



# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

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

## **Μεταπτυχιακή Εργασία**

**«Οικονομοτεχνική αξιολόγηση επαναχρησιμοποίησης  
επεξεργασμένων λυμάτων για τον εμπλουτισμό υπόγειων  
υδροφορέων»**

**Μαρία Κλ. Καμπουρέλλη**

**Επιβλέπων:** Καλλιώρας Ανδρέας

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων». Η ολοκλήρωση της εν λόγω εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς τη βοήθεια συγκεκριμένων ατόμων προς τα οποία θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή, κ. Ανδρέα Καλλιώρα, Επίκουρου Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση του θέματος και την καθοδήγησή του καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτριο Δαμίγο του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Επίσης τις βαθύτατες ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω και στον κ. Αθανάσιο Μαραγκό, Χημικό Μηχανικό της Ε.Υ.Δ.Α.Π. Α.Ε. για τη βοήθειά του στην κατανόηση λειτουργίας των εγκαταστάσεων του Κέντρου Επεξεργασίας της Ψυττάλειας και για την παραχώρηση φωτογραφικού υλικού.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την εταιρεία ΤΕΚΑΛ Α.Ε., στην οποία έχω την τιμή να εργάζομαι, και συγκεκριμένα τον κ. Ψαλτάκο Παναγιώτη, Πρόεδρο και Διευθύνοντα Σύμβουλο και τον κ. Αντώνη Πανά, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ και Τεχνικό Διευθυντή του έργου «Κατασκευή Δυτικού Προβλήτα III» για την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού για τις ώρες που απουσίασα από την εργασία μου στο εργοτάξιο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική συμπαράσταση της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής. Η βοήθεια και η συμπαράσταση κυρίως του συζύγου μου Στράτου, της μητέρας μου Σοφίας και των παιδιών μου Σοφίας και Παναγιώτη, σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν ανεκτίμητη.

Καμπουρέλλη Μαρία  
Σεπτέμβριος 2016





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αξιολογήθηκε η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων με τη χρήση συστημάτων επεξεργασίας εδάφους-υδροφορέα (Soil-Aquifer Treatment Systems, SAT) για τον τεχνητό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Ειδικότερα αξιολογήθηκαν τα οικονομοτεχνικά χαρακτηριστικά μεταφοράς μέρους των επεξεργασμένων λυμάτων του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας (Κ.Ε.Λ.Ψ.) στην περιοχή του Θριάσιου Πεδίου και στην περιοχή των Μεγάρων με σκοπό την εξυγίανση των παράκτιων υδροφορέων τους.

Εξετάστηκαν η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων του Κ.Ε.Λ.Ψ., οι κυριότερες γεωλογικές και υδρογεωλογικές παράμετροι των περιοχών μελέτης, που αφορούν στην αποτελεσματικότητα των συστημάτων SAT, το νομικό και θεσμικό πλαίσιο που διέπει την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων και τα οικονομικά στοιχεία της κατασκευής των έργων υποδομής για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού και στις δύο περιοχές μελέτης.

## **ABSTRACT**

In this postgraduate work was examined the possibility of reuse of treated wastewater using Soil-Aquifer Treatment Systems (SAT Systems) for artificial recharge of aquifers. More specifically were evaluated the economic characteristics of the transportation of the treated wastewater from the Water Treatment Center of Psyttalia (W.W.T.P) in the region of Thriassio Field and Megara region to consolidate their coastal aquifers.

Also examined the quality of the treated wastewater of W.W.T.P., the main geological and hydrogeological parameters of the study areas, involving the effectiveness of SAT systems, the legal and institutional framework governing the reuse of treated wastewater and the economics of construction of infrastructure for the implementation of artificial recharge in both study areas.

## Πίνακας περιεχομένων

1.	Εισαγωγή.....	1
2.	Το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής.....	3
2.1.	Γενικά .....	3
2.2.	Γεωμορφολογία – Γεωλογία.....	5
2.3.	Υδρογεωλογία.....	7
2.4.	Κλίμα .....	11
2.5.	Χρήσεις Γης – Ζήτηση νερού .....	13
2.6.	Το υδροδοτικό σύστημα .....	16
2.6.1.	Ταμειυτήρες.....	17
2.6.2.	Ποιότητα Υπόγειου Νερού - Γεωτρήσεις.....	20
2.6.3.	Υδραγωγεία .....	24
2.6.4.	Μονάδες Επεξεργασίας Νερού.....	25
2.6.5.	Δίκτυο διανομής νερού.....	27
2.7.	Αποχέτευση και Επεξεργασία Λυμάτων .....	29
2.7.1.	Λειτουργία δικτύου αποχέτευσης.....	29
2.7.2.	Συλλεκτήρες .....	30
2.7.3.	Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων .....	31
3.	Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (Κ.Ε.Λ.Ψ.).....	33
3.1.	Εισαγωγή .....	33
3.2.	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων .....	36
3.2.1.	Έργα εισόδου και προεπεξεργασίας.....	37
3.2.2.	Πρωτοβάθμια καθίζηση.....	39
3.2.3.	Βιολογική βαθμίδα .....	41
3.2.4.	Δευτεροβάθμια καθίζηση .....	43
3.3.	Εγκαταστάσεις βιομηχανικού νερού.....	45
3.4.	Επεξεργασία ιλύος .....	46
3.4.1.	Μηχανική πάχυνση.....	47
3.4.2.	Αναερόβια χώνευση .....	49
3.4.3.	Μηχανική αφυδάτωση.....	51
3.4.4.	Θερμική ξήρανση .....	52
3.5.	Συμπαγωγή ενέργειας .....	55
3.6.	Διάθεση ιλύος και παραπροϊόντων επεξεργασίας (εσχαρισμάτων άμμου).....	56
4.	Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων .....	59
4.1.	Γενικά .....	59
4.2.	Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης.....	60
4.2.1.	Άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου.....	60

4.2.2.	Βιομηχανική χρήση .....	61
4.2.3.	Περιβαλλοντικές και Ψυχαγωγικές χρήσεις.....	61
4.2.4.	Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων.....	62
4.2.5.	Υδατοκαλλιέργειες .....	62
4.2.6.	Άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόσιμο νερό.....	62
4.2.7.	Άλλες χρήσεις.....	63
4.3.	Αποθήκευση ανακτημένων λυμάτων.....	63
4.4.	Δημόσια υγεία και περιβαλλοντικά θέματα.....	64
4.5.	Κοινωνική αποδοχή .....	64
4.6.	Οικονομικό κόστος.....	65
5.	Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού.....	67
5.1.	Εισαγωγή .....	67
5.2.	Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στην επιφάνεια .....	68
5.2.1.	Μέθοδος λεκάνης κατάκλυσης (basin method).....	68
5.2.2.	Μέθοδος τάφρων και αυλακών (ditch and furrow method).....	71
5.2.3.	Μέθοδος πλημμύρας (Flooding method) .....	71
5.2.4.	Μέθοδος διευθέτησης υδρορρέματος.....	72
5.2.5.	Επανεργοποίηση ή Αύξηση Ροής υδρορρέματος.....	73
5.2.6.	Μέθοδος άρδευσης (irrigation method) .....	73
5.3.	Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος .....	74
5.3.1.	Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (natural openings method).....	74
5.3.2.	Μέθοδος ορυγμάτων (pit method).....	75
5.3.3.	Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (reverse drainage method).....	75
5.3.4.	Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού (recharge well method) .....	76
5.3.5.	Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης - άντλησης (aquifer storage and recover wells - ASR wells) .....	77
5.3.6.	Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (vadose - zone wells).....	78
5.4.	Συνδυασμοί επιφανειακού και υπεδαφικού εμπλουτισμού .....	79
5.4.1.	Συνδυασμός λεκάνης εμπλουτισμού και αποστραγγιστικού δικτύου (Basins with subsurface drainage collectors and wells).....	79
5.4.2.	Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (basins with pits, shafts, or wells) .....	80
5.5.	Μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού.....	80
5.5.1.	Επαγωγικός εμπλουτισμός (induce recharge) .....	81
5.5.2.	Συμπωματικός εμπλουτισμός (incidental recharge) .....	82
5.5.3.	Διευθέτηση υδροφορέων (Aquifer modification) .....	82
5.6.	Μέθοδοι εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα .....	82

5.6.1.	Συστήματα φυσικής επεξεργασίας μέσω του εδάφους-υδροφορέα (Soil-Aquifer Treatment Systems, SAT).....	83
5.6.2.	Γεωτρήσεις μετά από προηγμένες διαδικασίες καθαρισμού (Advanced Wastewater Treatment, AWT) .....	86
6.	Διεθνείς Οδηγίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων .....	89
6.1.	Γενικά .....	89
6.2.	Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO).....	90
6.3.	Οδηγία Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) ..	94
6.4.	Οδηγίες Αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S. EPA)...	96
6.5.	Κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνια .....	97
6.6.	Άλλες χώρες .....	98
6.7.	Ευρωπαϊκές Οδηγίες .....	100
6.8.	Το Θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας .....	106
7.	Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων σε διεθνές επίπεδο	115
7.1.	Γενικά .....	115
7.2.	Η.Π.Α.....	115
7.3.	Ν. Αμερική.....	117
7.4.	Ευρώπη .....	117
7.5.	Μέση Ανατολή – Αφρική .....	118
7.6.	Αυστραλία.....	119
7.7.	Σαουδική Αραβία.....	119
7.8.	Ελλάδα .....	119
8.	Κοινοτική Οδηγία περί υδάτων 2000/60/ΕΚ .....	121
8.1.	Εισαγωγή .....	121
8.2.	Χρηματοοικονομικό Κόστος .....	122
8.2.1.	Κόστος Κεφαλαίου .....	122
8.2.2.	Λειτουργικό Κόστος.....	123
8.2.3.	Κόστος Συντήρησης .....	123
8.2.4.	Κόστος Διοίκησης .....	123
8.3.	Περιβαλλοντικό Κόστος .....	123
8.4.	Κόστος Πόρου .....	123
8.5.	Αγροτική χρήση .....	124
8.5.1.	Χρήση μέσω Οργανωμένα Συλλογικά Δίκτυα.....	124
8.5.2.	Χρήση εκτός Οργανωμένων Συλλογικών Δικτύων.....	125
9.	Πρόταση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων Ψυττάλειας για τεχνητό εμπλουτισμό .....	127
9.1.	Εισαγωγή .....	127

9.2. Διερεύνηση καταλληλότητας προτεινόμενων θέσεων για εφαρμογή συστημάτων SAT.....	127
9.2.1. Γενικά .....	127
9.2.2. Θριάσιο Πεδίο .....	129
9.2.3. Μέγαρα.....	131
9.2.4. Αξιολόγηση Ποιοτικών και Ποσοτικών χαρακτηριστικών των Υδατικών Συστημάτων του Θριάσιου Πεδίου και των Μεγάρων .....	134
9.3. Σχεδιασμός και κοστολόγηση προτεινόμενων έργων.....	139
9.3.1. Γενικά .....	139
9.3.2. Σενάριο μεταφοράς λυμάτων από το ΚΕΛΨ στο Θριάσιο Πεδίο στη θέση Βελανιδιές .....	139
9.3.3. Σενάριο μεταφοράς λυμάτων από το ΚΕΛΨ στα Μέγαρα στη θέση «Άγιος Γεώργιος».....	148
9.4. Αξιολόγηση προτεινόμενων έργων.....	153
10. Γενικά Συμπεράσματα.....	159
Βιβλιογραφία .....	167
Παράρτημα .....	175

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1.1: Υδατικό διαμέρισμα Αττικής [28] .....	4
Σχήμα 2.2.1.: Γεωμορφολογία Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [29].....	5
Σχήμα 2.2.2.: Υδρολιθολογικός Χάρτης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28].....	6
Σχήμα 2.3.1.: Χάρτης επιφανειακών υδάτινων σωμάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28].....	8
Σχήμα 2.3.2.: Χάρτης υπόγειων υδάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28].....	9
Σχήμα 2.4.1: Διαχρονική μεταβολή των ετήσιων τιμών του ολικού ύψους βροχόπτωσης στην περιοχή της Αττικής [1] .....	12
Σχήμα 2.4.2.: Διαχρονική μεταβολή των ετήσιων συνολικών ημερών βροχής στην περιοχή της Αττικής [1].....	12
Σχήμα 2.5.1. : Χρήσεις Γης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [38].....	15
Σχήμα 2.5.2. : Χρήσεις Γης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28].....	15
Σχήμα 2.6.1. : Ταμιευτήρες Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής [30].....	18
Σχήμα 2.6.2. : Γράφημα διαχρονικών αποθεμάτων ταμιευτήρων [20].....	20
Σχήμα 2.6.3. : Γράφημα μέγιστα και ελάχιστα αποθεμάτων ταμιευτήρων 1993, 2015 & 2016 [20] .....	20
Σχήμα 2.6.4.: Χημική κατάσταση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28] .....	21
Σχήμα 2.6.5.: Ποσοτική κατάσταση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28] .....	22
Σχήμα 2.6.6. : Περιοχές υφαλμύρισης Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28] .....	22
Σχήμα 2.6.7. : Χάρτης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [24].....	24
Σχήμα 2.6.8. : Χάρτης δικτύου διανομής νερού στην Αθήνα [20] .....	28
Σχήμα 2.6.9. : Κατανάλωση του νερού της Αθήνας από το 1926 – 2000 και τα έτη .....	29
Σχήμα 2.7.1. : Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων [28].....	31
Σχήμα 3.1.1 : Τιμές εισόδου του Κ.Ε.Λ.Ψ. 2015 [23] .....	35
Σχήμα 3.1.2 : Τιμές εξόδου του Κ.Ε.Λ.Ψ. 2015 [23].....	36
Σχήμα 3.2.1. : Διάγραμμα ροής ΚΕΛ Ψυττάλειας [87] .....	37
Σχήμα 3.2.2 : Τομή δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης [87].....	41
Σχήμα 3.4.1 : Επεξεργασία Ιλύος [87] .....	46

Σχήμα 3.4.2: Διάγραμμα λειτουργίας περιστρεφόμενου κυλινδρικού παχυντή φυγοκέντρωσης [4] .....	48
Σχήμα 3.4.3 : Μονάδα θερμικής ξήρανσης στην Ψυττάλεια [87].....	55
Σχήμα 5.2.1. : Τεχνητός εμπλουτισμός με λεκάνες κατάκλυσης. (α): κάτοψη, (β): τομή κάτω από μία λεκάνη πλάτους x (από Καλλέργη 2001 κατά Todd 1980) [84,38] .....	69
Σχήμα 5.2.2 : Η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφρο. κατά τους [38] .....	71
Σχήμα 5.2.3. : Τυπική διάταξη συστήματος εμπλουτισμού με πλημμύρα [85, 69,64] .....	72
Σχήμα 5.2.4 : Τεχνητός εμπλουτισμός με διευθέτηση υδρορέυματος Α. Εκτροπή Β. Με τάφρους Γ. Φράγματα και λεκάνες ελέγχου [85, 69,64].....	73
Σχήμα 5.3.1 : Μέθοδος εμπλουτισμού με ορύγματα και κανάλια [85, 69,64].....	75
Σχήμα 5.3.2 : Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α): ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β): υπό πίεση υδροφόρο στρώμα [84,38].....	76
Σχήμα 5.3.3 : Διάγραμμα των φάσεων αποθήκευσης – άντλησης ενός τυπικού συστήματος στη νότια Φλόριντα [38] .....	78
Σχήμα 5.3.4 : Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό [38].....	79
Σχήμα 5.4.1 : Υπεδαφικό σύστημα συγκέντρωσης και αποστράγγισης του νερού, συνδεδεμένο με ένα πηγάδι εμπλουτισμού [73,69,64].....	80
Σχήμα 5.5.1 : Επαγωγικός εμπλουτισμός λόγω άντλησης πλησίον τάφρου. (α): φυσικές ροές, (β): ροές κατά την άντληση [84,38] .....	81
Σχήμα 9.2.1 : Απεικόνιση κατά WILCOX χημικής κατάστασης υπόγειων νερών περιοχής Θριάσιου Πεδίου [92].....	130
Σχήμα 9.2.2 : Απεικόνιση κατά WILCOX χημικής κατάστασης υπόγειων νερών περιοχής Μεγάρων [92].....	132
Σχήμα 9.4.1 : Διάγραμμα διακύμανσης τιμής νερού σε συνάρτηση με την ποσότητα εμπλουτισμού .....	156



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.6.1 : Φράγμα και λίμνη Μαραθώνα [20] .....	17
Εικόνα 2.6.2, Εικόνα 2.6.3 : Λίμνη Υλίκης και Μόρνου [20] .....	17
Εικόνα 3.1.1 : ΚΕΛ Ψυττάλειας [22] .....	33
Εικόνα 3.2.1 : Εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας Ακροκέραμου [87] .....	38
Εικόνα 3.2.2 : Εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας Ακροκέραμου [87] .....	38
Εικόνα 3.2.3 : Εγκαταστάσεις επεξεργασίας Ψυττάλειας [87] .....	39
Εικόνα 3.2.4 : Απεικόνιση εγκαταστάσεων του ΚΕΛΨ [87] .....	40
Εικόνα 3.2.5 : Απεικόνιση των Πρωτοβάθμιων Δεξαμενών [87] .....	41
Εικόνα 3.2.6 : Διαχυτήρες [87] .....	42
Εικόνα 3.2.7 : Απεικόνιση Δεξαμενών Αερισμού (Βιοαντιδραστήρες) [87] .....	43
Εικόνα 3.2.8 : Απεικόνιση των Δεξαμενών Τελικής Καθίζησης [87] .....	44
Εικόνα 3.3.1 : Απεικόνιση Μονάδας Διύλισης [87] .....	45
Εικόνα 3.4.1 : Απεικόνιση Δεξαμενών Προπάχυνσης [87] .....	47
Εικόνα 3.4.2 : Μηχανικοί παχυντές τύπου τράπεζας [87] .....	49
Εικόνα 3.4.3 : Χώνευτές Α΄ & Β΄ φάσης [87] .....	51
Εικόνα 3.4.4 : Μονάδα Αφυδάτωσης [87] .....	52
Εικόνα 3.4.5 : Καυστήρας και περιστροφικό τύμπανο για την ξήρανση της ιλύος [87] ..	53
Εικόνα 3.4.6 : Σιλό προσωρινής αποθήκευσης ξηραμένης ιλύος [87] .....	54
Εικόνα 3.5.1, Εικόνα 3.5.2 : Μονάδα ΣΗΘΕ με καύση βιοαερίου & Εγκατάσταση συμπαγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας του ΚΕΛ Ψυττάλειας [87] .....	56
Εικόνα 3.6.1 : Τελικό ξηραμένο προϊόν [87] .....	57
Εικόνα 9.3.1 : Προεπισκόπηση προτεινόμενης διαδρομής για τη μεταφορά των λυμάτων από το Κ.Ε.Λ.Ψ. στην περιοχή Βελανιδιές στο Θριάσιο Πεδίο .....	140
Εικόνα 9.3.2 : Προεπισκόπηση προτεινόμενης διαδρομής για τη μεταφορά των λυμάτων από το Κ.Ε.Λ.Ψ. στην περιοχή πλησίον της Ιεράς Μονής Αγίου Νικολαου Μεγάρων ..	149

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1.1 : Έκταση Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [86] .....	4
Πίνακας 2.3.1 : Υδρολιθολογική ανάλυση λεκάνης απορροής λεκανοπεδίου Αττικής [16]	7
Πίνακας 2.3.2 : Υπόγεια ύδατικά συστήματα Υ.Δ. Αττικής [28] .....	10
Πίνακας 2.6.1 : Απολήψιμο απόθεμα ταμιευτήρων 24/8/2016 [20] .....	19
Πίνακας 2.6.2 : Συνολικά αποθέματα ταμιευτήρων (m <sup>3</sup> ) [20] .....	19
Πίνακας 2.6.3 : Συνολική παραγωγή Διυλιστηρίων (m <sup>3</sup> ) [20] .....	19
Πίνακας 2.6.4 : Υπόγεια Αποθέματα νερού υδατικού διαμερίσματος Αττικής [88, & Κουτσογιάννης και Μαρίνος, 1995].....	23
Πίνακας 3.1.1 : Παροχές και φορτία σχεδιασμού ΚΕΛΨ [2] .....	35
Πίνακας 3.1.2 : Τιμές Εισόδου και Εξόδου ρυπαντικών φορτίων ΚΕΛΨ (ιδία επεξεργασία).....	36
Πίνακας 5.6.1 : Χαρακτηριστικά ποιότητας αποβλήτου που ελήφθη από σύστημα SAT στο Salt River Floodplain West of Phoenix, Arizona, ΗΠΑ [83,64] .....	85
Πίνακας 6.2.1 : Προτεινόμενα κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων στη γεωργία από τον WHO (1989) [36].....	92
Πίνακας 6.2.2 : Προτεινόμενα κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων στη γεωργία από τον WHO (2000) [36].....	93
Πίνακας 6.2.3 : Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος διαφόρων τοξικών χημικών βασισμένα στην προστασία της ανθρώπινης υγείας (WHO 2006) [57] .....	94
Πίνακας 6.3.1 : Οδηγίες FAO για την ποιότητα του νερού άρδευσης (FAO 1985) [36]..	95
Πίνακας 6.4.1 : Συνοπτική περιγραφή των προτεινόμενων οδηγιών της U.S. EPA για την επαναχρησιμοποίηση του νερού για άρδευση (2004) [54,37].....	96
Πίνακας 6.5.1 : Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων της Καλιφόρνια (2000) [36]	97
Πίνακας 6.6.1 : Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στο Ισραήλ [57,59] .....	99
Πίνακας 6.7.1 : Ποιοτικά κριτήρια που καθορίζουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση στην Κύπρο [52,37].....	101
Πίνακας 6.7.2 : Οδηγία επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στη Γαλλία [57]	102
Πίνακας 6.7.3 : Ποιοτικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση στη Ισπανία [57].....	103
Πίνακας 6.7.4 : Μικροβιολογική ποιότητα για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση( Οδηγίες NP 4436) στη Πορτογαλία [57] .....	104

Πίνακας 6.7.5 : Εθνικά και τοπικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων στην Ιταλία [53,37] .....	105
Πίνακας 6.8.1 : 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 υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διάμεσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64] .....	106
Πίνακας 6.8.2 : 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 αστική και περιαστική και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64] .....	107
Πίνακας 6.8.3 : Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων, στοιχείων (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64] .....	107
Πίνακας 6.8.4 : Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα. (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64]	108
Πίνακας 6.8.5 : Αρχικά προτεινόμενα μικροβιολογικά και φυσικοχημικά κριτήρια για διάφορες κατηγορίες χρήσης ανακτημένου νερού στην Ελλάδα (2000) [37,60].....	110
Πίνακας 6.8.6 : Προτεινόμενα κριτήρια για διάφορες κατηγορίες χρήσης ανακτημένου νερού στην Ελλάδα (2005) [37,13] .....	111
Πίνακας 6.8.7 : Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για διάφορες χρήσεις στην Ελλάδα (2003) [60,37].....	112
Πίνακας 6.8.8 : Προτεινόμενα μέγιστα όρια χημικών στοιχείων σε ανακτημένα λύματα [61,37] .....	113
Πίνακας 6.8.9 : Προτεινόμενα αγρονομικά χαρακτηριστικά των ανακτημένων λυμάτων [61,37] .....	113
Πίνακας 9.2.1 : Υδρολογικό Ισοζύγιο (μηδενικό σενάριο).....	135
Πίνακας 9.2.2 : Υδρολογικό Ισοζύγιο (εφαρμογή SAT System) στο Θριάσιο Πεδίο ....	137
Πίνακας 9.2.3 : Υδρολογικό Ισοζύγιο (εφαρμογή SAT System) στα Μέγαρα.....	138
Πίνακας 9.3.1 : Συνοπτικοί Προϋπολογισμοί εναλλακτικών σεναρίων εμπλουτισμού στο Θριάσιο Πεδίο .....	143

Πίνακας 9.3.2 : Ποσοστό συμμετοχής κάθε ομάδας στο συνολικό προϋπολογισμό (Θριάσιο Πεδίο).....	143
Πίνακας 9.3.3 : Υπολογισμός κόστους κατανάλωσης ενέργειας αντλιών .....	145
Πίνακας 9.3.4 : Κόστος νερού για τα εναλλακτικά σενάρια εμπλουτισμού στο Θριάσιο Πεδίο.....	147
Πίνακας 9.3.5 : Συνοπτικοί Προϋπολογισμοί εναλλακτικών σεναρίων εμπλουτισμού στα Μέγαρα.....	150
Πίνακας 9.3.6 : Ποσοστό συμμετοχής κάθε ομάδας στο συνολικό προϋπολογισμό (Μέγαρα) .....	150
Πίνακας 9.3.7 : Κόστος νερού για τα εναλλακτικά σενάρια εμπλουτισμού στην περιοχή πλησίον της Ιεράς Μονής Αγίου Νικολαου Μεγάρων.....	152

#### **Κατάλογος Πινάκων Παραρτήματος**

Πίνακας 1 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 1 Θριάσιου Πεδίου) .....	175
Πίνακας 2 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 2 Θριάσιου Πεδίου) .....	179
Πίνακας 3 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 3 Θριάσιου Πεδίου) .....	183
Πίνακας 4 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 4 Θριάσιου Πεδίου) .....	187
Πίνακας 5 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 1 Μέγαρα).....	191
Πίνακας 6 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 2 Μέγαρα).....	195
Πίνακας 7 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 3 Μέγαρα).....	199
Πίνακας 8 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 4 Μέγαρα).....	203

# 1. Εισαγωγή

Το νερό είναι δημόσιο αγαθό και ένας μοναδικός και ιδιαίτερος φυσικός πόρος. Είναι αναγκαία προϋπόθεση για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη και, δεν μπορεί να αντικατασταθεί και δεν μπορεί να παραχθεί σε μεγάλες ποσότητες με άλλα υλικά. Δεν πρόκειται για έναν κλασικό οικονομικό πόρο, αλλά για ένα περιβαλλοντικό αγαθό, που εμπεριέχει σημαντικές οικονομικές παραμέτρους, λόγω των αναγκών διαχείρισης, επεξεργασίας, μεταφοράς και διανομής του.

Η κακή διαχείριση του νερού ως φυσικού πόρου, η αλόγιστη χρήση και η μόλυνση έχουν σαν αποτέλεσμα την ποσοτική μείωση των αποθεμάτων, την ποιοτική υποβάθμισή τους και την ανάγκη μεταφοράς υδατικών πόρων από μεγάλες αποστάσεις με περιβαλλοντικό αλλά και οικονομικό κόστος.

Η υφαλμύριση και μόλυνση των υπόγειων και επιφανειακών διαθέσιμων υδατικών πόρων και η κλιματική αλλαγή που προκαλεί μεγάλες διακυμάνσεις στις ποσότητες των βροχοπτώσεων, έχουν φέρει πολλά και μεγάλα ορατά πλέον προβλήματα.

Η έλλειψη πολιτικής διαχείρισης και ολοκληρωμένου διαχειριστικού σχεδίου, η αλόγιστη χρήση νερού στις πόλεις, το πεπαλαιωμένο και με σημαντικές απώλειες δίκτυο, η μη ορθή τιμολογιακή πολιτική και τέλος η έλλειψη ενημέρωσης των χρηστών, είναι μερικά από τα προβλήματα που καθιστούν προβληματική την διαχείριση των υδατικών πόρων.

Διεθνώς, η νέα αντίληψη για τα υγρά απόβλητα είναι η θεώρησή τους ως ανανεώσιμης πηγής από την οποία μπορούν να ανακτηθούν ενέργεια, πόροι και νερό. Οι επικρατούσες τάσεις αναφέρονται στην επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων, εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων και παραγωγή ενέργειας.

Όσον αφορά την νομοθεσία που έχει αναπτυχθεί διεθνώς για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων, σημαντικότερες είναι οι οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος και της Καλιφόρνιας. Τα κριτήρια των περισσότερων χωρών βασίστηκαν στις παραπάνω οδηγίες.

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο τα τελευταία χρόνια. Στην Ελλάδα η μέχρι πρότινος έλλειψη θεσμικού πλαισίου, είχε σαν αποτέλεσμα, η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων να μην είναι ευρέως διαδεδομένη, παρά τις αυξημένες ανάγκες για νερό, ειδικά κατά τους θερινούς μήνες. Έτσι, η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων είναι ευκαιριακή και η συνήθης μέθοδος τελικής διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων είναι η υποθαλάσσια διάθεση σε θερμοθετημένους αποδέκτες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας (Κ.Ε.Λ.Ψ.), ενός από τα μεγαλύτερα Κ.Ε.Λ. στην Ευρώπη και διεθνώς, που διαθέτει τα επεξεργασμένα λύματα του στο Σαρωνικό. Αποτέλεσμα είναι να παραμένουν αναξιοποίητες σημαντικές ποσότητες του υδατικού δυναμικού του διαμερίσματος της Αττικής και παράλληλα να υπεραντλείται και να σπαταλιέται υψηλής ποιότητας νερό για χρήσεις όπως η άρδευση και πυρόσβεση.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η οικονομοτεχνική αξιολόγηση εφαρμογής συστημάτων επεξεργασίας εδάφους-υδροφορέα (SAT Systems) για τον τεχνητό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα λύματα από το Κ.Ε.Λ.Ψ. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα αυτών των εφαρμογών είναι πρωτίστως η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων, οι εδαφικές παράμετροι και η ποιότητα των υπόγειων υδάτων των περιοχών εφαρμογής και τα οικονομικά στοιχεία της κατασκευής των έργων υποδομής για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού.

Η παρούσα εργασία είναι χωρισμένη σε δέκα (10) Κεφάλαια. Τα οκτώ πρώτα αποτελούν το κομμάτι της βιβλιογραφικής ανασκόπησης της εργασίας, ενώ τα δύο τελευταία αντιστοιχούν στο εφαρμοσμένο κομμάτι αυτής. Στα Κεφάλαια της βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιγράφονται το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής, οι Εγκαταστάσεις του Κ.Ε.Λ.Ψ., οι κατηγορίες, οι μέθοδοι, το διεθνές νομικό πλαίσιο και παραδείγματα εφαρμογής μεθόδων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων και τέλος η περιγραφή της Κοινής Υπουργικής Απόφασης, για την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Στο ένατο κεφάλαιο διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής συστημάτων επεξεργασίας εδάφους-υδροφορέα (SAT Systems) στις περιοχές Θριάσιου Πεδίου και Μεγάρων για την ενίσχυση των υπόγειων υδροφορέων τους με επεξεργασμένα λύματα και παρουσιάζονται τα οικονομικά αποτελέσματα για την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών για την εφαρμογή αυτή. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας.

## **2. Το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής**

### **2.1. Γενικά**

Η Αττική αποτελεί ιστορική περιοχή της Ελλάδας και σήμερα είναι μία από τις 13 περιφέρειες της χώρας. Επίσης αποτέλεσε από το 1899 έως το 1909 και από το 1943 νομό της Ελλάδος. Η σημερινή περιφέρεια Αττικής περιλαμβάνει το νοτιοανατολικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας, την Τροιζηνία στην χερσόνησο της Αργολίδας, τα περισσότερα νησιά του Αργοσαρωνικού και τα νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα Έχει έκταση 3.808 Km<sup>2</sup> και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας [31].

Η περιφέρεια Αττικής είναι η πρώτη σε πληθυσμό και η πιο πυκνοκατοικημένη περιφέρεια της Ελλάδας. Σε αυτήν βρίσκεται το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας που αποτελεί την πρωτεύουσα της Ελλάδας. Σύμφωνα με τα σημερινά στατιστικά στοιχεία συγκεντρώνει το 1/3 του πληθυσμού της χώρας.

Από γεωγραφικής άποψης η Αττική χωρίζεται σε δύο μεγάλες υποενότητες, την περιφέρεια πρωτεύουσας και το υπόλοιπο της Αττικής. Στην περιφέρεια πρωτεύουσας ανήκει το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, το οποίο περιλαμβάνει όλους τους δήμους Αθηνών-Πειραιώς και οριοθετείται από τον Σαρωνικό κόλπο και τα βουνά της Πάνθηρας, του Υμηττού και της Πεντέλης που ορίζουν το λεκανοπέδιο Αττικής. Το υπόλοιπο Αττικής καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της περιφέρειας και αποτελείται από το ανατολικό και δυτικό τμήμα, τα νησιά του Σαρωνικού και την επαρχία Τροιζηνίας που βρίσκεται στην Πελοπόννησο.

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής ανήκει σχεδόν ολόκληρος ο Νομός Αττικής, τα νησιά Αίγινα, Σαλαμίνα και Μακρόνησο, και κάποια μικρά τμήματα της Στερεάς Ελλάδας. Η έκτασή του υπολογίζεται στα 3.207 Km<sup>2</sup> [86].



Σχήμα 2.1.1: Υδατικό διαμέρισμα Αττικής [28]

Όσον αφορά την διοικητική δομή, το υδατικό διαμέρισμα περιλαμβάνει το σύνολο της Περιφέρειας Πρωτευούσης, καθώς και μικρά τμήματα των Περιφερειών Στερεάς Ελλάδας και Πελοποννήσου. Σε σχέση με τους νομούς, το διαμέρισμα περιλαμβάνει ολόκληρο το Νομό Αττικής, το τμήμα του Νομού Κορινθίας που υπάγεται στη Στερεά Ελλάδα, καθώς και μικρά τμήματα των Νομών Βοιωτίας και Κυκλάδων (Μακρόνησος).

Πίνακας 2.1.1 : Έκταση Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [86]

Νομός	Έκταση τμήματος που ανήκει στο διαμέρισμα (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό έκτασης νομού που ανήκει στο διαμέρισμα
Αττικής	2.850	74,9%
Βοιωτίας	43	1,4%
Κορινθίας	295	12,9%
Κυκλάδων	19	0,7%
<b>Σύνολο</b>	<b>3.207</b>	



## 2.2. Γεωμορφολογία – Γεωλογία

Η γεωμορφολογική εικόνα του διαμερίσματος χαρακτηρίζεται από ποικιλομορφία ανάγλυφου. Στο συγκεκριμένο διαμέρισμα ανήκουν τέσσερα βουνά με υψόμετρο πάνω από 1.000 m (Πάρνηθα με 1.413 m, Κιθαιρώνας με 1.401 m, Πεντέλη με 1.108 m, Υμηττός με 1.025 m), ενώ οι περισσότερες πεδινές εκτάσεις βρίσκονται στην παράκτια ζώνη. Στο ηπειρωτικό τμήμα το μέσο υψόμετρο είναι 115 μέτρα, ενώ στα νησιά της Αίγινας και Σαλαμίνας 60 και 20 μέτρα αντίστοιχα [19].

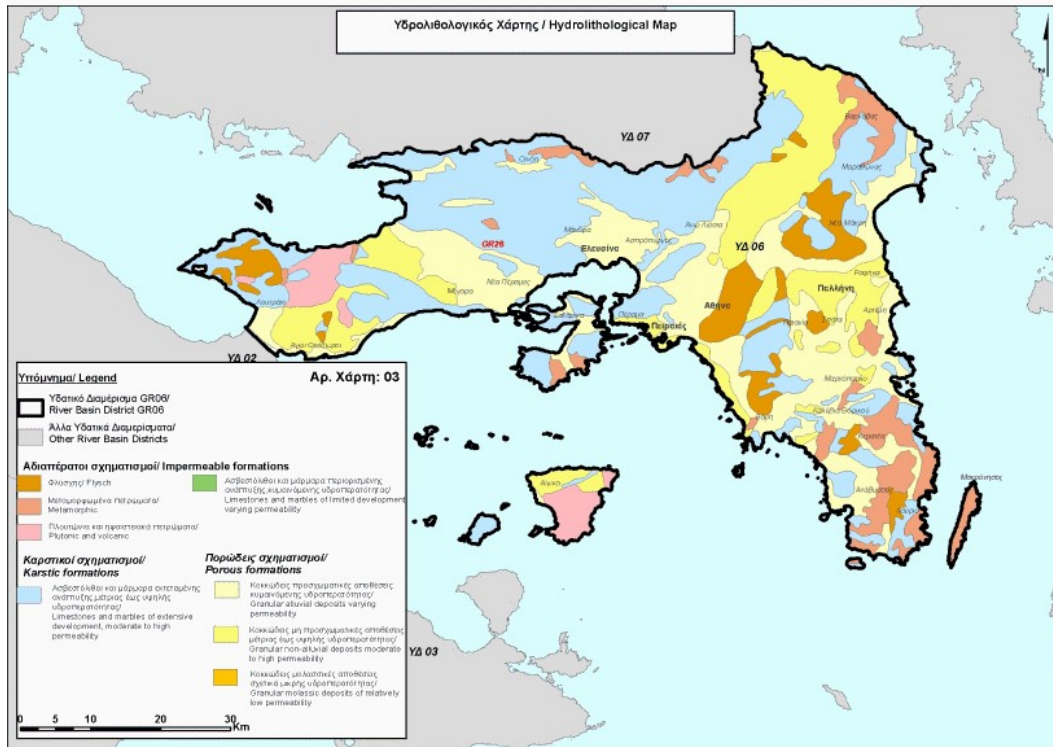


Σχήμα 2.2.1.: Γεωμορφολογία Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [29]

Στο Υδατικό Διαμέρισμα της Αττικής συναντάμε πετρώματα της πελαγονικής ζώνης, τα οποία κυρίως ανήκουν στις εξής κατηγορίες: μάρμαρα, δολομίτες, ασβεστόλιθοι, φυλλίτες, σχιστόλιθοι και κροκαλοπαγή του φλύσχη, ηλικίας Άνω Παλαιοζωικού Παλαιογενούς.

Σχετικά με τα μορφολογικά ταπεινωμένα τμήματα, τα προαναφερόμενα πετρώματα καλύπτονται από αποθέσεις του Πλειοκαινού, μέσα στις οποίες διακρίνονται κροκαλοπαγή, άμμοι, άργιλοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, πηλοί, ερυθροχώματα καθώς και λοιποί σχηματισμοί θαλάσσιας, λιμναίας και χερσαίας φάσης. Οι λιθολογικοί

σχηματισμοί έχουν υποστεί την επίδραση αλληπάλληλων τεκτονικών κινήσεων και βαθιάς διάβρωσης τόσο κατά την κατακόρυφη, όσο και κατά την οριζόντια εξάπλωσή τους.



Σχήμα 2.2.2.: Υδρολιθολογικός Χάρτης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28]

Στη Σαλαμίνα η δομή κυριαρχείται από μεγάλου πάχους ανθρακική σειρά που εντάσσεται στους σχηματισμούς του δυτικού τμήματος της Αττικής, με φυλλίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθους στη βάση της επί της οποίας έχει επωθηθεί σύμπλεγμα οφιόλιθων – σχιστοκερατόλιθων [28].

Στην Αίγινα η δομή χαρακτηρίζεται από ηφαιστειακές εκχύσεις που έχουν αποτεθεί επί της παχιάς αυτόχθονης ανθρακικής σειράς που εντάσσεται όπως παραπάνω στους σχηματισμούς του δυτικού τμήματος της Αττικής [28].

Στην περιοχή εντοπίζονται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων (BA-ΝΔ και Α-Δ) τα οποία τέμνονται μεταξύ τους. Σύμφωνα με την σημερινή φυσιογραφική εικόνα του διαμερίσματος, όπου διακρίνονται διάφορες γεωμορφολογικές μονάδες, όπως οι ορεινοί όγκοι Υμηττός-Πεντελικό στα ανατολικά, η οροσειρά Πατέρας-Πάρνηθα στα δυτικά, και το τεκτονικό βύθισμα του λεκανοπεδίου Αττικής μεταξύ των ορεινών αυτών συγκροτημάτων, έχει δημιουργηθεί μέσα από μια σειρά ενδογενών και εξωγενών

δράσεων. Στο ανατολικότερο τμήμα του διαμερίσματος υπάρχει η λεκάνη των Μεσογείων καθώς και η ομαλή παράκτια ζώνη Ραφήνας-Μαραθώνα. Τα δύο αυτά καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση. Το Θριάσιο Πεδίο καλύπτει σχετικά μικρή έκταση μεταξύ των ορέων Αιγάλεω, Πάρνηθα και Πατέρας, και του Σαρωνικού Κόλπου. Στα δυτικά δημιουργείται το τεκτονικό βύθισμα των Μεγάρων και η λεκάνη του Λουτρακίου, τα οποία παρουσιάζουν ομαλό ανάγλυφο έδαφος.

### 2.3. Υδρογεωλογία

Το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής έκτασης του υδατικού διαμερίσματος Αττικής καλύπτεται με καρστικούς σχηματισμούς από ασβεστόλιθο. Έχει υπολογισθεί ότι η συνολική διαθεσιμότητα των υδάτων είναι περίπου στα 0,449 km<sup>3</sup>. Από αυτά τα 0,259 km<sup>3</sup> είναι επιφανειακά νερά και τα υπόλοιπα 0,190 km<sup>3</sup> αποτελούν το υπόγειο υδατικό δυναμικό (Κουτσογιάννης, 2007).

Στο Υδατικό διαμέρισμα της Αττικής συναντούνται οι παρακάτω σχηματισμοί :

- Υψηλής υδροπερατότητας ( $K=10^{-1} - 10^{-3} \text{ m/sec}$ )
- Ημιπερατοί σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας ( $K=10^{-5} - 10^{-7} \text{ m/sec}$ )
- Ημιπερατοί σχηματισμοί χαμηλής υδροπερατότητας ( $K=10^{-5} - 10^{-7} \text{ m/sec}$ )
- Υδροστεγανοί σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας ( $K=10^{-6} - 10^{-8} \text{ m/sec}$ )
- Υδροπερατοί σχηματισμοί μέτριας – χαμηλής υδροπερατότητας ( $K=10^{-4} - 10^{-6} \text{ m/sec}$ )
- Υδροστεγανοί σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας ( $K < 10^{-7} \text{ m/sec}$ )

**Πίνακας 2.3.1 :** Υδρολιθολογική ανάλυση λεκάνης απορροής λεκανοπεδίου Αττικής [16]

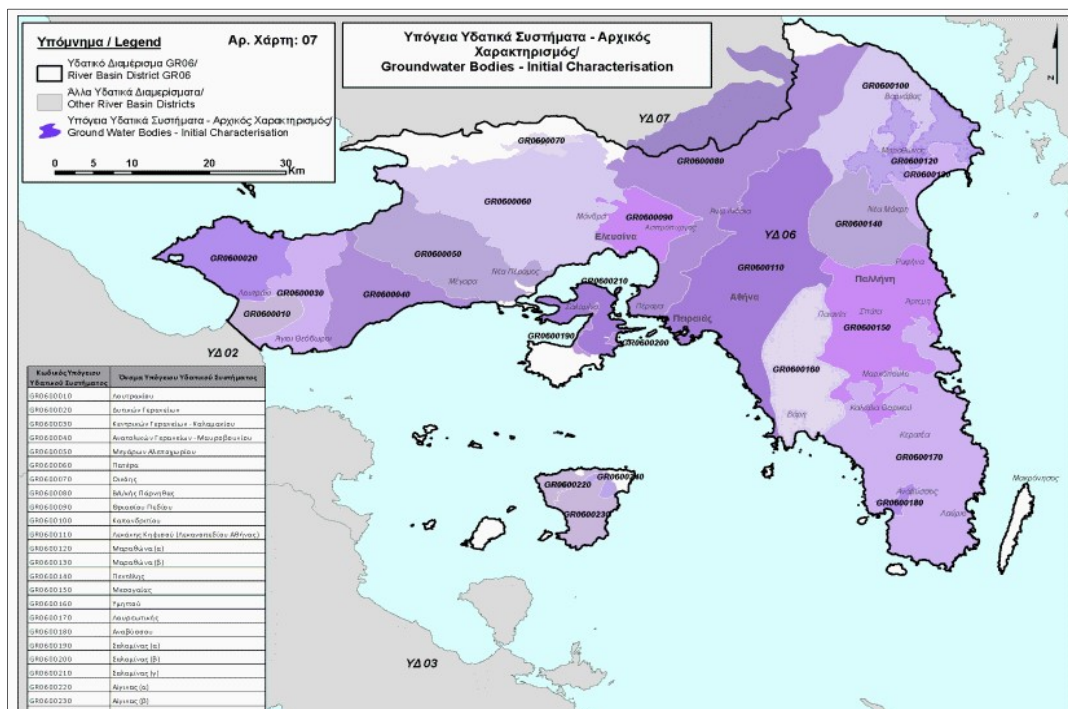
Κατηγορίες Σχηματισμών	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
Περατοί	117,65	21,86
Περατοί – Ημιπερατοί	346,46	64,38
Ημιπερατοι	4,39	0,81
Αδιαπέρατοι	69,68	12,95

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής υπερισχύει η δενδριτική μορφή που εντοπίζεται περισσότερο αναπτυγμένη στα νότια τμήματα του ανάγλυφου. Στο νότιο τμήμα της (Φαληρικός όρμος) η περιοχή βρέχεται από τον Σαρωνικό Κόλπο. Μεγαλύτερη λεκάνη απορροής είναι αυτή του Κηφισού και Ιλισού έκτασης 420 km<sup>2</sup> [86]. Ορίζεται από τα όρη Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πεντέλη και Υμηττό. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Σαραντοπόταμου, που διασχίζει την κοιλάδα της Οινόης και το Θριάσιο Πεδίο, καταλήγοντας στον Κόλπο της Ελευσίνας είναι 310km<sup>2</sup>. Ορίζεται από τα όρη Πατέρας, Κιθαιρώνας, Πάστρα και Πάρνηθα. Τέλος η λεκάνη απορροής του ποταμού Χάραδρου είναι 185 km<sup>2</sup>, διασχίζει την πεδιάδα του Μαραθώνα και χύνεται στον όρμο του. Ορίζεται από τα όρη Πάρνηθα και Πεντέλη [86].

Το υδατικό διαμέρισμα της Αττικής περιλαμβάνει δύο φυσικές λίμνες της Βουλιαγμένης και Κουμουνδούρου και αυτή του Μαραθώνα που είναι τεχνητή. Καμία από αυτές δεν είναι μεγαλύτερη από 600 km<sup>2</sup> [86].



Σχήμα 2.3.1.: Χάρτης επιφανειακών υδάτινων σωμάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28]



Σχήμα 2.3.2.: Χάρτης υπόγειων υδάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28]

Το Υδατικού διαμέρισμα Αττικής αποτελείται από 24 κύρια και δευτερεύοντα υδροφόρα συστήματα, εκ των οποίων τα 13 είναι κοκκώδη, τα 9 καρστικά και 2 ρωγματικά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.2 και στον Πίνακα 2.3.2.

Όσον αφορά τα κοκκώδη υδροφόρα αυτά αναπτύσσονται κυρίως στις παράκτιες πεδινές περιοχές. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η υδραυλική τους συνέχεια με τη θάλασσα, και η θαλασσογενώς βεβαρημένη ποιότητα της υδροφορίας τους. Στην περίπτωση των καρστικών υδροφόρων συστημάτων αυτά αναπτύσσονται σε ορεινές ανθρακικές μάζες της Αττικής. Η υδροπερατότητα των εν λόγω συστημάτων οφείλεται στο πυκνό και ρωγματικό τους δίκτυο και την καρστικοποίηση που αυτό έχει υποστεί.

**Πίνακας 2.3.2 :** Υπόγεια ύδατικά συστήματα Υ.Δ. Αττικής [28]

Κωδικός ΥΣ	Όνομα ΥΣ	Είδος Υδροφορέα	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Περαιτέρω Χαρακτηρισμός
GR0600010	Λουτρακίου	κοκκώδης	41	NAI
GR0600020	Δυτικών Γερανείων	καρστικός	114	OXI
GR0600030	Κεντρικών Γερανείων - Καλαμακίου	ρωγματικός	99	OXI
GR0600040	Ανατολικών Γερανείων - Μαυροβουνίου	καρστικός	123	NAI
GR0600050	Μεγάρων Αλεποχωρίου	κοκκώδης	187	NAI
GR0600060	Πατέρα	καρστικός	325	NAI
GR0600070	Οινόης	κοκκώδης	19	NAI
GR0600080	ΒΑ /κής Πάρνηθας	καρστικός	444	OXI
GR0600090	Θριάσιου Πεδίου	κοκκώδης	79	NAI
GR0600100	Καπανδριτίου	κοκκώδης	137	OXI
GR0600110	Λεκάνης Κηφισού (Λεκανοπεδίου Αθήνας)	κοκκώδης	360	NAI
GR0600120	Μαραθώνα (α)	καρστικός	103	OXI
GR0600130	Μαραθώνα (β)	κοκκώδης	36	NAI
GR0600140	Πεντέλης	καρστικός	140	OXI
GR0600150	Μεσογαίας	κοκκώδης	235	NAI
GR0600160	Υμηττού	καρστικός	154	NAI
GR0600170	Λαυρεωτικής	καρστικός	362	OXI
GR0600180	Αναβύσσου	κοκκώδης	10	OXI
GR0600190	Σαλαμίνας (α)	κοκκώδης	5	NAI
GR0600200	Σαλαμίνας (β)	κοκκώδης	2	NAI
GR0600210	Σαλαμίνας (γ)	καρστικός & κοκκώδης	53	NAI
GR0600220	Αίγινας (α)	κοκκώδης	19	NAI
GR0600230	Αίγινας (β)	ρωγματικός	49	NAI
GR0600240	Αίγινας (γ)	καρστικός	8	NAI

## 2.4. Κλίμα

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Αττικής είναι εύκρατο, μεσογειακό και γενικά ήπιο στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Παρόλα αυτά όμως το κλίμα της Αθήνας εμφανίζει αρκετά μεγάλη διαφορά όσον αφορά το εύρος της θερμοκρασίας μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα σε σύγκριση με άλλες περιοχές της χώρας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία της είναι 16 μέχρι 18 βαθμούς Κελσίου [29]. Κάποιες φορές η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 40 °C (καύσωνας). Η πρωτεύουσα φημίζεται για τα ιδιαίτερα θερμά καλοκαιριά της. Η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί στην Αθήνα αλλά και στην Ευρώπη είναι αυτή των 48,0 βαθμών Κελσίου στις 10 Ιουλίου του 1977. Στο λεκανοπέδιο και στις πυκνοδομημένες περιοχές επικρατούν συνθήκες που επιβαρύνουν σημαντικά το ήδη θερμό φυσικό κλίμα της Αττικής. Η θερμοκρασία ακόμα και τους χειμερινούς μήνες κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα με την μέση του Ιανουαρίου να κυμαίνεται στους 9,2 βαθμούς Κελσίου.

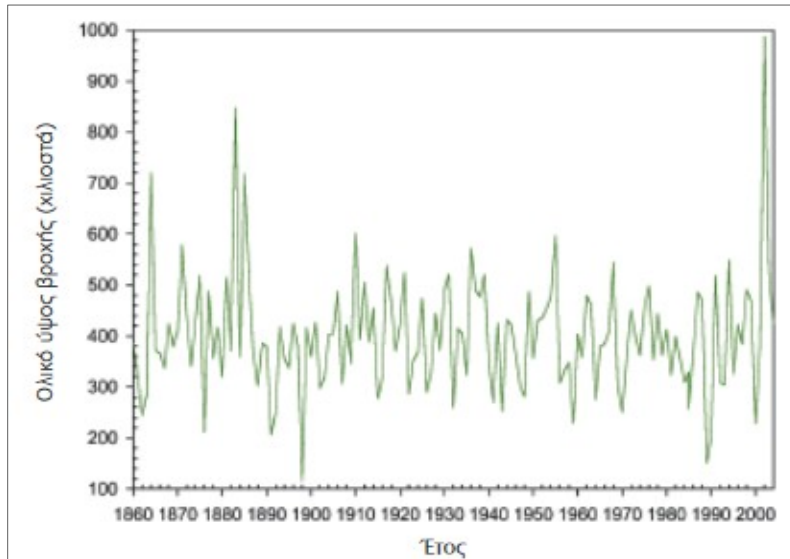
Οι βροχές εμφανίζονται κυρίως από τον μήνα Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 350 mm στο λεκανοπέδιο Αττικής μέχρι 1.000 mm στα ορεινά τμήματα (Πάρνηθα), ενώ οι ημέρες βροχής κυμαίνονται από 50 μέχρι 100 ετησίως [29].

Το χειμώνα συμβαίνουν αρκετές χιονοπτώσεις, αλλά συνήθως μετά από μερικές ώρες τα χιόνια λιώνουν. Σημειώνονται σχεδόν κάθε χρόνο στις ορεινές κυρίως περιοχές της Αττικής και πιο σπάνια στα βόρεια προάστια των Αθηνών. Είναι πολύ σπάνιο όμως να χιονίσει στο κέντρο της πόλης και τέτοιες περιπτώσεις έχουν καταγραφεί ελάχιστες φορές τα τελευταία χρόνια.

Το λεκανοπέδιο της Αττικής και συνήθως η πόλη των Αθηνών ήταν ανέκαθεν περιοχή με περιορισμένο υδατικό δυναμικό. Δυστυχώς στερούνταν ακόμα και από αρχαιοτάτων χρόνων πολυάριθμων πηγών ή ποταμών μεγάλης παροχής και μόνιμης ροής όπως και λιμνών. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι για την πόλη των Αθηνών το πρόβλημα της έλλειψης του νερού δεν είναι κάτι που εμφανίστηκε τα τελευταία χρόνια αλλά υπήρχε ήδη από την αρχαιότητα και ήταν μάλιστα ιδιαίτερα έντονο.

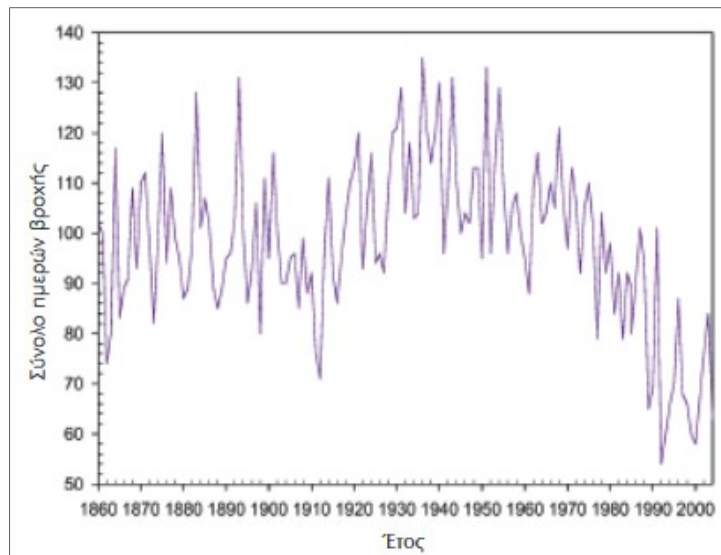
Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το Σχήμα 2.4.1 όπου παρουσιάζεται το συνολικό υετίσιμο ύδωρ από το 1860 έως το 2000.





**Σχήμα 2.4.1:** Διαχρονική μεταβολή των ετήσιων τιμών του ολικού ύψους βροχόπτωσης στην περιοχή της Αττικής [1]

Παρατηρείται ότι έχουν υπάρξει πολύ βροχερά έτη μέσα στην δεκαετία του 1860 και του 1880. Μεγαλύτερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός του παραπάνω διαγράμματος με το σχήμα 2.4.2 όπως αυτό φαίνεται παρακάτω.



**Σχήμα 2.4.2.:** Διαχρονική μεταβολή των ετήσιων συνολικών ημερών βροχής στην περιοχή της Αττικής [1]



Ενώ οι δεκαετίες 1880, 1890 καθώς και η περίοδος 1930-1970 χαρακτηρίζονται ως έτη με τις περισσότερες βροχερές ημέρες, οι ημέρες αυτές μειώνονται σημαντικά από το 1990 και μετά.

Έτσι ενώ το συνολικό ύψος της βροχής από το 1990 και μετά παραμένει περίπου στα προηγούμενα επίπεδα (Σχήμα 2.4.1), αυτό κατανέμεται σε λιγότερες μέρες, πράγμα που σημαίνει εντονότερη βροχόπτωση με κίνδυνο εμφάνισης πλημυρικών επεισοδίων.

