1	<1	<5	<1
Φ341	Π	4/1	7,9	2535	526,5	180,4	49,6	73,8	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	36	<5	<1
Φ342	Π	4/1	7,7	6023	1558,3	381,8	68,2	155,5	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	57	9	<1
Φ343	Π	4/1	8,0	5578	1418,0	316,0	74,4	187,0	<0,05	<0,26	<5	<5	<5	<1	88	8	<1
Φ344	Π	4/1	7,6	4024	916,8	307,3	110,1	124,4	<0,05	<0,26	<5	5	<1	16	<5	<1	
Γ198	Γ	7/1	7,8	1399	232,3	48,2	83,7	68,2	<0,05	<0,26	9	6	27	<1	190	<5	<1
A/113	Π	27/5	7,8	4398	966,9	316	145	128	<0,05	<0,26	<8,0	<8,2	<8,4	<1	48,8	<6,3	<1
Θ/Φ78	Π	27/5	7,8	1631	254,7	67,6	174	81,1	<0,05	<0,26	<8	<8	<8	<1	79,5	5	<1
Φ200	Π	14/4	7,7	3296	786,7	195	123	127	<0,15	<0,26	<5	6,7	<5	<1	11,3	12	<1

5.3.2. Γενική χημική κατάσταση

Από τη μελέτη του Πίνακα 5.2 εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη γενική χημική κατάσταση του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της περιοχής του Θριασίου πεδίου, τα οποία παρακάτω παρουσιάζονται πιο αναλυτικά.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 50 mg/l και 280 mg/l και αποδίδονται κατά κύριο λόγο σε αστική ρύπανση, αλλά και σε αγροτικές δραστηριότητες. Δεδομένου ότι η ανώτερη αποδεκτή τιμή έχει οριστεί στα 50 mg/l, τα αποτελέσματα δε μπορούν να θεωρηθούν ενθαρρυντικά, αφού οι συγκεντρώσεις σε 27 από τα 35 σημεία ελέγχου υπερβαίνουν την τιμή αυτή, ενώ σε άλλα 3 είναι μεγαλύτερες από το 75% της ΑΑΤ. Η διασπορά των συγκεντρώσεων των νιτρικών παρουσιάζεται γραφικά στην Εικόνα 5.5.



Εικόνα 5.4. Χάρτης αγωγιμότητας υπόγειου υδατικού συστήματος Θριασίου πεδίου (στοιχεία : ΙΓΜΕ, 2010)

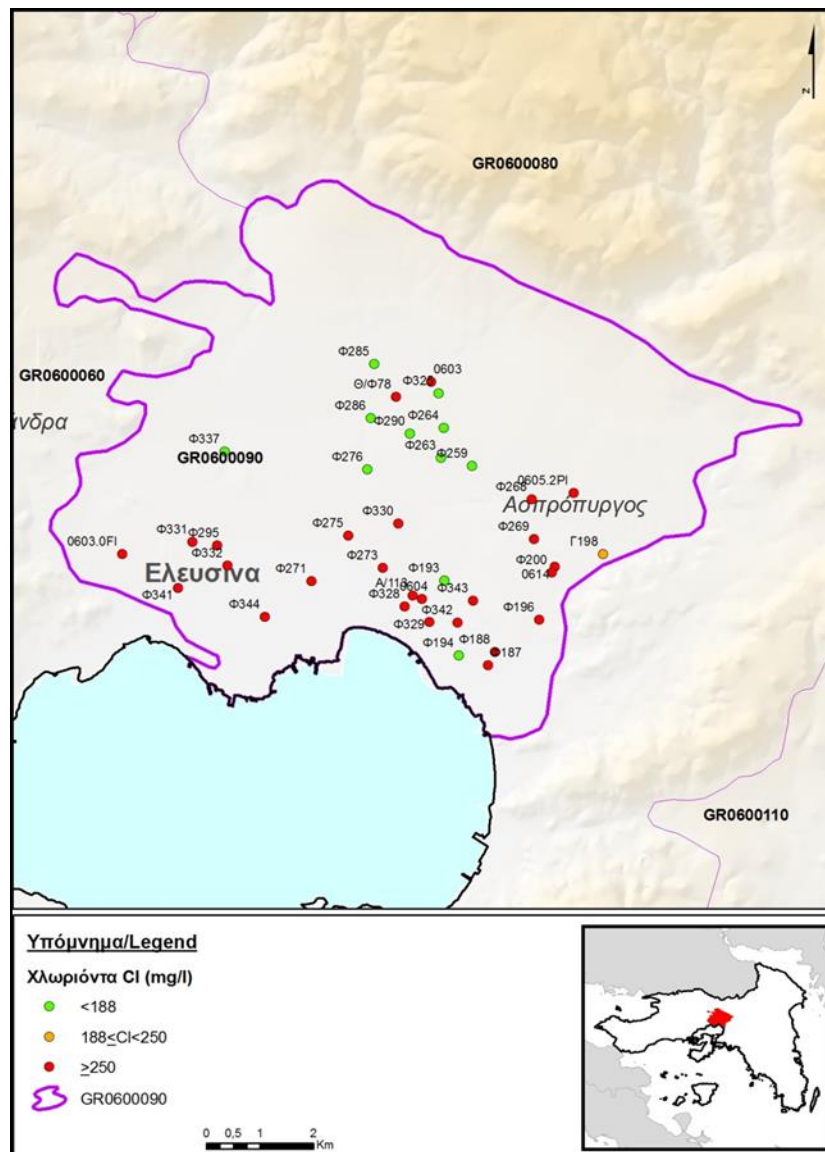
Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι η επιβάρυνση των υπογείων νερών με νιτρικά δεν οφείλεται σε βιομηχανική δραστηριότητα αλλά σε οικιακά λύματα και γεωργικά απόβλητα (λιπάσματα κ.ά.), αφού οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τους εμφανίζονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα του Θριασίου πεδίου, όπου αναπτύσσεται δραστηριότητα του πρωτογενούς τομέα και συγκεντρώνεται το σύνολο του πληθυσμού της περιοχής στα διάφορα οικιστικά κέντρα.

Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων *μαγνησίου* ξεπερνούν το όριο των 50 mg/l, που αποτελεί την AAT, σε ποσοστό άνω του 90% των σημείων ελέγχου, οπότε το πρόβλημα είναι καθολικό και δε μπορεί να συνδεθεί με κάποια συγκεκριμένη χρήση γης ή δραστηριότητα.

Επίσης, σε σημαντικό ποσοστό των υδροσημείων (συγκεκριμένα σε 13 από τα 35), εμφανίζονται μη αποδεκτές συγκεντρώσεις *θειικών* (>250 mg/l) και σε 6 ακόμη οι τιμές αυτές υπερβαίνουν το 75% της AAT. Η πλειονότητα των σημείων ελέγχου με αυξημένες συγκεντρώσεις *θειικών* παρατηρείται στην περιοχή κοντά στην ακτογραμμή, όπου είναι συγκεντρωμένες οι δραστηριότητες τους δευτερογενούς τομέα.

Τοπικά καταγράφονται και συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως *αλουμινίου* (Al), *νικελίου* (Ni), *μολύβδου* (Pb) και *αρσενικού* (As), σε σημεία κοντινά σε μεγάλες βιομηχανίες, λόγω των αποβλήτων της βιομηχανικής δραστηριότητας.

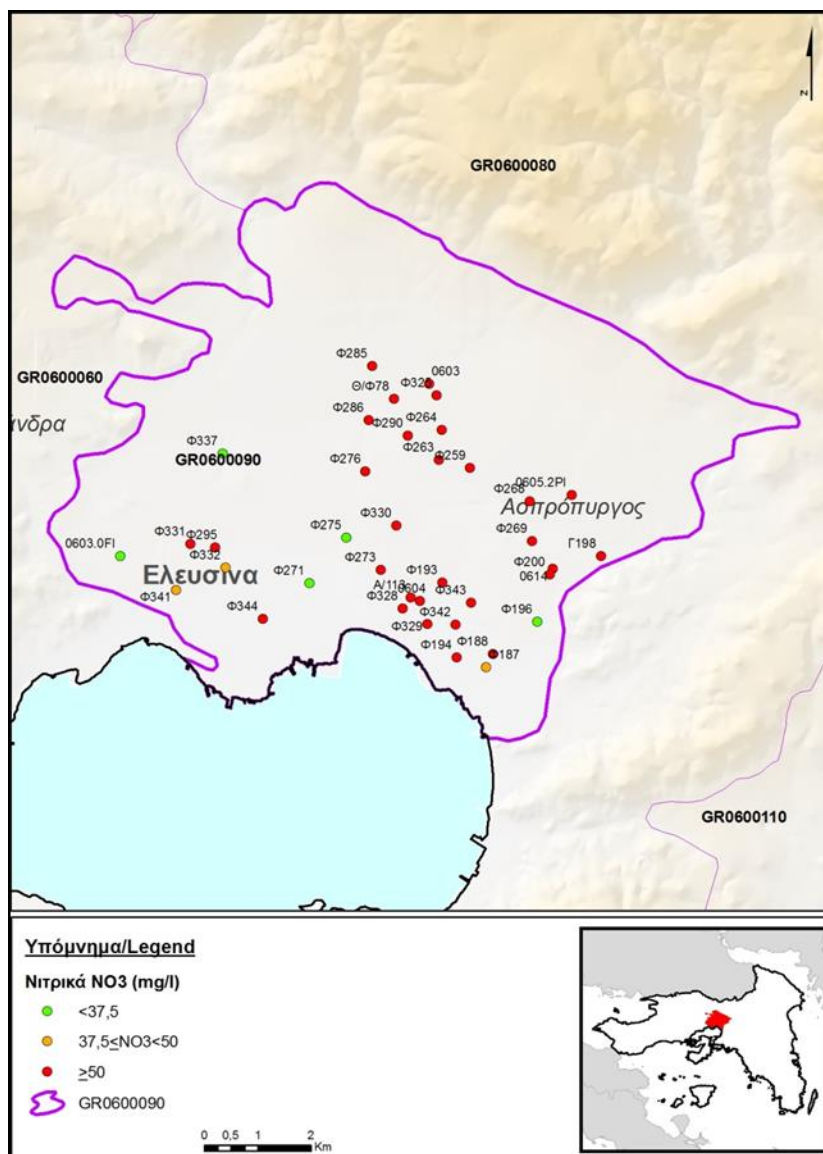
Το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το υπόγειο υδατικό σύστημα του Θριασίου πεδίου εκτιμάται σε *κακή ποιοτική (χημική) κατάσταση*, αφού ποσοστό 95% των υδροσημείων παρουσιάζουν κακή χημική κατάσταση λόγω ανθρωπογενούς ρύπανσης.



Εικόνα 5.5. Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων υπόγειου υδατικού συστήματος Θριασίου πεδίου (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ)

5.3.3. Υποβάθμιση χημικής και οικολογικής κατάστασης επιφανειακών υδατικών συστημάτων και χερσαίων οικοσυστημάτων

Το υπόγειο υδατικό σύστημα της περιοχής δε συνδέεται με χερσαία υδατικά οικοσυστήματα και επιφανειακά υδατικά συστήματα και επομένως δεν εφαρμόζονται οι έλεγχοι υποβάθμισης χημικής και οικολογικής κατάστασης επιφανειακών νερών και αλληλοεπηρεαζόμενων χερσαίων οικοσυστημάτων (Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ).



Εικόνα 5.6. Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών υπόγειου υδατικού συστήματος Θριασίου πεδίου (πηγή : Ε.Γ.Υδάτων – ΥΠΕΚΑ)

5.3.4. Έλεγχος επίδρασης στο νερό

Σύμφωνα με το Άρθρο 7 της Οδηγίας 2000/60/EC, το συγκεκριμένο ΥΥΣ δεν εντάσσεται στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών ως περιοχή που προορίζεται για άντληση ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση και, επομένως, δεν εφαρμόζεται ο έλεγχος επίδρασης στο πόσιμο νερό.

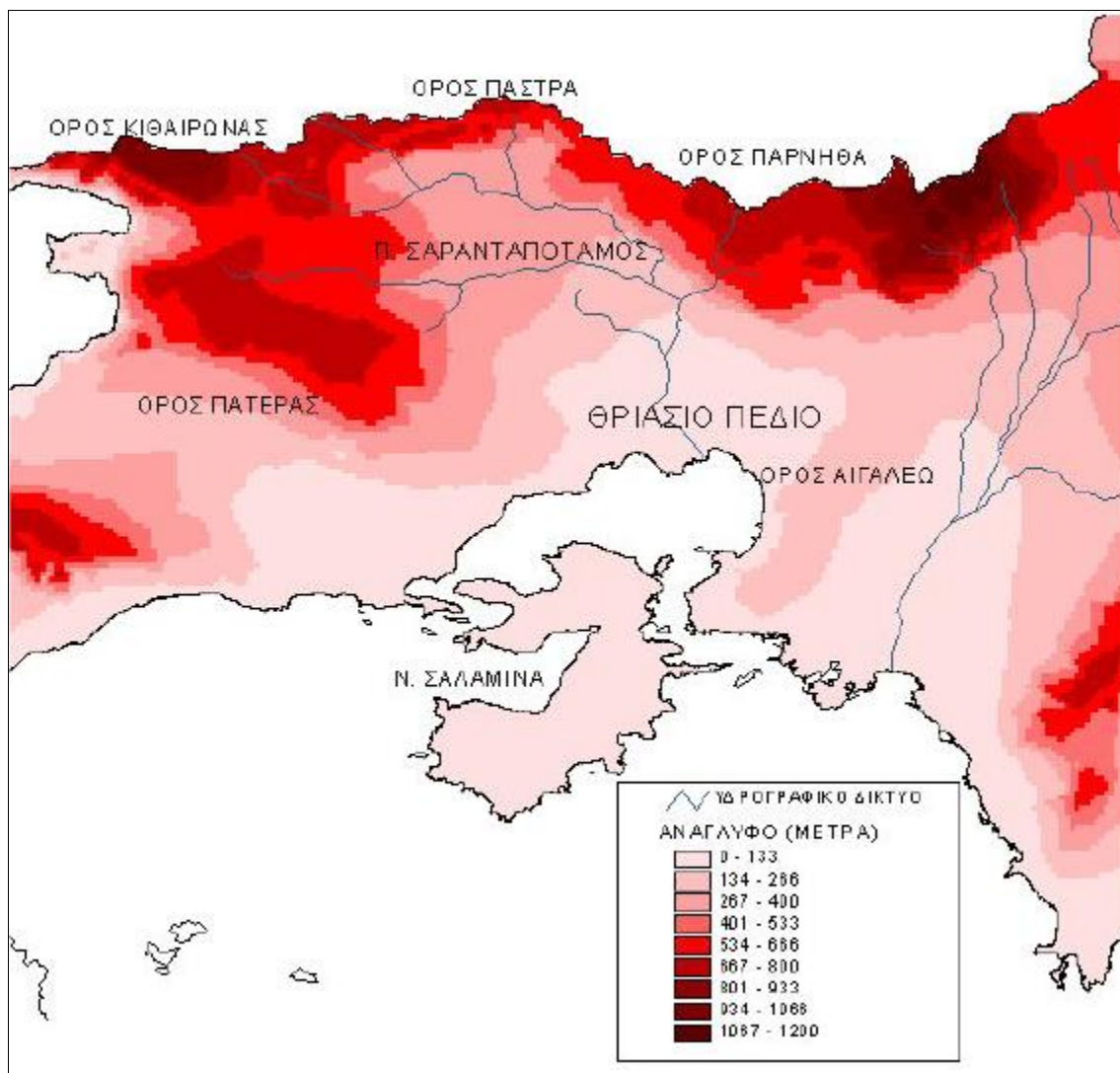
5.3.5. Διάγνωση τάσης ρύπανσης

Σύμφωνα με μελέτες της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων του ΥΠΕΚΑ, από την αξιολόγηση των διαθέσιμων στοιχείων των χημικών παραμέτρων αγωγιμότητας, χλωριόντων και νιτρικών, διαπιστώνεται σημαντική μειωτική τάση ρύπανσης των συγκεντρώσεων νιτρικών με ετήσιο

ρυθμό μείωσης 16,06 ή 32% της ανώτερης αποδεκτής τιμής τους. Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων και αγωγιμότητας, παρουσιάζουν ανοδική τάση η οποία όμως δεν θεωρείται σημαντική.

5.4. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Το κύριο υδατόρρευμα της περιοχής είναι ο Σαρανταπόταμος (μήκος 43 χιλιόμετρα) που διασχίζει τη κοιλάδα της Οινόης και το Θριάσιο πεδίο και χύνεται στο κόλπο της Ελευσίνας. Η λεκάνη απορροής του, που ορίζεται από τα όρη Πατέρας, Κιθαιρώνας, Πάστρα και Πάρνηθα, έχει έκταση περίπου 250 km² και καταλαμβάνει κατά προσέγγιση τη μισή έκταση του Θριάσιου πεδίου. Η κύρια πηγή του είναι στο όρος Κιθαιρώνας, κοντά στο χωριό Βίλια, ενώ στον κύριο κλάδο συμβάλλουν και οι χείμαρροι Αγ. Βλάσιος, Ξηρόρεμα και Μεγάλο Κατερίνι (Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν., 2001).



Εικόνα 5.7. Ανάγλυφο και επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο Θριασίου πεδίου (Κουτσογιάννης, Μαμάσης, 2001)

6. ΚΕΝΤΡΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ (Κ.Ε.Λ.) ΘΡΙΑΣΙΟΥ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου βρίσκεται εγκατεστημένο στο μυχό του κόλπου της Ελευσίνας, στην παραλία Ασπροπύργου, σε μία έκταση 62,5 στρεμμάτων. Δυτικά συνορεύει με τη βιομηχανία παραγωγής προϊόντων σιδήρου «Χαλυβουργική Α.Ε.», στα βόρεια οριοθετείται από την Εθνική Οδό Αθηνών-Κορίνθου, στα ανατολικά από ασφαλτοστρωμένο δρόμο, ενώ νότια βρέχεται από τα νερά του Σαρωνικού.



Εικόνα 6.1. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου (πηγή : Google Earth)

Η θέση του Κ.Ε.Λ. βρίσκεται σε περιοχή εκτός σχεδίου του Δήμου Ελευσίνας και έχει χαρακτηριστεί ως χώρος βιολογικού Καθαρισμού με την υπ' αρ. 21727/2005 απόφαση του Υπουργού ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (ΦΕΚ 627/Δ/2005), που αφορά στην τροποποίηση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Δήμου Ελευσίνας.

