



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ**  
**ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ  
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΑ  
ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΝΕΡΩΝ**

Η περίπτωση του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής

Πιζπίκης Θεόδωρος

Αρ. Μητρώου: 07107046

Επιβλέπων: Καλλιώρας Ανδρέας, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Φεβρουάριος 2014**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ  
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΑ  
ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΝΕΡΩΝ

Η περίπτωση του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	9
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	17
ABSTRACT .....	19
<b>1. ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1. Εισαγωγή.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Μέθοδοι επιφανειακής κατάκλυσης – διήθησης.....	24
1.2.2. Μέθοδοι υπόγειας διήθησης.....	29
1.2.3. Συνδυασμοί επιφανειακού και υπεδαφικού εμπλουτισμού .....	35
1.2.4. Μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού .....	35
1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα του Τεχνητού Εμπλουτισμού .....	37
1.4. Ιστορικό εφαρμογής .....	38
<b>2. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1. Εισαγωγή.....</b>	<b>39</b>
2.1.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων .....	41
2.1.2. Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων .....	41
2.1.3. Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων .....	41
2.1.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων .....	42
<b>2.2. Ο άνθρακας (οργανική ύλη, βιοαποικοδομήσιμες ουσίες).....</b>	<b>43</b>
2.2.1. Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) .....	43
2.2.2. Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	44
2.2.3. Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) .....	45
2.3. Το άζωτο.....	45
2.4. Ο φώσφορος.....	46
2.5. Οι στερεές ουσίες στα υγρά απόβλητα .....	47
2.6. Φυτοφάρμακα .....	48
2.7. Βαρέα μέταλλα .....	49
2.8. Οι μικροοργανισμοί .....	49

<b>3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b> .....	<b>51</b>
3.1. Εισαγωγή.....	51
3.2. Προεπεξεργασία.....	55
3.3. Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	56
3.4. Δευτεροβάθμια επεξεργασία .....	57
3.5. Τριτοβάθμια επεξεργασία .....	61
3.6. Διύλιση .....	62
3.7. Απολύμανση .....	62
<b>4. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b> .....	<b>65</b>
4.1. Εισαγωγή.....	65
4.2. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης.....	66
4.2.1. Άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου.....	66
4.2.2. Βιομηχανική χρήση .....	68
4.2.3. Ψυχαγωγικές και περιβαλλοντικές χρήσεις.....	70
4.2.4. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων.....	71
4.2.5. Χρήση ανακυκλωμένου νερού για ύδρευση.....	73
4.2.6. Υδατοκαλλιέργειες.....	77
4.2.7. Διάφορες άλλες χρήσεις.....	77
4.3. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων.....	79
4.3.1. Άρδευση.....	79
4.3.2. Συστήματα βραδείας εφαρμογής (SR).....	79
4.3.3. Συστήματα επιφανειακής ροής (OF).....	80
4.3.4. Φυσικοί ή τεχνητοί υγρότοποι.....	80
4.3.5. Συστήματα ταχείας διήθησης (RI).....	81
4.4. Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων μέσω Εδάφους – Υδροφορέα (SAT Systems).....	82
4.4.1. Το έδαφος ως μέσο επεξεργασίας.....	82
4.4.2. Περιγραφή της διαδικασίας.....	83
4.4.3. Τα συστήματα SAT ως μέσα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υδάτων.....	87
4.4.4. Τύποι συστημάτων SAT.....	89
4.4.5. Βαθμός διείσδυσης στα SAT .....	93
4.4.6. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των SAT .....	96
4.4.7. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των SAT .....	97
4.5. Ιστορικό εφαρμογής .....	98

<b>5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ</b>	
<b>ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>101</b>
<b>5.1. Εισαγωγή.....</b>	<b>101</b>
<b>5.2. Παράγοντες θέσπισης κριτηρίων .....</b>	<b>103</b>
<b>5.3. Ζητήματα δημόσιας υγείας .....</b>	<b>104</b>
<b>5.4. Η Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O.) .....</b>	<b>105</b>
<b>5.5. Η οδηγία του Οργανισμού Γεωργίας και Τροφίμων (F.A.O.).....</b>	<b>111</b>
<b>5.6. Επαναχρησιμοποίηση στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής .....</b>	<b>114</b>
<b>5.6.1. Ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια .....</b>	<b>115</b>
<b>5.7. Διεθνής νομοθεσία .....</b>	<b>125</b>
<b>5.7.1. Αυστραλία .....</b>	<b>126</b>
<b>5.7.2. Ιαπωνία.....</b>	<b>127</b>
<b>5.7.3. Ναμίμπια.....</b>	<b>127</b>
<b>5.8. Νομοθεσία στον Ευρωπαϊκό χώρο.....</b>	<b>128</b>
<b>5.8.1. Γαλλία .....</b>	<b>128</b>
<b>5.8.2. Ιταλία.....</b>	<b>129</b>
<b>5.8.3. Ισπανία .....</b>	<b>130</b>
<b>5.8.4. Κύπρος .....</b>	<b>131</b>
<b>5.8.5. Πορτογαλία .....</b>	<b>132</b>
<b>5.8.6. Μάλτα .....</b>	<b>132</b>
<b>5.9. Νομοθεσία στις χώρες της Μεσογείου .....</b>	<b>133</b>
<b>5.9.1. Ιορδανία .....</b>	<b>135</b>
<b>5.9.2. Ισραήλ.....</b>	<b>136</b>
<b>5.9.3. Τυνησία.....</b>	<b>137</b>
<b>5.9.4. Αίγυπτος .....</b>	<b>138</b>
<b>5.9.5. Αλγερία .....</b>	<b>138</b>
<b>5.9.6. Λιβύη.....</b>	<b>138</b>
<b>5.9.7. Συρία.....</b>	<b>138</b>
<b>5.10. Η Ελληνική νομοθεσία.....</b>	<b>139</b>

<b>6. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΤΤΙΚΗΣ</b> .....	<b>145</b>
6.1. Εισαγωγή.....	145
6.2. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά .....	147
6.3. Κλιματικά χαρακτηριστικά.....	148
6.4. Γεωλογικά χαρακτηριστικά .....	148
6.5. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά .....	150
6.6. Το υδροδοτικό σύστημα του Υ.Δ. Αττικής.....	153
6.6.1. Ταμιευτήρες .....	155
6.6.2. Υπόγειοι υδροφορείς – Γεωτρήσεις.....	157
6.6.3. Υδραγωγεία.....	157
6.6.4. Μονάδες Επεξεργασίας Νερού.....	158
6.6.5. Δίκτυο διανομής νερού .....	159
6.6.6. Απώλειες νερού .....	160
6.6.7. Ιδιαιτερότητες και προβλήματα της μεταφοράς νερού στην Αττική.....	161
6.7. Κατανάλωση νερού στο Υ.Δ. Αττικής.....	162
6.8. Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων .....	168
6.8.1. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (Κ.Ε.Λ.Ψ.) .....	168
6.8.2. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης (Κ.Ε.Λ.Μ.) .....	175
6.8.3. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Λαυρίου .....	177
6.8.4. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεγαρέων (Κ.Ε.Λ.Μ.).....	178
6.8.5. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Κερατέας (Κ.Ε.Λ.Κ.).....	178
<b>7. Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAT ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΤΤΙΚΗΣ</b> .....	<b>181</b>
7.1. Εισαγωγή.....	181
7.2. Η Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση.....	181
7.3. Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης.....	183
7.4. Μέθοδοι και εργαλεία επιλογής .....	184
7.4.1. Πλαίσιο.....	184
7.4.2. Ορισμός του προβλήματος.....	184
7.4.3. Διαμόρφωση χαρτών περιορισμών .....	184
7.4.4. Διαμόρφωση χαρτών καταλληλότητας.....	185
7.5. Η περιοχή ενδιαφέροντος.....	187
7.6. Επιλέγοντας τα κατάλληλα κριτήρια.....	187
7.6.1. Διαμόρφωση χαρτών περιορισμών .....	188
7.6.2. Διαμόρφωση χαρτών καταλληλότητας.....	192
7.7. Αποτελέσματα.....	197
<b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b> .....	<b>203</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b> .....	<b>209</b>
<b>ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΧΩΡΟΙ</b> .....	<b>215</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πίνακας 3.1.** : Τα βασικά συστήματα επεξεργασίας (Νταρακάς Ε., Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Θεσσαλονίκη, 2010)

**Πίνακας 4.1.** : Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και θέματα/περιορισμοί που ενδέχεται να προκύψουν σε επίπεδο κοινότητας (Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α. – Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκροών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα, Λάρισα 2009)

**Πίνακας 4.2.** : Σύγκριση τυπικών σταδίων SAT (Amy, 2009)

**Πίνακας 5.1.** : Μέτρα αντιμετώπισης κινδύνων ρύπανσης ή/και μόλυνσης από επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.2.** : Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια κατά τον Π.Ο.Υ. (1989) για την χρήση υγρών αποβλήτων στη γεωργία (Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.3.** : Προτεινόμενα όρια για χημικούς ρυπαντές (ανόργανα στοιχεία και οργανικές ενώσεις στο έδαφος) από τον W.H.O. (1989) (Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004).

**Πίνακας 5.4.** : Οδηγίες για ερμηνεία της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.5.** : Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις στοιχείων σε ίχνη στο αρδευτικό νερό (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.6.** : Οδηγίες για τα κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων μη-απευθείας χρήσης τους για ύδρευση (Jimenez, 2003)

**Πίνακας 5.7.** : Κριτήρια που έχει θεσπίσει η πολιτεία της California για γεωργική και άλλες χρήσεις ανακτώμενων υγρών αποβλήτων (State Calif., Dept. of Health Serv., 1978, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.8.** : Αναθεωρημένα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης στη Καλιφόρνια: Επεξεργασία και ποιοτικές απαιτήσεις για μη-πόσιμες χρήσεις ανακυκλωμένων νερών (State of California Title 22 Water Recycling Criteria, 2000, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.9.** : Κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων στην Καλιφόρνια (State of Calif., 1992, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.10.** : Προτεινόμενα (Καλιφόρνια) κριτήρια τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Bouwer, 2002)

**Πίνακας 5.11.** : Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. για επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων (Asano and Levine, 1998, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

**Πίνακας 5.12.** : Κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων στην Ιαπωνία



**Πίνακας 5.13.** : Εφαρμοζόμενες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε χώρες της Μεσογείου

**Πίνακας 5.14.** : Θεσμοθέτηση ή μη κριτηρίων σε χώρες της Μεσογείου

**Πίνακας 6.1.** : Στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής έχουν καταγραφεί και οριοθετηθεί τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα (Ι.Γ.Μ.Ε., 2010):

**Πίνακας 6.2.** : Επιφανειακοί υδατικοί πόροι (Διαχειριστικό σχέδιο ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.3.** : Υπόγειοι υδατικοί πόροι (Διαχειριστικό σχέδιο ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.4.** : Μέγιστες ετήσιες απολήψεις από ταμιευτήρες (Διαχειριστικό σχέδιο ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.5.** : Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων (Διαχειριστικό σχέδιο ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.6.** : Χαρακτηριστικά φραγμάτων (Διαχειριστικό σχέδιο ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.7.** : Οι βασικότερες ομάδες γεωτρήσεων (Διαχειριστικό Σχέδιο Ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.8.** : Τεχνικά χαρακτηριστικά των Μ.Ε.Ν. (Masterplan Ε.ΥΔ.Α.Π., 2008)

**Πίνακας 6.9.** : Συνοπτικό ιστορικό για την κατανάλωση νερού στην Αθήνα (Διαχειριστικό Σχέδιο Ύδρευσης Ε.ΥΔ.Α.Π.)

**Πίνακας 6.10.** : Μέσες ετήσιες χρήσεις νερού ανά κατηγορία σε  $Mm^3/yr$  (Ε.Π.Δ.Π. Υδατικών Πόρων, 2008 και Pedrero et al., 2010)

**Πίνακας 6.11.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Ψ. (<http://ypeka.plexscape.com>)

**Πίνακας 6.12.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Μ. (<http://ypeka.plexscape.com>)

**Πίνακας 6.13.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Λ. (<http://ypeka.plexscape.com>)

**Πίνακας 6.14.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Κ. (<http://ypeka.plexscape.com>)

**Πίνακας 7.1.** : Περιορισμοί για μεθόδους τεχνητού εμπλουτισμού βάσει χρήσεων γης

**Πίνακας 7.2.** : Κλίμακα σημασίας μεταξύ των δύο παραμέτρων κατά την Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Saaty, 2000)

**Πίνακας 7.3** : Κλίμακα συγκρίσεων (Saaty, 1986).

**Πίνακας 7.4.** : Μήτρα σύγκρισης κατά ζεύγη για την αξιολόγηση της σχετικής σημασίας των επιλεγμένων κριτηρίων για τα SAT

**Πίνακας 7.5.** : Βαθμονόμηση των κλάσεων κάθε παράγοντα

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα 1.1.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με λεκάνες (Pleasanton, Καλιφόρνια)

**Σχήμα 1.2.** : Συστήματα εμπλουτισμού υδροφόρων σε διάφορα βάθη α) επιφανειακή λεκάνη κατάκλυσης β) λεκάνη κατάκλυσης μετά από εκσκαφή γ) τάφος εμπλουτισμού δ) φρεάτιο εμπλουτισμού στην ακόρεστη ζώνη ε) γεώτρηση εμπλουτισμού (Bouwer, 1999, Todd and Mays, 2005)

**Σχήμα 1.3.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με κατάκλυση λεκανών. (α): κάτοψη, (β): τομή κάτω από μία λεκάνη πλάτους  $x$  (από Καλλέργη 2001 κατά Todd 1980)

**Σχήμα 1.4.** : Η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφο. κατά τους (Bize, J., Bourguet L., Lemoine, J. 1972 με επανασχεδίαση από το συγγραφέα)

**Σχήμα 1.5.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με πλημμυρισμό επιφανειών (α): κάτοψη, (β): τομή ΤΤ' κατά την έναρξη του εμπλουτισμού (χρόνος  $t_0$ ), (γ): Τομή ΤΤ για διαφορετικούς χρόνους  $t_1$  και  $t_2$  ( $t_2 > t_1$ ) από την έναρξη του εμπλουτισμού. Στο (Α) και στην τομή  $xx'$  έχουμε λεκάνες καθίζησης (<http://www.geo.auth.gr>)

**Σχήμα 1.6.** : Διευθετήσεις στις κοίτες χειμάρρων για τεχνητό εμπλουτισμό. (α) μικρά φράγματα κατά μήκος, (β) αυλάκια (κατά Todd 1980)

**Σχήμα 1.7.** : Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (<http://www.extension.umn.edu/>)

**Σχήμα 1.8.** : Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α): ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β): υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (κατά Todd C., 1980, από τον Καλλέργη Γ., 2001, με επανασχεδίαση από το συγγραφέα)