Αυτό είναι ιδιαίτερος ανησυχητικό και ενδεχομένως να σημαίνει ότι η κλιματική αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται περισσότερο έντονες βροχές που σε συνδυασμό με την υποβάθμιση των εδαφών, οδηγούν στην μικρότερη κατακράτηση νερού από το έδαφος και επομένως λιγότερα πόσιμα νερά.

## **2.5. Χρήσεις Γης – Ζήτηση νερού**

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.5.2, το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής, είναι σε μεγάλο ποσοστό δασώδες (46% της συνολικής έκτασης), ενώ σημαντικό είναι το ποσοστό του που καλύπτεται από καλλιέργειες (24% της συνολικής έκτασης) και αστικό ιστό (17% της συνολικής έκτασης).

Το λεκανοπέδιο των Αθηνών είναι πυκνά δομημένο, όπως φαίνεται το σχήμα 2.5.1 και καταλαμβάνει μεγάλο τμήμα και από τις πλαγιές των περίξ οροσειρών. Οι οικισμοί αποτελούν την κυρίαρχη χρήση γης στην περιοχή Πρωτευούσης. Οι γεωργικές εκτάσεις είναι πολύ περιορισμένες και συναντώνται στο βόρειο τμήμα του λεκανοπεδίου. Τα δάση αντιπροσωπεύουν σχετικά μικρό ποσοστό της έκτασης και περιορίζονται ουσιαστικά στους ορεινούς όγκους που οριοθετούν το λεκανοπέδιο. Οι κυριότερες συγκεντρώσεις βιομηχανιών στο λεκανοπέδιο Αθηνών απαντώνται στον Πειραιά.

Στο λεκανοπέδιο της Ελευσίνας κυρίαρχη χρήση γης αποτελούν οι ορεινές και άγονες περιοχές. Κατά μήκος της ακτής και της εθνικής οδού καθώς και στην περιοχή βορειοανατολικά του Ασπροπύργου υπάρχουν οι μεγαλύτερες βαριές βιομηχανίες του νομού Αττικής. Στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Ελευσίνας και νοτιοδυτικά του Δήμου Άνω Λιοσίων βρίσκεται η χωματερή Άνω Λιοσίων, όπου διατίθενται τα στερεά απορρίμματα του συνόλου σχεδόν της πρωτεύουσας, ενώ η περιοχή από τα διυλιστήρια

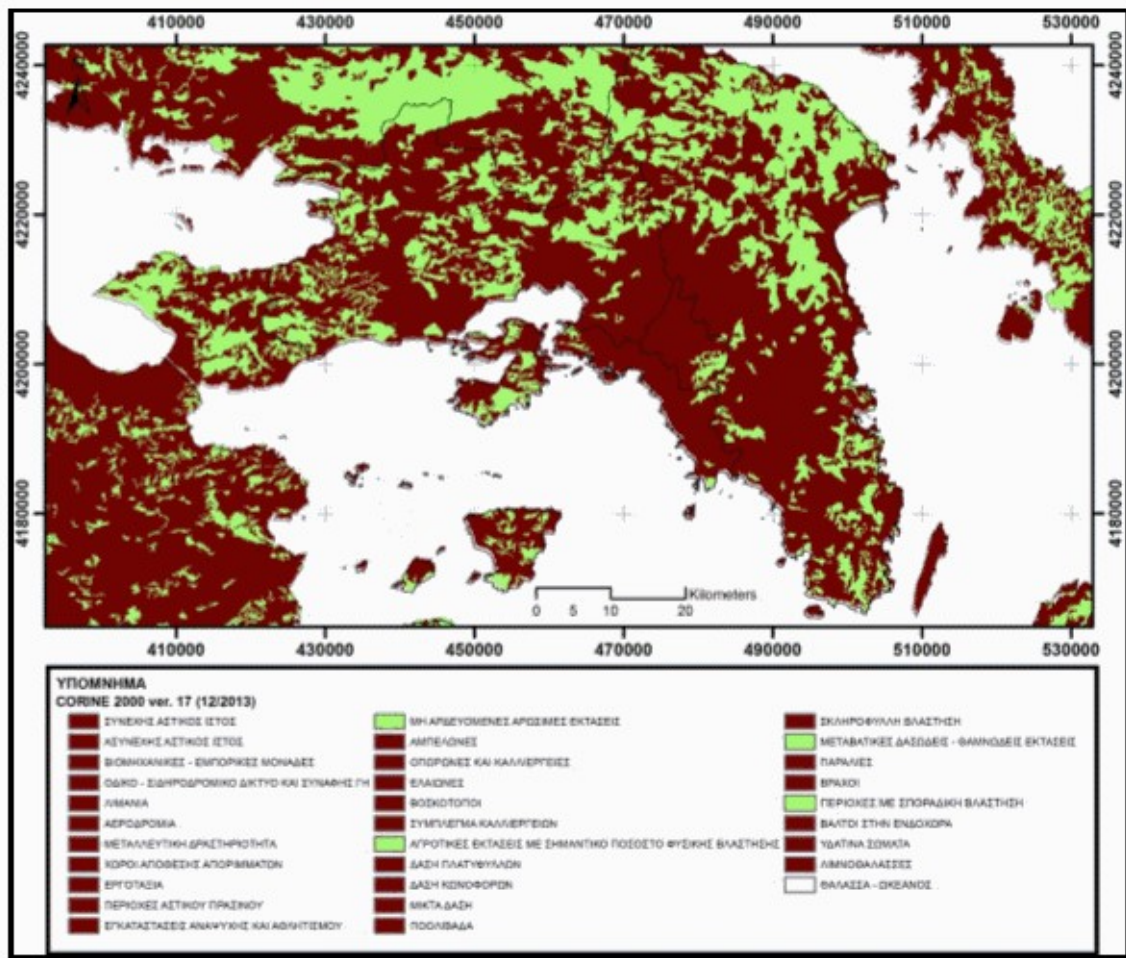
Ασπροπύργου μέχρι τη χωματερή χαρακτηρίζεται από ανάμεικτες χρήσεις (κυρίως διάσπαρτες βιομηχανίες, κάποια λατομεία, άγονες και χορτολιβαδικές εκτάσεις), με περιορισμένη παρουσία κατοικιών [38].

Στη νήσο Σαλαμίνα, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ το 45% της έκτασης καλύπτεται από δάση (43.000 στρέμματα), το 24% από οικισμούς (23.000 στρέμματα), το 15% από βοσκότοπους (14.500 στρέμματα) και το 13% από γεωργικές καλλιέργειες (12.400 στρέμματα).

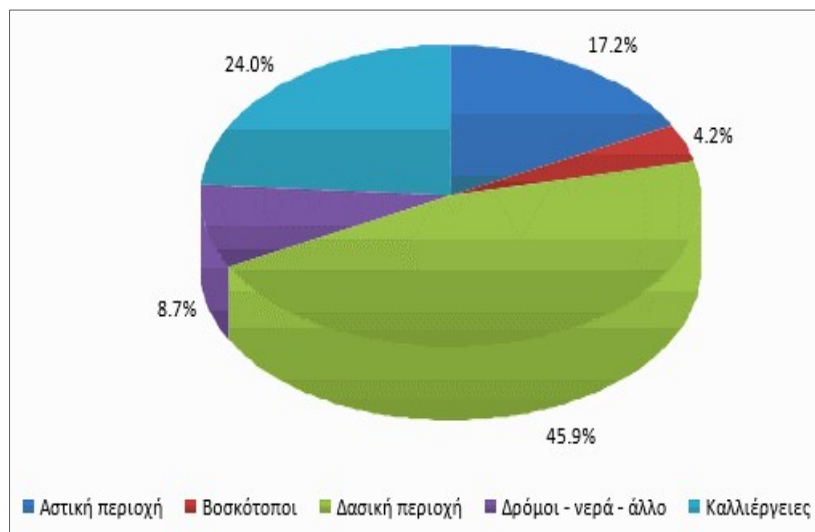
Στο λεκανοπέδιο της Ανατολικής Αττικής το 34% των εκτάσεων καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες, το 50% περίπου οι βοσκότοποι και τα δάση και το 15% οι οικισμοί. Στην περιοχή αυτή και κατά μήκος των κύριων οδικών αξόνων από το Σταυρόστη Ραφήνα και από το Σταυρό στο Μαρκόπουλο και το Κορωπί υπάρχουν μικρές βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες.

Στο Δήμο Δραπετσώνας κυρίαρχη χρήση γης αποτελούν οι οικισμοί, ενώ στο Δήμο Κερατσινίου οι οικισμοί αλλά και η βιομηχανία. Στο Δήμο Περάματος οι οικισμοί καταλαμβάνουν το 20% περίπου της έκτασης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος καταλαμβάνουν βιομηχανικές και άλλες χρήσεις. Οι δύο χαρακτηριστικές ιδιοκτησίες από άποψη μεγέθους είναι αυτές του Πολεμικού Ναυτικού (εμβαδού 7.000 στρεμμάτων) και του ΟΔΔΕΠ.

Στην περιοχή του Δήμου Περάματος βρίσκεται επίσης, η εγκαταλελειμμένη χωματερή του Σχιστού και ο Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων του ΕΣΔΚΝΑ. Η περιοχή βόρεια του οικισμού, λεωφόρος Σχιστού - Σκαραμαγκά (παρυφές του όρους Αιγάλεω) αποτελεί βραχώδη και τοπικά υποβαθμισμένη δασική έκταση (κυρίως προς την πλευρά του Κερατσινίου). Στην περιοχή αυτή υπάρχουν εγκαταλελειμμένα λατομεία αδρανών, και μάντρες σιδηρικών και εγκαταλελειμμένων αυτοκινήτων.



Σχήμα 2.5.1. : Χρήσεις Γης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [38]



Σχήμα 2.5.2. : Χρήσεις Γης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28]

Η ετήσια ζήτηση από ανθρωπογενείς χρήσεις ανέρχεται σε περίπου 539 εκατ. m<sup>3</sup>, με τον κύριο όγκο να αφορά υδρευτική χρήση, που ανέρχεται σε 420 εκατ. m<sup>3</sup>. Για άρδευση χρησιμοποιούνται 99 εκατ. m<sup>3</sup>, ποσότητα που καλύπτεται κυρίως από υπόγεια νερά και εν μέρει από νερά της ΕΥΔΑΠ. Με βάση την κατανομή των ζώων η ζήτηση για την κτηνοτροφία είναι 2,5 εκατ. m<sup>3</sup>, ενώ για βιομηχανική χρήση η ποσότητα αυτή φτάνει τα 17,5 εκατ. m<sup>3</sup> [88].

## **2.6. Το υδροδοτικό σύστημα**

Σε επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης, η διαχείριση του νερού και των λυμάτων πραγματοποιείται από δημοτικές επιχειρήσεις. Οι δημοτικές αυτές επιχειρήσεις φέρουν κατά κύριο λόγο την ευθύνη της επεξεργασίας του πόσιμου νερού, καθώς και της επεξεργασίας των λυμάτων. Πρόκειται για μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς, οι οποίοι όμως λειτουργούν ως ιδιωτικές επιχειρήσεις (Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου / ΝΠΙΔ) και ελέγχονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Ο φορέας ύδρευσης που εξυπηρετεί το σύνολο σχεδόν του Νομού Αττικής είναι η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (Ε.ΥΔ.Α.Π.). Για να υπάρχει συνεχής υδροδότηση της μείζονος περιοχής της Πρωτεύουσας, η ΕΥΔΑΠ προμηθεύεται ακατέργαστο νερό, κυρίως από επιφανειακούς υδατικούς πόρους (Μαραθώνας, Υλίκη, Μόρνος, Εύηνος). Από αυτούς τους ταμιευτήρες, μόνο της Υλίκης είναι φυσικός. Οι υπόλοιποι έχουν δημιουργηθεί με την κατασκευή φραγμάτων σε κατάλληλα σημεία στην κοίτη των αντίστοιχων ποταμών Ευήνου, Μόρνου και Χαράδρου. Εκτός από τις παραπάνω πηγές υδροληψίας η ΕΥΔΑΠ αντλεί νερό μέσω υπόγειων υδατικών πόρων που αξιοποιούνται με τη λειτουργία 100 γεωτρήσεων συνολικής ετήσιας αντλητικής ικανότητας 70-125 εκατ. m<sup>3</sup> νερού περίπου ανά έτος [20].

Σύμφωνα με τις σημερινές συνθήκες λειτουργίας, οι πηγές υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ μπορούν να διαχωριστούν σε [20] :

- Κύριους υδροδότες (Μόρνος, Εύηνος)
- Βοηθητικούς υδροδότες (Υλίκη, Μαραθώνας)
- Εφεδρικούς υδροδότες (υπόγειοι υδατικοί πόροι)

### 2.6.1. Ταμιευτήρες

Στον νομό Αττικής έχει δημιουργηθεί ο Ταμιευτήρας του Μαραθώνα με την κατασκευή φράγματος, στη συμβολή των ρεμάτων του Χάραδρου και του Βαρνάβα. Λόγω της μικρής απόστασης με την Αθήνα, ο συγκεκριμένος ταμιευτήρας λειτουργεί ως βοηθητική πηγή υδροληψίας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης [20].



Εικόνα 2.6.1 : Φράγμα και λίμνη Μαραθώνα [20]

Η τροφοδοτήσή αυτού γίνεται από άλλους ταμιευτήρες όπως αυτός της Υλίκης και του Μόρνου μέσω του Υδραγωγείου Υλίκης και του Ενωτικού Υδραγωγείου Μόρνου – Υλίκης [20].

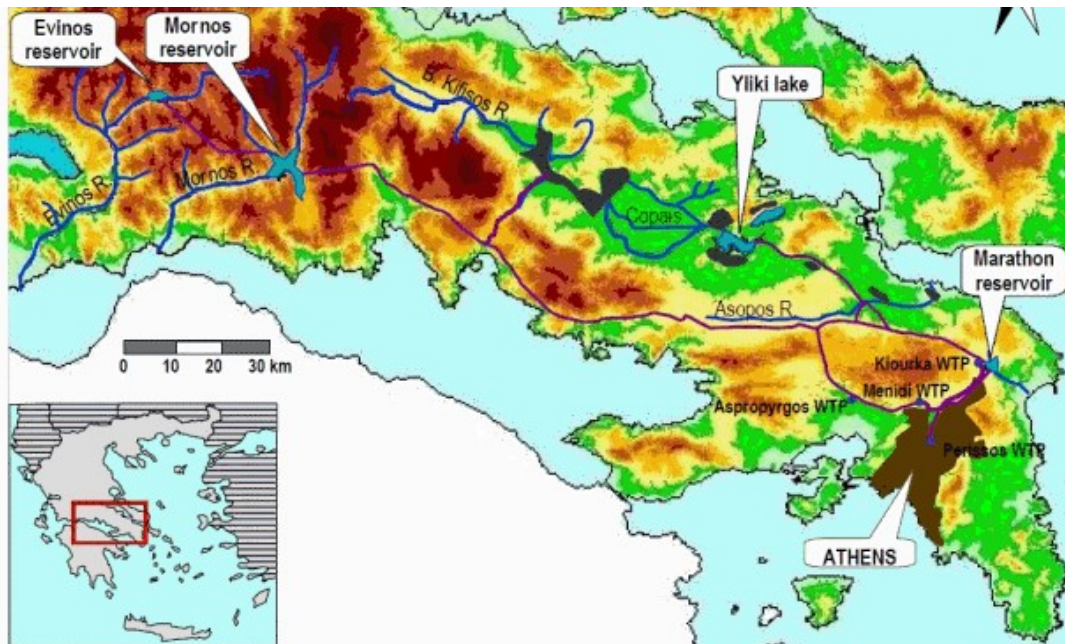


Εικόνα 2.6.2, Εικόνα 2.6.3 : Λίμνη Υλίκης και Μόρνου [20]

Η λίμνη Υλίκη που βρίσκεται στο νομό Βοιωτίας, εντάχθηκε στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας το 1956, προκειμένου να καλυφθούν οι μεγάλες ανάγκες κατανάλωσης νερού λόγω της πληθυσμιακής αύξησης του Λεκανοπεδίου [20]. Από όλους τους ταμιευτήρες της ΕΥΔΑΠ, μόνο αυτός της Υλίκης είναι φυσικά σχηματισμένη λίμνη.



Λόγω της ιδιομορφίας της που βρίσκεται σε χαμηλή υψομετρική θέση, χρησιμοποιούνται αντλιοστάσια έτσι ώστε να αντλείται το νερό. Αυτό έχει ως συνέπεια να καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα η μεταφορά νερού από την Υλίκη να έχει υψηλό λειτουργικό κόστος. Τόσο ο Μαραθώνας όσο και η Υλίκη λειτουργούν ως βοηθητική πηγή υδροληψίας για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης [20].



Σχήμα 2.6.1. : Ταμιευτήρες Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής [30]

Στην κοίτη του ποταμού Μόρνου, κάπου στα 7 Km. δυτικά του Λιδορικίου στο Νομό Φωκίδος, έχει δημιουργηθεί ο ταμιευτήρας του Μόρνου με την κατασκευή χωμάτινου φράγματος. Το συγκεκριμένο έργο ξεκίνησε τον Μάιο του 1969 και ολοκληρώθηκε το 1979, ενώ άρχισε να λειτουργεί το 1981. Το φράγμα του Μόρνου είναι ένα από τα μεγαλύτερα της Ευρώπης και αποτελείται από αδιαπερατό αργιλικό πυρήνα [20].

Επίσης στον ποταμό Εύηνο, στην περιοχή Αγίου Δημητρίου του νομού Αιτωλοακαρνανίας, κατασκευάστηκε το έργο του Εύηνου που περιελάμβανε την κατασκευή φράγματος, τη δημιουργία ταμιευτήρα και την κατασκευή της σήραγγας Εύηνου - Μόρνου. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του έργου προέβλεπε την ενίσχυση του βασικού ταμιευτήρα του Μόρνου από τη γειτονική λεκάνη του ποταμού Εύηνου. Η έναρξη των εργασιών στον Εύηνο έγινε το 1992 με την κατασκευή χωμάτινου φράγματος, το οποίο ολοκληρώθηκε το 2001 [20].

Μέσω της σήραγγας Μόρνου - Ευήνου, τα νερά του ταμιευτήρα του Ευήνου μεταφέρονται και διοχετεύονται στον ταμιευτήρα του Μόρνου, προς ενίσχυση των αποθεμάτων του. Η λειτουργία της σήραγγας γίνεται υπό πίεση με παροχή 27m<sup>3</sup>/sec.. νερού. Η σήραγγα Ευήνου - Μόρνου έχει συνολικό μήκος 29.393m. και εσωτερική διάμετρο 3,5m. Η διάνοιξη της σήραγγας ξεκίνησε το 1992 και ολοκληρώθηκε σε διάστημα 2 ετών, γεγονός που συνιστά μεγάλη επιτυχία για την ολοκλήρωση σήραγγας τόσο μεγάλου μήκους [20].

Παρακάτω παρατίθενται στοιχεία της ΕΥΔΑΠ σχετικά με τα αποθέματα των ταμιευτήρων [20]. Μεταξύ 1985 και 2016, τα έτη 1991-1993 εμφανίζουν πολύ χαμηλά αποθέματα ενώ από το 2010 ως σήμερα παρουσιάζεται μια σχετικά σταθερή κατάσταση, χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις μεταξύ των ετών.

**Πίνακας 2.6.1 :** Απολήψιμο απόθεμα ταμιευτήρων 24/8/2016 [20]

ΕΥΗΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΥΛΙΚΗ	ΣΥΝΟΛΟ
71.278.000	28.166.000	610.737.000	404.919.000	1.115.100.000

**Πίνακας 2.6.2 :** Συνολικά αποθέματα ταμιευτήρων (m<sup>3</sup>) [20]

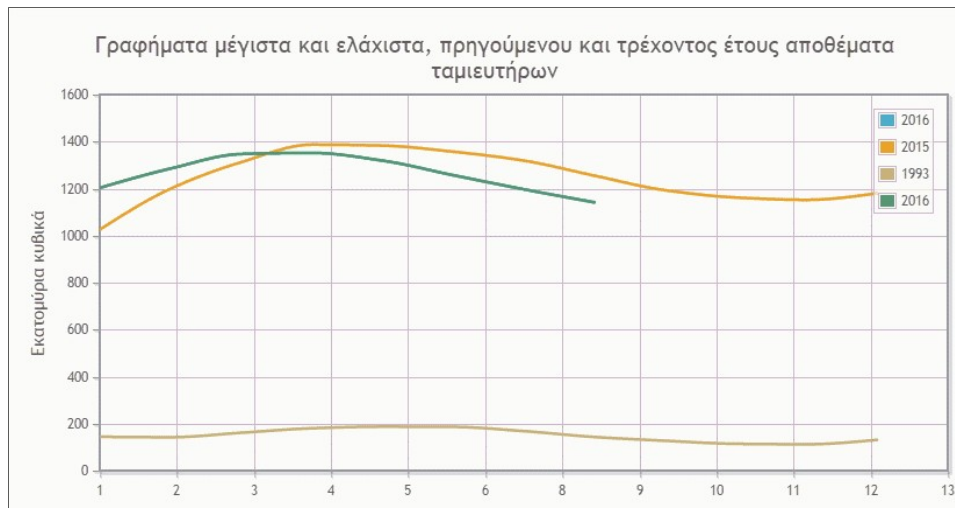
	Ημ/νια	Αρχή Υδρολογικού έτους	Προηγούμενο Έτος	Έτος ελάχιστων αποθεμάτων	Έτος μέγιστων αποθεμάτων
<b>Ημ/νια</b>	24/8/2016	1/10/2015	24/8/2015	24/8/1993	24/8/2015
m <sup>3</sup>	1.115.100.000	1.172.776.000	1.238.289.000	137.552.080	1.238.289.000

**Πίνακας 2.6.3 :** Συνολική παραγωγή Διυλιστηρίων (m<sup>3</sup>) [20]

Ημ/νια	23/8/2016	23/8/2015	23/8/2014	23/8/2013	23/8/2012
m <sup>3</sup>	1.235.038	1.163.091	1.208.599	1.175.011	1.244.845



Σχήμα 2.6.2. : Γράφημα διαχρονικών αποθεμάτων ταμιευτήρων [20]



Σχήμα 2.6.3. : Γράφημα μέγιστα και ελάχιστα αποθεμάτων ταμιευτήρων 1993, 2015 & 2016 [20]

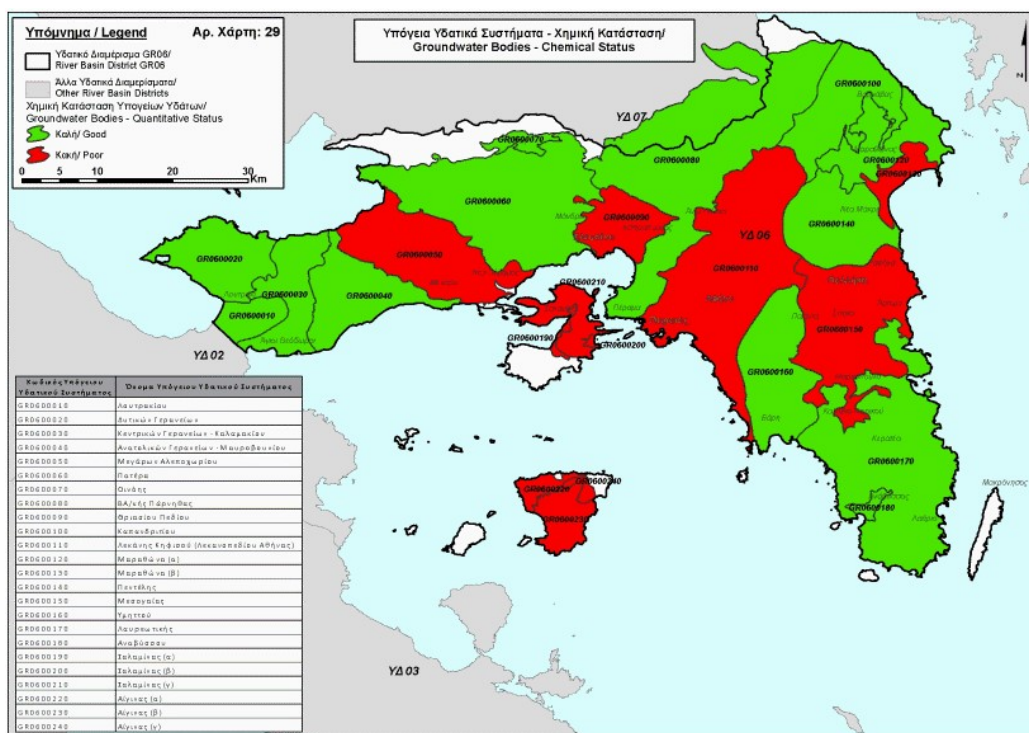
### 2.6.2. Ποιότητα Υπόγειου Νερού - Γεωτρήσεις

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής συνολικά οριοθετούνται όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 2.3. είκοσι τέσσερα (24) υπόγεια υδατικά συστήματα (Πίνακας 2.3.2) συνολικής έκτασης 3.104 km<sup>2</sup> με μέγιστη και μέση έκταση 444 km<sup>2</sup> και 130 km<sup>2</sup>.

Στο Νομό Αττικής παρατηρείται πολύ σοβαρή ρύπανση των υπόγειων υδάτων, με συγκεντρώσεις νιτρικών οι οποίες ξεπερνούν κατά πολύ το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 50 mg/l για ύδρευση. Ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές με πυκνή δόμηση ή σε περιοχές

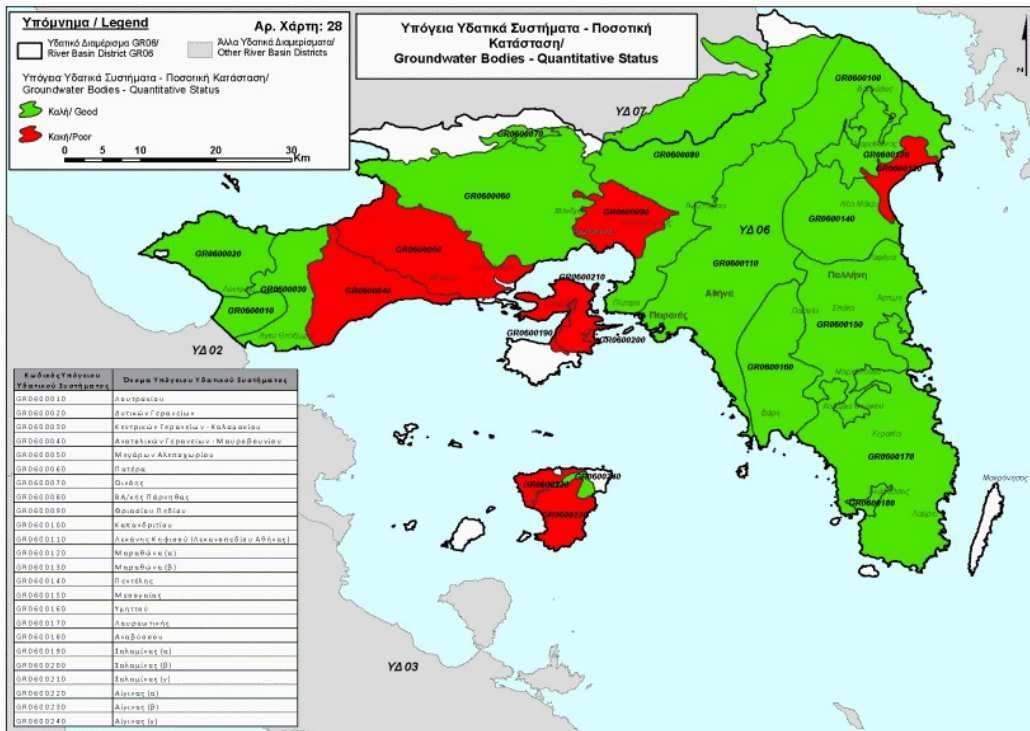


με έντονη βιομηχανική ή αγροτική ανάπτυξη, η συγκέντρωση των νιτρικών φτάνει τα 400-500 mg/l [31].

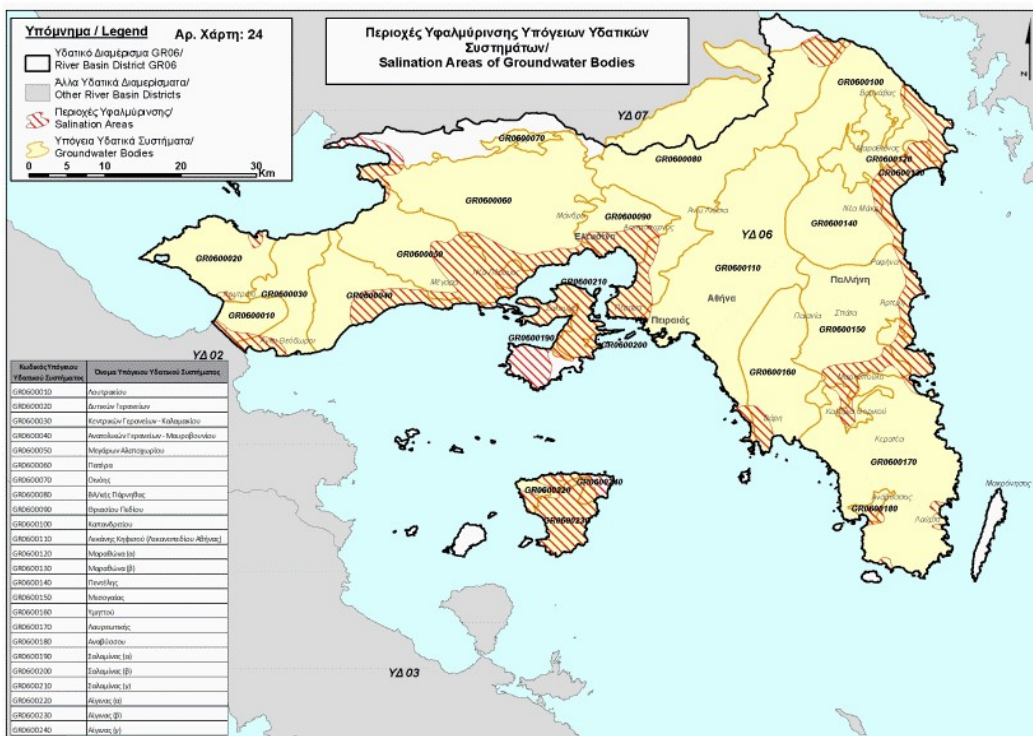


**Σχήμα 2.6.4.:** Χημική κατάσταση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων Υδατικού διαμερισματος Αττικής [28]

Στο Σχήμα 2.6.5 παρουσιάζεται η κατάσταση των υπόγειων συστημάτων από πλευράς ποσοτικής κατάστασης. Επιπλέον εντοπίζονται έντονα προβλήματα λόγω υφαλμύρισης των υπόγειων υδάτων (Σχήμα 2.6.6) στις περισσότερες παράκτιες περιοχές, ακόμη και σε θέσεις όπου δεν εκτελούνται συχνά αντλήσεις υπόγειων υδάτων. Στις περιπτώσεις αυτές, αν και είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα υπόγειου νερού, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι αυτά δεν υπερβαίνουν το 30% των ρυθμιστικών αποθεμάτων [26].



Σχήμα 2.6.5.: Ποσοτική κατάσταση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28]



Σχήμα 2.6.6. : Περιοχές υφαλμύρισης Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [28]

Παρατηρείται ότι η περιοχή των Μεγάρων, του Θριασίου, η Σαλαμίνα και η Αίγινα παρουσιάζουν πρόβλημα υφαλμύρνησης και είναι χαρακτηρισμένα ως κακή κατάσταση χημική και ποσοτική.

Μια προσέγγιση του υπόγειου υδατικού δυναμικού του υδατικού διαμερίσματος της Αττικής δίδεται στον Πίνακα 2.6.4.

**Πίνακας 2.6.4 :** Υπόγεια Αποθέματα νερού υδατικού διαμερίσματος Αττικής [88, & Κουτσογιάννης και Μαρίνος, 1995]

Ενότητα	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Συνολική απορροή (hm <sup>3</sup> /έτος)	Δυνητικά αποθέματα (hm <sup>3</sup> /έτος)	Εκφόρτιση
<b>Καρστικές ενότητες σε ανθρακικούς σχηματισμούς</b>				
Ν. Πάρνηθας – Α. Πατέρα - Αιγάλεω	510	157	120	Λίμνη Κουμουνδούρου, Σαρωνικός
Κιθαιρώννα	260	75	50-70	Κορινθιακός Κόλπος
Γερανίων	250	42	20	Πηγές Σκίνου, Λουτρακίου, Σκάλας
Πεντέλης	250	55	30	Πηγές Κεφαλαρίου Κηφισιάς, Ευβοϊκός
Υμηττού	110	15	30	Πηγές Λουμπάρδας
Βορειοανατολικής Πάρνηθας	300	95	60	Πηγές Αγίων Αποστόλων
<b>Σύνολο</b>		<b>439</b>	<b>225-245</b>	
<b>Προσχωματικοί Υδροφορείς</b>				
Αθήνας	440	30	5	Σαρωνικός Κόλπος
Μεσογείων	820	50	15	Ευβοϊκός Κόλπος
Μεγάρων	260	15	3	Ευβοϊκός & Σαρωνικός Κόλπος
Λουτρακίου	320	20	4	Κορινθιακός Κόλπος
<b>Σύνολο</b>		<b>115</b>	<b>27</b>	

Στο Πίνακα 2.6.4 δεν περιλαμβάνεται το υπόγειο υδατικό δυναμικό των νησιών Αίγινας και Σαλαμίνας, που υπάγονται στο υδατικό διαμέρισμα Αττικής.

Το σύνολο των υδρευτικών κυρίως αναγκών του διαμερίσματος καλύπτεται από εισαγόμενους υδατικούς πόρους από άλλα διαμερίσματα. Συνολικά η ΕΥΔΑΠ έχει προχωρήσει σε περισσότερες από 100 γεωτρήσεις στους νομούς Αττικής και Βοιωτίας [20]. Αυτές έχουν τον ρόλο εφεδρείας στο σύστημα υδροληψίας της. Αυτές μπορούν να

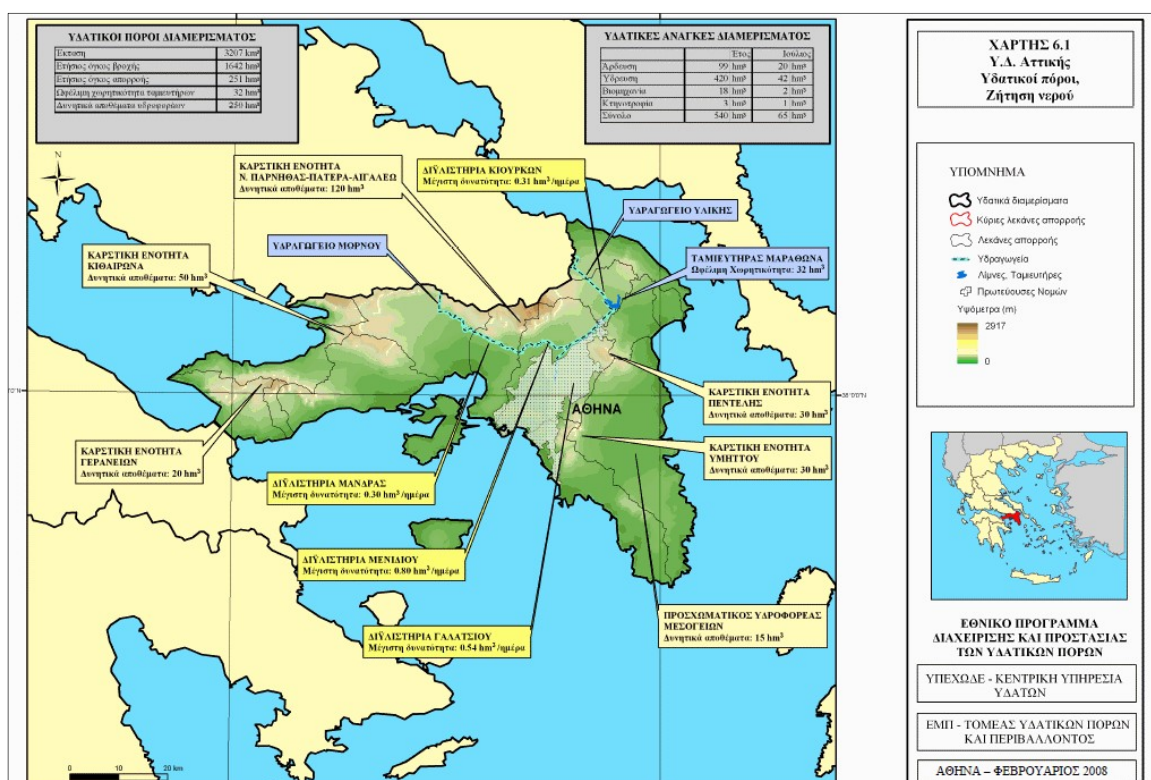
διακριθούν ως προς τη σημερινή τους λειτουργία σε κύριες και δευτερεύουσες. Η συνολική ηλεκτρική ισχύς λειτουργίας των γεωτρήσεων ανέρχεται στους 25.000 HP και έχουν συνολική αντλητική ικανότητα 800.000 m<sup>3</sup> νερού ανά ημέρα. Η απόδοση εκτιμάται σε 70-125 εκατ. m<sup>3</sup> νερού ανά έτος [20].

### 2.6.3. Υδραγωγεία

Τα υδραγωγεία χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του ακατέργαστου νερού από τις πηγές του (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (ΜΕΝ) της ΕΥΔΑΠ. Το συνολικό τους μήκος ανέρχεται στα 485 Km [20].

Τα υδραγωγεία αυτά διακρίνονται σε:

- Κύρια (Μόρνου, Υλίκης) συνολικού μήκους 310 Km
- Ενωτικά (Μόρνου - Υλίκης, Μαραθώνα - Γαλασίου, Διστόμου) συνολικού μήκους 105 Km
- Βοηθητικά, συνολικού μήκους 80 Km



Σχήμα 2.6.7. : Χάρτης Υδατικού διαμερίσματος Αττικής [24]

Τα υδραγωγεία του Μόρνου και της Υλίκης επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των ενωτικών υδραγωγείων. Η ύπαρξη αυτών των ενωτικών υδραγωγείων βοηθάει έτσι ώστε να γίνεται ο έλεγχος, η συντήρηση και η επισκευή των 2 υδραγωγείων, με τη δυνατότητα παύσης της λειτουργίας του ενός από τα δύο. Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών υδροληψίας, ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες και τις ανάγκες της κατανάλωσης [20].

Τέλος, παρά το γεγονός ότι μεσολαβεί μεγάλη απόσταση των κυρίων υδροδοτών (Μόρνου, Υλίκης) από την Αττική, η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού μεταφέρεται μέσω των υδραγωγείων με τη δύναμη της βαρύτητας. Αυτό έχει ως φυσικό επακόλουθο να μην υπάρχει επιβάρυνση οικονομική, αλλά και περιβαλλοντική σε σύγκριση με άλλες ενεργοβόρες αντλήσεις [20].

#### **2.6.4. Μονάδες Επεξεργασίας Νερού**

Οι Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (ΜΕΝ) έχουν πολύ σημαντική λειτουργία για το νερό που πίνουμε, καθώς σε αυτές το νερό υποβάλλεται σε επεξεργασία, που το καθιστά πόσιμο. Οι ΜΕΝ στο Λεκανοπέδιο της Αττικής βρίσκονται στο Γαλάτσι, στις Αχαρνές, στο Πολυδένδρι και τη Μάνδρα Ασπροπύργου και κατασκευάστηκαν από το 1929 έως το 1996 [20].

Το νερό που φτάνει στις ΜΕΝ είναι ακατέργαστο. Μπορεί να περιέχει διάφορα στερεά (κλαδιά, χώμα, λάσπη) που παρασέρνει κατά το πέρασμά του. Επίσης είναι δυνατόν να υπάρχουν μικρόβια και μικροοργανισμοί που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι. Παρακάτω επισημαίνετε η αλληλουχία σταδίων για την επεξεργασία του νερού [20] :

- Προσθήκη χλωρίου (απολύμανση): Μέσω αυτής της κατεργασίας (προχλωρίωση) θανατώνονται τα μικρόβια που υπάρχουν στο νερό και διευκολύνεται η μετέπειτα επεξεργασία του.
- Προσθήκη θεικού αργιλίου (κροκίδωση): Μέσω της προσθήκης θεικού αργιλίου τα στερεά σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο νερό ενώνονται μεταξύ τους και τελικά διευκολύνεται η κατακάθιση αυτών. Η όλη διαδικασία ονομάζεται κροκίδωση.

- Καθίζηση: Μετέπειτα τα συσσωματωμένα στερεά κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης. Με αυτόν τον τρόπο το νερό καθαρίζεται σε ποσοστό 80%.
- Φίλτραυση: Στην συνέχεια έχουμε το στάδιο της φίλτραυσης όπου τα πολύ ελαφρά σωματίδια που δεν κατακάθονται (20%), κατακρατούνται σε ειδικά αμμόφιλτρα, από τα οποία το νερό βγαίνει πλέον καθαρό για να δοθεί προς κατανάλωση.
- Μεταχλωρίωση : Στην περίπτωση όπου η προχλωρίωση δεν είναι ικανοποιητική, τότε προσθέτουμε συμπληρωματικά χλώριο κατά την είσοδο του νερού στις κλειστές δεξαμενές αποθήκευσης και πριν την είσοδό του στο δίκτυο ύδρευσης.

Και οι τέσσερις ΜΕΝ μαζί έχουν διυλιστική ικανότητα 1.900.000 m<sup>3</sup> νερού ημερησίως [20].

Η ΜΕΝ Γαλασίου λειτούργησε πρώτη φορά το Δεκέμβριο του 1931 με δύο βασικούς για την εποχή νεωτερισμούς. Πρώτον χρησιμοποιήθηκε η απολύμανση του νερού με χλώριο και δεύτερον χρησιμοποιήθηκε θειικό αργιλίο για την επιτάχυνση της διαύγασης του νερού. Η μονάδα βρίσκεται σε υψόμετρο 159 m και η διυλιστική της ικανότητα είναι περίπου 540.000 m<sup>3</sup> νερού ημερησίως και τροφοδοτεί το κέντρο της Αθήνας και το Δήμο του Πειραιά.

Στην περίπτωση της ΜΕΝ Αχαρνών, η κατασκευή αυτής βοήθησε σημαντικά έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί η αυξανόμενη κατανάλωση νερού που παρατηρήθηκε από το 1970 και μετά. Άρχισε να λειτουργεί το 1978 και επεκτάθηκε το 1989 και το 1992. Βρίσκεται σε υψόμετρο 232 m. και η διυλιστική της ικανότητα είναι περίπου 850.000 m<sup>3</sup> νερού ημερησίως. Τροφοδοτεί το 60% των περιοχών του Λεκανοπεδίου και ειδικά τις περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο.

Η ΜΕΝ Πολυδενρίου ξεκίνησε την λειτουργία της το 1986 και η διυλιστική της ικανότητα είναι 200.000 m<sup>3</sup> νερού ημερησίως. Βρίσκεται σε υψόμετρο 237 m. και τροφοδοτεί τα ανατολικά και βόρεια προάστια της Αθήνας.

Η ΜΕΝ Ασπροπύργου γειτνιάζει κανάλι του Μόρνου και άρχισε να λειτουργεί το 1997. Βρίσκεται σε υψόμετρο 232m και έχει διυλιστική ικανότητα περίπου 200.000 m<sup>3</sup> νερού



ημερησίως . Τροφοδοτεί το Θριάσιο Πεδίο, τη Σαλαμίνα και τα δυτικά προάστια της Αθήνας.

### **2.6.5. Δίκτυο διανομής νερού**

Το δίκτυο ύδρευσης περιλαμβάνει το σύνολο των αγωγών που μεταφέρουν το διωλισμένο νερό από τις ΜΕΝ στους υδρομετρητές των καταναλωτών. Το σημερινό δίκτυο άρχισε να κατασκευάζεται από το 1926 και έχει συνολικό μήκος 9.500 Km. Είναι κυρίως κατασκευασμένο από χάλυβα, χυτοσίδηρο και αμιαντοτσιμέντο κλάσης πίεσης 10 bar. Οι διαμέτροι των αγωγών είναι 1.800 mm για την μεγαλύτερη και 60 mm για την μικρότερη στους αγωγούς εκείνους που προέρχονται από παραλαβές δικτύων (δημοτικών ή κοινοτικών) [20].

Το δίκτυο πέραν των αγωγών, περιλαμβάνει επίσης αντλιοστάσια και δεξαμενές πίεσης. Για την υδροδότηση των περιοχών που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο λειτουργούν 81 αντλιοστάσια, ενώ 55 δεξαμενές πόλεως συνολικής χωρητικότητας 885.000 m<sup>3</sup> νερού βρίσκονται διάσπαρτες σε υψηλά υψομετρικά σημεία της πόλης.

Η ΕΥΔΑΠ παρέχει νερό σε περιοχές με υψόμετρο εδάφους από 0 έως και 600 m από το επίπεδο της θάλασσας. Ο συνολικός αριθμός των υδρομετρητών ανέρχεται σε 2.030.000 περίπου [20].

Η όλη λειτουργία του δικτύου ύδρευσης παρακολουθείται σε 24ωρη βάση από σύστημα τηλεέγχου – τηλεχειρισμού (SCADA). Μέσω αυτού γίνεται ο έλεγχος της λειτουργίας των ΜΕΝ, του δικτύου ύδρευσης, των δεξαμενών ρύθμισης – αποθήκευσης, των αντλιοστασίων και των σημαντικών κομβικών σημείων του δικτύου. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει 100 θέσεις συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος [20].



Σχήμα 2.6.8. : Χάρτης δικτύου διανομής νερού στην Αθήνα [20]

Στο Σχήμα 2.6.9 απεικονίζεται η διαχρονική πορεία κατανάλωσης του νερού από το 1926 έως το 2000 και οι χρονολογίες ένταξης και λειτουργίας των μεγάλων έργων ενίσχυσης της υδροδότησης της Αθήνας. Η κατανάλωση του νερού στις Αθήνα από 25 εκ. m<sup>3</sup> που ήταν το 1950 προσέγγισε τα 400 εκ. m<sup>3</sup> μετά το 1990 . Οι ανάγκες του σύγχρονου πολίτη με το πρόσημα της ποιότητας ζωής του, μετεξελίχθηκαν από ζωτικές σε καταναλωτικές και αντιοικολογικές. Αυτό αποτυπώνεται στην αύξηση κατοίκων με πισίνες και με τους διαμορφωμένους περιβαλλοντικούς χώρους με γκαζόν, στην ανάπτυξη κήπων με υδροχαρή φυτά και την κατασκευή γηπέδων γκολφ και παρόμοιων δραστηριοτήτων που απαιτούν την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Εκτιμάται από την ΕΥΔΑΠ ότι σε περιοχές της Αττική με μεγάλη κατανάλωση νερού, οι ποσότητες του νερού που χρησιμοποιείται για χρήσεις όπως το πότισμα κήπων και πράσινου, το πλύσιμο αυτοκινήτων και πισίνες, μπορεί να φτάνει το 50% της συνολικής κατανάλωσης. Μετά την ολοκλήρωση του έργου στο Μόρνου και την ενσωμάτωσή στην υδροδότηση της Αθήνας, οι κάτοικοι της πρωτεύουσας ένιωσαν μια ασφάλεια σε ότι αφορά τα διαθέσιμα αποθέματα νερού και η κατανάλωση αυξήθηκε σημαντικά. Κάτι ανάλογο έγινε με την κατασκευή και την λειτουργία του έργου στον Εύηνο. Φαίνεται καθαρά ότι στην σύγχρονη Αθήνα, ο πολίτες δεν έχουν αντιληφθεί ότι το νερό δεν είναι ανεξάντλητο με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αίσθηση του μέτρου στην κατανάλωση.





**Σχήμα 2.6.9.** : Κατανάλωση του νερού της Αθήνας από το 1926 – 2000 και τα έτη κατασκευής των αντίστοιχων έργων για την ενίσχυση της ύδρευσης της πρωτεύουσας [27]

Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται σημαντική αύξηση από το 1975 ως το 1989 που αγγίζει κατά μέσο όρο τα 15 εκατ. m<sup>3</sup> με μια μικρή σταθεροποίηση μεταξύ των ετών 1981 και 1984. Ακολουθεί μια μεγάλη μείωση στη συνολική κατανάλωση του νερού μέχρι το 1993. Από 376 εκατ. m<sup>3</sup> που ήταν το 1989 έπεσε στα 246 εκατ. m<sup>3</sup> το 1993. Πρόκειται για την περίοδο μεγάλης λειψυδρίας για την Αττική. Από το 1993 και μετά αρχίζει πάλι μια περίοδος αύξησης κατά περίπου 20 εκατ. m<sup>3</sup> από χρονιά σε χρονιά.

## 2.7. Αποχέτευση και Επεξεργασία Λυμάτων

### 2.7.1. Λειτουργία δικτύου αποχέτευσης

Σχετικά με το αποχετευτικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου Αττικής αυτό περιλαμβάνει αγωγούς ομβρίων και ακαθάρτων. Οι αγωγοί ομβρίων καταλήγουν με φυσική ροή στη θάλασσα, ενώ οι αγωγοί ακαθάρτων καταλήγουν στη θαλάσσια περιοχή της Ψυττάλειας, αφού έχει προηγηθεί ο βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας.

Το συνολικό μήκος του δικτύου αποχέτευσης είναι 6.000 Km. και καλύπτει το 92% των αποχετευτικών αναγκών της Αττικής. Από αυτά μόνο τα 250 Km καταλήγουν στο παλιό παντοροϊκό σύστημα και καλύπτουν το κέντρο της Αθήνας [20]. Στο υπόλοιπο μήκος εφαρμόστηκε αποκλειστικά χωριστικό σύστημα με διαφορετικά δίκτυα για τα ακάθαρτα και τα όμβρια.

Οι αγωγοί ακαθάρτων μεγάλης διατομής διέρχονται από περιοχές των οποίων οι κλίσεις επιτρέπουν τη φυσική ροή των λυμάτων λόγω της βαρύτητας, εκτός του Παραλιακού Συλλεκτήρα της ακτής Σαρωνικού, η λειτουργία του οποίου υποστηρίζεται με 44 ενδιάμεσα αντλιοστάσια ισχύος 11MW [20].

### 2.7.2. Συλλεκτήρες

Το αποχετευτικό δίκτυο της ΕΥΔΑΠ έχει την παρακάτω δομή [20]:

- Ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΚΑΑ): Αποτελεί τον αγωγό εκείνο που παροχετεύει τα όμβρια και ακαθάρτα από το τέρμα της οδού Πατησίων, μέχρι τον Ακροκέραμο Κερατσινίου. Έχει μήκος 16 Km. και έχει παροχετευτική ικανότητα  $15,00 \text{ m}^3/\text{sec}$ .
- Ο Κεντρικός Παραλιακός Συλλεκτήρας της ακτής Σαρωνικού: Ο Παραλιακός Συλλεκτήρας ξεκινά από την Βάρκιζα και τελειώνει στην περιοχή της Αμφιθέας με συνολικό μήκος περίπου 13 Km. Για την κατασκευή του ελήφθησαν υπόψη ορισμένες παράμετροι που σχετίζονταν με την τοπογραφία και τη διατήρηση της περιβαλλοντικής ισορροπίας της περιοχής. Η μέγιστη παροχετευτική του ικανότητα φτάνει τα  $2,50 \text{ m}^3/\text{sec}$ .
- Ο Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας Ακαθάρτων: Ο Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας ξεκινά από τον Αγ. Ιωάννη Ρέντη και τελειώνει στην περιοχή της Εκάλης. Το μήκος του φτάνει τα 26 Km. περίπου, ενώ η παροχετευτική του ικανότητα στην εκβολή είναι  $20,20 \text{ m}^3/\text{sec}$ .
- Ο Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΣΚΑΑ): Ο Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΣΚΑΑ) αρχίζει από τον Δήμο Αγ. Ιωάννου Ρέντη και καταλήγει στον Ακροκέραμο. Ο συγκεκριμένος αγωγός συμπληρώνει την παροχετευτική ικανότητα του ΚΑΑ. Είναι ένας κυκλικός αγωγός από οπλισμένο σκυρόδεμα μήκους 7,5 Km. και παροχετευτικότητας  $15,00 \text{ m}^3/\text{sec}$ .
- Ανακουφιστικός Καταθλιπτικός Αγωγός (ΑΚΑ): Ο αγωγός αυτός συλλέγει τα λύματα των περιοχών του Μοσχάτου, της Νέας Σμύρνης και του Παλαιού Φαλήρου στον ΚΑΑ. Έτσι ανακουφίζονται οι περιοχές που εξυπηρετούνται σήμερα από τον Κεντρικό Παραλιακό Συλλεκτήρα της ακτής Σαρωνικού. Έχει

συνολικό μήκος 6 Km., ενώ η παροχτευτική του ικανότητα στην εκβολή φτάνει τα 7,00 m<sup>3</sup>/sec.

### 2.7.3. Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων

Η ΕΥΔΑΠ έχει δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων στη Μεταμόρφωση Αττικής και στη νήσο Ψυττάλεια. Επίσης λειτουργούν εγκαταστάσεις επεξεργασίας στο Θριάσιο και στα Μέγαρα.



Σχήμα 2.7.1. : Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων [28]

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Μεταμόρφωσης αποτελεί τη μοναδική εγκατάσταση υποδοχής και επεξεργασίας οικιακών βοθρολυμάτων στο Νομό Αττικής. Μέσω του κέντρου αυτού εξυπηρετούνται οι Δήμοι και οι Κοινότητες που στερούνται αποχετευτικού δικτύου και απαλείφθηκαν οι ανεξέλεγκτες εκκενώσεις λυμάτων με αποτέλεσμα την αναβάθμιση και προστασία του περιβάλλοντος. Η όλη εγκατάσταση έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 24.000 m<sup>3</sup> βοθρολυμάτων και 20.000 m<sup>3</sup> αστικών λυμάτων ημερησίως [20]. Μέσα από την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων, το νερό που

παράγεται είναι απαλλαγμένο από το ρυπαντικό φορτίο σε ποσοστό 90%-95% καταλήγοντας στη θάλασσα του Σαρωνικού, χωρίς να επιφέρει κάποιο κίνδυνο στην ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) είναι ένα από τα μεγαλύτερα ΚΕΛ στην Ευρώπη και διεθνώς, με δυναμικότητα κάλυψης πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων. Διαθέτει μέση παροχή από τα εισερχόμενα λύματα κοντά στα 730.000 m<sup>3</sup> ημερησίως. Η επεξεργασία λυμάτων στο ΚΕΛΨ περιλαμβάνει τα εξής στάδια: προεπεξεργασία, πρωτοβάθμια επεξεργασία και προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου, επεξεργασία ιλύος και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου Πεδίου συμπεριλαμβανομένων και επεξεργασμένων βιομηχανικών λυμάτων. Η δυναμικότητα κάλυψης πληθυσμού του είναι 117.000.

Η εγκατάσταση των Μεγάρων έχει σχεδιαστεί ώστε να δέχεται ημερησίως 8.000 – 12.000 m<sup>3</sup> και διαθέτει δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και μονάδα χλωρίωσης και υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για κατασκευή μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας, ώστε το νερό να επαναχρησιμοποιείται για άρδευση στην περιοχή.

### **3. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (Κ.Ε.Λ.Ψ.)**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων άρχισε να κατασκευάζεται το 1983. Ήταν μια χρονιά ορόσημο όπου και αποφασίστηκε η μεταφορά και η επεξεργασία των λυμάτων της Αττικής στη νήσο Ψυττάλεια. Η κατασκευή της Α΄ φάσης ολοκληρώθηκε το 1993 και λειτουργεί πλήρως από το 1994. Πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ευρώπη, το οποίο συμβάλει αποφασιστικά στην εξυγίανση του Σαρωνικού και στην αναβίωση της χλωρίδας και της πανίδας του.