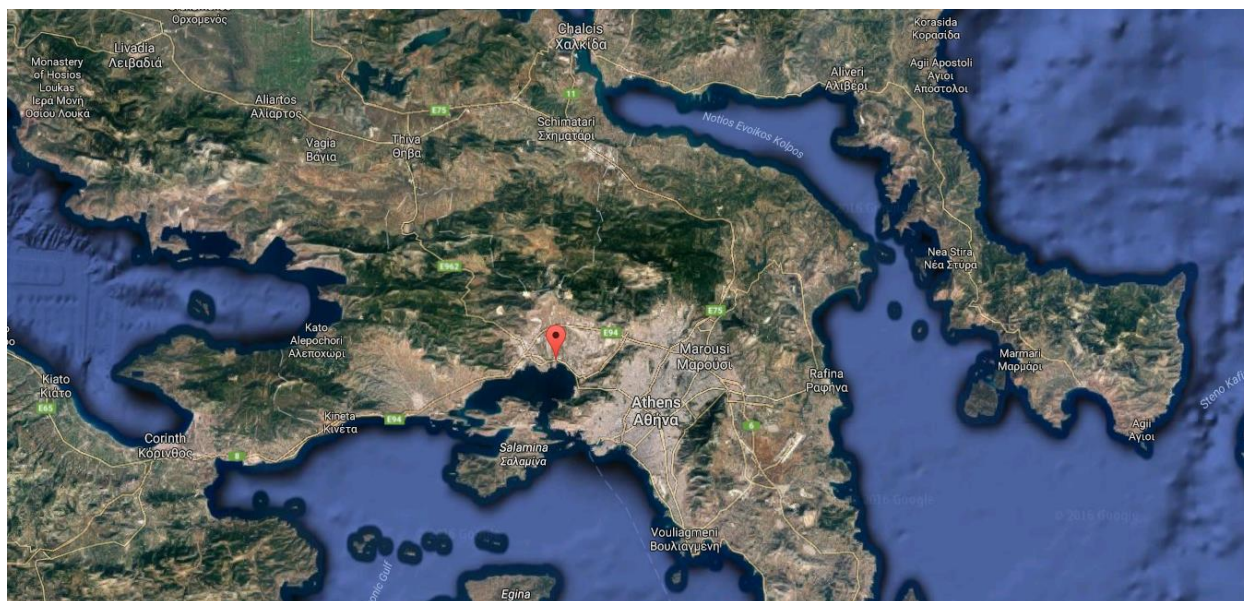
Η κατασκευή της εγκατάστασης ολοκληρώθηκε στις 07/04/2011, ενώ η λειτουργία του Κ.Ε.Λ. ξεκίνησε επίσημα στις 26/11/2012 (στοιχεία : ΥΠΕΚΑ). Φορέας του έργου είναι η ΕΥΔΑΠ.

6.2. ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Στην εγκατάσταση έχει προβλεφθεί να οδηγούνται τα αστικά λύματα των Δήμων Ελευσίνας, Ασπροπύργου και Μάνδρας-Ειδυλλίας, καθώς και τα προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα των βιοτεχνικών μονάδων και βιομηχανιών της περιοχής του Θριασίου πεδίου, τα οποία ενδεικτικά αφορούν στις εξής κατηγορίες :

- Χαλυβουργίες,
- Τσιμεντοβιομηχανίες,
- Διυλιστήρια πετρελαίου,
- Χαρτοβιομηχανίες,
- Βαφεία – φινιριστήρια,
- Απορρυπαντικά,
- Σφαγεία,
- Τρόφιμα.

Επίσης, πρόκειται να δεχτεί και τα αστικά λύματα του Θριάσιου Νοσοκομείου, δυναμικότητας 400 κλινών.



Εικόνα 6.2. Θέση του Κ.Ε.Λ. Θριάσιου στην ευρύτερη περιοχή (πηγή : Google Earth)

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης έγινε με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1. Δεδομένα σχεδιασμού Κ.Ε.Λ. Θριάσιου

	Α' φάση – 2010	Β' φάση – 2020
Ισοδύναμος πληθυσμός (κάτοικοι)	117000	223000
Μέση ημερήσια παροχή (m³/d)	21000	42000
BOD (kg/d)	7000	14000
Αιωρούμενα στερεά (kg/d)	7700	15400
Ολικό άζωτο (kg/d)	1040	2080
Φώσφορος (kg/d)	245	430

6.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επιλεγείσα μέθοδος επεξεργασίας για τα έργα της Α' φάσης είναι η μέθοδος της ενεργού ιλύος με ταυτόχρονη νιτροποίηση, απονιτροποίηση και αποφωσφόρωση, με περαιτέρω απομάκρυνση του φωσφόρου με την προσθήκη χημικών και διύλιση. Η μέθοδος που έχει επιλεγεί για την επεξεργασία της βιολογικής βαθμίδας της Β' φάσης είναι αυτή των βιοαντιδραστήρων με μεμβράνες (MBR).

Το Κ.Ε.Λ. Θριασίου περιλαμβάνει τα εξής επιμέρους στάδια επεξεργασίας :

- Φρεάτιο εισόδου με χονδροεσχάρες – Αντλιοστάσιο ανύψωσης
- Αγωγό παράκαμψης (by-pass ασφαλείας)
- Μονάδα προκαταρκτικής επεξεργασίας με :
 - Εσχάρωση
 - Εξάμμωση – Λιποσυλλογή
 - Μέτρηση παροχής
- Μονάδα πρωτοβάθμιου καθαρισμού με :
 - 2 δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης
 - Αντλιοστάσιο ανύψωσης
- Μονάδα βιολογικής επεξεργασίας με :
 - Προανοξική δεξαμενή
 - 4 δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας που η καθεμία περιλαμβάνει :
 - Αναερόβια ζώνη βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου
 - Ανοξική ζώνη βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου (απονιτροποίηση)
 - Ζώνη αερισμού για πλήρη νιτροποίηση
 - 2 δεξαμενές τελικής καθίζησης
 - Χημική αποφωσφόρωση με προσθήκη κροκιδωτικών (τριτοβάθμια επεξεργασία)
 - Διύλιση (δευτεροβάθμια επεξεργασία)
- Μονάδα απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία (UV)
- Μονάδα επεξεργασίας της παραγόμενης λάσπης με :
 - 2 καλυμμένες δεξαμενές ζύμωσης πρωτοβάθμιας λάσπης
 - Παχυντής βαρύτητας πρωτοβάθμιας λάσπης
 - Δεξαμενή εξισορρόπησης δευτεροβάθμιας λάσπης και περίσσειας λάσπης από τη μονάδα επεξεργασίας στραγγιδίων
 - 2 δεξαμενές επίπλευσης (πάχυνσης) δευτεροβάθμιας λάσπης
 - Δεξαμενή ανάμιξης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας παχυμένης λάσπης
 - Αναερόβια χώνευση (2 χωνευτές)
 - Δεξαμενή αποθήκευσης χωνευμένης ιλύος
 - Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
 - Μηχανική αφυδάτωση
- Μονάδα επεξεργασίας των στραγγιδίων από την επεξεργασία της λάσπης με :
 - 2 δεξαμενές με εναλλασσόμενη λειτουργία αερισμού (νιτροποίηση, απονιτροποίηση)
 - Δεξαμενή καθίζησης



Εικόνα 6.3. Άποψη δεξαμενής καθίζησης



Εικόνα 6.4. Δεξαμενές ζύμωσης λάσπης

Ακόμα, στη Β' φάση έργων προβλέπεται να προστεθούν :

- Μονάδα βιολογικής επεξεργασίας με 2 γραμμές βιολογικής επεξεργασίας που η καθεμία περιλαμβάνει :
 - Προανοξική ζώνη με ζώνη αποξυγόνωσης
 - Αναερόβια ζώνη
 - Ανοξική ζώνη
 - 2 παράλληλες ζώνες δεξαμενές αερισμού με βυθισμένες μεμβράνες (MBR)
- Στη μονάδα επεξεργασίας λάσπης :
 - Μηχανική πάχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος
 - 2 επιπλέον δεξαμενές επίπλευσης πρωτοβάθμιας ιλύος
 - 2 επιπλέον αναερόβιοι χωνευτές ιλύος
 - 1 επιπλέον δεξαμενή αποθήκευσης χωνευμένης ιλύος



Εικόνα 6.5. Δεξαμενή βιολογικής επεξεργασίας

6.4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Σύμφωνα με το θεμελιώδες σενάριο λειτουργίας του Κ.Ε.Λ., τα εισερχόμενα λύματα μετά την προεπεξεργασία εισέρχονται απευθείας στο Βιοαντιδραστήρα Νο3, στον οποίο έχουν εκτελεστεί οι εργασίες μετατροπής, καθώς και στη Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης Νο1, με παράκαμψη της Πρωτοβάθμιας Καθίζησης. Επιτυγχάνονται οι διεργασίες της νιτροποίησης, απονιτροποίησης καθώς και της απομάκρυνσης φωσφόρου (με θειικό αργίλιο) και απολύμανσης της εκροής με χλωρίωση μετά τη διύλιση. Η ανακυκλοφορούσα ιλύς επιστρέφει από το αντλιοστάσιο της ΔΤΚ

Νο1 με δύο εύκαμπτους αγωγούς οι οποίοι, παρακάμπτουν τον Προανοξικό Βιοαντιδραστήρα, καταλήγοντας στην αρχή του καναλιού τροφοδοσίας όλων των βιοαντιδραστήρων και τελικά στον Ενεργό Βιοαντιδραστήρα Νο3. Η τροφοδοσία της ανακυκλοφορούσας ιλύος γίνεται στην είσοδο του καναλιού τροφοδοσίας των βιοαντιδραστήρων, ώστε να εξασφαλισθεί η καλύτερη ανάμιξη και να αυξηθεί ο χρόνος ανάμιξης της δευτεροβάθμιας ιλύος με τα εισερχόμενα λύματα, υπό αναερόβιες συνθήκες. Η περίσσεια ιλύος απομακρύνεται καθημερινά και αποθηκεύεται προσωρινά στη δεξαμενή αποθήκευσης χωνευμένης ιλύος, που προς στο παρόν λειτουργεί ως βαρυτικός παχυντής. Η παχυμένη, πλέον, περίσσεια αποτελεί την τροφοδοσία της μονάδας της αφυδάτωσης. Η αφυδατωμένη ιλύς μεταφέρεται με καδοφόρα οχήματα στη μονάδα ξήρανσης του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας.

Τα επεξεργασμένα λύματα διατίθενται στη θαλάσσια περιοχή του κόλου της Ελευσίνας (θέση «Λουζιτάνια»), που βρίσκεται εντός της περιοχής που ορίζεται από την υπ' άρ. 17823/5.11.79 απόφαση του Νομάρχη Δυτικής Αττικής. Εκβάλλουν μέσω υποθαλάσσιου αγωγού μήκους 1620m περίπου, με επιπλέον διαχυτήρα μήκους 63m περίπου, σε βάθος πυθμένα 14m. Την ίδια χάραξη ακολουθεί και ο υποθαλάσσιος αγωγός παράκαμψης (by-pass ασφαλείας), ο οποίος έχει μήκος περίπου 1000 m και εκβάλλει σε βάθος 10m κατά προσέγγιση.

Σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική που ακολουθείται στη λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας των λυμάτων, για την πληρέστερη παρακολούθηση της λειτουργίας του Κ.Ε.Λ. Θριασίου λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα εισερχόμενων και επεξεργασμένων λυμάτων από τους εγκατεστημένους αυτόματους δειγματολήπτες στο κτίριο της προεπεξεργασίας (μετά τη λεπτο-εσχάρωση) και στο κτίριο του αντλιοστασίου εξόδου (μετά τη διύλιση), αντιστοίχως. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα είναι στιγμιαία (ή/και σύνθετα-στιγμιαία) και λαμβάνονται από το προσωπικό της Υπηρεσίας Κ.Ε.Λ.Θ. Οι εργαστηριακές αναλύσεις εκτελούνται κυρίως στο εργαστήριο του Κ.Ε.Λ. Θριασίου, αλλά συμπληρωματικά και στο εργαστήριο της Υπηρεσίας Ελέγχου Ποιότητας Βιομηχανικών Αποβλήτων και Λυμάτων (ΥΠ.Ε.Π.Β.Α.Λ), στον Ακροκέραμο, με την αποστολή δειγμάτων λυμάτων και ιλύος σε αυτό δύο φορές την εβδομάδα, σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στο διεθνές εγχειρίδιο «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater».

6.5. ΦΟΡΤΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σύμφωνα με τον υπεύθυνο λειτουργίας της εγκατάστασης, στην παρούσα φάση το Κ.Ε.Λ. Θριασίου δέχεται τα αστικά λύματα από το δίκτυο αποχέτευσης της Ελευσίνας. Το συγκεκριμένο δίκτυο είναι χωριστικό, ενώ τα εισερχόμενα φορτία αντιστοιχούν σε 50.000 Μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού. Όσον αφορά τις βιομηχανικές μονάδες της περιοχής, προς το παρόν δεν υπάρχει σύνδεση κάποιας από αυτές με το δίκτυο του Κ.Ε.Λ. (στοιχεία 2015).

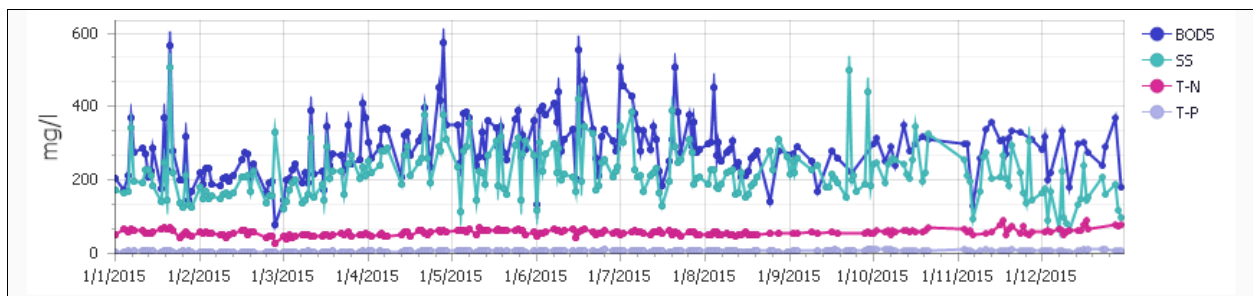
Η συνολική εισερχόμενη παροχή λυμάτων στο Κ.Ε.Λ. είναι περίπου 2200 m³/d (ετήσιος μέσος όρος), με τη μέγιστη παροχή να φτάνει τα 2400 m³/d. Όσον αφορά το φορτίο BOD₅, κυμαίνεται κατά μέσο όρο στα 610 kg/d (ετήσιος μέσος όρος), ενώ το μέγιστο φορτίο είναι περίπου 700kg/d. Τέλος, η ποσότητα της παραγόμενης λυματολάσπης ανέρχεται σε 8 x 10⁵ kg ετησίως περίπου (στοιχεία : Ειδική Γραμματεία Υδάτων – astikalimata.ypeka.gr).

Είναι αντιληπτό ότι η εγκατάσταση του Κ.Ε.Λ. Θριασίου λειτουργεί ακόμα αρκετά χαμηλότερα από τη δυναμικότητά της, λόγω καθυστερήσεων στις συνδέσεις τόσο των δικτύων αποχέτευσης των υπόλοιπων περιοχών που προβλέπεται να εξυπηρετεί, όσο και των βιομηχανικών μονάδων της ευρύτερης περιοχής.

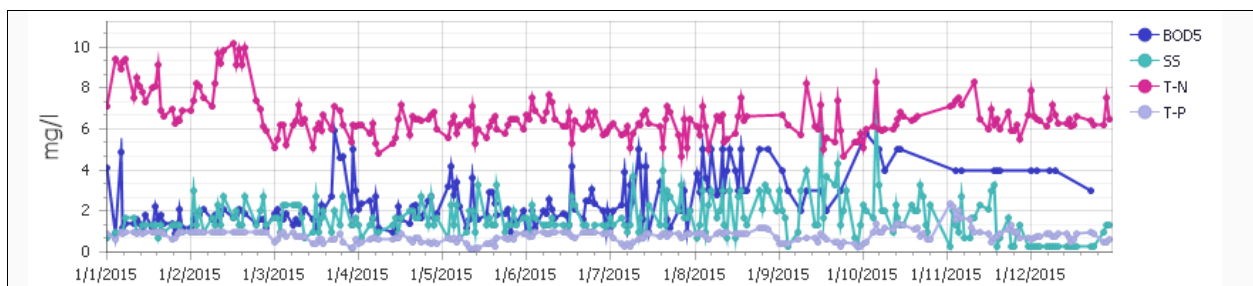
6.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους που διέπουν τη λειτουργία του Κ.Ε.Λ. Θριασίου, όπως προβλέπεται από την Κ.Υ.Α. 67414/3.6.1999 Ε.Π.Ο. και την τροποποίησή της με την Κ.Υ.Α. 85765/30.10.2002, για τα επεξεργασμένα απόβλητα πρέπει να πληρούνται τα προβλεπόμενα από την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ όρια, όσον αφορά τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Βέβαια, μεταγενέστερα έχει εκδοθεί στη χώρα μας η Κ.Υ.Α. 145116/2011, η οποία, όπως έχει προαναφερθεί, καθορίζει τα αποδεκτά όρια των ποιοτικών παραμέτρων των επεξεργασμένων λυμάτων για επαναχρησιμοποίηση για τις διάφορες χρήσεις.

Στις Εικόνες 6.6-6.7 που παρατίθενται παρακάτω, παρουσιάζονται γραφικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τόσο των εισερχόμενων λυμάτων όσο και των επεξεργασμένων εκροών από το Κ.Ε.Λ., βάσει μετρήσεων που έγιναν κατά τη λειτουργία του το έτος 2015.



Εικόνα 6.6. Συνολική εικόνα ποιοτικών παραμέτρων εισερχόμενων λυμάτων για το 2015.

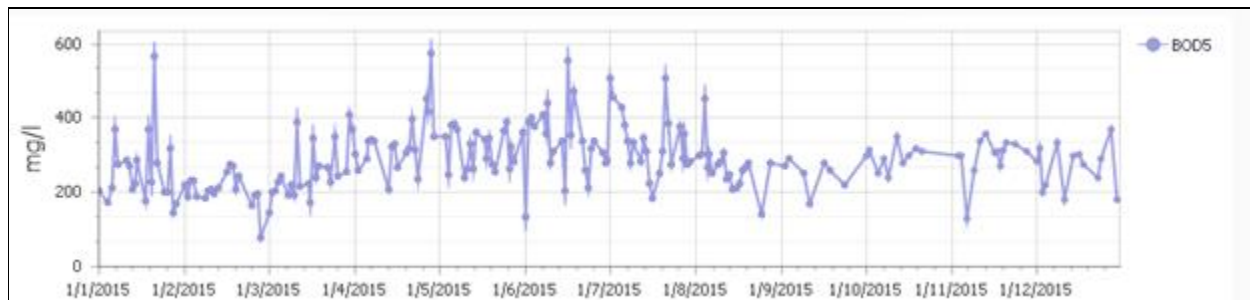


Εικόνα 6.7. Συνολική εικόνα ποιοτικών παραμέτρων των εκροών για το 2015.