**Σχήμα 1.9.** : Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό (<http://www.geo.auth.gr>)

**Σχήμα 1.10.** : Διάγραμμα των φάσεων αποθήκευσης – άντλησης ενός τυπικού συστήματος στη νότια Φλόριντα (<http://www.nap.edu>)

**Σχήμα 1.11.** : Γεώτρηση αποθήκευσης – άντλησης με χρήση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων (<http://www.oklahomawatersurvey.org>)

**Σχήμα 1.12.** : Επαγωγικός εμπλουτισμός λόγω άντλησης πλησίον τάφρου. (α): φυσικές ροές, (β): ροές κατά την άντληση (από Καλλέργη Γ., 2001)

**Σχήμα 2.1.** : Τα στάδια της βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών ενώσεων (BOD) (Τσέζος Μ., Χατζηκιοσεγιάν Α., Τεχνολογία Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Αθήνα 2012)

**Σχήμα 3.1.** : Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (Roseville, Καλιφόρνια) (<http://www.roseville.ca.us>)

**Σχήμα 3.2.** : Τυπικό διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. με τη μέθοδο ενεργού ιλύος (Νταρακάς Ε., Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Θεσσαλονίκη, 2010)

**Σχήμα 3.3.** : Σχάρες για τη συλλογή αντικειμένων (<http://www.deyamyt.gr>)

**Σχήμα 3.4.** : Κυκλική δεξαμενή καθίζησης (<http://www.eydeael.gr>)

**Σχήμα 3.5.** : Δεξαμενή αερισμού (<http://www.deyael.gr>)

**Σχήμα 3.6.** : Απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (<http://water.me.vccs.edu>)

**Σχήμα 4.1.** : Τα υγρά αστικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση καλλιιεργειών (<http://www.earlham.edu>)

**Σχήμα 4.2.** : Ο σταθμός Palo Verde Nuclear Generating στην Αριζόνα (<http://www.dem.azdema.gov>)

**Σχήμα 4.3.** : Οι υδροβιότοποι του Arcata της Καλιφόρνια (<http://www.groundwork.org>)

**Σχήμα 4.4.** : Σύμπλεγμα λεκανών εμπλουτισμού στο Irvine Ranch Water District της Καλιφόρνια (<http://www.ascelasection.org>)

**Σχήμα 4.5.** : Οι εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού (Goreangab Plant) στο Windhoek της Ναμίμπια (Windhoek Namibia: A Case Study in Water Supply in an Arid Environment)

**Σχήμα 4.6.** : Οι περίοδοι ξήρανσης/ύγρυνσης λεκάνης SAT Dan Region, Ισραήλ (Idelovitch, 2003)

**Σχήμα 4.7.** : Διάγραμμα SAT – διακρίνονται τα φρέατα παρατήρησης και ανάκτησης (Bixio and Wintgens, 2006)

**Σχήμα 4.8.** : Σχηματική απεικόνιση συστήματος φυσικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μέσω εδάφους-υδροφορέα (Amy & Drewes, 2006)

**Σχήμα 4.9.** : Καθαρισμός λεκάνης εμπλουτισμού (SAT) με μηχανικά μέσα (Cikurel & Aharoni, Aquarec, 2005)

**Σχήμα 4.10.** : Τύποι συστημάτων SAT a) Με Λεκάνες Διήθησης b) Με Φρέατα στην Ακόρεστη Ζώνη c) Με Απευθείας εισπίεση σε Φρέατα (U.S. E.P.A., 2004)

**Σχήμα 4.11.** : Απεικόνιση συστημάτων SAT (Bouwer, 1987 επανασχεδίαση)

**Σχήμα 4.12.** : Απεικόνιση τεσσάρων μικρών λεκανών γύρω από τη κεντρική γεώτρηση για την άντληση επεξεργασμένων νερών από τον υδροφόρο (Bouwer, 1987)

**Σχήμα 5.1.** : Σχεδιάγραμμα λεκανών εμπλουτισμού στο Κολοράντο των Η.Π.Α. (<http://www.onthecolorado.org>)

**Σχήμα 5.2.** : Το σύστημα E.E.Λ. και το σύστημα εμπλουτισμού με λεκάνες στην περιοχή Dan Region (Icekson, et al., 2002)

**Σχήμα 5.3.** : Σύστημα λεκανών εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της περιοχής Hammamet με την εκροή από μονάδα βιολογικού καθαρισμού σε παρακείμενο οικισμό (σύστημα SAT) για αρδευτικούς σκοπούς κατάντη (Μαρίνος, κ.ά., 2008)

- Σχήμα 6.1.** : Χάρτης του Υ.Δ. Αττικής ως περιοχή έρευνας
- Σχήμα 6.2.** : Χάρτης χρήσεων γης (Corine 2000 land use: Version 17 (12/2013))
- Σχήμα 6.3.** : Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής Αττικής
- Σχήμα 6.4.** : Το δίκτυο διανομής νερού στην Αθήνα
- Σχήμα 6.5.** : Ταμιευτήρας Μαραθώνα (<http://www.eydap.gr>)
- Σχήμα 6.6.** : Τυχόν διαρροές συμβάλλουν σημαντικά στις απώλειες νερού της Εταιρίας (<http://www.eydap.gr>)
- Σχήμα 6.7.** : Το φράγμα του Μόρνου (<http://www.eydap.gr>)
- Σχήμα 6.8.** : Ποσοστά κατανάλωσης νερού στην Αττική <sup>(2)</sup>
- Σχήμα 6.9.** : Η εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωσης νερού για ύδρευση (σε  $hm^3$ ) την περίοδο 1990 – 2010
- Σχήμα 6.10.** : Διάγραμμα ζήτησης νερού για αγροτική χρήση <sup>(2)</sup>
- Σχήμα 6.11.** : Διάγραμμα ζήτησης νερού για βιομηχανική χρήση <sup>(2)</sup>
- Σχήμα 6.12.** : Διάγραμμα ζήτησης νερού για αστική χρήση <sup>(2)</sup>
- Σχήμα 6.13.** : Άποψη του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας (Ε.ΥΔ.Α.Π.)
- Σχήμα 6.14.** : Σχεδιάγραμμα των εγκαταστάσεων (Ε.ΥΔ.Α.Π.)
- Σχήμα 6.15.** : Οι εγκαταστάσεις του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας (Ε.ΥΔ.Α.Π.)
- Σχήμα 6.16.** : Το Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας (Ε.ΥΔ.Α.Π.)
- Σχήμα 6.17.** : Το Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας (Ε.ΥΔ.Α.Π.)
- Σχήμα 6.18.** : Το Κ.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης (Ε.ΥΔ.Α.Π.)
- Σχήμα 7.1.** : Ενδεικτικά δεδομένων (data layers) χαρτών GIS
- Σχήμα 7.2.** : Προστατευόμενες περιοχές
- Σχήμα 7.3.** : Χρήσεις γης
- Σχήμα 7.4.** : Βιομηχανίες
- Σχήμα 7.5.** : Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά
- Σχήμα 7.6.** : Κλίσεις του εδάφους
- Σχήμα 7.7.** : Βάθος υδροφόρου
- Σχήμα 7.8.** : **ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας ανατέθηκε από το εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και εκπονήθηκε από το σπουδαστή υπό την επίβλεψη του κ. Ανδρέα Καλλιώρα, Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία, έπειτα από την ολοκλήρωσή της, παρουσιάστηκε στο 13ο Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας στα Χανιά το Σεπτέμβριο του 2013.

Η ολοκλήρωση της παρούσης διπλωματικής εργασίας κατέστη δυνατή χάρη στη συμβολή, τις υποδείξεις και τη πολύτιμη βοήθεια ορισμένων προσώπων. Η αναφορά στους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας είναι ένα ελάχιστο ευχαριστώ για τη πολύτιμη βοήθειά τους.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέπων της εργασίας, Λέκτορα κύριο Ανδρέα Καλλιώρα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα που μου κίνησε ουσιαστικά το ενδιαφέρον και για τη συνεχή καθοδήγηση και τροφοδότηση με πληροφορίες για την τεκμηρίωση της εργασίας. Επίσης τον ευχαριστώ για την ηθική συμπαράσταση, τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του, παράγοντες που αποτέλεσαν τη σημαντικότερη βοήθεια για μένα καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, τον Επικ. Καθηγητή Δ. Δαμίγο και τον Επικ. Καθηγητή Κ. Λουπασάκη, για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους, που συνέβαλλαν στην αρτιότερη παρουσίαση της διπλωματικής αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στα μέλη Ι.Δ.Α.Χ. του Εργαστηρίου της Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας. Τον Δρ. Μηχανικό Μεταλλείων Παρασκευά Τσαγγαράτο την Δρ. Μηχανικό Μεταλλείων Ελένη Βασιλείου τον υποψήφιο διδάκτορα Μηχανικό Μεταλλείων – Μεταλλουργό Νικόλαο Σταθόπουλο και τον κ. Μαρκαντώνη Κωνσταντίνο για την καθοδήγησή τους κατά τη κατασκευή των χαρτών στο πρόγραμμα G.I.S. και τη βοήθειά τους μέσω της παροχής των κατάλληλων βιβλιογραφικών αναφορών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, τους φίλους μου και ιδιαίτερα την οικογένειά για τη συμπαράστασή, εμπιστοσύνη και υποστήριξη που μου έδειξαν σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κύριος στόχος της εργασίας ήταν ο εντοπισμός των κατάλληλων τοποθεσιών, για τη χωροθέτηση έργων εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα, στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής. Κατά τη συγγραφή της εργασίας αξιοποιήθηκαν στοιχεία από τη σχετική διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία που αφορούν:

- Στις μεθόδους με τις οποίες μπορεί να παρέμβει ο άνθρωπος, για την ενίσχυση των υπόγειων αποθεμάτων νερού και τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου.
- Στους ρύπους οι οποίοι προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και εντοπίζονται στο νερό.
- Στους τρόπους καθαρισμού των υποβαθμισμένων νερών, μέσω των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.
- Στην εφαρμογή μεθόδων φυσικής επεξεργασίας, μέσω του εδάφους για τον περαιτέρω καθαρισμό των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ειδικότερα την ανάπτυξη των διαδικασιών επεξεργασίας επεξεργασμένων λυμάτων μέσω συστημάτων εδάφους – υδροφόρου (SAT). Επίσης, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη φυσική επεξεργασία ως μέθοδος εμπλουτισμού των υπόγειων νερών, τις εφαρμογές που μπορούν να βρουν τα ανακτηθέντα νερά, τα οφέλη και οι περιορισμοί που προκύπτουν από την διαδικασία.
- Στο νομικό καθεστώς που επικρατεί σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο βάση διατάξεων και κριτηρίων, που έχουν θεσπιστεί από κράτη που εφαρμόζουν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων και αναφορά στη νομοθεσία της Ελλάδας.
- Στην περίπτωση του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής ως περιοχή έρευνας για την εφαρμογή συστημάτων SAT, τα υδρογεωλογικά, γεωλογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά του. Περιγράφονται, επίσης, εκτός από τα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων που περιλαμβάνει η έρευνα, το δίκτυο μεταφοράς νερού, οι χρήσεις και οι κατανάλωσή του από τους κατοίκους.
- Τη διατύπωση μεθόδου λήψης αποφάσεων με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης θέσης για τη χωροθέτηση των έργων τεχνητού εμπλουτισμού η οποία λαμβάνει υπόψη κρίσιμους παράγοντες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης περιοχής έρευνας. Η μέθοδος στηρίζεται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αύξηση της ζήτησης για νερό που προκαλείται, αφενός από την αύξηση του πληθυσμού και της βιομηχανικής ανάπτυξης, αλλά και από τη υποβάθμιση των αποθεμάτων νερού και της κλιματικής αλλαγής, αφετέρου, προκαλούν σημαντικές πιέσεις στα αποθέματα νερού ανά τον κόσμο. Για την αντιμετώπιση της κατάστασης αυτής η αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων είναι απαραίτητη. Στο πλαίσιο αυτό, τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσονται και εφαρμόζονται αποτελεσματικές μέθοδοι για τη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων σε διάφορες χώρες του κόσμου.

Η διαχείριση του εμπλουτισμού των υδροφορέων αποτελεί μια ευρέως διαδομένη τεχνική, ιδιαίτερα σε υδρολογικά ευαίσθητες περιοχές, όπως αυτές της Μεσογειακής Λεκάνης, όπου οι υδατικοί πόροι είναι περιορισμένοι. Η επιλογή της χωροθέτησης έργων τεχνητού εμπλουτισμού (Τ.Ε.) αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία το αποτέλεσμα της οποίας καθορίζει εν πολλοίς και την ίδια την αποτελεσματικότητα του έργου. Η εν λόγω διαδικασία περιπλέκεται εντονότερα όταν πρόκειται για τη χρήση νερών εμπλουτισμού υποβαθμισμένης ποιότητας.

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση ενός πρόδρομου εργαλείου Πολυκριτηριακού Συστήματος Λήψης Αποφάσεων, το οποίο ενσωματώνει σε μια δυναμική πλατφόρμα: τόσο τις τεχνικές του Τ.Ε. όσο και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα του έργου. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελεί προχωρημένο εργαλείο σύζευξης Συστημάτων Λήψης Αποφάσεων και Γεωγραφικών Πληροφοριών ικανό να αξιολογεί κρίσιμα ζητήματα που αφορούν σε έργα Τ.Ε. – γεωλογικά, υδρογεωλογικά, κλιματολογικά, νομικά, κοινωνικά, οικονομικά κ.ά. – με ιδιαίτερη έμφαση σε συστήματα Επεξεργασίας-Εδάφους-Υδροφόρου (συστήματα SAT). Το συγκεκριμένο εργαλείο ενσωματώνεται στο λογισμικό ArcGIS, σε περιβάλλον φιλικό προς το χρήστη, όπου η προβολή και επεξεργασία χωρικών δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση εργαλείων του ArcGIS.

Βάση της μεθοδολογίας και της σχετικής βιβλιογραφίας, διαμορφώθηκαν οι χάρτες καταλληλότητας και για τη χωροθέτηση των συστημάτων SAT στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής. Σε αυτούς τους χάρτες εκφράζεται η διαβάθμιση των εδαφών σε (α) κατάλληλα, (β) μέτριας καταλληλότητας και σε (γ) ακατάλληλα, σύμφωνα με τη βαθμονόμηση των επιλεχθέντων κριτηρίων για τη περιοχή έρευνας. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για την έρευνα ήταν (α) τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά – περατότητα του εδάφους, (β) οι κλίσεις του εδάφους, (γ) το βάθος του υδροφόρου και (δ) η απόσταση των διαθέσιμων εδαφών από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Επίσης, διαμορφώθηκαν οι χάρτες αποκλεισμού, οι οποίοι αναπαριστούν τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα εδάφη τα οποία δεν επιτρέπουν την εφαρμογή συστημάτων SAT.