**Εικόνα 3.1.1 : ΚΕΛ Ψυττάλειας [22]**

Το έργο της Ψυττάλειας αποτελείται από τα εξής επιμέρους έργα [20] :

- Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός αγωγός (ΣΚΑΑ)
- Μηχανική επεξεργασία των λυμάτων στον Ακροκέραμο
- Δίδυμος υποθαλάσσιος αγωγός (ανεστραμμένος σίφωνας) από τον Ακροκέραμο στη νήσο Ψυττάλεια
- Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων στη Ψυττάλεια
- Σύστημα αγωγών εκβολής

Εκτός των κύριων εγκαταστάσεων επεξεργασίας, έχουν επίσης κατασκευαστεί:

- Μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας με μηχανές Otto, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 11,6 MW περίπου η οποία βρίσκεται σε λειτουργία από τα τέλη του 2001. Η μονάδα αυτή έχει δυναμικότητα καύσης 72.000 Nm<sup>3</sup>/h βιοαερίου και μπορεί να απορροφήσει σημαντικό μέρος της συνολικής παραγωγής βιοαερίου του Κ.Ε.Λ.Ψ
- Μονάδα ασβεστοποίησης η οποία χρησιμεύει για την υγειονομοποίηση και αδρανοποίηση της αφυδατωμένης ιλύος με προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου

Τα λύματα της Αθήνας αφού υποστούν διάφορες διεργασίες όπως αυτές της προεπεξεργασίας (εσχάρωση - εξάμμωση) στον Ακροκέραμο, στην συνέχεια οδηγούνται μέσω του συστήματος ανεστραμμένων σιφώνων στη νήσο Ψυττάλεια. Για να μην προκαλούνται περιβαλλοντικές οχλήσεις, οι εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας είναι καλυμμένες ενώ ο περιεχόμενος αέρας υφίσταται συνεχή καθαρισμό, μέσω συστήματος μονάδων απόσμησης.

Στην Β΄ φάση κατασκευής, που ξεκίνησε το 1999 και ολοκληρώθηκε το 2004 περιλαμβάνονται τα απαιτούμενα έργα όπως οι δεξαμενές αερισμού και τελικής καθίζησης, καθώς και νέες δεξαμενές χώνευσης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων με απομάκρυνση αζώτου και επεξεργασία της παραγόμενης βιολογικής ιλύος. Όλες οι εργασίες εκτελούνταν υπό την επίβλεψη του τέως ΥΠΕΧΩΔΕ, που είχε την ευθύνη της οριστικής μελέτης της εγκατάστασης, για να πληρούνται τα κριτήρια εκείνα που θεσπίζονται από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα.

Με την ολοκλήρωση και της Β΄ φάσης των έργων, ο Σαρωνικός δέχεται επεξεργασμένα λύματα με πολύ μικρό ποσοστό επιβάρυνσης σε ρυπαντικό φορτίο και θρεπτικά στοιχεία που συμβάλλουν στο ανεπιθύμητο φαινόμενο του ευτροφισμού.

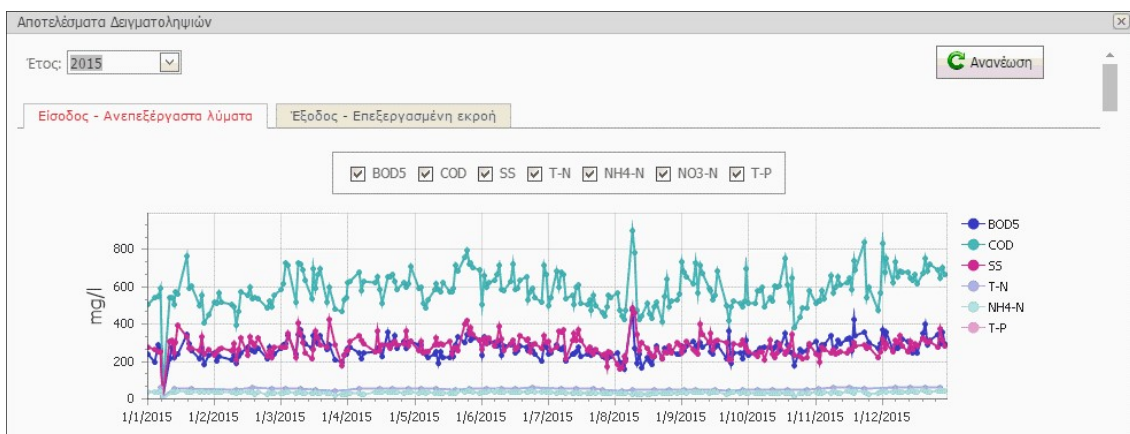
Στην Γ΄ φάση, η οποία ξεκίνησε το 2006 και ολοκληρώθηκε το 2007, περιλαμβάνονται τα απαιτούμενα έργα για την θερμική ξήρανση της παραγόμενης χωνευμένης αφυδατωμένης ιλύος.

Οι παροχή και τα φορτία σχεδιασμού του ΚΕΛΨ απεικονίζονται στον Πίνακα 3.1.1.

Πίνακας 3.1.1 : Παροχές και φορτία σχεδιασμού ΚΕΛΨ [2]

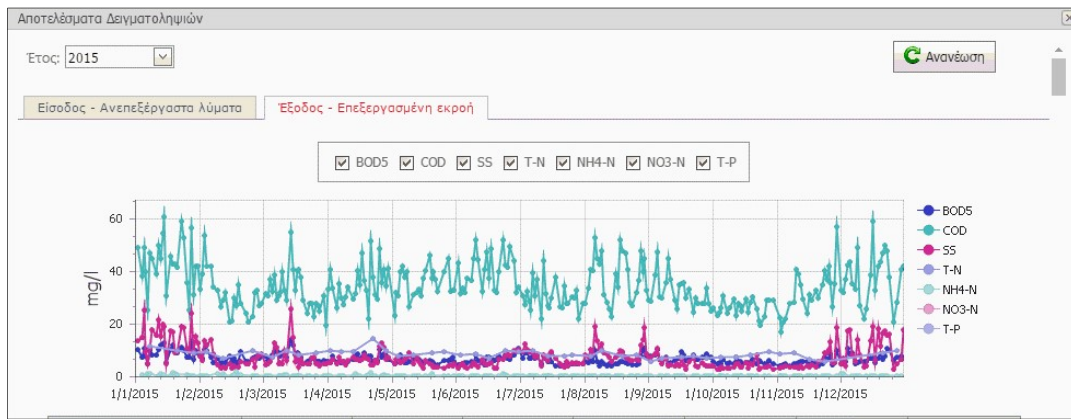
Παροχές και φορτία σχεδιασμού ΚΕΛΨ			
Παράμετροι Σχεδιασμού	Μονάδα	Φορτία σχεδιασμού	
<b>Παροχές Λυμάτων:</b>			
Μέση παροχή (ξηράς περιόδου)	m <sup>3</sup> /d	1.000.000	
Μέγιστη παροχή	m <sup>3</sup> /d	1.120.000	
Παροχή αιχμής	m <sup>3</sup> /s	27,00 (Α' Φάση, πρωτοβάθμια επεξεργασία)	16,00 (Β' Φάση βιολογική επεξεργασία)
<b>Ρυπαντικά Φορτία σχεδιασμού</b>		<b>Α' Φάση, (πρωτοβάθμια επεξεργασία)</b>	<b>Β' Φάση (βιολογική επεξεργασία)</b>
<b>BOD</b>			
Μέση τιμή	Kg/d	226.000	162.000
Αιχμή	Kg/d	338.000	218.000
<b>COD</b>			
Μέση τιμή	Kg/d	532.000	346.000
Αιχμή	Kg/d	709.000	483.000
<b>Φορτίο Αιωρούμενων Στερεών</b>			
Μέση τιμή	Kg/d	238.000	119.000
Αιχμή	Kg/d	447.000	181.000
<b>Φορτίου Ολικού Αζώτου</b>			
Μέση τιμή	Kg/d	41.500	41.500
Αιχμή	Kg/d	49.000	49.000
<b>Θερμοκρασίες Λυμάτων:</b>			
Ελάχιστη	°C	15	15
Μέγιστη	°C	28	28

Τα αποτελέσματα ελέγχου για τα ποιοτικά στοιχεία των εισροών και εκροών, που προέκυψαν από μετρήσεις της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.1.1 και 3.1.2 αντίστοιχα [23].



Σχήμα 3.1.1 : Τιμές εισόδου του Κ.Ε.Λ.Ψ. 2015 [23]





**Σχήμα 3.1.2 :** Τιμές εξόδου του Κ.Ε.Λ.Ψ. 2015 [23]

Μετά από επεξεργασία των δεδομένων των τιμών εισόδου και εξόδου για ολόκληρο το έτος 2015 [23] προέκυψε η μέση τιμή για κάθε ρυπογόνο ουσία:

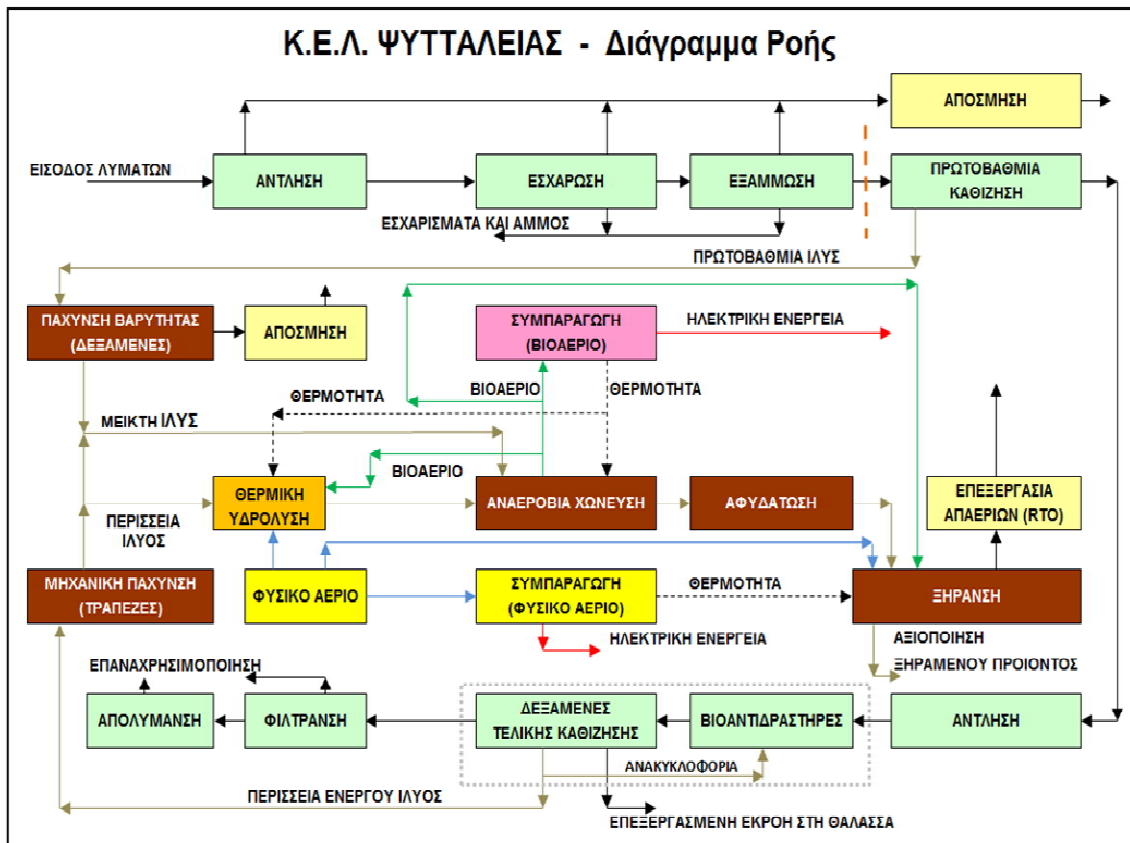
**Πίνακας 3.1.2 :** Τιμές Εισόδου και Εξόδου ρυπαντικών φορτίων ΚΕΛΨ (ιδία επεξεργασία)

	BOD5	COD	SS	T-N	NH4-N
Μέση Τιμή Εισόδου	269,01	587,43	282,93	53,05	34,42
Μέση Τιμή Εξόδου	6,89	34,71	7,53	8,74	0,66

### 3.2. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Στην Ενότητα αυτή αναλύονται οι επιμέρους μονάδες που περιλαμβάνει η γραμμή επεξεργασίας των λυμάτων στο ΚΕΛΨ . Αρχικά παρουσιάζεται το Σχήμα 3.2.1 στο οποίο φαίνεται συνοπτικά η ροή που ακολουθείται για την επεξεργασία πριν την απόρριψη του νερού στο Σαρωνικό.





Σχήμα 3.2.1. : Διάγραμμα ροής ΚΕΛ Ψυττάλειας [87]

### 3.2.1. Έργα εισόδου και προεπεξεργασίας

Στο χώρο του Ακροκεράμου λειτουργεί η προεπεξεργασία των λυμάτων που περιλαμβάνει τις κάτωθι μονάδες :

- Φρεάτια απομάκρυνσης ογκωδών στερεών (6 φρεάτια).
- Αντλιοστάσιο εισόδου: 9 κοχλιωτές αντλίες Αρχιμήδη (έκαστη: διαμέτρου 3 m, κινητήριας ισχύος 450 KW, παροχής 3 m<sup>3</sup>/s).
- Μονάδα Εσχάρωσης δύο σταδίων: χονδροεσχάρωση με 6 εσχάρες με διάκενα 30 mm και λεπτή εσχάρωση με 6 εσχάρες με διάκενο 10 mm
- Μονάδα Εξάμμωσης: 6 ορθογωνικές, αεριζόμενες δεξαμενές εξάμμωσης
- Μονάδα Απόσμησης: συνολικής δυναμικότητας επεξεργασίας 140.000 m<sup>3</sup>/h, που καλύπτει τους χώρους του αντλιοστασίου εισόδου, εσχάρωσης και εξάμμωσης, οι οποίοι είναι καλυμμένοι για περιορισμό έκλυσης των οσμών.



Εικόνα 3.2.1 : Εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας Ακροκέραμου [87]



Εικόνα 3.2.2 : Εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας Ακροκέραμου [87]

Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του Κ.Ε.Λ.Ψ. που απεικονίζονται στην Εικόνα 3.2.3.



### 3.2.2. Πρωτοβάθμια καθίζηση



Εικόνα 3.2.3 : Εγκαταστάσεις επεξεργασίας Ψυττάλειας [87]

Από την έξοδο της εξάμμιωσης, όλα τα λύματα οδηγούνται μέσω ενός δίδυμου υποθαλάσσιου ανεστραμμένου σίφωνα, διαμέτρου 2,8 m, μήκους 1.440 m, μέγιστο βάθος -44m και υδραυλική ικανότητα  $27\text{m}^3/\text{s}$  στη νήσο Ψυττάλεια. Στις δύο διώρυγες προσαγωγής των λυμάτων στην πρωτοβάθμια καθίζηση, γίνεται μέτρηση της παροχής μέσω δύο (2) μετρητών, τύπου Parshall.

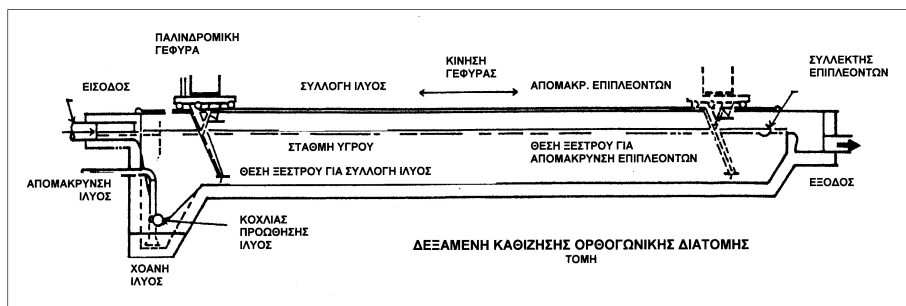


**Εικόνα 3.2.4 :** Απεικόνιση εγκαταστάσεων του ΚΕΛΨ [87]

Η πρωτοβάθμια καθίζηση στοχεύει στην αφαίρεση του αιωρούμενου υλικού (οργανικού και ανόργανου). Στόχος της είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων οργανικών και ανόργανων στερεών σωμάτων που επιπλέουν στα λύματα και αποτελούν κίνδυνο έμφραξης των αγωγών (π.χ. αντλίες) και δυσλειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας που ακολουθούν. Πραγματοποιείται σε έξι (6) ορθογωνικές δεξαμενές, οι οποίες έχουν διαστάσεις η καθεμία 100m $\times$ 20m $\times$ 3m και συνολικής υδραυλικής δυναμικότητας 27m<sup>3</sup>/s. Ο αναμενόμενος βαθμός απομάκρυνσης στερεών είναι 50-60%.



Εικόνα 3.2.5 : Απεικόνιση των Πρωτοβάθμιων Δεξαμενών [87]



Σχήμα 3.2.2 : Τομή δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης [87]

### 3.2.3. Βιολογική βαθμίδα

Στην συνέχεια αφού τα λύματα εγκαταλείψουν την πρωτοβάθμια καθίζηση ανυψώνονται μέσω του Αντλιοστασίου Ανύψωσης Πρωτοβαθμίων Λυμάτων από τη στάθμη +5.60 περίπου (στάθμη αναρρόφησης) στη στάθμη + 11.80 περίπου. Μέσα σε ένα κατάλληλα διαμορφωμένο θάλαμο έχουν εγκατασταθεί έξι υποβρύχιες αντλίες αξονικής ροής, οι οποίες έχουν η καθεμία δυναμικότητα  $3,0 \text{ m}^3/\text{sec}$  περίπου και ισχύος κινητήρα 300 KW περίπου. Οι αντλίες αυτές καταθλίβουν τα πρωτοβαθμώς επεξεργασμένα λύματά της στη διάωρυγα τροφοδοσίας των βιοαντιδραστήρων. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζεται η παροχή του αντλιοστασίου μέσω ρυθμιστών στροφών χαμηλής τάσης, με



αποτέλεσμα αυτή να προσαρμόζεται στην εκάστοτε εισροή λυμάτων. Σε κάθε αντλία είναι τοποθετημένο ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο Ø1200 mm.

Στην έξοδο των λυμάτων από το Α.Α.Π.Λ., τα λύματα μεταφέρονται μέσω ενός οχετού και στην συνέχεια διανέμονται μέσω πλευρικών ανοιγμάτων στον οχετό σε δώδεκα (12) βιοαντιδραστήρες, με εξοπλισμό συνολικού όγκου 298.000 m<sup>3</sup>.. Η διάταξη αυτών είναι παράλληλη σε δύο ομάδες των έξι (6) οι οποίοι βρίσκονται εκατέρωθεν του οχετού τροφοδοσίας. Ενώ αρχικά είχε προβλεφθεί ο συνολικός ωφέλιμος όγκος των βιοαντιδραστήρων να είναι 200.000 m<sup>3</sup>., τελικά ο όγκος αυτός αυξήθηκε τελικά σε 298.000m<sup>3</sup>. έτσι ώστε να επιτευχθεί υψηλός βαθμός απομάκρυνσης του αζώτου.

Έχουν κατασκευαστεί δύο επιπλέον βιοαντιδραστήρες, για μελλοντική αξιοποίηση στη περίπτωση που απαιτηθεί είτε αύξηση της δυναμικότητας επεξεργασίας, είτε ενίσχυση της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου.

Οι βιοαντιδραστήρες είναι κατάλληλα διαμερισματοποιημένοι, με αναερόβια ζώνη επιλογής μικροοργανισμών, ανοξική ζώνη, επαμφοτερίζουσα ζώνη (ανοξική/αερόβια), αερόβιες ζώνες και ζώνη απαερίωσης. Η αναερόβια, ανοξική επαμφοτερίζουσα και η ζώνη απαερίωσης είναι εξοπλισμένες με υποβρύχιους αναδευτήρες. Οι αερόβιες ζώνες είναι εξοπλισμένες με σύστημα υποβρύχιας διάχυσης του αέρα, με ελαστικούς διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας. Συνολικά είναι τοποθετημένοι 74.000 διαχυτήρες.



Εικόνα 3.2.6 : Διαχυτήρες [87]

Για να υπάρχει αρκετή παροχή σε απαιτούμενο αέρα, τότε χρησιμοποιούνται επτά (7) φυγοκεντρικοί αεροσυμπιεστές συνολικής δυναμικότητας  $550.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Για να δημιουργηθούν συνθήκες ψύξης των αεροσυμπιεστών και των μεταψυκτών αέρα, τότε χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα αντλιών και εναλλακτών με βιομηχανικό νερό. Το σύνολο του εξοπλισμού είναι εγκατεστημένο σε κατάλληλο βιομηχανικό κτίριο.



**Εικόνα 3.2.7 :** Απεικόνιση Δεξαμενών Αερισμού (Βιοαντιδραστήρες) [87]

Ο καθένας βιοαντιδραστήρας είναι εξοπλισμένος με τρεις (3) αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται για την απονιτροποίηση. Στους βιοαντιδραστήρες είναι τοποθετημένα όργανα μέτρησης on line του διαλυμένου οξυγόνου, αιωρούμενων στερεών, αμμωνιακών και νιτρικών.

#### **3.2.4. Δευτεροβάθμια καθίζηση**

Το ανάμικτο υγρό το οποίο προέρχεται από την έξοδο των βιοαντιδραστήρων οδεύει με διάωργα προς τις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Η παροχή ρυθμίζεται στις δεξαμενές τελικής καθίζησης μέσω οκτώ (8) πνευματικών ρυθμιστικών δικλίδων διαμέτρου  $\text{Ø}1200 \text{ mm}$ . Κάθε μια από αυτές τις ρυθμιστικές δικλείδες είναι εξοπλισμένη με ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο  $\text{Ø}1200 \text{ mm}$ .

Στην συνέχεια η βιομάζα διαχωρίζεται από τα επεξεργασμένα λύματα, μέσω εξήντα τεσσάρων (64) δεξαμενών καθίζησης, συνολικής επιφάνειας  $52.096 \text{ m}^2$ . Η αρχική

συνολική επιφάνεια καθίζησης προβλεπόταν να είναι  $44.200\text{m}^2$ . Οι δεξαμενές τελικής καθίζησης είναι δύο διαμερισμάτων (διαμέρισμα υψηλής και χαμηλής φόρτισης), ορθογωνικές τύπου Gould II, εξοπλισμένες με ξέστρα συνεχούς σάρωσης και στα δύο διαμερίσματα. Είναι εξοπλισμένες με όργανα on line μέτρησης στερεών στους κώνους συλλογής της ιλύος και όργανα μέτρησης του στρώματος της ιλύος στο διαμέρισμα υψηλής φόρτισης. Η απομάκρυνση της καθιζάνουσας ιλύος από τους κώνους συλλογής των δεξαμενών γίνεται μέσω εκατόν ενενήντα δύο (192) (τρεις σε κάθε δεξαμενή) ηλεκτροκίνητων υδροστατικών δικλίδων.

Για να επιτευχθεί ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος από τις δεξαμενές καθίζησης προς τους βιοαντιδραστήρες αυτό πραγματοποιείται μέσω δώδεκα (12) υποβρύχιων αξονικών αντλιών, μοναδιαίας παροχής  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ , εξοπλισμένες με ρυθμιστή συχνότητας (ρύθμιση από  $0,7$  έως  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ ), τοποθετημένες εντός των βιοαντιδραστήρων. Κάθε αντλία είναι εξοπλισμένη με παροχόμετρο υπερήχων.

Το αντλιοστάσιο περίσσειας ιλύος αποτελείται από τέσσερις (4) φυγοκεντρικές αντλίες ξηρού τύπου, μοναδιαίας παροχής  $0,20\text{ m}^3/\text{s}$ . Το αντλιοστάσιο περίσσειας είναι εξοπλισμένο με ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο και όργανο μέτρησης αιωρούμενων στερεών.



Εικόνα 3.2.8 : Απεικόνιση των Δεξαμενών Τελικής Καθίζησης [87]



### 3.3. Εγκαταστάσεις βιομηχανικού νερού

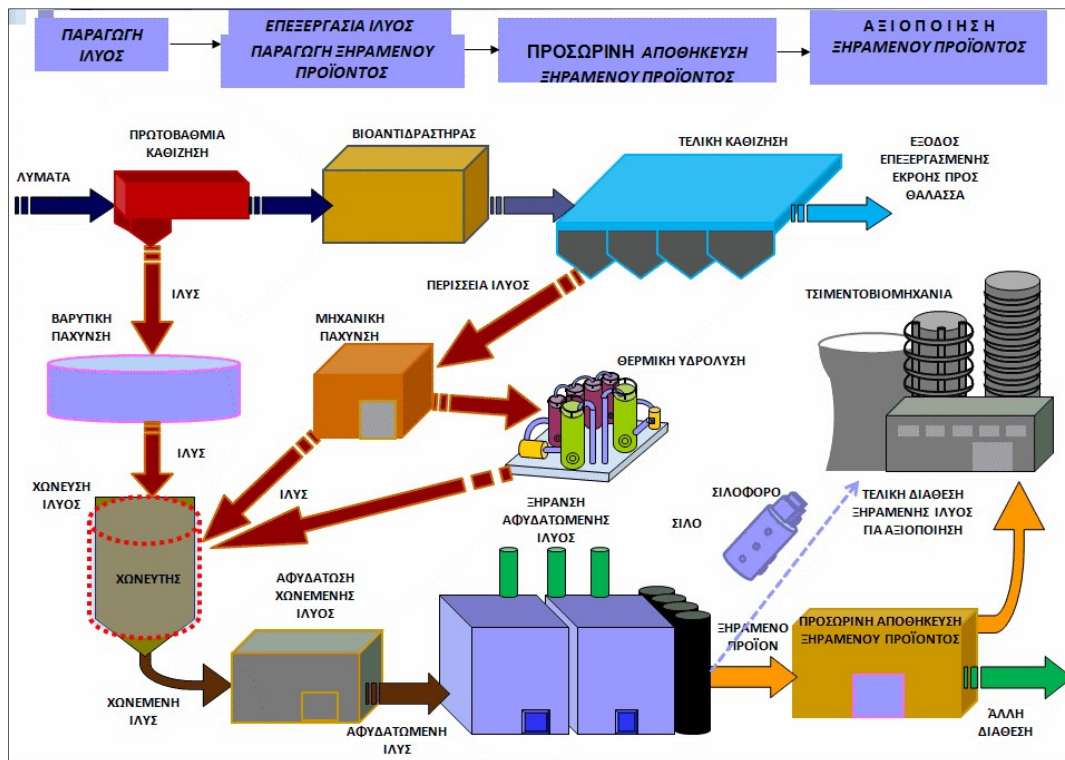
Για να καλυφθούν οι ανάγκες του ΚΕΛΨ σε νερό χρήσης τότε ορισμένες ποσότητες επεξεργασμένων λυμάτων υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία (διύλιση και απολύμανση με UV). Στην συνέχεια διανέμεται μέσω δικτύων προς τα διάφορα σημεία κατανάλωσης. Σήμερα αξιοποιούνται 15,000 m<sup>3</sup>/d επεξεργασμένα λύματα, τα οποία χρησιμεύουν για τις ανάγκες σε άρδευση, ψύξη, πλυσίματα και άλλες χρήσεις στις εγκαταστάσεις του ΚΕΛΨ.

Στην μονάδα φίλτρανσης υπάρχουν τρία (3) αμμόφιλτρα βαρύτητας και αυτόματης πλύσης, συνολικής δυναμικότητας 1500 m<sup>3</sup>/h. Η τροφοδοσία αυτών γίνεται από τέσσερις αντλίες μοναδιαίας παροχής 500 m<sup>3</sup>/h. Το νερό που έχει υποστεί φίλτρανση καταλήγει σε δύο (2) δεξαμενές αποθήκευσης μη απολυμασμένου συνολικού όγκου 1200 m<sup>3</sup>. Μέσα από τις δεξαμενές αυτές αντλούν νερό το αντλιοστάσιο διάθεσης μη απολυμασμένου βιομηχανικού νερού και το αντλιοστάσιο τροφοδοσίας του UV. Το αντλιοστάσιο τροφοδοσίας του UV καταθλίβει σε αγωγό στον οποίο είναι εγκατεστημένη μια in line μονάδα απολύμανσης UV δυναμικότητας 300 m<sup>3</sup>/h. Το αντλιοστάσιο απολυμασμένου αναρροφά από δύο δεξαμενές συνολικού όγκου 1200 m<sup>3</sup> και καταθλίβει σε ξεχωριστό δίκτυο διανομής απολυμασμένου νερού.



Εικόνα 3.3.1 : Απεικόνιση Μονάδας Διύλισης [87]

### 3.4. Επεξεργασία ιλύος



Σχήμα 3.4.1 : Επεξεργασία Ιλύος [87]

Η πρωταρχική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την συμπύκνωση της ιλύος είναι η πάχυνση. Αποτελεί μια διαδικασία που χρησιμοποιείται έτσι ώστε να μειωθεί η ογκομετρική φόρτιση και να αυξηθεί η απόδοση κατόπιν διεργασιών επεξεργασίας των στερεών λυμάτων.

Η πάχυνση αποτελεί μια ιδιαίτερος σημαντική διεργασία αφού επιτυγχάνεται μείωση του όγκου της λυματολάσπης και κατ' επέκταση μειώνεται ο απαραίτητος εξοπλισμός και η χωρητικότητα των δεξαμενών. Επιπλέον ελαττώνεται η ποσότητα των απαιτούμενων χημικών για την προεπεξεργασία της αφυδάτωσης καθώς και η απαιτούμενη θερμότητα για τους χωνευτές. Η επιτυχία μείωσης του όγκου αποτελεί μια σημαντική παράμετρο όταν η υγρή λάσπη μεταφέρεται με βυτιοφόρα.

Η παραγόμενη ιλύς που βρίσκεται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, απομακρύνεται μέσω κάποιων ρυθμιζόμενων δικλίδων που χειρίζονται με τηλεσκοπικό τρόπο, προς το αντλιοστάσιο πρωτοβάθμιας ιλύος. Το αντλιοστάσιο είναι εξοπλισμένο



με 3 φυγοκεντρικές αντλίες. Από αυτές η μία είναι εφεδρική, με δυναμικότητα 120 m<sup>3</sup>/h η καθεμία.

Η πρωτοβάθμια ιλύς οδηγείται μέσω καταθλιπτικού αγωγού διαμ. 200 mm στη μονάδα λεπτής εσχάρωσης και στις δεξαμενές προπάχυνσης πρωτοβάθμιας ιλύος– 3 παχυντές βαρύτητας, διαμέτρου 25m, με συνολικό όγκο 7.350 m<sup>3</sup>..



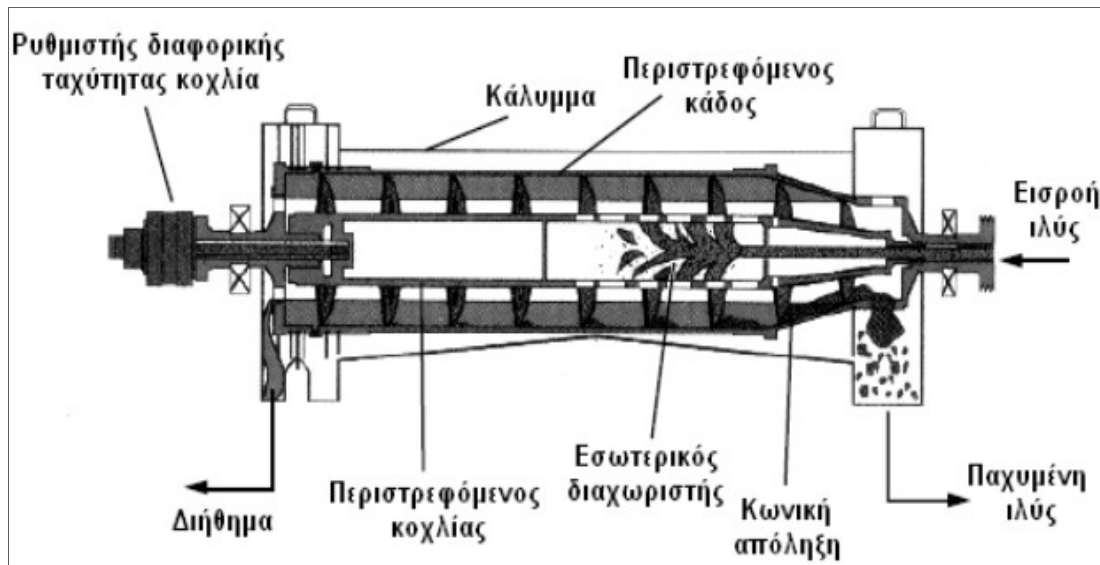
**Εικόνα 3.4.1 :** Απεικόνιση Δεξαμενών Προπάχυνσης [87]

Στην περίπτωση που θέλουμε να επιτύχουμε περαιτέρω μείωση του όγκου της σταθεροποιημένης ιλύος και αφού έχει προηγηθεί η προσωρινή αποθήκευση σε κατάλληλες δεξαμενές, τότε σαν τελικό στάδιο υπάρχει η μηχανική αφυδάτωσή της παραγόμενης ιλύος σε φυγοκεντρητές.

### **3.4.1. Μηχανική πάχυνση**

Η πάχυνση με φυγοκέντρωση πραγματοποιείται με την καθίζηση των στερεών της ιλύος υπό την επίδραση της φυγοκέντρου δύναμης [5]. Η τυπική τελική συγκέντρωση στερεών ιλύος παχυμένης με φυγοκεντρωτές κυμαίνεται από 4–8%. Η φυγοκέντρωση χρησιμοποιείται για την αφυδάτωση της ιλύος και έχει μόνο περιορισμένη χρήση για πάχυνση επειδή το κόστος της είναι ιδιαίτερα υψηλό. Υπάρχουν κάποιες φορές που χρησιμοποιείται για την πάχυνση ενεργού ιλύος με μεγάλες τιμές δείκτη SVI και όταν υπάρχει μεγάλη στενότητα χώρου. Η ιλύς διαχέεται συνεχώς μέσα στο περιστρεφόμενο κυλινδρικό (Σχήμα 3.4.2) ή κολουροκωνικό δοχείο ενώ τα αιωρούμενα στερεά συγκεντρώνονται στα τοιχώματα και από εκεί απομακρύνονται μέσω μιας ομόκεντρης

περιστρεφόμενης έλικας. Η έλικα αναπτύσει ταχύτητες που κυμαίνονται σε μέσες τιμές από 1500 έως 2600 στροφές/λεπτό επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο βαθμούς διαχωρισμού από 600 έως 1600, αντίστοιχα [6].



Σχήμα 3.4.2: Διάγραμμα λειτουργίας περιστρεφόμενου κυλινδρικού παχυντή φυγοκέντρησης [4]

Στην περίπτωση μας η περίσσεια βιολογική ιλύς οδηγείται μέσω του αντλιοστασίου περίσσειας σε μια δεξαμενή εξισορρόπησης χωρητικότητας 500 m<sup>3</sup>. Η διαδικασία της πάχυνσής πραγματοποιείται στο συγκρότημα μηχανικής πάχυνσης ενεργού ιλύος. Το συγκρότημα αυτό περιλαμβάνει δώδεκα (12) μηχανικούς παχυντές, τύπου «τράπεζας», οι οποίοι έχουν συνολική δυναμικότητα 1.500 m<sup>3</sup>/ώρα καθώς και δύο (2) μονάδες παρασκευής και δοσομέτρησης διαλύματος πολυηλεκτρολύτη. Ολόκληρος ο εξοπλισμός αυτός που περιλαμβάνει μηχανικούς παχυντές, αντλιοστάσια ιλύος, σύστημα παρασκευής και δοσομέτρησης πολυηλεκτρολύτη είναι τοποθετημένα σε κατάλληλο βιομηχανικό κτίριο.

Στην συνέχεια η ιλύς που έχει υποστεί πρωτοβάθμια πάχυνση αναμιγνύεται σε δεξαμενή ανάμιξης και στη συνέχεια αντλείται στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα, ο σχεδιασμός της μηχανικής πάχυνσης της ιλύος της Β' Φάσης, παρέχει τη δυνατότητα παράκαμψης μέρους της παχυμένης περίσσειας ιλύος απευθείας προς τη μονάδα αφυδάτωσης.



Εικόνα 3.4.2 : Μηχανικοί παχυντές τύπου τράπεζας [87]

### 3.4.2. Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση λειτουργεί ως διαδικασία περιορισμού, σταθεροποίησης και μερικής απολύμανσης του όγκου της ιλύος προς επεξεργασία [4]. Η οργανική ύλη ζυμώνεται από βακτήρια απουσία ελεύθερου οξυγόνου. Η ιλύς περιορίζεται σε ένα δοχείο στους 35°C. Τα τρία κύρια στάδια της διεργασίας είναι η υδρόλυση, η οξεογένεση και η μεθανογένεση.

Στην συγκεκριμένη μονάδα το μίγμα των παχυμένων ιλύων σταθεροποιείται με αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία 30 – 35°C. Υπάρχουν συνολικά οκτώ (8) χωνευτές (4 κατά την Α' και 4 κατά την Β' Φάση), χωρητικότητας 10.000 m<sup>3</sup>. ο καθένας και συνολικής χωρητικότητας 80.000 m<sup>3</sup>..

Ο βασικός τύπος της αναερόβιας χώνευσης στην μονάδα αυτή είναι ο υψηλής φόρτισης. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η πλήρης ανάμειξη, η θέρμανση, η ομοιόμορφη τροφοδοσία ιλύος στην εισροή και η συνεχής λειτουργία. Αποτέλεσμα των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι η αποδοτικότερη λειτουργία της χώνευσης. Επειδή στο τύπο αυτό της χώνευσης υπάρχει πλήρης ανάμειξη απαιτείται κάποια μονάδα διαχωρισμού των στερεών. Η πιο συνηθισμένη τέτοια μονάδα είναι ο δευτεροβάθμιος χωνευτής, οπότε η χώνευση γίνεται σε δύο στάδια [8].

Η ανάδευση και θέρμανση των τεσσάρων χωνευτών της Α' Φάσης γίνεται με το σύστημα HEAT-A-MIX όπου έχουν εγκατασταθεί εσωτερικά σωλήνες – εναλλάκτες, στη βάση των οποίων τροφοδοτείται βιοαέριο για την ανακυκλοφορία της ιλύος. Στους νέους αυτούς χωνευτές, η ανάδευση πραγματοποιείται με βιοαέριο μέσω ενός συστήματος δώδεκα συμπιεστών βιοαερίου καθώς και κατακόρυφων εύκαμπτων σωληνών έγχυσης. Στην περίπτωση της θέρμανσης αυτή γίνεται με εξωτερικούς σωληνωτούς εναλλάκτες εγκατεστημένους στο κτίριο εξυπηρέτησης.

Όλος αυτός ο εξοπλισμός που απαρτίζεται από συμπιεστές βιοαερίου, αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος, εναλλάκτες θερμότητας, σωληνώσεις, πνευματικές δικλείδες είναι τοποθετημένο σε δύο κτίρια εξυπηρέτησης (Εικόνα 3.4.3). Το παραγόμενο βιοαέριο από την μονάδα χώνευσης αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια (δύο δεξαμενές χωρητικότητας 5.600 m<sup>3</sup>. η κάθε μία) και στην συνέχεια χρησιμοποιείται σαν καύσιμο στην υφιστάμενη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘΕ).

Επίσης έχουν εγκατασταθεί και τρεις (3) δαυλοί με συνολική ικανότητα καύσης 5400 m<sup>3</sup>/ώρα, για την καύση τυχόν περίσσειας βιοαερίου.

Ο χρόνος παραμονής που χρειάζεται για τον σχηματισμό της ιλύος ανέρχεται σε περίπου 17 μέρες στην χειμερινή περίοδο με ποσοστό διάσπασης περίπου 45-50% των οργανικών της πρωτοβάθμιας ιλύος και 30% της δευτεροβάθμιας.





Εικόνα 3.4.3 : Χώνευτές Α' & Β' φάσης [87]

### 3.4.3. Μηχανική αφυδάτωση

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της μηχανικής αφυδάτωσης είναι η χρήση χημικών ουσιών, που συντελεί έτσι στην αύξηση της απόδοσης της με την υποβοήθηση της συσσωμάτωσης των στερεών και την ευκολότερη δημιουργία ενός αφυδατωμένου τελικού προϊόντος [5]. Χρησιμοποιούνται κυρίως ανόργανες χημικές ουσίες όπως  $FeCl_3$  και  $CaO$  αλλά και οργανικές όπως οι πολυηλεκτρολύτες που τελευταία βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή. Η μηχανική αφυδάτωση της ιλύος επιτυγχάνεται με μια ποικιλία μηχανισμών όπως τα φίλτρα κενού, οι φυγοκεντρητές, οι πλακοφιλτρόπρεσσες και οι ταινιοφιλτρόπρεσσες. Με αυτές τις μεθόδους αυξάνεται κατά κανόνα η συγκέντρωση στερεών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20% [8].

Στην μονάδα της Ψυττάλειας η χωνεμένη ιλύς που προκύπτει από την έξοδο των χωνευτών, οδηγείται στη μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης, η οποία αποτελείται από έξι ταινιοφιλτρόπρεσσες (η μία εφεδρική), με πλάτος ταινίας δύο μέτρων και συνολικής δυναμικότητας  $90m^3./ώρα$ , εγκατεστημένες από την Α' Φάση και σε νέα πρόσθετη

μονάδα αφυδάτωσης με ταινιοφιλτρόπρεσσες ικανότητας αφυδάτωσης (χωρίς τις εφεδρικές), 9.625 Kgr ξηρών στερεών την ώρα. Συνολικά από τις εγκαταστάσεις αφυδάτωσης μπορούν να αφυδατώνονται με ημερήσια παράγωγη χωνεμένης ιλύος με λειτουργία 16 ωρών ημερησίως σε κανονικές συνθήκες, με περιεκτικότητα στερεών στην αφυδατωμένη ιλύ της τάξης του 25-28%.

Στην Β' Φάση υπήρξε μια προσαύξηση της δυναμικότητας της μονάδας αφυδάτωσης κατά 20% σε 11.500 Kgr και στο νέο κτίριο αφυδάτωσης εγκαταστάθηκαν τέσσερις (4) φυγοκεντρικές, δυναμικότητας αφυδάτωσης 70m<sup>3</sup>/h αραιής ιλύος έκαστος. Προβλέπεται μελλοντικά να εγκατασταθούν δύο πρόσθετες φυγοκεντρικές από την ΕΥΔΑΠ έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αφυδάτωσης του συνόλου της παραγόμενης χωνεμένης ιλύος τόσο από την Α' όσο και από την Β' Φάση.

Φυγοκεντρικοί διαχωριστές  
Δυναμικότητα: 70 m<sup>3</sup>/h έκαστος  
Διάμετρος τύμπανου / μήκος (mm): 725  
Πολυηλεκτρολύτης κατιονικός



Εικόνα 3.4.4 : Μονάδα Αφυδάτωσης [87]

#### 3.4.4. Θερμική ξήρανση

Η αφυδατωμένη ιλύς, μεταφέρεται σε δύο δεξαμενές (silo) συνολικής χωρητικότητας 60 m<sup>3</sup>. μέσω δύο εμβολοφόρων αντλιών υψηλής πίεσης, όπου πραγματοποιείται η τροφοδοσία της Μονάδας Θερμικής Ξήρανσης της ιλύος. Η εγκατάσταση Ξήρανσης της μονάδας βρίσκεται σε δοκιμαστική λειτουργία και από τον Ιούλιο απορροφά το σύνολο της παραγωγής ιλύος του ΚΕΛΨ.



Η μονάδα Ξήρανσης αποτελείται από τέσσερις (4) γραμμές ξήρανσης παράλληλες μεταξύ τους, με περιστρεφόμενα τύμπανα (Εικόνα 3.4.5), συνολικής δυναμικότητας εξάτμισης 40 τόνων νερού ωριαίως το οποίο αντιστοιχεί σε 1400 τόνους επεξεργασμένης αφυδατωμένης ιλύος την ημέρα, περιεκτικότητας 74% σε υγρασία. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό της εγκατάστασης προβλέπεται ότι με τρεις γραμμές σε λειτουργία θα είναι δυνατόν να ξηραίνεται η μέγιστη παραγωγή ιλύος, ενώ η τέταρτη γραμμή θα βρίσκεται σε εφεδρεία.



Εικόνα 3.4.5 : Καυστήρας και περιστροφικό τύμπανο για την ξήρανση της ιλύος [87]

Επιπλέον διαθέτει:

- Σύστημα αποκονίωσης των 4 μεγάλων σιλό (Εικόνα 3.4.6) αποθήκευσης της ξηραμένης λάσπης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από 4 ανεξάρτητα αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα με ενσωματωμένο ανεμιστήρα.
- Σύστημα εκφόρτωσης σιλό και τροφοδοσίας ανοικτών και κλειστών οχημάτων έτσι ώστε να είναι εφικτή η αποκομιδή της ξηραμένης λάσπης. Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από τα εξής τμήματα: ένα δονητικό κώνο, αεροφράκτη αντιακρηκτικού τύπου έτσι ώστε να απομονώνονται τυχόν εκρήξεις που μπορεί να συμβούν στο σιλό, μια βαλβίδα φραγής και φυσούνα φόρτωσης.

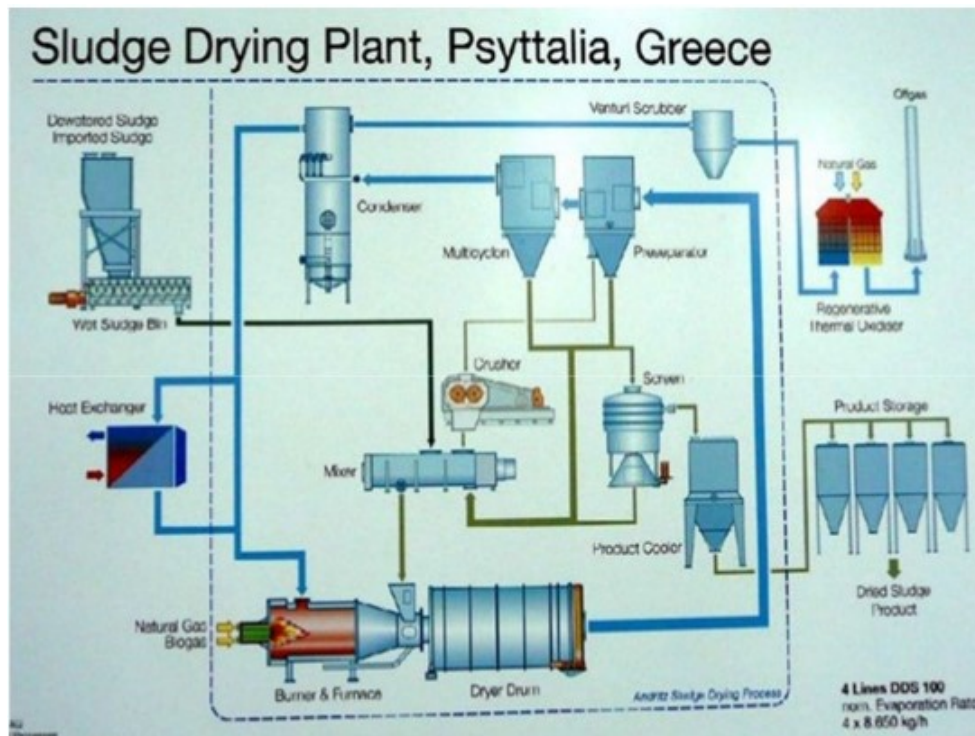
Όλα τα εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα με ειδικές προδιαγραφές και φέρουν πιστοποίηση ATEX.



**Εικόνα 3.4.6 :** Σιλό προσωρινής αποθήκευσης ξηραμένης ιλύος [87]

Η μέθοδος της ξήρανσης επιτυγχάνεται με άμεση θέρμανση (καύση φυσικού αερίου). Υπολογίζεται ότι όταν τεθεί σε λειτουργία η υπό κατασκευή νέα μονάδα ΣΗΘΕ με αεριοστρόβλο συνολικής ισχύος 37 MW, τότε το 70% περίπου των θερμικών αναγκών θα καλύπτεται από τη θερμότητα των καυσαερίων της τουρμπίνας, η οποία στην συνέχεια θα μεταφέρεται στο κύκλωμα ανακυκλοφορίας υδρατμών της ξήρανσης μέσω τεσσάρων εναλλακτών αέρα-αέρα.

Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι τα πρόσθετα έργα που έχουν δημιουργηθεί και ειδικότερα η επέκταση των βιοαντιδραστήρων στη γραμμή επεξεργασίας των λυμάτων, δεν οδηγούν σε επιβάρυνση των έργων της επεξεργασίας της ιλύος, αλλά αντιθέτως μπορεί και να έχουν συμβάλει στην μείωση της αναμενόμενης ποσότητας βιολογικής ιλύος λόγω αύξησης του χρόνου παραμονής των στερεών στη βιολογική επεξεργασία.



Σχήμα 3.4.3 : Μονάδα θερμικής ξήρανσης στην Ψυτάλεια [87]

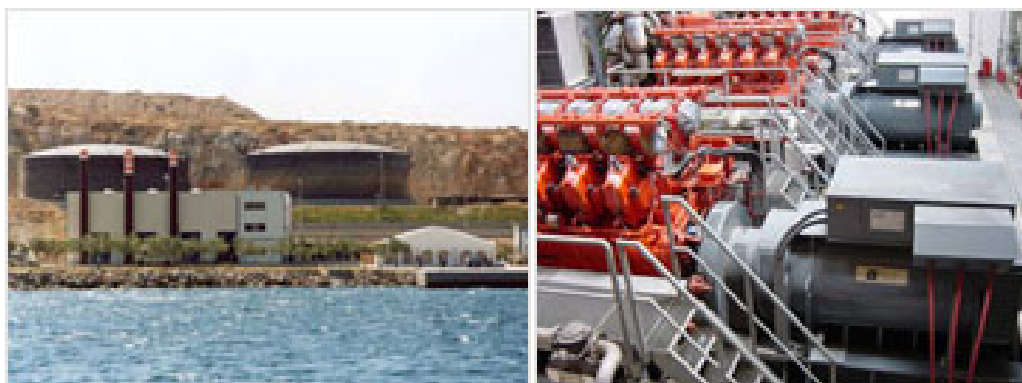
### 3.5. Συμπαράγωγή ενέργειας

Τα λύματα που εισέρχονται στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλειας, που είναι της τάξης των 730.000m<sup>3</sup>. ανά μέρα, όχι μόνο επεξεργάζονται, αλλά αποτελούν ταυτόχρονα πηγή παραγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διεργασία της χώνευσης της μικτής ύλης, παράγεται βιοαέριο το οποίο και που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις δύο μονάδες συμπαράγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η συνολική ηλεκτρική ισχύς είναι 11,4 MWe και η θερμική 17,3 MWth.

Το οικονομικό όφελος από τη Λειτουργία της Μονάδας Συμπαράγωγής Θερμικής και Ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά μεγάλο, καθώς επιτυγχάνεται εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους. Επίσης, προκύπτουν έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στον ΛΑΓΗΕ. Το περιβαλλοντικό όφελος είναι εξίσου μεγάλο πλεονέκτημα, εφόσον το βιοαέριο είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και αντικαθιστά τα συμβατικά καύσιμα. Πριν την κατασκευή των Μονάδων από την καύση του βιοαερίου σε δαυλούς εκλύονταν στην ατμόσφαιρα αυξημένοι ρύποι σε σχέση με αυτούς που εκλύονται από την ελεγχόμενη καύση του βιοαερίου σε παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Σύμφωνα με τη νέα νομοθεσία για τα δικαιώματα εκπομπών αέριων ρύπων θερμοκηπίου, δίνεται στην ΕΥΔΑΠ το δικαίωμα να λάβει περισσότερα δωρεάν δικαιώματα εκπομπών αέριων ρύπων θερμοκηπίου από ότι αν δεν υπήρχαν οι δύο Μονάδες βιοαερίου στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας. Επιπλέον, η λειτουργία τους δε μειώνει τα δικαιώματα αυτά, αφού πρόκειται για εκπομπές που προκύπτουν από ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Τέλος, η λειτουργία των Μονάδων εξασφαλίζει την αυτοδυναμία της εγκατάστασης του κέντρου της Ψυττάλειας συμβάλλοντας στην αδιάλειπτη λειτουργία των εγκαταστάσεων ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου της ΔΕΗ.



Εικόνα 3.5.1, Εικόνα 3.5.2 : Μονάδα ΣΗΘΕ με καύση βιοαερίου & Εγκατάσταση συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας του ΚΕΛ Ψυττάλειας [87]

### **3.6. Διάθεση ιλύος και παραπροϊόντων επεξεργασίας (εσχαρισμάτων άμμου)**

Από το 1994, που πραγματοποιήθηκε η έναρξη λειτουργίας των έργων Α' Φάσης έως τα μέσα του 2005 περίπου, η παραγόμενη χωνευμένη και αφυδατωμένη ιλύς του ΚΕΛΨ διατίθεντο αποκλειστικά στον ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων. Όμως ο κορεσμός του ΧΥΤΑ είχε ως αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση της αναρροφούμενης αφυδατωμένης ιλύος από τα μέσα του 2003. Παρατηρήθηκαν δε και περίοδοι που η απορρόφηση διακόπτονταν εντελώς. Εκείνο το διάστημα, μια περιορισμένη ποσότητα ιλύος διατέθηκε στη μονάδα κομποστοποίησης του ΕΣΔΚΝΑ στα Λιόσια.



Το 2003 στο νησί της Ψυττάλειας κατασκευάστηκαν στεγανολεκάνες με στραγγιστήρια (ΧΥΤΙ) με σκοπό την προσωρινή αποθήκευση της ποσότητας ιλύος η οποία δεν ήταν δυνατόν να διατεθεί αλλού.

Το έτος 2006, μεταφέρθηκε δια θαλάσσης στη Γερμανία μια ποσότητα 30.000 τόνων, όπου και απορροφήθηκε σε αδειοδοτημένες εγκαταστάσεις καύσης και κομποστοποίησης. Επίσης ξεκίνησε η μονάδα επεξεργασίας της αφυδατωμένης ιλύος με οξείδιο του ασβεστίου, η οποία μέχρι σήμερα έχει επεξεργαστεί περίπου 120.000 τόνους αφυδατωμένης ιλύος. Η ασβεστοποιημένη ιλύς, αφού πρώτα αναμειχθεί με χώμα και συμπιεστεί, χρησιμοποιείται για την επαναπλήρωση των ΧΥΤΙ.

Από τον Ιούλιο του 2007 όλη η παραγόμενη αφυδατωμένη ιλύς του ΚΕΛΨ απορροφάται από τη μονάδα Ξήρανσης.

Το ξηραμένο προϊόν που παράγεται συσκευάζεται και αποθηκεύεται προσωρινά στο νησί και εν συνεχεία μεταφέρεται σε χώρους αξιοποίησης του ως καύσιμο σε τσιμεντοβιομηχανίες ή για άλλες χρήσεις.



**Εικόνα 3.6.1 :** Τελικό ξηραμένο προϊόν [87]



## **4. Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων**

### **4.1. Γενικά**

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ανάπτυξη του τουρισμού, οι περίοδοι ξηρασίας σε συνδυασμό με την ανομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων και η ανάγκη για αποτελεσματικότερο έλεγχο της ρύπανσης των υδατικών πόρων έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξανόμενη ζήτηση νερού και την αναζήτηση νέων και αξιόπιστων πηγών νερού για μια ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων [37].