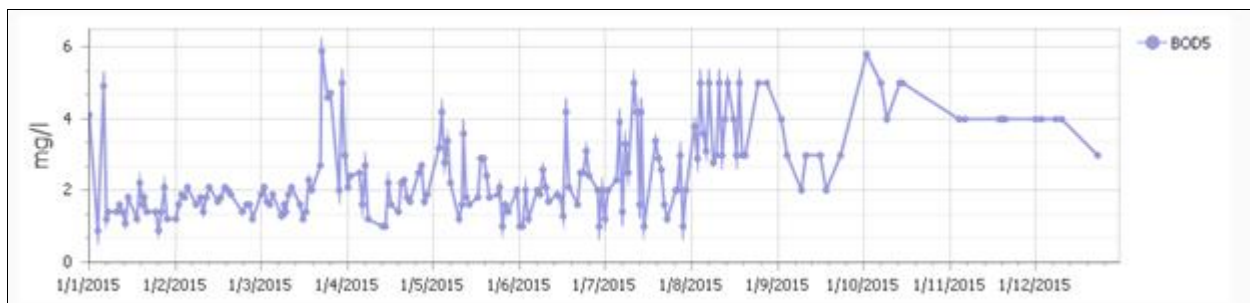
Εν συνεχεία, εξετάζονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα για κάθε παράμετρο, ώστε να γίνει η σύγκριση μεταξύ των συγκεντρώσεων στα εισερχόμενα λύματα και στα επεξεργασμένα, κάνοντας πιο εύληπτη την επίδραση της επεξεργασίας των λυμάτων στο Κ.Ε.Λ.

6.6.1. BOD₅

Οι συγκεντρώσεις BOD₅ στα εισερχόμενα λύματα εμφανίζουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 100 και 600 mg/l περίπου, με τον ετήσιο μέσο όρο τους να είναι 300 mg/l περίπου (Εικόνα 6.8). Μετά την επεξεργασία τους στο Κ.Ε.Λ., από τις μετρήσεις στις εκροές διαπιστώνεται σχεδόν πλήρης απομάκρυνση του BOD₅, με μέγιστη συγκέντρωση περίπου 6 mg/l και μέσο όρο 2 mg/l περίπου (Εικόνα 6.9). Σε κάθε περίπτωση πάντως, ικανοποιείται η απαίτηση τόσο της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ για ανώτατη συγκέντρωση 25mg/l όσο και η πολύ αυστηρότερη της ΚΥΑ 145116/2011 που θέτει ως όριο τα 10mg/l για το 80% των δειγμάτων.



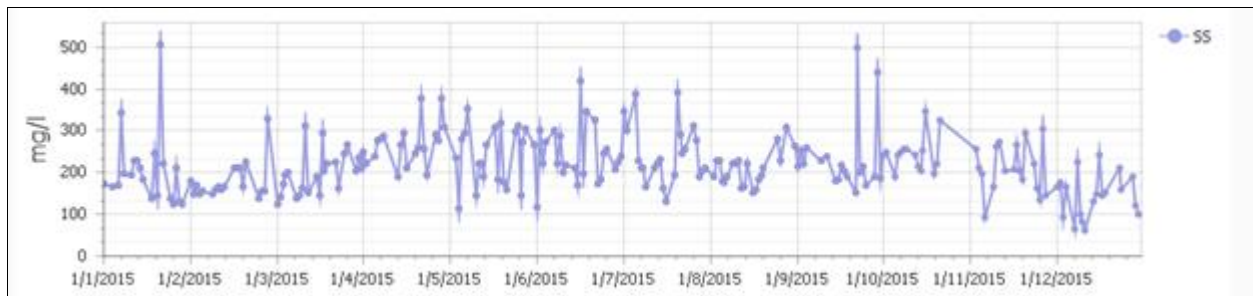
Εικόνα 6.8. Συγκεντρώσεις BOD₅ στα εισερχόμενα λύματα (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)



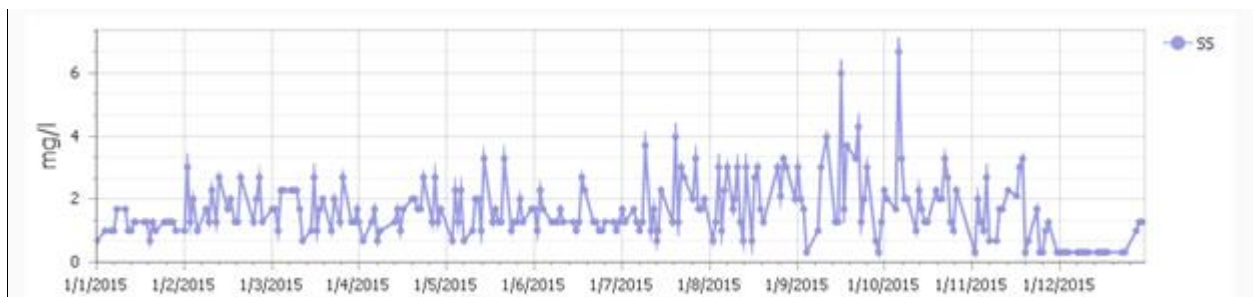
Εικόνα 6.9. Συγκεντρώσεις BOD₅ στην εκροή (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)

6.6.2. Αιωρούμενα στερεά (SS)

Οι μετρήσεις στις εισροές εμφανίζουν συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών με μέσο όρο 250 mg/l περίπου και μέγιστη τιμή 500mg/l περίπου (Εικόνα 6.10). Στα εξερχόμενα επεξεργασμένα λύματα, οι συγκεντρώσεις στα περισσότερα δείγματα έχουν σχεδόν μηδενικές τιμές (<1-2 mg/l), με ελάχιστα δείγματα να εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις, μικρότερες ωστόσο από 7mg/l (Εικόνα 6.11). Ικανοποιούνται τα κριτήρια της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ (<35 mg/l) και της ΚΥΑ 145116/2011 (≤ 2 mg/l για το 80% των δειγμάτων).



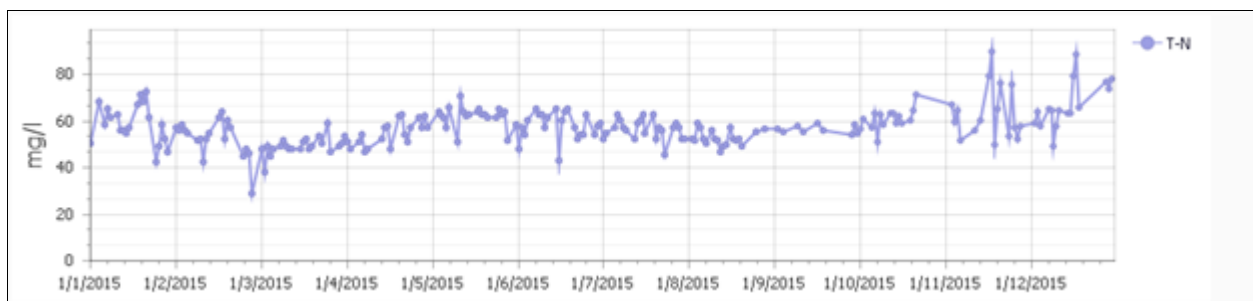
Εικόνα 6.10. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα λύματα (astikalimata.ypeka.gr)



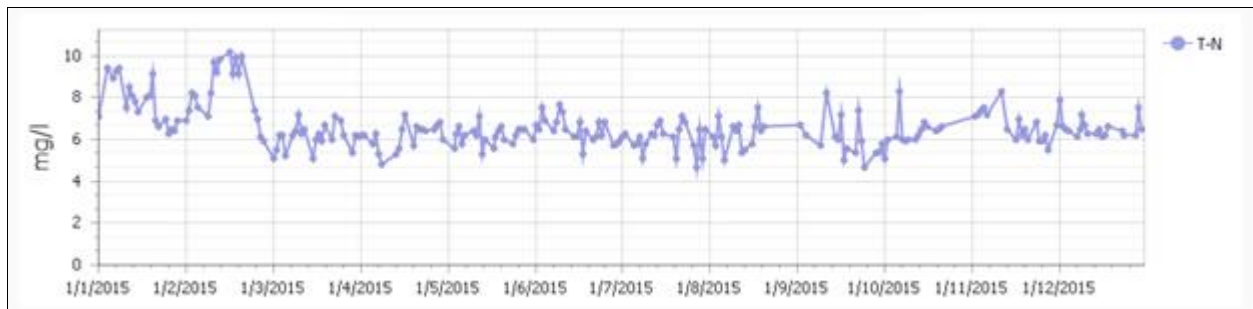
Εικόνα 6.11. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών στην εκροή (astikalimata.ypeka.gr)

6.6.3. Ολικό άζωτο (T-N)

Οι συγκεντρώσεις ολικού αζώτου (νιτρικών) στα ανεπεξέργαστα λύματα που εισέρχονται στο Κ.Ε.Λ. παρουσιάζουν εύρος τιμών από 30 έως 90mg/l περίπου, ενώ ο ετήσιος μέσος όρος τους ανέρχεται σε 60mg/l περίπου (Εικόνα 6.12). Μετά την επεξεργασία τους, ο αντίστοιχος μέσος όρος έχει πέσει στα 6,5mg/l περίπου, με τις μέγιστες συγκεντρώσεις να λαμβάνουν τιμές γύρω στα 10mg/l (Εικόνα 6.13). Η απαίτηση της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ είναι για ανώτατη συγκέντρωση 15mg/l (για πληθυσμούς μικρότερους από 100.000 Μ.Ι.Π.), η οποία ικανοποιείται.



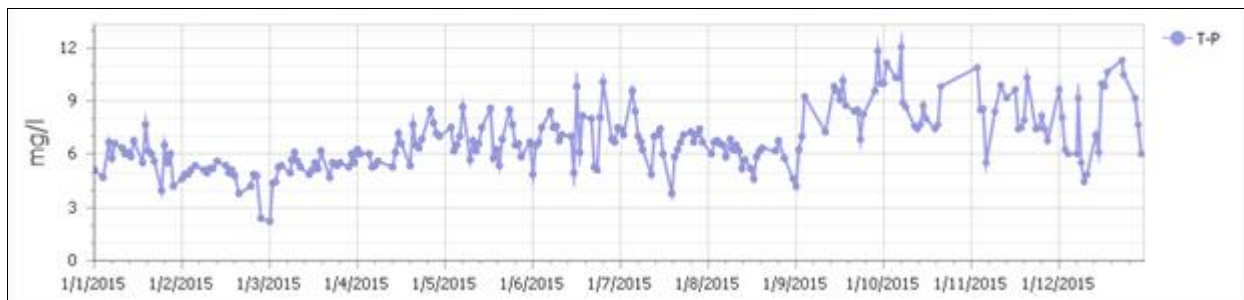
Εικόνα 6.12. Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου στα εισερχόμενα λύματα (astikalimata.ypeka.gr)



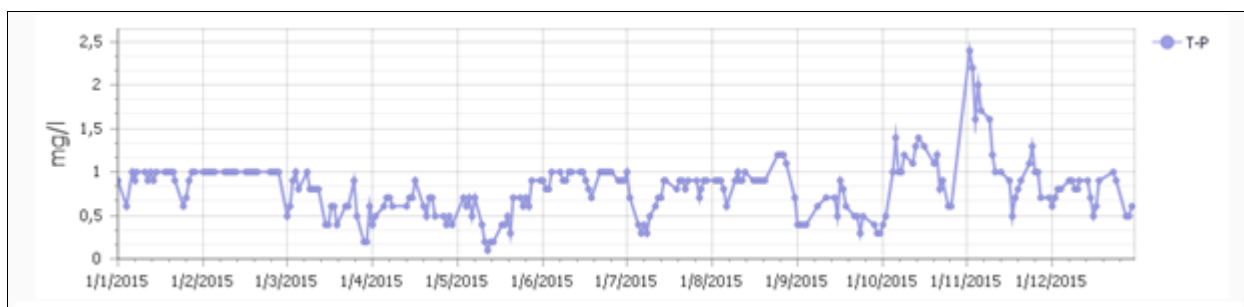
Εικόνα 6.13. Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου στην εκροή (astikalimata.ypeka.gr)

6.6.4. Ολικός φώσφορος (T-P)

Οι τιμές των συγκεντρώσεων ολικού φωσφόρου στα εισερχόμενα λύματα κυμαίνονται από 3 έως 12 mg/l, με ετήσιο μέσο όρο 8mg/l περίπου (Εικόνα 6.14). Κατόπιν επεξεργασίας, οι συγκεντρώσεις εμφανίζονται μειωμένες στο επίπεδο του 1mg/l κατά μέσο όρο, σε κάθε περίπτωση πάντως μικρότερες από 2 mg/l, με εξαίρεση 1-2 δείγματα (Εικόνα 6.15). Συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση ικανοποιείται η συνθήκη για συγκέντρωση ολικού φωσφόρου $\leq 2\text{mg/l}$ της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ.



Εικόνα 6.14. Συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου στα εισερχόμενα λύματα (astikalimata.ypeka.gr)



Εικόνα 6.15. Συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου στην εκροή (astikalimata.ypeka.gr)

6.6.5. Συγκεντρωτικός έλεγχος λειτουργίας

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται, συγκεντρωτικά για την τελευταία 5-ετία, ο έλεγχος συμμόρφωσης του Κ.Ε.Λ. Θριασίου με τις απαιτήσεις του θεσμικού πλαισίου που διέπει τη λειτουργία του.

Πίνακας 6.2. Έλεγχος συμμόρφωσης με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο για τα επεξεργασμένα λύματα στο Κ.Ε.Λ. Θριασίου (πηγή : astikalimata.ypeka.gr)

Έτος / Παράμετρος	BOD ₅	COD	T-SS	T-N	T-P
2015	✓	✓	✓	✓	✓
2014	✓	✓	✓	✓	✓
2013	✓	✓	✓	✓	✓
2012	X	✓	✓	X	X

6.6.6. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τις τιμές και τα γραφήματα που παρατέθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι τα προϊόντα της διαδικασίας επεξεργασίας λυμάτων στο Κ.Ε.Λ. Θριασίου πληρούν όλες τις προδιαγραφές για πιθανή επαναχρησιμοποίησή τους για σκοπούς τεχνητού εμπλουτισμού. Παρότι η εγκατάσταση και η λειτουργία της μονάδας έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ και την ΚΥΑ 5673/400/1997, εντούτοις διαπιστώνεται πλήρης συμμόρφωση όχι μόνο με αυτές αλλά και με τη μεταγενέστερη ΚΥΑ 145116/2011, η οποία θέτει σαφώς αυστηρότερα κριτήρια για την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων για επαναχρησιμοποίηση.

Πρέπει να τονιστεί και πάλι, βέβαια, ότι στην παρούσα φάση λειτουργίας του Κ.Ε.Λ. Θριασίου, οι εκροές δεν επαναχρησιμοποιούνται, παρά χύνονται στον κόλπο της Ελευσίνας, ενώ η παραγόμενη λυματολάσπη μεταφέρεται στο Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας.

7. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SAT (SOIL-AQUIFER TREATMENT SYSTEMS)

7.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όπου οι εδαφικές και υδρογεωλογικές συνθήκες ευνοούν τον τεχνητό εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου με τη μέθοδο των λεκανών διήθησης, μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη βελτίωση της ποιότητας του νερού εμπλουτισμού αφήνοντας τα μερικώς επεξεργασμένα λύματα να κινηθούν προς τον υδροφορέα μέσω της ακόρεστης ζώνης (vadose), η οποία λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο, απομακρύνοντας τα αιωρούμενα στερεά (SS), το BOD, τα βακτήρια, τους ιούς και άλλους μικροοργανισμούς. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων νιτρικών, αζώτου, φωσφορικών και βαρέων μετάλλων. Αυτή η φυσική μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων λέγεται *μέθοδος εδάφους-υδροφορέα* και είναι ευρέως γνωστότερη ως SAT (Soil-Aquifer Treatment) (FAO, 1992).

Παρά το γεγονός ότι η ποιότητα του ανακτημένου νερού που προκύπτει από τη διαδικασία SAT είναι πολύ καλύτερη από αυτή των αρχικών υγρών αποβλήτων, εντούτοις μπορεί να μην έχει φτάσει στο επίπεδο της ποιότητας των φυσικών υπογείων νερών του υδροφορέα (Bdour et al., 2009). Για το λόγο αυτό, πρέπει να αποφεύγεται η ανάμιξη των ανακτημένων λυμάτων που παροχετεύονται στα συστήματα SAT με τα υπόγεια νερά, μέσω της χρήσης ενός μικρού τμήματος μόνο του υπόγειου υδροφορέα για τη διαδικασία SAT (Asano and Cotruvo, 2004), με το μεγαλύτερο τμήμα του επαναχρησιμοποιημένου νερού να αντλείται ξανά από τον υδροφορέα μέσω επαρκών υδρομαστευτικών έργων (NRC, 1994) (Abel, 2014).

Τα SAT συστήματα είναι σχετικά απλά στην κατασκευή τους και τη λειτουργία τους, ανθεκτικά στο χρόνο και μικρού κόστους. Από τη στιγμή που το νερό απολαμβάνεται από γεώτρηση μετά τη διαδικασία SAT και όχι από κάποια εγκατάσταση τριτογενούς ή προηγμένης επεξεργασίας λυμάτων, οι άνθρωποι το αντιμετωπίζουν σαν υπόγειο υδάτινο πόρο παρά σαν προϊόν επεξεργασίας λυμάτων. Αυτό αποτελεί ένα αισθητικό και ψυχολογικό πλεονέκτημα και βοηθάει στην αποδοχή του κοινού της επαναχρησιμοποίησης αυτών των νερών (Διαμαντής, Πλιάκας, Καλλιώρας, 2015).

Η διαδικασία απομάκρυνσης του αζώτου και των μικροοργανισμών είναι ανανεώσιμες και μπορούν να εφαρμόζονται διηλεκώς, ενώ άλλα συστατικά, όπως τα μέταλλα και τα φωσφορικά, μπορεί να συγκεντρώνονται στο έδαφος και στην ακόρεστη ζώνη. Ωστόσο, ο ρυθμός συγκέντρωσης είναι μάλλον αργός και ίσως να απαιτούνται δεκαετίες ή και αιώνες για να επηρεάσουν το πορώδες και την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους και, επομένως, την ικανότητα διήθησης της ακόρεστης ζώνης. Για αυτούς τους λόγους τα συστήματα SAT έχουν συνήθως μακρά διάρκεια ζωής (Bouwer, 1991) (Διαμαντής, Πλιάκας, Καλλιώρας, 2015).