Το τελικό στάδιο αφορά τη διαμόρφωση του τελικού χάρτη καταλληλότητας, στον οποίο αναπαριστώνται συνολικά όλες οι περιοχές όπου επιτρέπουν ή δεν επιτρέπουν τη χωροθέτηση των SAT. Ο τελικός χάρτης καταλληλότητας χαρακτηρίζεται από έλλειψη διαθέσιμων εδαφών σε επιθυμητή απόσταση από τα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων, αποτέλεσμα το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις χρήσεις γης αλλά και στις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας.



## ABSTRACT

Increasing demand for water caused by rapid population growth and industrial development, on one hand and the deterioration of fresh water sources with the contribution of climate change on the other hand, leads to the shortage of water supplies around the world. To cope with this situation, the effective management of water resources is required. For this cause, in recent years, effective methods for Aquifer Recharge are being developed and implemented in many countries.

Managed Aquifer Recharge is a wide-spread well-established groundwater engineering method which is largely seen as an alternative potential major source for water and this conclusion becomes even more pronounced in semi-arid and/or arid areas, such as the Mediterranean Basin. The process of site selection for the installation of a MAR facility is of paramount importance for the feasibility and effectiveness of the project itself, especially when the facility will include the use of waters of impaired quality as a recharge source.

The main objective of this study is to present the developed framework of a multi-criteria Decision Support System (DSS) that integrates within a dynamic platform: the main groundwater engineering parameters associated with MAR applications together with the general geographical features which determine the effectiveness of such a project. The proposed system will provide an advanced coupled DSS-GIS tool capable of handling local MAR-related issues -such as hydrogeology, topography, soil, climate etc., and spatially distributed variables -such as societal, economic, administrative, legislative etc., with special reference to Soil-Aquifer-Treatment technologies. The new SAT-selection tool in question is integrated in ArcGIS software -within a user friendly environment- where data can be processed and displayed using Arc tools for spatial analysis.

Based on the relevant bibliography, the suitability maps for the siting of SAT systems in the Attica Water Region were generated. These suitability maps reflect the classification of the survey area as (a) suitable, (b) moderate suitability and (c) unfit for SAT according to the calibration of the chosen criteria. The criteria chosen for the research were (a) the hydrological characteristics – soil permeability, (b) the slope, (c) the aquifer depth and (d) the distance of the available land from the sewage treatment plants. Also, in addition of the suitability maps, exclusion maps were generated which represent human activities and territories that don't permit the application of SAT systems.

The last step of the research was the generation of the final suitability map which represents all the locations where the application of SAT systems is permitted. The final suitability map is characterized by a lack of available lands at the desired distance from the wastewater treatment plants, a result which is largely due to the land use and the hydrogeological conditions in the study area.



# 1. ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

## 1.1. Εισαγωγή

Προτού γίνει αναφορά στον τεχνητό εμπλουτισμό, στους τρόπους που εφαρμόζεται και στη σημασία που έχει για τα υπόγεια νερά, είναι απαραίτητο να περιγραφεί ο φυσικός εμπλουτισμός υδροφορέων. Ο φυσικός εμπλουτισμός είναι η διαδικασία της φυσικής τροφοδοσίας, σε μια λεκάνη ή περιοχή, των υδροφόρων στρωμάτων με το νερό των κατακρημνισμάτων. Το νερό αυτό φθάνει στα υδροφόρα στρώματα, είτε άμεσα με την κατείσδυση, είτε έμμεσα με τη διήθηση από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου. Το ποσοστό του νερού που κατεισδύει, εξαρτάται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στην περιοχή, το ύψος των βροχοπτώσεων και την ετήσια κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Σε περιπτώσεις, όμως, μειωμένης ποσότητας των υπογείων νερών είναι δυνατόν να αυξηθεί η ποσότητα αυτή μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης, και να προκληθεί τεχνητός εμπλουτισμός (groundwater artificial recharge). Ως Τεχνητός Εμπλουτισμός ορίζεται η αύξηση της φυσικής ροής του επιφανειακού νερού προς τους υδροφόρους, με την κατασκευή κατάλληλων έργων, την κατάκλυση με νερό ή τη μεταβολή των φυσικών συνθηκών (Todd, 1980; Καλλέργης, 2001).

Στην πιο ευρεία έννοια θα μπορούσε να αναφερθεί ότι τεχνητός εμπλουτισμός είναι η εισαγωγή πρόσθετων ποσοτήτων νερού στο(-α) υδροφόρο(-α) στρώμα(-τα). Το πρόσθετο αυτό νερό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακό νερό ή από νερό από παρακείμενο(-α) υδροφόρο(-α) στρώμα(-τα) (Χρυσικού Ε., 2008).

Ο τεχνητός εμπλουτισμός επιτυγχάνεται με την αύξηση της διαβρεχόμενης επιφάνειας του εδάφους και την αύξηση της χρονικής διάρκειας της διήθησης των επιφανειακών νερών προς τα υδροφόρα στρώματα (πέραν εκείνης που συμβαίνει με τον φυσικό εμπλουτισμό). Επιτυγχάνεται επίσης και με διάθεση νερού απευθείας μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω φρεάτων και γεωτρήσεων (Χρυσικού Ε., 2008).



**Σχήμα 1.1.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με λεκάνες (Pleasanton, Καλιφόρνια)

Ο τεχνητός εμπλουτισμός χρησιμοποιείται στο διεθνή, κυρίως χώρο εδώ και 200 χρόνια περίπου με στόχο ή συνδυασμό στόχων που αναφέρονται παρακάτω:

- Την αύξηση της εκμεταλλεύσιμης ποσότητας υπόγειου νερού ή τη δημιουργία προσωρινού υπόγειου ταμιευτήρα για εκμετάλλευση.
- Την αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας (δηλαδή του υδρολογικού ισοζυγίου) υδροφόρων στρωμάτων ή συστημάτων που διαταράχθηκε λόγω υπερεκμετάλλευσης (υπεράντλησης) τους ή την πρόληψη της επαπειλούμενης διατάραξης του υδρολογικού ισοζυγίου και των συνεπειών του.
- Την πρόκληση ανόδου της στάθμης (τοπικά ή γενικά) σε παράκτια υδροφόρα στρώματα για την αποφυγή ή την ανάσχεση διείσδυσης της θάλασσας και υφαλμύρωσης των υδροφορέων.
- Την άνοδο ή έστω τη διατήρηση της στάθμης υδροφόρων στρωμάτων για την αποφυγή υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους.
- Την τροποποίηση της ποιότητας υπόγειου νερού με εμπλουτισμό του από άλλο κατάλληλο ποιοτικά.
- Την επεξεργασία επιφανειακών νερών προς εκμετάλλευση δια της διήθησής τους από κατάλληλα εδαφικά-γεωλογικά στρώματα.
- Τη διατήρηση της παροχής που επαπειλείται με μείωση ή και πλήρη στείρευση ή επαναλειτουργία στείρευθείσης ήδη πηγής αντλούμενου φρέατος (ή γεώτρησης) ή κάθε υδροληπτικού (υδρομαστευτικού) έργου.
- Την ενεργειακή χρήση νερού με εισαγωγή κρύου και άντληση ζεστού σε περιοχές γεωθερμικών πεδίων.
- Τη λειτουργία ψυκτικών εγκαταστάσεων και μηχανισμών εργοστασίων με την εισαγωγή θερμού νερού και την άντληση κρύου.
- Την αντιμετώπιση πλημμυρικών παροχών με τη διοχέτευση μέρους τους σε περιοχές με διατάξεις-εγκαταστάσεις τεχνητού εμπλουτισμού.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί να εφαρμοστεί υπό *προϋποθέσεις* εκ των οποίων κάποιες είναι:

- Να υπάρχει επιφανειακό νερό σε επαρκή ποσότητα.
- Η ποιότητα του επιφανειακού νερού να είναι κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτήν του υπόγειου.
- Να υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες (επιφάνειες και υπέδαφος με μεγάλη περατότητα, υδροφόρα στρώματα σε αλληλουχία και σε υδραυλική διασύνδεση κ.λπ.).
- Το κατασκευαστικό και το λειτουργικό κόστος να μην είναι ασύμφορα ώστε να καθιστούν την επιλογή του τεχνητού εμπλουτισμού απαγορευτική.
- Να υπάρχουν βασικά έργα υποδομής ή η δυνατότητα κατασκευής τους.
- Να μην τίθενται νομικά κωλύματα.
- Να υπάρχει αποδοχή του έργου από τις τοπικές κοινωνίες.

## 1.2. Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού

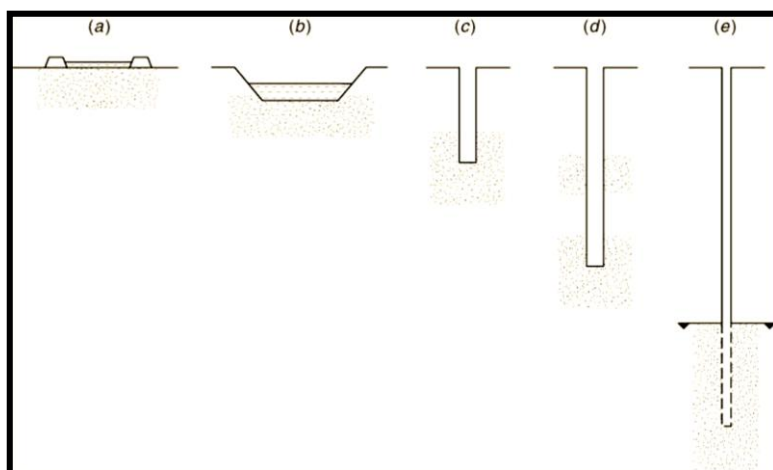
Έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές τεχνητού εμπλουτισμού, με την κάθε μία να επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου ή τις συνθήκες, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου επιλέγεται συνδυασμός τεχνικών που ανήκουν και στις δύο βασικές μεθόδους. Αυτές οι μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού είναι (Bianchi, 1978, Bouwer, 1995, Buchan, 1958, Committee on Ground Water, 1961, Διαμαντής κ.α., 1994, Διαμαντής κ.α., 1999, Καλλέργης, 1986, Meinzer, 1946, Muckel, 1958, Muckel, 1959, Muckel and Schiff, 1955, Nightingale and Bianchi, 1977, Oaksford, 1985, Pettyjohn, 1981, Πλιάκας και Διαμαντής, 1995, Πλιάκας, 1998, Πλιάκας και Διαμαντής, 1999, Pliakas et al., 2001, Todd, 1980, Todd and Mays, 2005):

- **Μέθοδοι επιφανειακής κατάκλυσης – διήθησης** (απευθείας στην επιφάνεια):

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

- **Μέθοδοι υπόγειας διήθησης** (απευθείας στο υπέδαφος):

Στη δεύτερη μέθοδο, αυτή της υπόγειας διήθησης, το νερό οδηγείται σε πηγάδια ή/και γεωτρήσεις και μέσω αυτών διοχετεύεται απ' ευθείας στο έδαφος ώστε να επιτευχθεί άμεσος εμπλουτισμός. Αυτή η μέθοδος μπορεί να επικεντρώνεται σε τεχνητά ή και φυσικά ανοίγματα στο έδαφος ενώ ο εμπλουτισμός μπορεί να συμβαίνει είτε στην ακόρεστη ζώνη είτε απευθείας στον υδροφόρο ορίζοντα.



**Σχήμα 1.2.** : Συστήματα εμπλουτισμού υδροφόρων σε διάφορα βάθη a) επιφανειακή λεκάνη κατάκλυσης b) λεκάνη κατάκλυσης μετά από εκσκαφή c) τάφος εμπλουτισμού d) φρεάτιο εμπλουτισμού στην ακόρεστη ζώνη e) γεώτρηση εμπλουτισμού (Bouwer, 1999, Todd and Mays, 2005)



### 1.2.1. Μέθοδοι επιφανειακής κατάκλυσης – διήθησης

Ο όρος αυτός αναφέρεται στην διάθεση νερού στην επιφάνεια του εδάφους, ώστε να αυξηθεί η ποσότητα της κατείδυσης και διήθησης προς τον υδροφόρο ορίζοντα (Muckel, 1959). Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται συνήθως για τον εμπλουτισμό ελεύθερων υδροφόρων στρωμάτων, εφόσον υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων νερών. Θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν για την τροφοδοσία και υπό πίεση υδροφορέων αν η επιφανειακή κατάκλυση γινόταν στην περιοχή της φυσικής τροφοδοσίας τους. Ανήκουν στην κατηγορία εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού από επιφάνειες και μπορούν να περιγραφούν και με τον όρο του τεχνητού εμπλουτισμού με πλημμυρισμό επιφανειών. Είναι από τις πλέον απλές, τις παλαιότερες και τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους τεχνητού εμπλουτισμού. Η μέθοδος στηρίζεται στις επιφανειακές κατακλύσεις (spreadings) επιφανειακών έργων όπως λεκανών, λάκκων, ορυγμάτων, διαμορφωμένων κοιτών υδρορευμάτων και άλλων. Το νερό κινείται προς τα κάτω με ορισμένη ταχύτητα και φτάνει στη στάθμη του υπόγειου νερού, εμπλουτίζοντάς το. Μπορούν μάλιστα να χρησιμοποιηθούν ακόμα και νερά δεύτερης ποιότητας (από βιολογικό καθαρισμό) για να συνεισφέρουν στο υδάτινο δυναμικό.

Έρευνες έδειξαν ότι ο ρυθμός διήθησης του νερού εμπλουτισμού στις κατακλύσεις, μειώνεται με το χρόνο. Αρχικά, λόγω ύγρανσης του εδάφους και της επακόλουθης διόγκωσης των αργιλικών του υλικών, παρατηρείται κάποια αρχική μείωση του ρυθμού εμπλουτισμού. Προοδευτικά το νερό κατερχόμενο εκδιώκει τον αέρα του εδάφους και παρατηρείται στη συνέχεια μια αύξηση του ρυθμού. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αρχίζει σταδιακή απόφραξη (κλείσιμο) των πόρων του εδάφους από διάφορες αιτίες, με αποτέλεσμα ο ρυθμός εμπλουτισμού να μειώνεται και πάλι (Γλιάκας, 1998).