Η εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, ιδιαίτερα για αγροτική χρήση, πραγματοποιείται επί αιώνες ακόμα και από τα αρχαία Ελληνικά χρόνια [13]. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας για την ανάκτηση λυμάτων αποτελεί βασικό παράγοντα, ώστε να διασφαλιστεί η κοινωνική αποδοχή και η προστασία της δημόσιας υγείας. Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και μετά από ανάλυση πολλών παραγόντων για τη διασφάλιση της οικονομικής και κοινωνικής βιωσιμότητας ενός τέτοιου εγχειρήματος [39]. Στη σύγχρονη εποχή η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση νερού για την κάλυψη των κοινωνικών αναγκών, ειδικά σε περιοχές με πεπερασμένους υδατικούς πόρους, καθιστά την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων ελκυστική λύση για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης ενός συστήματος διαχείρισης υδάτινων πόρων. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση αποτελεί βιώσιμη περιβαλλοντικά λύση ακόμη και σε περιοχές όπου το πρόβλημα της έλλειψης των υδάτινων πόρων δεν είναι τόσο έντονο [37].

Από τη χρήση ανακτημένων λυμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα [10],[11] :

- Διατήρηση υπαρχόντων και ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων
- Στη μείωση του κόστους νερού.
- Μείωση ποσότητας λιπασμάτων στις καλλιέργειες, όταν το λύμα χρησιμοποιείται άρδευση, λόγω της περιεκτικότητας των ανακτημένων λυμάτων σε θρεπτικά στοιχεία,. Αυτό συνεπάγεται και οικονομικά οφέλη εφόσον μειώνεται το επίπεδο ρύπανσης που θα προκαλούνταν από τη χρήση λιπασμάτων
- Στην αξιοπιστία ποιότητας νερού ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές.
- Προστασία ευαίσθητων οικοσυστημάτων, που θα αποτελούσαν αποδέκτες των λυμάτων αν αυτά δεν επαναχρησιμοποιούνταν

- Στην προστασία των υδάτινων πόρων, σε παράκτιες κυρίως περιοχές στις οποίες παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς μέσω της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού

Όπως είναι φυσικό ένα τέτοιο εγχείρημα φέρει εξίσου σημαντικά μειονεκτήματα, τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω:

- Κίνδυνος για την υγεία του ανθρώπου και για το περιβάλλον όταν δεν έχει διενεργηθεί η απαραίτητη επεξεργασία
- Κοινωνική αποδοχή για τέτοιου είδους χρήση
- Αυξημένο σχετικά οικονομικό κόστος για την εφαρμογή της μεθόδου ανάκτησης των λυμάτων
- Σε περιπτώσεις άρδευσης απαιτούνται υποδομές για την προσωρινή αποθήκευση

## **4.2. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης**

### **4.2.1. Άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου**

Η άρδευση γεωργικών εκτάσεων είναι η συνηθέστερη κατηγορία χρήσης ανακτημένων λυμάτων και έχει μεγάλες προοπτικές σε ότι αφορά τη μελλοντική χρήση επεξεργασμένων λυμάτων [39]. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το 70% της συνολικής χρήσης νερού χρησιμοποιείται παγκοσμίως για αγροτική άρδευση το νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιείται σε πρώτη φάση για αστική χρήση και σε δεύτερη φάση να επαναχρησιμοποιείται για άρδευση αφού πρώτα υποστεί κάποια επεξεργασία [9].

Οι κυριότερες κατηγορίες καλλιεργειών στις οποίες εφαρμόζεται άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα είναι οι δενδρώδεις, οι βοσκότοποι, οι αροτραίες και οι ινώδεις εξαιτίας των χαμηλών κινδύνων, που συνεπάγονται για τη δημόσια υγεία [37].

Τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση ανακτημένων λυμάτων για άρδευση περιλαμβάνουν:

- Έλεγχο της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.
- Διατήρηση των φυσικών πηγών νερού για μελλοντική χρήση.



- Αύξηση της παραγωγικότητας του εδάφους λόγω της περιεκτικότητας αποβλήτων σε θρεπτικά στοιχεία, όπως το άζωτο και ο φώσφορος
- Οικονομικά οφέλη για τους παραγωγούς εξαιτίας της μικρότερης εφαρμογής λιπασμάτων.
- Βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους δια μέσου της προστιθέμενης οργανικής ύλης.
- Με τη συγκράτηση του εδαφικού χούμου παρεμποδίζεται η διάβρωση.

Εκτός από την άρδευση αγροτικών εκτάσεων, τα ανακτημένα λύματα επαναχρησιμοποιούνται και για άρδευση αστικών εκτάσεων και η οποία περιλαμβάνει την άρδευση πάρκων, γηπέδων γκολφ, ακάλυπτων χώρων, διαχωριστικών νησίδων, χώρων πρασίνου κ.α.. Σε πολλές περιπτώσεις (Η.Π.Α. και στην Αυστραλία) άρδευσης αστικών εκτάσεων με επεξεργασμένο λύμα εφαρμόζεται το διπλό σύστημα διανομής, ένα για το πόσιμο νερό και ένα για το ανακτημένο λύμα για άρδευση [37].

Κυρίαρχο θέμα κατά την άρδευση χώρων πρασίνου είναι η εξάλειψη των κινδύνων υγείας που επιτυγχάνεται με εφαρμογή υψηλού επιπέδου επεξεργασίας, περιορισμό της δημιουργίας σταγονιδίων και έλεγχο της πρόσβασης του κοινού κατά την εφαρμογή άρδευσης.

#### **4.2.2. Βιομηχανική χρήση**

Εφαρμόζεται για βιομηχανικές δραστηριότητες που απαιτούν τη χρήση νερού, όπως νερό ψύξης, νερό τροφοδοσίας λεβήτων, νερό κατεργασίας, κλπ.. Το νερό ψύξης αποτελεί τη μεγαλύτερη απαίτηση των περισσότερων βιομηχανιών σε νερό και είναι η επικρατέστερη εφαρμογή βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης [39].

#### **4.2.3. Περιβαλλοντικές και Ψυχαγωγικές χρήσεις**

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται η χρήση των ανακτημένων λυμάτων για την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής. Σκοπός είναι η δημιουργία τεχνητών υγροτόπων, αλλά και η διατήρηση των υφιστάμενων, η ενίσχυση ευαίσθητων επιφανειακών υδατικών συστημάτων που αντιμετωπίζουν προβλήματα. Γενικότερα, στόχος είναι η ανάπτυξη περιοχών με αυξημένη περιβαλλοντική, τουριστική και αισθητική αξία.

#### **4.2.4. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων**

Με τον όρο εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων ορίζουμε όλες εκείνες τις διαδικασίες, φυσικές ή τεχνητές οι οποίες αυξάνουν τα εκμεταλλεύσιμα υπόγεια υδάτινα αποθέματα. Ειδικότερα, η αύξηση της ποσότητας του υπόγειου νερού με την εισαγωγή στα υδροφόρα στρώματα πρόσθετων ποσοτήτων νερού μέσω τεχνικών παρεμβάσεων καλείται τεχνητός εμπλουτισμός υδροφόρων στρωμάτων. Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί στον εμπλουτισμό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακά, υπόγεια υδατικά συστήματα ή από επεξεργασμένα λύματα.

Οι μέθοδοι εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού διακρίνονται σε άμεσες με επιφανειακή κατάκλυση ή υπόγεια διήθηση και έμμεσες με επαγωγικό και συμπτωματικό εμπλουτισμό. Στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού.

#### **4.2.5. Υδατοκαλλιέργειες**

Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται σε πολλές μονάδες εκτροφής ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών για παραγωγή τροφών σε όλο τον κόσμο. Υδατοκαλλιέργεια μπορεί να εφαρμοστεί με νερά, που δεν είναι πόσιμης ποιότητας, συμπεριλαμβανομένων και των επεξεργασμένων οικιακών υγρών αποβλήτων, εφόσον η επίδραση στην ποιότητα των ψαριών που καταναλώνονται είναι αποδεκτή. Επειδή όμως πρόκειται για μια βιομηχανία παραγωγής τροφίμων, τα παθογόνα, τα βαρέα μέταλλα, τα τοξικά συστατικά και άλλα ίχνη οργανικών ουσιών είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα και πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά και σχολαστικά, ώστε να αποφευχθούν αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία [15]. Σε οποιαδήποτε περίπτωση όμως όσον αφορά τα οικιακά απόβλητα θα πρέπει να απαιτηθούν υψηλά επίπεδα επεξεργασίας και μόνο όταν το επίπεδο ποιότητας των εκροών είναι σε επιθυμητά όρια, αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για υδατοκαλλιέργειες.

#### **4.2.6. Άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόσιμο νερό**

Η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για ύδρευση δεν εφαρμόζεται ευρέως, γιατί εγείρει αρκετές αμφιβολίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις όπου έχει υλοποιηθεί η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για ύδρευση, έχει αποφευχθεί η εφαρμογή της άμεσης επαναχρησιμοποίησης με τη μορφή από αγωγό σε αγωγό. Η άμεση πόση ενδεχομένως να

έχει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, λόγω των ανόργανων και οργανικών ρύπων οι οποίοι παραμένουν σε μικρές ποσότητες στο νερό, ακόμη κι αν έχει υποστεί την πιο προχωρημένη επεξεργασία. Η έμμεση επαναχρησιμοποίηση, μέσω διοχέτευσης των επεξεργασμένων λυμάτων σε επιφανειακούς ή υπόγειους υδροφορείς, εμφανίζει λιγότερους κινδύνους για τη δημόσια υγεία σε σχέση με την άμεση επαναχρησιμοποίηση [39] και είναι περισσότερο διαδεδομένη μέθοδος επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων για πόσιμο νερό (ΗΠΑ και άλλες χώρες) [37].

#### **4.2.7. Άλλες χρήσεις**

Άλλες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων είναι οι ακόλουθες:

- Καθαρισμός τουαλετών και κοινοχρήστων χώρων
- Πυρόσβεση - Πυροπροστασία.
- Κλιματισμός
- Εφοδιασμός νερών σε δημόσια ή ιδιωτικά πλυντήρια.
- Έκπλυση αποχετευτικών αγωγών.
- Τεχνητή κατασκευή χιονιού.
- Νερό για οικοδομικές κατασκευές και έκπλυση οικοδομικών υλικών και παραγωγή σκυροδέματος.

### **4.3. Αποθήκευση ανακτημένων λυμάτων**

Σημαντικό ζήτημα αποτελεί η αποθήκευση των ανακτημένων λυμάτων και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε περιπτώσεις εφαρμογών γεωργικής άρδευσης, που η ζήτηση ανακτημένου λύματος είναι εποχιακή.

Η αποθήκευση του ανακτημένου λύματος μπορεί να γίνεται σε ανοικτούς ή κλειστούς ταμιευτήρες. Τα κυριότερα προβλήματα της αποθήκευσης ανακτημένων λυμάτων σε ανοικτούς ταμιευτήρες είναι η απελευθέρωση οσμών, η θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση, η ανάπτυξη φυτοπλαγκτού, τα υψηλά επίπεδα θολότητας και χρώματος εξαιτίας επίδρασης των τοπικών κλιματικών συνθηκών και η επιδείνωση της ποιότητας του νερού εξαιτίας της επίδρασης πουλιών, τρωκτικών κ.ά. [39]. Τα προβλήματα που παρουσιάζει η λειτουργία κλειστών ταμιευτήρων είναι η στασιμότητα του νερού, η

απελευθέρωση οσμών (σε χαμηλότερα επίπεδα από τους ανοικτούς, ταμιευτήρες) και η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών [39]. Ο αερισμός, ο συχνός καθαρισμός του πυθμένα και η επαρκής ανακυκλοφορία είναι τρόποι για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων τόσο σε ανοικτούς όσο και σε κλειστούς ταμιευτήρες [37].

#### **4.4. Δημόσια υγεία και περιβαλλοντικά θέματα**

Η ασφάλεια από μακροχρόνια χρήση του ανακτημένου νερού και η επίδρασή του στο περιβάλλον είναι ακόμη δύσκολο να μετρηθούν, παρά την ύπαρξη αναπτυγμένων μεθόδων προχωρημένης επεξεργασίας δευτεροβάθμιων εκροών λυμάτων. Η εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης υγρών λυμάτων απαιτεί τον καθορισμό των ρύπων που πρέπει να απομακρυνθούν, ώστε να διασφαλιστεί ότι η χρήση του ανακτημένου νερού δεν είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία [15], που αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό ανάλογων έργων και προγραμμάτων.

Σημαντικό παράγοντα αποτελεί και η προστασία του περιβάλλοντος (νερών και εδάφους) από ενδεχόμενη ρύπανση, καθώς επίσης και το η οικονομική βιωσιμότητα τέτοιων έργων [32]. Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα ως αρδευτικό νερό μπορεί να έχει επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του εδάφους. Ο κίνδυνος πρόκλησης ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας εφαρμογής στο έδαφος ανακτημένων λυμάτων ως αρδευτικό νερό είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την απόφαση επαναχρησιμοποίησης των ανακτημένων λυμάτων. Στην περίπτωση που έχουμε να κάνουμε με μερικώς επεξεργασμένο λύμα, το οποίο ναι μεν προκαλεί υποβάθμιση του εδάφους, η αντίστοιχη επίδραση στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα δεν είναι σημαντική τόσο από άποψη τοξικότητας όσο και από άποψη μεταβολής της χημείας του υδροφόρου ορίζοντα. Όταν όμως το ανακτημένο λύμα έχει υποστεί την απαραίτητη επεξεργασία δεν υφίσταται ουσιαστικός κίνδυνος [33,37].

#### **4.5. Κοινωνική αποδοχή**

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη βιωσιμότητα ενός εγχειρήματος ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι αυτός της κοινωνικής αποδοχής. Η κοινωνική αποδοχή είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί

όταν απαιτείται φυσική επαφή του χρήστη με το ανακτημένο νερό [34]. Η έλλειψη ενημέρωσης του κοινού σχετικά με τα οφέλη και τους πιθανούς κινδύνους που προκύπτουν από τη χρήση ανακτημένου νερού εντείνει το πρόβλημα της κοινωνικής αποδοχής. [35]. Είναι περισσότερο αποδεκτή η χρήση ανεπεξέργαστων όμβριων υδάτων από τη χρήση καλώς επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων, παρά το γεγονός ότι ο κίνδυνος στη δεύτερη περίπτωση ενδεχομένως να είναι και μικρότερος [34].

Η διερεύνηση της επιθυμίας κάποιου να χρησιμοποιήσει το ανακτημένο νερό, αλλά και να πληρώσει για να το αποκτήσει, αποτελεί μια μέθοδο για την εκτίμηση της κοινωνικής αποδοχής τα για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων [37].

#### **4.6. Οικονομικό κόστος**

Το κόστος της ανάκτησης λυμάτων είναι σημαντικό και διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή ανάλογα με το είδος της προχωρημένης επεξεργασίας που υιοθετείται, την απόσταση ανάμεσα στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων και στην περιοχή διάθεσης του ανακτημένου λύματος, την ανάγκη ή μη για κατασκευή διπλού δικτύου διανομής, κλπ. Σε περίπτωση που απαιτείται διπλό δίκτυο διανομής, το κόστος κατασκευής αυξάνει σημαντικά. Επίσης η κατασκευή υποδομών αποθήκευσης του ανακτημένου λύματος μπορεί να αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος [11]. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρήσης ανακτημένου λύματος η τιμή πώλησης του λύματος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή πώλησης του υπάρχοντος νερού, όμως τα έσοδα από μια οργανωμένη και καλά μελετημένη ανάκτηση συνήθως καλύπτουν τα αντίστοιχα κόστη [37].



## 5. Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού

### 5.1. Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της ποσότητας του υπόγειου νερού με την εισαγωγή στα υδροφόρα στρώματα πρόσθετων ποσοτήτων νερού καλείται τεχνητός εμπλουτισμός υδροφόρων στρωμάτων. Η διαδικασία αύξησης της φυσικής ροής του επιφανειακού νερού προς τους υπόγειους υδροφορείς επιτυγχάνεται μέσω της κατασκευής κατάλληλων έργων για την κατάκλιση με νερό ή τη μεταβολή των φυσικών συνθηκών [63,64].

Σκοπός του τεχνικού εμπλουτισμού είναι ένας από τους ακόλουθους ή συνδυασμός αυτών [62] :

- Η επαναπλήρωση εξαντλημένων υπόγειων υδροφορέων από την εντατική εκμετάλλευση τους.
- Η αποθήκευση ποσοτήτων νερού για μελλοντική χρήση
- Η ποιοτική αναβάθμιση υπογείων νερών
- Η αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας υδροφόρων στρωμάτων που διαταράχθηκε λόγω υπερεκμετάλλευσης ή λόγω έμμεσης επιζήμιας ανθρώπινης παρέμβασης ( κατασκευή δρόμων, διευθέτησης χειμάρων, καταστροφές δασών κλπ)
- 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 συνίζησης και υποχώρηση της επιφανείας του εδάφους ( καθίζηση ) π
- Η συνδυασμένη διαχείριση υπόγειων και επιφανειακών νερών
- Η αντιμετώπιση προβλημάτων που έχουν σχέση με την ποσότητα και την ποιότητα του υπόγειου νερού και τη διείσδυση της θάλασσας
- Η επεξεργασία και αποθήκευση χρησιμοποιούμενων νερών προκειμένου να ξαναχρησιμοποιηθούν
- Δημιουργία προσωρινής υπόγειας αποθήκευσης νερού για εκμετάλλευση ως οικονομικός πόρος.

Προϋποθέσεις για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού είναι [64] :

- Η επάρκεια διαθέσιμων υδατικών πόρων (από ποταμοχειμάρρους, από πηγές ή από επεξεργασμένες εκροές κέντρων επεξεργασίας λυμάτων)
- Η καταλληλότητα της ποσότητας και η ποιότητα του νερού εμπλουτισμού
- Η καταλληλότητα των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής εφαρμογής (υδατοπερατότητα)
- Η διαθεσιμότητα γεωμορφολογικά κατάλληλων περιοχών για την εφαρμογή
- Η κοινωνική αποδοχή
- Το οικονομικό κόστος

## **5.2. Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στην επιφάνεια**

Οι μέθοδοι απευθείας στην επιφάνεια, σκοπό έχουν την αύξηση της ποσότητας του νερού που κατεισδύει στο υπέδαφος και τροφοδοτεί τον ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα [65]. Η ποσότητα του νερού που τροφοδοτεί τον υποκείμενο υδροφόρο επηρεάζεται από την έκταση και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής εμπλουτισμού και τη χρονική διάρκεια που το νερό βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος [66,64]. Η απόδοση του τεχνητού εμπλουτισμού εξαρτάται από τη ταχύτητα κίνησης του νερού. Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι [64] :

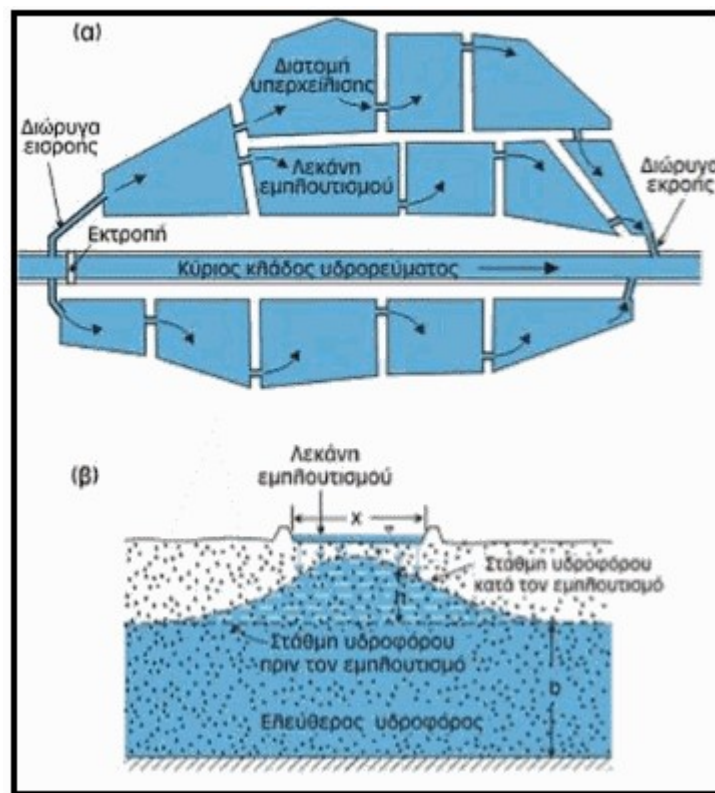
- Μέθοδος λεκάνης κατάκλυσης
- Μέθοδος τάφρων και αυλάκων
- Μέθοδος πλημμύρας
- Μέθοδος διευθέτησης υδρορρέυματος
- Επανενεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδρορρέυματος
- Μέθοδος άρδευση

### **5.2.1. Μέθοδος λεκάνης κατάκλυσης (basin method)**

Η μέθοδος των λεκανών κατάκλυσης είναι η πλέον προσφιλής μέθοδος για εμπλουτισμό, λόγω της επαρκούς εκμετάλλευσης της εδαφικής επιφάνειας και της απλής συντήρησης που απαιτούν. Οι λεκάνες σχηματίζονται με την κατασκευή αναχωμάτων, τάφρων ή



εκσκαφών, σε σχήμα και μέγεθος τέτοιο που προσαρμόζεται στη μορφολογία του εδάφους. Κατά τη διήθηση του νερού, η υδροστατική επιφάνεια σχηματίζει ένα ύψωμα στο υπόγειο νερό, η γεωμετρία του οποίου εξαρτάται από τη γεωμετρία της λεκάνης, τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα, την παροχή και διάρκεια του εμπλουτισμού (67,64]. Ο υδροφόρος θα πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική μεταβιβαστικότητα, ώστε να κρατηθεί το ύψωμα του υπόγειου νερού κάτω από τον πυθμένα των λεκανών διήθησης για να αποφευχθούν μειώσεις στο ρυθμό διήθησης [68,64]. Μια διαμήκης και στενή λεκάνη εμπλουτισμού ή μια σειρά από λεκάνες παράγουν χαμηλότερα υψώματα από ότι οι τετράγωνες ή κυκλικές λεκάνες με το ίδιο εμβαδόν και υδραυλικά φορτία.



**Σχήμα 5.2.1.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με λεκάνες κατάκλυσης. (α): κάτοψη, (β): τομή κάτω από μία λεκάνη πλάτους  $x$  (από Καλλέργη 2001 κατά Todd 1980) [84,38]

Η μέθοδος της λεκάνης κατάκλυσης είναι εφαρμόσιμη σε περιοχές με περατά εδάφη [64]. Η επιλογή της θέσης των λεκανών εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους στην περιοχή εφαρμογής. Συνήθως επιλέγονται θέσεις όπου αποστραγγίζεται η απορροή βροχοπτώσεων ή καταιγίδων, ή σημεία όπου παροχετεύεται το νερό υδρορρευμάτων. Η μέθοδος μπορεί να περιλαμβάνει λεκάνες που κατασκευάζονται σε σειρά, ώστε να

διευκολυνθεί η αύξηση του χρόνου εμπλουτισμού, να καθαρίζεται το νερό κατά την κίνηση από λεκάνη σε λεκάνη και να υπάρχει η δυνατότητα να τίθενται εκτός λειτουργίας λεκάνες που χρειάζονται συντήρηση (ξύσιμο, σκάψιμο, αναμόχλευση) χωρίς διακοπή της λειτουργιάς του έργου εμπλουτισμού [64]. Για τη βελτίωση της διήθησης του νερού γίνεται προσθήκη οργανικών και χημικών ουσιών στο νερό. Η βλάστηση στην επιφάνεια ή αποξήρανσή τους ανά διαστήματα και το όργωμά τους επίσης μπορούν να βοηθήσουν στην αύξηση του ρυθμού διήθησης και την αντιμετώπιση του φαινομένου της απόφραξης των εδαφικών πόρων, λόγω της μεταφοράς ιλύος (clogging) [65,64].

Τα κριτήρια σχεδιασμού και διαχείρισης των λεκανών για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση τους, εξαρτώνται από την ποιότητα του νερού, το κλίμα και το έδαφος. Συνεπώς, αυτά τα κριτήρια έχουν τοπικό χαρακτήρα και πρέπει συχνά να αξιολογούνται με επί τόπου έρευνα [68,64]. Ανάλογα με την τοπογραφία, τέτοιες λεκάνες μπορεί να έχουν επιφάνεια από 1 περίπου στρέμμα μέχρι 100 στρέμματα ή και περισσότερο [68,64]. Κάθε λεκάνη θα πρέπει να έχει τις δικές τις διατάξεις κατάκλυσης και αποξήρανσης, έτσι ώστε να μπορεί να γεμίζει νερό, να αποξηραίνεται και να καθαρίζεται.

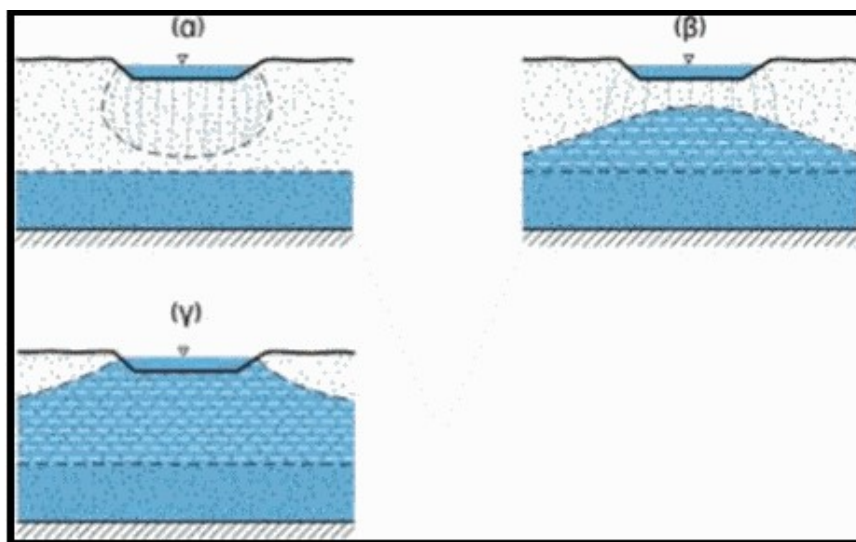
Οι βαθιές λεκάνες πρέπει να έχουν τα δικά τους συστήματα αποχέτευσης για να είναι δυνατόν να φεύγει το νερό από τη λεκάνη πολύ γρήγορα ώστε να καθαριστεί. Οι ρηχές λεκάνες με υψηλές ταχύτητες διήθησης δεν απαιτούν ειδικά αποχετευτικά συστήματα γιατί συνήθως το νερό εξαφανίζεται μέσω της διήθησης λίγες μέρες αφότου σταματήσει η εισροή στη λεκάνη. Όσον αφορά το βάθος του νερού στις λεκάνες, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10-20 cm, δηλαδή αρκετά μικρό, ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη αλγών στον πυθμένα, που έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας διήθησης του νερού [64].

Η ποιότητα του νερού, καθώς αυτό κινείται μέσα από την ακόρεστη ζώνη πριν φτάσει στον υδροφόρο, βελτιώνεται και μερικές φορές μπορεί να επηρεάζεται δυσμενώς [68,64]. Τα συστατικά που αφαιρούνται σε μεγάλο βαθμό ή και εντελώς από αυτό καθώς κινείται μέσα από την ακόρεστη ζώνη και τον υδροφόρο είναι τα αιωρούμενα στερεά, βακτηρίδια, ιοί, άλλοι μικροοργανισμοί, βιοδιασπώμενα υλικά (BOD), νιτρικά και φωσφορικά άλατα και κάποια συνθετικά οργανικά μείγματα, ειδικά μη αλογονομένοι υδρογονάνθρακες [64].

Για την αποφυγή ατυχημάτων ο χώρος τέτοιων έργων περιφράσσεται και επιθεωρείται από προσωπικό. Σε κατοικημένες περιοχές πρέπει να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα που θα δημιουργήσει η ανάπτυξη οργανισμών όπως κουνούπια, ποντίκια που συνήθως παρατηρούνται σε αφθονία σε χώρους εμπλουτισμού, καθώς επίσης και μυρωδιές από τα άλγη. Σε αρκετές περιπτώσεις οι χώροι των λεκανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως χώροι αναψυχής. Τότε φροντίζουμε να έχουμε νερό σε αυτές για μεγαλύτερη χρονική περίοδο, δηλαδή οι κύκλοι υγρής - ξηρής περιόδου γίνονται αραιότεροι και επίσης διατηρείται, στις λεκάνες, μεγαλύτερο βάθος νερού [68,64].

### 5.2.2. Μέθοδος τάφρων και αυλακών (ditch and furrow method)

Το σύστημα αποτελείται από τάφρους ή αυλάκια μικρού βάθους, πλάτους 0,3-1,8 μέτρων, επίπεδου πυθμένα και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους [64]. Η διάταξη τους μπορεί να είναι μαιανδρικής μορφής (ακολουθώντας τις ισοϋψείς), δενδροειδής μορφής, πλευρικής μορφής (κατασκευή μικρών καναλιών ή τάφρων πλευρικά προς το κύριο κανάλι) [65,64]. Η μέθοδος αυτή είναι εφαρμόσιμη σε περιπτώσεις που το νερό εμπλουτισμού περιέχει μεγάλα φορτία αιωρούμενων υλικών ή όταν το εδαφικό ανάγλυφο είναι ανώμαλο.

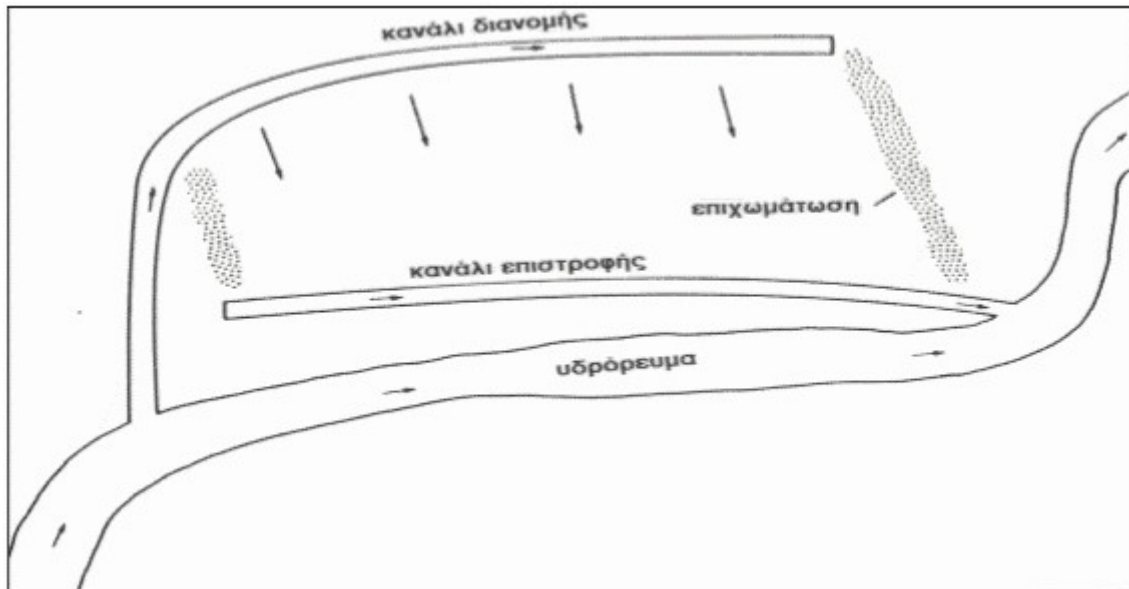


Σχήμα 5.2.2 : Η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφρο. κατά τους [38]

### 5.2.3. Μέθοδος πλημμύρας (Flooding method)

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σχετικά μικρής κλίσης (1-3%) περιοχές, όπου το νερό απλώνεται με τη βοήθεια καναλιών και αυλακών διανομής. Σκοπός είναι να κατακλύσει

μεγάλη έκταση σχηματίζοντας ένα στρώμα μικρού πάχους που κινείται αργά, ώστε να μη διαταραχθεί το έδαφος. Παρά το γεγονός ότι το κόστος της μεθόδου είναι πολύ χαμηλό, έχει σημαντικά μειονεκτήματα, εφόσον απαιτείται πολύ μεγάλη έκταση για την εφαρμογή της, πραγματοποιείται εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων από το νερό εμπλουτισμού και είναι πολύ δύσκολη η ανάσχεσης του νερού που πλημμυρίζει [64].



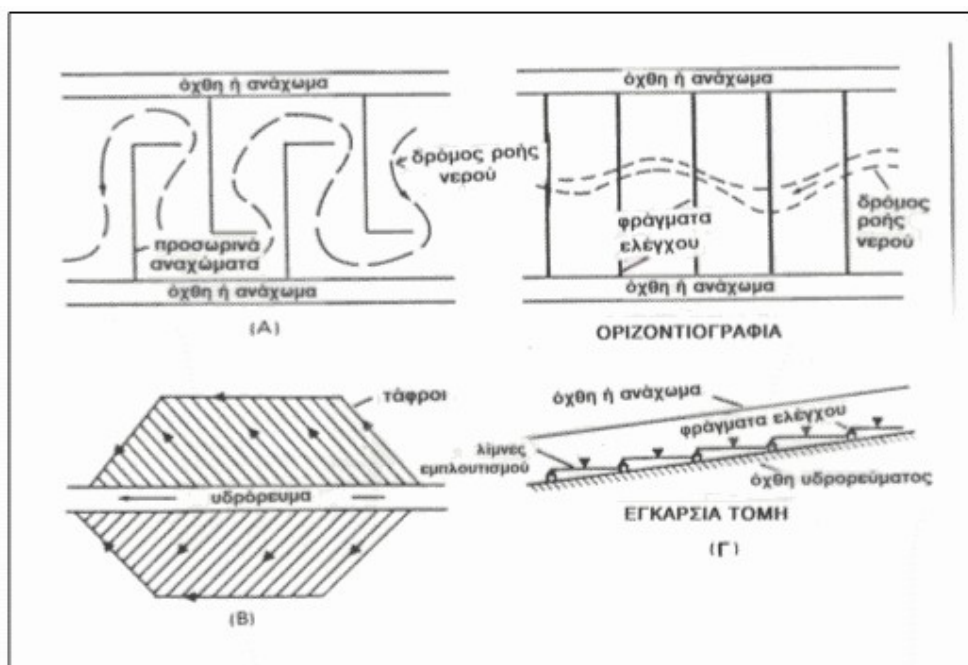
Σχήμα 5.2.3. : Τυπική διάταξη συστήματος εμπλουτισμού με πλημμύρα [85, 69,64]

#### 5.2.4. Μέθοδος διεύθησης υδρορρέυματος

Σκοπός της μεθόδου είναι η επιβράδυνση της ροής του νερού μέσα σε υδρορρέυματα και η αύξηση της επιφάνειας της κοίτης, ώστε να αυξηθεί η ικανότητα διήθησης. Οι εργασίες διεύθησης 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 φτιαγμένα από τα υλικά του πυθμένα του υδρορρέυματος και καταρρέουν εύκολα σε πιθανές πλημμύρες. Παρόλα αυτά είναι μια αποτελεσματική μέθοδος με χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησής.

### 5.2.5. Επανεργοποίηση ή Αύξηση Ροής υδρορρεύματος

Η μέθοδος αυτή σκοπό έχει την εφαρμογή του εμπλουτισμού στην αρχή της πηγής τροφοδοσίας υδρορρεύματος, ώστε να επανενεργοποιήσει ή να αυξήσει την ικανότητα διήθησης. Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε κοίτες εγκαταλειμμένες ή σε κοίτες που έχει μειωθεί η έκτασή τους λόγω της μεγάλης πτώσης του υποκείμενου υδροφόρου ορίζοντα. Η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο αποτελεσματική για εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα 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 [64].



Σχήμα 5.2.4 : Τεχνητός εμπλουτισμός με διευθέτηση υδρορεύματος Α. Εκτροπή Β. Με τάφρους Γ. Φράγματα και λεκάνες ελέγχου [85, 69,64]

### 5.2.6. Μέθοδος άρδευσης (irrigation method)

Στην περίπτωση αυτή ο εμπλουτισμός πραγματοποιείται από το νερό της άρδευσης σε αρδευόμενες περιοχές κατά τις περιόδους της αγρανάπαυσης, το χειμώνα ή τις μη αρδευτικές περιόδους. Η μέθοδος εφαρμόζεται με επιφανειακή ροή του νερού σε τάφρους και αύλακες, με σύστημα υπόγειας άρδευσης, με πλημμύρα, με συστήματα καταιονισμού [64]. Είναι πολύ οικονομική μέθοδος γιατί χρησιμοποιείται το αρδευτικό

σύστημα διανομής του νερού που ήδη είναι εγκαταστημένο και δεν χρειάζεται ιδιαίτερη προπαρασκευή του εδάφους. Το μειονέκτημα της μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι 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 [69,64].

### **5.3. Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος**

Με τις μεθόδους απευθείας εμπλουτισμού το νερό οδηγείται σε πηγάδια ή/και γεωτρήσεις και μέσω αυτών διοχετεύεται απ' ευθείας στο υπέδαφος, ώστε να επιτευχθεί άμεσος εμπλουτισμός. Συνήθως εφαρμόζεται με τεχνητά ή και φυσικά ανοίγματα στο έδαφος, ενώ ο εμπλουτισμός μπορεί να συμβαίνει είτε στην ακόρεστη ζώνη είτε απευθείας στον υδροφόρο ορίζοντα [38]

- Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα
- Μέθοδος ορυγμάτων
- Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης
- Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού
- Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης
- Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη

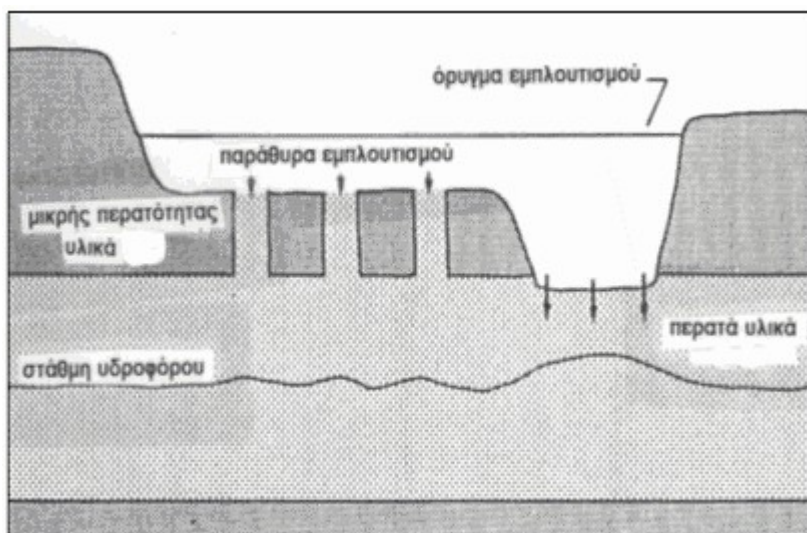
Όλες οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούν σημαντικά μικρότερη επιφάνεια εμπλουτισμού από εκείνη των μεθόδων επιφανειακού εμπλουτισμού [64].

#### **5.3.1. Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (natural openings method)**

Στην περίπτωση αυτή ο εμπλουτισμός πραγματοποιείται μέσω φυσικών ανοιγμάτων που προέρχονται από διάλυση ασβεστολίθων ή άλλων ευδιάλυτων πετρωμάτων. Αυτό το σύστημα εμπλουτισμού είναι αρκετά οικονομικό από πλευράς κόστους, όμως η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται από τις εδαφικές και γεωλογικές συνθήκες, που αν δεν είναι οι επιθυμητές τότε υπάρχει πιθανότητα αποτυχίας της εφαρμογής.

### 5.3.2. Μέθοδος ορυγμάτων (pit method)

Η μέθοδος της διάνοιξης ορυγμάτων εφαρμόζεται όταν σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους εντοπίζονται στρώματα μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας. Σκοπός είναι να τα ορύγματα να διαπεράσουν τα πάνω στρώματα και να παροχετεύσουν νερό στον υποκείμενος υδροφόρος [70,64]. Η ιλύς που αιωρείται στο νερό καθιζάνει στον πυθμένα και δεν επικάθεται στα τοιχώματά του, λόγω της μεγάλης κλίσης τους, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα [71,64]. Η γεωμετρία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. [72,64]. Το κόστος κατασκευής και συντήρησης των έργων αυτής της εφαρμογής είναι πολλές φορές απαγορευτικό. Αν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης εγκαταλειμμένων ή χαλικοδών ορυγμάτων, τότε το κόστος της μεθόδου φυσικά μειώνεται [64].



Σχήμα 5.3.1 : Μέθοδος εμπλουτισμού με ορύγματα και κανάλια [85, 69,64]

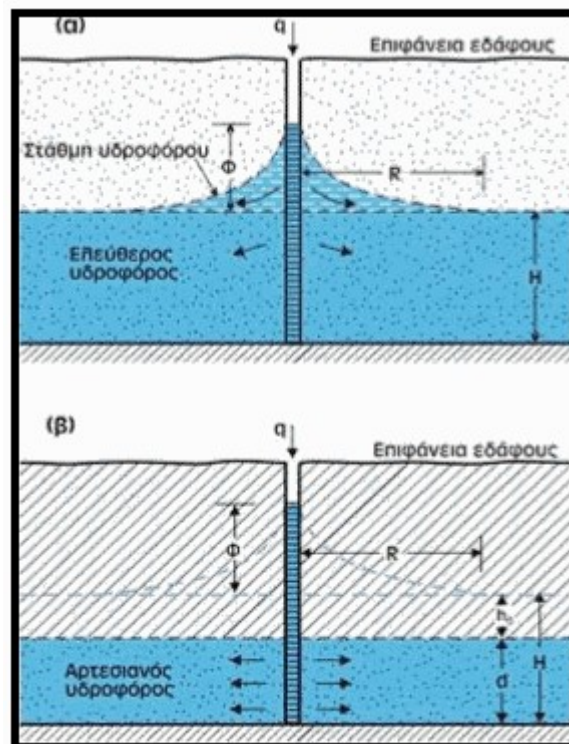
### 5.3.3. Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (reverse drainage method)

Η τεχνική εφαρμογής της μεθόδου αποστράγγισης είναι παραπλήσια αυτής της υπόγειας άρδευσης. Είναι στην ουσία η αντίστροφη διαδικασία εκείνης της κατά την οποία συγκεντρώνεται και απομακρύνεται νερό από την κορεσμένη ζώνη. Απαιτεί ασήμαντη έκταση για την εφαρμογή της επιλέγεται σε εφαρμογές σε περιοχές μεγάλης αξίας [64].



### 5.3.4. Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού (recharge well method)

Η γεώτρηση εμπλουτισμού λειτουργεί με την αντίστροφη φορά από την γεώτρηση άντλησης, δηλαδή διαβιβάζει νερό από την επιφάνεια προς τους υποκείμενους υδροφόρους [66,64]. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται για αρτεσιανούς υδροφόρους (ύπαρξη ενδιάμεσων υλικών χαμηλής περατότητας), που βρίσκονται σε απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους ή σε αστικές περιοχές που δεν υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μεγάλη έκταση για την εφαρμογή. Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο ταυτόχρονος εμπλουτισμός περισσότερων του ενός υδροφορέων και η δυνατότητα επίτευξης υδραυλικής επικοινωνίας μεταξύ τους. Στη μέθοδο αυτή τα ύδατα που χρησιμοποιούνται δεν είναι απαραίτητο πάντα να είναι επιφανειακά. Σκοπός είναι ο εμπλουτισμός των υδροφορέων που παρέχουν πόσιμο νερό ή των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούνται για ψύξη. Επίσης η μέθοδος των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για την ανανέωση με γλυκό νερό των παράκτιων υδροφορέων, που αντιμετωπίζουν προβλήματα υφαλμύρυνσης [64].



Σχήμα 5.3.2 : Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α): ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β): υπό πίεση υδροφόρο στρώμα [84,38]

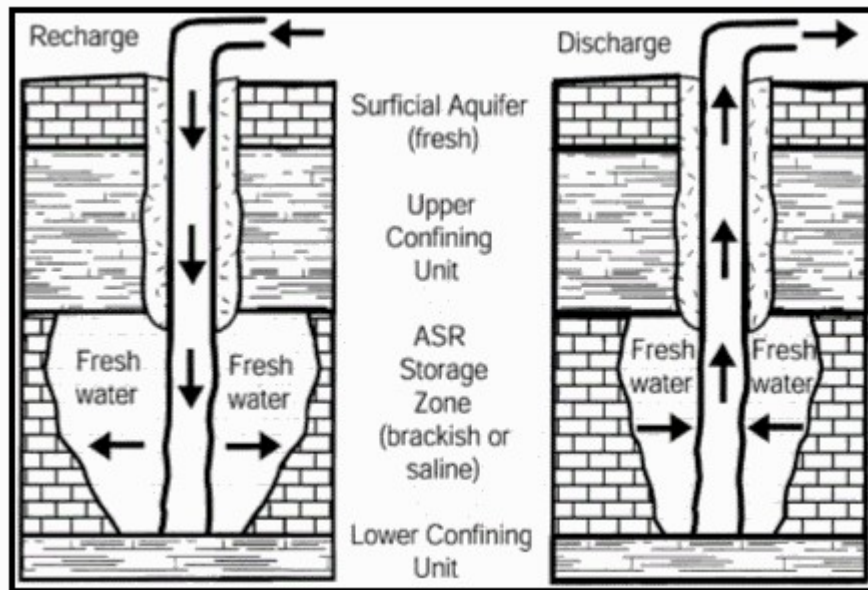
Η απόδοση εμπλουτισμού των γεωτρήσεων μειώνεται προοδευτικά για τους ακόλουθους λόγους [64] :

- Απόθεση αιωρούμενης ιλύος που περιέχει το νερό εμπλουτισμού (clogging effect), που προκαλεί μείωση της περατότητας των φίλτρων των γεωτρήσεων και του υδροφόρου γύρω από τις γεωτρήσεις
- Μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων διαλυμένου αέρα στον υδροφόρο από το νερό εμπλουτισμού
- Ανάπτυξη ανεπιθύμητων καλλιεργειών στις σωληνώσεις των γεωτρήσεων, λόγω της παρουσίας βακτηρίων στο νερό εμπλουτισμού
- Αποκροκίδωση του εδάφους, λόγω ενδεχόμενης υψηλής περιεκτικότητας σε Na

Πετρώματα που προσφέρονται για την εφαρμογή της μεθόδου είναι τα καρστικά και οι λάβες [69,64]. Ο εμπλουτισμός υδροφορέων με απόβλητα εφαρμόζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όταν πρόκειται να αντιμετωπισθούν ειδικά προβλήματα, όπως η καθίζηση του εδάφους ή η διείσδυση θαλασσινού νερού. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο κόστος που απαιτείται για την επεξεργασία των αποβλήτων, προκειμένου να φθάσει η ποιότητά τους τα επιτρεπόμενα όρια ποιότητας χρήσης νερού εμπλουτισμού με τη μέθοδο αυτή [75,64].

### **5.3.5. Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης - άντλησης (aquifer storage and recover wells - ASR wells)**

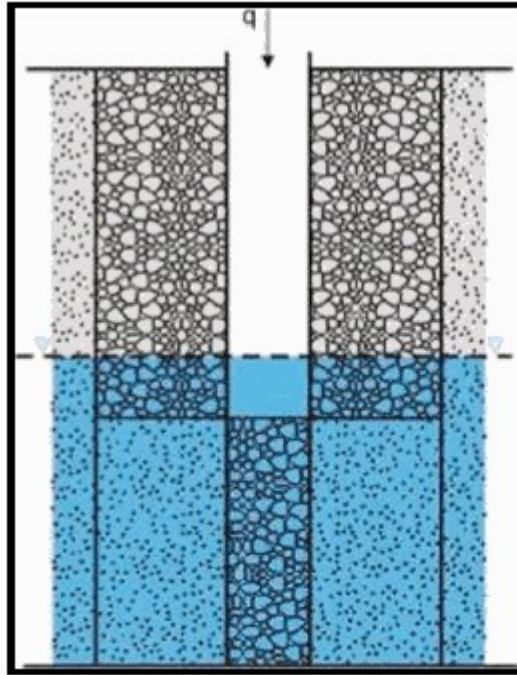
Αυτή η μέθοδος αποτελεί συνδυασμό γεωτρήσεων εμπλουτισμού και άντλησης και εφαρμόζεται όταν υπάρχει διαθέσιμο πλεονάζον νερό , που αντλείται όταν το νερό χρειάζεται. Σκοπός είναι η εποχιακή αποθήκευση του νερού, σε περιοχές που η ζήτηση είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή ή τη χειμερινή περίοδο. Το νερό αποθηκεύεται υπόγεια και αντλείται όταν είναι απαραίτητο με μόνη απαίτηση επεξεργασίας τη χλωρίωση, υποβοηθώντας τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας πόσιμου νερού [76,64].



Σχήμα 5.3.3 : Διάγραμμα των φάσεων αποθήκευσης – άντλησης ενός τυπικού συστήματος στη νότια Φλόρινα [38]

### 5.3.6. Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (vadose - zone wells)

Τα πηγάδια κατασκευάζονται στην ακόρεστη ζώνη, η οποία έχει τη δυνατότητα να διηθήσει τα νερά της βροχής με ικανοποιητικές ταχύτητες. Χρησιμοποιούνται ειδικά σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις. Διανοίγονται σε περατούς σχηματισμούς, έχουν διάμετρο 1-2 m και φτάνουν δε σε βάθος 10-50 m [64]. Η μέθοδος αυτή είναι προτιμητέα σε σχέση με τις γεωτρήσεις σε περιπτώσεις που ο υδροφόρος βρίσκεται σε μεγάλο βάθος (100-300 m), λόγω του χαμηλού κόστους που απαιτείται για την κατασκευή τους. Μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στον έλεγχο της ακόρεστης ζώνης, ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα μόλυνσης της, γιατί τότε η μέθοδος των πηγαδιών είναι απαγορευτική [76,64]. Το φαινόμενο 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 είναι και το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου.



Σχήμα 5.3.4 : Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό [38]

#### 5.4. Συνδυασμοί επιφανειακού και υπεδαφικού εμπλουτισμού

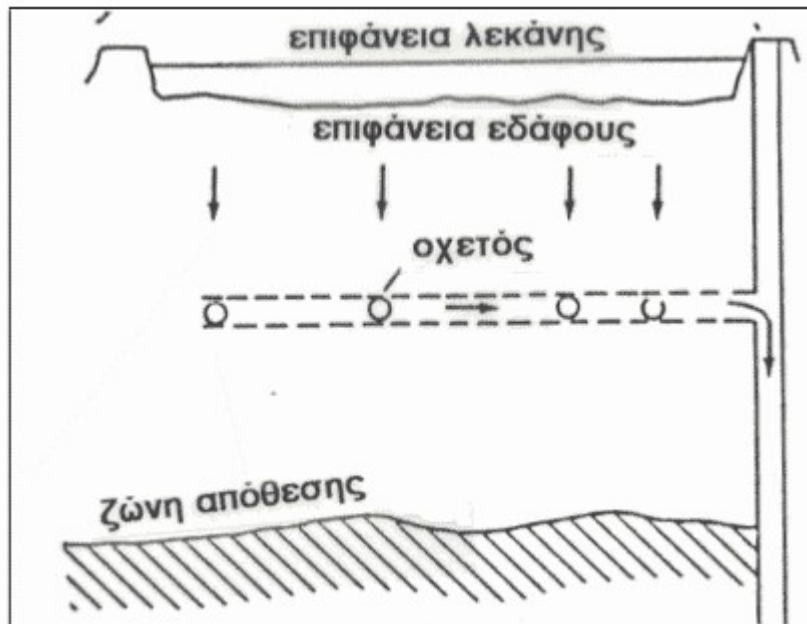
Σε ορισμένες περιπτώσεις εφαρμόζονται μέθοδοι επιφανειακού εμπλουτισμού σε συνδυασμό με μεθόδους υπεδαφικού εμπλουτισμού. Σκοπός είναι ο συνδυάζοντας και των πλεονεκτημάτων τους, όπως η ευκολία συντήρησης, μεγάλες επιφάνειες διήθησης, από τη μια και η προσπέλαση σε βαθύτερους υδροφόρους και ελάχιστες απαιτήσεις σε γη από την άλλη [64].

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

Για τον εμπλουτισμό βαθύτερων υδροφορέων μέσω λεκανών εμπλουτισμού, που βρίσκονται πάνω σε στρώματα υλικών σχετικά μεγάλου πάχους και μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας, τοποθετείται υπόγειο σύστημα οριζόντιων σωλήνων συλλογής του νερού μεταξύ των λεκανών και των υποκειμένων στρωμάτων και διοχέτευσή του σε γεωτρήσεις που διαπερνούν τα στρώματα αυτά και εμπλουτίζουν έτσι βαθύτερους υδροφόρους [73,64].

#### 5.4.2. Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (basins with pits, shafts, or wells)

Η λογική της μεθόδου είναι οι λεκάνες να αποθηκεύουν το νερό και στη συνέχεια τα ορύγματα, οι εκσκαφές ή οι γεωτρήσεις να το διανείμουν το νερό γρήγορα σε περισσότερο περατές ζώνες που υπόκεινται των περιοχών εμπλουτισμού [74,64].



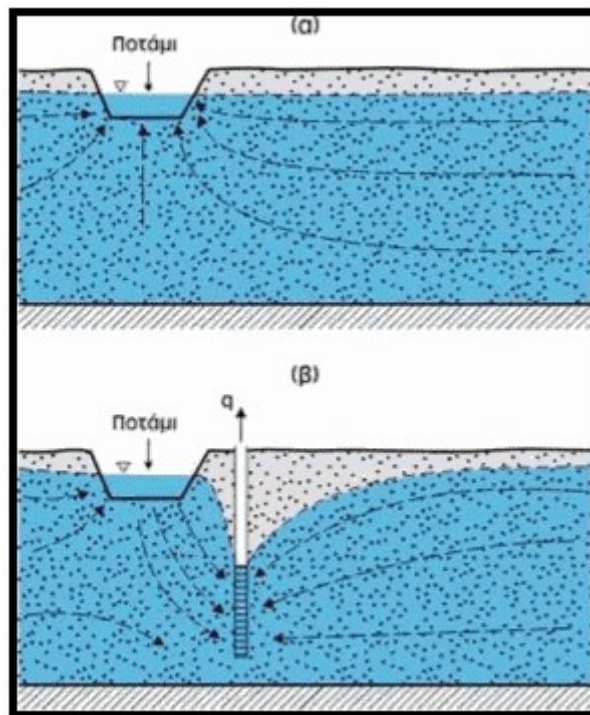
Σχήμα 5.4.1 : Υπεδαφικό σύστημα συγκέντρωσης και αποστράγγισης του νερού, συνδεδεμένο με ένα πηγάδι εμπλουτισμού [73,69,64]

#### 5.5. Μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται σε αυτές τις μεθόδους αφορούν την άντληση νερού από υδροφόρους με σκοπό την πρόκληση εμπλουτισμού από παρακείμενα επιφανειακά νερά, που βρίσκονται σε άμεση υδραυλική επικοινωνία ή τη διευθέτηση υδροφορέων ή τη δημιουργία νέων υδροφορέων με σκοπό την ανανέωση ή δημιουργία αποθήκευσης υπόγειου νερού ή ακόμα και δραστηριότητες του ανθρώπου, που δεν συνδέονται κατ' αρχήν με τον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφορέων [64].