Η λειτουργία ενός συστήματος SAT εξαρτάται από την περιοχή εφαρμογής και σχετίζεται με την ποιότητα των αποβλήτων, το έδαφος, την υδρογεωλογία και το κλίμα. Γι' αυτό σε περιοχές στις οποίες δεν έχει εφαρμοσθεί ποτέ ένα σύστημα SAT, είναι αναγκαία η εγκατάσταση πιλοτικών ή πειραματικών μονάδων πριν την εγκατάσταση των μονάδων ευρείας εφαρμογής, για να αξιολογηθεί η δυνατότητα εφαρμογής και να σχεδιαστεί το σύστημα SAT για optimum

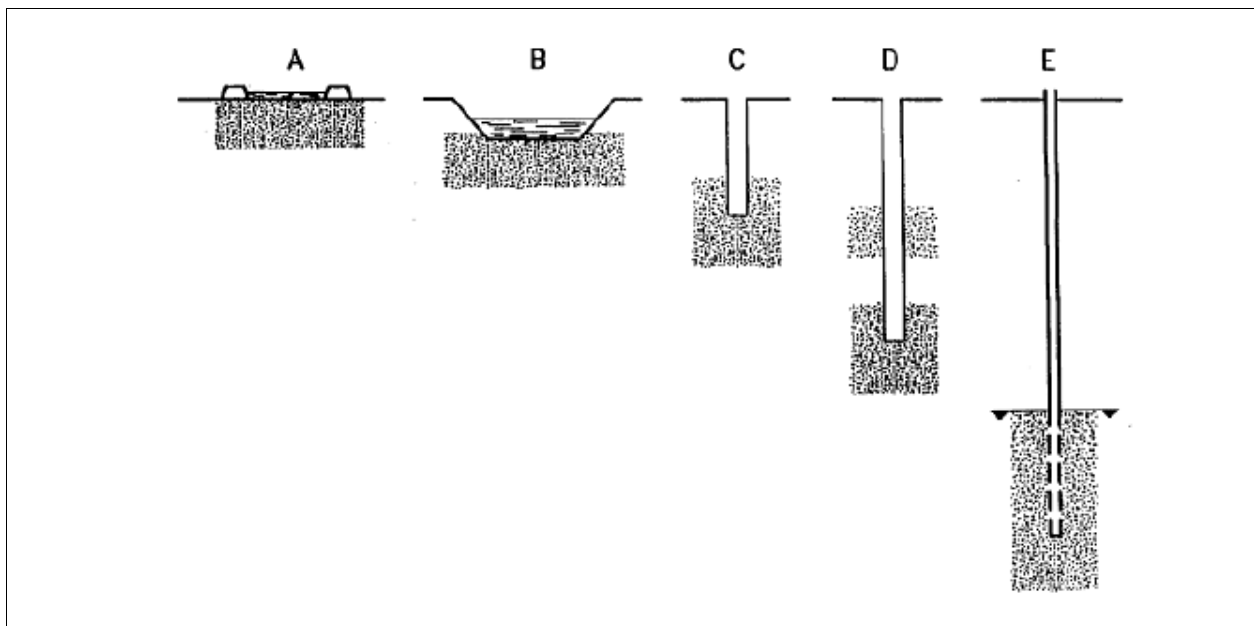
λειτουργία. Πολλή προσοχή πρέπει να δοθεί στο σωστό σχεδιασμό και λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας των αποβλήτων (Διαμαντής, Πλιάκας, Καλλιώρας, 2015).

7.2. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAT (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Abel, 2014)

Υπάρχουν 3 βασικοί τύποι συστημάτων SAT που χρησιμοποιούνται για επεξεργασία υγρών αποβλήτων, οι οποίοι είναι :

- οι λεκάνες διήθησης ή κατάκλυσης,
- οι γεωτρήσεις διήθησης στην ακόρεστη ζώνη και
- οι γεωτρήσεις απευθείας εμπλουτισμού (Bouwer, 1999 ; Metcalf et al., 2007).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο του συστήματος SAT που είναι καταλληλότερο για εφαρμογή σε μια περιοχή μελέτης είναι *το έδαφος, η υδρογεωλογία, η αξία της γης και οι απαιτήσεις προεπεξεργασίας των λυμάτων* (Bouwer, 2002). Για παράδειγμα, ενώ οι λεκάνες διήθησης είναι εφαρμόσιμες σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κατάλληλη μορφολογία εδάφους και απεριόριστος υπόγειος υδροφόρος με ακόρεστη ζώνη, οι άλλοι 2 τύποι συστημάτων SAT μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις όπου τα κριτήρια αυτά δεν ικανοποιούνται (Metcalf et al., 2007).



Εικόνα 7.1. Τύποι συστημάτων SAT (Bouwer, 1999) (πηγή : Abel, 2014)

Στην περίπτωση των *λεκανών διήθησης ή κατάκλυσης*, τα προεπεξεργασμένα λύματα παροχετεύονται απευθείας στην επιφάνεια μιας ευρείας εδαφικής έκτασης, κάτω από την οποία λαμβάνει χώρα η διαδικασία επεξεργασίας μέσω της κατακόρυφης διήθησης των υγρών αποβλήτων. Το συγκεκριμένο σύστημα SAT προϋποθέτει έδαφος υψηλής διαπερατότητας, το οποίο δεν είναι ρυπασμένο και στο οποίο δε συναντώνται αδιαπέρατοι σχηματισμοί, καθώς και ακόρεστη ζώνη ικανού πλάτους (Bouwer, 1999 ; Crites et al., 2000 ; USEPA, 2006). Ο υπόγειος υδροφόρος κάτω από την ακόρεστη ζώνη πρέπει να είναι απεριόριστος και επαρκούς

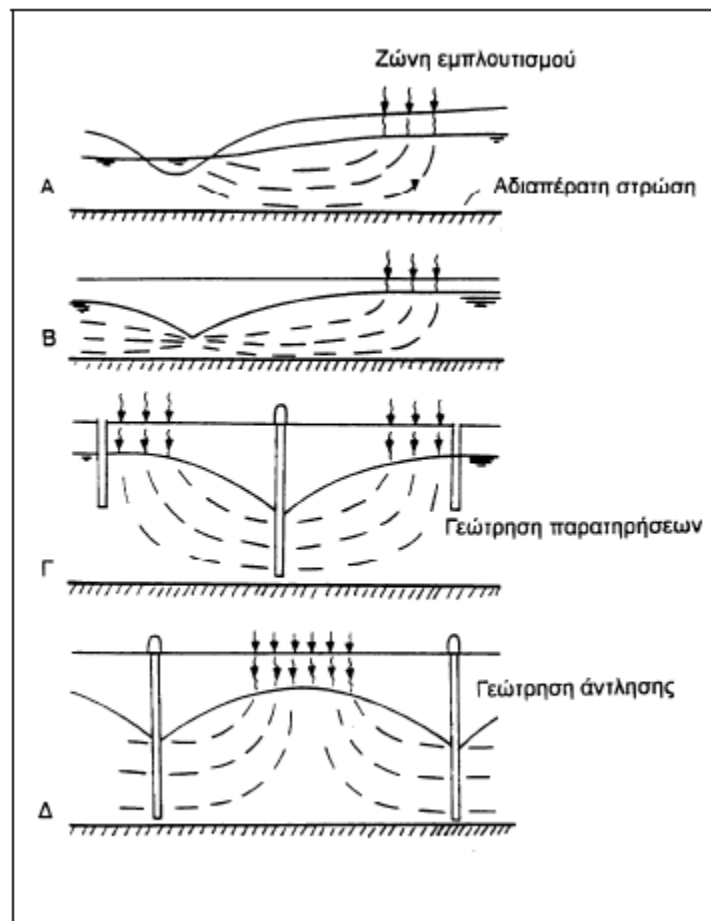
μεταβιβαστικότητα ώστε το επεξεργασμένο νερό να απομακρύνεται από την περιοχή εμπλουτισμού χωρίς να δημιουργείται συσσώρευση ιζημάτων κάτω από τη λεκάνη. Επιπλέον, θα πρέπει να μην περιέχει ανεπιθύμητους ρύπους, οι οποίοι μπορεί μέσω της ροής να καταλήξουν σε ανεπιθύμητες περιοχές (Bouwer, 1999). Όταν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις, τα υγρά απόβλητα μπορούν να παροχετευθούν απευθείας στην εδαφική επιφάνεια της λεκάνης, στα άκρα της οποίας πρέπει να υπάρχουν αναχώματα, ώστε να συγκρατηθεί το νερό εμπλουτισμού εντός των ορίων της (Εικόνα 7.1Α). Σε περίπτωση που οι κατάλληλες εδαφικές συνθήκες εντοπίζονται κάτω από ένα επιβαρυσμένο εδαφικό υπόστρωμα, αλλά σε κάθε περίπτωση σε βάθος που δεν καθιστά ασύμφορη την εκσκαφή (Εικόνα 7.1Β), το υπερκείμενο στρώμα μπορεί να αφαιρεθεί και τα λύματα να παροχετευθούν στη νέα επιφάνεια που δημιουργείται. Το σύστημα Α ονομάζεται *λεκάνη επιφανειακής παροχέτευσης (surface spreading basin)* ενώ το Β *ανεσκαμμένη λεκάνη (excavated basin)* (Bouwer, 1999).

Στα συστήματα *ακόρεστης ζώνης (vadose zone systems)*, τα λύματα παροχετεύονται μέσω τάφρων ή γεωτρήσεων στην ακόρεστη ζώνη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.1, σχήματα C και D, αντίστοιχα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται όταν είτε δεν υπάρχει διαθέσιμη έκταση για κατασκευή λεκανών κατάκλισης είτε το επιφανειακό εδαφικό στρώμα δεν είναι κατάλληλο για αυτό τον τύπο συστήματος SAT. Τα φρέατα είναι επιμήκη και οριζόντια, συνήθως με πλάτος μικρότερο του 1 m και βάθος έως 5 m, και με πλήρωση από χοντρή άμμο ή ψιλό χαλίκι (Bouwer, 2002). Οι γεωτρήσεις κατασκευάζονται κατακόρυφα, με τυπική διάμετρο που κυμαίνεται από 0,5 m έως 2 m και βάθη μεταξύ 30 και 46 m (USEPA, 2012). Έχουν κοινή πλήρωση με τα φρέατα και προσφέρουν σημαντική οικονομία σε σύγκριση με τις γεωτρήσεις απυθείας τροφοδότησης του υπόγειου υδροφόρου. Η προεπεξεργασία των λυμάτων εμπλουτισμού στην περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερως σημαντική, επειδή το σύστημα δεν είναι αυτοκαθαριζόμενο και πιθανός εκτεταμένος φραγμός των πόρων (clogging) μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη αχρήστευση του συστήματος (USEPA, 2012). Η χωρητικότητα του συστήματος εξαρτάται από την υδραυλική περατότητα των εδαφών της ακόρεστης ζώνης (NRC, 2005).

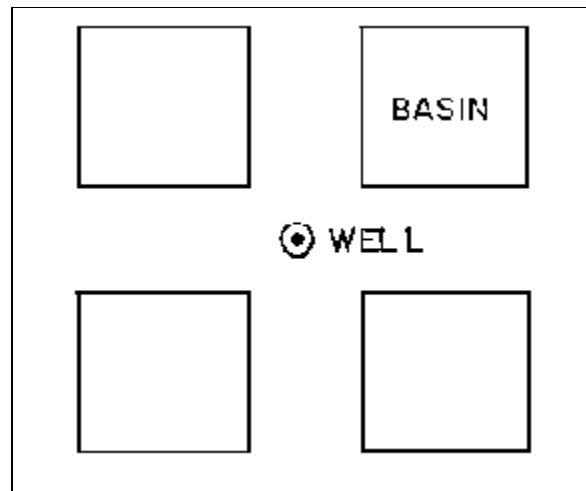
Όπως υποδηλώνει και η ονομασία τους, οι *γεωτρήσεις ακόρεστης ζώνης (vadose zone wells)* χρησιμοποιούνται για απευθείας τροφοδοσία του υδροφορέα με ανακτημένο νερό σχετικά υψηλής ποιότητας. Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η εφαρμογή κανενός από τα προαναφερθέντα SAT συστήματα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η περιορισμένη διαθέσιμη έκταση, η απουσία κατάλληλου εδαφικού στρώματος μέχρι το επίπεδο του υδροφορέα ή βαθιοί και περιορισμένοι υδροφορείς (Bouwer, 2002). Οι γεωτρήσεις αυτές έχουν αυξημένο κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συστήματα διήθησης στην ακόρεστη ζώνη. Παρά ταύτα, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής λόγω της δυνατότητας καθαρισμού και επέκτασής τους (Metcalf et al., 2007 ; USEPA, 2012). Επιπλέον, η χρήση τέτοιων συστημάτων ελαττώνει τον κίνδυνο απωλειών νερού, δεδομένου ότι εξασφαλίζεται η άμεση και γρήγορη τροφοδοσία του υδροφορέα (USEPA, 2012). Η υδροχωρητικότητα των γεωτρήσεων άμεσου εμπλουτισμού εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη υδροφορέα (NRC, 2008). Τα πλέον διαδεδομένα συστήματα SAT, πάντως, είναι οι λεκάνες κατάκλισης που απεικονίζονται στην Εικόνα 7.1 Α και Β (Abel, 2014).

Οι λεκάνες διήθησης πληρούνται διακεκομμένα και καθαρίζονται περιοδικά. Ο ρυθμός διήθησης είναι τυπικά μερικά δέκατα του μέτρου ανά ημέρα κατά την διάρκεια της κατάκλισης, και σε ετήσια βάση ο μέσος ρυθμός διήθησης είναι περίπου 50-100 m³ ανά έτος. Με αυτό τον ρυθμό διήθησης, μια λεκάνη διήθησης έκτασης ενός εκταρίου μπορεί να διηθήσει από 0,5 έως 1,0 Mm³/yr (Bouwer, 1993).

Τα συστήματα SAT σχεδιάζονται και διαχειρίζονται έτσι ώστε ολόκληρη η ποσότητα του νερού που διηθείται σαν απόβλητο να ανακτάται με άντληση από γεωτρήσεις, μέσω στράγγισης ή μέσω διείσδυσης σε επιφανειακά νερά. Ένα τυπικό σχήμα συστήματος SAT και ανάκτησης του νερού φαίνεται στο σχήμα 7.2.



Εικόνα 7.2. Σχηματική παράσταση συστήματος SAT με φυσική ανάκτηση του νερού σε χείμαρρο ή άλλο υδατόρρευμα, λίμνη ή υδρολεκάνη χαμηλότερου υψομέτρου (Α), συλλογή του νερού με υπόγεια στράγγιση (Β), άντληση μέσω κεντρικού φρέατος (Γ) και άντληση μέσω περιφερειακών φρεάτων (Δ) (Bouwer, 1991) (πηγή : Διαμαντής, Πλίακας, Καλλιώρας, 2015)



Εικόνα 7.3. Σύστημα τεσσάρων μικρών λεκανών διήθησης με γεώτρηση στο κέντρο για άντληση του επεξεργασμένου νερού από τον υδροφορέα (Bouwer, 1987)

7.3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Abel, 2014)

7.3.1. Διαθέσιμη έκταση γης

Τυπικά συστήματα SAT με λεκάνες κατάκλισης ή διήθησης, απαιτούν μια σημαντική επιφάνεια για τη διήθηση των υγρών αποβλήτων στον υδροφορέα και την επακόλουθη επεξεργασία τους. Επίσης, ένα σύστημα SAT απαιτεί μακροχρόνια δέσμευση της έκτασης που θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των λυμάτων, χωρίς να προσφέρει σημαντικά δευτερεύοντα οφέλη που πιθανώς να προέκυπταν από κάποια άλλη χρήση της γης (Metcalf et al., 2007). Η έκταση της λεκάνης διήθησης κυμαίνεται συνήθως από 4 έως και 80 στρέμματα και πρέπει απαραίτητως να περιλαμβάνει 2, τουλάχιστον, ανεξάρτητες λεκάνες, ακόμα για τα μικρότερα συστήματα (Crites et al., 2000 ; Metcalf et al., 2007). Εκτός από την έκταση όπου θα τοποθετηθούν οι λεκάνες, απαιτείται και πρόσθετη έκταση για αναχώματα λεκανών, επιτόπου προεπεξεργασία, οδούς πρόσβασης, πιθανή μελλοντική επέκταση κλπ. Στον πίνακα 7.1 δίνεται μια εκτίμηση των εδαφικών απαιτήσεων ενός συστήματος SAT, για ημερήσια παροχή 3.785 m^3 (1 mgd) περίπου.

Πίνακας 7.1. Εδαφικές απαιτήσεις συστημάτων SAT σε σχέση με τον τύπο επεξεργασίας των λυμάτων (Crites et al., 2006 ; USEPA, 2006) (πηγή : Abel, 2014)

Τύπος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Απαιτούμενη έκταση * (στρ./ $\text{m}^3 \cdot \text{d}$)
Πρωτοβάθμια	0,032
Δευτεροβάθμια	0,016

* οι εκτάσεις περιέχουν ένα επιπλέον 20% για να συνυπολογιστεί ο ανεκμετάλλετος χώρος

7.3.2. Τοπογραφία

Τοποθεσίες όπου η επιφάνεια του εδάφους εμφανίζει μεγάλες κλίσεις δεν ενδείκνυνται για εγκατάσταση συστήματος SAT, αφού θα απαιτηθούν εκτεταμένες χωματουργικές εργασίες (εκσκαφές κ.ά.) για την κατάλληλη διαμόρφωσή τους, οι οποίες δεν είναι επιθυμητές. Εκτάσεις με ανομοιόμορφη τοπογραφία δεν αποκλείουν απαραίτητα τη δυνατότητα κατασκευής συστημάτων SAT, ωστόσο συνεπάγονται (Crites et al., 2006) :

- σημαντική αύξηση του κόστους και της περιπλοκότητας του ελέγχου καταλληλότητας της περιοχής,
- αύξηση του κόστους διαμόρφωσης της έκτασης όπου θα εγκατασταθεί το σύστημα SAT,
- απαίτηση χρήσης βαρέως τύπου χωματουργικών μηχανημάτων, τα οποία μπορεί να μεταβάλουν τα χαρακτηριστικά του υποκείμενου εδάφους λόγω συμπίεσης,
- διαμόρφωση ασταθών εδαφικών συνθηκών λόγω κορεσμού εδαφών μεγάλης κλίσης.

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής τοποθεσίας για σύστημα SAT με γνώμονα την τοπογραφία του εδάφους.

Πίνακας 7.2. Καταλληλότητα εδαφικών κλίσεων για εφαρμογή SAT (Abel, 2014)

	(USEPA, 1981)	(Crites et al., 2000)	(Crites et al., 2006)	Καταλληλότητα
Κλίση εδάφους (%)	15-20	>20	10-15	Ακατάλληλο
	10-15	12-20	-	Χαμηλή
	5-10	-	5-10	Αποδεκτή
	0-5	0-12	0-5	Υψηλή

Βάσει των στοιχείων αυτών, διαπιστώνεται ότι κατάλληλες για εγκατάσταση SAT συστημάτων θεωρούνται εδαφικές κλίσεις μικρότερες του 15%, με το εύρος κλίσεων από 0 έως 5% να θεωρείται το ιδανικότερο.