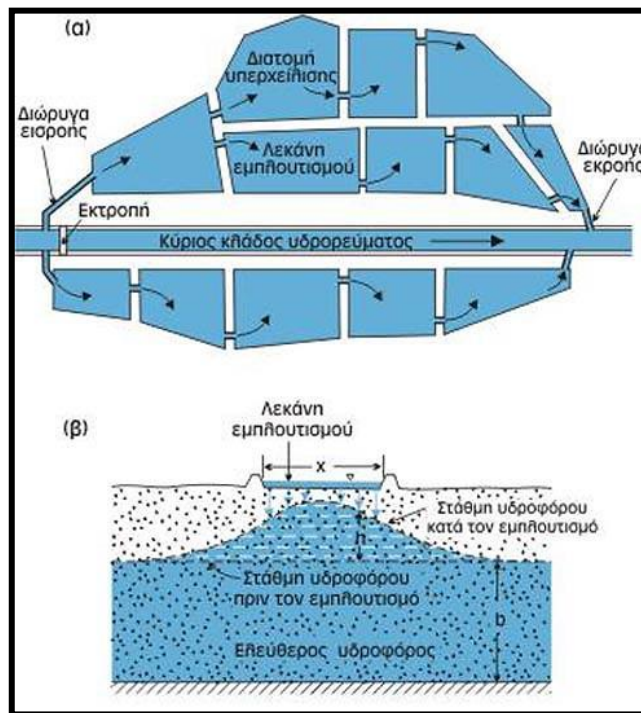
Οι βασικότερες αιτίες του φραξίματος των πόρων του εδάφους, γνωστού διεθνώς ως *clogging*, είναι η συσσώρευση σ' αυτούς αργιλοϊλύων που προέρχονται από το νερό εμπλουτισμού και η ανάπτυξη βακτηριακών αποικιών που φράζουν επίσης τους πόρους του εδάφους.

Γενικά οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διήθησης του νερού είναι στην μεν ακόρεστη ζώνη του εδάφους, η λιθολογική σύσταση του εδάφους, ο βαθμός διαγένεσής του και η καθαρότητα του νερού, στο δε υδροφόρο, τα υδρογεωλογικά του χαρακτηριστικά. Άλλοι παράγοντες είναι η κλίση του εδάφους, το πάχος του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, οι φυσικές, χημικές, βιολογικές παράμετροι του νερού και οι τυχόν αλλαγές του. Είναι θέμα διερεύνησης να βρεθεί ποιος από όλους τους παράγοντες είναι ο σημαντικότερος σε κάθε περίπτωση. Οποσδήποτε παίζει ρόλο και η σωστή λειτουργία και συντήρηση του έργου εμπλουτισμού.

Όταν λειτουργεί το έργο εμπλουτισμού, κάτω από αυτό δημιουργείται ένα ύβωμα της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου νερού λόγω τοπικής τροφοδοσίας του. Το ύψος και η εξάπλωση του υβώματος εξαρτώνται από την ταχύτητα διήθησης, τον όγκο του νερού εμπλουτισμού που προστέθηκε στο υδροφόρο και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου και κυρίως την υδαταγωγιμότητα.

### Μέθοδος Λεκανών (Basin Method)

Οι λεκάνες εμπλουτισμού αποτελούν τις πλέον προσιλίες μεθόδους τεχνητού εμπλουτισμού καθώς επιτρέπουν επαρκή χρήση της επιφάνειας του εδάφους ενώ έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε συντήρηση. Το νερό εμπλουτισμού παροχετεύεται σε λεκάνες οι οποίες σχηματίζονται με τη κατασκευή εκσκαφών, τάφρων ή αναχωμάτων (Σχήμα 2.3.). Το μέγεθος και το σχήμα της λεκάνης προσαρμόζεται ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους.



**Σχήμα 1.3.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με κατάκλιση λεκανών. (α): κάτοψη, (β): τομή κάτω από μία λεκάνη πλάτους  $x$  (από Καλλέργη 2001 κατά Todd 1980)

Οι λεκάνες μπορούν να κατασκευασθούν ανεξάρτητα, όπως σε μικρές εκτάσεις όπου συμβαίνει αποστράγγιση της απορροής βροχοπτώσεων ή καταιγίδων, ή να κατασκευασθούν σε σειρά λεκανών όπου παροχετεύεται το νερό υδρορρευμάτων.

Η διάταξη σε σειρά παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η δυνατότητα αποθήκευσης αυξάνει το χρόνο εμπλουτισμού
- Οι ανάντη πρώτες λεκάνες συμβάλλουν στη διαδικασία καθαρισμού του νερού που οδηγείται στις επόμενες κατάντη λεκάνες.
- Παρέχεται η ευχέρεια να τίθενται εκτός λειτουργίας λεκάνες, για λόγους συντήρησης (σκάψιμο, ξύσιμο, αναμόχλευση), χωρίς να παρεμποδίζεται η ομαλή λειτουργία του έργου εμπλουτισμού.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα.

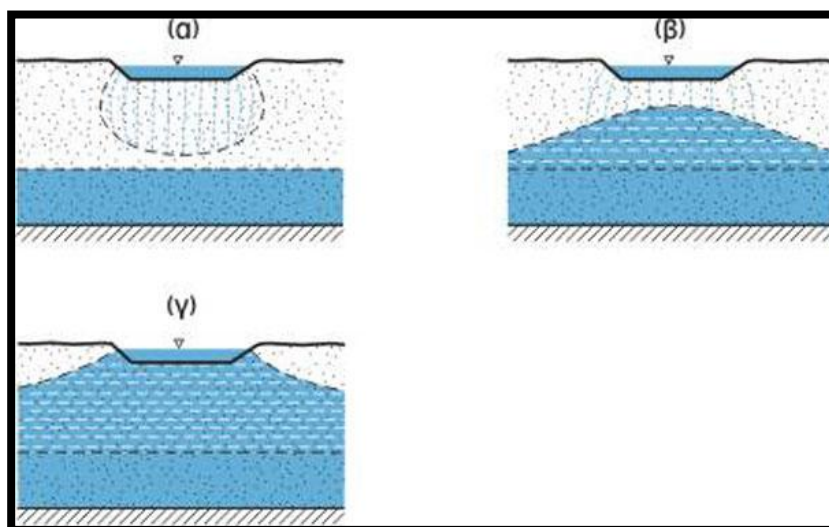
Η ικανότητα διήθησης του νερού, που πρέπει να είναι απαλλαγμένο από αιωρούμενα υλικά (ιλύ), μπορεί να βελτιωθεί με τη προσθήκη οργανικών και χημικών ουσιών στο νερό. Επιπλέον, μπορεί να βελτιωθεί και με τη καλλιέργεια βλάστησης στην επιφάνεια ή με άλλες ειδικές επεμβάσεις στη λειτουργία του έργου όπως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

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι λεκάνες είναι η δυνατότητα επαρκούς εκμετάλλευσης της εδαφικής επιφάνειας που προσφέρεται για εμπλουτισμό αφού με αυτήν την τεχνική το νερό εμπλουτισμού έρχεται σε άμεση επαφή με το 75 – 90% της περιοχής εμπλουτισμού (Καλλέργης, 1986) και η δυνατότητα συγκράτησης των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού με τη κατασκευή ανάλογων λεκανών με κατάλληλες διαστάσεις. Επίσης έχουν δυνατότητα αποθήκευσης περιοδικών πλημμυρών για μελλοντική χρήση τους για ανάγκες εμπλουτισμού ενώ με αυτή τη μέθοδο μπορεί να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο clogging.

### **Μέθοδος Τάφρων και Αυλάκων (Ditch and Furrow Method)**

Η παροχέτευση του νερού γίνεται σε μια σειρά από τάφρους ή αυλάκια μικρού βάθους και πλάτους 0,3 – 1,8 m επίπεδου πυθμένα και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Η διάταξη του συστήματος των τάφρων και αυλακών μπορεί να είναι μαιανδρικής μορφής (ακολουθώντας τις ισουψείς), δενδροειδής μορφής (όπου το κύριο κανάλι διακλαδίζεται σε δευτερεύοντα κανάλια), πλευρικής μορφής (κατασκευή μικρών καναλιών ή τάφρων πλευρικά προς το κύριο κανάλι) (Καλλέργης, 1986, Muckel, 1959).

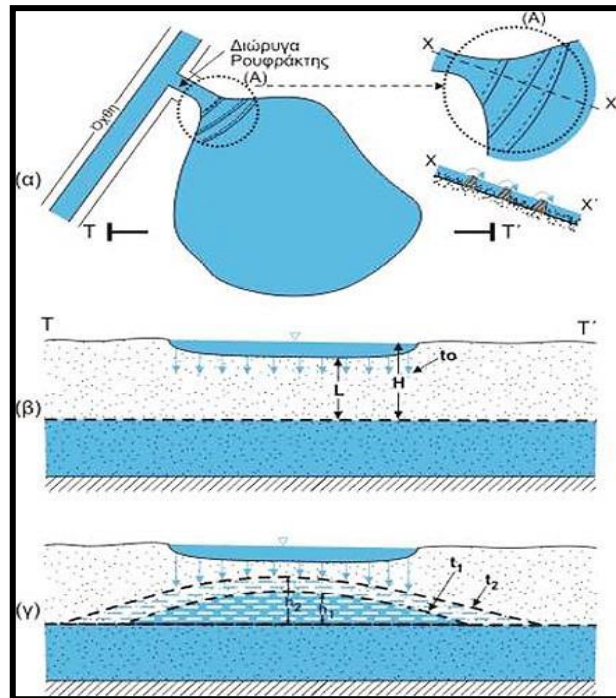
Αυτή η μέθοδος προτιμάται σε περιπτώσεις όπου το νερό εμπλουτισμού περιέχει μεγάλα φορτία αιωρούμενων υλικών. Επίσης, είναι αποτελεσματική σε ανώμαλο εδαφικό ανάγλυφο, αλλά η επιφάνεια επαφής νερού-εδάφους σπάνια μπορεί να φτάσει το 10% όλης της επιφάνειας όπου εφαρμόζεται ο εμπλουτισμός.



**Σχήμα 1.4.** : Η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφρο. κατά τους (Bize, J., Bourguet L., Lemoine, J. 1972 με επανασχεδίαση από το συγγραφέα)

## Μέθοδος Πλημμύρας – Πλημμυρισμός Επιφανειών (Flooding Method)

Με αυτήν την μέθοδο, σε περιοχές μικρής σχετικά κλίσης (1 – 3%), το νερό διοχετεύεται με τη χρήση καναλιών και αυλακών διανομής, με σκοπό να κατακλύσει μεγάλη έκταση σχηματίζοντας ένα στρώμα μικρού πάχους ο οποίο κινείται αργά, ώστε να αποφευχθεί η διατάραξη του εδάφους. Γενικά οι ταχύτητες διήθησης είναι μεγαλύτερες σε περιοχές με αδιατάρακτη βλάστηση και αδιατάρακτο έδαφος.



**Σχήμα 1.5.** : Τεχνητός εμπλουτισμός με πλημμυρισμό επιφανειών (α): κάτοψη, (β): τομή ΤΤ' κατά την έναρξη του εμπλουτισμού (χρόνος  $t_0$ ), (γ): Τομή ΤΤ για διαφορετικούς χρόνους  $t_1$  και  $t_2$  ( $t_2 > t_1$ ) από την έναρξη του εμπλουτισμού. Στο (Α) και στην τομή  $xx'$  έχουμε λεκάνες καθίζησης

Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης.

Ως μειονεκτήματα μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Υψηλές απαιτήσεις σε έκταση για την εφαρμογή της
- Η εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων από το νερό εμπλουτισμού
- Η δυσκολία ικανοποιητικής ανάσχεσης του νερού που πλημμυρίζει. (Καλλέργης, 1986, Oaksford, 1985)

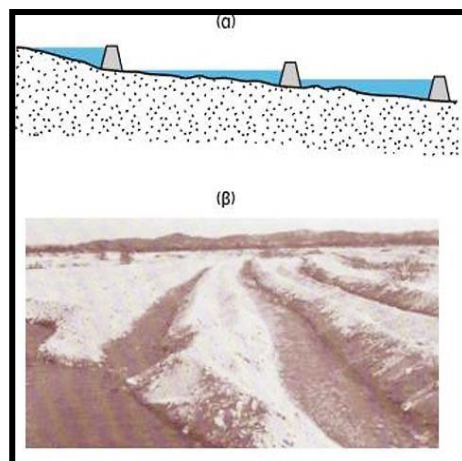
Βέβαια, η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο αποτελεσματική από άλλες, αφού οι ταχύτητες ροής του νερού στη κοίτη συχνά υπερβαίνουν τη ταχύτητα διήθησης ενώ η εφαρμογή της απαιτεί οικονομικούς πόρους οι οποίοι δεν είναι πάντα διαθέσιμοι.

### Επανενεργοποίηση ή Αύξηση Ροής Υδρορρεύματος (Steam Flow Reactivation or Augmentation)

Η εν λόγω μέθοδος έχει ως αντικείμενο την εφαρμογή του εμπλουτισμού στην αρχή της πηγής τροφοδοσίας υδρορρεύματος με σκοπό την επανενεργοποίηση ή την αύξηση της ικανότητας διήθησης. Η μέθοδος αυτής χρησιμοποιείται ως εναλλακτικής μέθοδος τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές όπου υπάρχουν εγκαταλελειμμένες κοίτες ή σε κοίτες που έχει μειωθεί η έκτασή τους εξαιτίας της μεγάλης πτώσης του υποκείμενου υδροφόρου ορίζοντα όπως στο Long Island της Νέας Υόρκης (Prince, 1982). Πέραν της ευεργετικής από υδρογεωλογικής άποψης εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού, η εφαρμογή της μεθόδου αποκτά και άλλες διαστάσεις, αφού με την εκ νέου ροή νερού στη κοίτη, το ευρύτερο περιβάλλον επανακτά τη μέχρι πρότινος διαταραγμένη φυσική του λειτουργία.

### Μέθοδος Διευθέτησης Υδρορρεύματος (Steam-Channel Modification)

Με τη μέθοδο αυτή επιχειρείται η αύξηση της ικανότητας διήθησης με την κατάλληλη διευθέτηση της κοίτης υδρορρεύματος με σκοπό την επιβράδυνση της ροής του νερού μέσα στο υδρορρευμα και την αύξηση της επιφάνεια της κοίτης που έρχεται σε επαφή με το νερό του υδρορρεύματος. Οι εργασίες διευθέτησης μπορεί να περιλαμβάνουν τη 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 έχουν συνήθως προσωρινό χαρακτήρα, φτιαγμένα από τα υλικά του πυθμένα του υδρορρεύματος και σχεδιασμένα να αυξάνουν τις ποσότητες που εμπλουτίζονται εποχιακά.



**Σχήμα 1.6.** : Διευθετήσεις στις κοίτες χειμάρρων για τεχνητό εμπλουτισμό. (α) μικρά φράγματα κατά μήκος, (β) αυλάκια (κατά Todd 1980)

Όμως, το αρνητικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι καταρρέουν εύκολα σε πιθανές πλημμύρες. Παρ όλα αυτά η μέθοδος κρίνεται ως αποτελεσματική σε περιπτώσεις εφαρμογής της, αφού έχει χαμηλό κόστος συντήρησης και κατασκευής, ενώ η όλη διαδικασία δεν επηρεάζει άλλες χρήσεις γης.