### 5.5.1. Επαγωγικός εμπλουτισμός (induce recharge)

Η μέθοδος αυτή λόγω της άντλησης του νερού στην ουσία προκαλεί αύξηση του ρυθμού πτώσης της στάθμης ενός υδροφόρου [77,64]. Εφαρμόζεται σε υπόγειους υδροφόρους που είναι πλησίον σε ένα υδρόρρευμα ή μια λίμνη. Η άντληση νερού θα προκαλέσει πτώση της στάθμης στον υδροφόρο και κατά συνέπεια μεγάλη υδραυλική κλίση από το επιφανειακό σώμα νερού προς τον υδροφόρο. Θα προκληθεί έτσι αυξημένη ροή του νερού από το πρώτο προς το δεύτερο. Είναι μια αρκετά οικονομική μέθοδος και πολύ αποτελεσματική, ειδικά όταν υπάρχει μεγάλη ποσότητα επιφανειακού νερού, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχείς εμπλουτισμός [69,64]. Σημαντικό παράγοντα για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου αποτελεί η ταχύτητα της ροή στο υδρόρρευμα, ώστε να αποφευχθεί η απόθεση ιλύος και κατά συνέπεια η απόφραξη στους πόρους της κοίτης [69,64]. Επίσης καθοριστικό ρόλο παίζει η ποσότητα του νερού που εισέρχεται με τη μέθοδο αυτή στον υδροφόρο, η οποία εξαρτάται από την ποσότητα του επιφανειακού νερού και την απόσταση από αυτόν, και την υδραυλική κλίση που δημιουργείται κατά την άντληση [78,64].



**Σχήμα 5.5.1 :** Επαγωγικός εμπλουτισμός λόγω άντλησης πλησίον τάφρου. (α): φυσικές ροές, (β): ροές κατά την άντληση [84,38]

### **5.5.2. Συμπτωματικός εμπλουτισμός (incidental recharge)**

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκει ο εμπλουτισμός από το νερό της άρδευσης, των καταβόθρων, των σηπτικών δεξαμενών, των διαφόρων υπονόμων, αγωγών, καναλιών κ.λ.π., δηλαδή σε δραστηριότητες του ανθρώπου, που δεν έχουν άμεσο στόχο των εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Έχει υπολογισθεί το νερό της άρδευσης επιστρέφει στους ελεύθερους υδροφόρους με ποσοστό 30% [64]. Η ποιότητα του νερού που καταλήγει στους υπόγειους υδροφόρους με αυτούς τους τρόπους συχνά είναι κακής ποιότητας με αποτέλεσμα τη ποιοτική υποβάθμιση τους [69,64].

### **5.5.3. Διευθέτηση υδροφορέων (Aquifer modification)**

Για τη διευθέτηση των υδροφορέων χρησιμοποιούνται κατασκευές όπως τα υπόγεια διαφράγματα που παρεμποδίζουν τη διαρροή τους, [79,80,81,64], ή με τη δημιουργία τεχνητών υδροφορέων μικρής κλίμακας, με σκοπό την επιπρόσθετη αποθηκευτική ικανότητα. Στη δεύτερη περίπτωση είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η επιλογή των διαστάσεων της λεκάνης αποστράγγισης, η διατήρηση της ικανότητας αποθήκευσης στα επιθυμητά όρια, και η πρόληψη φαινομένων clogging [82,64].

## **5.6. Μέθοδοι εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα**

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, εφόσον πληρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χρήσεις, που δεν απαιτούν νερό υψηλής ποιότητας (όπως το πόσιμο). Συνήθως αστικές χρήσεις (πυρόσβεση, νερό για τουαλέτες κλπ.), η βιομηχανία, η άρδευση και ο εμπλουτισμός υδροφορέων αποτελούν τέτοιες περιπτώσεις. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθούν ακόμα και ως πόσιμο νερό [83,64].

Για τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών χρησιμοποιούνται κατάλληλα συστήματα με λεκάνες διήθησης ή γεωτρήσεις εισαγωγής. Η διέλευση μέσω της ακόρεστης ζώνης και τα υλικά του υδροφορέα έχει ως αποτέλεσμα το φιλτράρισμα των λυμάτων, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ικανοποιήσουν σχεδόν όλες τις ανάγκες χρήσης μη πόσιμου νερού.



Τα συστήματα αυτά λειτουργούν σαν "συστήματα φυσικής επεξεργασίας μέσω του εδάφους-υδροφορέα", "Soil-Aquifer Treatment Systems" (SAT Systems) και είναι σχετικά απλά στην κατασκευή τους και τη λειτουργία τους, ανθεκτικά στο χρόνο και μικρού κόστους [64]. Η απευθείας χρησιμοποίηση νερού από κάποια εγκατάσταση τριτογενούς ή προηγμένης επεξεργασίας λυμάτων είναι λιγότερο αποδεκτή από την κοινωνία, από ότι αν το νερό λαμβάνεται από γεώτρηση μετά από τη διαδικασία SAT, για λόγους κυρίως αισθητικούς και ψυχολογικούς [64]. Με τα SAT βελτιώνεται η ποιότητα του νερού, παράλληλα με τον έλεγχο της εξάντλησης του νερού των υδροφορέων.

#### **5.6.1. Συστήματα φυσικής επεξεργασίας μέσω του εδάφους-υδροφορέα (Soil-Aquifer Treatment Systems, SAT)**

Τα συστήματα SAT σχεδιάζονται έτσι ώστε η ποσότητα του νερού που διηθείται σαν απόβλητο, να ανακτάται με άντληση από γεωτρήσεις, ή μέσω διείσδυσης σε επιφανειακά νερά [64].

Σημαντική παράμετρος για την ασφαλή εφαρμογή ενός συστήματος SAT αποτελεί η εκτενής έρευνα για την περιοχή εφαρμογής (το έδαφος, την υδρογεωλογία και το κλίμα), καθώς επίσης και για την ποιότητα του αποβλήτου. Σε περίπτωση που σε μια περιοχή δεν έχει εφαρμοσθεί ποτέ ένα σύστημα SAT είναι απαραίτητη η εγκατάσταση πιλοτικών μονάδων πριν την εγκατάσταση των μονάδων ευρείας εφαρμογής.

Από τις μεθόδους εμπλουτισμού που προαναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους σημαντικότερες είναι η επιφανειακή διήθηση μέσω λεκανών και η απευθείας εισαγωγή μέσω γεώτρησης. Το γεγονός ότι η απευθείας διάθεση μέσω γεώτρησης απαιτεί υψηλής ποιότητας επεξεργασμένων αποβλήτων, δίνει μεγάλο πλεονέκτημα στη μέθοδο SAT με λεκάνες διήθησης, που επιτυγχάνει τη φυσική διήθηση μέσω της ακόρεστης ζώνης.

Σε περίπτωση που τα επιφανειακά εδάφη δεν είναι κατάλληλα ή υπάρχουν άλλοι περιοριστικοί παράγοντες στην ακόρεστη ζώνη ή στον υδροφορέα, ο εμπλουτισμός του υδροφορέα μπορεί να γίνει με εισαγωγή των επεξεργασμένων αποβλήτων μέσω γεωτρήσεων εισαγωγής [64]. Ωστόσο, τα επεξεργασμένα απόβλητα που θα χρησιμοποιηθούν για εμπλουτισμό υδροφορέων δια μέσου γεωτρήσεων εισαγωγής θα

πρέπει να πληρούν τα κριτήρια πόσιμου νερού [64]. Οπότε μέσω γεωτρήσεων το κόστος που προκύπτει είναι σαφώς αυξημένο.

Όταν το έδαφος είναι κατάλληλο κατασκευάζονται λεκάνες και καθώς το νερό κινείται προς τα κάτω δια μέσου της ακόρεστης ζώνης, απομακρύνονται όλα τα στερεά, BOD και οι μικροοργανισμοί, η πλειονότητα των μεταφωσφορικών και σημαντική ποσότητα αζώτου [64]. Η πλήρωση των λεκανών είναι διακεκομμένη και ο καθαρισμός τους περιοδικός. Μια λεκάνη έκτασης ενός εκταρίου μπορεί να διηθήσει από 0,5 έως 1,0 Mm<sup>3</sup>/έτος [83,64].

Οι βασικές προϋποθέσεις, που καλό είναι να πληρούνται για την εφαρμογή ενός συστήματος SAT περιγράφονται ακολούθως [64] :

- Διαπερατά εδάφη με υψηλή διηθητικότητα
- Ακόρεστη ζώνη χωρίς περιοριστικές στρώσεις ή ρυπασμένες ζώνες
- Απεριόριστος υδροφορέας με καλή ποιότητα νερού στη ανώτερη στάθμη
- Ομοιόμορφη επιφάνεια εδάφους (με κλίση μικρότερη του 5%)
- Κατάλληλη δομή εδάφους με χονδρόκοκκο δομή, ώστε να έχει υψηλή διηθητικότητα, αλλά και με λεπτόκοκκα συστατικά για να έχει ικανοποιητική φίλτραυση
- Γνώση των μηχανισμών κυκλοφορίας του νερού στο έδαφος και τον υδροφορέα
- Επιλογή του επιπέδου της προ-επεξεργασίας για εκπλήρωση των απαιτήσεων ποιότητας του νερού

Στον Πίνακα 5.6.1 απεικονίζεται η ποιότητα του αποβλήτου πριν και μετά τον εμπλουτισμό με το σύστημα SAT.

**Πίνακας 5.6.1 :** Χαρακτηριστικά ποιότητας αποβλήτου που ελήφθη από σύστημα SAT στο Salt River Floodplain West of Phoenix, Arizona, ΗΠΑ [83,64]

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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> -H)	16	0,1
Νιτρικό άζωτο (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -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

Στο πλαίσιο του προγραμματισμού, σχεδιασμού και λειτουργίας των προτεινόμενων κατά περίπτωση έργων τεχνητού εμπλουτισμού είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία [64]:

- Επιστημονική τεκμηρίωση με αναφορές για ανάλογες εφαρμογές σε άλλες χώρες.
- Υδρογεωλογική έρευνα κάθε επιμέρους περιοχής.
- Διερεύνηση επιλογής κατάλληλων μεθόδων Τ.Ε. κατά περίπτωση στις περιοχές έρευνας.
- Καθορισμός απαιτούμενων ποιοτικών χαρακτηριστικών εκροής ανάλογα με τη μέθοδο Τ.Ε και καθορισμός ενεργειών για την πιθανή περαιτέρω επεξεργασία της εκροής.
- Επιλογή κατάλληλων θέσεων για εμπλουτισμό σε πειραματικό στάδιο
- Ερευνητικές εργασίες στις επιλεγείσες θέσεις των πιλοτικών έργων εμπλουτισμού που πρέπει να καλύπτουν διεθνώς αποδεκτές προδιαγραφές και κριτήρια σχεδιασμού και λειτουργίας ανάλογων έργων στις γεωτρήσεις και στις λεκάνες κατάκλυσης.
- Καθορισμός ενεργειών για την αντιμετώπιση ενδεχόμενης απόφραξης των εδαφικών πόρων (clogging), που μπορεί να προκληθεί από φυσικές, χημικές,

βιολογικές ή τεχνικές διεργασίες στον πυθμένα της λεκάνης ή και στα τοιχώματά της

- Κατασκευή των πιλοτικών έργων εμπλουτισμού και διεξαγωγή του πειράματος εμπλουτισμού και εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του πιλοτικού σχεδίου
- Καθορισμός δικτύου γεωτρήσεων παρακολούθησης (monitoring wells) της ποιότητας του ανακτημένου αντλούμενου νερού
- Διερεύνηση της αναγκαιότητας και της δυνατότητας ανάμιξης καθαρού επιφανειακού ή και υπόγειου νερού με την εκροή που εμπλουτίζεται .
- Καθορισμός επιπρόσθετων χρήσεων του ανακτημένου νερού (αγροτική άρδευση, αστικές ανάγκες – δημόσιες τουαλέτες, πυροπροστασία, χώροι ανάπλασης και αναψυχής, μη πόσιμες ανάγκες ή και για πόση)
- Πρόταση σχεδιασμού μόνιμων εγκαταστάσεων εμπλουτισμού.
- Μελέτη εκτίμησης του κόστους κατασκευής προτεινόμενων εγκαταστάσεων εμπλουτισμού.
- Διερεύνηση πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή.
- Καθορισμός μέτρων προστασίας των έργων πειραματικού εμπλουτισμού και προτεινόμενων εγκαταστάσεων Τ.Ε.
- Διερεύνηση πιθανών προβλημάτων αποδοχής από το κοινό

#### **5.6.2. Γεωτρήσεις μετά από προηγμένες διαδικασίες καθαρισμού (Advanced Wastewater Treatment, AWT)**

Όπως προαναφέρθηκε, για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με γεωτρήσεις, πρέπει να έχουν περάσει από προχωρημένη επεξεργασία, ούτως ώστε να φθάσει η ποιότητά τους τα κριτήρια ποιότητας πόσιμου νερού και στη συνέχεια σε προηγμένες διαδικασίες καθαρισμού (Advanced Wastewater Treatment – AWT) [76,64].

Η χρήση της μεθόδου των γεωτρήσεων για εμπλουτισμό με υγρά απόβλητα επιλέγεται μόνον σε περιπτώσεις που πρόκειται να αντιμετωπισθούν ειδικά προβλήματα, όπως η

καθίζηση του εδάφους, η διείσδυση θαλασσινού νερού κλπ. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα απαιτείται πολύ μεγάλο κόστος [75,64].



## 6. Διεθνείς Οδηγίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων

### 6.1. Γενικά

Για κάθε τύπο επαναχρησιμοποίησης θα πρέπει να αναπτύσσονται ιδιαίτερα κριτήρια ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας και τους αναμενόμενους κινδύνους. Οι προδιαγραφές ποιότητας που αφορούν επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων οφείλουν να δίνουν βαρύτητα στους ακόλουθους παράγοντες [13,37,38] :

- Προστασία δημόσιας υγείας. Η διασφάλιση της δημόσιας υγείας αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για το σύνολο των οδηγιών επαναχρησιμοποίησης. Για μη πόσιμα νερά βάρος δίνεται στα όρια των παθογόνων οργανισμών στο ανακτημένο λύμα. Για έμμεση πόση ή για εμπλουτισμό υδροφορέων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση, λαμβάνονται υπόψη και τα επίπεδα διάφορων τοξικών οργανικών ενώσεων. Για λύμα που επαναχρησιμοποιείται για άρδευση ελέγχονται ανόργανες τοξικές ενώσεις (βαρέα μέταλλα).
- Περιβαλλοντικές θεωρήσεις. Σημαντικός παράγοντας αποτελεί η προστασία της φυσικής πανίδας και χλωρίδας της περιοχής που γίνεται η εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης καθώς επίσης και αποφυγή ποιοτικού υποβιβασμού εδαφών και υδάτων.
- Χρήσεις γης. Ανάλογα με την χρήση πρέπει να πληρούνται φυσικοχημικά κριτήρια. Όσον αφορά την άρδευση, υπάρχουν ανόργανα και οργανικά συστατικά μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών
- Αισθητικοί λόγοι. Το ανακτημένο λύμα θα πρέπει να είναι διαυγές, άχρωμο και άοσμο για να μην ευνοείται η ανάπτυξη αλγών, σε χρήσεις όπως ψυχαγωγία, άρδευση πάρκων, καθαρισμός κοινόχρηστων χώρων.
- Πολιτικοί λόγοι. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τεχνολογική πρόοδος και το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των αναγκαίων έργων με στόχο πάντα την υγεία των πολιτών και την προστασία του περιβάλλοντος.

Οι αναπτυγμένες χώρες έχουν πιο αυστηρές προδιαγραφές χρήσης των ανακτημένων λυμάτων, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν λιγότερο αυστηρές οδηγίες στηριγμένες κυρίως στην Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) που εκδόθηκε το



1989. Οι μέχρι σήμερα γνωστές Οδηγίες και Κανονισμοί ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων βασίζονται στην οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) και της Παγκόσμιας Τράπεζας και αυτή της πολιτείας της Καλιφόρνια [13]. Τα κριτήρια της Καλιφόρνια είναι αρκετά πιο αυστηρά σε σχέση με αυτά του ΠΟΥ, του FAO και της Παγκόσμιας Τράπεζας [39].

Οι κυριότερες οδηγίες και κανονισμών που έχουν εκδοθεί σε παγκόσμιο επίπεδο για τη χρήση ανακτημένων λυμάτων για άρδευση είναι οι ακόλουθες.

## **6.2. Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO)**

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 σε ορισμένες περιοχές της Νότιας Αμερικής παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός ασθενειών μεταδιδόμενων με το νερό. Στις περιοχές αυτές η χρήση αστικών λυμάτων στην παρασκευή τροφίμων ήταν ευρέως διαδεδομένη. Έπειτα από αυτό το 1989 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization - WHO) εξέδωσε τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή την εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων: Οι παράγοντες, που εξετάστηκαν αφορούν το επίπεδο επεξεργασίας των αστικών υγρών λυμάτων, τον τύπο της αρδευόμενης καλλιέργειας, τη μέθοδο εφαρμογής της άρδευσης και τον έλεγχο της ανθρώπινης έκθεσης σε παθογόνους οργανισμούς [37]. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι (WHO, 1989) :

- Η άρδευση με ανεπεξέργαστα λύματα και χωρίς λήψη αναγκαίων προληπτικών μέτρων εμπεριέχει υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας στα λύματα ή η λήψη μέτρων για τον περιορισμό της ανθρώπινης επαφής με το λύμα μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως εξακολουθεί να υπάρχει.
- Ο περιορισμός της άρδευσης σε καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων δεν καταναλώνονται ωμά (περιορισμένη άρδευση) συνεισφέρει αποτελεσματικά στη πρόληψη ασθενειών, τουλάχιστον για τους καταναλωτές.
- Η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των εκροών, όπως είναι η υποεπιφανειακή άρδευση, θεωρείται μια ιδιαίτερα αποτελεσματική πρακτική.

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

Στην περίπτωση περιορισμένης άρδευσης, η οποία αφορά καλλιέργειες προϊόντων που δεν καταναλώνονται ωμά, δεν τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια. Συνιστάται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας η οποία μπορεί να αποτελείται από πρωτοβάθμια επεξεργασία ή από επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες (Πίνακας 6.2.1). Επισημαίνεται επίσης η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω επιλογής κατάλληλης μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή και όχι με καταιονισμό) καθώς και η αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Ακόμα ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνιστάται η διακοπή της άρδευσης 14 ημέρες πριν από τη συλλογή των καρπών. Στην περίπτωση απεριόριστης άρδευσης, η οποία αφορά όλα τα είδη καλλιέργειας καθώς και το πότισμα γηπέδων και πάρκων, συνιστάται η τήρηση μικροβιολογικών κριτηρίων τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς ( $< 1$  αυγό /λίτρο) όσο και ως προς τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια FC ( $< 1000\text{FC}/100$  ml). Σε περιπτώσεις περιοχών άμεσης πρόσβασης στον άνθρωπο τα κριτήρια είναι αυστηρότερα ( $< 200\text{FC}/100$  ml) [36].

Τα κριτήρια αυτά έχουν υποστεί και συνεχίζουν να υφίστανται έντονη κριτική στις αναπτυγμένες χώρες, μια και δεν είναι ιδιαίτερα αυστηρά, ενώ δεν επεκτείνονται καθόλου σε φυσικοχημικές παραμέτρους.

Έτσι το 2000 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας δημοσίευσε πιο αυστηρά και λεπτομερή πρότυπα από τα προηγούμενα, τα πρότυπα Blumenthal (Πίνακας 6.2.2). Το 2006 βασιζόμενος στα αποτελέσματα νέων ερευνών εξέδωσε μία ακόμα σειρά οδηγιών που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για αγροτικούς σκοπούς [55,56,37]. Βασικός σκοπός των οδηγιών είναι η προστασία της υγείας των αγροτών (και των οικογενειών τους), της κοινότητας και των καταναλωτών και μεταξύ άλλων αναπτύσσει περαιτέρω πληροφορίες που περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με τις ασθένειες του πληθυσμού που σχετίζονται με το νερό, την ανάλυση επικινδυνότητας, τις στρατηγικές της διαχείρισης του κινδύνου και της εφαρμογής των οδηγιών.

Ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και την κατανάλωση προτείνονται τρόποι και μέθοδοι άρδευσης και επεξεργασίας των λυμάτων, καθώς και τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών. Επιπλέον ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εκτός από τα όρια που προτείνει για τα διάφορα παθογόνα που μπορεί να περιέχονται στα λύματα, προτείνει και επιτρεπτές συγκεντρώσεις χημικών στο έδαφος (Πίνακας 6.2.3) [36]

**Πίνακας 6.2.1 :** Προτεινόμενα κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων στη γεωργία από τον WHO (1989) [36]

Κατηγορία	Είδος επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα πληθυσμού	Εντερικοί νηματώδεις (β)(μέση αριθμητική τιμή αυγών/λίτρο) (γ)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια, FC (μέση γεωμετρική τιμή /100 ml ) (γ)	Επεξεργασία της εκροής
A	Άρδευση καλλιεργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤1000 δ	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
(A1)	Άρδευση καλλιεργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων, ξενοδοχεία και περιοχές άμεσης πρόσβασης	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤200	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
B	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, οπωροφόρα δέντρα (δ)	Εργαζόμενοι	≤1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροπ. για 8-10 ημέρες, ή ισοδύναμη απομάκρυνση αυγών σκωλήκων και περιττωματικών κολοβακτηριδίων
C	Τοπική άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας B χωρίς να υπάρχει έκθεση εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν τίθενται όρια	Δεν τίθενται όρια	Επεξεργασία ανάλογη του συστήματος άρδευσης αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

(β) *Ascaris*, *Trichuris* και *Anchilostoma*

(γ) Κατά την αρδευτική περίοδο

(δ) Για τα οπωροφόρα δέντρα η άρδευση θα πρέπει να σταματά 14 ημέρες πριν τη συλλογή των φρούτων και κανένα φρούτο δε θα πρέπει να συλλέγεται από το έδαφος. Δεν επιτρέπεται άρδευση με ψεκάσμο ή καταιονισμό.

**Πίνακας 6.2.2 :** Προτεινόμενα κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων στη γεωργία από τον WHO (2000) [36]

Κατηγορία	Είδος επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα πληθυσμού	Μέθοδος άρδευσης	Εντερικοί νηματούδεις (β) (μέση αριθμητική τιμή αυγών/λίτρο)(γ)	Περιττωματικά κολλοβακτηρίδια, FC (μέση γεωμετρική τιμή /100 ml ) (γ)	Επεξεργασία της εκροής
A1 μη περιοριστική	Άρδευση καλλιέργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	Όλες	≤ 0,1	≤1000 δ	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
(A2)	Άρδευση καλλιέργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων, ξενοδοχεία και περιοχές άμεσης πρόσβασης	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	Όλες	≤ 0,1	≤200	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
(A3)	Όπως Α και Α1 αλλά σε περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα και/ή όπου έχει εφαρμοσθεί χημική θεραπεία κατά της ελμιντίασης	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	Όλες	≤ 0,1	≤1000 (Α1) ≤200 (Α2)	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
B1	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, σπιρωφόρα δέντρα (δ)	Εργαζόμενοι εκτός από ανήλικους κάτω των 15 ετών και γεitonικές κοινότητες	Ψεκασμός ή καταιονισμός	≤1	≤100000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής ωρίμανσης ή ισοδύναμη επεξεργασία (ε)
B2	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, σπιρωφόρα δέντρα (δ)	Όπως B1	Ροή ή βύθιση	≤1	≤1000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής ωρίμανσης ή ισοδύναμη επεξεργασία (ε)
B3	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, σπιρωφόρα δέντρα (δ)	Εργαζόμενοι συμπεριλαμβανομένων ανηλικών κάτω των 15 ετών και γεitonικών κοινοτήτων	Όλες	≤ 0,1	≤1000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής ωρίμανσης ή ισοδύναμη επεξεργασία (ε)
C	Τοπική άρδευση καλλιέργειών της κατηγορίας Β χωρίς να υπάρχει έκθεση εργαζομένων και κοινού	Καμία	Μικρο-άρδευση	Δεν τίθενται όρια	Δεν τίθενται όρια	Επεξεργασία ανάλογη του συστήματος άρδευσης αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

(β) *Ascaris*, *Trichuris* και *Anchilostoma*, οι οδηγίες έχουν συνταχθεί και για τον κίνδυνο μόλυνσης από πρωτόζωα

(γ) Κατά την αρδευτική περίοδο (εάν τα επεξεργασμένα λύματα προέρχονται από εγκαταστάσεις σχεδιασμένες για την επίτευξη καθορισμένων ορίων δεν είναι απαραίτητη η καταγραφή και παρακολούθηση)

(δ) Για τα σπιρωφόρα δέντρα η άρδευση θα πρέπει να σταματά 14 ημέρες πριν τη συλλογή των φρούτων και κανένα φρούτο δε θα πρέπει να συλλέγεται από το έδαφος. Δεν επιτρέπεται άρδευση με ψεκασμό ή καταιονισμό.

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

**Πίνακας 6.2.3 :** Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος διαφόρων τοξικών χημικών βασισμένα στην προστασία της ανθρώπινης υγείας (WHO 2006) [57]

Χημικά Στοιχεία	Συγκέντρωση στα λύματα (mg/kg)	Χημικά Στοιχεία	Συγκέντρωση στα λύματα (mg/kg)
Αντιμόνιο	36	DDT	1,54
Αρσενικό	8	Διχλωροβενζένιο	15
Βάριο	302	Dieldrin	0,17
Βηρύλλιο	0,2	Διοξίνες	0,00012
Βόριο	1,7	Επταχλωρίδιο	0,18
Κάδμιο	4	Εξαχλωροβενζένιο	1,40
Φθόριο	635	Λιντάνιο	12
Μόλυβδος	84	Methoxychlor	4,27
Υδράργυρος	7	PAHs (βενζοπυρένιο)	16
Μολυβδένιο	0,6	PCB	0,89
Νικέλιο	107	Πενταχλωροφαινόλη	14
Σελήνιο	6	Φθαλικές ενώσεις	137333*
Αργυρος	3	Πυρένιο	41
Θάλλιο	0,3	Στυρένιο	0,68
Βανάδιο	47	2,4,5-T	3,82
Aldrin	0,48	Τετραχλωροαιθάνιο	1,25
Βενζένιο	0,14	Τετραχλωροαιθυλένιο	0,54
Chlordane	3	Τολουένιο	12
Χλωροβενζένιο	211	Ταξαφέν	0,0013
Χλωροφόρμιο	0,47	Τριχλωροαιθάνιο	0,68

### 6.3. Οδηγία Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO)

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών το 1992 αξιολογώντας την οδηγία του WHO (1989), παρά το γεγονός ότι δεν ήταν ιδιαίτερα αυστηρή, πρότεινε τη χρήση των κριτηρίων του WHO σε ό,τι αφορά τις μικροβιολογικές παραμέτρους.

Οι οδηγίες για την ποιότητα του νερού άρδευσης του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Food Agriculture Organization, FAO) ξεκίνησαν με στόχο να προτείνουν λύσεις και περιορισμούς στη χρήση των υδατικών πόρων για αρδευτικούς σκοπούς, σε συνδυασμό με την προστασία των εδαφών και των καλλιεργειών. Επίσης στοχεύουν στον περιορισμό των επιπτώσεων από την αλατότητα και την περιεκτικότητα σε νάτριο των υδάτων.

Σύμφωνα με τα κριτήρια της FAO (Πίνακας 6.3.1) το νερό για άρδευση κατατάσσεται σε κατηγορίες προκειμένου οι ενδιαφερόμενοι να μπορούν να αναγνωρίσουν τα

προβλήματα που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση του. Εξετάζονται η διαπερατότητα, η αλατότητα, η τοξικότητα και άλλοι κίνδυνοι, όπως υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών.

**Πίνακας 6.3.1 :** Οδηγίες FAO για την ποιότητα του νερού άρδευσης (FAO 1985) [36]

Ενδεχόμενο πρόβλημα				Κανένα	Μέτριο	Σοβαρό
Επιπτώσεις στο έδαφος						
Διαπερατότητα	SAR=	0-3,0 3,0-6,0 6,0-12,0 12,0-20,0 20,0-40,0	E ECw=	>0,7 >1,2 >1,9 >2,9 >5,0	0,7-0,2 1,2-0,3 1,9-0,5 2,9-1,3 5,0-2,9	<0,2 <0,3 <0,5 <1,3 <2,9
Επιπτώσεις στις καλλιέργειες						
Αλατότητα			ECw (dS/m) TDS (mg/l)	<0,7 <450	0,7-3,0 450-2000	>3,0 >2000
Ειδική Τοξικότητα Ιόντων		Νάτριο Χλώριο Βόριο	SAR meq/l mg/l	<3,0 >4,0 <0,7	3,0-9,0 4,0-10,0 0,7-3,0	>9,0 >10,0 >3,0
NO <sub>3</sub> -N		Βέλτιστο διάστημα τιμών	mg/l	<5	5-30	>30
HCO <sub>3</sub>			meq/l	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH				6,5-8,4		



## 6.4. Οδηγίες Αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S. EPA)

Η πρόταση της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής για την ποιότητα του ανακτημένου νερού για άρδευση παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.4.1.

**Πίνακας 6.4.1 :** Συνοπτική περιγραφή των προτεινόμενων οδηγιών της U.S. EPA για την επαναχρησιμοποίηση του νερού για άρδευση (2004) [54,37]

Βαθμός επεξεργασίας	Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ποιότητα ανακτημένου νερού	Έλεγχος ανακτημένου νερού	Αποστάσεις ασφαλείας
Δευτεροβάθμια επεξεργασία <sup>α</sup> Διήθηση <sup>β</sup> Απολύμανση <sup>γ</sup>	Απεριόριστη αστική άρδευση, Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται ωμές	pH = 6-9 BOD <sub>5</sub> ≤ 10 mg/L Θολότητα <sup>δ</sup> ≤ 2 NTU FC/100 mL <sup>ε</sup> = απουσία Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> <sup>στ</sup> ≥ 1 mg/L	pH = εβδομαδιαίως BOD <sub>5</sub> = εβδομαδιαίως Θολότητα = συνεχώς FC = ημερησίως Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> = συνεχώς	15 m (50 ft) από φρεάτια πόσιμου νερού
Δευτεροβάθμια επεξεργασία <sup>α</sup> Απολύμανση <sup>γ</sup>	Άρδευση περιοχών περιορισμένης πρόσβασης, Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών που υφίστανται επεξεργασία πριν τη διάθεσή τους, Άρδευση μη βρώσιμων καλλιεργειών	pH = 6-9 BOD <sub>5</sub> ≤ 30 mg/L TSS ≤ 30 mg/L FC/100 mL <sup>ε</sup> = 200 Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> <sup>στ</sup> ≥ 1 mg/L	pH = εβδομαδιαίως BOD = εβδομαδιαίως TSS = ημερησίως FC = ημερησίως Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> = συνεχώς	30 m (100 ft) από περιοχές δημόσιας πρόσβασης (για άρδευση με καταιονισμό) 90 m (300 ft) από φρεάτια πόσιμου νερού

α Η δευτεροβάθμια επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει εφαρμογή της μεθόδου της ενεργού ιλύος, εφαρμογή βιοαντιδραστηρίων αλλά και εφαρμογή λιμνών σταθεροποίησης. Σε κάθε περίπτωση η δευτεροβάθμια επεξεργασία πρέπει να παράγει εκροή με BOD<sub>5</sub> και SS ≤ 30 mg/L.

β Η διήθηση περιλαμβάνει το πέρασμα της δευτεροβάθμιας εκροής από κλίνη άμμου, κόσκινο ή μεμβράνη.

γ Ως απολύμανση ορίζεται η καταστροφή των παθογόνων παραγόντων με χημικά, φυσικά ή βιολογικά μέσα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός των μέσων αυτών.

δ Η προτεινόμενη τιμή θολότητας θα πρέπει να ικανοποιείται πριν την απολύμανση.

ε Οι προτεινόμενες τιμές είναι διάμεσες τιμές που προκύπτουν από αναλύσεις 7 ημερών.

στ Το προτεινόμενο όριο υπολειμματικού χλωρίου θα πρέπει να ικανοποιείται μετά από επαφή με το χλώριο για μισή ώρα.

Συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των οδηγιών αυτών είναι τα εξής [10].

- Καθορίζεται απαιτούμενο ελάχιστο επίπεδο επεξεργασίας με τον ορισμό ελάχιστων επιπέδων αποτελεσματικότητας.



- Προβλέπονται έλεγχοι παρακολούθησης και η συχνότητά τους.
- Καθορίζονται αποστάσεις ασφαλείας από περιοχές διέλευσης και ελεύθερης εισόδου σε συνάρτηση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών.
- Οι μικροβιολογικές παράμετροι (περιττωματικά κολοβακτηρίδια) έχουν καθορισθεί σε πολύ αυστηρό επίπεδο, (από 0 έως  $\leq 200$ ), επίπεδο που αντιστοιχεί στα πρότυπα Blumenthal της WHO.
- Η τιμή του BOD5 κυμαίνεται από  $\geq 10$  έως  $\leq 30$  παράλληλα με το επιτρεπόμενο μικροβιολογικό φορτίο.
- Το pH έχει τιμές μεγαλύτερες κατά 0,5 logH τόσο στις ελάχιστες όσο και στις μέγιστες τιμές, σε σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια από τη FAO.
- Οι τιμές για τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), όπου καθορίζονται, είναι καθορισμένοι για να μην προκαλέσουν προβλήματα στις αρδευτικές εγκαταστάσεις καθώς και στις διηθητικές ικανότητες των εδαφών.
- Για ορισμένες χρήσεις τα ανακτημένα λύματα πρέπει να παρουσιάζονται διαυγή (θολότητα  $< 2,0$  NTU).

## 6.5. Κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνια

Από το 1918 αναπτύχθηκαν οι κανονισμοί της πολιτείας της Καλιφόρνια και είναι οι αυστηρότεροι όσον αφορά τη δημόσια υγεία. Τα κριτήρια ανακύκλωσης του νερού για επαναχρησιμοποίηση για άρδευση συνοψίζονται στον Πίνακα 6.5.1.

**Πίνακας 6.5.1 :** Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων της Καλιφόρνια (2000) [36]

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια, TC ανά 100 ml (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 κ.λ.π.	$< 23$ (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών (3), τεχνητές λίμνες αναψυχής (2α)	$< 2,2$ (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2β)	$< 2,2$ (διάμεση τιμή με απόλυτο μέγιστο τα 23) (6)	Οξείδωση, 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 το κοινό να έρχεται 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 θολερότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2 μονάδες θολερότητας κατά την 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.

Τα κριτήρια ασφαλείας που πρόσφατα όρισε η πολιτεία της Καλιφόρνιας αφορούν την απαγόρευση της άρδευσης με ανακτημένα υγρά απόβλητα που δεν έχουν υποστεί απολύμανση σε απόσταση 50 m από οποιοδήποτε γεώτρηση πόσιμου νερού. Για δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκροές που έχουν δεχτεί απολύμανση, η απόσταση μειώνεται στα 30 m και για τριτοβάθμιας επεξεργασίας εκροές (δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση και απολύμανση), η ανωτέρω απόσταση πρέπει να είναι 15 m. Τέλος, απαγορεύεται 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 [13,37].

## 6.6. Άλλες χώρες

Στην Αυστραλία έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστές οδηγίες στις πολιτείες και περιφέρειες και το 2006 εκδόθηκαν εθνικές οδηγίες με θέμα των ανακύκλωση του νερού. Η κίνηση αυτή ήταν απαραίτητη για το λόγο ότι οι οδηγίες της εκάστοτε πολιτείας δεν ήταν αρκετά λεπτομερείς, παρουσίαζαν ουσιαστικές αποκλίσεις μεταξύ τους και δεν παρείχαν συνεπή προσέγγιση στο θέμα της επαναχρησιμοποίησης. Βασικό χαρακτηριστικό των οδηγιών αυτών είναι η επισήμανση στη διαχείριση κινδύνου για την προστασία τόσο της δημόσιας υγείας όσο και του περιβάλλοντος. Στους πίνακες που εκδόθηκαν περιέχονται οδηγίες για τις απαιτούμενες διεργασίες επεξεργασίας και τα προληπτικά μέτρα για ορισμένες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων, ανάμεσα στις οποίες φυσικά περιλαμβάνεται και η άρδευση [57, 58].

Η Ιαπωνία έχει δώσει από νωρίς ιδιαίτερη έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων λυμάτων. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν εθνικές οδηγίες τα υπουργεία

έχουν θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια με κυριότερες κατηγορίες εφαρμογής είναι τον καθαρισμό τουαλέτας, την αναβάθμιση του περιβάλλοντος, την παραγωγή χιονιού και τη βιομηχανική χρήση. Βασική παράμετρος των οδηγιών της αποτέλεσε η προστασία της δημόσιας υγείας [57].

Η Ιορδανία από το 1980 ασχολήθηκε με το θέμα της διαχείρισης και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση χαμηλής αξίας καλλιεργειών. Το 1995 εκδόθηκαν τα πρώτα κριτήρια, τα οποία αναθεωρήθηκαν το 2002 και αφορούν την επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων λυμάτων εκτός από άρδευση αγροτικών καλλιεργειών, εμπλουτισμό υπόγειων και επιφανειακών υδροφορέων και αστικές χρήσεις [57].

Στο Ισραήλ επίσης που το 70% των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται για άρδευση η επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων αποτελεί βασική προτεραιότητα. Τα κριτήρια περιλαμβάνουν 36 βιολογικές και χημικές παραμέτρους που χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες. (1) Στο οργανικό φορτίο (BOD, TSS, COD, περιττωματικά κολοβακτηρίδια, υπολειμματικό χλώριο, λίπη, ολικό άζωτο, αμμωνία, ολικός φώσφορος) (2) στα άλατα και (3) στα βαρέα μέταλλα [57,59].

**Πίνακας 6.6.1 :** Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στο Ισραήλ [57,59]

Πίνακας 2.24: Νέα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στο Ισραήλ (μέσος όρος) \*

Παράμετρος	Μονάδες	Απεριόριστη άρδευση *	Ποτάμια
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	dS/m	1,4	-
BOD	mg/l	10	10
TSS	mg/l	10	10
COD	mg/l	100	70
N-NH <sub>4</sub>	mg/l	20	1,5
Ολικό άζωτο	mg/l	25	10
Ολικός φώσφορος	mg/l	5	1,0
Χλώριο	mg/l	250	400
Φθόριο	mg/l	2	-
Νάτριο	mg/l	150	200
Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	MPN/100ml	10	200

Παράμετρος	Μονάδες	Απεριόριστη άρδευση *	Ποτάμια
Διαλυμένο οξυγόνο	mg/l	>0,5	>3
pH	mg/l	6,5-8,5	7,0-8,5
Υπολεμματικό χλώριο	mg/l	1	0,05
Ανιονικό απορρυπαντικό	mg/l	2	0,5
Λίπη και έλαια	mg/l	-	1
SAR	(mmol/L)0,5	5	-
Βόριο	mg/l	0,4	-
Αρσενικό	mg/l	0,1	0,1
Υδράργυρος	mg/l	0,002	0,0005
Χρώμιο	mg/l	0,1	0,05
Νικέλιο	mg/l	0,2	0,05
Σελήνιο	mg/l	0,02	-
Μόλυβδος	mg/l	0,1	0,008
Κάδμιο	mg/l	0,01	0,005
Ψευδάργυρος	mg/l	2	0,2
Σίδηρος	mg/l	2	-
Χαλκός	mg/l	0,2	0,02
Μαγγάνιο	mg/l	0,2	-
Αλουμίνιο	mg/l	5	-
Μολυβδένιο	mg/l	0,01	-
Βανάδιο	mg/l	0,1	-
Βηρύλλιο	mg/l	0,1	-
Κοβάλτιο	mg/l	0,05	-
Λίθιο	mg/l	2,5	-
Κυανίδιο	mg/l	0,1	0,005

## 6.7. Ευρωπαϊκές Οδηγίες

Στον Ευρωπαϊκό χώρο δεν έχει θεσπιστεί ένα ενιαίο πλαίσιο που να κατοχυρώνει την επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων. Για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ισχύει η 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».

Στην Κύπρο έχουν θεσπισθεί αρκετά αυστηρές οδηγίες σχετικά με τη διασφάλιση ορίων ποιότητας των ανακτημένων λυμάτων. Προκειμένου να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία και η προστασία του περιβάλλοντος. Είναι πιο αυστηρές από τις οδηγίες του WHO, αλλά

πιο ελαστικές από αυτήν της Καλιφόρνιας [57]. Τα κριτήρια που ισχύουν στην Κύπρο για ανακτημένα λύματα για αρδευτική χρήση αφορούν τα όρια του BOD, SS και περιττωματικών κολοβακτηριδίων των εκροών καθώς και την απαιτούμενη επεξεργασία ανά χρήση.

**Πίνακας 6.7.1 :** Ποιοτικά κριτήρια που καθορίζουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση στην Κύπρο [52,37]

Είδος άρδευσης	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια / 100 mL	Απαιτούμενη επεξεργασία
Χώροι αναψυχής με ελεύθερη πρόσβαση στο κοινό	10* 15**	10* 15**	50* 100**	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια/προχωρημένη επεξεργασία με απολύμανση
Καλλιέργειες που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση	A)20* 30**	30* 45**	200* 1000**	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, αποθήκευση > 7 ημέρες και απολύμανση ή προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση
Χώροι αναψυχής με περιορισμένη πρόσβαση στο κοινό	B) -	-	200* 1000**	Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	A)20* 30**	30* 45**	1000* 5000**	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 7 ημέρες ή προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση
	B) -	-	1000*	Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες
Βιομηχανικές καλλιέργειες	A)50* 70**	- -	3000* 10000**	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση
	B) -	-	3000* 10000**	Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες

A. Εφαρμογή μηχανικών μεθόδων επεξεργασίας (π.χ. ενεργός ιλύς).

B. Εφαρμογή λιμνών σταθεροποίησης.

\* Οι συγκεκριμένες τιμές δεν πρέπει να ξεπερνώνται για το 80% των δειγμάτων μηνιαίως.

\*\* Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή.

Παρατήρηση 1. Η άρδευση λαχανικών απαγορεύεται.

Παρατήρηση 2. Η άρδευση καλλωπιστικών φυτών για λόγους εμπορίου απαγορεύεται.

Παρατήρηση 3. Απαγορεύεται η ύπαρξη στις εκροές ουσιών για τις οποίες έχει αποδειχθεί ότι βιοσυσσωρεύονται στα βρώσιμα μέρη των καλλιεργειών και είναι τοξικά για τον άνθρωπο ή τα ζώα.



Στη Γαλλία δεν υπάρχει επίσημος κανονισμός σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Το 1991 εκδόθηκαν οι «Συστάσεις για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων έπειτα από επεξεργασία, για την άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου». Στηρίχθηκαν στα κριτήρια του WHO και περιλαμβάνουν επιπλέον μια σειρά περιορισμών σε σχέση με τις μεθόδους για εφαρμογή άρδευσης και τις αποστάσεις από κατοικημένες περιοχές [57].

**Πίνακας 6.7.2 :** Οδηγία επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στη Γαλλία [57]

Ποιότητα νερού	Κριτήρια	Μέθοδος άρδευσης	Είδος αρδευόμενων καλλιεργειών	Επεξεργασία
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq</math> εντερικό νηματούδες αυγό/l</li> <li>• <math>\leq 1000</math> FC/100ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μέθοδοι άρδευσης που εξασφαλίζουν ελάχιστη επαφή καλλιεργειών και ανακτημένου νερού: μικρής πίεσης καταιονιστήρες, επιφανειακή άρδευση, αυλάκια</li> <li>• Απόσταση από κατοικημένες περιοχές <math>&gt;100m</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οπωροφόρα δέντρα, βοσκότοποι, βρώσιμες καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές κτλ.</li> <li>• Γήπεδα αθλητισμού, γήπεδα γκολφ, και χώροι πρασίνου απεριόριστης πρόσβασης</li> </ul>	Λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής $>30$ ημέρες ή κάτι ισοδύναμο
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq</math> εντερικό νηματούδες αυγό/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιφανειακή ή άρδευση μέσω αυλακίων</li> <li>• Καταιονισμός όταν η περίπτωση διασποράς είναι μικρή: απόσταση από κατοικημένες περιοχές <math>&gt;100m</math>, φράχτες κτλ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οπωροφόρα δέντρα, δημητριακά, ζωοτροφές, φυτώρια και βρώσιμες καλλιέργειες που δεν καταναλώνονται ωμές.</li> <li>• Γήπεδα εφόσον η άρδευση διακόπτεται αρκετές βδομάδες πριν από την πρόσβαση</li> </ul>	Λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής $>10$ ημέρες ή κάτι ισοδύναμο
C	Κανένα	Επιφανειακή ή υπόγεια στάγινη άρδευση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δημητριακά, βιομηχανικές καλλιέργειες, ζωοτροφές, οπωροφόρα δέντρα.</li> <li>• Δάση και χώροι πρασίνου περιορισμένης πρόσβασης</li> </ul>	-

Στην Ισπανία τα ανακτημένα λύματα χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση καλλιεργειών, γηπέδων γκολφ, και τροφοδοσία υπόγειων υδροφορέων. Εκτός από την εντολή Water Act (1985), δεν υπάρχει κανονισμός σχετικός με την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Το 1996 το Υπουργείο Περιβάλλοντος εξέδωσε μια πρόταση με κριτήρια τα οποία τροποποιήθηκαν το 1999 με νομοθετικό διάταγμα χωρίς όμως να αποτελέσουν

τελικά ενιαίο εθνικό κανονισμό [57]. Οι ισχύοντες κανονισμοί προέκυψαν το 2005, μετά από περαιτέρω τροποποίηση από το Υπουργείο Περιβάλλοντος των κανονισμών του 1999. Η πρόταση περιλαμβάνει 12 κατηγορίες για επαναχρησιμοποίηση μεταξύ των οποίων και η γεωργική χρήση. Παράρτημα των κριτηρίων που αφορά την άρδευση παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 6.7.3 :** Ποιοτικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση στη Ισπανία [57]

Χρήσεις ανακτημένων λυμάτων (1)	Βιολογική ποιότητα (2)		Φυσικοχημική ποιότητα (2)		Άλλα κριτήρια
	Νηματοειδή εντερικά αυγά (3)	E.coli (ufc/100ml)	Αιωρούμενα στερεά (mg/l)	Θολότητα (NTU)	
2. Γεωργική χρήση					
- Άρδευση καλλιιεργειών θερμοκηπίων, βρώσιμων καλλιιεργειών που καταναλώνονται ωμές, οπωροφόρων δέντρων που ποτίζονται με καταιονισμό. (5)	< 1 αυγό/10l	<200	<20	<10	Legionella spp.(σε περιπτώσεις που υπάρχει κίνδυνος από τον ψεκάσμο)<1000 ufc/l
- Άρδευση βοσκοτόπων που προορίζονται για ζώα που δίνουν γάλα ή κρέας, άρδευση καλλιιεργειών που θα περάσουν από βιομηχανίες κονσερβοποίησης και προϊόντων που δεν καταναλώνονται ωμά, άρδευση οπωροφόρων δέντρων με μεθόδους εκτός του καταιονισμού (5), υδροβιότοποι. (6)	< 1 αυγό/1l	<1000	<35	Δεν τίθενται όρια	Taenia saginata και Taenia solium (σε περιπτώσεις άρδευσης βοσκοτόπων για ζώα που δίνουν γάλα ή κρέας) <1 αυγό/l
- Άρδευση βιομηχανικών καλλιιεργειών, φυτωρίων, ζωοτροφών, σιτηρών και ελαιόκαρπου, ανάπτυξη διακοσμητικών φυτών.	< 1 αυγό/1l	<10000	<35	Δεν τίθενται όρια	-
3. Βιομηχανική χρήση (7)					
- Βιομηχανική ψύξη εκτός από τη βιομηχανία τροφίμων.	Δεν τίθενται όρια	<10000	<35	<15	Legionella spp. <100 ufc/l

Στην Πορτογαλία το 2006 εκδόθηκαν οι κανονισμοί σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων για άρδευση καλλιιεργειών και εξωτερικών χώρων.



**Πίνακας 6.7.4 :** Μικροβιολογική ποιότητα για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση( Οδηγίες NP 4436) στη Πορτογαλία [57]

Κατηγορία καλλιέργειας	FC (NMP ή cfu/100ml)	Εντερικά αυγά (eggs/l)	Επεξεργασία	Παρατηρήσεις
A	100	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια-Διήθηση-Απολύμανση ή</li> <li>Τριτοβάθμια- Διήθηση-Απολύμανση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προτιμάται η απολύμανση με UV(αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή O<sub>3</sub> παρά η χλωρίωση.</li> </ul>
B	200	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια-Διήθηση-Απολύμανση ή</li> <li>Τριτοβάθμια- Διήθηση-Απολύμανση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προτιμάται η απολύμανση με UV(αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή O<sub>3</sub> παρά η χλωρίωση.</li> <li>Αποφυγή επαφής κοινού κατά την άρδευση.</li> </ul>
Γ	10 <sup>3</sup>	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια-Διήθηση-Απολύμανση ή</li> <li>Τριτοβάθμια- Διήθηση-Απολύμανση ή</li> <li>Λίμνες σταθεροποίησης (≥3 λίμνες και t<sub>R</sub>≥ 25μέρες)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προτιμάται η απολύμανση με UV(αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή O<sub>3</sub> παρά η χλωρίωση.</li> <li>Αποφυγή επαφής κοινού κατά την άρδευση.</li> <li>Κατά την άρδευση αμπελώνων και οπωροφόρων πρέπει αποφεύγεται η επαφή με τον καρπό.</li> <li>Φρούτα που πέφτουν στο έδαφος δεν πρέπει να συλλέγονται.</li> </ul>
Δ	10 <sup>4</sup>	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια-λίμνες ωρίμανσης (t<sub>R</sub>≥ 10μέρες) ή</li> <li>Δευτεροβάθμια-Διήθηση-Απολύμανση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προτιμάται η απολύμανση με UV(αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή O<sub>3</sub> παρά η χλωρίωση.</li> <li>Αποφυγή επαφής κοινού κατά την άρδευση.</li> </ul>

Η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων στην Ιταλία ρυθμίζεται σε εθνικό επίπεδο με τον κανονισμό « Ministry Degree, D.M. 12, n.185/2003». Οι επιτρεπόμενες χρήσεις των επεξεργασμένων λυμάτων είναι: αρδευτική, αστική και βιομηχανική.

**Πίνακας 6.7.5 :** Εθνικά και τοπικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων στην Ιταλία [53,37]

Περιγραφή	Κριτήρια ποιότητας	
	Μικροβιακή ποιότητα	Άλλες παράμετροι
Εθνικά κριτήρια <ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές (απεριόριστη άρδευση)</li> <li>• Βοσκότοποι (περιορισμένη άρδευση)</li> </ul>	2 TC / 100 mL <sup>a</sup> 20 TC / 100 mL	
Απουλία <ul style="list-style-type: none"> <li>• Απεριόριστη άρδευση</li> <li>• Περιορισμένη άρδευση</li> </ul>	2 TC / 100 mL 20 TC / 100 mL	BOD <sub>5</sub> = 15 mg/L, COD = 40 mg/L, TSS = 10 mg/L, υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> = 0.2 mg/L, pH = 6.5-8.5
Εμιλία Ρομάνια <ul style="list-style-type: none"> <li>• Απεριόριστη άρδευση</li> <li>• Περιορισμένη άρδευση</li> </ul>	2 TC / 100 mL 20 TC / 100 mL	
Σικελία <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη άρδευση</li> </ul>	3000 TC / 100 mL 1000 FC / 100 mL 1 αυγό ελμίνθων / L	BOD <sub>5</sub> = 40 mg/L, COD = 160 mg/L, TSS = 30 mg/L, pH = 6.5-8.5

*α. Στα νέα εθνικά κριτήρια, έτσι όπως αυτά αναθεωρήθηκαν πρόσφατα, ορίζεται για την απεριόριστη άρδευση μέγιστο επιτρεπόμενο όριο παρουσίας της E. coli τα 10 MPN / 100 mL.*

## 6.8. Το Θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας

Παρά τις αυξημένες ανάγκες για νερό, ειδικά τους θερινούς μήνες, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού στη Ελλάδα δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη. Γενικά η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων διέπεται από την ευρωπαϊκή οδηγία 91/271/EEC με την οποία η ελληνική νομοθεσία εναρμονίστηκε με την Κ.Υ.Α 5673/400/14.3.97 «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων». Μέχρι σήμερα όμως υπήρχε έλλειψη ενός ξεκάθਾਰου θεσμικού πλαισίου το οποίο να ρυθμίζει και να καθορίζει την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων.

Με την Κ.Υ.Α 145116/2011 (Φ.Ε.Κ. 354B/8-3-2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», γίνεται η πρώτη προσπάθεια θεσμικής ρύθμισης των όρων και των διαδικασιών με τις οποίες θα μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα λύματα.

**Πίνακας 6.8.1 :** 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 υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διάμεσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/B/8-3-2011) [64]

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Περιορισμένη άρδευση</b> 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><b>Βιομηχανική χρήση</b> 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<sup>(5)</sup></p>	≤ 200 διάμεση πμή	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία <sup>(2), (3)</sup> Απολύμανση <sup>(4)</sup>	BOD <sub>5</sub> , SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/B/14.3.97)  EC: μια ανά εβδομάδα  Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)

**Πίνακας 6.8.2 :** 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 αστική και περιαστική και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64]

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Αστική χρήση</b> Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός αδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά συντριβάνια Πόσιμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p><b>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων</b> που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις</p> <p><b>Περιαστικό πράσινο</b> συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών<sup>(1)</sup></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>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία<sup>(2)</sup> ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία<sup>(3)</sup> και Απολύμανση<sup>(4)</sup></p>	<p>BOD<sub>5</sub>, 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 Cl<sub>2</sub> συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

**Πίνακας 6.8.3 :** Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων, στοιχείων (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64]

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 6.8.4 :** Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα. (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) [64]

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 <sup>1</sup>	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

**Πίνακας 6.8.4 :** Μέγιστες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα (ΚΥΑ 145116 - ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) (συνέχεια) [64]

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (µg/l)
Οκτυλοφαινόλη [(4-(1,1', 3,3'-τετραμεθυλοβουτυλική)-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	205-99-2	Αθροιστικά=0,03
Βενζο(κ)φλουορανθένιο	207-08-9	
Βενζο(ζ,η,θ)-περιλένιο	191-24-2	Αθροιστικά=0,02
Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο	193-39-5	
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> (πριν από την απολύμανση)		1 Μονάδα Τοξικότητας (TU 50 ≤1

MA= Μη ανιχνεύσιμο

Τα όρια του Πίνακα 6.8.4 ισχύουν μόνο για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 1000.000 κατοίκους και για βιομηχανικά απόβλητα που δεν περιλαμβάνονται στις κατηγορίες, που αναφέρονται στην ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 [64].

Οι παραπάνω προδιαγραφές δεν είναι ιδιαίτερα λεπτομερείς σε σύγκριση με τις προδιαγραφές ποιότητας που έχουν αναπτυχθεί σε ερευνητικό επίπεδο και προταθεί για την περίπτωση της Ελλάδας.

Η πρώτη ερευνητική προσπάθεια ξεκίνησε μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Περιβάλλον» από την ΕΔΕΥΑ (Ένωση ΔΕΥΑ) και τη ΔΕΥΑ Λάρισας που είχε σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα και τον καθορισμό προδιαγραφών [60].