7.4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAT

7.4.1. Βάθος ακόρεστης ζώνης (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Abel, 2014)

Η χρήση λεκανών διήθησης προϋποθέτει την ύπαρξη υπόγειου υδροφορέα με ακόρεστη ζώνη. Η ζώνη αυτή είναι ουσιαστικά το τμήμα του εδάφους ανάμεσα στην επιφανειακή στρώση και τον υπόγειο υδροφόρο, όπου λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση των ρύπων (Metcalf et al., 2007). Ο υδροφορέας πρέπει αφενός να έχει επαρκές βάθος για τον καθαρισμό του επεξεργασμένου νερού και την αποφυγή αποφράξεων λόγω ιζημάτων, αφετέρου δε να είναι αρκετά ρηχός ώστε να καθίσταται δυνατή η εύκολη απόληψη των επαναχρησιμοποιημένων λυμάτων που έχουν εφαρμοστεί στη λεκάνη (Akber et al., 2003). Ένα ελάχιστο πάχος ακόρεστης ζώνης 1-2 m είναι

απαραίτητο για την επίτευξη ικανοποιητικής απομάκρυνσης των ρύπων. Παρ' όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψιν ένα ελάχιστο βάθος εκσκαφής της τάξης του 1,5 m από την επιφάνεια του εδάφους και ένα ελάχιστο ύψος συσσώρευσης ιζημάτων 1,5 m από την κατώτατη στάθμη του υδροφορέα, προκύπτει μια ελάχιστη απαίτηση για το βάθος της ακόρεστης ζώνης που φτάνει τα 5 m περίπου.

7.4.2. Εδαφικές απαιτήσεις (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Διαμαντής, Πλιάκας, Καλλιώρας, 2015)

Τα συστήματα εμπλουτισμού απαιτούν διαπερατά εδάφη με υψηλή διηθητικότητα, ακόρεστη ζώνη χωρίς περιοριστικές στρώσεις ή άλλα προβλήματα, όπως ρυπασμένες ζώνες ή με ανεπιθύμητες χημικές ουσίες που είναι δυνατόν να υποστούν έκπλυση. Ο υδροφορέας πρέπει να είναι απεριόριστος με καλή ποιότητα νερού στην ανώτερη στάθμη. Μια ιδανική επιφάνεια εδάφους είναι ομοιόμορφη, με χονδρόκοκκο δομή ώστε να έχει υψηλή διηθητικότητα αλλά και με λεπτόκοκκα συστατικά για να έχει ικανοποιητική φίλτρανση. Τιμές διηθητικότητας από 25 mm/h ή υψηλότερες είναι αναγκαίες για ταχεία διήθηση. Γι' αυτό επιφανειακά εδάφη από αμμώδη πηλό, πηλό ή λεπτόκοκκο άμμο και χαλίκια είναι προτιμότερα για τα συστήματα SAT. Πολύ χονδρόκοκκος άμμος και χαλίκια δεν είναι κατάλληλα, διότι επιτρέπουν τα απόβλητα να διέρχονται πολύ γρήγορα από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους, στο οποίο υπάρχει η κύρια βιολογική και χημική δραστηριότητα. Ομοιόμορφα εδάφη με βάθος πάνω από 3 m είναι τα πλέον κατάλληλα (Reed et al., 1995). Οριζόντια ή υπο-οριζόντια εδάφη είναι επιθυμητά για χρήση στις λεκάνες διήθησης, διότι ανασκαφές-επιχώσεις μπορεί να επηρεάσουν αντίστροφα την διηθητικότητα του επιφανειακού εδάφους (συνιστάται η κλίση να είναι μικρότερη του 5%).

Η επιβεβαίωση εδαφικών παραμέτρων και κυρίως της διηθητικότητας στην υπό σχεδιασμό θέση με επιτόπιες μετρήσεις είναι υποχρεωτικά για τον ορθό σχεδιασμό των συστημάτων SAT. Για να είναι δυνατός ο έλεγχος του επεξεργασμένου αποβλήτου μετά την επιφανειακή διήθηση και διεύθυνση δια μέσου του μητρικού εδάφους, η σύσταση του υπεδάφους και τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα πρέπει να είναι γνωστά. Η γνώση των μηχανισμών κυκλοφορίας του νερού στο εδαφικό προφίλ και στον υδροφορέα είναι αναγκαία πριν από το σχεδιασμό του συστήματος διήθησης (Reed et al., 1995).

Πίνακας 7.3. Καταλληλότητα εδάφους για σύστημα SAT ανάλογα με την περατότητα του πλέον περιοριστικού εδαφικού στρώματος (Crites et al., 2006) (πηγή : Abel, 2014)

Διαπερατότητα του πλέον περιοριστικού εδαφικού στρώματος (cm/hr)	Καταλληλότητα
0,15-0,5	Ακατάλληλο
0,5-1,5	Χαμηλή
1,5-5,1	Αποδεκτή
>5,1	Υψηλή

7.4.3. Τύπος υδροφορέα

Ο υπόγειος υδροφόρος στον οποίο αποσκοπεί σύστημα SAT με επιφανειακή εφαρμογή των λυμάτων πρέπει οπωσδήποτε να είναι *απεριόριστος* ώστε τα εφαρμοζόμενα λύματα να φιλτράρονται μέσω της ακόρεστης ζώνης και εν συνεχεία να αναμιγνύονται με τα υπόγεια ύδατα.

7.5. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Abel, 2014)

Το βασικό συστατικό που πρέπει να αφαιρεθεί από ανεπεξεργαστα αστικά απόβλητα, πριν την παροχέτευσή τους σε SAT συστήματα, είναι τα αιωρούμενα στερεά. Μείωση των συγκεντρώσεων BOD και βακτηρίων είναι επίσης επιθυμητές αλλά λιγότερο απαραίτητες. Στις ΗΠΑ υπάρχουν αρκετές εκατοντάδες συστήματα SAT, στα οποία τα λύματα, πριν τη χρήση τους στα SAT, λαμβάνουν τη συμβατική πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία, εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτό προβλέπεται από τη νομοθεσία πριν την, οποιασδήποτε μορφής, επαναχρησιμοποίησή τους. Με τη δευτεροβάθμια επεξεργασία απομακρύνονται κυρίως βιοδιασπώμενα υλικά, δηλαδή βασικά το BOD, αλλά τα βακτήρια του εδάφους μπορούν επίσης να διασπάσουν οργανικό υλικό και να μειώσουν το BOD σε πρακτικά μηδενικές συγκεντρώσεις. Έτσι, όταν η πρωτοβάθμια επεξεργασία ακολουθείται από διαδικασία SAT, υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι επαρκής. Είναι σαφές ότι λύματα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία θα έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών και BOD από αντίστοιχα που έχουν υποστεί μόνο πρωτοβάθμια επεξεργασία, γεγονός που συνεπάγεται κάπως μικρότερο υδραυλικό φορτίο για το σύστημα SAT στην τελευταία περίπτωση και, κατ' επέκταση, απαίτηση για συχνότερο καθαρισμό της λεκάνης (Rice and Bouwer, 1984). Ωστόσο, παράλειψη της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων μπορεί να επιφέρει πολύ σημαντική οικονομία στη λειτουργία του όλου συστήματος SAT (Pescod, 1992).

Ο Πίνακας 7.2 παρουσιάζει αριθμητικά την επίδραση της διαδικασίας που συντελείται μέσω ενός SAT συστήματος στις διάφορες χημικές και ποιοτικές παραμέτρους των εφαρμοζόμενων λυμάτων. Κάποιες από αυτές τις παραμέτρους παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

7.5.1. Αιωρούμενα στερεά

Μετά από την κατάλληλη προεπεξεργασία, τα αιωρούμενα στερεά στα υγρά απόβλητα είναι συνήθως λεπτόκοκκα και οργανικής μορφής (λυματολάσπη, βακτήρια, άλγη κ.ά). Τα στερεά αυτά συσσωρεύονται στο έδαφος των λεκανών διήθησης και απαιτείται τακτική ξήρανση για επαναφορά της διηθητικότητας και περιοδική απομάκρυνσή τους με σκάλισμα ή απόξεση. Σε περιπτώσεις όπου τα εδάφη είναι αμμοπηλώδη ή αργιλικά, μικρό ποσοστό των στερεών διεισδύει στο εδαφικό υλικό και, συνήθως, μόνο για μικρό διάστημα (απόσταση μερικών cm). Σε αμμώδη και άλλα αδρότερα εδάφη, τα πιο λεπτόκοκκα και τα κολλοειδή αιωρούμενα στερεά, διεισδύουν σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις. Γενικά, με εξαίρεση την περίπτωση ομοιόμορφων αμμωδών εδαφών μέτριας ή μεγάλης διαμέτρου κόκκων, τα εδάφη αποτελούν πολύ ικανοποιητικά φίλτρα και τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται σε επαρκή βαθμό από τα λύματα μέσα σε 1 m διήθησης μέσα στην ακόρεστη ζώνη (Pescod, 1992).

Πίνακας 7.4. Χαρακτηριστικά ποιότητας αποβλήτου που ελήφθη από σύστημα SAT στο Salt River Floodplain West of Phoenix, Arizona, ΗΠΑ (Bouwer, 1993)

Παράμετρος	Απόβλητα δευτερογενούς επεξεργασίας (mg/l)	Νερά από άντληση του εμπλουτισμένου με SAT υδροφορέα (mg/l)
Ολικά διαλυτά στερεά	750	790
Αιωρούμενα στερεά	11	1
Αμμωνιακό άζωτο (NH ₄ ⁺ -H)	16	0,1
Νιτρικό άζωτο (NO ₃ ⁻ -N)	0,5	5,3
Οργανικό άζωτο (-N)	1,5	0,1
Φωσφορικός φώσφορος (P)	5,5	0,4
Φθόριο (F)	1,2	0,7
Βόριο (B)	0,6	0,6
BOD	12	0
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	12	1,9
Ψευδάργυρος (Zn)	0,19	0,03
Χαλκός (Cu)	0,12	0,016
Κάδμιο (Kd)	0,008	0,007
Μόλυβδος (Pb)	0,082	0,066
Κοπρώδη κολοβακτηρίδια / 100 ml	3500	0,3
Ιοί, PFU/100 l	2118	0

7.5.2. Οργανικές ενώσεις

Οι περισσότερες οργανικές ενώσεις ανθρωπογενούς, ζωικής ή φυτικής προέλευσης στα αστικά λύματα, αποδομούνται γρήγορα μέσα στο έδαφος. Κάτω από αερόβιες συνθήκες (διαλείπουσας κατάκλυσης), η αποσύνθεση είναι γενικά γρηγορότερη και πιο πλήρης (σε διοξείδιο του άνθρακα, μεταλλικά στοιχεία και νερό) σε σχέση με τις αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο έδαφος σε περιπτώσεις συνεχούς ή μακροχρόνιας κατάκλυσης της λεκάνης διήθησης. Σταθερές, μη-τοξικές ενώσεις, όπως χουμικά και φουλβικά οξέα, μπορεί να σχηματιστούν ως προϊόντα αντίδρασης μεταξύ πρωτεϊνών και υδατανθράκων (κυτταρίνη και λιγνίνη).

Οι συγκεντρώσεις του BOD₅ των αστικών λυμάτων κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες έως 1000 mg/l στα ανεπεξεργαστα λύματα και σε τιμές μεταξύ 10 και 20 mg/l μετά από καλής ποιότητας δευτεροβάθμια επεξεργασία. Τα συστήματα SAT μπορούν να διαχειριστούν υψηλά φορτία BOD, πιθανώς εκατοντάδες kg/ha·d (Bouwer and Chaney, 1974), ενώ τα επίπεδα BOD μειώνονται έως πρακτικά μηδενικές τιμές μετά από διήθηση λίγων μέτρων μέσα στο έδαφος. Ωστόσο, το επεξεργασμένο νερό που προκύπτει από ένα σύστημα SAT, περιέχει ακόμα μικρές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα, συνήθως λίγα mg/l. Αυτό οφείλεται κυρίως στα χουμικά και φουλβικά οξέα αλλά επίσης και στις συνθετικές οργανικές ενώσεις των υγρών αποβλήτων, οι οποίες δε διασπώνται στο υπόγειο περιβάλλον.

Οι τελευταίες εμφανίζονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο ανακτημένο νερό, αλλά δε θεωρούνται πρόβλημα όταν το νερό αυτό προορίζεται για αρδευτικούς σκοπούς. Στο σενάριο όμως, που αυτό προοριζόταν για πόσιμες χρήσεις, θα υπήρχε απαίτηση για πρόσθετη επεξεργασία των ενώσεων αυτών, όπως φίλτρα άνθρακα και αντίστροφη ώσμωση.

7.5.3. Βακτήρια και ιοί

Το έδαφος είναι αποτελεσματικό φίλτρο για την απομάκρυνση μικροοργανισμών από τα υγρά απόβλητα, εξαιρουμένων φυσικά των πολύ διαπερατών εδαφών, όπως είναι τα χαλίκια ή οι διερρηγμένοι βράχοι. Τα βακτήρια απομακρύνονται φυσικά από το νερό, ενώ οι μικρότεροι ιοί συνήθως προσροφώνται. Η προσρόφηση ευνοείται σε περιπτώσεις χαμηλού pH, μεγάλης συγκέντρωσης αλάτων στα λύματα και υψηλές σχετικές συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου σε σχέση με τα μονοσθενή κατιόντα νατρίου και καλίου. Τα ανθρωπογενή βακτήρια και οι ιοί που δεσμεύονται στο έδαφος δεν αναπαράγονται και κατ' επέκταση πεθαίνουν. Τα περισσότερα βακτήρια και ιοί έχουν μέσο όρο ζωής που κυμαίνεται από λίγες εβδομάδες έως λίγους μήνες. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ολοκληρωτική απομάκρυνση των κολοβακτηριδίων μετά από διήθηση 1m εντός του εδάφους.

Η καλύτερη προστασία ενάντια στην εισβολή παθογόνων μικροοργανισμών στο ανακτημένο νερό από το σύστημα SAT είναι η μείωση του επιπέδου της συγκέντρωσης βακτηρίων στα λύματα πριν τη διήθηση, η αποφυγή αδρομερών υλικών στο SAT και η αποδοχή επιμήκων υπογείων διαδρομών και χρόνου παραμονής του νερού.

7.5.4. Νιτρικά

Τα επίπεδα νιτρικών (αζώτου) στα υγρά λύματα κυμαίνονται από 20 έως και πάνω από 100mg/l, ανάλογα με τις οικιακές χρήσεις και τα ενδιαίτημα του οικείου πληθυσμού, καθώς και από την προεπεξεργασία τους πριν την εφαρμογή στο SAT σύστημα. Το άζωτο συναντάται στη μορφή οργανικού, αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου. Οι σχετικές τους συγκεντρώσεις εξαρτώνται από την προεπεξεργασία που έχουν υποστεί. Σε λύματα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, το μεγαλύτερο ποσοστό του αζώτου είναι σε αμμωνιακή μορφή, αν και κάποιες διαδικασίες επικεντρώνονται στη νιτροποίηση, με αποτέλεσμα στις περιπτώσεις αυτές τα λύματα να περιέχουν κατά κύριο λόγο νιτρικό άζωτο. Τα ανεπεξέργαστα λύματα περιέχουν αξιοσημείωτες ποσότητες οργανικού αζώτου.

Η επιθυμητή μορφή και συγκέντρωση αζώτου στα ανακτημένα λύματα από ένα σύστημα SAT είναι συνάρτηση των απαιτήσεων σε άζωτο και νερό των καλλιεργειών που πρόκειται να αρδευθούν, την ανάγκη προστασίας των υπόγειων νερών της περιοχής άρδευσης από νιτρικά εξαιτίας των εκτεταμένων ποσοτήτων λιπασμάτων που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες και από άλλες πιθανές χρήσεις του νερού, όπως τα ιχθυοτροφεία, στα οποία απαιτείται μικρή συγκέντρωση αμμωνιακών.

Ο έλεγχος της μορφής και της συγκέντρωσης νιτρικών στο ανακτημένο νερό από σύστημα SAT μπορεί να γίνει με κατάλληλη επιλογή των υδραυλικών φορτίων και των περιόδων κατάκλυσης και ξήρανσης για της λεκάνες διήθησης. Αν οι παράμετροι αυτοί ρυθμιστούν σωστά ανάλογα με την επικρατούσα μορφή των νιτρικών στα υγρά απόβλητα, μπορεί να επιτευχθεί απομάκρυνση του μεγαλύτερου ποσοστού των νιτρικών από τα λύματα.

7.6. ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAT (κύρια βιβλιογραφική πηγή : Abel, 2014)

Σε γενικές γραμμές, το κόστος των συστημάτων SAT είναι χαμηλότερο από αυτό των συμβατικών επιφανειακών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων και η λειτουργία του είναι απλή, χωρίς να απαιτεί χημικά ή ακριβό εξοπλισμό για την επεξεργασία (Sharma et al., 2012). Επιπλέον, το ανακτημένο νερό θεωρείται πάντοτε ως μια φθηνή πηγή νερού κατά τη φάση του σχεδιασμού έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων. Η θεώρηση αυτή είναι βάσιμη στις περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων είναι εγκατεστημένη πλησίον μεγάλων αγροτικών ή βιομηχανικών αποδεκτών και όταν το ανακτημένο νερό δεν απαιτεί πρόσθετη επεξεργασία πέραν αυτής που έχει ήδη υποστεί (Asano, 2002). Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς θεωρείται βασικό στοιχείο της βιώσιμης διαχείρισης περιορισμένων ποσοτήτων πόσιμου νερού, αφού προσφέρει πιθανά οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα (Janosova et al., 2006), που περιλαμβάνουν την κατανάλωση μικρότερων ποσοτήτων συνθετικών λιπασμάτων και την προστασία υδατικών αποδεκτών από την άμεση τροφοδοσία τους με λύματα κακής ποιότητας.

Σύμφωνα με τον Asano (2002), το κόστος κατασκευής για μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων στην California των ΗΠΑ, η οποία επεξεργάζεται 3.785 m^3 ημερησίως σε επίπεδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, με μέσο κόστος $0,5 \text{ \$/m}^3$, κατανέμεται ως εξής :

- πρωτοβάθμια επεξεργασία : 24%
- δευτεροβάθμια επεξεργασία : 40%
- επεξεργασία ιλύος : 22%
- κτίρια ελέγχου, εργαστήρια και υποστηρικτικές εγκαταστάσεις : 14%.

Το 2001, οι Nema et al., υποστήριξαν ότι παροχετεύοντας προϊόντα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας απευθείας στο έδαφος μπορεί να επιτευχθεί μείωση του κόστους κατά 30%. Επιπλέον, (Bouwer, 1991) έχει αναφερθεί ότι το κόστος συστημάτων SAT είναι κατά 40% μικρότερο συγκρινόμενο με ισοδύναμα συστήματα επιφανειακής επεξεργασίας.

Στην εγκατάσταση SAT συστημάτων Shafdan στο Ισραήλ, το κόστος ανέρχεται σε $0,23-0,25 \text{ €}$ ανά m^3 επεξεργασμένων λυμάτων, μαζί με ένα κόστος λειτουργίας και συντήρησης της τάξης των $0,10-0,15 \text{ €/m}^3$ (Aharoni et al., 2011 ; Sharma et al., 2012). Αυτό το συνολικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος της επιφάνειας διήθησης, εξοπλισμό για τις εκσκαφές, άμμο πλήρωσης, αγωγούς, ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, θυρίδες και αντλίες, αλλά δεν υπολογίζει κόστος για αποθήκευση και μεταφορά.