## **Μέθοδος Άρδευσης (Irrigation Method)**

Με τη μέθοδο άρδευσης επιχειρείται να επιτευχθεί εμπλουτισμός από το πλεόνασμα νερού της άρδευσης σε αρδευόμενες περιοχές κατά τις περιόδους της αγρανάπαυσης, το χειμώνα ή τις μη αρδευτικές περιόδους.

Η μέθοδος είναι παρόμοια με τη τυπική διαδικασία των τεχνικών της άρδευσης, που μπορεί να περιλαμβάνουν επιφανειακή ροή του νερού, τάφρους και αύλακες, σύστημα υπόγειας άρδευσης, διατάξεις εμπλουτισμού με πλημμύρα και συστήματα καταιονισμού. Η μέθοδος χρησιμοποιεί συνήθως μία από τις παραπάνω τεχνικές άρδευσης, αφού εκμεταλλεύεται το πλεονάζον νερό άρδευσης. Χαρακτηριστικό της είναι το χαμηλό της κόστος καθώς χρησιμοποιεί το αρδευτικό δίκτυο διανομής του νερού που είναι ήδη εγκατεστημένο και δεν απαιτείται κάποια 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 (Καλλέργης, 1986).

### **1.2.2. Μέθοδοι υπόγειας διήθησης**

Οι μέθοδοι αυτές αποσκοπούν στην απ ευθείας επίτευξη τροφοδοσίας των υδροφόρων, δηλαδή το νερό εμπλουτισμού διοχετεύεται μέσα σε πηγάδια ή/και γεωτρήσεις και απορροφάται απ' ευθείας από το υδροφόρο στρώμα.

Τα φρέατα επαναφόρτισης ή «έγχυσης» νερού χρησιμοποιούνται για να διοχετεύσουν άμεσα το διατιθέμενο νερό στις βαθιές υδροφόρες ζώνες. Τα πηγάδια αυτά θα μπορούσαν να είναι «εγκιβωτισμένα» μέσα στο υλικό που υπέρκειται του υδροφόρου ορίζοντα και εάν τα εδαφικά υλικά είναι μη σταθεροποιημένα μπορεί να τοποθετηθεί ένα κόσκινο στο πηγάδι στη ζώνη της έγχυσης νερού. Σε μερικές περιπτώσεις, διάφορα φρεάτια επαναφορτίσεων μπορούν να εγκατασταθούν στο ίδιο πηγάδι γεώτρησης.

Κατά τον εμπλουτισμό δημιουργείται γύρω από τη γεώτρηση ένας κώνος εμπλουτισμού όμοιος και ίσος στις διαστάσεις με τον κώνο κατάπτωσης όταν αντλείται η γεώτρηση για ίδιες παροχές. Οι δύο αυτοί κώνοι έχουν αντίστροφη σχέση. Κανονικά η παροχή άντλησης και η παροχή εμπλουτισμού μιας γεώτρησης θα έπρεπε να είναι ίδιες εφόσον οι δύο κώνοι της είναι ίδιοι και αντίστροφοι.

Στην πράξη σπανίως συμβαίνει αυτό. Κατά κανόνα η παροχή εμπλουτισμού είναι μικρότερη από την παροχή άντλησης. Αυτό οφείλεται στις επιδράσεις που έχει, πάνω στην απόφραξη της γεώτρησης και του γύρω από αυτήν υδροφόρου στρώματος, το νερό εμπλουτισμού. Τα φρέατα εμπλουτισμού είναι κατάλληλα μόνο στις περιοχές όπου υπάρχει ένα παχύ αδιαπέραστο στρώμα μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και του υδροφόρου στρώματος που αναπληρώνεται. Είναι επίσης συμφέροντα σε περιοχές όπου οι εδαφικές εκτάσεις είναι περιορισμένες.

Ένα σχετικά υψηλό ποσοστό επαναφόρτισης μπορεί να επιτευχθεί μ' αυτό τον τρόπο. Η απόφραξη του κόσκινου στο υδροφόρο στρώμα του φρέατος μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική συγκέντρωση των σταθμών ύδατος. Σε ιδανικές συνθήκες ένα πηγάδι θα δεχτεί το νερό της επαναφόρτισης τουλάχιστον τόσο εύκολα όσο όταν θα έδινε νερό με άντληση.

Υπάρχουν παράγοντες που προκαλούν την απόφραξη και την άνοδο της στάθμης του νερού σε ένα πηγάδι επαναφόρτισης του υδροφόρου ορίζοντα σε επίπεδα υψηλότερα από αυτά που θα αναμένονταν κατά την ομαλή λειτουργία, στην οποία θα διεξαγόταν ομαλά η διοχέτευση του νερού προς το έδαφος.

Αυτοί οι παράγοντες είναι:

- Τα αιωρούμενα ιζήματα (οργανική και ανόργανη ύλη).
- Η μικροβιακή ανάπτυξη.
- Ο αέρας που παρασύρεται στο πηγάδι.
- Χημικές αντιδράσεις ανάμεσα στο νερό φόρτισης και στο φυσικό υπόγειο νερό ή το υλικό του υδροφορέα.
- Αντιδράσεις ιόντων που προκαλούν διασπορά των σωματιδίων της αργίλου και διόγκωση των κολλοειδών, σε έναν υδροφορέα με άμμο και χαλίκι.
- Βιοχημικές αλλαγές στο νερό που οδηγείται προς εμπλουτισμό και στο υπάρχον νερό (βακτήρια που ανάγουν το σίδηρο ή το θείο).
- Διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του νερού του υδροφόρου και του νερού εμπλουτισμού.

### **Μέθοδος με Φυσικά Ανοίγματα (Natural Openings Method)**

Ο εμπλουτισμός επιτυγχάνεται μέσα από φυσικά ανοίγματα που δημιουργούνται από σπάσιμο ασβεστόλιθων ή άλλων ευδιάλυτων πετρωμάτων. Αυτό το σύστημα εμπλουτισμού είναι σχετικά χαμηλού κόστους. Ως μειονέκτημα έχει τη δυσκολία εφαρμογής της μεθόδου κάτω από δυσμενείς γεωλογικές και εδαφικές συνθήκες.

### **Μέθοδος Ορυγμάτων (Pit Method)**

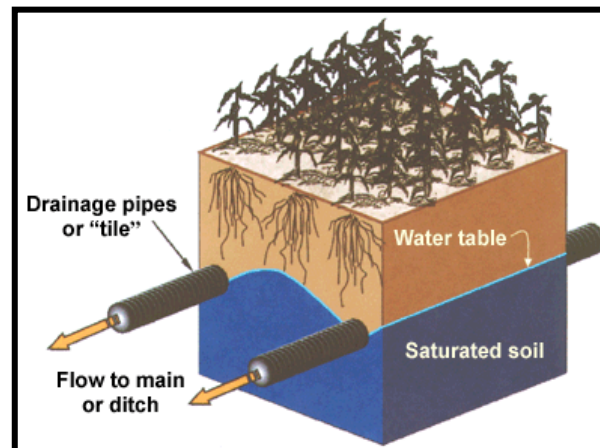
Η ύπαρξη σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους στρωμάτων μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας, μπορεί να επιτρέψει τον εμπλουτισμό με τη διάνοιξη βαθιών ορυγμάτων ή φρεάτων τα οποία διαπερνούν τα πιο πάνω στρώματα. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι η αιωρούμενη στο νερό ιλύς καθιζάνει στον πυθμένα του ορύγματος και δεν επικάθεται στα τοιχώματά του λόγω της μεγάλης κλίσης τους.

Η εφαρμογή της μεθόδου όμως είναι περιορισμένη αφού η δαπάνη κατασκευής και συντήρησης είναι μεγάλη αν γίνει η σύγκρισή της με τις μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού. Μπορεί όμως να μειωθεί αισθητά αν χρησιμοποιηθούν εγκαταλειμμένα ή χαλικώδη ορύγματα.



### **Μέθοδος Αντίστροφης Αποστράγγισης (Reverse Drainage Method)**

Με τη μέθοδο αυτή, το νερό διοχετεύεται σε ένα υπόγειο δίκτυο αγωγών από το οποίο διηθείται στο έδαφος, παρόμοια με τη τεχνική υπόγειας άρδευσης. Η διαδικασία της μεθόδου είναι αντίστροφη με εκείνης της διαδικασίας κατά την οποία συγκεντρώνεται και απομακρύνεται νερό από την κορεσμένη ζώνη.



**Σχήμα 1.7. :** Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης

Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η ασήμαντη χρήση της επιφάνειας του εδάφους, λύση αρκετά δελεαστική για την εφαρμογή της σε περιοχές όπου η αξία γης είναι μεγάλη. Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου υπάρχουν στην Ιαπωνία και στη Κύπρο.

### **Μέθοδος με Γεωτρήσεις Εμπλουτισμού (Recharge Well Method)**

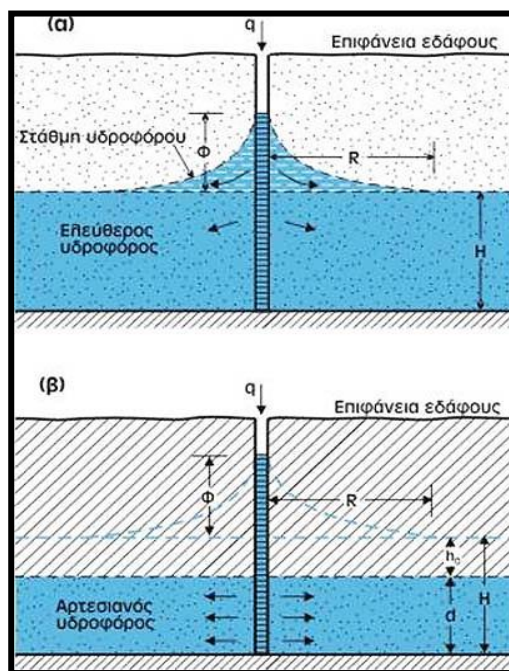
Γεώτρηση εμπλουτισμού χαρακτηρίζεται μια γεώτρηση η οποία διαβιβάζει νερό από την επιφάνεια προς τους υποκείμενους υδροφόρους (Todd, 1980) και λειτουργεί κατά αντίστροφη φορά σε σχέση με μια γεώτρηση άντλησης. Οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό βαθιών αρτεσιανών υδροφόρων απομονωμένων από την επιφάνεια εξαιτίας της ύπαρξης ενδιάμεσων υλικών χαμηλής υδροπερατότητας, ή εκεί όπου υπεισέρχονται παράγοντες οικονομίας χώρου, όπως σε αστικές περιοχές. Οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τροφοδοσία δύο ή περισσότερων υδροφόρων συγχρόνως ή να επιτύχουν υδραυλική επικοινωνία δύο απομονωμένων μεταξύ τους υδροφόρων, όπου οι υδραυλικές συνθήκες το επιτρέπουν. Επίσης το νερό εμπλουτισμού δεν είναι απαραίτητο πάντα να προέρχεται από επιφανειακή πηγή τροφοδοσίας.

Εκτός από τον αρχικό σκοπό τους, που είναι ο εμπλουτισμός υδροφόρων που παρέχουν πόσιμο νερό, οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται και για τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούνται για ψύξη όπως και για να ανανεώνουν με γλυκό νερό τους παράκτιους υδροφορείς που αντιμετωπίζουν προβλήματα διείσδυσης αλμυρού νερού.



Σημαντικοί παράγοντες που ελαττώνουν προοδευτικά την απόδοση των γεωτρήσεων εμπλουτισμού είναι:

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



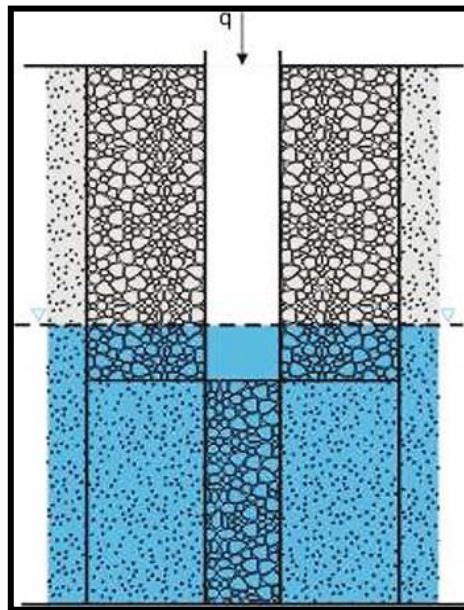
**Σχήμα 1.8.** : Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α): ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β): υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (βλ. κείμενο) (κατά Todd C., 1980, από τον Καλλέργη Γ., 2001, με επανασχεδίαση από το συγγραφέα)

Ο τεχνητός εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων πρέπει να γίνεται με νερό ποιότητας ποσίμου, να είναι δηλαδή τόσο καθαρό όσο το νερό του υδροφόρου και να μην περιέχει μικροοργανισμούς. Αυτό το νερό μπορεί να προέρχεται είτε από υπόγεια νερά άλλων περιοχών, που μεταφέρεται με κλειστούς αγωγούς στην περιοχή εμπλουτισμού π.χ. πηγαία νερά ή αντλούμενα από γεωτρήσεις. Νερά προερχόμενα από λίμνες και ποτάμια, για να χρησιμοποιηθούν, πρέπει προηγουμένως να επεξεργάζονται σε δεξαμενές καθίζησης. Όλα τα νερά εμπλουτισμού πρέπει να χλωριώνονται και μετά να διοχετεύονται στη γεώτρηση. Σε πολλές περιπτώσεις το νερό εμπλουτισμού μεταφέρεται από μεγάλες αποστάσεις με τσιμενταύλακες ή με κλειστούς αγωγούς.

Κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού η στάθμη του νερού στη γεώτρηση ανεβαίνει και μετά από κάποιο χρόνο μπορεί να ξεχειλίσει από το στόμιο της γεώτρησης. Πριν συμβεί αυτό, συνήθως μειώνεται η παροχή εμπλουτισμού με τη χρήση βάνας. Για να αποφευχθεί η παρουσία του ανθρώπου στη γεώτρηση, είναι δυνατόν με αυτοματισμό να ελέγχεται η στάθμη της γεώτρησης και να μειώνεται η παροχή εμπλουτισμού με μια αυτόματα ρυθμιζόμενη βαλβίδα.

### **Μέθοδος με Πηγάδια στην Ακόρεστη Ζώνη (Vadose Zone Wells)**

Τα πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη είναι πηγάδια που διατρέχουν την ακόρεστη ζώνη φτάνοντας σε βάθος 10 – 50 m και έχουν διάμετρο 1 – 2 m. Χρησιμοποιούνται για την απόθεση και διήθηση των απορροών των καταιγίδων σε περιοχές με σχετικά χαμηλές βροχοπτώσεις και χωρίς εγκαταστάσεις αποχέτευσης όμβριων νερών. Τα πηγάδια αυτά διανοίγονται σε περατούς σχηματισμούς, στην ακόρεστη ζώνη τους που αυτή μπορεί να διηθήσει τα νερά της βροχής με ικανοποιητικές ταχύτητες. Όπου το βάθος του υδροφόρου είναι μεγάλο (100 – 300 m), η εφαρμογή αυτού του τύπου των πηγαδιών είναι αρκετά πιο φθηνή από εκείνη των γεωτρήσεων εμπλουτισμού, με αποτέλεσμα αυτή να προτιμάται.