**Πίνακας 6.8.5 :** Αρχικά προτεινόμενα μικροβιολογικά και φυσικοχημικά κριτήρια για διάφορες κατηγορίες χρήσης ανακτημένου νερού στην Ελλάδα (2000) [37,60]

Είδος χρήσης <sup>α</sup>	Μικροβιολογικά κριτήρια		Φυσικοχημικά κριτήρια		Άλλα κριτήρια
	Αυτά έλμινθων <sup>β</sup>	Ολικά κολλοβακτηρίδια	Αιωρούμενα στερεά	Θολότητα	
<b>Αστική χρήση:</b>					
α) Οικιακές χρήσεις: ιδιωτική άρδευση κήπου, χρήση σε τουαλέτα, συστήματα κλιματισμού, πλύσιμο ΙΧ, κ.ά.	< 1 αυγό / 10 L	0 MPN / 100 mL	< 10 mg / L	< 2 NTU	
β) Αστικές χρήσεις: εγκαταστάσεις ελεύθερης εισόδου σε αρδευόμενες περιοχές (πάρκα, γήπεδα γκολφ, αθλητικά γήπεδα, κ.ά.), καθαρισμός δρόμων, πυρόσβεση, σιντριβάνια και άλλοι χώροι αναψυχής	< 1 αυγό / L	< 10 MPN / 100 mL	< 20 mg / L	< 5 NTU	
<b>Γεωργική χρήση:</b>					
α) Άρδευση θερμοκηπίων	< 1 αυγό / L	< 10 MPN / 100 mL	< 20 mg / L	< 5 NTU	<i>Legionella pneumophila</i> 0 MPN / 100 mL
β) Άρδευση λαχανικών για νωπή κατανάλωση, άρδευση οπωροφόρων δέντρων με καταιονισμό	< 1 αυγό / L	< 10 MPN / 100 mL	< 20 mg / L	< 5 NTU	
γ) Άρδευση κτηνοτροφικών φυτών	< 1 αυγό / L	< 1000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	<i>Taenia saginata</i> και <i>Taenia solium</i> < 1 αυγό / L
δ) Άρδευση καλλιερσιών κονσερβοβιομηχανίας, παραγωγή λαχανικών μη νωπής κατανάλωσης και οπωροφόρων δέντρων (εκτός καταιονισμού)	< 1 αυγό / L	< 1000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	
ε) Άρδευση βιομηχανικών καλλιερσιών, φυτώρια, ζωοτροφές για αποθήκευση, δημητριακά, σπόροι	< 1 αυγό / L	< 1000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	
στ) Άρδευση δασικών περιοχών, βιομηχανικών περιοχών, ζωνών προστασίας και άλλων περιοχών όπου δεν απαιτείται πρόσβαση του κοινού	< 1 αυγό / L	< 10000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	
<b>Υδατοκαλλιέργεια:</b>					
α) Υδατοκαλλιέργεια παραγωγής φυτικής ή ζωικής βιομάζας	< 1 αυγό / L	< 1000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	
<b>Βιομηχανική χρήση:</b>					
α) Βιομηχανική ψύξη (με εξαίρεση τη βιομηχανία τροφίμων)	Δεν προτείνεται όριο	< 10000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	<i>Legionella pneumophila</i> 0 MPN / 100 mL
<b>Περιβαλλοντική χρήση και αναψυχή:</b>					
α) Λίμνες και ρυάκια όπου το κοινό επιτρέπεται να έρχεται σε επαφή (με εξαίρεση την κολύμβηση)	< 1 αυγό / L	< 200 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> < 100 mg/L
β) Λίμνες και ρυάκια όπου το κοινό δεν επιτρέπεται να έρχεται σε επαφή	Δεν προτείνεται όριο	< 10000MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> < 100 mg/L
<b>Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφόρου:</b>					
α) Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορών τοπικά (διαμέσου του εδάφους)	< 1 αυγό / L	< 1000 MPN / 100 mL	< 35 mg / L	Δεν προτείνεται όριο	Ολικό N < 50 mg/L
β) Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορών διαμέσου γεωτρήσεων	< 1 αυγό / 10 L	0 MPN / 100 mL	< 10 mg / L	< 2 NTU	Ολικό N < 15 mg/L

Οι παραπάνω τιμές πρέπει να πληρούνται για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα.

α Ελάχιστο επίπεδο επεξεργασίας δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη.

β Εντερικοί έλμινθες σε αυγά / L της οικογένειας *Strongyloides* (οι εντερικοί έλμινθες περιλαμβάνουν τις ακόλουθες οικογένειες *Strongyloides*, *Trichostrongylus*, *Toxocara*, *Enterobius*, *Capillaria*).

γ Απαιτείται ελάχιστο βάθος υδροφορέα ίσο με 5 m.

Από τους ίδιους ερευνητές το 2005 τροποποιήθηκαν τα παραπάνω κριτήρια και προτάθηκαν τα ακόλουθα [37] :

- ελάχιστος αριθμός δειγμάτων ίσος με 4
- να πληρείται η κατανομή Student
- οι τιμές για τα κριτήρια αυτά θα πρέπει να πληρούνται τουλάχιστο για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα βάσει μέσων τιμών τους
- έλεγχος οσμών στις περιπτώσεις εφαρμογής στην επιφάνεια του εδάφους και σε περιοχές που γειτνιάζουν με αστικές περιοχές,
- δεν απαιτούνται κριτήρια για άρδευση στην περίπτωση της υποεπιφανειακής εφαρμογής,



- για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση χλωρίου για απολύμανση των εκροών
- ανακυκλωμένα υγρά απόβλητα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για άρδευση φυτών που δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο.

**Πίνακας 6.8.6 :** Προτεινόμενα κριτήρια για διάφορες κατηγορίες χρήσης ανακτημένου νερού στην Ελλάδα (2005) [37,13]

Κριτήρια ποιότητας νερού	Προτεινόμενες χρήσεις
IN. <sup>a</sup> ≤ 0.1 αυγά / L FC ≤ 10 / 100 mL <sup>b</sup> TSS ≤ 10 mg/L	(α) Αστικές περιοχές με μεγάλη πρόσβαση του κοινού, (β) Σε καζανάκια τουαλέτας και κλιματισμό, (γ) Πλύσιμο αυτοκινήτων και (δ) Απεριόριστη άρδευση
IN. ≤ 1 αυγά / L FC ≤ 30 / 100 mL <sup>c</sup> TSS ≤ 20 mg/L	(α) Τεχνητές λίμνες, υδατικά σώματα και ρυάκια με υψηλή πρόσβαση του κοινού <sup>d</sup> , (β) Σιντριβάνια, τεχνητές πηγές και άλλοι χώροι αναψυχής, (γ) Καθαρισμός δρόμων και άρδευση καλλιέργειών που τα φυτικά τους μέρη καταναλώνονται νωπά (αλλά όμως δεν έρχονται σε επαφή με το αρδευτικό νερό) <sup>e</sup>
IN. ≤ 1 αυγά / L FC ≤ 100 / 100 mL <sup>στ</sup> TSS ≤ 35 mg/L	(α) Άρδευση σποδοτικών φυτών <sup>h</sup> , φυτών που προορίζονται για κονσερβοποίηση και λαχανικών που καταναλώνονται μαγειρεμένα, φυτώρια, κ.ά., (β) Υδατοκαλλιέργειες
IN. ≤ 1 αυγά / L FC ≤ 10.000 / 100 mL TSS ≤ 35 mg/L	(α) Άρδευση δασικών εκτάσεων, βιομηχανικές περιοχές και ζώνες πρασίνου όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού, (β) Βιομηχανική χρήση (εκτός των βιομηχανιών τροφίμων) <sup>η</sup> και (γ) Τεχνητές λίμνες, σώματα νερού και ρέματα όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού <sup>δ</sup> .
IN. ≤ 1 αυγά / L FC ≤ 100 / 100 mL TSS ≤ 10 mg/L	Εμπλουτισμός υδροφορέων με απευθείας έγχυση <sup>θ</sup> και/ή επιφανειακή εφαρμογή <sup>δ1</sup>

Επιπλέον, το 2000 στην περιοχή της Θέρμης (Ν. Θεσσαλονίκης), στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής πρωτοβουλίας LIFE, υλοποιήθηκε πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων με σκοπό τη διαμόρφωση κριτηρίων και προδιαγραφών για κάθε δυνατή χρήση ανακτημένου λύματος για τις ελληνικές συνθήκες και η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση και εμπλουτισμό υδροφορέων σε πιλοτικό στάδιο [61]. Ανάλογα με τη χρήση καθορίστηκαν προτεινόμενα όρια και προδιαγραφές δίνοντας έμφαση στην άρδευση καλλιέργειών και αστικών εκτάσεων [37]. Τα όρια που τέθηκαν μοιάζουν με κανονισμούς διεθνών οργανισμών και ιδιαίτερα με αυτούς του FAO [37].

**Πίνακας 6.8.7 :** Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για διάφορες χρήσεις στην Ελλάδα (2003) [60,37]

Είδος χρήσης	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC / 100 mL)	BOD5 (mg/L)	SS (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
<p><b>Περιορισμένη άρδευση:</b>                      Δάση και περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται.</p> <p><b>Βιομηχανική χρήση:</b>                      Νερό ψύξης μιας χρήσης.</p>	200 (διάμεση τιμή)	25 για το 80% των δειγμάτων	35 για το 80% των δειγμάτων	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία Απολύμανση
<p><b>Απεριορίστη άρδευση:</b>                      Όλες οι καλλιέργειες όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριορίστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.</p> <p><b>Αστική χρήση:</b>                      Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια, νερό για καθαρισμό τουαλέτας.</p> <p><b>Βιομηχανική χρήση:</b>                      Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, κ.ά.</p> <p><b>Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα</b>                      (όχι για ύδρευση)</p>	5 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία Τριτοβάθμια/Προχωρημένη επεξεργασία Απολύμανση

α. Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα, όπως φυσικά συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα ( $BOD_5/SS=25/35$ ), είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από  $35 \text{ mg/L}$ , με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης των λυμάτων σε ταμειυτήρες ή γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών. Στις περιπτώσεις αυτές οι μέσες συγκεντρώσεις αζώτου πρέπει να μην υπερβαίνουν τα  $15 \text{ mg/L}$ .

β. Χλωρίωση, οζονισμός, υπεριώδης ακτινοβολία (UV), κ.ά. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης πρέπει να εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί το χρόνο επαφής μικρότερο ή ίσο με  $30 \text{ mg} \times \text{min/L}$ . Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση  $70 \text{ mWsec/cm}^2$  στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για το σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 50%.

γ. Κατάλληλο σύστημα που να επιτυγχάνει τα ανάλογα όρια: Κατ' ελάχιστον προσθήκη θειικού αργιλίου (alum) σε δόση μεγαλύτερη από  $10 \text{ mg/L}$  και απευθείας διήθηση σε κλίνη άμμου.

δ. Χλωρίωση, οζονισμός, υπεριώδης ακτινοβολία (UV), κ.ά. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης πρέπει να εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου μικρότερη ή ίση με  $2 \text{ mg/L}$  και ελάχιστος χρόνος επαφής  $60 \text{ min}$ , ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν τη χρήση θα εξετάζεται ανά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση  $50 \text{ mWsec/cm}^2$  στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για το σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%.

**Πίνακας 6.8.8 :** Προτεινόμενα μέγιστα όρια χημικών στοιχείων σε ανακτημένα λύματα [61,37]

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

**Πίνακας 6.8.9 :** Προτεινόμενα αγρονομικά χαρακτηριστικά των ανακτημένων λυμάτων [61,37]

Πιθανό πρόβλημα κατά την άρδευση	Μονάδες	Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή		
		Μηδαμνός	Μικρός-Μέτριος	Σημαντικός
<b>Αλατότητα</b>				
EC <sub>w</sub> ή	dS/m	< 0.7	0.7 - 3	> 3
TDS (ολικά διαλυμένα στερεά)	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Διαπερατότητα</b>				
SAR = 0 - 3 και EC <sub>w</sub>		> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
20 - 40		> 5	5 - 2.9	< 2.9
<b>Ειδική τοξικότητα ιόντων</b>				
<i>Νάτριο (Na<sup>+</sup>)</i>				
Επιφανειακή άρδευση	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Καταιονισμός	mg/L	< 70	> 70	
<i>Χλωρίοντα (Cl)</i>				
Επιφανειακή άρδευση	mg/L	< 140	140 - 350	> 350
Καταιονισμός	mg/L	< 100	> 100	
<i>Βόριο (B)</i>				
	mg/L	< 0.7	0.7 - 3	> 3
<b>Άλλες επιπτώσεις</b>				
Αζώτο (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	< 5	5 - 30	> 30
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	< 90	90 - 500	> 500
pH		Τυπικές τιμές 6.5 - 8		



## **7. Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων σε διεθνές επίπεδο**

### **7.1. Γενικά**

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο τα τελευταία χρόνια. Η σημαντικότερες εφαρμογές έχουν γίνει σε χώρες που αντιμετωπίζουν προβλήματα ξηρασίας μεταξύ των οποίων πολλές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και περιοχών της Μεσογείου [37]. Ωστόσο υπάρχουν αρκετά παραδείγματα εφαρμογών σε πολλές περιοχές του Καναδά, της Αυστραλίας, της Ευρώπης και της Αφρικής.

### **7.2. Η.Π.Α.**

Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων έχει αναπτυχθεί στις Η.Π.Α. κυρίως στις δυτικές πολιτείες, λόγω της ξηρασίας που δημιουργεί έντονα προβλήματα στην άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Στις ανατολικές πολιτείες το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για δημιουργία χώρων πρασίνου, ανάπτυξης φυτειών ανθών και ως εφεδρεία για περιόδους ξηρασίας [39].

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι πιλοτικές εφαρμογές τη δεκαετία του '70 στην περιοχή Monterey της Καλιφόρνια και Orlando της Φλόριδα που έγινε χρήση ανακτημένου λύματος για αγροτική άρδευση και εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα με λεκάνες διήθησης. Στην πρώτη περίπτωση αρδεύτηκαν διάφορα λαχανικά, όπως αγκινάρα, μπρόκολο, μαρούλι, σέλινο και στη δεύτερη οπωροφόρα δένδρα. Τα λύματα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από προχωρημένη επεξεργασία (κροκίδωση, επίπλευση, διήθηση και τα αποτελέσματα, μετά από 20 χρόνια εφαρμογής, έδειξαν ότι δεν υπήρχε ουσιαστικός κίνδυνος, τόσο περιβαλλοντικός όσο και δημόσιας υγείας, από τη χρήση ανακτημένου λύματος για άρδευση [37]. Στο Orlando λειτουργεί από το 1987 το μεγαλύτερο στις ΗΠΑ σύστημα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση και εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα με λεκάνες διήθησης. Δύο εγκαταστάσεις επεξεργάζονται συνολικά 95.000 m<sup>3</sup> νερού την ημέρα, το οποίο με αγωγό μεταφέρεται σε απόσταση 34 Km, όπου διατίθεται ένα τμήμα του για

άρδευση 40.000 στεμμάτων γης, μετά από χλωρίωση και το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για τεχνητό εμπλουτισμό μέσω λεκανών διήθησης [93].

Πιλοτικές εφαρμογές για αγροτική άρδευση αναπτύχθηκαν και στην περιοχή Tallahassee της Φλόριδα το 1966 και στην περιοχή Durbin Creek της νότιας Καρολίνα [37].

Στην πόλη St. Petersburg της Φλόριδα έχει κατασκευαστεί διπλό σύστημα διανομής νερού με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση νερού για άρδευση χώρων πρασίνου και γηπέδων γκολφ. Εξαιτίας των ξηρασιών που αντιμετωπίζει η περιοχή αυτή η επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων λυμάτων έχει γίνει ανπόσπαστο κομάτι της διαχείρισης των υδάτων [10].

Στο Denver του Κολοράντο, στην Tampa της Φλόριδα και στο San Diego της Καλιφόρνια έγιναν πιλοτικές προσπάθειες για έμμεση επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση και το παραγόμενο νερό ήταν καλής ποιότητας και σε πολλές περιπτώσεις καλύτερης ποιότητας από το υπάρχον πόσιμο [37].

Στην παραλιακή ζώνη της πόλης Palo Alto κατασκευάστηκε μια σειρά γεωτρήσεων εμπλουτισμού για να δημιουργηθεί ένα είδος φράγματος στο θαλάσσιο μέτωπο που είχε αρχίσει να εισχωρεί προς την ενδοχώρα. Ως πηγή του νερού εμπλουτισμού χρησιμοποιήθηκαν τα αστικά λύματα της περιοχής, αφού προηγουμένως υπέστησαν επεξεργασία. Μια δεύτερη σειρά γεωτρήσεων άντλησης, σε κάποια απόσταση από την πρώτη προς την ενδοχώρα, χρησιμοποιείται για να αντλεί το βεβαρημένο ποιοτικά νερό εμπλουτισμού ώστε να μην ενσωματωθεί στο υδροφόρο και υποβαθμιστεί με τον τρόπο αυτό η ποιότητα των υπόγειων νερών.

Στο Orange County της California, στις Η.Π.Α., χρησιμοποιούνται από το 1976 απόβλητα επεξεργασμένα σε ποιότητα πόσιμου ύδατος για την φόρτιση του υπόγειου υδροφορέα που χρησιμοποιείται για ύδρευση, με σκοπό την παρεμπόδιση εισβολής θαλασσιού ύδατος. Το Orange County αποτελεί ένα πολύ επιτυχημένο παράδειγμα ASR. Μετά από δεκαπενταετείς έρευνες διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα του υπογείου νερού διατηρήθηκε σταθερή, και σχεδιάζεται η επέκταση της παροχής φόρτισης (από 57.000 m<sup>3</sup>/d σε περίπου 200.000 m<sup>3</sup>/d).

Ιδιαίτερα στην πολιτεία της Καλιφόρνια οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση υγρών αποβλήτων είναι εξελιγμένες σε σχέση με αυτές που εφαρμόζονται στη Ευρώπη [40].



### 7.3. Ν. Αμερική

Στην Ν. Αμερική έχουν επιχειρηθεί εφαρμογές, που ωστόσο αποτελούν περιπτώσεις στις οποίες η έλλειψη υδατικών πόρων επέβαλε την εξεύρεση εύκολων και γρήγορων λύσεων, μεταξύ απευθείας χρησιμοποίησης μη επεξεργασμένων λυμάτων και χρήσης αυτών μετά από στοιχειώδη επεξεργασία. Αναφέρθηκαν περιστατικά τυφοειδούς πυρετού τα τελευταία χρόνια σε ορισμένες περιοχές της Ν. Αμερικής που ενδεχομένως να οφείλονταν σε κατανάλωση λαχανικών που αρδεύτηκαν με ανεπεξέργαστα λύματα [44].

### 7.4. Ευρώπη

Ο λόγος των διαθέσιμων ανανεώσιμων υδατικών πόρων προς τις συνολικές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις ανά έτος, σε αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρουσιάζει αύξηση τα τελευταία χρόνια [40]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές χώρες να κινδυνεύουν στο μέλλον να αντιμετωπίσουν προβλήματα λόγω έλλειψης υδατικών πόρων. Σε ορισμένες περιοχές, ανάμεσα σε αυτές και η Ελλάδα κάποιους μήνες του χρόνου έχει παρατηρηθεί η παραπάνω αναλογία είναι ίση με 1 [40].

Τη δεκαετία του 90, όταν άρχισε η ραγδαία ανάπτυξη των εντατικών καλλιεργειών στη νοτιοδυτική Γαλλία και στην περιοχή του Παρισιού και ταυτόχρονα περιορίστηκαν σημαντικά οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι εξαιτίας της ύπαρξης πολλών και συνεχόμενων ετών ξηρασίας στη δυτική Γαλλία, παρουσιάστηκε έντονο ενδιαφέρον για άρδευση με επεξεργασμένα λύματα [41]. Περίπου 30.000 στρέμματα γης σε ολόκληρη τη Γαλλία αρδεύονται σήμερα με επεξεργασμένα λύματα καλύπτοντας πολλά είδη καλλιεργειών αλλά και αστικές εκτάσεις, όπως πάρκα και γήπεδα γκολφ [37].

Οι πρώτες εφαρμογές στην Ιταλία αναπτύχθηκαν στην περιοχή του Μιλάνου. Περίπου 40.000 στρέμματα γεωργικής γης σε όλη τη χώρα αρδεύονται σήμερα με επεξεργασμένα λύματα. [37].

Στην Ισπανία, κυρίως στην Ανδαλουσία, την Καταλονία και τις Βαlearίδες νήσους η επαναχρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων βρήκε εφαρμογή σε χρήσεις όπως η άρδευση γηπέδων γκολφ και αγροτικές εργασίες [40].

Στην Κύπρο από το 1982, έχει εφαρμοστεί τεχνητός εμπλουτισμός με μεθόδους κατάκλυσης (λιμνοδεξαμενές σε αλλουβιακές αποθέσεις) σε μεγάλους υδροφορείς, του

νησιού (Γερμασόγειας, Ακρωτηρίου, Ξεροποτάμου και Μαρωνίου), έχουν στερηθεί το φυσικό τους εμπλουτισμό λόγω κατασκευής ανάντη ταμιευτήρων με στόχο την κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης αλλά και την αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης [94,64].

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η μοναδική περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων αναφέρεται στην πόλη Essex, όπου 40.000 κ.μ. τριτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων την ημέρα διοχετεύονται στον ποταμό Chelmer και στον υδροφορέα Hanningfield που χρησιμοποιούνται για πόσιμες εφαρμογές [40].

Στην Πορτογαλία το ενδιαφέρον εστιάζεται στην άρδευση των πολλών γηπέδων γκολφ στις νότιες περιοχές της χώρας.

Τέλος στην Αυστρία, τη Δανία, τη Φινλανδία, τη Γερμανία, την Ιρλανδία και το Λουξεμβούργο, που αποτελούν χώρες που δεν αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα έλλειψης υδατικών πόρων, το ενδιαφέρον εξεύρεσης νέων πόρων είναι σχετικά περιορισμένο [37].

## **7.5. Μέση Ανατολή – Αφρική**

Το Ισραήλ θεωρείται μια από τις πρωτοπόρες χώρες στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης σε παγκόσμιο επίπεδο, γεγονός που οφείλεται στην υδατική κρίση που παρατηρείται έντονα σε αυτή την περιοχή και στο σχετικά χαμηλό κόστος των ανακτημένων λυμάτων ως αρδευτικό νερό [45]. Οι δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στο Ισραήλ που διαθέτουν τις εκροές τους για άρδευση βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Τελ-Αβίβ και στην περιοχή της Χάϊφα [46].

Στην Τυνησία λόγω της ξηρασίας και του προβλήματος της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων [45] εφάρμοσε από νωρίς την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων. Στην Τύνιδα αρδεύονται 20.000 στρεμμάτων αγροτικής γης.

Στην Ιορδανία και το Λίβανο αναπτύχθηκαν επίσης παρόμοιες εφαρμογές με την Τυνησία [45].

Στο Windhoek στη Ναμίμπια της Αφρικής εφαρμόστηκε ένα καλά μελετημένο σύστημα σχεδιασμένης άμεσης επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων για πόσιμο νερό. Οι εγκαταστάσεις του συστήματος λειτουργούν για περίπου 30 χρόνια για την κάλυψη έκτακτων αναγκών σε περιόδους ξηρασίας [39].

## **7.6. Αυστραλία**

Στην Αυστραλία στην περιοχή της Αδελαΐδας εντοπίζεται μια από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις λιμνών σταθεροποίησης που η εκροή τους περνάει από προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση και επαναχρησιμοποιείται για άρδευση [10].

## **7.7. Σαουδική Αραβία**

Εδώ και πολλά χρόνια πραγματοποιούνται πειράματα με χρήση ανακτημένου λύματος για άρδευση, τα οποία έδειξαν ότι δεν δημιουργούνται ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα, ενώ αντίθετα συνέβαλε στην αύξηση της αγροτικής παραγωγής και στην εξοικονόμηση υδατικών πόρων [43,37].

## **7.8. Ελλάδα**

Μέχρι πρόσφατα έλλειψη θεσμικού πλαισίου είχε σαν αποτέλεσμα η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων να μην είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ελλάδα. Τη δεκαετία του '90 πραγματοποιήθηκαν έρευνες σε πειραματικό επίπεδο στον Ελληνικό χώρο, με πρωτοβουλία Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας, σχετικά με την αποδοτικότητα καλλιεργειών που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα λύματα [37]. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης πραγματοποιήθηκε άρδευση ζαχαρότευτλων, βάμβακος, αραβόσιτου και ρυζιού με τις δευτεροβάθμια επεξεργασμένες εκροές της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της Θεσσαλονίκης. Το συμπέρασμα ήταν ότι δεν εμφανίστηκαν ιδιαίτερα προβλήματα στο έδαφος και στα φυτά. Η μακροχρόνια χρήση θα πρέπει παρόλα αυτά να γίνεται με τρόπο ορθολογικό και ελεγχόμενο τρόπο, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα αλατότητας του εδάφους. Ωστόσο ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί στην πιθανότητα μακροχρόνιας χρήσης ενός τέτοιου πόρου και η οποία θα έπρεπε να γίνεται με τρόπο ορθολογικό και ελεγχόμενο έτσι ώστε να μη δημιουργηθούν προβλήματα αλατότητας του εδάφους, μια και η εκροή της ΕΕΛ της Θεσσαλονίκης παρουσίαζε σε γενικές γραμμές υψηλές τιμές αγωγιμότητας [47].

Σε κάποιες από τις έρευνες διερευνήθηκε η επίδραση της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην άρδευση στο γεωργικό εισόδημα και προέκυψε ότι μπορούσε να αποβεί επικερδής για τους αγρότες, αφού συνέβαλε στην εξοικονόμηση λιπασμάτων [48].

Με πρωτοβουλία του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βόλου διεξήχθησαν έρευνες σχετικά με τη χρήση ανακτημένου λύματος για άρδευση εκτάσεων με γκαζόν, καλλωπιστικών φυτών και θάμνων, με συμπέρασμα ότι δεν είχε ουσιαστική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών και στα χαρακτηριστικά του εδάφους [49].

Εκτός από τις πειραματικές εφαρμογές υπάρχουν και μονάδες επεξεργασίας λυμάτων που διαθέτουν τις επεξεργασμένες εκροές τους για άρδευση αγροτικών εκτάσεων [37]. Παραδείγματα αποτελούν η μονάδα της Θεσσαλονίκης, της Χαλκίδας, του Άργους και του Αγ. Νικολάου Κρήτης [45].

Στη Χαλκίδα έγινε χρήση 14.000 κ.μ. επεξεργασμένων λυμάτων ανά ημέρα για την άρδευση 300 στρεμμάτων δασικών εκτάσεων [50].

Στην Ελλάδα αναφέρονται αρκετές έρευνες σχετικά με την αξιολόγηση της καταλληλότητας εκροών επιλεγμένων ΕΕΛ για την επαναχρησιμοποίηση, την κοινωνική αποδοχή της χρήσης ανακτημένου λύματος, την τεχνολογική εφικτότητα επιλεγμένων μεθόδων τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων για παραγωγή ανακτημένου λύματος κατάλληλου για χρήση σε εφαρμογές [37].

## **8. Κοινοτική Οδηγία περί υδάτων 2000/60/EK**

### **8.1. Εισαγωγή**

Στα πλαίσια εφαρμογής της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60/EK, ολοκληρώθηκε η διαβούλευση του σχεδίου Κοινής Υπουργικής Απόφασης με θέμα: «Έγκριση γενικών κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης υπηρεσιών ύδατος. Μέθοδος και διαδικασίες για την ανάκτηση κόστους των υπηρεσιών ύδατος στις διάφορες χρήσεις του». Σκοπός της Κ.Υ.Α είναι η έγκριση γενικών κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης των υπηρεσιών ύδατος για διάφορες χρήσεις και κανόνων και μέτρων βελτίωσης των υπηρεσιών αυτών, καθώς και ο καθορισμός των διαδικασιών και της μεθόδου ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών αυτών, συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους υδατικού πόρου, ώστε να επιτυγχάνεται η βιώσιμη χρήση και η βελτίωση της κατάστασης των υδάτων [96].

Η Κ.Υ.Α. εφαρμόζεται στις υπηρεσίες ύδατος (διυλισμένου ή αδιύλιστου), που αντιστοιχούν στις χρήσεις των υδάτων για ύδρευση, για αγροτική χρήση (άρδευση, κτηνοτροφία – πτηνοτροφία και λοιπές αγροτικές χρήσεις), για αναψυχή και βιομηχανική χρήση, καθώς και στις υπηρεσίες αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων.

Η Κ.Υ.Α. δεν εφαρμόζεται στις απολήψεις ύδατος από πηγάδια/φρέατα (εκτός των υδρογεωτρήσεων), αλλά καθορίζεται ποια πηγάδια/ φρέατα και με ποια κριτήρια εξαιρούνται από τις διατάξεις της απόφασης [96].

Τα βασικά χαρακτηριστικά της Κ.Υ.Α. είναι τα ακόλουθα :

- Ενσωματώνει τις απαιτήσεις της οδηγίας 2000/60/EK
- Καλύπτει όλες τις χρήσεις ύδατος και όλους τους παρόχους υπηρεσιών ύδατος
- Ανακτά το κόστος υπηρεσιών ύδατος ευέλικτα και σταδιακά ως εργαλείο εξοικονόμησης της κατανάλωσης ύδατος
- Περιλαμβάνει το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος πόρου (περιβαλλοντικό τέλος) ως εγγύηση της βιώσιμης χρήσης των υδατικών πόρων
- Ανταποδίδει το εισπραττόμενο περιβαλλοντικό τέλος μέσω του πράσινου ταμείου
- Τιμολογεί το νερό με ευέλικτο χρονικά και δίκαιο κοινωνικά τρόπο, προβλέποντας κλιμακωτό τιμολόγιο

- Αντιμετωπίζει το νερό ως κοινωνικό αγαθό, με ιδιαίτερη φροντίδα των κοινωνικά ευπαθών ομάδων του πληθυσμού
- Περιλαμβάνει μέτρα συνεχούς παρακολούθησης και σταδιακής βελτίωσης των υπηρεσιών ύδατος προς το κοινωνικό συμφέρον.

Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία το συνολικό κόστος παροχής υπηρεσιών ύδατος συνίσταται στο:

- Χρηματοοικονομικό κόστος το οποίο περιγράφεται σε όρους κόστους κεφαλαίου, κόστους λειτουργίας και συντήρησης δικτύου και διοικητικό κόστος για τις επιχειρήσεις παροχής υδρευτικού και αρδευτικού ύδατος
- Κόστος φυσικών πόρων, που σχετίζεται με την μείωση της διαθέσιμης ποσότητας του πόρου λόγω υπερεκμετάλλευσης
- Περιβαλλοντικό κόστος ,που αντανακλά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνική ευημερία λόγω μείωσης της περιβαλλοντικής ποιότητας.

## **8.2. Χρηματοοικονομικό Κόστος**

Για τον προσδιορισμό του Χρηματοοικονομικού Κόστους λαμβάνονται υπόψη το κόστος Κεφαλαίου, Λειτουργίας, Συντήρησης και Διοίκησης.

### **8.2.1. Κόστος Κεφαλαίου**

Αποτελείται από το αναλισκόμενο ετήσιο πάγιο κεφάλαιο στην διαδικασία παραγωγής και παροχής των υπηρεσιών ύδατος, που προσδιορίζεται από το κόστος αντικατάστασης των παγίων και το συντελεστή ετήσιας απόσβεσης και από το κόστος ευκαιρίας του επενδεδυμένου κεφαλαίου, που είναι η απόδοση του κεφαλαίου σε εναλλακτικές τοποθετήσεις.

### **8.2.2. Λειτουργικό Κόστος**

Περιλαμβάνει τις σταθερές δαπάνες, που δεν επηρεάζονται από ετήσιες μεταβολές ποσοτήτων νερού, όπως το κόστος των μόνιμων μισθοδοτούμενων εργαζόμενων και τις μεταβλητές δαπάνες που εξαρτώνται από τις ποσότητες νερού που διακινούνται, όπως το κόστος προμήθειας ύδατος, το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, των χημικών ουσιών επεξεργασίας υδάτων, κόστος σύναψης συμβάσεων παροχής υπηρεσιών με τρίτους.

### **8.2.3. Κόστος Συντήρησης**

Κόστος συντήρησης, το οποίο περιλαμβάνει τις δαπάνες για αναλώσιμα υλικά και εργασία, ώστε οι υπάρχουσες υποδομές να βρίσκονται σε καλή λειτουργική κατάσταση σε όλη την ωφέλιμη ζωή τους και να παρέχουν απρόσκοπτα τις υπηρεσίες για τις οποίες κατασκευάστηκαν.

### **8.2.4. Κόστος Διοίκησης**

Κόστος διοίκησης, τα οποία περιλαμβάνουν τα κόστη που σχετίζονται με τη διοίκηση του φορέα παροχής της υπηρεσίας ύδατος, όπως του προσωπικού διοίκησης, της λειτουργίας του Διοικητικού Συμβουλίου, τις αμοιβές τρίτων συνεργατών, τα ενοίκια κεντρικών γραφείων κτλ.

## **8.3. Περιβαλλοντικό Κόστος**

Για τον προσδιορισμό του Περιβαλλοντικού Κόστους λαμβάνονται υπόψη τα κόστη των συμπληρωματικών μέτρων, τα οποία αφορούν στην επίτευξη της καλής κατάστασης των υδατικών σιστημάτων. Περιβαλλοντικό Κόστος προκύπτει όταν υφίστανται επιφανειακά ύδατα με οικολογική ή χημική κατάσταση κατώτερη της καλής, ή υπόγεια ύδατα με κακή χημική κατάσταση που δεν οφείλεται σε φυσικά αίτια.

## **8.4. Κόστος Πόρου**

Το Κόστος Πόρου προκύπτει από τον προσδιορισμό του κόστους των συμπληρωματικών μέτρων, τα οποία αφορούν στην εξοικονόμηση των υδατικών πόρων και στην



ορθολογική διαχείρισή τους, μέσω της αναίρεσης πρακτικών υπεράντλησης υπόγειων υδατικών συστημάτων. Κόστος Πόρου προκύπτει όταν υφίστανται υπόγεια ύδατα με "Κακή" ποσοτική κατάσταση ή ελλιπής κάλυψη των αναγκών νερού των κύριων ανθρωπογενών χρήσεων, ειδικά όταν αυτή δεν οφείλεται σε σπατάλη των υδατικών πόρων, αλλά σε κακή διαχείριση αυτών.

## **8.5. Αγροτική χρήση**

Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. πάροχοι υπηρεσιών ύδατος για αγροτική χρήση είναι οι Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (Γ.Ο.Ε.Β., Τ.Ο.Ε.Β., κ.α.), η Εταιρεία Παγίων Ε.Υ.Δ.Α.Π., η Εταιρεία Παγίων Ε.Υ.Α.Θ. και λοιποί φορείς που παρέχουν νερό άρδευσης στους τελικούς χρήστες [96].

Προβλέπεται να επιβληθούν περιβαλλοντικά τέλη στους τελικούς χρήστες με βασικό κριτήριο την αποτροπή της απότομης και υπερβολικής επιβάρυνσης των χρηστών, ώστε να μην επέρχεται αδυναμία κάλυψης των βασικών τους αναγκών. Θα είναι δυνατόν να εξαιρούνται από τα περιβαλλοντικά τέλη, χρήστες οι οποίοι, με την εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών ορθής διαχείρισης, συμβάλλουν στη διατήρηση ή/και βελτίωση της καλής κατάστασης των υδάτων, συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, σε ευπαθείς (ευάλωτες ή ειδικές) ομάδες και λόγω γεωμορφολογικών ιδιομορφιών ή ακραίων κλιματικών συνθηκών [96].

### **8.5.1. Χρήση μέσω Οργανωμένα Συλλογικά Δίκτυα**

Η τιμολόγηση υπηρεσιών παροχής ύδατος για αγροτική χρήση μέσω οργανωμένων συλλογικών δικτύων, προσδιορίζεται από τους παρόχους των υπηρεσιών αυτών και εγκρίνεται από την αρμόδια αρχή, σύμφωνα με τις σχετικές προβλέψεις της νομοθεσίας. Ο προσδιορισμός των τιμολογίων γίνεται κατά τρόπον ώστε τα συνολικά έσοδα των παρόχων να συμβάλουν στη βελτίωση της ανάκτησης του κόστους, χωρίς να ανατρέπονται οι συνθήκες βιωσιμότητας των αγροτικών χρήσεων.

Το σύστημα χρέωσης θα αποτελείται από δύο μέρη: α) ένα σταθερό τέλος και β) ένα μεταβλητό τέλος ανά μονάδα νερού (ογκομετρική χρέωση ανά κυβικό μέτρο κατανάλωσης νερού). Το σταθερό τέλος θα εφαρμόζεται στην άρδευση ανά στρέμμα καλλιέργειας και τα μεταβλητά τέλη ανά κυβικό μέτρο θα εφαρμόζονται στους χρήστες,

ανάλογα με την μετρηθείσα ποσότητα του ύδατος για αγροτική χρήση που θα καταναλώνεται. Στα μεταβλητά τέλη θα περιλαμβάνεται και το περιβαλλοντικό τέλος.

Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή η καταμέτρηση του ύδατος για άρδευση , ώστε να γίνεται χρέωση ανά κυβικό μέτρο, τότε ο πάροχος θα εκτιμά την ποσότητα του ύδατος που καταναλώθηκε, είτε κατά έκταση γης και είδος καλλιέργειας, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, είτε κατά χρόνο χρήσης του αρδευτικού νερού, ανάλογα με τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα [96].

### **8.5.2. Χρήση εκτός Οργανωμένων Συλλογικών Δικτύων**

Η τιμολόγηση των χρήσεων ύδατος εκτός οργανωμένων συλλογικών δικτύων, είναι αναλογική με την κατανάλωση ύδατος κάθε χρήστη (χρέωση ανά κυβικό μέτρο). Σε περιπτώσεις ύδατος αγροτικής χρήσης, όπου δεν είναι εφικτή η καταμέτρηση του, η οικεία Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης εκτιμά την ποσότητα του ύδατος αγροτικής χρήσης, σύμφωνα με τις σχετικές προβλέψεις της κείμενης νομοθεσίας, κατά χρόνο χρήσης του ύδατος, ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία, όπως τα στοιχεία του Δελτίου Γεωργοτεχνικών και Γεωργοοικονομικών Στοιχείων για την περίπτωση των εγκαταστάσεων που είναι ηλεκτροδοτημένες με αγροτικό τιμολόγιο [96].



## **9. Πρόταση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων Ψυττάλειας για τεχνητό εμπλουτισμό**

### **9.1. Εισαγωγή**

Τα επεξεργασμένα λύματα του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον τεχνητό εμπλουτισμό των γειτονικών του υδροφορέων ενισχύοντας και παράλληλα προστατεύοντας τους από την προέλαση του υφάλμυρου μετώπου. Τα αποτελέσματα θα είναι κυρίως τοπικού χαρακτήρα, αλλά μεγάλης σπουδαιότητας δεδομένου του ότι επιτυγχάνεται η αξιοποίηση πόρων που σπαταλούνται, με παράλληλη αντιμετώπιση προβλημάτων των υπόγειων νερών.

Η περιοχή του Θριάσιου Πεδίου και των Μεγάρων είναι περιοχές με προσχώσεις, κυρίως με ριπίδια, που κινδυνεύουν από την προέλαση του υφάλμυρου μετώπου, οπότε και αποτελούν πιθανές θέσεις για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού. Στις ακόλουθες παραγράφους αναλύονται τα χαρακτηριστικά των περιοχών αυτών με σκοπό την διερεύνηση της καταλληλότητας τους για μια τέτοια εφαρμογή.

Η λειτουργία ενός συστήματος SAT εξαρτάται από την περιοχή εφαρμογής και έχει σχέση με την ποιότητα του λύματος, το έδαφος, την υδρογεωλογία και το κλίμα [64]. 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.

### **9.2. Διερεύνηση καταλληλότητας προτεινόμενων θέσεων για εφαρμογή συστημάτων SAT**

#### **9.2.1. Γενικά**

Όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν επιφανειακές μέθοδοι εμπλουτισμού, η επιλογή της θέσης ή η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας κάποιας περιοχής θα πρέπει να βασίζονται στη λεπτομερή γνώση των γεωλογικών συνθηκών. Οι φυσικές ιδιότητες των επιφανειακών και υποεπιφανειακών αποθέσεων καθορίζουν, σε ένα μεγάλο βαθμό, τις ικανότητες διήθησης που μπορούν να επιτευχθούν και τους όγκους νερού που θα εμπλουτίσουν τους υδροφόρους. Επιπλέον, η θέση των γεωλογικών σχηματισμών και των υποεπιφανειακών αποθέσεων, οι οποίες μπορεί να σχηματίζουν ολικό ή μερικό

εμπόδιο στην κίνηση του νερού και η θέση και η υδραυλική κλίση της υπάρχουσας στάθμης ή πιεζομετρικής επιφάνειας, επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και καταλληλότητα ενός έργου τεχνητού εμπλουτισμού. Το νερό που κατεισδύει, πρέπει να περάσει μέσα από τις επιφανειακές αποθέσεις, πριν φτάσει στη στάθμη του υπόγειου νερού. Γι' αυτό το λόγο, οι ιδιότητες των διαφόρων εδαφών είναι κρίσιμες στον καθορισμό των αρχικών και υφιστάμενων ικανοτήτων διήθησης. Οι σημαντικότερες χημικές, φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους είναι: (1) δομή, (2) διαπερατότητα, (3) εμφανίσεις αργιλικών στρωμάτων ή άλλων αδιαπέρατων σχηματισμών στον υπεδαφικό ορίζοντα, (4) βάθος του εδαφικού προφίλ, (5) οργανικά υλικά, (6) βαθμός συμπίκνωσης από χρήση κατασκευαστικού εξοπλισμού (7) χημική αλληλεπίδραση ανάμεσα στο έδαφος και το νερό. Γενικά, όσο πιο χονδρόκοκη είναι η δομή των επιφανειακών αποθέσεων, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αρχική ικανότητα διήθησης. Σε πολλές περιπτώσεις, η ύπαρξη αργιλικών στρωμάτων είναι το μεγαλύτερο εμπόδιο στην επίτευξη μεγάλων ικανοτήτων διήθησης [64].

Ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα που έχει σχέση με την εκτίμηση μιας τεχνητά εμπλουτιζόμενης περιοχής είναι ο καθορισμός της ικανότητας διήθησης. Τέτοιες ικανότητες είναι κρίσιμες, γιατί το μέγεθός τους μπορεί να καθορίσει τη μέθοδο εμπλουτισμού, την έκταση της περιοχής εμπλουτισμού, καθώς και τις τεχνικές λειτουργίας και συντήρησης του έργου εμπλουτισμού.

Γενικά, επιφανειακά εδάφη από αμμώδη πηλό, πηλό ή λεπτόκοκκο άμμο και χαλίκια είναι προτιμότερα για τα συστήματα SAT [64]. 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 [64].

Τα γενικά κριτήρια επιλογής κατάλληλων θέσεων πιλοτικών έργων SAT περιλαμβάνουν:

- κατάλληλες υδρογεωλογικές συνθήκες,
- απαιτούμενο βάθος ακόρεστης ζώνης κάτω από τις λεκάνες εμπλουτισμού > 3 m, ώστε να μπορούν να ικανοποιηθούν οι κατάλληλες και απαραίτητες αερόβιες διεργασίες και η αναμενόμενη απομάκρυνση των ανεπιθύμητων μικροβίων
- κατάλληλο υλικό ακόρεστης ζώνης, που να εξασφαλίζει ρυθμό διήθησης τουλάχιστον περί τα 1 m/ημέρα

- κλίση εδάφους < 5 %

Θα πρέπει επίσης, να συνυπολογιστεί και ο παράγοντας του απαιτούμενου κόστους πιθανής απαλλοτριώσεως και το κόστος μεταφοράς των επεξεργασμένων λυμάτων από το Κέντρο Επεξεργασίας στη θέση εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού, που πολλές φορές αποβαίνει καθοριστικός και ίσως σε κάποιες περιπτώσεις απαγορευτικές για την τελική επιλογή.

Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζονται οι χρήσεις γής, τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, η υφιστάμενη ποιότητα των υπόγειων υδάτων και τα υδρολογικά ισοζύγια της λεκάνης του Θριάσιου πεδίου και των Μεγάρων.

### **9.2.2. Θριάσιο Πεδίο**

Το Θριάσιο πεδίο οριοθετείται βόρεια από την Πάρνηθα, ανατολικά από το Ποικίλο όρος και το Αιγάλεω, δυτικά από το όρος Πατέρας (1.132m), ενώ νότια είναι ανοιχτό στο Σαρωνικό κόλπο και έχει έκταση 84 km<sup>2</sup>.

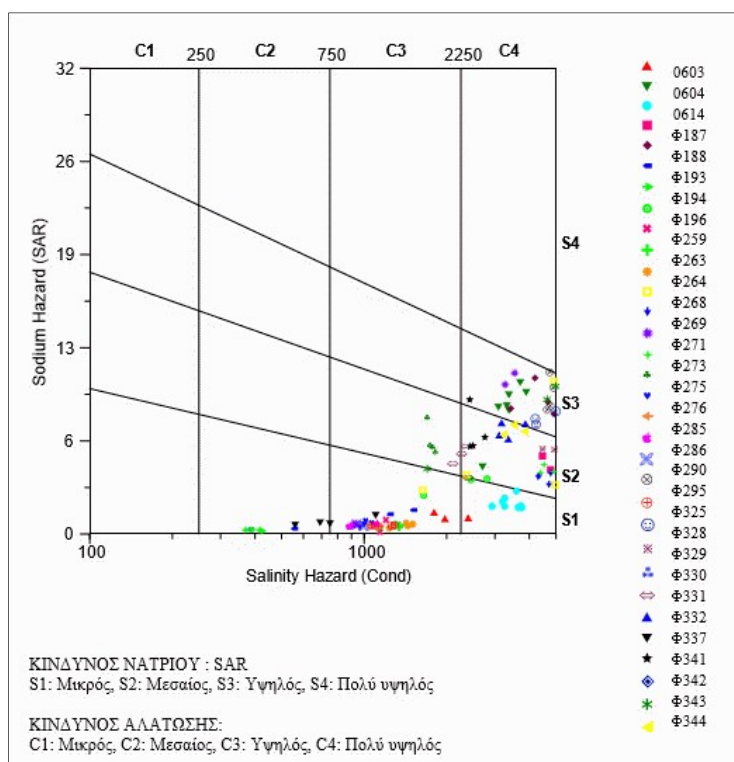
Στην ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου Πεδίου και ιδιαίτερα του Ασπροπύργου υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις νερού για την κάλυψη των αναγκών της γεωργίας και της βιομηχανίας.

#### **9.2.2.1. Ποιότητα Νερού Θριάσιου Πεδίου**

Το Θριάσιο Πεδίο είναι μια περιοχή επιβαρημένη από άποψη ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων νερών. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υπογείων υδάτων στην περιοχή προέρχονται από αστικά βοθρολύματα, αγροτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες και από τον χώρο διάθεσης απορριμμάτων Άνω Λιοσίων. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΠΓΜΕ η ολική σκληρότητα (mg/l CaCO<sub>3</sub>) και τα ολικά διαλυμένα στερεά κυμαίνονται μεταξύ 400– 2.000 mg/l και 500–1500 mg/l. Στην περιοχή που εκτείνεται μεταξύ Ελευσίνας, Μαγούλας και Μάνδρας οι συγκεντρώσεις ολικής σκληρότητας και ολικών διαλυτών στερεών ξεπερνούν αντίστοιχα τα 1.000 και 6.000 mg/l [88,91].

Επιπλέον, αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα θαλάσσιας διείσδυσης, με αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, που κυμαίνονται και 60–2.000 mg/l, με μέση τιμή 400mg/l, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στις παράκτιες περιοχές [91].

Οι συγκεντρώσεις νιτρικών στο νότιο μισό του Θριάσιου Πεδίου συχνά ξεπερνούν τα 50 mg/l. Ειδικά κοντά στα αστικά κέντρα (Ασπρόπυργος, Ελευσίνα) συχνά παρατηρούνται συγκεντρώσεις νιτρικών που ξεπερνούν τα 300 mg/l και οφείλονται στις εντατικές καλλιέργειες της περιοχής και την ύπαρξη ανάντη της χωματερής Άνω Λιοσίων. Το βόρειο μισό του Θριάσιου Πεδίου διαθέτει ικανοποιητικής ποιότητας υπόγεια νερά κατάλληλα σχεδόν για κάθε χρήση, κυρίως, λόγω της απουσίας σημαντικών ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η λειτουργία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας των Λυμάτων της περιοχής του Θριάσιου Πεδίου αναμένεται να οδηγήσει σταδιακά σε βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων υδάτων της περιοχής [88].



**Σχήμα 9.2.1 :** Απεικόνιση κατά WILCOX χημικής κατάστασης υπόγειων νερών περιοχής Θριάσιου Πεδίου [92]

### 9.2.2.2. Γεωλογία Θριάσιου Πεδίου

Το υδροφόρο σύστημα του Θριάσιου Πεδίου είναι κοκκώδες και συνίσταται από αλλουβιακές (άμμοι, πηλοί, χάλικες, λατύπες) και Πλειστοκαινικές αποθέσεις (υδροπερατά πετρώματα) υπό τη μορφή ριπιδίων χειμάρρων, κώνων κορημάτων και πλευρικών κορημάτων [91]. Το υπόστρωμα του αποτελεί ανθρακικός ρωγματικός σχηματισμός, κυρίως ανθρακικής και σχιστοψαμμιτικής σύστασης. Δομείται από υλικά



όλου σχεδόν του κοκκομετρικού φάσματος [91]. Συνεπώς η περιοχή είναι κατάλληλη για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με συστήματα SAT.

#### **9.2.2.3. Υδρογεωλογία Θριάσιου Πεδίου**

Το μέγιστο βάθος στάθμης του υδροφόρου φθάνει τα 80 m, με τα 30 m να είναι το μέσο βάθος αυτής. Το ετήσιο πλάτος κύμανσης της στάθμης ανέρχεται σε 1,30 m. Η τροφοδοσία του σχηματισμού γίνεται από βροχοπτώσεις και διηθήσεις επιφανειακών απορροών. Η εκφόρτιση επιτελείται υπόγεια προς τη θάλασσα και μέσω απολήψεων. Η περατότητα εκτιμάται μεταξύ  $10^{-5}$  και  $10^{-4}$  m/sec (υδροπερατοί σχηματισμοί), η υδαταγωγιμότητα μεταξύ  $5 \times 10^{-4}$  και  $5 \times 10^{-3}$  ενώ η αποθηκευτικότητα μεταξύ 8 και 18% [91]. Ο ρυθμός διήθησης λαμβάνεται ίσος με 1m/ημέρα.

#### **9.2.2.4. Υδρολογικό Ισοζύγιο Θριάσιου Πεδίου**

Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 380 mm. Ο υδροφορέας βρίσκεται σε καθεστώς έντονης εκμετάλλευσης μέσω γεωτρήσεων και φρεάτων με τις απολήψεις από αυτόν να ανέρχονται σε  $9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/y. Η επανατροφοδοσία του συστήματος προέρχεται κατά το μεγαλύτερο μέρος από την απ' ευθείας κατείδυση της βροχής και υπολογίζεται σε  $8 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/y με συνέπεια την ελλειμματικότητα του συστήματος [91].

### **9.2.3. Μέγαρα**

Το υδροφόρο σύστημα των Μεγάρων αναπτύσσεται στην ευρύτερη πεδινή περιοχή της πόλης των Μεγάρων στη Δυτική Αττική και έχει έκταση 61 km<sup>2</sup>. Πρόκειται για κοκκώδες υδροφόρο σύστημα το οποίο είναι υπό καθεστώς εκμετάλλευσης για την εξυπηρέτηση γεωργικών και βιοτεχνικών / βιομηχανικών δραστηριοτήτων [91].

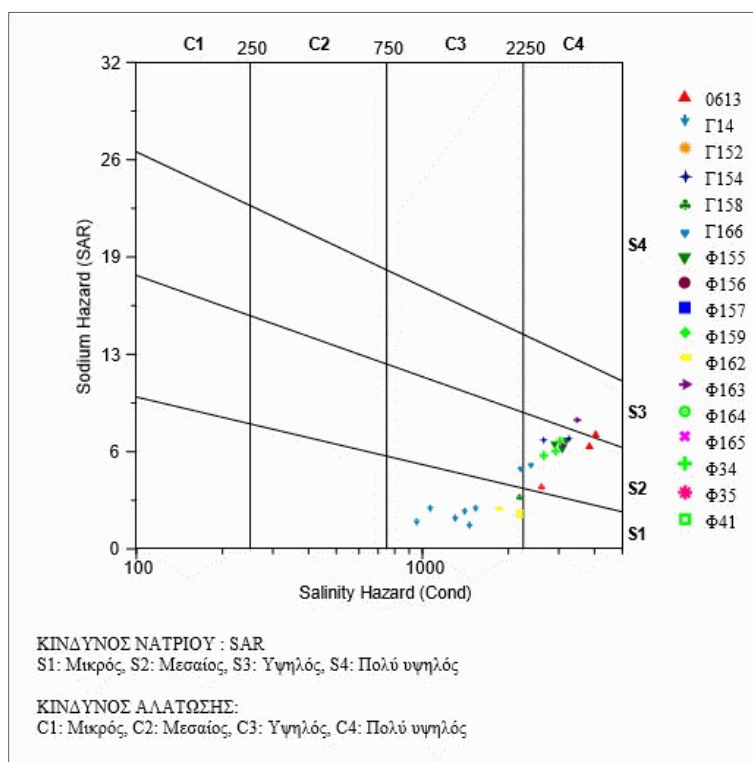
#### **9.2.3.1. Ποιότητα Νερού Μεγάρων**

Η ποιότητα της υδροφορίας επηρεάζεται έντονα από τη γεωργική δραστηριότητα αλλά και την αστική περιοχή Μεγάρων με συνέπεια τη γενικευμένη νιτρορύπανση της υδροφορίας. Ο υδροφόρος παρουσιάζει φαινόμενα υφαλμύρινσης, λόγω της

υπερεκμετάλλευσής του με αυξητική τάση της περιεκτικότητας σε χλωριόντα καθώς προσεγγίζεται το θαλάσσιο μέτωπο.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ η ολική σκληρότητα (mg/l CaCO<sub>3</sub>) κυμαίνεται μεταξύ 100– 3.500 mg/l με μέση τιμή τα 1.000 mg/l [91] και τα ολικά διαλυτά στερεά μεταξύ 100-1.500 mg/l [88].

Επιπλέον, αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα θαλάσσιας διείσδυσης, με αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, που κυμαίνονται και 200–4.000 mg/l, με μέση τιμή 2.000mg/l, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στις παράκτιες περιοχές [91]. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών κυμαίνονται μεταξύ 10-300 mg/l με μέση τιμή τα 130mg/l και οφείλονται στις εντατικές καλλιέργειες της περιοχής [91].



Σχήμα 9.2.2 : Απεικόνιση κατά WILCOX χημικής κατάστασης υπόγειων νερών περιοχής Μεγάρων [92]

### 9.2.3.2. Γεωλογία Μεγάρων

Ο υδροφορέας αποτελείται από προσχώσεις (Τεταρτογενές) ως ριπίδια, ως πληρώματα της χαμηλής νότιας, νοτιοανατολικής περιοχής και δευτερευόντως ως καλύμματα πρανών μικρού πάχους [91]. Οι αποθέσεις της χαμηλής περιοχής αποτελούνται από αλλουβιακές προσχώσεις χειμάρρων ενώ τα ανάντη τμήματα από παλαιές προσχώσεις ως χειμαρρώδεις αποθέσεις και αλλουβιακά ριπίδια από κροκάλες, άμμο και λατύπες,

ποικίλης προελεύσεως και σε μεταβαλλόμενη κατά τόπους αναλογία. Το πάχος του σχηματισμού είναι σημαντικό και υπερβαίνει κατά τόπους τα 100 m [91].

#### **9.2.3.3. Υδρογεωλογία Μεγάρων**

Η υδροφορία είναι γενικά ελεύθερου τύπου πλην του Βόρειο Δυτικού τομέα, όπου τοπικά είναι μερικώς υπό πίεση. Το όλο σύστημα επίκειται σχεδόν εξ ολοκλήρου νεογενούς υποστρώματος λεπτομερούς συνήθως κοκκομετρίας μετά του οποίου τοπικά ευρίσκεται σε συνθήκες υδραυλικής συνέχειας. Η γενική περατότητα του σχηματισμού είναι χαμηλή λόγω της συμμετοχής σε όλες εν γένει τις αδρομερείς φάσεις λεπτομερούς μέλους (αργίλου κ.λ.π.). Αντίθετα, η γενική υδροχωρητικότητα, λόγω μεγάλου αναπτύγματος του σχηματισμού, είναι αυξημένη. Η τροφοδοσία του σχηματισμού γίνεται από την άμεση κατεΐσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και από διηθήσεις επιφανειακών απορροών. Η εκφόρτιση του υδροφόρου γίνεται με υπόγεια αποστράγγιση προς τη θάλασσα και μέσω των απολήψεων νερού. Η υδροφορία διαμορφώνεται σε μέσο υψόμετρο 40 m με μέσο βάθος στάθμης περί τα 30 m. Το ετήσιο πλάτος κύμανσής της ανέρχεται σε 1,5 m περίπου [91].