7.7. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAT (κύρια βιβλιογραφική πηγή: Διαμαντής, Πλιάκας, Καλλιώρας, 2015)

7.7.1. California, Η.Π.Α.

Στην πολιτεία της California των Η.Π.Α. συναντώνται οι περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής τέτοιων συστημάτων, όπως χαρακτηριστικά είναι οι ακόλουθες :

- Water Factory : Κατασκευάστηκαν 23 γεωτρήσεις σε έκταση $5,6 \text{ km}$ (μέση απόσταση μεταξύ τους 183 m), με δυναμικότητα $1,7 \text{ m}^3/\text{m}$ η καθεμία,

- Montebello Forebay : Οι λεκάνες διήθησης έχουν έκταση 2.635 στρέμματα, το μέσο βάθος είναι 1,20 m, ενώ εφαρμόζονται 35-40 Mm³ το χρόνο

7.7.2. Άλλες πολιτείες των Η.Π.Α.

Στο *Phoenix* της *Arizona*, οι λεκάνες έχουν έκταση 10,6 στρέμματα και δυναμικότητα 1 Mm³/yr. Το υδραυλικό φορτίο είναι περίπου 100 m/yr.

Στο *El Paso* του *Texas*, το υδραυλικό φορτίο είναι 13,815 Mm/yr και τροφοδοτείται σε 10 γεωτρήσεις εμπλουτισμού, δηλαδή αναλογεί περίπου 1,38 Mm/yr στην καθεμία. Το κόστος του εμπλουτισμού ανέρχεται σε \$ 0,50 ανά m³ εκρών.

Στο *Long Island* της *New York*, το υδραυλικό φορτίο είναι 84 Mm³/yr, που εφαρμόζεται σε λεκάνες διήθησης έκτασης 12.893 στρεμμάτων. Χρησιμοποιούνται 2.124 λεκάνες, έκτασης 4-8 στρεμμάτων η καθεμία και με μέσο βάθος 3,10-4,60 m.

Στο *Orlando* της *Florida*, χρησιμοποιούνται 310 γεωτρήσεις στράγγισης σε έκταση 320 km², διαμέτρου 10-16 m και βάθους 37-320 m. Το 50% του εφαρμοζόμενου υδραυλικού φορτίου χρησιμοποιείται για εμπλουτισμό από νερά πλημμυρών, 45% από νερά εκχύλισης λιμνών ή βιοτόπων και το 5% από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η συνολική ποσότητα εφαρμογής είναι 0,1Mm³/d, δηλαδή περίπου 35 Mm³/yr δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

7.7.3. Ισραήλ

Στο *Dan Region* του *Tel Aviv*, το έργο εμπλουτισμού είναι σε 2 θέσεις : (α) 4 λεκάνες διήθησης έκτασης 390 στρεμμάτων και ακόρεστη ζώνη 27-36 m, και (β) 3 λεκάνες διήθησης έκτασης 180 στρεμμάτων.

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του έργου είναι 0,03€/m³.

8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΛΥΜΑΤΑ ΣΤΟ ΘΡΙΑΣΙΟ ΠΕΔΙΟ

8.1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο κεφάλαιο 5, από την παράθεση των δεδομένων που αφορούν τη φυσική επανατροφοδοσία του υπόγειου υδατικού συστήματος του Θριασίου πεδίου αλλά και των εκτιμώμενων ετησίων απολήψεων από τα σημεία υδροληψίας της περιοχής (πηγάδια – γεωτρήσεις), προκύπτει *ελλειμματικότητα* του υδροφόρου ορίζοντα κατά 10^6 m^3 , περίπου, σε ετήσια βάση. Το γεγονός αυτό έχει συντελέσει καθοριστικά στην ολομέτωπη θαλάσσια διείσδυση κατά μήκος των ακτών του Θριασίου, σε σημείο μάλιστα να έχει υφαλμυρωθεί ο υπόγειος υδροφόρος σε απόσταση που κατα τόπους φτάνει ακόμα και τα 7 χιλιόμετρα από την ακτή. Πέρα από το πρόβλημα της υφαλμύρισης, το νότιο και το ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης δέχεται διάφορα απόβλητα – προϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας των βιομηχανικών μονάδων που είναι εγκατεστημένες εκεί, ενώ στο βόρειο παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, αποτέλεσμα των οικιακών και αγροτικών χρήσεων. Όλες αυτές οι παράμετροι συντελούν στο χαρακτηρισμό της ποιότητας του υπόγειου υδροφόρου ως κακής, από χημική άποψη, σίγουρα δε ακατάλληλης για υδροληψίες που αποσκοπούν σε πόσιμες χρήσεις.

Παράλληλα, στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας επεξεργασίας των αστικών λυμάτων της περιοχής, τα οποία δείχνουν ότι οι εκροές του Κ.Ε.Λ. Θριασίου ικανοποιούν όλα τα κριτήρια των ποιοτικών παραμέτρων που ορίζουν οι σχετικές με την επαναχρησιμοποίηση Οδηγίες και νομοθεσίες. Ωστόσο, συνεχίζουν να καταλήγουν μέσω υποθαλάσσιου αγωγού στα ανοιχτά του κόλπου της Ελευσίνας ή με καδοφόρα στο Κ.Ε.Λ. της Ψυττάλειας.

Υπό το παρόν καθεστώς διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής, το μέλλον του, ήδη έντονα υποβαθμισμένου, υπόγειου υδατικού συστήματος του Θριασίου πεδίου προβλέπεται δυσοίωνο. Επιπλέον, οι ανοδικές τάσεις του πληθυσμού της περιοχής, ο οποίος αναμένεται να αυξηθεί κι άλλο τα επόμενα χρόνια, δημιουργώντας ακόμα μεγαλύτερες υδατικές απαιτήσεις, ενώ αν επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή, το μετεωρικό νερό και κατ' επέκταση η φυσική τροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων αναμένεται να μειωθεί, επιτείνοντας ακόμα περισσότερο το πρόβλημα.

Σε μια προσπάθεια μακροπρόθεσμης εκτίμησης της κατάστασης, ο τεχνητός εμπλουτισμός φαντάζει ως μονόδρομος για πιθανή, καταρχάς, επιβράδυνση και εν τέλει αντιμετώπιση του προβλήματος της συνεχούς υποβάθμισης του υπόγειου υδροφόρου του Θριασίου πεδίου. Επίσης, η λειτουργία του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην περιοχή κάνει ελκυστική την επιλογή της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων των εκροών του για τεχνητό εμπλουτισμό, αφού, δεδομένης της καλής ποιότητάς τους, αποτελούν μια εν δυνάμει πηγή συνεχούς τροφοδοσίας. Τα παραδείγματα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα στην Ελλάδα είναι ελάχιστα, παρ' όλα αυτά στην περίπτωση που εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, φαντάζει ως μια συμφέρουσα και αποδοτική εναλλακτική πρόταση.

8.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Αφού συνεκτιμήθηκαν όλες οι παράμετροι, θεωρήθηκε ως πλέον κατάλληλη μέθοδος εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή του Θριασίου πεδίου αυτή των συστημάτων SAT, η οποία αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 7 για αυτόν ακριβώς το λόγο. Η επαρκώς καλή, όπως προαναφέρθηκε, ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων από το Κ.Ε.Λ., δίνει τη δυνατότητα επιλογής ακόμα και εμπλουτισμού απευθείας στον υδροφόρο, ωστόσο επιλέχθηκε ως βέλτιστη πρόταση η περίπτωση των λεκανών διήθησης. Στην επιλογή αυτή συνέβαλε τόσο το μικρό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησής τους, που στα πλαίσια της οικονομικής κρίσης δε μπορεί να παραβλεφθεί, όσο και το γεγονός ότι η επιπλέον επεξεργασία των εκρών του Κ.Ε.Λ. που θα εφαρμοστούν στις λεκάνες λόγω της διήθησής τους στο έδαφος, αποτελεί μια δικλίδα ασφαλείας όσον αφορά την ποιότητα του νερού που φτάνει τελικά στον υπόγειο υδροφόρο.

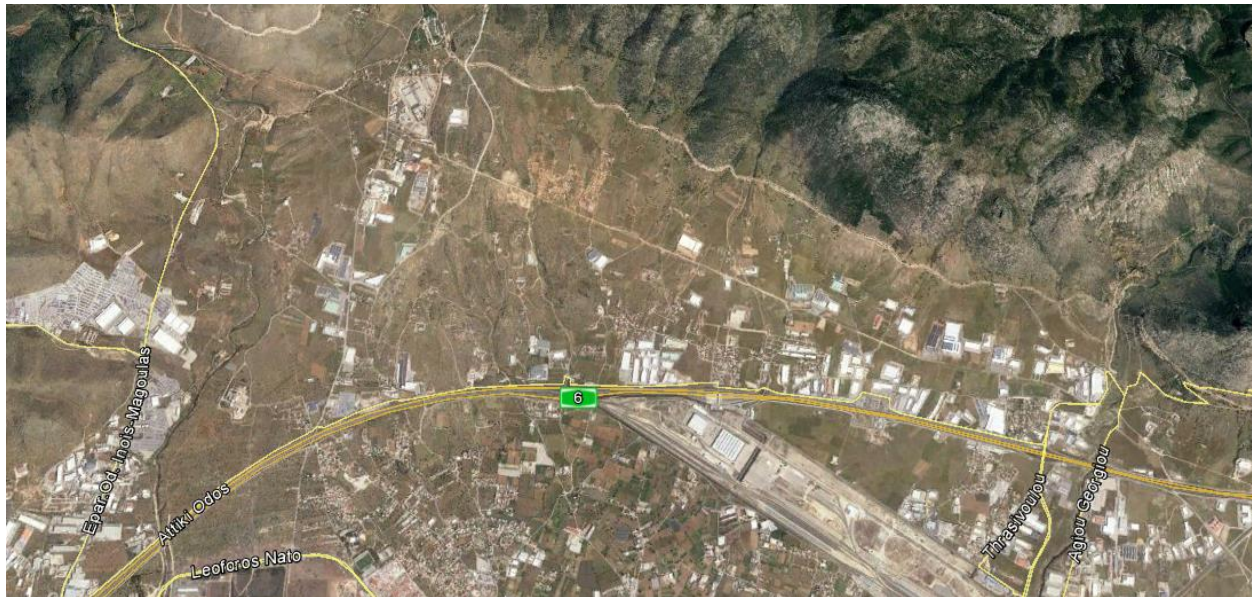
8.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ SAT

Για την εύρεση σημείου (-ων) στην περιοχή του Θριασίου πεδίου, όπου να κρίνεται πρόσφορη η εγκατάσταση ενός ή περισσότερων SAT συστημάτων, πρέπει να εξεταστούν οι ακόλουθες παράμετροι :

- *Τύπος υδροφόρου ορίζοντα.* Ο υπόγειος υδροφόρος του Θριασίου πεδίου (αφού θεωρήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ως ενιαίος, δεδομένης της υδραυλικής επικοινωνίας μεταξύ των υδροφόρων της περιοχής) είναι ελεύθερος και απεριόριστος, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, ικανοποιώντας την απαίτηση αυτή. Δεν έχουν διαπιστωθεί περιοχές αξιολογής έκτασης όπου ο υδροφόρος να είναι υπό πίεση.
- *Βάθος ακόρεστης ζώνης.* Στην παράγραφο 7.4.1 αναφέρεται ότι το βάθος της ακόρεστης ζώνης ιδανικά πρέπει να μην υπολείπεται των 5m. Από τα αναφερόμενα στην παράγραφο 5.2.3 αλλά και το χάρτη της Εικόνας 5.2, φαίνεται ότι το κριτήριο αυτό ικανοποιείται σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, με μόνη, ίσως, εξαίρεση μια μικρή περιοχή στο νότιο τμήμα του Πεδίου (σημείο ελέγχου Φ328 όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.2).
- *Διαπερατότητα εδάφους.* Σχεδόν ολόκληρο το κεντρικό και βόρειο τμήμα του Θριασίου πεδίου καταλαμβάνεται από ριπίδια χειμάρρων, γεγονός το οποίο συνεπάγεται μέτρια ή υψηλή διαπερατότητα. Στην παράκτια ζώνη (νότιο τμήμα), επικρατούν οι αλλουβιακές αποθέσεις, που χαρακτηρίζονται ως μέτρια υδατοπερατές. Σε κάθε περίπτωση, το εδαφικό υπόστρωμα δεν εμφανίζει ούτε αδιαπεράτους ούτε πολύ διαπερατούς σχηματισμούς, οι οποίοι θα αποτελούσαν τροχοπέδη για την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού.
- *Τοπογραφία.* Σύμφωνα με στοιχεία από μελέτη του ΙΓΜΕ (2010), αλλά και από την Εικόνα 5.6, όπου παρουσιάζεται το ανάγλυφο της περιοχής, μόνο στην περίμετρο του Θριασίου πεδίου, δηλαδή στις υπώρειες της Πάρνηθας, του Πατέρα και του Αιγάλεω, συναντώνται μεγάλες εδαφικές κλίσεις. Στην υπόλοιπη έκταση της περιοχής ενδιαφέροντός μας, οι κλίσεις που εμφανίζονται είναι συνήθως $\leq 5\%$, που αντιστοιχούν σε ιδανικές τιμές για εγκατάσταση συστημάτων SAT (Πίνακας 7.2)

- *Ρύπανση εδάφους και υπόγειων νερών.* Όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 7.4.2, βασική συνθήκη για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού σε μία περιοχή είναι η απουσία ρύπων σε μεγάλες συγκεντρώσεις από την ακόρεστη ζώνη, καθώς το γεγονός αυτό σε πιθανή προσπάθεια εμπλουτισμού θα οδηγούσε σε έκπλυσή τους και, κατά συνέπεια, κατάληξή τους στο υπόγειο υδατικό σύστημα. Το σενάριο αυτό είναι σε κάθε περίπτωση ανεπιθύμητο. Στο νότιο και νοτιο-ανατολικό τμήμα του Θριασίου Πεδίου είναι εγκατεστημένες μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, οι δραστηριότητες των οποίων (διυλιστήρια πετρελαίου, χαλυβουργίες, τσιμεντοβιομηχανίες κ.ά.) συνεπάγονται σημαντική επιβάρυνση του εδάφους της ευρύτερης περιοχής με πετρελαιοειδή και βαρέα μέταλλα. Η κατάσταση αυτή, σε συνδυασμό με τη δεδομένη – έντονη – υφαλμύριση του παράκτιου μετώπου της περιοχής, όπως φαίνεται καθαρά τόσο στις Εικόνες 5.1, 5.4 και 5.5, αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα σε οποιαδήποτε συζήτηση περί εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε σημεία κοντινά σε αυτές τις πηγές ρύπανσης. Από την άλλη μεριά, στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα, παρά μόνο κατά τόπους αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, ως αποτέλεσμα γεωργικών δραστηριοτήτων (στο βόρειο τμήμα - χρήση αζωτούχων λιπασμάτων κλπ) και αυξημένης συγκέντρωσης πληθυσμού (στο κεντρικό τμήμα – νερά οικιακής χρήσης), οι οποίες όμως δεν αποτελούν κατ'ανάγκην τροχοπέδη σε ενδεχόμενη απόπειρα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού.
- *Χρήσεις γης.* Όπως έχει προαναφερθεί, και γίνεται πιο εύληπτο από την Εικόνα 4.2 και το χάρτη της Εικόνας 4.3, το νότιο τμήμα του Θριασίου πεδίου αποτελεί βιομηχανική ζώνη, ενώ μεγάλο μέρος του κεντρικού τμήματος καλύπτεται από τις εγκαταστάσεις του στρατιωτικού αεροδρομίου της Ελευσίνας. Παράλληλα, οι οικιστικοί ιστοί κυρίως της Ελευσίνας και του Ασπροπύργου, αλλά και της Μάδρας, της Μαγούλας και άλλων μικρότερων οικισμών, έχουν επεκταθεί με ραγδαίο ρυθμό τα τελευταία χρόνια και σήμερα φτάνουν να καταλαμβάνουν σχεδόν εξ' ολοκλήρου το τμήμα του Θριασίου που βρίσκεται νότια της Αττικής Οδού και αποτελεί κατά προσέγγιση το 60% της συνολικής του έκτασης.

Ο συνδυασμός των παραπάνω παραμέτρων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι καταλληλότερη περιοχή για εγκατάσταση συστήματος SAT για τεχνητό εμπλουτισμό είναι το βόρειο τμήμα του Θριασίου Πεδίου ή, σε μια άλλη ανάγνωση, το τμήμα που εκτείνεται βόρεια της Αττικής Οδού (Εικόνα 8.1). Οι απαραίτητες προϋποθέσεις πληρούνται κατά τόπους στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ωστόσο η συγκεκριμένη περιοχή είναι αρκετά πυκνοκατοικημένη και ενδεχόμενη εγκατάσταση συστήματος SAT σε αυτή θα δημιουργούσε αναμφίβολα μεγάλο αισθητικό μειονέκτημα. Άλλωστε έχει αναφερθεί ότι η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων εξακολουθεί να ντιμετωπίζεται με έντονο σκεπτικισμό από τη συντριπτική πλειοψηφία του πληθυσμού και, ειδικά στη χώρα μας όπου δεν αποτελεί συνήθη πρακτική, η πιθανότητα να ξεσήκωνε θύελλα αντιδράσεων και να αποτελούσε πεδίο έντονων αντιπαραθέσεων θα ήταν σίγουρα μεγάλη. Αντίθετα, βόρεια της Αττικής Οδού οι χρήσεις γης είναι σχεδόν αποκλειστικά αγροτικές, ενώ η δόμηση είναι πολύ αραιή και αφορά κυρίως εγκαταστάσεις μικρών βιομηχανιών ή εταιρειών logistics και όχι κατοικίες.



Εικόνα 8.1. Άποψη του τμήματος του Θριασίου πεδίου βόρεια της Αττικής οδού (πηγή : Google Earth)

Η επιλογή μιας εγκατάστασης για τεχνητό εμπλουτισμό μακριά από το Κ.Ε.Λ. Θριασίου, το οποίο βρίσκεται στο νοτιότερο σημείο της περιοχής, είναι εύκολα αντιληπτό ότι συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος για τη μεταφορά των επεξεργασμένων λυμάτων (αγωγοί, αντλιοστάσια κλπ), ωστόσο η έντονη ρύπανση και υφαλμύριση στο νότιο τμήμα, σε συνδυασμό με τις χρήσεις γης, μετέτρεψαν την απόφαση αυτή σε μονόδρομο.