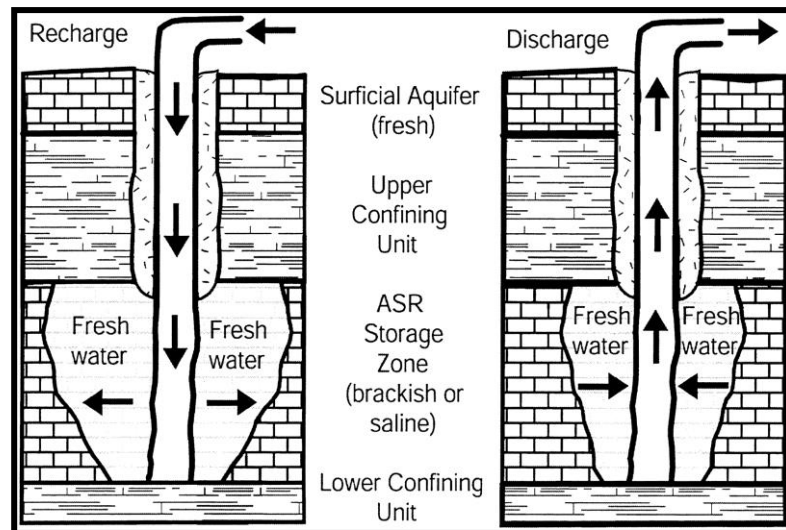


**Σχήμα 1.9. :** Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό

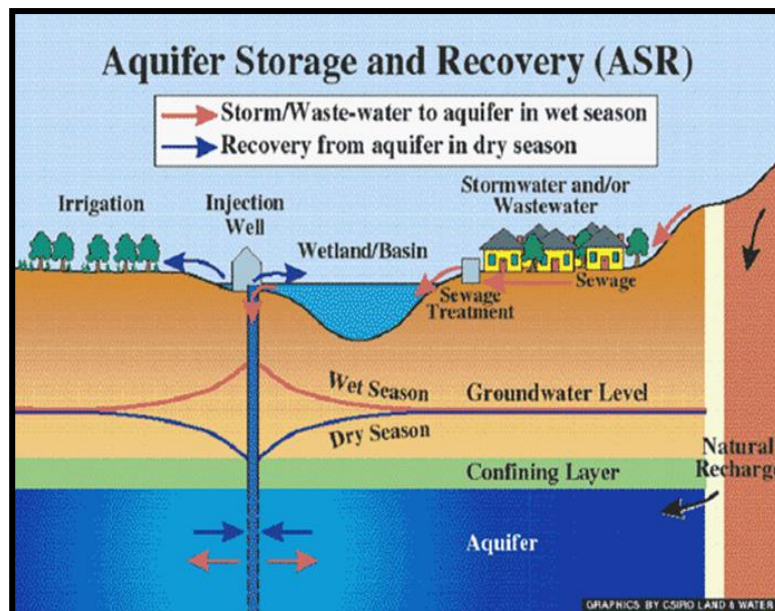
Τα πηγάδια έχουν ως κύριο πρόβλημα είναι το φαινόμενο απόφραξης στα τοιχώματα του πηγαδιού, και την αδυναμία αποκατάστασης του προβλήματος, σε αντίθεση με τις δυνατές διαρθρωτικές παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν στις τυπικές γεωτρήσεις εμπλουτισμού (άντληση ή εκ νέου ανάπτυξη). Παρ όλα αυτά, η μέθοδος αυτή, όπως και η των τυπικών γεωτρήσεων εμπλουτισμού, είναι αρκετά πιο δαπανηρή από τις αντίστοιχες μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού. Τέλος, ζώνες ακόρεστες που έχουν ρυπανθεί, πρέπει να αποκλείονται από την εφαρμογή της μεθόδου σε αυτές (Bouwer, 1995b).

## Μέθοδος με Γεωτρήσεις Αποθήκευσης – Αντλησης (Aquifer Storage and Recovery- ASR Wells)

Μία ταχέως διαδιδόμενη μέθοδος εμπλουτισμού διεθνώς, η μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης αφορά συνδυασμό γεωτρήσεων εμπλουτισμού και άντλησης. Χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει διαθέσιμο πλεονάζον νερό, και αντλούνται όταν υπάρχει απαίτηση σε νερό. Οι ASR γεωτρήσεις τυπικά χρησιμοποιούνται με σκοπό την εποχιακή αποθήκευση πόσιμου νερού σε περιοχές όπου η ζήτηση νερού είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο του καλοκαιριού από εκείνη της περιόδου του χειμώνα και το αντίστροφο.



**Σχήμα 1.10.** : Διάγραμμα των φάσεων αποθήκευσης – άντλησης ενός τυπικού συστήματος στη νότια Φλόριντα



**Σχήμα 1.11.** : Γεώτρηση αποθήκευσης – άντλησης με χρήση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων

### **1.2.3. Συνδυασμοί επιφανειακού και υπεδαφικού εμπλουτισμού**

Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις για τη κάλυψη ειδικών αναγκών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι επιφανειακού εμπλουτισμού σε συνδυασμό με μεθόδους υπεδαφικού εμπλουτισμού συνδυάζοντας με αυτόν τον τρόπο τα πλεονεκτήματα των πρώτων (ευκολία συντήρησης, μεγάλες επιφάνειες διήθησης, δυνατότητα αποθήκευσης νερού) με τα πλεονεκτήματα των δεύτερων (προσπέλαση σε βαθύτερους υδροφόρους και ελάχιστες απαιτήσεις σε εκτάσεις γης).

#### **Συνδυασμός Λεκάνης εμπλουτισμού και αποστραγγιστικού δικτύου (Combination of Surface-Subsurface Recharge)**

Το δυναμικό εμπλουτισμού των λεκανών εμπλουτισμού που βρίσκονται πάνω σε στρώματα υλικών σχετικά μεγάλου πάχους και μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με τη τοποθέτηση υπόγειου συστήματος οριζόντιων σωλήνων συλλογής του νερού μεταξύ των λεκανών και των υποκείμενων στρωμάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως και διοχέτευσή του σε γεωτρήσεις που διαπερνούν τα στρώματα αυτά και εμπλουτίζουν έτσι βαθύτερους υδροφόρους (Bianchi, 1978).

#### **Συνδυασμός Λεκανών και Ορυγμάτων Εκσκαφών ή Γεωτρήσεων (Basins with Pits, Shafts or Wells)**

Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει στις λεκάνες να αποθηκεύσουν νερό και στη συνέχεια στα ορύγματα, τις εκσκαφές ή τις γεωτρήσεις να διανεμούν το νερό με γρήγορο ρυθμό σε περισσότερο περατές ζώνες που υπόκεινται των περιοχών εμπλουτισμού.

### **1.2.4. Μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού**

Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν τεχνικές άντλησης υδροφόρων με σκοπό να προκαλέσουν εμπλουτισμό από παρακείμενα επιφανειακά νερά που βρίσκονται σε άμεση υδραυλική επικοινωνία και διευθέτησης υδροφόρων ή δημιουργίας νέων υδροφόρων με σκοπό την ανανέωση ή δημιουργία αποθήκευσης υπόγειου νερού.

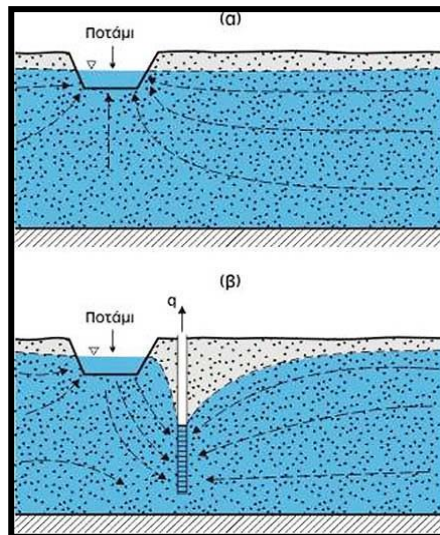
#### **Συμπτωματικός Εμπλουτισμός (Incidental Recharge)**

Η μέθοδος αυτή είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου, που δεν συνδέονται κατ' αρχή με το τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκει ο εμπλουτισμός που προέρχεται από το νερό της άρδευσης, των καταβόθρων, των σηπτικών δεξαμενών, των διάφορων υπονόμων, αγωγών, καναλιών κλπ. Έχει υπολογισθεί ότι το 30% του νερού της άρδευσης επιστρέφει στους ελεύθερους υδροφόρους. Συχνά όμως ο συμπτωματικός εμπλουτισμός προκαλεί ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών (Καλλέργης, 1986).

#### **Επαγωγικός Εμπλουτισμός (Induce Recharge)**

Η διαδικασία αυτή του εμπλουτισμού δε θεωρείται πάντα σαν μια αμιγής μέθοδος τεχνητού εμπλουτισμού γιατί δεν οδηγεί τυπικά στην αύξηση της ποσότητας του υπόγειου νερού σε αποθήκευση, αλλά προκαλεί αύξηση του ρυθμού πτώσης της στάθμης ενός υδροφόρου (Buchan, 1964).

Ο επαγωγικός εμπλουτισμός συμβαίνει με την άντληση υπόγειου νερού σε μια περιοχή που γειτνιάζει με ένα υδρόρρευμα ή λίμνη. Η πτώση στάθμης στον υδροφόρο θα προκαλέσει μεγάλη υδραυλική κλίση από το επιφανειακό σώμα νερού προς τον υδροφόρο και έτσι αυξημένη ροή του νερού από το πρώτο προς το δεύτερο.



**Σχήμα 1.12.** : Επαγωγικός εμπλουτισμός λόγω άντλησης πλησίον τάφρου. (α): φυσικές ροές, (β): ροές κατά την άντληση (από Καλλέργη, 2001)

Η μέθοδος αυτή είναι φθηνή και πολύ αποτελεσματική, ειδικά αν το σώμα επιφανειακού νερού είναι μια λίμνη ή υδρόρρευμα με συνεχή ροή, οπότε εξασφαλίζεται ένας συνεχής εμπλουτισμός, έστω και αν σε γειτονική περιοχή πραγματοποιούνται απολήψεις μεγαλύτερες από τη φυσική αναπλήρωση του υδροφόρου (Καλλέργης, 1986).

Η ποσότητα του νερού που εισέρχεται με τη μέθοδο αυτή στον υδροφόρο, εξαρτάται από τη ποσότητα και την εγγύτητα του επιφανειακού νερού, την υδραυλική αγωγιμότητα και τη μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου, την έκταση και την περατότητα των υλικών της κοίτης του υδρόρρευματος ή του πυθμένα της λίμνης και την υδραυλική κλίση που δημιουργείται κατά την άντληση. Επίσης ο επαγωγικός εμπλουτισμός παρέχει νερό ελεύθερο οργανικών υλών και παθογόνων βακτηρίων. Θα πρέπει η ταχύτητα ροής νερού στο υδρόρρευμα να είναι σημαντική, ώστε να αποφευχθεί η απόθεση ιλύος που θα προκαλέσει απόφραξη στους πόρους της κοίτης (Καλλέργης, 1986).

### **Διευθέτηση Υδροφορέων (Aquifer Modification)**

Οι υδροφόροι μπορεί να διευθετηθούν με διάφορες κατασκευές όπως υπόγεια διαφράγματα με σκοπό τη παρεμπόδιση των διαρροών τους ή με τεχνικές που δημιουργού επιπρόσθετη αποθηκευτική ικανότητα όπως με τη δημιουργία τεχνητών υδροφόρων μικρής κλίμακας. Στη τελευταία περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σημαντικοί παράγοντες όπως η επιλογή κατάλληλων διαστάσεων λεκάνης αποστράγγισης, η μέριμνα για τη διατήρηση της αποθηκευτικής ικανότητας στα επιθυμητά όρια η πρόληψη των φαινομένων απόφραξης (clogging).



### 1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα του Τεχνητού Εμπλουτισμού

Σημαντικά *πλεονεκτήματα* του τεχνητού εμπλουτισμού είναι τα παρακάτω:

- Η τεχνολογία είναι απλή, κατανοητή αλλά και ανεκτή τόσο από τους τεχνικούς όσο και από το γενικότερο πληθυσμό.
- Οι υπόγειοι υδροφόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση νερού καθώς οι ρυπογόνοι παράγοντες απομακρύνονται με διεργασίες φυσικού καθαρισμού που λαμβάνουν χώρα καθώς το σχετικά επιβαρημένο νερό διαπερνά και φιλτράρεται μέσω του εδάφους και διεισδύει στους γεωλογικούς σχηματισμούς.
- Έχουν πλεονέκτημα επί των επιφανειακών ταμιευτήρων, καθώς μειώνονται σημαντικά οι απώλειες νερού από εξατμίσεις.
- Επιπλέον, οι υπόγειοι ταμιευτήρες δεν διατρέχουν κινδύνους κατολισθήσεων, πλημμύρων και άλλων φυσικών καταστροφών σε σχέση με τους επιφανειακούς.
- Δεν αχρηστεύεται λόγω υπεράντλησης τυχόν υπάρχουσα υποδομή από γεωτρήσεις, φρέατα κ.λπ. (Χρυσικού Ε., 2008)
- Τέλος, περιβαλλοντικά ο τεχνητός εμπλουτισμός έχει γενικά θετικές επιπτώσεις:
  - α) βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού
  - β) προστασία της ύπαρξης και της λειτουργίας πηγών και υγροτόπων
  - γ) αποφυγή ποσοτικής υποβάθμισης υδροφορέων
  - δ) αποφυγή ή αναχαίτιση διείσδυσης θαλασσινού νερού στα παράκτια υδροφόρα στρώματα.

Ως *μειονεκτήματα* του τεχνητού εμπλουτισμού μπορούν να αναφερθούν:

- Είναι επιβεβλημένη η συνεχής παρακολούθηση των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού. Υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι μπορεί να διαταράξουν την ομαλή λειτουργία ενός τέτοιου έργου οι οποίοι θα αναφερθούν παρακάτω.
- Πάντοτε ενέχει ο κίνδυνος ρύπανσης υπόγειου νερού, αν έστω επεισοδιακά, χρησιμοποιηθεί ρυπασμένο νερό.
- Αν εφαρμόζεται τεχνητός εμπλουτισμός κοντά σε αγροτικές περιοχές υπάρχει η πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών από φυτοφάρμακα, νιτρικά κ.λπ.
- Δεν συναντώνται συχνά στη φύση κατάλληλες συνθήκες υπό οικονομικά συμφέροντες όρους για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού.
- Είναι αναγκαίο να ερευνηθεί εκτενώς η υδρογεωλογία του υδροφόρου στρώματος πριν τεθούν σε εφαρμογή τα σχέδια.
- Μπορεί να προκληθούν ζημιές στο έδαφος και τη βλάστηση στην ευρύτερη περιοχή κατά την κατασκευή των «παγίδων» του νερού (λεκάνες κατάκλισης, τάφροι, φραγμοί ανάσχεσης επιφανειακής ροής, έργα εκτροπής κ.ά.).