Η περατότητα εκτιμάται μεταξύ  $10^{-6}$  και  $10^{-5}$  m/sec (ημιπερατοί σχηματισμοί χαμηλής περατότητας), η υδαταγωγιμότητα μεταξύ  $5 \times 10^{-5}$  και  $5 \times 10^{-4}$  ενώ η αποθηκευτικότητα μεταξύ 5 και 12% [91]. Ο ρυθμός διήθησης λαμβάνεται ίσος με 1m/ημέρα.

#### **9.2.3.4. Υδρολογικό Ισοζύγιο Μεγάρων**

Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 400 mm. Η επανατροφοδοσία του συστήματος, προερχόμενη από άμεση κατεΐσδυση βροχής και διηθήσεις επιφανειακής απορροής, υπολογίζεται σε  $7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/y. Οι απολήψεις από τον υδροφορέα, μέσω φρεάτων και γεωτρήσεων, εκτιμώνται σε  $10 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/y, με συνέπεια το ισοζύγιο να βαίνει ελλειμματικό [91].

#### **9.2.4. Αξιολόγηση Ποιοτικών και Ποσοτικών χαρακτηριστικών των Υδατικών Συστημάτων του Θριάσιου Πεδίου και των Μεγάρων**

Όπως διαπιστώνεται από τις προηγούμενες παραγράφους και οι δύο περιοχές αντιμετωπίζουν παρόμοιο πρόβλημα όσον αφορά τη χημική κατάσταση των υπόγειων υδάτων, που οφείλεται σε ανθρωπογενή αίτια και όχι σε φυσικά, κυρίως λόγω της παρουσίας αγροτικών και βιομηχανικών χρήσεων με αποτέλεσμα να έχει υποβαθμιστεί η ποιότητα του υδατικού συστήματος. Επιπροσθέτως εξαιτίας των υπεραντλήσεων παρουσιάζεται ζήτημα υφαλμύρυνσης και υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτό συνεπάγεται ότι το κόστος του νερού, ως φυσικός πόρος, στην περίπτωση και των δύο περιοχών θα έπρεπε να περιλαμβάνει επιπλέον του κόστους άντλησης και διανομής (αντλιοστάσια και δίκτυα διανομής) και περιβαλλοντικό κόστος, αλλά και κόστος φυσικού πόρου, εφόσον η χρήση του έχει ως αποτέλεσμα ελλειμματικό υδρολογικό ισοζύγιο.

Η μεταφορά νερού στις περιοχές με σκοπό τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδατικών συστημάτων θα συνέβαλε στην αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος τόσο από ποιοτικής όσο και από ποσοτικής άποψης. Το κόστος των έργων για τη μεταφορά αυτή, ουσιαστικά θα αποτελεί μέρος του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου, που στην περίπτωση μας δεν είναι απλό να διαχωριστούν.

Πριν την επιλογή των εναλλακτικών σεναρίων θα ήταν καλό να εξεταστεί αναλυτικότερα το μηδενικό σενάριο και για τις δύο περιοχές όσον αφορά το υδρολογικό ισοζύγιο. Από τα στοιχεία του ακόλουθου Πίνακα 9.2.1 διαπιστώνεται ότι το πρόβλημα είναι εντονότερο στην περιοχή των Μεγάρων.

**Πίνακας 9.2.1 :** Υδρολογικό Ισοζύγιο (μηδενικό σενάριο)

	<b>ΘΡΙΑΣΙΟ ΠΕΔΙΟ</b>	<b>ΜΕΓΑΡΑ</b>
Ετήσια ζήτηση νερού (m <sup>3</sup> )	9.000.000	10.000.000
Ετήσια επανατροφοδοσία συστήματος από απ' ευθείας κατείδυση (m <sup>3</sup> )	8.000.000	7.000.000
Ετήσια μείωση αποθεμάτων m <sup>3</sup>	-1.000.000	-3.000.000
<b>Ετήσιος υποβιβασμός στάθμης υδροφόρου ορίζοντα (m)</b>	<b>-0,012</b>	<b>-0,049</b>
<b>Μέσο βάθος υδροφόρου ορίζοντα σε 30 έτη (m)</b>	<b>29,63</b>	<b>28,52</b>

Στους πίνακες 9.2.2 και 9.2.3 παρουσιάζεται μια διερεύνηση τεσσάρων σεναρίων τεχνητού εμπλουτισμού με λεκάνες κατάκλυσης για κάθε περιοχή με διακύμανση στο μέγεθος των έργων, με σκοπό να επιτευχθεί τουλάχιστον η σταθεροποίηση του υδρολογικού ισοζυγίου. Στη περιοχή του Θριάσιου Πεδίου η εφαρμογή 6 λεκανών διαστάσεων 25m x 35m είναι ικανή να αντιμετωπίσει την περαιτέρω υποβάθμιση της στάθμης του υδροφόρου, ενώ στα Μέγαρα έχουμε σταθεροποίηση με τουλάχιστον διπλασιασμό της έκτασης των έργων.

Η σταθεροποίηση αυτή δεν θα αντιμετωπίσει ενδεχομένως το πρόβλημα της υφαλμύρυνσης και είναι άγνωστο σε τι βαθμό θα βελτιώσει την ποιότητα των υδάτων. Για αξιολόγηση αυτών των παραμέτρων θα πρέπει να γίνει περαιτέρω έρευνα. Συνεπώς λόγω της έλλειψης πλήρους υδρολογικού μοντέλου, δεν υπάρχει η δυνατότητα, στη φάση αυτή, να αξιολογηθούν τα σενάρια με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Τα συμπεράσματα θα στηριχθούν αποκλειστικά στα ποσοτικά χαρακτηριστικά, αξιοποιώντας τα υδρολογικά ισοζύγια.

Στα υδρολογικά ισοζύγια που προέκυψαν, έχει ληφθεί σταθερή φυσική ετήσια επανατροφοδοσία και για τα 30 έτη διάρκειας ζωής των έργων, γεγονός που μπορεί να αμφισβητηθεί εύκολα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το γεγονός ότι έχουν ληφθεί σταθερές και οι απολήψεις ενδεχομένως να εξισορροπεί κάπως την παραδοχή αυτή,

αφού αν σήμερα γίνεται αλόγιστη χρήση νερού, στο μέλλον με την εφαρμογή της Κ.Υ.Α. για την τιμολόγηση του νερού και εντέλει την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60/ΕΚ η αλόγιστες αντλήσεις θα απόμειωθούν.

Αβεβαιότητα αποτελεί επίσης και το γεγονός ότι λαμβάνεται σταθερός ρυθμός διήθησης ίσος με 1m/ ημέρα και λειτουργία των λεκανών 9 μήνες ετησίως, ώστε να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της απόφραξης των πόρων του εδάφους το υπόλοιπο τρίμηνο ετησίως, μέσω συντήρησης και καθαρισμού τους. Πριν την κατασκευή των μόνιμων έργων απαιτείται, όπως προαναφέρθηκε η εγκατάσταση πιλοτικών μονάδων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Πίνακας 9.2.2 : Υδρολογικό Ισοζύγιο (εφαρμογή SAT System) στο Θριάσιο Πεδίο

	6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	82.000.000			
Μέσο βάθος υδροφόρου ορίζοντα (m)	30			
Συνολικός αποθηκευτικός χώρος (m <sup>3</sup> )	2.460.000.000			
Ημερήσια ποσότητα που διηθείται με ρυθμό 1m (m <sup>3</sup> )	5.250	10.500	15.750	21.000
Απαιτούμενη παροχή (m <sup>3</sup> /h)	219	438	656	875
Ετήσια ποσότητα που διηθείται με δεδομένο ότι τρεις μήνες δε θα λειτουργούν, λόγω συντήρησης (m <sup>3</sup> )	1.443.750	2.887.500	4.331.250	5.775.000
<b>Συνολική ποσότητα επανατροφοδοσίας για διάρκεια 30 έτη</b>	<b>43.312.500</b>	<b>86.625.000</b>	<b>129.937.500</b>	<b>173.250.000</b>
<b><u>Υδρολογικό Ισοζύγιο μετά από τον Τεχνητό Εμπλουτισμό</u></b>				
Ετήσια ζήτηση νερού (m <sup>3</sup> )	9.000.000			
Ετήσια επανατροφοδοσία συστήματος από απ' ευθείας κατείδυση (m <sup>3</sup> )	8.000.000			
Ετήσια μείωση αποθεμάτων (m <sup>3</sup> )	-1.000.000			
Ετήσια επανατροφοδοσία συστήματος από τεχνητό εμπλουτισμό (m <sup>3</sup> )	1.443.750	2.887.500	4.331.250	5.775.000
<b>Νέο υδρολογικό ισοζύγιο (m<sup>3</sup>)</b>	<b>443.750</b>	<b>1.887.500</b>	<b>3.331.250</b>	<b>4.775.000</b>
Επιλέον Ποσότητα σε 30 έτη (m <sup>3</sup> )	13.312.500	56.625.000	99.937.500	143.250.000
Μέσο βάθος υδροφόρου ορίζοντα σε 30 έτη (m)	30,16	30,69	31,22	31,75



Πίνακας 9.2.3 : Υδρολογικό Ισοζύγιο (εφαρμογή SAT System) στα Μέγαρα

	6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	61.000.000			
Μέσο βάθος υδροφόρου ορίζοντα (m)	30			
Συνολικός αποθηκευτικός χώρος (m <sup>3</sup> )	1.830.000.000			
Ημερήσια ποσότητα που διηθείται με ρυθμό 1m (m <sup>3</sup> )	5.250	10.500	15.750	21.000
Απαιτούμενη παροχή (m <sup>3</sup> /h)	219	438	656	875
Ετήσια ποσότητα που διηθείται με δεδομένο ότι τρεις μήνες δε θα λειτουργούν, λόγω συντήρησης (m <sup>3</sup> )	1.443.750	2.887.500	4.331.250	5.775.000
<b>Συνολική ποσότητα επανατροφοδοσίας για διάρκεια 30 έτη</b>	<b>43.312.500</b>	<b>86.625.000</b>	<b>129.937.500</b>	<b>173.250.000</b>
<b><u>Υδρολογικό Ισοζύγιο μετά από τον Τεχνητό Εμπλουτισμό</u></b>				
Ετήσια ζήτηση νερού (m <sup>3</sup> )	10.000.000			
Ετήσια επανατροφοδοσία συστήματος από απ' ευθείας κατείσδυση (m <sup>3</sup> )	7.000.000			
Ετήσια μείωση αποθεμάτων (m <sup>3</sup> )	-3.000.000			
Ετήσια επανατροφοδοσία συστήματος από τεχνητό εμπλουτισμό (m <sup>3</sup> )	1.443.750	2.887.500	4.331.250	5.775.000
<b>Νέο υδρολογικό ισοζύγιο (m<sup>3</sup>)</b>	<b>-1.556.250</b>	<b>-112.500</b>	<b>1.331.250</b>	<b>2.775.000</b>
Επιλέον Ποσότητα σε 30 έτη (m <sup>3</sup> )	-46.687.500	-3.375.000	39.937.500	83.250.000
Μέσο βάθος υδροφόρου ορίζοντα σε 30 έτη (m)	29,23	29,94	30,65	31,36

### **9.3. Σχεδιασμός και κοστολόγηση προτεινόμενων έργων**

#### **9.3.1. Γενικά**

Τα έργα τεχνητού εμπλουτισμού πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται, έτσι ώστε να ικανοποιούν τις κατά περίπτωση αναγκαίες απαιτήσεις σε σχέση με το ελάχιστο και λογικό δυνατό κόστος, λαμβάνοντας υπόψη και τις ανάλογες περιβαλλοντικές δεσμεύσεις και ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής εφαρμογής. Το μέγεθος των έργων τεχνητού εμπλουτισμού εξαρτάται από την ικανότητα διήθησης και το ρυθμό κατείσδυσης του επιφανειακού νερού προς το υπέδαφος στην περιοχή εφαρμογής και την ταχύτητα παροχέτευσης του νερού εμπλουτισμού προς την περιοχή εφαρμογής.

#### **9.3.2. Σενάριο μεταφοράς λυμάτων από το ΚΕΛΨ στο Θριασίο Πεδίο στη θέση Βελανιδιές**

Στην περίπτωση του Θριασίου λαμβάνοντας ρυθμό κατείσδυσης ίσο με 1m/ημέρα και για 6, 12, 18, 24 λεκάνες κατάκλυσης 25,00m x 35,00m για τα τέσσερα εναλλακτικά σενάρια, η απαιτούμενη ποσότητα νερού ημερησίως υπολογίζεται σε 5.250m<sup>3</sup>, 10.500 m<sup>3</sup>, 15.750 m<sup>3</sup> και 21.000 m<sup>3</sup> αντίστοιχα.

Σχεδιάζοντας για την κάθε παροχή και λαμβάνοντας υπόψη τις πιεζομετρικές διαφορές από θέση σε θέση επιλέχθηκε ο τύπος και η δυναμικότητα της αντλίας που απαιτείται.

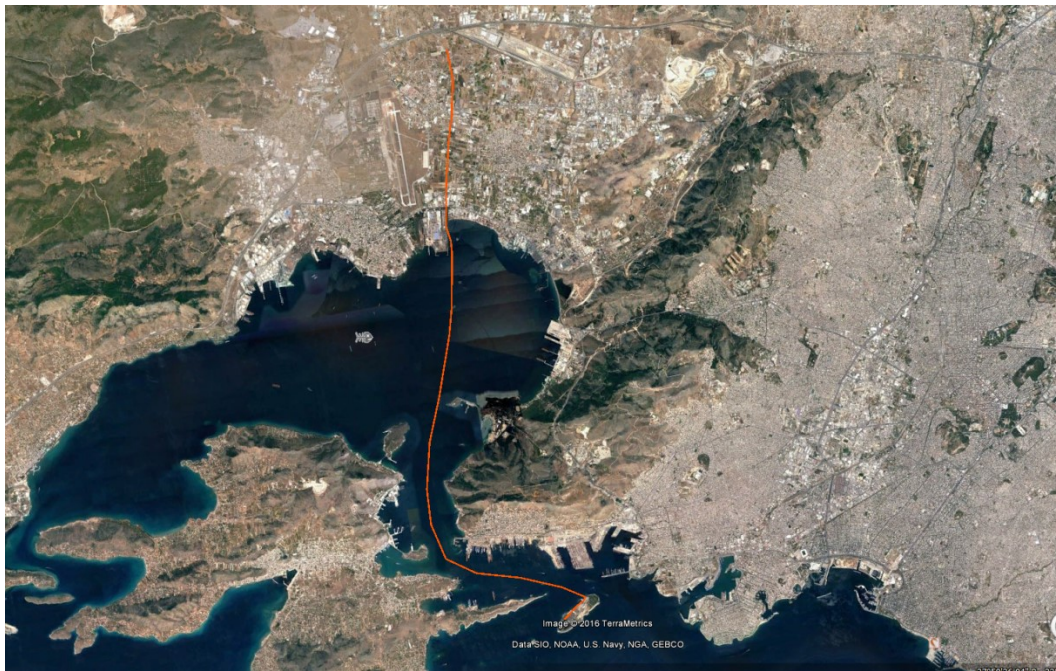
Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή μελέτης βρίσκεται σε μέσο βάθος 30m, οπότε για την έκταση των 82 Km<sup>2</sup> υπολογίζεται ότι ο αποθηκευτικός χώρος είναι 2.460 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Ο σχεδιασμός των έργων αφορά τη μεταφορά των λυμάτων από το Κ.Ε.Λ.Ψ. στη θέση του εμπλουτισμού (αγωγοί, αντλιοστάσια, δεξαμενές και υποσταθμούς) και τις λεκάνες κατάκλυσης.

Μια αρχική χάραξη του αγωγού μεταφοράς φαίνεται στη Εικόνα 9.3.1 Τα έργα που προτείνονται καλύπτουν απόσταση 19,90 Km και είναι τα ακόλουθα :

- Κατασκευή Χερσαίου αγωγού επί της Ψυττάλειας από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης έως την αρχή του υποθαλάσσιου αγωγού (0,91 Km)
- Κατασκευή Υποσταθμού για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Κατασκευή Αντλιοστασίου και δεξαμενής σε δύο θέσεις

- Κατασκευή Υποθαλάσσιου αγωγού ως Ασπρόπυργο (14 Km)
- Κατασκευή Αντλιοστασίου και δεξαμενής και τοποθέτηση ηλεκτρολογικού πίνακα για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Κατασκευή Χερσαίου αγωγού ως τις λεκάνες κατάκλισης στην περιοχή Βελανιδιές (4,99 Km)
- Απαλλοτριώσεις στην περιοχή Βελανιδιές
- Κατασκευή Αντλιοστασίου και δεξαμενής και τοποθέτηση ηλεκτρολογικού πίνακα για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Κατασκευή Λεκανών Κατάκλισης



**Εικόνα 9.3.1 :** Προεπισκόπηση προτεινόμενης διαδρομής για τη μεταφορά των λυμάτων από το Κ.Ε.Λ.Ψ. στην περιοχή Βελανιδιές στο Θριάσιο Πεδίο

Στη θέση των δεξαμενών τελικής καθίζησης απαιτείται η κατασκευή υποσταθμού της ΔΕΗ, αντλιοστασίου και δεξαμενής. Για την μεταφορά επί της Ψυτάλλειας των λυμάτων από το αντλιοστάσιο, στον υποθαλάσσιο αγωγό κατασκευάζεται χερσαίος αγωγός από χαλβδοσωλήνα Φ200, συνολικού μήκους 910m, μετά από καθαίρεση ασφαλτικών οδοστρωμάτων, εκσκαφή, επίχωση και αποκατάσταση των ασφαλτικών. Στην αρχή του υποθαλάσσιου αγωγού κατασκευάζεται αντλιοστάσιο και δεξαμενή.

Ο υποθαλάσσιος αγωγός από σκληρό πολυαιθυλένιο 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι 14 Km και για την κατασκευή και τοποθέτηση του σε περιοχές με ρηγά νερά πραγματοποιείται υποθαλάσσια εκσκαφή και προστασία του με φυσικούς ογκολίθους. Σε βάθη μεγάλα της τάξεως των 40m δεν απαιτείται υποθαλάσσια εκσκαφή και προστασία με φυσικούς ογκολίθους. Σε τέτοια βάθη ο αγωγός εδράζεται επί του φυσικού πυθμένα και είναι ερματισμένος με κατάλληλου βάρους στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, των οποίων τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά προκύπτουν μετά από υδροστατικούς υπολογισμούς. Για τον υπολογισμό των υποθαλάσσιων εκσκαφών και επιχώσεων για την ομαλοποίηση του φυσικού πυθμένα αν υπάρχουν μεγάλες ανισοσταθμίες, που δημιουργούν προβλήματα στην τοποθέτηση και λειτουργία του αγωγού, απαιτείται βυθομετρική αποτύπωση και επιλογή της βέλτιστης διαδρομής για ελαχιστοποίηση των υποθαλάσσιων χωματουργικών εργασιών. Στην πρόβλεψη κόστους που ακολουθεί αυτές οι ποσότητες δεν έχουν συμπεριληφθεί.

Στην εκβολή του αγωγού στη στεριά, στην περιοχή Ντελέζα του Ασπροπύργου, κατασκευάζεται αντλιοστάσιο και δεξαμενή. Επίσης απαιτείται η κατασκευή υποσταθμού ή η τοποθέτηση ηλεκτρολογικού πίνακα της ΔΕΗ, εφόσον υπάρχει δυνατότητα. Στην κοστολόγηση έχει ληφθεί υπόψη μόνο το κόστος του πίνακα και όχι η κατασκευή δεύτερου υποσταθμού. Εν συνεχεία τοποθετείται χερσαίος αγωγός από χαλυβδοσωλήνα ως τη θέση του έργου στην περιοχή Βελανιδιές.

Στην περιοχή των έργων του εμπλουτισμού κατασκευάζεται αντλιοστάσιο και στεγανή δεξαμενή για την παροχή του νερού στις λεκάνες κατάκλυσης. Για την κατασκευή των ρηχών λεκανών στο πρώτο σενάριο προβλέπεται εκσκαφή για τη διαμόρφωση 2 συστημάτων Α και Β, με 3 λεκάνες το καθένα και με προτεινόμενες διαστάσεις η κάθε μια: επιφάνειας 25 m × 35 m, βάθους 0,80 m, ώστε να επιτυγχάνεται ελεγχόμενα κατάκλυση νερού με βάθος το πολύ 20-30 cm (για να αποφεύγεται όσο το δυνατόν η γρήγορη εμφάνιση του προβλήματος της απόφραξης των εδαφικών πόρων του πυθμένα των λεκανών - clogging). Κάθε σύστημα λεκανών θα καλύπτει έκταση 2.625 m<sup>2</sup> και θα μπορούν να χρησιμοποιούνται εναλλάξ στο πλαίσιο των απαιτούμενων εναλλαγών χρήσης αποξήρανσης – διάβρεξης σε χρονική βάση κάποιων ημερών για την αντιμετώπιση του προβλήματος της απόφραξης των πόρων του πυθμένα αλλά και των πρανών των εκσκαφών (clogging). Στη συνέχεια ο πυθμένας των λεκανών επιστρώνεται με χαλίκι ή μεσόκοκκη άμμο (0,20 cm) και τοποθετούνται αγωγοί για τη διοχέτευση του νερού από τη δεξαμενή στις λεκάνες, όπως και των αγωγών που θα συνδέουν τις λεκάνες

ανά τρεις μεταξύ τους. Για το διπλασιασμό, τριπλασιασμό και τετραπλασιασμό των έργων έγιναν αντίστοιχες παραδοχές.

Οι διάφορες μέθοδοι εμπλουτισμού παρουσιάζουν διαφορετικά οικονομικά στοιχεία. Στις μεθόδους εμπλουτισμού με κατάκλυση, το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους οφείλεται:

- στη μεταφορά του νερού εμπλουτισμού από και προς την περιοχή εμπλουτισμού
- στην επαρκή και ασφαλή λειτουργία και συντήρηση των έργων εμπλουτισμού.
- στις απαλλοτριώσεις γεωργικών-αγροτικών εκτάσεων

Τα οικονομικά στοιχεία για την κατασκευή του υποθαλάσσιου και χερσαίου αγωγού μεταφοράς του νερού εμπλουτισμού, των ηλεκτρομηχανολογικών υποδομών, των λεκανών κατάκλυσης και των απαλλοτριώσεων, στα πλαίσια της προτεινόμενης λύσης, υπολογίζονται με βάση τα τιμολογιακά στοιχεία του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 έως 4 του Παραρτήματος. Για την κοστολόγηση των αντλιών έγινε έρευνα αγοράς με δεδομένες τις απαιτούμενες ωριαίες παροχές και το μανομετρικό της κάθε αντλίας. Τέλος για τον υπολογισμό του κόστους απαλλοτρίωσης λήφθηκαν στοιχεία από τη Γενική Γραμματεία Πληροφοριακών Συστημάτων ([www.gsis.gr](http://www.gsis.gr)).

Στον Πίνακα 9.3.1 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα αποτελέσματα της κοστολόγησης των τεσσάρων εναλλακτικών σεναρίων στην περιοχή του Θριασίου και αντίστοιχα στον Πίνακα 9.3.2 το % ποσοστό συμμετοχής της κάθε ομάδας.

Πίνακας 9.3.1 : Συνοπτικοί Προϋπολογισμοί εναλλακτικών σεναρίων εμπλουτισμού στο Θριάσιο Πεδίο

ΟΜΑΔΑ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
	Ολική Δαπάνη			
ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	2.124.230 €	2.124.230 €	2.124.230 €	2.446.800 €
ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ	617.712 €	617.712 €	617.712 €	714.917 €
ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ	75.676 €	75.676 €	75.676 €	75.676 €
ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ - ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ	278.584 €	448.836 €	554.603 €	692.758 €
ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	25.716 €	51.433 €	77.149 €	102.865 €
ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ	31.625 €	60.500 €	89.375 €	118.250 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>3.153.544 €</b>	<b>3.378.386 €</b>	<b>3.538.745 €</b>	<b>4.151.267 €</b>

Πίνακας 9.3.2 : Ποσοστό συμμετοχής κάθε ομάδας στο συνολικό προϋπολογισμό (Θριάσιο Πεδίο)

ΟΜΑΔΑ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
	Ολική Δαπάνη σε % ποσοστά			
ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	67,4%	62,9%	60%	58,9%
ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ	19,6%	18,3%	17,5%	17,2%
ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ	2,4%	2,2%	2,1%	1,9%
ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ - ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ	8,8%	13,3%	15,7%	16,7%
ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	0,8%	1,5%	2,2%	2,5%
ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ	1%	1,8%	2,5%	2,8%
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Όπως διαπιστώνεται, το μεγαλύτερο ποσοστό της τάξης του 76,2%-86,9% καλύπτεται από το κόστος Λιμενικών και Υδραυλικών έργων, δηλαδή το κόστος της υποθαλάσσιας και χερσαίας μεταφοράς. Ακολουθεί το κόστος της ομάδας των ηλεκτρομηχανολογικών εργασιών με ποσοστό της τάξης 8,8%-16,7%, που περιλαμβάνει την προμήθεια αντλιών και το κόστος των Η/Μ εγκαταστάσεων των αντλιοστασίων και του υποσταθμού της ΔΕΗ. Η ομάδα των Οικοδομικών εργασιών, που περιλαμβάνει το κόστος κατασκευής των αντλιοστασίων και του υποσταθμού παραμένει σταθερό σε όλα τα σενάρια και είναι της τάξης του 1,9% - 2,4%. Τέλος, η απαλλοτρίωση των οικοπέδων και η κατασκευή των λεκανών κατάκλυσης, είναι της τάξης του 1%-2,8% και 0,8% - 2,5% αντίστοιχα επί του συνόλου του έργου.

Όπως προαναφέρθηκε, το κόστος της μεταφορά του νερού στη θέση εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού των υδατικών συστημάτων θα αποτελέσει επί της ουσίας μέρος του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου, επειδή ο τεχνητός εμπλουτισμός θα συμβάλει στην αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος τόσο από ποιοτικής (άγνωστος βαθμός) όσο και από ποσοτικής άποψης. Γνωρίζοντας τη συνολική επένδυση που απαιτείται για την κατασκευή των υποδομών και λαμβάνοντας επιτόκιο 7%, γίνεται αναγωγή της παρούσας αξίας της επένδυσης σε μελλοντική αξία για διάρκεια ζωής των έργων 30 έτη.

Στο χρηματοοικονομικό κόστος του νερού συνυπολογίστηκε το κόστος κεφαλαίου για την αντικατάσταση των αντλιών μετά από μια 15ετία.

Το λειτουργικό κόστος για την κατανάλωση ενέργειας των αντλιών, προέκυψε λαμβάνοντας 0,11346 €/ Kwh για κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας και 0,0661 €/ Kwh για κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας από τα τιμολόγια της ΔΕΗ (Μ.Ο. 0,08978 €/ Kwh). Η τιμή αυτή θεωρήθηκε σταθερή στη διάρκεια ζωής του έργου, γεγονός που δεν ισχύει. Η αύξηση ή μείωση του κόστους της ενέργειας στο μέλλον θα επηρεάσει αναλογικά και το λειτουργικό κόστος του νερού, που θα επαναχρησιμοποιείται. Στον πίνακα 9.3.3 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του συνολικού κόστους ενέργειας για τη λειτουργία των αντλιών με διαφορετική ωριαία παροχή (τέσσερα σενάρια).



**Πίνακας 9.3.3 : Υπολογισμός κόστους κατανάλωσης ενέργειας αντλιών**

	Αντλίες (τεμ)	Ετήσια Ζήτηση	Απαιτούμενες ώρες λειτουργίας αντλιών / έτος	kw Αντλίας	KWH/ έτος	Ετήσιο κόστος ενέργειας	Συνολικό Κόστος ενέργειας από 4 αντλίες
Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 10m	2	1.443.750,00	11.550,00	11	127.050	11.407	<b>115.102</b>
Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 50m	1	1.443.750,00	5.775,00	85	490.875	44.071	
Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 70m	1	1.443.750,00	5.775,00	115	664.125	59.625	
Αντλία για παροχή 500m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 10m	2	2.887.500,00	11.550,00	22	254.100	22.813	<b>199.096</b>
Αντλία για παροχή 500m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 50m	1	2.887.500,00	5.775,00	115	664.125	59.625	
Αντλία για παροχή 500m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 70m	1	2.887.500,00	5.775,00	225	1.299.375	116.658	
Αντλία για παροχή 650m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 10m	2	4.331.250,00	13.326,92	29	381.150	34.220	<b>258.263</b>
Αντλία για παροχή 650m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 50m	1	4.331.250,00	6.663,46	150	996.188	89.438	
Αντλία για παροχή 650m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 70m	1	4.331.250,00	6.663,46	225	1.499.279	134.605	
Αντλία για παροχή 900m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 10m	2	5.775.000,00	12.833,33	41	526.167	47.239	<b>320.881</b>
Αντλία για παροχή 900m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 50m	1	5.775.000,00	6.416,67	225	1.443.750	129.620	
Αντλία για παροχή 900m <sup>3</sup> /h με μανομετρικό 70m	1	5.775.000,00	6.416,67	250	1.604.167	144.022	

Τέλος, στο λειτουργικό κόστος συνυπολογίστηκε το κόστος προσωπικού για τη λειτουργία των λεκανών κατάκλυσης για 9 μήνες ετησίως.

Στο κόστος συντήρησης περιλαμβάνεται το κόστος προσωπικού για 3 μήνες ετησίως, τρίτων εργολάβων και χημικών για την συντήρηση των λεκανών κατάκλυσης και των αντλιοστασίων.

Το κόστος διοίκησης έχει ληφθεί μηδενικό στους υπολογισμούς, όμως δεν είναι. Για τον υπολογισμό απαιτείται η γνώση των οικονομικών στοιχείων του φορέα, που θα διαχειρίζεται τα έργα (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.) και επιμερισμός του κόστους διοίκησης του.

Τα αποτελέσματα του χρηματοοικονομικού, περιβαλλοντικού κόστους και κόστους πόρου παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.3.4.

Στο Θριάσιο Πεδίο το πρώτο σενάριο είναι ικανό να αντιμετωπίσει τον περαιτέρω υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου. Σε αυτή την περίπτωση η συνολική επένδυση για την κατασκευή των έργων υποδομής είναι 3.153.544 €. Η συνολική τιμή μονάδος για κάθε  $m^3$  νερού που μεταφέρεται για εμπλουτισμό στην περιοχή, αφού συνυπολογιστεί εκτός από την επένδυση (περιβαλλοντικό κόστος και κόστος πόρου  $0,176 \text{ €/m}^3$ ) και το χρηματοοικονομικό κόστος είναι **0,292 €**. Σε αυτή την τιμή δεν περιλαμβάνεται το κόστος άντλησης και διανομής του. Επιπλέον, δεν περιλαμβάνει το περιβαλλοντικό κόστος του νερού που συνδέεται με την κακή χημική κατάσταση του νερού της περιοχής από ανθρωπογενή αίτια, εφόσον όπως αναφέρθηκε τα έργα που προτείνονται δεν είναι γνωστό σε τι βαθμό θα την βελτιώσουν. Το σενάριο που έχει προταθεί σταθεροποιεί το υδρολογικό ισοζύγιο, όμως ενδεχομένως να μη βελτιώνει στα επιθυμητά όρια την ποιότητα του υπόγειου νερού.

Είναι προφανές ότι για τα σενάρια 2,3,4 επειδή οι ποσότητες είναι μεγαλύτερες το πρόβλημα θα λυνόταν σε μικρότερο χρονικό διάστημα όμως θα απαιτούνταν μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή των υποδομών. Σε εκείνες τις περιπτώσεις η τιμή μονάδος του νερού θα ήταν αρκετά μικρότερη.

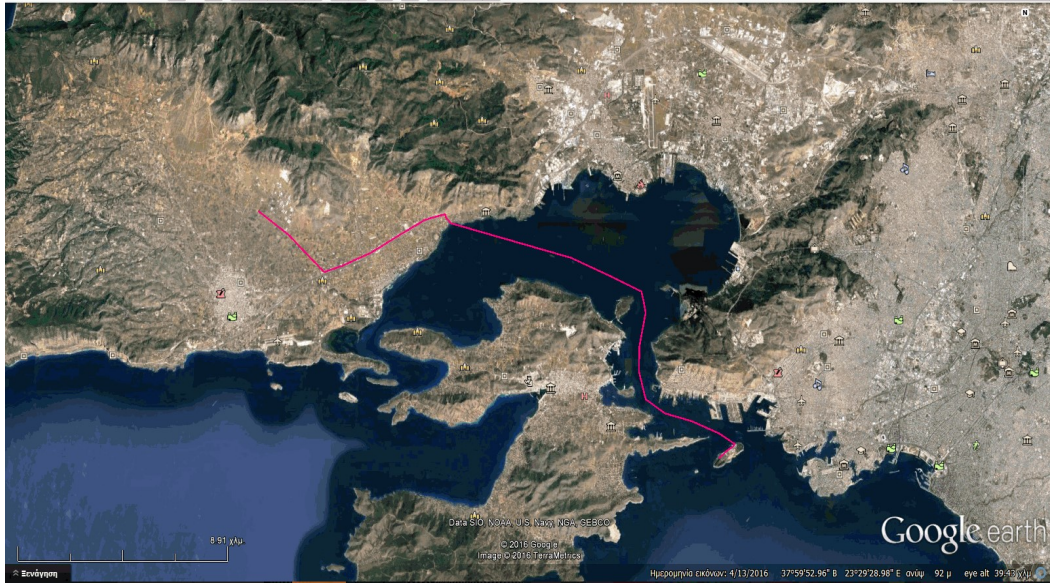
**Πίνακας 9.3.4 :** Κόστος νερού για τα εναλλακτικά σενάρια εμπλουτισμού στο Θριάσιο Πεδίο

			6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
<b>Ετήσιο Χρηματοοικονομικό Κόστος</b>	Κόστος Κεφαλαίου	Κόστος αντικατάστασης Παγίων	7.945 €	14.412 €	17.294 €	22.786 €
	Λειτουργικό Κόστος	Κόστος κατανάλωσης ενέργειας	115.102 €	199.096 €	258.263 €	320.881 €
		Κόστος διαχείρισης λειτουργίας λεκανών κατάκλυσης	27.000 €	27.000 €	54.000 €	54.000 €
	Κόστος Συντήρησης	Κόστος προσωπικού και υλικών για συντήρηση των λεκανών κατάκλυσης και των αντλιοστασίων	14.500 €	14.500 €	23.500 €	23.500 €
	Κόστος Διοίκησης	Κόστος προσωπικού διοίκησης, λειτουργίας του Διοικητικού Συμβουλίου, αμοιβές τρίτων συνεργατών	0 €	0 €	0 €	0 €
<b>Ετήσιο Περιβαλλοντικό Κόστος και Κόστος Πόρου</b>		Κόστος κατασκευής συμπληρωματικών έργων για την προστασία των Υδατικών Συστημάτων (με αναγωγή της παρούσας αξίας σε 30 έτη με επιτόκιο 7%)	254.133 €	272.252 €	285.175 €	334.536 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>418.680 €</b>	<b>527.260 €</b>	<b>638.231 €</b>	<b>755.703 €</b>
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΝΕΡΟΥ €/m3</b>			<b>0,2900</b>	<b>0,1826</b>	<b>0,1474</b>	<b>0,1309</b>

### 9.3.3. Σενάριο μεταφοράς λυμάτων από το ΚΕΛΨ στα Μέγαρα στη θέση «Άγιος Γεώργιος»

Όπως στην περιοχή του Θριάσιου Πεδίου, έτσι και στην περιοχή των Μεγάρων ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μέσο βάθος 30m, οπότε για την έκταση των 61 Km<sup>2</sup> υπολογίζεται ότι ο αποθηκευτικός χώρος είναι 1.830 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Μια αρχική χάραξη του αγωγού μεταφοράς φαίνεται στη Εικόνα 9.3.2 και τα τα έργα που προτείνονται καλύπτουν απόσταση 28,60 Km και είναι τα ακόλουθα :

- Κατασκευή Χερσαίου αγωγού επί της Ψυττάλειας από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης έως την αρχή του υποθαλάσσιου αγωγού (0,91Km)
- Κατασκευή Υποσταθμού για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Κατασκευή Αντλιοστασίου και δεξαμενής σε δύο θέσεις
- Κατασκευή Υποθαλάσσιου αγωγού ως Ασπρόπυργο (17,30 Km)
- Κατασκευή Αντλιοστασίου και δεξαμενής και τοποθέτηση ηλεκτρολογικού πίνακα για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Κατασκευή Χερσαίου αγωγού ως τις λεκάνες κατάκλισης στην περιοχή περιοχή Άγιος Γεώργιος (10,39 Km)
- Απαλλοτριώσεις στην περιοχή Άγιος Γεώργιος
- Κατασκευή Αντλιοστασίου και δεξαμενής και τοποθέτηση ηλεκτρολογικού πίνακα για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Κατασκευή Λεκανών Κατάκλισης



**Εικόνα 9.3.2 :** Προεπισκόπηση προτεινόμενης διαδρομής για τη μεταφορά των λυμάτων από το Κ.Ε.Α.Ψ. στην περιοχή πλησίον της Ιεράς Μονής Αγίου Νικολάου Μεγάρων

Τα οικονομικά στοιχεία για την κατασκευή του υποθαλάσσιου και χερσαίου αγωγού μεταφοράς του νερού εμπλουτισμού, των ηλεκτρομηχανολογικών υποδομών, των λεκανών κατάκλυσης και των απαλλοτριώσεων, στα πλαίσια της προτεινόμενης λύσης, υπολογίζονται με βάση τα τιμολογιακά στοιχεία του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και παρουσιάζονται στους Πίνακες 5 έως 8 του Παραρτήματος. Για την κοστολόγηση των αντλιών έγινε έρευνα αγοράς με δεδομένες τις απαιτούμενες ωριαίες παροχές και το μανομετρικό της κάθε αντλίας. Τέλος για τον υπολογισμό του κόστους απαλλοτρίωσης λήφθηκαν στοιχεία από τη Γενική Γραμματεία Πληροφοριακών Συστημάτων ([www.gsis.gr](http://www.gsis.gr)).

Στον Πίνακα 9.3.5 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα αποτελέσματα της κοστολόγησης των τεσσάρων εναλλακτικών σεναρίων στην περιοχή των Μεγάρων και αντίστοιχα στον Πίνακα 9.3.6 το % ποσοστό συμμετοχής της κάθε ομάδας.

Πίνακας 9.3.5 : Συνοπτικοί Προϋπολογισμοί εναλλακτικών σεναρίων εμπλουτισμού στα Μέγαρα

ΟΜΑΔΑ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
	Ολική Δαπάνη			
ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	2.447.300 €	2.447.300 €	2.447.300 €	2.835.870 €
ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ	1.106.231 €	1.106.231 €	1.106.231 €	1.292.404 €
ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ	75.676 €	75.676 €	75.676 €	75.676 €
ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ - ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ	278.584 €	448.836 €	554.603 €	692.758 €
ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	25.716 €	51.433 €	77.149 €	102.865 €
ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ	20.125 €	38.500 €	56.875 €	75.250 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>3.953.632 €</b>	<b>4.167.975 €</b>	<b>4.317.834 €</b>	<b>5.074.823 €</b>

Πίνακας 9.3.6 : Ποσοστό συμμετοχής κάθε ομάδας στο συνολικό προϋπολογισμό (Μέγαρα)

ΟΜΑΔΑ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m	24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m
	Ολική Δαπάνη σε % ποσοστά			
ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	61,9%	58,7%	56,7%	55,9%
ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ	28%	26,5%	25,6%	25,5%
ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ	1,9%	1,8%	1,8%	1,5%
ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ - ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ	7%	10,8%	12,8%	13,6%
ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	0,7%	1,2%	1,8%	2%
ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ	0,5%	1%	1,3%	1,5%
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Όπως διαπιστώνεται, το μεγαλύτερο ποσοστό της τάξης του 81,3%-89,9% καλύπτεται από το κόστος Λιμενικών και Υδραυλικών έργων, δηλαδή το κόστος της υποθαλάσσιας και χερσαίας μεταφοράς. Ακολουθεί το κόστος της ομάδας των ηλεκρομηχανολογικών εργασιών με ποσοστό της τάξης 7%-13,6%, που περιλαμβάνει την προμήθεια αντλιών και το κόστος των Η/Μ εγκαταστάσεων των αντλιοστασίων και του υποσταθμού της ΔΕΗ. Η ομάδα των Οικοδομικών εργασιών, που περιλαμβάνει το κόστος κατασκευής των αντλιοστασίων και του υποσταθμού παραμένει σταθερό σε όλα τα σενάρια και είναι της τάξης του 1,5% - 1,9%. Τέλος, η απαλλοτρίωση των οικοπέδων και η κατασκευή των λεκανών κατάκλυσης, είναι της τάξης του 0,5%-1,5% και 0,7% - 2% αντίστοιχα επί του συνόλου του έργου.

Με την ίδια λογική με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση του Θριάσιου Πεδίου, προέκυψαν τα αποτελέσματα του χρηματοοικονομικού, περιβαλλοντικού κόστους και κόστους πόρου του νερού για την περίπτωση των Μεγάρων και παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.3.7.

Στα Μέγαρα το δεύτερο σενάριο οριακά είναι ικανό να αντιμετωπίσει τον περαιτέρω υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου. Σε αυτή την περίπτωση η συνολική επένδυση για την κατασκευή των έργων υποδομής είναι 4.167.975 €. Η συνολική τιμή μονάδος για κάθε m<sup>3</sup> νερού που μεταφέρεται για εμπλουτισμό στην περιοχή, αφού συνυπολογιστεί εκτός από την επένδυση (περιβαλλοντικό κόστος και κόστος πόρου 0,1163 €/m<sup>3</sup>) και το χρηματοοικονομικό κόστος είναι **0,2064 €**. Σε αυτή την τιμή δεν περιλαμβάνεται το κόστος άντλησης και διανομής του. Επιπλέον, δεν περιλαμβάνει το περιβαλλοντικό κόστος του νερού που συνδέεται με την κακή χημική κατάσταση του νερού της περιοχής από ανθρωπογενή αίτια, εφόσον όπως αναφέρθηκε τα έργα που προτείνονται δεν είναι γνωστό σε τι βαθμό θα την βελτιώσουν. Το σενάριο που έχει προταθεί σταθεροποιεί το υδρολογικό ισοζύγιο, όμως ενδεχομένως να μη βελτιώνει στα επιθυμητά όρια την ποιότητα του υπόγειου νερού.

Είναι προφανές ότι για τα σενάρια 3,4 επειδή οι ποσότητες είναι μεγαλύτερες το πρόβλημα θα λυνόταν σε μικρότερο χρονικό διάστημα όμως θα απαιτούνταν μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή των υποδομών. Σε εκείνες τις περιπτώσεις η τιμή μονάδος του νερού θα ήταν αρκετά μικρότερη.



**Πίνακας 9.3.7 :** Κόστος νερού για τα εναλλακτικά σενάρια εμπλουτισμού στην περιοχή πλησίον της Ιεράς Μονής Αγίου Νικολάου Μεγάρων

			<b>6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m</b>	<b>12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m</b>	<b>18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m</b>	<b>24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m</b>
<b>Ετήσιο Χρηματοοικονομικό Κόστος</b>	Κόστος Κεφαλαίου	Κόστος αντικατάστασης Παγίων	7.945 €	14.412 €	17.294 €	22.786 €
	Λειτουργικό ό Κόστος	Κόστος κατανάλωσης ενέργειας	115.102 €	199.096 €	258.263 €	320.881 €
		Κόστος διαχείρισης λειτουργίας λεκανών κατάκλυσης	27.000 €	27.000 €	54.000 €	54.000 €
	Κόστος Συντήρησης	Κόστος προσωπικού και υλικών για συντήρηση των λεκανών κατάκλυσης και των αντλιοστασίων	14.500 €	14.500 €	23.500 €	23.500 €
	Κόστος Διοίκησης	Κόστος προσωπικού διοίκησης, λειτουργίας του Διοικητικού Συμβουλίου, αμοιβές τρίτων συνεργατών	0 €	0 €	0 €	0 €
<b>Ετήσιο Περιβαλλοντικό Κόστος και Κόστος Πόρου</b>	Κόστος κατασκευής συμπληρωματικών έργων για την προστασία των Υδατικών Συστημάτων (με αναγωγή της παρούσας αξίας σε 30 έτη με επιτόκιο 7%)		318.609 €	335.882 €	347.959 €	408.962 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>483.156 €</b>	<b>590.890 €</b>	<b>701.015 €</b>	<b>830.129 €</b>
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΝΕΡΟΥ €/m3</b>			<b>0,3347</b>	<b>0,2046</b>	<b>0,1619</b>	<b>0,1437</b>

#### 9.4. Αξιολόγηση προτεινόμενων έργων

Από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των δύο περιοχών διαπιστώνεται ότι αντιμετωπίζουν παρόμοιο πρόβλημα όσον αφορά τη χημική κατάσταση των υπόγειων υδάτων, που οφείλεται στην παρουσία αγροτικών και βιομηχανικών χρήσεων. Επιπλέον, λόγω των υπεραντλήσεων παρουσιάζεται πρόβλημα υφαλμύρυνσης και υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

Η μεταφορά νερού στις περιοχές με σκοπό τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδατικών συστημάτων θα συνέβαλε στην αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος τόσο από ποιοτικής όσο και από ποσοτικής άποψης.

Στη φάση αυτή, δεν είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ο βαθμός βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών συστημάτων με την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού. Για το λόγο αυτό, διερευνήθηκε η μεταβολή του υδρολογικού ισοζυγίου, ανάλογα με την ποσότητα νερού επανατροφοδοσίας μέσω τεχνητού εμπλουτισμού.

Για μηδενικό σενάριο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.2.1 το μέσο βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, που σήμερα βρίσκεται 30m από την επιφάνεια του εδάφους και στις δύο περιοχές, σε βάθος χρόνου 30 ετών θα βρίσκεται στα 29,6m στην περιοχή του Θριάσιου Πεδίου και στα 28,5m στην περιοχή των Μεγάρων. Αυτό σημαίνει ότι η αποθηκευμένη ποσότητα του νερού θα μειωθεί κατά 30 εκατ. m<sup>3</sup> στην πρώτη περίπτωση και κατά 90 εκατ. m<sup>3</sup> στη δεύτερη. Το αποτέλεσμα αυτό προέκυψε με τη θεώρηση ότι ο υδροφορέας είναι οριζόντιος έκτασης 82Km<sup>2</sup> στο Θριάσιο Πεδίο και 61Km<sup>2</sup> στα Μέγαρα και ότι έχει μέσο βάθος 30m. Στην περιοχή των Μεγάρων το πρόβλημα είναι εντονότερο, γιατί η έκταση του υδροφορέα είναι μικρότερη, η ζήτηση είναι μεγαλύτερη και η επανατροφοδοσία μικρότερη από τα αντίστοιχα του Θριάσιου Πεδίου.

Διερευνήθηκαν τέσσερα εναλλακτικά σενάρια, με σκοπό τον εντοπισμό της απαιτούμενης ποσότητας τεχνητού εμπλουτισμού, για την αποφυγή περαιτέρω υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον, κοστολογήθηκαν τα εναλλακτικά σενάρια της κάθε περιοχής με σκοπό τη διερεύνηση της τιμής μονάδος του νερού ανάλογα με τη μεταφερόμενη ποσότητα.

Τα εναλλακτικά σενάρια αφορούν διαφορετικής κλίμακας έργα υποδομής και πιο συγκεκριμένα σχεδιασθηκαν με σκοπό να επανατροφοδοτήσουν τα υπόγεια υδατικά συστήματα με 1.443.750 m<sup>3</sup>, 2.887.500 m<sup>3</sup>, 4.331.250 m<sup>3</sup> και 5.775.000 m<sup>3</sup> αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο, επειδή είναι άγνωστες οι διακυμάνσεις της φυσικής

επανατροφοδοσίας, λόγω της κλιματικής αλλαγής και της ζήτησης νερού σε βάθος χρόνου, έγινε παραδοχή ότι η ετήσια φυσική επανατροφοδοσία των συστημάτων και η ετήσια ζήτηση νερού παραμένουν σταθερές σε βάθος χρόνου 30 ετών. Επιπροσθέτως, θεωρήθηκε βαθμός διήθησης και στις δύο περιοχές ίσος με 1m την ημέρα. Τέλος, για τον υπολογισμό της ετήσιας ποσότητας που θα διηθείται, λήφθηκε υπόψη το γεγονός ότι για τρεις μήνες κατά τη διάρκεια του έτους, οι λεκάνες δεν θα λειτουργούν, ώστε να καθαρίζονται και να συντηρούνται. Η περίοδος συντήρησης δεν είναι συνεχής, αλλά τμηματική και κύριως σκοπός της είναι η απόφραξη των πόρων του εδάφους για διατήρηση του βαθμού διήθησης.

Η μελέτη των Πινάκων 9.2.2 και 9.2.3 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για την περιοχή του Θριάσιου Πεδίου αρκεί η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με έξι λεκάνες κατάκλυσης διαστάσεων 25m x 35m, εφόσον είναι ικανή να αντιμετωπίσει την περαιτέρω υποβάθμιση της στάθμης του υδροφόρου, ενώ στα Μέγαρα απαιτείται τουλάχιστον διπλασιασμός της έκτασης των έργων.

Το κόστος κατασκευής των απαιτούμενων έργων για τη σταθεροποίηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, θα αυξήσει στην αξία του νερού ως φυσικού πόρου. Το επιπλέον αυτό κόστος, ουσιαστικά αποτελεί μέρος του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου, εφόσον η χρήση του έχει ως αποτέλεσμα ελλειμματικό υδρολογικό ισοζύγιο και δημιουργεί προβλήματα υφαλμύρυνσης.

Τα έργα υποδομής που σχεδιάστηκαν για τη μεταφορά των επεξεργασμένων λυμάτων από το Κ.Ε.Λ.Ψ. στις περιοχές εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού, περιλαμβάνουν χερσαίο αγωγό επί της νήσου Ψυττάλειας, υποθαλάσσιο αγωγό και χερσαίο αγωγό από την εκβολή ως τις λεκάνες κατάκλυσης. Στον σχεδιασμό συμπεριλήφθηκαν επίσης και τα οικοδομικά έργα για την κατασκευή αντλιοστασίων και υποσταθμού καθώς και ο ηλεκτρομηχανολογικός τους εξοπλισμός. Η κατασκευή των λεκανών κατάκλυσης περιλαμβάνει εργασίες εκσκαφής και εξυγίανσης.

Το κόστος των προαναφερθέντων έργων προέκυψε με βάση τα τιμολογιακά στοιχεία του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. Για την κοστολόγηση των αντλιών έγινε έρευνα αγοράς με δεδομένες τις απαιτούμενες ωριαίες παροχές και το μανομετρικό της κάθε αντλίας. Τέλος για τον υπολογισμό του κόστους απαλλοτρίωσης λήφθηκαν στοιχεία από τη Γενική Γραμματεία Πληροφοριακών Συστημάτων.

Σε πρώτη φάση διαπιστώνεται ότι η αρχική επένδυση που απαιτείται για την κατασκευή των έργων στην περίπτωση του Θριάσιου Πεδίου είναι μικρότερη από αυτή της περίπτωσης των Μεγάρων κατά περίπου 800.000-920.000€ και για τα τέσσερα εναλλακτικά σενάρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απόσταση μεταφοράς είναι μικρότερη για τη μεταφορά στο Θριάσιο από ότι στα Μέγαρα. Στα Μέγαρα το κόστος απαλλοτρίωσης είναι μικρότερο, αλλά όχι τόσο ώστε να καλύψει τη μεγάλη διαφορά του κόστους κατασκευής των αγωγών μεταφοράς. Το κόστος των οικοδομικών και ηλεκτρομηχανολογικών έργων και στις δύο περιπτώσεις είναι ίσο.

Σκοπός της διερεύνησης είναι να καταλήξουμε στο κόστος νερού από επαχρησιμοποίηση. Αυτό περιλαμβάνει χρηματοοικονομικό, περιβαλλοντικό κόστος και κόστος πόρου. Στους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος άντλησης και διανομής (αντλιοστάσια και δίκτυα διανομής).

Όπως προαναφέρθηκε, το κόστος της μεταφοράς του νερού και η εφαρμογή SAT Systems θα αποτελέσει επί της ουσίας μέρος του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου. Γνωρίζοντας τη συνολική επένδυση που απαιτείται για την κατασκευή των υποδομών για τα εναλλακτικά σενάρια και λαμβάνοντας επιτόκιο 7%, έγινε αναγωγή της παρούσας αξίας της επένδυσης σε μελλοντική αξία για διάρκεια ζωής των έργων 30 έτη (με χρήση του τύπου PMT). Στο χρηματοοικονομικό κόστος του νερού συνυπολογίστηκε το κόστος κεφαλαίου για την αντικατάσταση των αντλιών μετά από μια 15ετία, το λειτουργικό κόστος για την κατανάλωση ενέργειας των αντλιών και το κόστος προσωπικού για τη λειτουργία των λεκανών κατάκλυσης και τέλος το κόστος συντήρησης.

Στους Πίνακες 9.3.4 και 9.3.7 παρουσιάζονται το ετήσιο κόστος για κατασκευή των έργων για τη μεταφορά του νερού και των λεκανών κατάκλυσης και το χρηματοοικονομικό κόστος για τη λειτουργία και συντήρηση των έργων αυτών.

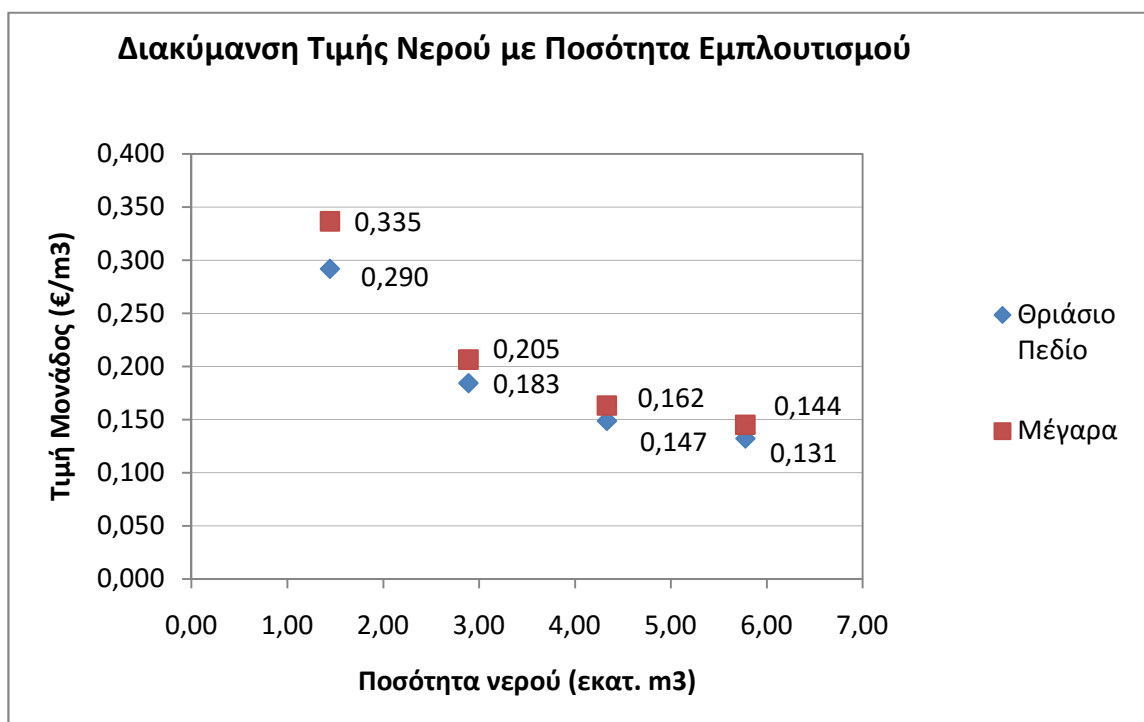
Συμπεραίνεται ότι σε ετήσια βάση, στην περίπτωση του Θριάσιου πεδίου το κόστος είναι κατά 62.000-74.000€ μικρότερο από αυτή των Μεγάρων. Η τιμή μονάδος που προκύπτει για το νερό και στις δύο περιπτώσεις μειώνεται με την αύξηση της ποσότητας που μεταφέρεται.