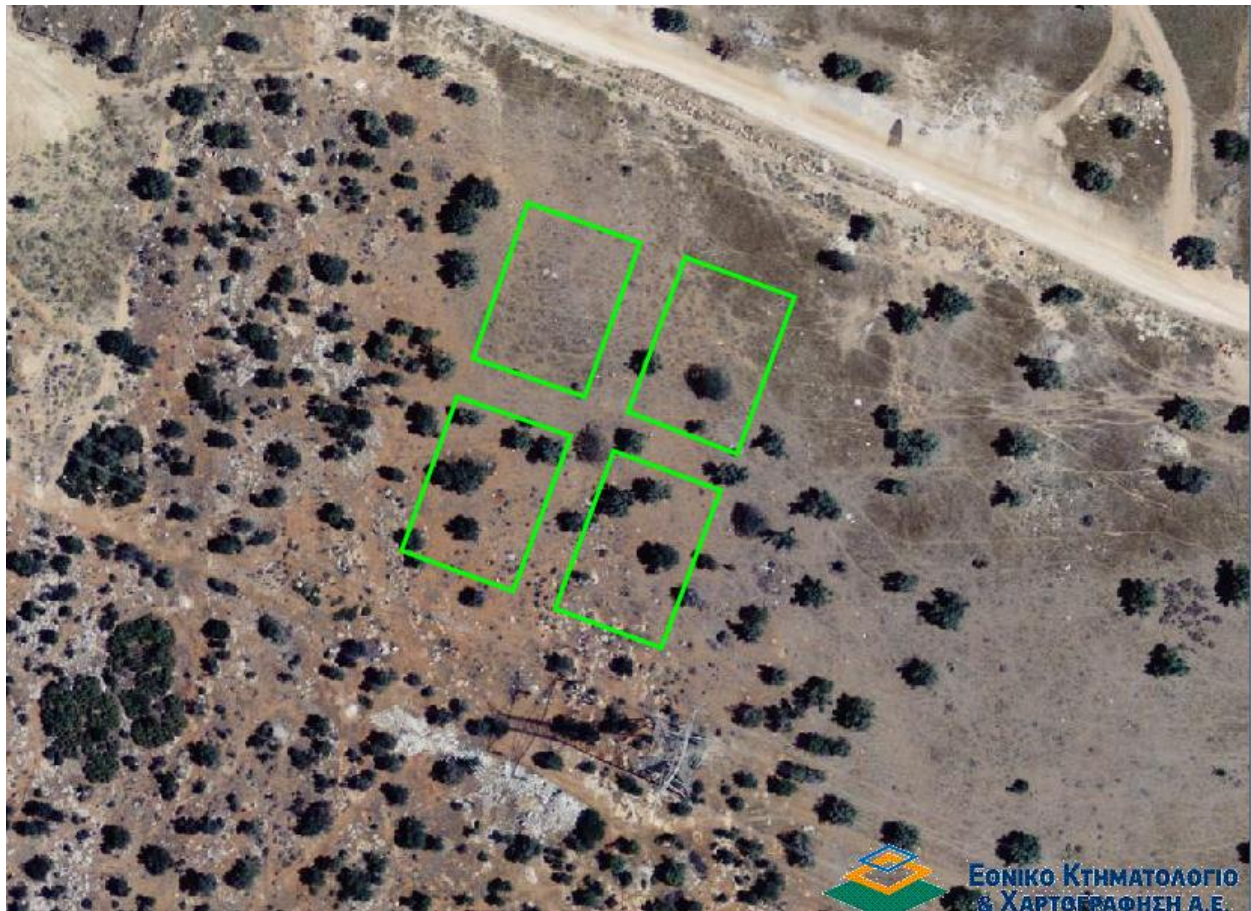
8.4. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, ως πηγή τροφοδοσίας του συστήματος SAT θεωρήθηκε το Κ.Ε.Λ. Θριασίου. Από τα στοιχεία του ιστοτόπου του ΥΠΕΚΑ για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (astikalimata.ypeka.gr), που παρατίθενται και στην παράγραφο 6.5, φαίνεται ότι η εισερχόμενη παροχή στο Κ.Ε.Λ. είναι κατά μέσο όρο 2.200 m^3 ημερησίως, ενώ η μέγιστη ημερήσια παροχή φτάνει τα 2.400 m^3 . Το σενάριο που εξετάστηκε προβλέπει εξ' ολοκλήρου μεταφορά των επεξεργασμένων λυμάτων της εκροής του Κ.Ε.Λ. Θριασίου για επαναχρησιμοποίησή τους μέσω του συστήματος SAT.

Με γνώμονα τη διαπερατότητα, συνεπώς και τη διηθητική ικανότητα, του εδάφους στην επιλεγείσα περιοχή, θεωρήθηκε ότι ένα ικανό βάθος για τα λύματα που θα εφαρμόζονται στη λεκάνη διήθησης είναι τα 2 m , κατά μέσο όρο σε ημερήσια βάση. Για τη διαστασιολόγηση θα χρησιμοποιηθεί η μέγιστη παροχή των 2.400 m^3 , που σημαίνει ότι η συνολική έκταση των λεκανών θα πρέπει να είναι 1.200 m^3 . Τα προϊόντα των εκσκαφών για τη δημιουργία των λεκανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή αναχωμάτων ή στη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου.

Το σύστημα που προτείνεται είναι παρόμοιο με αυτό της Εικόνας 7.3, δηλαδή 4 λεκάνες διήθησης, επιφάνειας 600 m^2 η καθεμία, ώστε 2 να δουλεύουν σε συνεχή βάση για την

εφαρμογή των παρεχόμενων επεξεργασμένων λυμάτων και οι άλλες 2 να είναι διαθέσιμες για συντήρηση. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.2.



Εικόνα 8.2. Προτεινόμενη διάταξη λεκανών διήθησης στο σύστημα SAT σε απόσπασμα ορθοφωτοχάρτη του ΕΚΧΑ

Εκτός των 2.400 m², που αποτελούν την καθαρή επιφάνεια των λεκανών διήθησης, απαιτείται επιπλέον έκταση για την κατασκευή των συνοδών εγκαταστάσεων καθώς και για διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου που θα λειτουργεί ως οπτικό παραπέτασμα μεταξύ της όλης εγκατάστασης και της ευρύτερης περιοχής, εξυπηρετώντας αισθητικούς σκοπούς. Η τελική έκταση που θα απαιτηθεί εκτιμάται στα 5 έως 6 στρέμματα κατά προσέγγιση και κρίθηκε σκόπιμο η επιλεγθείσα περιοχή να έχει εύκολη πρόσβαση στο τοπικό οδικό δίκτυο, για λόγους μείωσης κόστους και διευκόλυνσης μεταφορών.

Η προτεινόμενη θέση του συστήματος SAT, ως προς την Αττική Οδό και γενικότερα την ευρύτερη περιοχή φαίνεται πιο ξεκάθαρα στην Εικόνα 8.3. Βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Θριασίου πεδίου και στην παρούσα φάση τυπικά έχει χρήση μόνιμης καλλιέργειας, ωστόσο στην πραγματικότητα αποτελεί ανεκμετάλλευτη έκταση.



Εικόνα 8.3. Άποψη της προτεινόμενης θέσης για εγκατάσταση συστήματος SAT ως προς την ευρύτερη περιοχή σε απόσπασμα ορθοφωτοχάρτη του ΕΚΧΑ

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαστασιολόγηση έγινε βάση των στοιχείων για τα φορτία λειτουργίας του Κ.Ε.Λ. Θριασίου που δίνονται από το ΥΠΕΚΑ. Συγκεκριμένα, σήμερα το Κ.Ε.Λ. Θριασίου λειτουργεί με φορτία που αντιστοιχούν σε 50.000 Μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού (Μ.Ι.Π.), ενώ η πρόβλεψη για την Α' φάση λειτουργίας του ήταν 117.000 Μ.Ι.Π., και αργότερα, στη Β' φάση, θα φτάσει τις 200.000 Μ.Ι.Π.. Αυτό συμβαίνει γιατί μόνο το δίκτυο αποχέτευσης της Ελευσίνας έχει συνδεθεί με το Κ.Ε.Λ. προς το παρόν. Γίνεται αντιληπτό ότι το προτεινόμενο σύστημα SAT δε μπορεί να εξυπηρετήσει μεγαλύτερες ποσότητες εκροής από αυτές που έχουν μετρηθεί στην παρούσα κατάσταση λειτουργίας του Κ.Ε.Λ..

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα κεφάλαια που προηγήθηκαν, με την παρουσίαση της διαδικασίας του τεχνητού εμπλουτισμού, την πρακτική της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, την εξέταση της υφιστάμενης κατάστασης του υπόγειου υδατικού συστήματος του Θριασίου πεδίου κ.ά., προέκυψαν κάποια βασικά συμπεράσματα.

Το κύριο συμπέρασμα που εξάγεται, το οποίο αποτέλεσε άλλωστε τον άξονα του συγκεκριμένου πονήματος, είναι ότι η περιοχή του Θριασίου πεδίου από γεωλογική και υδρογεωλογική άποψη πληροί κάλλιστα τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού, σχεδόν σε ολόκληρη την έκτασή του. Οι χρήσεις γης είναι ο κύριος παράγοντας που αποκλείει μεγάλες εκτάσεις και περιορίζει τις δυνατότητες επιλογής διαθέσιμων σημείων, ωστόσο ακόμα υπάρχουν αρκετά τέτοια.

Το γεγονός ότι το υπόγειο υδατικό σύστημα του Θριασίου πεδίου παρουσιάζεται ελλειμματικό σε ετήσια βάση εδώ και δεκαετίες, έχει οδηγήσει στη διαμόρφωση μιας κατάστασης πολύ δύσκολης, ίσως και μη αναστρέψιμης, όσον αφορά την ποιότητα των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων της περιοχής. Το μέτωπο της υπαλμύρινσης εξελίσσεται με ταχείς ρυθμούς και το πρόβλημα επιτείνει η ρύπανση από τις βιομηχανίες και η δημογραφική έκρηξη στην ευρύτερη περιοχή.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός φαίνεται να αποτελεί μονόδρομο για την ενίσχυση και αναβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα του Θριασίου πεδίου. Ωστόσο, δεδομένης της φτωχής επιφανειακής υδρολογίας της περιοχής και την έλλειψη άλλων, ρεαλιστικών, πηγών τροφοδοσίας, αφού μεταφορά πόσιμου νερού από άλλη περιοχή αφενός θα συνεπαγόταν μεγάλο οικονομικό κόστος και αφετέρου θα στερούσε το νερό αυτό από άλλες περιοχές και χρήσεις, όπου ίσως έχει μεγαλύτερη αξία, το υπερσύγχρονο Κ.Ε.Λ. Θριασίου μπορεί να αποτελέσει μια οιονεί λύση στο σημαντικό αυτό πρόβλημα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην εκροή δείχνουν ότι τα επεξεργασμένα λύματα ικανοποιούν όλα τα ποιοτικά κριτήρια που τίθενται από την Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση, συνεπώς μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν για τεχνητό εμπλουτισμό που θα αποσκοπεί σε μη πόσιμες χρήσεις, ακόμα και με απευθείας τροφοδοσία τους στον υπόγειο υδροφόρο μέσω γεωτρήσεων.

Η εφαρμογή της εκροής σε συστήματα SAT, τα οποία συν τοις άλλοις έχουν μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, μπορεί να μειώσει σημαντικά την ελλειμματικότητα του υπόγειου υδατικού συστήματος του Θριασίου πεδίου (θεωρητικά σε ποσοστό μέχρι και 80%), βάζοντας φρένο στους ρυθμούς της θαλάσσιας διείσδυσης και παράλληλα τροφοδοτώντας τον υπόγειο υδροφόρο με νερό επαρκούς καλής ποιότητας για σκοπούς πλην υδρευσης. Σε μεταγενέστερη φάση δε, όταν δηλαδή το Κ.Ε.Λ. Θριασίου συνδεθεί με ολόκληρη την περιοχή που προβλέπεται να εξυπηρετεί και φτάσει την προβλεπόμενη δυναμικότητά του, οι ποσότητες των εκροών θεωρητικά μπορούν να υπερκαλύψουν το ετήσιο έλλειμμα του υδροφόρου της περιοχής με ό,τι αυτό μπορεί να συνεπάγεται για την ποιοτική αναβάθμισή του.

Σε κάθε περίπτωση, ένα τέτοιο εγχείρημα στο Θριάσιο πεδίο φαίνεται να εμπεριέχει μικρό ρίσκο, καθώς πρόκειται για μια περιοχή πολύ υποβαθμισμένη περιβαλλοντικά, οπότε οι πιθανότητες

βελτίωσης της υφιστάμενης κατάστασης μέσω της επαναχρησιμοποίησης των – καλής ποιότητας – επεξεργασμένων λυμάτων εκτιμώνται ως σημαντικές. Επίσης, μια πιθανή επιτυχής προσπάθεια θα είχε και παράπλευρα οφέλη, όπως την εξοικείωση του πληθυσμού με την ιδέα της επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, πόσο μάλλον σε μια περιοχή μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος και σε τόσο κοντινή απόσταση από την πρωτεύουσα.

9.1. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Αντικειμενικός σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων ως μια εναλλακτική πρόταση στη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής όπου αυτοί παρουσιάζουν έντονη υποβάθμιση. Σε καμία περίπτωση δε θα μπορούσε να περάσει στο επίπεδο μελέτης συγκεκριμένης εφαρμογής.

Ωστόσο υπάρχουν πολλά πεδία ακόμα που χρήζουν περαιτέρω προσοχής και διερεύνησης. Για παράδειγμα στην περίπτωση μας εξετάστηκε μόνο η περίπτωση τεχνητού εμπλουτισμού με συστήματα SAT. Δεδομένης της ικανοποιητικής ποιότητας των εκροών του Κ.Ε.Λ. ίσως είχε ενδιαφέρον η εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής άλλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή.

Ακόμα, θα μπορούσε να επιχειρηθεί μια προσπάθεια τεχνικοοικονομικής και κοινωνικο-οικονομικής ανάλυσης διαφόρων μεθόδων τ.ε. και σύγκρισής τους, με παράθεση στατιστικών και οικονομικών στοιχείων, αφού η παρούσα εργασία δεν κινήθηκε σε αντίστοιχο πλαίσιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αγγελάκης, Α.Ν., Παρανυχιανάκης, Ν.Β., *Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων : Ανάγκη θέσπισης κριτηρίων*, Καρδίτσα, 2005
- Αγγελάκης, Α. Ν. and Tchobanoglous, G., *Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επεξεργασία και Διάθεση Εκροών*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1995
- Γεωργίου, Α., *Εμπλουτισμός από υδατοφράκτη και εντατική εκμετάλλευση του υδροφορέα Γερμασόγειας*, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Υδρογεωλογίας, 14-17/10/1991, Λευκωσία, Κύπρος, Πρακτικά Bulletin 6, σελ.149-173, 1991
- Γλέζος, Μ., *Εμπλουτισμός των υδροφόρων από χαμηλά φράγματα ανάσχεσης της χειμαρρικής ροής στα ορεινά - περίπτωση Απεράθου Νάξου*, Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 24-28/11/1993, Πάτρα, σελ. 99-105, 1994
- Διαμαντής, Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, *Ειδικά Θέματα Αξιοποίησης και Διαχείρισης των Υπόγειων Νερών*, (Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Υδραυλική Μηχανική» του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ.), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., 426 σελ., Ξάνθη, 2015
- Διαμαντής, Ι., Φ.-Κ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, *Προχωρημένα Θέματα Υδρογεωλογίας – Διαχείριση του εμπλουτισμού των υπόγειων νερών*, (Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., της ειδίκευσης : Τεχνική Γεωλογία – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία), Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 230 σελ., Θεσσαλονίκη, 2016
- Δούνας, Α., Παναγιωτίδης, Γ., *Έκθεσις – Πρόδρομος επί των υδρογεωλογικών συνθηκών του Θριασίου Πεδίου*, Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 1964
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, ΥΠΕΚΑ, *Δυνατότητες επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας*, Παρουσίαση
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, ΥΠΕΚΑ, *Θεσμικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων*, Παρουσίαση, Χανιά, 2013
- Καλλέργης, Γ., *Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία*, Τόμοι Α και Β, Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα, 1986
- Καλλέργης, Γ., *Εφαρμοσμένη-περιβαλλοντική υδρογεωλογία*, Τόμοι Α, Β και Γ, Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα, 2001
- Καλλιώρας, Α., *Ειδικά Κεφάλαια εφαρμοσμένης Υδρογεωλογίας*, Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2014
- Καραβίτης, Χ., *Lucinda: Land care in desertification affected areas from science towards application*, Η χρήση του νερού στην Ευρώπη, 2005
- Καράμπελα, Α. Λ., *Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική μελέτη του Θριασίου Πεδίου*, Διπλωματική Διατριβή, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 1997

- Κουτσογιάννης, Δ., κ.ά., *Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008
- Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν., *Υδρολογική διερεύνηση ισχυρών βροχοπτώσεων και στερεοαπορροών του Θριασίου πεδίου*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2001
- Κωνσταντίνου, Κ., *Αποστράγγιση ομβρίων υδάτων και τεχνητός εμπλουτισμός μέσω πηγαδιών. Παράδειγμα από την περιοχή Κοκκινοχωρίων- Κύπρος*, 3ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, 3-5/11/1995, Ηράκλειο, Κρήτη, 1995
- Λαγούδη, Ε. Δ., *Τεχνητός Εμπλουτισμός υπογείων υδροφόρων συστημάτων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα : Η περίπτωση της Πρέβεζας*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Ιωάννινα, 2013
- Λιόνη, Α., Στουρνάρας, Γ., Σταμάτης, Γ., *Ποιοτική υποβάθμιση των υπογείων νερών του Θριασίου πεδίου από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες*, πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου Ελλάδος, Αθήνα, 2008
- Λύκου, Σ., *Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2011
- Μπουλουκάκης, Η., *Τεχνητός Εμπλουτισμός στο Διεθνή και Ελλαδικό χώρο – Παραδείγματα στην Κρήτη*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2007
- Πανώρας, Α., Ηλίας, Α., *Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα*, Θεσσαλονίκη, 1999
- Παπαδόπουλος, Φ., Παπαδόπουλος, Α. και Βαφειάδης, Π., *Η επαναπλήρωση του υδροφορέα με επεξεργασμένα αστικά λύματα σαν μία προοπτική αντιμετώπισης της εδαφικής καθίζησης της περιοχής Καλοχωρίου Ν.Θεσ/κης*, Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής 22-26/5/1995, Θεσσαλονίκη, σελ.57-64, 1995
- Πλιάκας, Φ., *Έρευνα επί των καταλλήλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού σε ετερογενείς υδροφορείς αλλουβιακών σχηματισμών. Εφαρμογές σε υδροφορείς του πεδινού τμήματος Ξάνθης*, Διδακτορική Διατριβή, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 1998
- Πλιάκας, Φ., Διαμαντής, Ι., *Ο Τεχνητός Εμπλουτισμός των υπογείων νερών και εφαρμογές του στην Ελλάδα και το Διεθνή χώρο*, Τεχνικά Χρονικά Επιστημονικών Εκδόσεων Τ.Ε.Ε., Ι, τεύχος 1, Αθήνα, 1998
- Σιέμος, Ν., κ.ά., *Υδρογεωλογική Μελέτη – Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (06, τμ.03)*, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα, 2010
- Σιέμος, Ν., Μιχαλάκης, Ι., *Μετρήσεις υπαίθρου (Υδρολογικές – Φυσικοχημικές) – Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (06, τμ.03)*, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα, 2009
- Τασούλα, Α. Α., *Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων*, Τεχνικά χρονικά, 2007
- Τζάρια, Μ.-Α., *Γεωδαιτικός έλεγχος πόντισης υποθαλάσσιων αγωγών διάθεσης λυμάτων ΚΕΛ Θριασίου πεδίου*, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012