## 1.4. Ιστορικό εφαρμογής

Η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού ιστορικά έχει αρχίσει κατά τη Ρωμαϊκή εποχή στην Τυνησία, όπου έχουν βρεθεί σαφή ίχνη. Και σε άλλες παραμεσογειακές περιοχές έχουν επίσης βρεθεί παρόμοιες ενδείξεις της ίδιας εποχής (Χρυσικού Ε., 2008). Σημαντικό δείγμα έργου τεχνητού εμπλουτισμού υπάρχει για την ύδρευση της Γαλλικής πόλης Toulouse το οποίο δημιουργήθηκε στα τέλη του 18<sup>ου</sup> – αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα το οποίο βέβαια βελτιώθηκε αργότερα. Επίσης την ίδια εποχή δημιουργήθηκε αντίστοιχο έργο για την ύδρευση της Γλασκώβης. Από το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα υπάρχουν κάποια έργα τα οποία βελτιώνονται στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Όμως εκτενώς αναπτύσσεται ο τεχνητός εμπλουτισμός από τη δεκαετία του 1950, σχεδόν σε όλο τον κόσμο, όταν λόγω υπερεκμετάλλευσης άρχισε να υποχωρεί η στάθμη υδροφόρων στρωμάτων (Χρυσικού Ε., 2008).. Έτσι:

Η Γαλλική πόλη Grenoble στις δυτικές Άλπεις, υδρεύεται σχεδόν αποκλειστικά από έργο τεχνητού εμπλουτισμού που κατασκευάστηκε το 1965.

Στο Ισραήλ το 1968 ο όγκος του νερού εμπλουτισμού ήταν  $104 \times 10^6 \text{ m}^3$  ετήσια, σήμερα δε είναι πολύ μεγαλύτερος. Στο Ισραήλ η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού αποτελεί τμήμα του εθνικού σχεδιασμού.

Στις Η.Π.Α. ιδιαίτερα στην Καλιφόρνια, αλλά και σε άλλες Πολιτείες, πριν το 1978, η ετήσια ποσότητα των νερών τεχνητού εμπλουτισμού ήταν  $770 \times 10^6 \text{ m}^3$ , το 1978 ήταν  $4000 \times 10^6 \text{ m}^3$  και σήμερα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Στη Γερμανία το 1982 υπήρχαν 51 έργα τεχνητού εμπλουτισμού με συνολικό ετήσιο όγκο εμπλουτισμού  $474 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Στην Ολλανδία το 1990 ο ετήσιος όγκος τεχνητού εμπλουτισμού ήταν  $156 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Στη Φινλανδία εφαρμόζεται για τη βελτίωση της ποιότητας νερού (τα νερά των λιμνών της χώρας έχουν  $\text{KMnO}_4$  του οποίου η συγκέντρωση μειώνεται με χημική επεξεργασία, πλήρωση του εδάφους και άντληση από απόσταση).

Σήμερα σε όλες σχεδόν τις χώρες της Ευρώπης (Γαλλία, Τσεχία, Ρωσία, Βέλγιο, Σουηδία, Αγγλία, Ιταλία κ.λπ.) υπάρχουν σημαντικά έργα τεχνητού εμπλουτισμού. Επίσης και σε όλο τον υπόλοιπο κόσμο (Ιαπωνία, Μέση Ανατολή, Αυστραλία, Μεξικό κ.λπ.) υπάρχουν σήμερα έργα τεχνητού εμπλουτισμού με μεγάλες ποσότητες εμπλουτιζόμενου νερού.

Στην Ελλάδα οι βασικές χρήσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (πρανών, δρόμων, πάρκων κ.ά.) και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων για την προστασία τους κυρίως από την υφαλμύριση. μεμονωμένες περιπτώσεις τεχνητού εμπλουτισμού τοπικού χαρακτήρα έχουν γίνει σε ορισμένα μέρη, όπως στην περιοχή Απεράθου Νάξου και στο Αργολικό Πεδίο τη περίοδο 1963 – 1966 με τη μέθοδο των φρεάτων.

## 2. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

### 2.1. Εισαγωγή

Τα υγρά απόβλητα είναι νερό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο σε μια πληθώρα εφαρμογών. Οι κύριες πηγές προέλευσής τους είναι οι κατοικίες, τα ιδρύματα και οι διάφορες εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Η έντονη συγκέντρωση πληθυσμών στα αστικά κέντρα και η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη οδήγησε στην υπερκατανάλωση νερού από τον άνθρωπο και στη ταχεία μετατροπή του πολύτιμου αυτού αγαθού, σε απόβλητο. Τα υγρά απόβλητα περιέχουν ρυπαντικές και μολυσματικές ουσίες και η απ' ευθείας διάθεσή τους σε έναν φυσικό, συνήθως υδάτινο αποδέκτη, εγκυμονεί κινδύνους τόσο για τον αποδέκτη όσο και για τα υπόλοιπα έμβια όντα, κυρίως όμως για τον άνθρωπο.

Στην οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991, η οποία εκδόθηκε με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις της απόρριψης των υγρών αποβλήτων και αφορά στην ολοκληρωμένη διαχείρισή τους, αναφέρεται ότι:

*Αστικά λύματα* είναι τα υγρά απόβλητα που προέρχονται κυρίως από χώρους υγιεινής, κουζίνες, πλυντήρια και γενικά από διαδικασίες καθαριότητας κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων κ.λπ. Στην κατηγορία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνονται και αυτά των εστιατορίων, ξενοδοχείων, δημοσίων υπηρεσιών, καταστημάτων, γραφείων κ.λπ. Συνεπώς τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υπολείμματα τουαλέτας, απόνερα λουτρού και κουζίνας, απόνερα λάτρων και καθαριότητας κ.λπ. Στα κυριότερα συστατικά τους περιλαμβάνονται οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, έλαια, φαινόλες, επιφανειακά τασιενεργές ουσίες), ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο, διάφορα άλατα), και διάφορα στερεά. Περιέχουν επίσης ουσίες οι οποίες βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμούς, τοξικές ουσίες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία καθώς και διαλυμένα αέρια, όπως αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) κ.ά.

*Βιομηχανικά απόβλητα* ονομάζονται τα απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα. Είναι δηλαδή τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία και μπορεί να περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα λύματα του προσωπικού τα οποία κατατάσσονται στα αστικά λύματα.

Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών.

Οι βασικές γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων και η διάκριση των εννοιών «ρύπανση» και «μόλυνση» του νερού, θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση των διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.



Μια ουσία χαρακτηρίζεται ως *ρύπος* εφόσον η συγκέντρωσή της στο νερό είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' αυτή που συνήθως συναντάται στα φυσικά αποθέματα του γλυκού νερού. Ένας *ρύπος* χαρακτηρίζεται *τοξικός* όταν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα. Οι *ρύποι* του νερού διακρίνονται σε:

- Συμβατικούς
- Μη συμβατικούς
- Θερμικούς
- Ρύπους (μολυντές) από μικρόβια

Στους *συμβατικούς ρύπους* ανήκουν ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οργανική ύλη (οργανικές ουσίες), ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά  $\text{NH}_4^+$ , νιτρώδη  $\text{NO}_2^-$ , νιτρικά άλατα  $\text{NO}_3^-$ ), ενώσεις του φωσφόρου (κυρίως φωσφορικά άλατα  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Στους *μη συμβατικούς ρύπους* του νερού περιλαμβάνονται τα βαριά μέταλλα (Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn, κ.λπ.), οι τοξικές οργανικές ενώσεις και ουσίες όπως το αρσενικό (As), τα θειούχα ( $\text{S}^{2-}$ ), τα κυανιούχα ( $\text{CN}^-$ ) και τα ραδιενεργά υλικά. Οι τοξικές οργανικές ενώσεις είναι ουσίες οι οποίες έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Σπουδαιότερες απ' αυτές είναι τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα, τα οποία καταλήγουν στο νερό λόγω της ευρείας χρήσης τους στη γεωργία και στη βιομηχανία, οι διοξίνες, οι οποίες παράγονται εκεί όπου υπάρχουν καύσεις ή διεργασίες με χλώριο, οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), οι φαινόλες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH's) και τα τριαλογονομεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM), τα οποία συνήθως σχηματίζονται κατά την προαπολύμανση του νερού, την απολύμανση των υγρών αποβλήτων κ.λπ.

Με βάση τα παραπάνω *ρύπανση* χαρακτηρίζεται η επιβάρυνση του νερού με ύλη ή ενέργεια, η ανεπιθύμητη δηλαδή μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού (φυσικών, χημικών, ραδιολογικών, βιολογικών-μικροβιολογικών), εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε βαθμό που μπορεί να δημιουργηθεί κίνδυνος για την υγεία και να υποβαθμιστεί η ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Η *ρύπανση* προκαλεί βλάβη στα φυσικά οικοσυστήματα και παρεμποδίζει τις επιθυμητές χρήσεις των υδατικών πόρων.

*Μόλυνση* χαρακτηρίζεται η παρουσία στο νερό παθογόνων μικροοργανισμών ή και μικροοργανισμών δεικτών, που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας παθογόνων, εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Κύρια πηγή επιβάρυνσης των υδάτινων σωμάτων με παθογόνους μικροοργανισμούς, δηλαδή μικροβιακή μόλυνση του νερού, είναι τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα με τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που περιέχουν.

Ο προσδιορισμός και η συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων είναι απολύτως απαραίτητος προκειμένου να καθοριστούν τα στάδια και ο βαθμός επεξεργασίας τους.

### 2.1.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- *Θερμοκρασία*. Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.
- *Αγωγιμότητα*. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για γεωργική χρήση.
- *Θολότητα*. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής.
- *Διαπερατότητα*. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV.
- *Χρώμα* (Ανοιχτό καφέ, γκρι, μαύρο). Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η κατάσταση των λυμάτων, δηλαδή φρέσκα λύματα ή λύματα που έχουν υποστεί σήψη.
- *Οσμή*. Παράμετρος με την οποία καθορίζεται εάν οι οσμές αποτελούν πρόβλημα.
- *Πυκνότητα*.
- *Στερεές ουσίες* (Αιωρούμενες, Επιπλέουσες, Καθιζάνουσες, Αδιάλυτες, Διαλυμένες) και κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

### 2.1.2. Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- *C-BOD*, (Biochemical Oxygen Demand), Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- *N-BOD*, Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- *COD*, (Chemical Oxygen Demand), Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- *TOC*, (Total Organic Carbon), Ολικός Οργανικός Άνθρακας. Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD, αλλά πολύ σπάνια επειδή αφορά μέτρηση με πολύ μεγάλη ευαισθησία, δηλαδή πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης.
- *Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις και κατηγορίες ενώσεων*. Για τον προσδιορισμό της παρουσίας των συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων και για την εκτίμηση των απαραίτητων ειδικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό της Ε.Ε.Λ. για την απομάκρυνσή τους.

### 2.1.3. Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- *pH* ( $-\log[H^+]$ ). Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.
- *Αλκαλικότητα* ( $\Sigma HCO_3^- + CO_3^{2-} + OH^- - H^+$ ). Το μέτρο της ρυθμιστικής ικανότητας των υγρών αποβλήτων (της ικανότητάς τους να εξουδετερώνουν οξέα).

- *Χλωριούχα*. Παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση (άρδευση).
- *Θειικά (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)*. Παράμετρος για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών. Για την εκτίμηση της δυνατότητας επεξεργασίας της ιλύος.
- *Μέταλλα (Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn)*:
  - α) Για την εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση.
  - β) Για την εκτίμηση της τοξικότητας.
  - γ) Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα για μερικές βιολογικές διεργασίες.
- *Φωσφορικές ενώσεις*. Χρησιμοποιούνται ως μέτρο παρουσίας των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης:
  - α) Ανόργανος φώσφορος (Inorg. P)
  - β) Οργανικός φώσφορος (Org. P)
  - γ) Ολικός φώσφορος (TP)
- *Αζωτούχες ενώσεις*. Χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης:
  - α) Ελεύθερη αμμωνία (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)
  - β) Οργανικό άζωτο (Org. N)
  - γ) Άζωτο Kjeldahl (TKN : Org. N + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)
  - δ) Νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)
  - ε) Νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- *Διάφορα αέρια (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>)*. Παρουσία / απουσία συγκεκριμένων αερίων.

#### **2.1.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων**

- *Ολικά Κολοβακτηριοειδή*, (Total Coliforms, TC) και *Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων*, (Fecal Coliforms, FC). Για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων
- *Ειδικό μικροοργανισμοί*, (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Έλμινθες). Για την εκτίμηση της παρουσίας των συγκεκριμένων μικροοργανισμών που συνδέονται με την λειτουργία της Ε.Ε.Λ. και την επαναχρησιμοποίηση της εκροής.
- *Τοξικότητα*, Οξεία (άμεση) Τοξικότητα (TUA), Χρόνια Τοξικότητα (TUC). Για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων.

Ιδιαίτερη, επίσης, σημασία έχουν οι στερεές ουσίες (αδιάλυτες, διαλυμένες, κolloειδείς, επιπλέουσες, αιωρούμενες, καθιζάνουσες) και οι μικροοργανισμοί οι οποίοι συνδέονται με την ποιότητα και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

## **2.2. Ο άνθρακας (οργανική ύλη, βιοαποικοδομήσιμες ουσίες)**

Ο άνθρακας υπάρχει στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των οργανικών ενώσεων (Total Organic Carbon – TOC), αλλά και με τη μορφή ανόργανων χημικών ενώσεων (Total Inorganic Carbon – TIC). Ο οργανικός άνθρακας (TOC) που κυρίως ενδιαφέρει, βρίσκεται στα απόβλητα είτε διαλυμένος (Dissolved Organic Carbon – DOC) είτε σε σωματιδιακή μορφή (Particulate Organic Carbon – POC) είτε σε πτητικές ενώσεις (Volatile Organic Carbon – VOC).