Στην περιοχή του Θριάσιου Πεδίου για 6 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $1.443.750 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 418.680 € με τιμή μονάδος 0,290 €/m<sup>3</sup>. Για 12 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $2.887.500 \text{ m}^3$  το

ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 527.260 € με τιμή μονάδος 0,183 €/m<sup>3</sup>. Για 18 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως 4.331.250 m<sup>3</sup> το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 638.231 € με τιμή μονάδος 0,147 €/m<sup>3</sup>. Τέλος, για 24 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως 5.775.000 m<sup>3</sup> το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 755.703 € με τιμή μονάδος 0,131 €/m<sup>3</sup>

Στην περιοχή των Μεγάρων για 6 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως 1.443.750 m<sup>3</sup> το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 483.156 € με τιμή μονάδος 0,335 €/m<sup>3</sup>. Για 12 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως 2.887.500 m<sup>3</sup> το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 590.890 € με τιμή μονάδος 0,205 €/m<sup>3</sup>. Για 18 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως 4.331.250 m<sup>3</sup> το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 717.015 € με τιμή μονάδος 0,162 €/m<sup>3</sup>. Τέλος, για 24 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως 5.775.000 m<sup>3</sup> το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 830.129 € με τιμή μονάδος 0,144 €/m<sup>3</sup>

Η διακύμανση της τιμής μονάδος του νερού σε συνάρτηση με την ποσότητα που μεταφέρεται για τεχνητό εμπλουτισμό για τις δύο περιοχές παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 9.4.1.



Σχήμα 9.4.1 : Διάγραμμα διακύμανσης τιμής νερού σε συνάρτηση με την ποσότητα εμπλουτισμού

Σε περίπτωση που εφαρμοστεί τεχνητός εμπλουτισμός σε όποια από τις δύο περιοχές και για να υπάρξει η δυνατότητα ανάκτησης του κόστους του νερού θα πρέπει να κατασκευαστούν και υποδομές για άντληση και διανομή του νερού στους χρήστες. Αυτό προϋποθέτει ότι θα διεξαχθεί έρευνα σχετικά με τη βελτίωση της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων των υπόγειων υδατικών συστημάτων, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός βελτίωσης του προβλήματος της υφαλμύρυνσης και της γενικότερης χημικής κατάστασης τους. Το τελικό κόστος που θα προκύψει σε εκείνη την περίπτωση θα συμπεριλαμβάνει τα συμπληρωματικά έργα για τη μεταφορά του νερού στις θέσεις εφαρμογής (περιβαλλοντικό κόστος και κόστος πόρου), το κόστος κατασκευής του δικτύου διανομής, το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης των έργων αυτών και το διοικητικό κόστος.





## 10. Γενικά Συμπεράσματα

- Το υδατικό διαμέρισμα Αττικής έχει έκταση  $3.207\text{Km}^2$  και περιλαμβάνει ολόκληρο το νομό Αττικής, τα νησιά Αίγινα, Σαλαμίνα και Μακρόνησο, και κάποια μικρά τμήματα της Στερεάς Ελλάδας.
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία της είναι 16 μέχρι 18 βαθμούς Κελσίου. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 350 mm στο λεκανοπέδιο Αττικής μέχρι 1.000 mm στα ορεινά τμήματα, όμως λόγω της κλιματικής αλλαγής τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται περισσότερο έντονες βροχές, που οδηγούν στην μικρότερη κατακράτηση νερού από το έδαφος.
- Η γεωμορφολογική εικόνα του διαμερίσματος χαρακτηρίζεται από ποικιλομορφία ανάγλυφου. Τα πετρώματα που συναντώνται είναι κυρίως μάρμαρα, δολομίτες, ασβεστόλιθοι, φυλλίτες, σχιστόλιθοι και κροκαλοπαγή του φλύσχη. Τα μορφολογικά ταπεινωμένα τμήματα, καλύπτονται από κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, πηλούς, ερυθροχώματα καθώς και λοιπούς σχηματισμούς θαλάσσιας, λιμναίας και χερσαίας φάσης. Από υδρογεωλογικής απόψεως, το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής έκτασης του υδατικού διαμερίσματος Αττικής καλύπτεται με καρστικούς σχηματισμούς από ασβεστόλιθο. Έχει υπολογισθεί ότι η συνολική διαθεσιμότητα των υδάτων είναι περίπου στα  $0,449\text{ km}^3$ . Από αυτά τα  $0,259\text{ km}^3$  είναι επιφανειακά νερά και τα υπόλοιπα  $0,190\text{ km}^3$  αποτελούν το υπόγειο υδατικό δυναμικό. Το μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτεται από περατούς και ημιπερατούς σχηματισμούς.
- Στην Αττικής παρατηρείται πολύ σοβαρή ρύπανση των υπόγειων υδάτων, με συγκεντρώσεις νιτρικών οι οποίες ξεπερνούν κατά πολύ το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 50 mg/l για ύδρευση. Επιπλέον εντοπίζονται έντονα προβλήματα λόγω υφαλμύρισης των υπόγειων υδάτων στις περισσότερες παράκτιες περιοχές. Η περιοχή των Μεγάρων, του Θριασίου, η Σαλαμίνα και η Αίγινα παρουσιάζουν πρόβλημα υφαλμύρνησης και είναι χαρακτηρισμένα ως κακής κατάστασης (χημικής και ποσοτικής).
- Η ετήσια ζήτηση από ανθρωπογενείς χρήσεις ανέρχεται σε περίπου 539 εκατ.  $\text{m}^3$ , με τον κύριο όγκο να αφορά υδρευτική χρήση, που ανέρχεται σε 420 εκατ.  $\text{m}^3$ . Για άρδευση χρησιμοποιούνται 99 εκατ.  $\text{m}^3$ , ποσότητα που καλύπτεται κυρίως από υπόγεια νερά και εν μέρει από νερά της ΕΥΔΑΠ. Με βάση την κατανομή

των ζώων η ζήτηση για την κτηνοτροφία είναι 2,5 εκατ. m<sup>3</sup>, ενώ για βιομηχανική χρήση η ποσότητα αυτή φτάνει τα 17,5 εκατ. m<sup>3</sup>.

- Το σύνολο των υδρευτικών κυρίως αναγκών του διαμερίσματος καλύπτεται από εισαγόμενους υδατικούς πόρους από άλλα διαμερίσματα και προέρχεται κυρίως από επιφανειακούς υδατικούς πόρους (Μαραθώνα, Υλίκη, Μόρνος, Εύηνος), μέσω υδραγωγείων. Οι Μονάδες Επεξεργασίας Νερού βρίσκονται στο Γαλάτσι, στις Αχαρνές, στο Πολυδένδρι και τη Μάνδρα Ασπροπύργου και το συνολικό μήκος δικτύου είναι 9.500 Km.
- Το αποχετευτικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου Αττικής έχει συνολικό μήκος 6.000 Km και περιλαμβάνει αγωγούς ομβρίων και ακαθάρτων. Τα 250 Km καταλήγουν στο παλαιό παντοροϊκό σύστημα και καλύπτουν το κέντρο της Αθήνας. Η επεξεργασία των λυμάτων πραγματοποιείται στη Μεταμόρφωση Αττικής και στη νήσο Ψυττάλεια, στο Θριάσιο και στα Μέγαρα.
- Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) είναι ένα από τα μεγαλύτερα ΚΕΛ στην Ευρώπη και διεθνώς, με δυναμικότητα κάλυψης πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων. Διαθέτει μέση παροχή από τα εισερχόμενα λύματα κοντά στα 730.000 m<sup>3</sup> ημερησίως. Η επεξεργασία λυμάτων στο ΚΕΛΨ περιλαμβάνει το στάδιο προεπεξεργασίας στις εγκαταστάσεις στον Ακροκέραμο, και πρωτοβάθμια επεξεργασία και προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου στις εγκαταστάσεις της Ψυττάλειας. Επίσης, πραγματοποιείται επεξεργασία ιλύος και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Τα επεξεργασμένα λύματα καταλήγουν μέσω υποθαλάσσιου αγωγού στον Σαρωνικό.
- Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ανάπτυξη του τουρισμού, οι περίοδοι ξηρασίας σε συνδυασμό με την ανομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων και η ανάγκη για αποτελεσματικότερο έλεγχο της ρύπανσης των υδατικών πόρων έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξανόμενη ζήτηση νερού και την αναζήτηση νέων και αξιόπιστων πηγών νερού για μια ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων συμβάλλει στη διατήρηση υπαρχόντων και ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων, στη μείωση του κόστους νερού, στη μείωση ποσότητας λιπασμάτων στις καλλιέργειες, στην προστασία ευαίσθητων οικοσυστημάτων και τέλος στην προστασία των υδάτινων

πόρων, σε παράκτιες κυρίως περιοχές στις οποίες παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς μέσω της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού.

- Προϋποθέσεις για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού είναι η επάρκεια διαθέσιμων υδατικών πόρων, η καταλληλότητα της ποσότητας και η ποιότητα του νερού εμπλουτισμού και των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής εφαρμογής (υδατοπερατότητα), η κοινωνική αποδοχή και τέλος το οικονομικό κόστος
- Οι μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού χωρίζονται σε μεθόδους που εφαρμόζονται απευθείας στην επιφάνεια, σε μεθόδους απευθείας στο υπέδαφος, σε μεθόδους που συνδυάζουν επιφανειακό και υπεδαφικό εμπλουτισμό και τέλος σε μεθόδους έμμεσου εμπλουτισμού. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού με εφαρμογή απευθείας στην επιφάνεια, είναι οι μέθοδοι λεκάνης κατάκλυσης, τάφρων και αυλάκων, πλημμύρας, διευθέτησης υδρορρέυματος, επανενεργοποίηση της ροής υδρορρέυματος και η άρδευση. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τη ταχύτητα κίνησης του νερού προς το υπέδαφος. Με τις μεθόδους εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος, το νερό οδηγείται σε πηγάδια και γεωτρήσεις και μέσω αυτών διοχετεύεται στο υπέδαφος, ώστε να επιτευχθεί άμεσος εμπλουτισμός. Τέτοιες μέθοδοι εφαρμόζονται μέσω φυσικών ανοιγμάτων ή ορυγμάτων, μέσω αντίστροφης αποστράγγισης, με γεωτρήσεις εμπλουτισμού, με γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης και τέλος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη. Υπάρχουν επίσης μέθοδοι που συνδυάζουν επιφανειακό και υπεδαφικό εμπλουτισμό. Τέλος, οι μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού εφαρμόζονται μέσω της άντλησης νερού από υδροφόρους με σκοπό την πρόκληση εμπλουτισμού από παρακείμενα επιφανειακά νερά, που βρίσκονται σε άμεση υδραυλική επικοινωνία. Τέτοιες μέθοδοι είναι ο επαγωγικός και συμπτωματικός εμπλουτισμός και η διευθέτηση υδροφορέων.
- Ευρέως διαδεδομένες είναι και οι μέθοδοι εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα, εφόσον αυτά πληρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις. Σε τέτοιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται κατάλληλα συστήματα με λεκάνες διήθησης ή γεωτρήσεις εισαγωγής. Η διέλευση μέσω της ακόρεστης ζώνης και τα υλικά του υδροφορέα έχει ως αποτέλεσμα το φιλτράρισμα των λυμάτων, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ικανοποιήσουν σχεδόν όλες τις ανάγκες χρήσης μη πόσιμου νερού. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν σαν "συστήματα

φυσικής επεξεργασίας μέσω του εδάφους-υδροφορέα", "Soil-Aquifer Treatment Systems" (SAT Systems) και είναι σχετικά απλά στην κατασκευή τους και τη λειτουργία τους, ανθεκτικά στο χρόνο και μικρού κόστους. Οι βασικές προϋποθέσεις, που καλό είναι να πληρούνται για την εφαρμογή ενός συστήματος SAT είναι τα εδάφη να είναι διαπερατά με υψηλή διηθητικότητα, η ακόρεστη ζώνη να μην έχει περιοριστικές στρώσεις ή ρυπασμένες ζώνες, να υπάρχει απεριόριστος υδροφορέας με καλή ποιότητα νερού στη ανώτερη στάθμη, να είναι ομοιόμορφη η επιφάνεια εδάφους (με κλίση μικρότερη του 5%), να υπάρχει κατάλληλη δομή εδάφους με χονδρόκοκκο δομή, ώστε να έχει υψηλή διηθητικότητα, αλλά και με λεπτόκοκκα συστατικά για να έχει ικανοποιητική φίλτρανση, να είναι γνωστοί οι μηχανισμοί κυκλοφορίας του νερού στο έδαφος και τον υδροφορέα και να γίνει κατάλληλη επιλογή του επιπέδου της προεπεξεργασίας για εκπλήρωση των απαιτήσεων ποιότητας του νερού. Σε περίπτωση που σε μια περιοχή δεν έχει εφαρμοσθεί ποτέ ένα σύστημα SAT είναι απαραίτητη η εγκατάσταση πιλοτικών μονάδων πριν την εγκατάσταση των μονάδων ευρείας εφαρμογής.

- Για κάθε τύπο επαναχρησιμοποίησης αναπτύσσονται ιδιαίτερα κριτήρια ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας και τους αναμενόμενους κινδύνους. Οι προδιαγραφές ποιότητας που αφορούν επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων λυμάτων δίνουν βαρύτητα στην προστασία δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, στις χρήσεις γης, και τέλος σε αισθητικούς και πολιτικούς παράγοντες. Οι μέχρι σήμερα γνωστές Οδηγίες και Κανονισμοί ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων βασίζονται στην οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), της Αμερικανικής Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S.EPA) και αυτή της πολιτείας της Καλιφόρνια.
- Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο τα τελευταία χρόνια. Η σημαντικότερες εφαρμογές έχουν γίνει σε χώρες που αντιμετωπίζουν προβλήματα ξηρασίας μεταξύ των οποίων πολλές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και περιοχών της Μεσογείου. Ωστόσο υπάρχουν αρκετά παραδείγματα εφαρμογών σε πολλές περιοχές του Καναδά, της Αυστραλίας, της Ευρώπης και της Αφρικής.

- Όσον αφορά την προστασία και κοστολόγηση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα, στα πλαίσια εφαρμογής της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, ολοκληρώθηκε η διαβούλευση του σχεδίου Κοινής Υπουργικής Απόφασης με θέμα: «Έγκριση γενικών κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης υπηρεσιών ύδατος. Μέθοδος και διαδικασίες για την ανάκτηση κόστους των υπηρεσιών ύδατος στις διάφορες χρήσεις του». Σκοπός της Κ.Υ.Α είναι η έγκριση γενικών κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης των υπηρεσιών ύδατος για διάφορες χρήσεις και κανόνων και μέτρων βελτίωσης των υπηρεσιών αυτών, καθώς και ο καθορισμός των διαδικασιών και της μεθόδου ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών αυτών, συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους υδατικού πόρου, ώστε να επιτυγχάνεται η βιώσιμη χρήση και η βελτίωση της κατάστασης των υδάτων. Σύμφωνα με την Κοινοτικής Οδηγία το συνολικό κόστος παροχής υπηρεσιών ύδατος συνίσταται στο χρηματοοικονομικό κόστος το οποίο περιγράφεται σε όρους κόστους κεφαλαίου, κόστους λειτουργίας και συντήρησης δικτύου και διοικητικό κόστος για τις επιχειρήσεις παροχής υδρευτικού και αρδευτικού ύδατος, το κόστος φυσικών πόρων, που σχετίζεται με την μείωση της διαθέσιμης ποσότητας του πόρου λόγω υπερεκμετάλλευσης και τέλος το περιβαλλοντικό κόστος ,που αντανακλά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνική ευημερία λόγω μείωσης της περιβαλλοντικής ποιότητας.
- Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνήθηκε η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με λύματα από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας, με σκοπό την ενίσχυση υπόγειων υδροφορέων της ευρύτερης περιοχής. Για την προστασία αλλά και την ενίσχυση υπόγειων υδροφορέων, στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαχείρισης των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων του υδατικού διαμερίσματος Αττικής, προτάθηκε η εφαρμογή συστημάτων Επεξεργασίας Εδάφους-Υδροφορέα, SAT (Soil-Aquifer-Treatment) στο Θριάσιο Πεδίο και στα Μέγαρα. Η περιοχές πληρούν τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού, με βάση τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά τους χαρακτηριστικά.
- Και στις δύο περιοχές μελέτης, ο υπόγειος υδροφορέας έχει υποστεί ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση ως αποτέλεσμα των υπεραντλήσεων λόγω αυξημένης ζήτησης. Διερευνήθηκαν τέσσερα εναλλακτικά σενάρια, με σκοπό τον εντοπισμό της απαιτούμενης ποσότητας τεχνητού εμπλουτισμού, για την αποφυγή

περαιτέρω υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Τα εναλλακτικά σενάρια της κάθε περιοχής κοστολογήθηκαν, με σκοπό τη διερεύνηση της τιμής μονάδος του νερού ανάλογα με τη μεταφερόμενη ποσότητα. Το κόστος κατασκευής των απαιτούμενων έργων για τη σταθεροποίηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, θα αυξήσει στην αξία του νερού ως φυσικού πόρου. Το επιπλέον αυτό κόστος, ουσιαστικά αποτελεί μέρος του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου, εφόσον η χρήση του έχει ως αποτέλεσμα ελλειμματικό υδρολογικό ισοζύγιο και δημιουργεί προβλήματα υφαλμύρυνσης.

- Στην περιοχή του Θριάσιου Πεδίου για 6 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $1.443.750 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 418.680 € με τιμή μονάδος 0,290 €/m<sup>3</sup>. Για 12 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $2.887.500 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 527.260 € με τιμή μονάδος 0,183 €/m<sup>3</sup>. Για 18 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $4.331.250 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 638.231 € με τιμή μονάδος 0,147 €/m<sup>3</sup>. Τέλος, για 24 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $5.775.000 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 755.703 € με τιμή μονάδος 0,131 €/m<sup>3</sup>
- Στην περιοχή των Μεγάρων για 6 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $1.443.750 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 483.156 € με τιμή μονάδος 0,335 €/m<sup>3</sup>. Για 12 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $2.887.500 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 590.890 € με τιμή μονάδος 0,205 €/m<sup>3</sup>. Για 18 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $4.331.250 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 717.015 € με τιμή μονάδος 0,162 €/m<sup>3</sup>. Τέλος, για 24 λεκάνες κατάκλυσης και ποσότητα μεταφοράς ετησίως  $5.775.000 \text{ m}^3$  το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 830.129 € με τιμή μονάδος 0,144 €/m<sup>3</sup>
- Για την αποφυγή περαιτέρω υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, στην περίπτωση του Θριάσιου Πεδίου αρκούν 6 λεκάνες κατάκλυσης διαστάσεων 25 m x 35 m, ενώ για την περίπτωση των Μεγάρων απαιτούνται τουλάχιστον 12 λεκάνες των ίδιων διαστάσεων.
- Τα έργα που προτείνονται εκτός από το ότι θα ενισχύσουν τους υπόγειους υδροφόρους και θα τους προστατεύσουν από την προέλαση του υφάλμυρου μετώπου., θα συμβάλλουν στην αξιοποίηση του απορριπτόμενου σήμερα

επεξεργασμένου νερού του Κ.Ε.Λ.Ψ. παρέχοντας εναλλακτικό νερό για μη πόσιμη χρήση και θα δημιουργηθούν θέσεις εργασίας κατά την κατασκευή των έργων υποδομής και κατά τη διάρκεια διαχείρισης και λειτουργίας τους.

- Για την ανάκτηση του συνολικού κόστους του νερού απαιτείται περαιτέρω έρευνα όσον αφορά το περιβαλλοντικό κόστος του νερού που οφείλεται στην κακή χημική κατάσταση του. Στο κόστος νερού θα πρέπει να συνυπολογιστεί και αυτό της άντλησης και διανομής του νερού στους χρήστες, σε περίπτωση που η ΕΥΔΑΠ κατασκευάσει έργα υποδομής για οργανωμένο δίκτυο διανομής νερού στις περιοχές καθώς επίσης και το κόστος διοίκησης.





## Βιβλιογραφία

- [1] Μετεωρολογικός Σταθμός ΕΑΑ
- [2] [http://www.watermicro.gr/wp-content/uploads/omilia\\_panagouli1.pdf](http://www.watermicro.gr/wp-content/uploads/omilia_panagouli1.pdf)
- [3] Gourmelos, T., Maroukian, H., 1990, Geomorphological observations concerning the evolution of the basin of Athens, *Geologica Balcanica*, 20. 6.
- [4] Μαρκαντωνάτος, Γ. (1990). Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα», 2η Έκδοση, Αθήνα.
- [5] Στάμου, Α. Ι. και Βογιατζής Ζ. Σ. (1994). Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων, 2η Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα.
- [6] Degremont G, (2002) *Water Treatment Handbook 6th Edition Vol 1&2* Lavoisier, Wiley.
- [7] <http://www.slideshare.net/EYDAP/ss-24530542>
- [8] Τσώνης Π. Σ., (2004). Επεξεργασία Λυμάτων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- [9] Ανδρεαδάκης, Α., Γαβαλάκη, Ε., Μαμάης, Δ., Νουτσόπουλος, Κ., Τζήμας, Α. (2003) “Πρόταση κατάρτισης ποιοτικών ορίων και προδιαγραφών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα” στα πρακτικά του επιστημονικού διημέρου (έργου LIFE 99/ENV/GR/000590) Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, Θεσσαλονίκη
- [10] Metcalf & Eddy (2007) *Water Reuse – Issues, Technologies, and Applications*, McGraw-Hill publications, New York)
- [11] Lazarova, V. and Asano, T. (2004) “Challenges of sustainable irrigation with recycled water” in Lazarova, V. and Bahri, A. (eds) *Water reuse for irrigation – Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*
- [12] Asano, T. and Levine, A. (1998) “Wastewater reclamation, recycling, and reuse: An introduction”, in Asano, T. (ed.) *Wastewater reclamation and reuse*
- [13] Αγγελάκης, Α.Ν. και Παρανυχιανάκης, Ν. (2005) “Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων: Ανάγκη θέσπισης κριτηρίων”, στα ΤΕΕ (εκδ.) πρακτικά της διημερίδας Διαχείριση υγρών αποβλήτων με αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας, Νεοχώρι Καρδίτσας
- [14] Ernst, M., Sperlich, A., Zheng, X., Gan, Y., Hu, J., Zhao, X., Wang, J., Jekel M. (2007) “An integrated wastewater treatment and reuse concept for the Olympic Park 2008, Beijing”
- [15] Metcalf & Eddy, Inc. (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, 3d ed., McGraw-Hill, New York

[16] Αντωνίου, Β., 2002. Το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του λεκανοπεδίου Αθηνών, Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

[17] Κουμαντάκης Ι., 1997 – Κεφάλαια Υδρογεωλογίας, Αθήνα

[18] <http://geodata.gov.gr/maps/?locale=el>

[19] Zervogiannis Ch., Bouckovalas G., Christoulas S. (1988), "Correlations for Mechanical Characteristics and Classification of Greek Soil Formations", Bulletin of Public Works Laboratories (KEDE)

[20] <http://www.eydap.gr>

[21] Θώδος, Η., Δ/ντής Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε., “Διαχείριση αστικών λυμάτων και παρουσίαση εγκαταστάσεων επεξεργασίας αρμοδιότητας ΕΥΔΑΠ ΑΕ”

[22] <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=777212>

[23] Ειδική Γραμματεία Υδάτων

<http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR300001011>

[24] ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων

[25] Υπουργείο Ανάπτυξης, Πρόγραμμα Διαχείρισης Υδατικών πόρων στην Ελλάδα, Παράρτημα 3: Εκτίμηση υπόγειου υδατικού δυναμικού' Α. Μόρφης, Μ. Παγούνης, Γ. Γκιώνη(1996)

[26] Μόρφης, Α., Παγούνης, Μ., Γκιώνη, Γ. (1996) Υπουργείο Ανάπτυξης, Πρόγραμμα Διαχείρισης Υδατικών πόρων στην Ελλάδα ,Παράρτημα 3: Εκτίμηση υπόγειου υδατικού δυναμικού'

[27] Καρύμπαλης, Ε. Αθήνα (2009) 'Το νερό της Αθήνας και οι επιπτώσεις του Μόρνου και Εύηνου' Περιοδικό Γεωγραφίες, τεύχος 15

[28] ΥΠΑΠΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Αττικής, ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μελετητές και Μηχανικοί ΑΕ, 2013

[http://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/GEOL104/%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%9F/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%A5%CE%94%CE%A1%CE%9F%CE%93%CE%95%CE%A9%CE%A7%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%91%CE%A3/GR06\\_RBMP\\_diaxeiristiko\\_attica.pdf](http://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/GEOL104/%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%9F/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%A5%CE%94%CE%A1%CE%9F%CE%93%CE%95%CE%A9%CE%A7%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%91%CE%A3/GR06_RBMP_diaxeiristiko_attica.pdf)

[29] ΥΠΑΠΕΝ - Ειδική Γραμματεία Υδάτων , Διαβούλευση των Σχεδίων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

[http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=54&Itemid=12](http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=54&Itemid=12)

[30] <http://itia.ntua.gr/eydap>

[31] Κουτσοχρήστου, Φ. (2012), πτυχιακή εργασία «Συγκριτικές παρατηρήσεις των υδατικών διαμερισμάτων της Ηπείρου και της Αττικής», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

[32] Baggett, S., Jeffrey, P., Jefferson, B. (2006) “Risk perception in participatory planning for water reuse”

[33] Sheehan, P., Dewhurst, R.E., James, S., Callaghan, A., Connon R., Crane M. (2003) “Is there a relationship between soil and groundwater toxicity?”, Environmental Geochemistry and Health.

[34] Toze, S. (2006) “Reuse of effluent water—benefits and risks”, Agricultural Water Management

[35] Tsagarakis, K.P. and Georgantzis, N. (2003) “The role of information on farmers willingness to use recycled water for irrigation”, Water Science and Technology: Water Supply

[36] Λύκου, Σ., (2011), διπλωματική εργασία «Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική

[37] Μπακοπούλου, Σ., (2009), διδακτορική διατριβή, «Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση : Διερεύνηση και αξιολόγηση οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων για την διαπίστωση της βιωσιμότητας των συστημάτων προχωρημένης (προωθημένης) επεξεργασίας δευτεροβάθμιων εκροών», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα μηχανικών χωροταξίας, πολεοδομίας, και περιφερειακής ανάπτυξης

[38] Πιζίκη, Θ., (2014), διπλωματική εργασία, «Εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης για τη χωροθέτηση έργων τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με τη χρήση ποιοτικά υποβαθμισμένων νερών», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

[39] Metcalf and Eddy (2007b) Μηχανική Υγρών Αποβλήτων – Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, 4η έκδοση, Τόμος Β΄, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

[40] Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V. (2003) “Challenges and perspectives for water recycling and reuse in EU countries”, Water Science and Technology: Water Supply

[41] Angelakis, A.N. and Bontoux, L. (2001) “Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries”

[42] Papaiacovou, I. (2001) “Case study - wastewater reuse in Limassol as an alternative water source”

[43] Hussain, G. and Al-Saati, A.J. (1999) “Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia”

[44] <http://www.waterencyclopedia.com>

[45] Angelakis, A.N., Marecos do Monte, M., Bontoux, L. and Asano, T. (1999) “The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: Need for guidelines”

[46] Brenner, A., Shandalov, S., Messalem, R., Yakirevich, A., Oron G., Rebhun M. (2000) “Wastewater reclamation for agricultural reuse in Israel: Trends and experimental results”

[47] Πανώρας, Α. και Ηλίας, Α. (2003) “Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων του κέντρου λυμάτων Θεσσαλονίκης στην άρδευση εαρινών καλλιεργειών”, στα πρακτικά του επιστημονικού διημέρου (έργου LIFE 99/ENV/GR/000590) Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, Θεσσαλονίκη

[48] Βακάλης Π.Σ. και Τσαντήλας Χ.Δ. (2002) “Επίδραση άρδευσης βαμβακιού και καλαμποκιού με αστικά απόβλητα στο γεωργικό εισόδημα”

[49] Sakellariou – Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., Vyrlas, P. (2003) “Irrigation of ornamental shrubs with treated municipal wastewater”, in proceedings of 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos island, Greece.

[50] Τσαγκαράκης και Αγγελάκης (2004) “Εισαγωγή στη διαχείριση υγρών αποβλήτων”, Αθήνα

[51] Παπατριανταφύλλου, Ε., (2012), πτυχιακή εργασία «Οδικοί χάρτες για τη βιώσιμη διαχείριση του αστικού κύκλου του νερού : η περίπτωση της Αθήνας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

[52] Papadopoulos, I. (1997) Non conventional water resources: Present situation and perspective use for irrigation, Options Méditerranéennes, Sér. A /no31, Séminaires Méditerranéens

[53] Bonomo, L., Nurizzo, C., Rolle, E. (1999) “Advanced wastewater treatment and reuse: Related problems and perspectives in Italy”

[54] U.S. EPA (2004) Guidelines for water reuse, EPA/625/R-04/108, Washington

[55] Blumenthal, U.J. and Peasey, A. (2002) Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture, London School of Hygiene and Tropical Medicine, London

[56] Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., Mara, D.D. (2000) Guidelines for,

wastewater reuse in agriculture and aquaculture: Recommended revisions based on new research evidence, WELL study, Task No 68, Part 1, London School of Hygiene & Tropical Medicine and Loughborough University, UK

[57] Αγραφιώτη, Ε., (2010), διπλωματική εργασία, «Στρατηγικό σχέδιο για την επαναχρησιμοποίηση των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στην κρήτη», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική

[58] Australian guidelines for water managing health and anviromental risks

[59] Inbar, Y. (2007). New Standards for Treated Wastewater Reuse in Israel. In Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security. Springer Netherlands

[60] Αγγελάκης Α.Ν., Τσαγκαράκης, Κ.Π., Κοτσελίδου, Ο.Ν., Βαρδάκου, Ε. (2000) Ανάγκη θέσπισης ελληνικών προδιαγραφών ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων: Μια προκαταρκτική προσέγγιση, Τεχνική Έκθεση για το ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΔΕΥΑ, Λάρισα

[61] Ανδρεαδάκης, Α., Γαβαλάκη, Ε., Μαμάης, Δ., Νουτσόπουλος, Κ., Τζήμας, Α. (2003) “Πρόταση κατάρτισης ποιοτικών ορίων και προδιαγραφών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα” στα πρακτικά του επιστημονικού διημέρου (έργου LIFE 99/ENV/GR/000590) Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, Θεσσαλονίκη

[62] Μπουλουκάκης, Η., (2007), διπλωματική εργασία «Τεχνητός Εμπλουτισμός στον Διεθνή και Ελλαδικό χώρο. Παραδείγματα στην Κρήτη», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

[63] Todd, D. K., and Mays L. W. (2005). Groundwater Hydrology (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc., New York, USA

[64] Διαμαντής, Ι., Πλιάκας, Φ.-Κ., Καλλιώρας, Α., (2016). Προχωρημένα θέματα Υδρογεωλογίας. Διαχείριση του Εμπλουτισμού των υπόγειων νερών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας

[65] Muckel,D.C., (1959). Replenishment of Ground Water Supplies by Artificial Means. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin

[66] Todd,D.K., (1980). Ground Water Hydrology. John Willey & Sons, New York.

[67] Baumann, P., (1965). Technical development in ground water recharge. Advances in Hydrosience, V.T. Chow ed., V.2, pp.209-279, Academic Press, New York.

[68] Bouwer H., and R. C. Rice, (1989) – Effect of water depth in ground water recharge basins on infiltration rate. J. Irrig. Drain. Eng. 115 (4):556-568.Dillon P. – Future Management of Aquifer Recharge Hydrogeology Journal 13:313–316, 2005

[69] Καλλέργης, Γ., (1986), Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμοι Α και Β, Έκδοση Τ.Ε.Ε.

- [70] Kelly, T.E., (1967). Artificial recharge at Valley City. *Ground Water*, V. 5(2), pp.20-25
- [71] Bianchi, W.C. and Muckel, D.C., (1970). Ground-water recharge hydrology. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service Pub. No. 41-161, 62p
- [72] Dvoracek, M.J. and Scott, V.H., (1963). Ground-water flow characteristics influenced by recharge pit geometry. *American Society of Agricultural Engineers Transactions*, V. 6(3), pp.262-265
- [73] Bianchi, W.C., Nightingale, H.I. and Mc Cormick, R.L., (1978). Fresno, California, subsurface drain collector-Deep well recharge system. *American Water Works Association Journal*, V.70(8), pp.427-435
- [74] Aronson, D.A. and Seaburn, G.E., (1974). 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.
- [75] Baier, D.C. and Wesner, G.W., (1971). Reclaimed waste for ground water recharge. *Water Resources Bulletin*, V.7(5), pp.991-1001
- [76] Bouwer, H., (1995b). 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.
- [77] Buchan, S., (1964). The problem of ground-water recharge. Artificial recharge as a source of water. *Institute of Water Engineers Journal*, V. 18(3), pp.239-246.
- [78] Reed, J.E., Deutsch, M. and Wutala, S.W., (1966). Induced Recharge of an Artesian Glacial Drift Aquifer at Kalamazoo, Michigan. U.S. Geological Survey Water- Supply Paper No. 1594-D
- [79] Keller, G., (1933). Grundwasserperrau [Ground-water barriers]. *Die Bautechnik*, V. 11(2), pp.270-272
- [80] Ratnaparkhi, T.G., (1978). Underground Bunds for Artificial Recharge. In: R.N. Athavale (Ed). *Proceedings of Indo-German Workshop*. Padmanagar, Secunderabad, India: National Geophysical Research Institute, pp.351-358.
- [81] Pettyjohn, W.A., (1981). Introduction to artificial groundwater recharge. NWWA/EPA-600/2-81236, Robert S.Kerr Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma.
- [82] Helweg, O.J. and Smith, G., (1978). Appropriate technology for artificial aquifers. *Ground Water*, V. 16(3), pp.144-148
- [83] Bouwer, H., (1993). "From sewage farm to zero discharge". *European Water Poll. Contr.* 3(1), pp.9-16

[84] Καλλέργης, Γ., (2001). "Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία". Τόμοι Α, Β, Γ. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.

[85] Asano, T. (ed), (1985). Artificial recharge of groundwater, section III, Groundwater recharge operations. Butterworth, London, pp. 357-576.

[86] PLANET, (2009) «Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Σχεδίου Νόμου Ρυθμιστικό Σχέδιο Αττικής», Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων

[87] Ε.Υ.Δ.Α.Π. Α.Ε.

[88] ΥΠΕΧΩΔΕ, (2008), Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, Τεχνική Υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για την «Κατάρτιση του μεσόχρονου προγράμματος προστασίας και Διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα

[89] Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, (2008), Διεύθυνση Υδρογεωλογίας και Διεύθυνση Γεωχημείας, Απογραφή Ρυπογόνων Εστιών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, Αθήνα

[90] Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, (2008), Διεύθυνση Υδρογεωλογίας, Τομέας Βασικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Διεύθυνση Γεωφυσικής, Γεωφυσική Έρευνα στην περιοχή του θριάσιου Πεδίου, Αθήνα

[91] Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, (2010), Διεύθυνση Υδρογεωλογίας, Υδρογεωλογική Μελέτη Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, Αθήνα

[92] Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, (2009), Διεύθυνση Υδρογεωλογίας, Χημικές Αναλύσεις Υπόγειων Νερών (Γενικές – Ειδικές – Ιχνοστοιχεία), Αθήνα

[93] Παπαδόπουλος, Φ., Παπαδόπουλος, Α. και Βαφειάδης, Π., (1995). Η επαναπλήρωση του υδροφορέα με επεξεργασμένα αστικά λύματα σαν μία προοπτική αντιμετώπισης της εδαφικής καθίζησης της περιοχής Καλοχωρίου Ν. Θεσ/κης. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΥΕ (Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης) 22-26/5/1995, Θεσσαλονίκη

[94] Γεωργίου, Α., (1992). Εμπλουτισμός από τον Υδατοφράκτη και εντατική εκμετάλλευση του Υδροφορέα Γερμασόγειας. Σύνδεσμος Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, Δελτίο 6, Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 1991.

[95] Πολύζος, Σ. (2004) Διοίκηση και Διαχείριση των Έργων, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα

[96] ΥΠΕΚΑ (2016), Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Διεύθυνση Διεθνών Δραστηριοτήτων, Τμήμα Ευρωπαϊκών & Διεθνών Υποθέσεων Περιβάλλοντος, Απόφαση με θέμα «Έγκριση γενικών κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης υπηρεσιών ύδατος.



Μέθοδος και διαδικασίες για την ανάκτηση κόστους των υπηρεσιών ύδατος στις διάφορες χρήσεις του», Εθνική Επιτροπή Υδάτων

## Παράρτημα

**Πίνακας 1 :** Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 1 Θριάσιου Πεδίου)

					6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
A.T.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	M.M	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	5.400,00	7,70	41.580,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	10.800,00	9,00	97.200,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	1.800,00	17,50	31.500,00	
4	Εξυγιαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	700,00	160,00	112.000,00	

12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN 20 atm - Ποντιζόμενος αγωγός	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	14.000,00	89,90	1.258.600,0 0	<b>2.124.230,0 0</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	8.850,00	7,65	67.702,50	
2	Καθαρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00	
3	Αποκατάσταση ασφαλικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00	
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	5.900,00	5,75	33.925,00	
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	2.764,74	7,55	20.873,79	
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	195.290,00	1,85	361.286,50	
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	2.000,00	11.800,00	
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	5.858,70	3,00	17.576,10	
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	1.952,90	4,50	8.788,05	<b>617.711,94</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>								

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	11.873,00	23.746,00	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	30.628,00	30.628,00	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	35.226,00	35.226,00	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.000,00	4.000,00	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	276,00	1.104,00	

	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	970,00	3.880,00	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	20.000,00	20.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	40.000,00	160.000,00	<b>278.584,00</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	6.786,00	3,05	20.697,30	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	1.050,00	3,85	4.042,50	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	35,00	27,90	976,50	<b>27.716,30</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	5.750,00	5,50	31.625,00	<b>31.625,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>3.153.543,57</b>	<b>3.153.543,57</b>

Πίνακας 2 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 2 Θριάσιου Πεδίου)

					12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
A.T.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	M.M	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	5.400,00	7,70	41.580,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	10.800,00	9,00	97.200,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	1.800,00	17,50	31.500,00	
4	Εξυγιαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	700,00	160,00	112.000,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	14.000,00	89,90	1.258.600,00	<b>2.124.230,00</b>

	20 atm - Ποντιζόμενος αγωγός							
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	8.850,00	7,65	67.702,50	
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00	
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00	
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	5.900,00	5,75	33.925,00	
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	2.764,74	7,55	20.873,79	
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	195.290,00	1,85	361.286,50	
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	2.000,00	11.800,00	
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	5.858,70	3,00	17.576,10	
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	1.952,90	4,50	8.788,05	<b>617.711,94</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>								

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	15.788,00	31.576,00	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	33.519,00	33.519,00	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	96.576,00	96.576,00	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.329,74	5.318,96	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	302,05	1.208,21	



	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	2.659,36	10.637,45	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	30.000,00	30.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	60.000,00	240.000,00	<b>448.835,62</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	13.572,00	3,05	41.394,60	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	2.100,00	3,85	8.085,00	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	70,00	27,90	1.953,00	<b>51.432,60</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	11.000,00	5,50	60.500,00	<b>60.500,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>3.378.386,49</b>	<b>3.378.386,49</b>

Πίνακας 3 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 3 Θριάσιου Πεδίου)

					18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
A.T.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	M.M	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	5.400,00	7,70	41.580,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	10.800,00	9,00	97.200,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	1.800,00	17,50	31.500,00	
4	Εξυγιαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	700,00	160,00	112.000,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	14.000,00	89,90	1.258.600,00	<b>2.124.230,00</b>

	20 atm - Ποντιζόμενος αγωγός							
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	8.850,00	7,65	67.702,50	
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00	
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00	
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	5.900,00	5,75	33.925,00	
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	2.764,74	7,55	20.873,79	
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	195.290,00	1,85	361.286,50	
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	2.000,00	11.800,00	
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	5.858,70	3,00	17.576,10	
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	1.952,90	4,50	8.788,05	<b>617.711,94</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>								

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	18.945,60	37.891,20	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	40.222,80	40.222,80	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	115.891,20	115.891,20	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.595,69	6.382,75	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	362,46	1.449,85	

	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	3.191,24	12.764,94	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	40.000,00	40.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	75.000,00	300.000,00	<b>554.602,74</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	20.358,00	3,05	62.091,90	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	3.150,00	3,85	12.127,50	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	105,00	27,90	2.929,50	<b>77.148,90</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	16.250,00	5,50	89.375,00	<b>89.375,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>3.538.744,91</b>	<b>3.538.744,91</b>

Πίνακας 4 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 4 Θριάσιου Πεδίου)

					24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
A.T.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	M.M	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	6.750,00	7,70	51.975,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	13.500,00	9,00	121.500,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	2.250,00	17,50	39.375,00	
4	Εξυγιαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	700,00	160,00	112.000,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	14.000,00	109,90	1.538.600,00	<b>2.446.800,00</b>

	20 atm - Ποντιζόμενος αγωγός							
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	8.850,00	7,65	67.702,50	
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00	
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00	
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	5.900,00	5,75	33.925,00	
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	2.764,74	7,55	20.873,79	
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	244.260,00	1,85	451.881,00	
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	1.000,00	5.900,00	
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	5,90	2.000,00	11.800,00	
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	7.327,80	3,00	21.983,40	
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	2.442,60	4,50	10.991,70	<b>714.917,39</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>								

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	19.688,00	39.376,00	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	96.792,00	96.792,00	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	122.928,0 0	122.928,00	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.658,22	6.632,86	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	872,23	3.488,91	



	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	3.385,00	13.540,02	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	50.000,00	50.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	90.000,00	360.000,00	<b>692.757,79</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	27.144,00	3,05	82.789,20	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	4.200,00	3,85	16.170,00	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	140,00	27,90	3.906,00	<b>102.865,20</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	21.500,00	5,50	118.250,00	<b>118.250,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>4.151.266,72</b>	<b>4.151.266,72</b>

Πίνακας 5 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 1 Μέγαρο)

					6 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
Α.Τ.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μ.Μ	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	5.400,00	7,70	41.580,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	10.800,00	9,00	97.200,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	1.800,00	17,50	31.500,00	
4	Εξυγειαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	865,00	160,00	138.400,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN 20 atm - Ποντιζόμενος	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	17.300,00	89,90	1.555.270,00	<b>2.447.300,00</b>

	αγωγός								
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>									
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	16.950,00	7,65	129.667,50		
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00		
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00		
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	11.300,00	5,75	64.975,00		
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	5.295,18	7,55	39.978,61		
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	374.030,00	1,85	691.955,50		
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00		
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00		
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	2.000,00	22.600,00		
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	11.220,90	3,00	33.662,70		
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	3.740,30	4,50	16.831,35	<b>1.106.230,66</b>	
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>									

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	11.873,00	23.746,00	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	30.628,00	30.628,00	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	35.226,00	35.226,00	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.000,00	4.000,00	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	276,00	1.104,00	

	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	970,00	3.880,00	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	20.000,00	20.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	40.000,00	160.000,00	<b>278.584,00</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	6.786,00	3,05	20.697,30	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	1.050,00	3,85	4.042,50	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	35,00	27,90	976,50	<b>25.716,30</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	5.750,00	3,50	20.125,00	<b>20.125,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>3.953.632,30</b>	<b>3.953.632,30</b>

Πίνακας 6 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 2 Μέγαρο)

					12 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
Α.Τ.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκεκρ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μ.Μ	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	5.400,00	7,70	41.580,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	10.800,00	9,00	97.200,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	1.800,00	17,50	31.500,00	
4	Εξυγειαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	865,00	160,00	138.400,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN 20 atm - Ποντιζόμενος	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	17.300,00	89,90	1.555.270,00	<b>2.447.300,00</b>

	αγωγός							
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	16.950,00	7,65	129.667,50	
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00	
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00	
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	11.300,00	5,75	64.975,00	
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	5.295,18	7,55	39.978,61	
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	374.030,00	1,85	691.955,50	
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00	
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00	
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	2.000,00	22.600,00	
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	11.220,90	3,00	33.662,70	
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	3.740,30	4,50	16.831,35	<b>1.106.230,66</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>								

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	15.788,00	31.576,00	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	33.519,00	33.519,00	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	96.576,00	96.576,00	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.329,74	5.318,96	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	302,05	1.208,21	



	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	2.659,36	10.637,45	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	30.000,00	30.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	60.000,00	240.000,00	<b>448.835,62</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	13.572,00	3,05	41.394,60	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	2.100,00	3,85	8.085,00	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	70,00	27,90	1.953,00	<b>51.432,60</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	11.000,00	3,50	38.500,00	<b>38.500,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>4.167.975,21</b>	<b>4.167.975,21</b>

Πίνακας 7 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 3 Μέγαρο)

					18 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
Α.Τ.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μ.Μ	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	5.400,00	7,70	41.580,00	
2	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	10.800,00	9,00	97.200,00	
3	Εκσκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	1.800,00	17,50	31.500,00	
4	Εξυγειαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	865,00	160,00	138.400,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN 20 atm - Ποντιζόμενος	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	17.300,00	89,90	1.555.270,00	<b>2.447.300,00</b>

	αγωγός							
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	16.950,00	7,65	129.667,50	
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00	
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00	
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	11.300,00	5,75	64.975,00	
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	5.295,18	7,55	39.978,61	
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	374.030,00	1,85	691.955,50	
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00	
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00	
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	2.000,00	22.600,00	
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	11.220,90	3,00	33.662,70	
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	3.740,30	4,50	16.831,35	<b>1.106.230,66</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>								

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	18.945,60	37.891,20	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	40.222,80	40.222,80	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	115.891,20	115.891,20	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.595,69	6.382,75	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	362,46	1.449,85	

	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	3.191,24	12.764,94	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	40.000,00	40.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	75.000,00	300.000,00	<b>554.602,74</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	20.358,00	3,05	62.091,90	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	3.150,00	3,85	12.127,50	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	105,00	27,90	2.929,50	<b>77.148,90</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	16.250,00	3,50	56.875,00	<b>56.875,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>4.317.833,64</b>	<b>4.317.833,64</b>

Πίνακας 8 : Κοστολόγηση Προτεινόμενων Έργων (Σενάριο 4 Μέγαρο)

					24 Λεκάνες Κατάκλυσης 25m x 35m			
Α.Τ.	Περιγραφή άρθρου	Αριθμός Εγκερ. Τιμολ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μ.Μ	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
<b>ΟΜΑΔΑ 1 : ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>								
1	Εκκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Α	Π.Τ.Λ.Ε. 2.01	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	6.750,00	7,70	51.975,00	
2	Εκκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Β	Π.Τ.Λ.Ε. 2.02	ΛΙΜ 1210	m <sup>3</sup>	13.500,00	9,00	121.500,00	
3	Εκκαφές πυθμένα θαλάσσης σε εδάφη κατηγορίας Γ	Π.Τ.Λ.Ε. 2.03	ΛΙΜ 1230	m <sup>3</sup>	2.250,00	17,50	39.375,00	
4	Εξυγειαντικές στρώσεις πυθμένα με αμμοχάλικο	Π.Τ.Λ.Ε. 3.03	ΛΙΜ2140	m <sup>3</sup>	1.500,00	12,50	18.750,00	
5	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 100 έως 150 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.06	ΛΙΜ 2220	m <sup>3</sup>	6.000,00	20,00	120.000,00	
6	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 350 έως 500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	900,00	19,00	17.100,00	
7	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 500 έως 1.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	6.300,00	19,00	119.700,00	
8	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.000 έως 1.500 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.01	ΛΙΜ 2310	m <sup>3</sup>	4.500,00	19,00	85.500,00	
9	Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκόλιθους προέλευσης λατομείου ατομικού βάρους 1.500 έως 2.000 Kgr	Π.Τ.Λ.Ε. 4.08.02	ΛΙΜ 2320	m <sup>3</sup>	6.300,00	21,00	132.300,00	
10	Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωϋφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων	Π.Τ.Λ.Ε. 4.11.03	ΥΔΡ 6361	m <sup>2</sup>	9.000,00	10,00	90.000,00	
11	Προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, για τον ερματισμό των υποθαλάσσιων αγωγών	Π.Τ.Λ.Ε. 5.04.03	ΛΙΜ 4240	m <sup>3</sup>	865,00	160,00	138.400,00	
12	Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό πολυαιθυλένιο PE 100 Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm / ονομ. πίεσης PN 20 atm - Ποντιζόμενος	Π.Τ.Υ.Ε. 12.14.01.7 1	ΥΔΡ 6622.3	m	17.300,00	109,90	1.901.270,00	<b>2.835.870,00</b>

	αγωγός								
<b>ΟΜΑΔΑ 2 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>									
1	Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες με πλάτος πυθμένα έως 3,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.02.01	ΥΔΡ 6081.1	m <sup>3</sup>	16.950,00	7,65	129.667,50		
2	Καθαιρέσεις μεμονομένων στοιχείων από σκυρόδεμα	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΥΔΡ 6082.1	m <sup>3</sup>	50,00	40,40	2.020,00		
3	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 4.01.01	ΟΔΟ 4521B	m <sup>2</sup>	4.820,00	17,00	81.940,00		
4	Επίχωση κάθε είδους ορυγμάτων εντός πόλεως με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.05.02	ΥΔΡ 6068	m <sup>3</sup>	11.300,00	5,75	64.975,00		
5	Διαστρωση και εγκιβωτισμός σωληνώσεων με άμμο λατομείου	Π.Τ.Υ.Ε. 5.07	ΥΔΡ 6069	m <sup>3</sup>	5.295,18	7,55	39.978,61		
6	Χαλυβδοσωλήνες με εξωτ. μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική με εποξειδική ρητίνη Φ200	Π.Τ.Ο.Ε. 12.18.02	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	467.820,00	1,85	865.467,00		
7	Μελέτη ηλεκτροδυναμικού και αντίσταση εδάφους (εργασίες υπαίθρου και σύνταξη έκθεσης)	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.01	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00		
8	Μελέτη συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.02	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	1.000,00	11.300,00		
9	Κατασκευή συστήματος καθοδικής προστασίας	Π.Τ.Υ.Ε. 12.21.03	ΥΔΡ 6630.1	Km	11,30	2.000,00	22.600,00		
10	Καμπύλες, συστολές και συναρμογές χαλυβδοσωλήνων	Π.Τ.Υ.Ε. 12.19	ΥΔΡ 6630.1	Kgr	14.034,60	3,00	42.103,80		
11	Φάντζες συγκόλλησης χαλύβδινες	Π.Τ.Υ.Ε. 12.20	ΥΔΡ 6651.1	Kgr	4.678,20	4,50	21.051,90	<b>1.292.403,81</b>	
<b>ΟΜΑΔΑ 3 : ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ</b>									

1	Κατασκευή αντλιοστασίων (4 από 15m <sup>2</sup> )			m <sup>2</sup>	60,00	500,00	30.000,00	
2	Υποσταθμός			m <sup>2</sup>	20,00	500,00	10.000,00	
3	Κατασκευή δεξαμενών αντλιοστασίων (8,00*8,00*3,00 εξωτερικό)							
3.1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες- ημιβραχώδες για την δημιουργία υπογείων κλπ χώρων, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	Π.Τ.Ο.Ε. 20.02	ΟΙΚ-2112	m <sup>3</sup>	3.600,00	3,00	10.800,00	
3.2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφών με μηχανικά μέσα	Π.Τ.Ο.Ε. 20.30	ΟΙΚ-2171	m <sup>3</sup>	3.600,00	1,00	3.600,00	
3.3	Εξυγιαντικές στρώσεις με θραυστό υλικό λατομείου	Π.Τ.Ο.Ε. 20.20	ΟΙΚ-2162	m <sup>3</sup>	84,67	16,00	1.354,75	
3.4	Κατασκευές από σκυρόδεμα C25/30 μειωμένης υδατοπερατότητας	Π.Τ.Υ.Ε. 9.10.06	ΥΔΡ 6329	m <sup>3</sup>	110,06	91,00	10.015,82	
3.5	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού σπλισμού B500C σκυροδεμάτων	Π.Τ.Υ.Ε. 9.26	ΥΔΡ 6311	Kgr	11.006,40	0,90	9.905,76	<b>75.676,34</b>

**ΟΜΑΔΑ 4 : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ -  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ**

1	Αντλίες			τεμ			0,00	
1.1	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 10m			τεμ	2,00	19.688,00	39.376,00	
1.2	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 50m			τεμ	1,00	96.792,00	96.792,00	
1.3	Αντλία για παροχή 250m <sup>3</sup> /h και 500m <sup>3</sup> /h αντίστοιχα με μανομετρικό 70m			τεμ	1,00	122.928,0 0	122.928,00	
2	Δικλίδες, χυτοσιδηρές συρταρωτές, με την προμήθεια, μεταφορά επι τόπου και πλήρη εγκατάσταση με ωτίδες ονομαστ. πίεσης 25 atm, ονομαστικής DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.03.04.0 4	ΥΔΡ 6652.1	τεμ	4,00	1.658,22	6.632,86	
3	Χυτοσιδηρά ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια εξαρμώσης συσκευών με ωτίδες ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής	Π.Τ.Υ.Ε. 13.15.03.0 3	ΥΔΡ 6651.1	τεμ	4,00	872,23	3.488,91	



	διαμέτρου DN 200mm							
4	Βαλβίδες αντεπιστροφής τύπου ελαστικής εμφράξεως ονομαστικής πίεσης 25 atm ονομαστικής διαμέτρου DN 200mm	Π.Τ.Υ.Ε. 13.16.01	ΗΛΜ 84	τεμ	4,00	3.385,00	13.540,02	
5	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Υποσταθμού & Ηλεκτρολογικών Πινάκων			κατ' αποκ	1,00	50.000,00	50.000,00	
6	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση Αντλιοστασίων		ΗΛΜ 23	κατ' αποκ	4,00	90.000,00	360.000,00	<b>692.757,79</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 5 : ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ</b>								
1	Εκσκαφή ορυγμάτων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες , με πλάτος πυθμένα μεγαλύτερο των 5,00 m, με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου, την σταλία του αυτοκινήτου και την μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση, για βάθος ορύγματος έως 4,00 m	Π.Τ.Υ.Ε. 3.10.06.01	ΥΔΡ 6085.1	m <sup>3</sup>	27.144,00	3,05	82.789,20	
2	Εξυγιαντικές στρώσεις με φυσικά αμμοχάλικα	Π.Τ.Υ.Ε. 5.09.01	ΥΔΡ 6067	m <sup>3</sup>	4.200,00	3,85	16.170,00	
3	Αγωγοί υπό πίεση από PVC 16 atm Ονομ. διαμέτρου DN 200 mm	Π.Τ.Υ.Ε. 12.13.04.0 8	ΥΔΡ 6622.3	m	140,00	27,90	3.906,00	<b>102.865,20</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 6 : ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΙΣ</b>								
1	Απαλλοτριώσεις			m <sup>2</sup>	21.500,00	3,50	75.250,00	<b>75.250,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>							<b>5.074.823,14</b>	<b>5.074.823,14</b>