- Χρυσικού, Ε., *Τεχνητός Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων με επεξεργασμένα λύματα – Περίπτωση εφαρμογής στο Θριάσιο πεδίο*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008
- Abel, C.D.T., *Soil Aquifer Treatment : Assessment and Applicability of Primary Effluent Reuse in Developing Countries*, Delft, 2014
- Aertgeerts, R. and Angelakis, A. N. (Eds.), *State of the Art Report: Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water*, WHO, Water, Sanitation and Health Protection and the Human. Environment WHO, Genova and WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, pp. x, 212, 2003
- Angelakis, A. N. and Spyridakis, S.V., *The status of water resources in Minoan times - A preliminary study. In: Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region (A. Angelakis, A. Issar, Eds.)*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191., 1996
- Aronson, D.A. and Seaburn, G.E., *Appraisal and operating efficiency of recharge basins on Long Island, New York, in 1969*, U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper No.2001-D, Washington, 1974
- Asano, T. (Ed), *Artificial Recharge of Groundwater*, Butterworth Publishers, Boston, MA, 1985
- Asano, T. and Cotruvo, J., *Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations*, Water Research, 38(8), 1941-1951, 2004
- Asano, T. and Levine, A.D., *Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future*, Wat. Sci. Tech., 33(10-11): 1-16, 1996
- ASCE, *Ground Water Management*, Third Edition, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 40, New York, 1987
- Bdour, A., Hamdi, M. and Tarawneh, Z., *Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. Desalination*, 237(1-3), 162-174, 2009
- Bianchi, W.C. and Muckel, D.C., *Ground-water recharge hydrology*, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service Pub. No. 41-161, 62p, 1970
- Bize, J., Bourguet, L. and Lemoine, J., *L' alimentation artificielle des nappes Souterraines*, Masson et Cie, Paris, 1972
- Bouwer, H., *Issues in artificial recharge*, 2nd International Symposium on wastewater reclamation and reuse, International Association on Water Quality, Iraklio, Crete, Greece, 17-20/10/1995, pp.871-880, 1995b
- Connorton, B.J. and McIntosh, P., *EUREAU survey on artificial recharge*, Proceedings of the 2nd International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water, 17-22/7/1994, Florida, USA, pp. 11-19, 1995

- Crites, R. W., Reed, S. C. and Middlebrooks, E. J., *Natural Wastewater Treatment Systems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp 413-426, 2006
- David, R. and Pyne, G., *Artificial recharge developments in the United States, Groundwater-Drought, Pollution & Management*, Peene & Watts (eds), Balkema, Rotterdam, 1994
- Delleur, J.W., *The handbook of Groundwater Engineering*, 2006
- Diede, C., *Reclamation's recharge projects: California – Nevada*, Proceedings of the International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water, 23-27/8/1988, California, Pubi, by ASCE, New York, USA, pp.43-53, 1989
- Dvoracek, M.J. and Scott, V.H., *Ground-water flow characteristics influenced by recharge pit geometry*, American Society of Agricultural Engineers Transactions, V.6(3), pp.262-265, 1963
- Fetter, C.W., *Applied Hydrogeology, 4th Edition*, Prentice Hall, 2000
- Hochstrat R., Wintgens T., Melin T., Jeffrey P., *Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential – a scenario analysis*, Desalination, 188, pp.1-8, 2006
- Huisman, L. and Olsthoorn, T.N., *Artificial Groundwater Recharge*, Delft University of Technology, Pitman Publ., Boston, 320p., 1983
- Iglesias, R.E., *Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains*, INNOVA-MED CONFERENCE «Water Reclamation and Reuse», 8-9 October 2009, Girona, Spain, 2009
- Iliopoulos, V., Stamatis, G., Stournaras, G., *Marine and human activity effects on the groundwater quality of Thriassio Plain, Attica, Greece*, πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου Ελλάδος, Αθήνα, 2008
- Israelson, O.W., *Irrigation Principles and Practices*, New York, Wiley, Chap.6, 1950
- Kelly, T.E., *Artificial recharge at Valley City*, Ground Water, V. 5(2), pp.20-25, 1967
- Makri, P., Dermitzakis, M., Scoullou, M., *Monitoring of pollution from benzene in the aquifers of Thriassio Plain, Western Attica, Greece*, πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου Ελλάδος, Αθήνα, 2008
- McWhorter, D.B. and Brookman, J.A., *Pit recharge influenced by subsurface spreading*, Ground Water, V. 10(5), pp.6-11, 1972
- Muckel, D.C., *Replenishment of Ground Water Supplies by Artificial Means*, U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1195, 1959
- National Research Council, *Ground water models: scientific and regulatory Applications*, National Academy Press, 303 p., 1990
- Oaksford, E.T., *Artificial recharge : methods, hydraulics and monitoring*, Artificial Recharge of Groundwater, Edited by Asano T., Butterworth Publishers, Chapter 4, pp. 69-127, 1985

- Pescod, M.B., *Wastewater treatment and use in agriculture*, F.A.O. of the United Nations, Rome, 1992
- Pettyjohn, W.A., *Design and construction of a dual recharge system at Minot, North Dakota*, Ground Water, V. 6(4), pp.4-8, 1968
- Pettyjohn, W.A., *Introduction to artificial groundwater recharge*, NWWA/EPA-600/2-81-236, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma, 1981
- Prince, K., *Stream augmentation at Fosters Brook, Long Island, New York. A hydraulic feasibility study*, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper No.2208, 1982
- Public Works Research Institute, *Principles and effect of underground piping*, Japan, 1980
- Rice, R.C. and Bouwer, H., *Soil-aquifer treatment using primary effluent*, J. Water Pollut. Control Fedn. 56(1): 84-88, 1984
- Rygaard, M., Binning, P.J., Albrechtsen, H.J., *Increasing urban water self-sufficiency New era, new challenges*, Journal of Environmental Management, 92, 185-194, 2011
- Schiff, L., *The Status of Water Spreading for Ground-Water Replenishment*, American Geophysical Union Transactions V. 36(6), pp.1009-1020, 1955
- Scott, V.H. and Aron, G., *Aquifer recharge efficiency of wells and trenches*, Ground Water, V.5(3), pp.6-14, 1967
- Sharma, S. K., Hussen, M. and Amy, G. L., *Soil aquifer treatment using advanced primary effluent*, Water Science and Technology, 64(3), 640-646, 2011
- The 2030 Water Resources Group, *Charting Our Water Future*, 2009
- Todd, D.K., *Ground Water Hydrology*, John Willey & Sons, New York, 1980
- Todd, D.K., Mays, L.W., *Groundwater Hydrology*, Wiley, 2004
- U.S. Environmental Protection Agency, *Guidelines for Water Reuse* <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>, 2012
- Whetstone, G.A., *Artificial recharge through tunnels*, American Water Works Association Journal, V. 48(11), pp.1444, 1956
- Wright, A. and du Toit, I., *Artificial recharge of urban wastewater, the key component in the development of an industrial town on the arid West Coast of South Africa*, Hydrogeology Journal Vol. 4(1), pp.118-129, 1996
- WssTP, *Water Reuse Report*, 2013
- Yi, L., Jiao, W., Chen, X., Chen, W., *An overview of reclaimed water reuse in China*, Journal of Environmental Sciences-China, 23, 1585-1593, 2011

ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

<http://astikalimata.ypeka.gr>

<http://geodata.gov.gr>

<https://www.google.gr/maps>

<http://www.ktimatologio.gr/Pages/Default.aspx>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Κ.Υ.Α. 145116/08.03.2011 : Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις

Πίνακας Α.1. Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Περιορισμένη άρδευση Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη 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</p> <p>Βιομηχανική χρήση Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά^(α)</p>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^{(α), (β)} Απολύμανση ^(γ)	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>EC: μια ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας Α.2. Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Απεριόριστη άρδευση Όλες οι καλλιέργειες όπως οπωροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμικήτια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.</p> <p>Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ⁽ⁿ⁾</p>	<p>≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων v</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων v</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή -</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^(ε) ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία^(στ) και Απολύμανση^(ς)</p>	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>EC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μία ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας Α.3. Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεώτρηση.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηριδία (TC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις</p> <p>Περιαστικό πράσινο συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών ^(Α)</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p> <p>-</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^(θ)</p> <p>ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία ^(ι) και Απολύμανση ^(κ)</p>	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>TC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δύο ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας Α.4. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων

Μέταλλο	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)
Al (αργίλιο)	5
As (αρσενικό)	0.1
Be (βηρύλλιο)	0.1
Cd (κάδμιο)	0.01
Co (κοβάλτιο)	0.05
Cr (χρώμιο)	0.1
Cu (χαλκός)	0.2
F (φθόριο)	1.0
Fe (σίδηρος)	3.0
Li (λίθιο)	2.5
Mn (μαγγάνιο)	0.2
Mo (μολυβδαίνιο)	0.01
Ni (νικέλιο)	0.2
Pb (μόλυβδος)	0.1
Se (σελήνιο)	0.02
V (βανάδιο)	0.1
Zn (ψευδάργυρος)	2.0
Hg (υδράργυρος)	0.002
B (Βόριο)	2

Πίνακας Α.5. Επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

Πιθανό πρόβλημα κατά την άρδευση	Μον ά- δες	Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή		
		Μηδαμινός	Μικρός-Μέτριος	Μεγάλος
Αλατότητα (Επηρεάζει την διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος)				
ECw ⁽¹⁾	dS/m	< 0.7	0.7 -3.0	> 3.0
Ή				
TDS (ολικά διαλυμένα	mg/l	< 450	450 -2000	> 2000
Διαπερατότητα				
SAR ⁽²⁾ = 0 - 3 και ECw =				
3 - 6		> 0.7	0.7 -0.2	< 0.2
6 -12		> 1.2	1.2 -0.3	< 0.3
12-20		> 1.9	1.9 -0.5	< 0.5
20-40		> 2.9	2.9 -1.3	< 1.3
		> 5.0	5.0 -2.9	< 2.9
Ειδική τοξικότητα ιόντων				
Νάτριο (Na)				
Επιφανειακή άρδευση (προσρόφηση δια των ριζών)	SAR	< 3	3 -9	> 9
Καταιονισμός (προσρόφηση δια των φύλλων)	mg/l	≤70	> 70	
Χλωρίοντα (Cl)				
Επιφανειακή άρδευση (προσρόφηση δια των ριζών)	mg/l	< 140	140 -350	> 350
Καταιονισμός (προσρόφηση δια των φύλλων)	mg/l	≤ 100	> 100	
Άλλες επιπτώσεις				
Αζωτο (NO ₃ -N) ⁽³⁾	mg/l	< 5	5 -30	> 30
HCO ₃ (μόνο για άρδευση για καταιονισμό)	mg/l	< 90	90-500	> 500
Ph		Τυπικό διάστημα 6.5-8.5		

Πίνακας Α.6. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (µg/l)
Alachlor	15972-60-8	0,7
Ανθρακένιο	120-12-7	1
Ατραζίνη	1912-24-9	2
Βενζόλιο	71-43-2	5
Βρωμιούχος διφαινυλαιθέρας	32534-81-9	0,025
Ανθρακο-τετραχλωρίδιο	56-23-5	ΜΑ
C10-13 Χλωροαλκάνια	85535-84-8	1,4
Chlorfenvinphos	470-90-6	0,3
Chlorpyrifos (Chlorpyrifos-ethyl)	2921-88-2	0,1
Aldrin	309-00-2	ΜΑ
Dieldrin	60-57-1	ΜΑ
Endrin ¹	72-20-8	ΜΑ
Isodrin	465-73-6	0,01
DDT ολικό	Δεν	ΜΑ
para-para-DDT	50-29-3	ΜΑ
1,2 Διχλωροαιθάνιο	107-06-2	20
Διχλωρομεθάνιο	75-09-2	50
Φθαλικό δι(2-αιθυλεξίλιο) – (ΦΔΕΕ-DEHP)	117-81-7	10
Diuron	330-54-1	1,0
Ενδοσουλφάνιο	115-29-7	0,01
Φλουορανθένιο	206-44-0	1
Εξαχλωροβενζόλιο	118-74-1	ΜΑ
Εξαχλωροβουταδιένιο	87-68-3	0,6
Εξαχλωροκυκλοεξάνιο	608-73-1	ΜΑ
Isoproturon	34123-59-6	1
Ναφθαλένιο	91-20-3	2,4
Εννεύλοφαινόλη [4-εννεύλοφαινόλη]	104-40-5	2

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/l)
Οκτυλοφαινόλη [(4-(1,1', 3,3'-τετραμεθυλβουτυλική)-φαινόλη)]	140-66-9	1
Πενταχλωροβενζόλιο	608-93-5	0,1
Πενταχλωροφαινόλη	87-86-5	1
Βενζο(α)πυρένιο	50-32-8	0,1
Βενζο(β)φλουορανθένιο Βενζο(κ)φλουορανθένιο	205-99-2 207-08-9	Αθροιστικά=0,03
Βενζο(ζ,η,θ)-περιλένιο Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο	191-24-2 193-39-5	Αθροιστικά=0,02
Σιμαζίνη	122-34-9	1
Τετραχλωροαιθυλένιο	127-18-4	10
Τριχλωροαιθυλένιο	79-01-6	10
Ενώσεις τριβουτυλίνης (κατιόν	36643-28-4	0,003
Τριχλωροβενζόλια (όλα ισομερή)	12002-48-1	0,4
Τριχλωρομεθάνιο	67-66-3	2,5
Τριφθοραλίνη	1582-09-8	0,03
Οξεία τοξικότητα στον οργανισμό δείκτη <i>Daphnia Magna</i> (πρίν από την απολύμανση)		1 Μονάδα Τοξικότητας (TU 50 ≤1

ΜΑ= Μη ανιχνεύσιμο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΟΔΗΓΙΑ 91/271/ ΕΟΚ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Πίνακας Β.1. Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων που διέπονται από τα άρθρα 4 και 5 της παρούσας οδηγίας. Εφαρμόζεται η τιμή συγκέντρωσης ή το ποσοστό μείωσης.

Παράμετροι	Συγκέντρωση	Ελάχιστη εκατοστιαία μείωση ⁽¹⁾	Μέθοδοι μέτρησης αναφοράς
Βιομηχανικές ανάγκες σε οξυγόνο (BOD5 στους 20 °C) χωρίς νιτροποίηση ⁽²⁾	25 mg/l O ₂	70-90 40 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2	Ομοιογενοποιημένο, αδιάθικτο, ακατακάθιστο δείγμα, προσδιορισμός του διαλελυμένου οξυγόνου πριν και μετά πενήνήμερη επώαση στους 20 °C ± 1 °C, σε απόλυτο σκότος. Προσθήκη παρεμποδιστή της νιτροποίησης
Χημικές ανάγκες σε οξυγόνο (COD)	125 mg/l O ₂	75	Ομοιογενοποιημένο, αδιάθικτο, ακατακάθιστο δείγμα Διχρωμικό κάλιο
Ολικά αιωρούμενα στερεά	35 mg/l ⁽³⁾ 35 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (άνω των 10 000 ι.π.) 60 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (2 000-10 000 ι.π.)	90 ⁽³⁾ 90 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (άνω των 10 000 ι.π.) 70 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (2 000-10 000 ι.π.)	— Διήθηση αντιπροσωπευτικού δείγματος μέσω φίλτρου μεμβράνης των 0,45 μμ. Ξήρανση σε θερμοκρασία 105 °C και ζύγιση. — Φυγοκέντρωση αντιπροσωπευτικού δείγματος (επί 5 τουλάχιστον λεπτά, με μέση επιτάχυνση 2 800-3 200 g). Ξήρανση σε θερμοκρασία 105 °C και ζύγιση

(1) Μείωση ανάλογα με το φορτίο των εισρεόντων λυμάτων.

(2) Η παράμετρος αυτή μπορεί να αντικατασταθεί από άλλη: ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) ή ολικές ανάγκες σε οξυγόνο (TOD) αν μπορεί να ευρεθεί σχέση μεταξύ του BOD5 και της υποκατάστατης παραμέτρου.

(3) Η απαίτηση αυτή είναι προαιρετική.

Πίνακας Β.2. Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός

Παράμετροι	Συγκέντρωση	Ελάχιστη εκατοστιαία μείωση (1)	Μέθοδος μέτρησης αναφοράς
Ολικός φωσφόρος	2 mg/l P (10 000-1 000 000 ι.π.) 1 mg/l P (άνω των 100 000 ι.π.)	80	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Ολικό άζωτο (2)	15 mg/l P (10 000-100 000 ι.π.) (3) 10 mg/l P (άνω των 100 000 ι.π.) (3)	70-80	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης

(1) Μείωση ανάλογα με το φορτίο των εισρεόντων λυμάτων.

(2) Ολικό άζωτο σημαίνει το άθροισμα του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (οργανικό και NH₃), του αζώτου των νιτρικών ιόντων (NO₃) και του αζώτου των νιτρωδών ιόντων (NO₂).

(3) Οι ως άνω τιμές συγκέντρωσης αποτελούν ετήσιο μέσο όρο, σύμφωνα με το παράρτημα Ι σημείο Δ. 4. γ). Ωστόσο, οι απαιτήσεις για το άζωτο μπορούν να επαληθευθούν χρησιμοποιώντας τον ημερήσιο μέσο όρο όταν έχει αποδειχθεί, σύμφωνα με το παράρτημα Ι σημείο Δ. 1, ότι επιτυγχάνεται το ίδιο επίπεδο προστασίας. Στην περίπτωση αυτή, ο ημερήσιος μέσος όρος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 mg/l ολικού αζώτου για όλα τα δείγματα, όταν η θερμοκρασία των λυμάτων στο βιοαντιδραστήρα είναι ανώτερη ή ίση των 12 °C. Αντί για την προϋπόθεση της θερμοκρασίας, μπορεί να εφαρμοστεί ένας περιορισμένος χρόνος λειτουργίας, ανάλογος με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες.

Πίνακας Β.3. Αποδεκτός αριθμός αποκλιόντων δειγμάτων

Αριθμός δειγμάτων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε έτους	Ανώτατος επιτρεπτός αριθμός δειγμάτων που αποκλείουν
4-7	1
8-16	2
17-28	3
29-40	4
41-53	5
54-67	6
68-81	7
82-95	8
96-110	9
111-125	10
126-140	11
141-155	12
156-171	13
172-187	14
188-203	15
204-219	16
220-235	17
236-251	18
252-268	19
269-284	20
285-300	21
301-317	22
318-334	23
335-350	24
351-365	25