Το οργανικό φορτίο των λυμάτων, δηλαδή η οργανική ύλη, αποτελεί τον συνηθέστερο και τον πιο σημαντικό ρύπο του νερού. Υψηλή συγκέντρωση οργανικής ύλης στο νερό προκαλεί αποξυγόνωση του νερού πράγμα που μπορεί να μειώσει ή ακόμη και να εξαφανίσει τους υδρόβιους οργανισμούς. Οι οργανικές ουσίες αποτελούν τη βασική τροφή των αερόβιων ετεροτροφικών-χημικοσυνθετικών μικροοργανισμών οι οποίοι καταναλώνουν το διαλυμένο οξυγόνο για την επιβίωσή τους. Υψηλές όμως συγκεντρώσεις οργανικής ύλης συνεπάγονται μεγαλύτερη μάζα μικροοργανισμών και συνεπώς ταχύτερη κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου. Αν η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα οξυγόνωσης, προκύπτει μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό (Νταρακάς, 2010).

Η οργανική ύλη ή το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων μετρείται και αποδίδεται σε όρους Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Biochemical Oxygen Demand – BOD), Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand – COD) και Ολικού Οργανικού Άνθρακα (Total Organic Carbon – TOC).

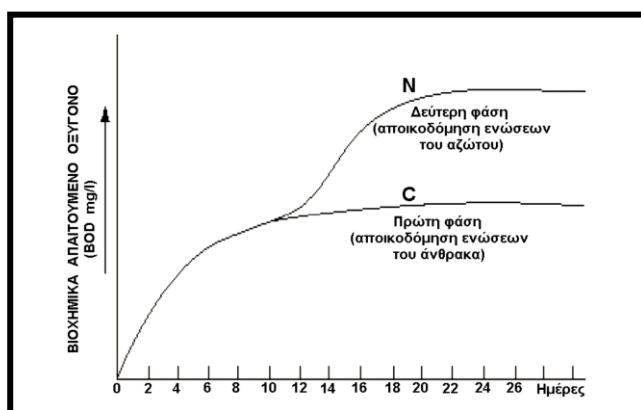
### **2.2.1. Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)**

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) είναι η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών ουσιών στα υγρά απόβλητα. Η ταχύτητα της βιολογικής αυτής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης που περιέχεται στο προς εξέταση δείγμα. Υπάρχουν οργανικές ουσίες που οξειδώνονται ή αποικοδομούνται βιολογικά σχετικά εύκολα αλλά υπάρχουν και αυτές που δεν οξειδώνονται βιολογικά.

Όπως προαναφέρθηκε τα αστικά λύματα περιέχουν πλήθος οργανικών ουσιών, κυριαρχούν όμως οι ανθρακούχες ενώσεις, όπως οι υδατάνθρακες, τα λίπη κ.λπ., οι αζωτούχες ενώσεις όπως η ουρία, οι πρωτεΐνες, τα αμινοξέα κ.λπ. και οι θειούχες ενώσεις.

Οι περισσότερες απ' αυτές τις ουσίες κατά την βιολογική οξείδωση διασπώνται σε άλλες απλούστερες και δίνουν ανάλογα προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και νερό (H<sub>2</sub>O). Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις είναι συνυφασμένες με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία λαμβάνεται σαν μέτρο της οργανικής ρύπανσης των νερών.

Η βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων και αζωτούχων οργανικών ρυπαντικών ουσιών των αστικών λυμάτων γίνεται σε δύο στάδια και αναπαρίσταται διαγραμματικά στο Σχήμα 3.1.:



**Σχήμα 2.1.** : Τα στάδια της βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών ενώσεων (BOD)

Στο πρώτο στάδιο αποικοδομούνται κυρίως οι ενώσεις του άνθρακα (υδατάνθρακες, λίπη), προηγείται δηλαδή η οξείδωση των ευκολότερα βιοδιασπλάσιμων ουσιών, ενώ στο δεύτερο οι ενώσεις του αζώτου (πρωτεΐνες, αμινοξέα).

Το BOD<sub>5</sub> των φρέσκων ανεπεξεργαστων αστικών λυμάτων κυμαίνεται από 200 – 400 mg/L O<sub>2</sub>. Αυτό αποτελεί μια μορφή έκφρασης του οργανικού φορτίου, το οποίο όμως μπορεί να εκφραστεί και σαν ρύπανση που προκύπτει από τον πληθυσμό και είναι 50 – 70 gr/κατ. ημ.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD χρησιμοποιούνται για την εύρεση της ποσότητας οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοχημική οξείδωση των οργανικών ουσιών, για τη διαστασιολόγηση των Ε.Ε.Λ., για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μερικών διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και για την εύρεση των τιμών συμμόρφωσης με τα όρια των εκροών τα οποία τίθενται από τη νομοθεσία.

### 2.2.2. Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Με τον όρο COD (Chemical Oxygen Demand) εννοείται η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Σαν τέτοιο οξειδωτικό χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) σε όξινο περιβάλλον.

Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θειικού αργύρου (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) σαν καταλύτη. Η εξουδετέρωση των χλωριούχων ιόντων που συνήθως υπάρχουν στο δείγμα, γίνεται με θειικό υδράργυρο (HgSO<sub>4</sub>). Η εξουδετέρωση της περίσσειας των διχρωμικών (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) ιόντων γίνεται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου (FeSO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O) γνωστής κανονικότητας. Για την ογκομετρική ανάλυση (τιτλοδότηση) χρησιμοποιείται δείκτης Ferroin.

Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της αφού ολοκληρώνεται σε 2 – 3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD<sub>5</sub>, η οποία διαρκεί 5 ημέρες. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι με το COD μετράται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Συνεπώς, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιο τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD<sub>5</sub> όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα τυπικά αστικά λύματα. Το COD των φρέσκων ανεπεξεργαστων αστικών λυμάτων είναι περίπου 500 mg/L O<sub>2</sub> ή 110 gr/κατ. ημ. Κατά κανόνα το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD<sub>5</sub> και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD/BOD<sub>5</sub> είναι 1,2 – 1,5.

### 2.2.3. Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας είναι ένα μέτρο κατάλληλο για μετρήσεις πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης, που ενδιαφέρει ιδιαίτερα την παραγωγή πόσιμου νερού. Με τις σύγχρονες αναλυτικές συσκευές ο προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα είναι πολύ απλή διαδικασία. Ένας αυτόματος αναλυτής TOC (Total Organic Carbon) απαιτεί ελάχιστη ποσότητα υγρού δείγματος το οποίο εισάγεται σε ειδική στήλη με καταλύτη όπου καίγεται σε υψηλή θερμοκρασία προς διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L TOC.

## 2.3. Το άζωτο

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών και οι γνώσεις για τη μορφή με την οποία βρίσκεται στα απόβλητα καθώς επίσης και οι συγκεντρώσεις του σε οποιαδήποτε μορφή, είναι απαραίτητες για τη διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Νταρακάς, 2010).

Το ολικό άζωτο (Total Nitrogen – TN) κατανέμεται σε ανόργανο άζωτο (Total Inorganic Nitrogen – TIN) το οποίο περιλαμβάνει τα νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και τα νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) άλατα, και σε οργανικό άζωτο (Total Organic Nitrogen – TON). Στο οργανικό άζωτο ανήκει η αμμωνία στην αέρια μορφή (NH<sub>3</sub>) ή στην ιοντική της μορφή (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), η ουρία (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>) και το άζωτο των πρωτεϊνών. Το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο αποτελούν το άζωτο Kjeldahl (TKN).

Το οργανικό κλάσμα του αζώτου το οποίο βρίσκεται στα απόβλητα σε διαλυτή ή σωματιδιακή μορφή, αποτελείται κυρίως από αμινοξέα, αμινοσακχαρίτες, πρωτεΐνες και ουρία (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>). Ανεπαρκής ποσότητα αζώτου στα αστικά λύματα μπορεί πολλές φορές να επιβάλλει την προσθήκη αζώτου προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία τους. Η κατανομή της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων στα υγρά απόβλητα εξαρτάται συνήθως από το pH. Σε απόβλητα με χαμηλό pH κυριαρχεί το άζωτο με τη μορφή των αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ενώ σε υψηλότερες τιμές pH κυριαρχεί η αμμωνία (NH<sub>3</sub>).

Τα νιτρώδη ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ) τα οποία είναι ιδιαίτερα τοξικά και αποτελούν δείκτη προϋπάρχουσας ρύπανσης στα φυσικά νερά, σπάνια υπάρχουν σε υψηλή συγκέντρωση στα υγρά απόβλητα. Συνήθως οξειδώνονται πολύ γρήγορα σε νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ).

Τα νιτρώδη που τυχόν βρίσκονται στις εκροές των Ε.Ε.Λ. οξειδώνονται από το χλώριο κατά την απολύμανση και αυτό οδηγεί στην αύξηση της δόσης του χλωρίου και επομένως και του κόστους της απολύμανσης. Η υπερίσχυση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντων, τα οποία αποτελούν τη πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στα υγρά απόβλητα, υποδηλώνει ότι τα απόβλητα σταθεροποιήθηκαν αναφορικά με τις απαιτήσεις σε οξυγόνο.

Το αζωτούχο (TKN) ρυπαντικό φορτίο των φρέσκων ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων κυμαίνεται από 35 – 100 mg/L ή 10 gr/κατ. ημ. Οι ευαίσθητοι φυσικοί αποδέκτες επεξεργασμένων εκροών απαιτούν πάντα την απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα (δηλαδή  $\text{NTot} < 3,0 \text{ mg/L}$ ), επειδή το άζωτο όπως και ο φώσφορος σαν θρεπτικά συστατικά, προκαλούν το πρόβλημα του ευτροφισμού και τελικά της αποξυγόνωσης των φυσικών νερών. Ο ευτροφισμός συνίσταται στην υπερβολική αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας μιας υδάτινης μάζας, με δυσμενή αποτελέσματα στα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των νερών και της χρήσης της (Νταρακάς, 2010).

## 2.4. Ο φώσφορος

Η συγκέντρωση του φωσφόρου (P) ο οποίος αποτελεί βασικό συστατικό για τη σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών, στα φρέσκα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα κυμαίνεται από 5 – 30 mg/L. Στις οργανικές ενώσεις των λυμάτων ανήκει περίπου το 75% του συνολικά υπάρχοντος φωσφόρου, ενώ ο υπόλοιπος (25% περίπου) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) διαλυτών ιόντων από 70 – 90% και πολυφωσφορικών ( $\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ ) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια, αλλά και με τη μορφή άλλων οργανικών φωσφορικών ενώσεων. Ο οργανικά δεσμευμένος φώσφορος δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για τα αστικά λύματα, τα δε ορθοφωσφορικά ιόντα χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται περαιτέρω.

Το φορτίο επιβάρυνσης των λυμάτων με φώσφορο υπολογίζεται συνήθως με τιμές περίπου 2 – 4 gr/κατ. ημ. Ένα ποσοστό της τάξης του 10% έως 30% της εισερχόμενης ποσότητας φωσφόρου απομακρύνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας στις δεξαμενές αερισμού, ενώ το σύνολο σχεδόν των φωσφορικών ενώσεων μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά ιόντα.

Λόγω των φαινομένων ευτροφισμού που δημιουργεί ο φώσφορος στα επιφανειακά νερά πρέπει να απομακρυνθεί από τα υγρά απόβλητα. Η συγκέντρωσή του στην εκροή των Ε.Ε.Λ. καθορίζεται από τον χαρακτηρισμό και τις ωφέλιμες χρήσεις του αποδέκτη όπως ισχύει και για τους άλλους ρύπους. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος και η διαδικασία επεξεργασίας που επιλέγεται είναι άμεσα συνυφασμένη με τον αποδέκτη και τις χρήσεις του (Νταρακάς, 2010).

Σε γενικές γραμμές, όταν πρόκειται για ευαίσθητους αποδέκτες, δηλαδή γλυκά επιφανειακά νερά, θεωρείται ικανοποιητική η ποσότητα του φωσφόρου στην απορροή όταν αυτή δεν υπερβαίνει τα  $2,0 \text{ mg/L}$ . Η πρακτική που ακολουθείται πάντως, εφόσον αποφασίζεται απομάκρυνση του φωσφόρου, αποβλέπει απομάκρυνση της τάξης του 90 έως και 95%.

## **2.5. Οι στερεές ουσίες στα υγρά απόβλητα**

Οι στερεές ουσίες των υγρών αποβλήτων ανόργανες ή οργανικές, κατατάσσονται σε αδιάλυτες, και διαλυμένες. Υπάρχουν ακόμα και οι κολλοειδούς μορφής ουσίες. Ιδιαίτερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω κατηγοριοποίηση των στερεών σε αιωρούμενα, διαλυμένα, καθιζάνοντα, πτητικά κ.λπ.

Η διάκριση αφορά τα Ολικά στερεά (Total Solids – TS), τα Ολικά πτητικά στερεά (Total Volatile Solids – TVS), το Υπόλειμμα ολικών στερεών (Total Fixed Solids – TFS), τα Ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids – TSS), τα Πτητικά αιωρούμενα στερεά (Volatile Suspended Solids – VSS) και το Υπόλειμμα αιωρούμενων στερεών (Fixed Suspended Solids – FSS) για την αξιολόγηση – διερεύνηση της πλέον κατάλληλης εφαρμογής - διεργασίας για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Αφορά ακόμα τα Ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids – TDS (TS-TSS)), τα Πτητικά διαλυμένα στερεά (Volatile Dissolved Solids – VDS) και το Υπόλειμμα διαλυμένων στερεών (Fixed Dissolved Solids – FDS), τα οποία χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων.

### **Ολικά Στερεά (Total Solids, TS)**

Είναι το σύνολο των στερεών που υπάρχουν σε ένα δείγμα νερού ή αποβλήτων και προσδιορίζονται με ζύγιση ως το υπόλειμμα ορισμένου όγκου δείγματος, μετά από εξάτμιση (σε θερμοκρασία  $102 - 105^{\circ}\text{C}$ ). Εκφράζονται σε  $\text{mg/L}$  διαλύματος. Με την πύρωση των ξηραμένων στερεών στους  $550^{\circ}\text{C}$  προσδιορίζονται τα πτητικά και ανόργανα στερεά. Η μέτρηση των ολικών στερεών παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο επιβάρυνσης που έχει υποστεί ο εκάστοτε υδάτινος αποδέκτης.

### **Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (Total Suspended Solids, TSS)**

Αποτελούνται από οργανικές και ανόργανες ενώσεις, έχουν μικρό μέγεθος ( $10-3 \text{ mm}$ ), δεν καθιζάνουν και έχουν τη δυνατότητα να ροφούν στην επιφάνειά τους διαλυτές ανόργανες και οργανικές ενώσεις, οι οποίες έχουν είτε φυσική προέλευση είτε προέρχονται από τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η παρουσία τους στα νερά οδηγεί στη δημιουργία θολότητας.

Ο διαχωρισμός τους γίνεται με διήθηση. Καθορισμένη ποσότητα δείγματος διηθείται με φίλτρο  $0,45 \mu\text{m}$  με τη βοήθεια κενού. Το φίλτρο ξηραίνεται στους  $105^{\circ}\text{C}$  και τα αποτελέσματα εκφράζονται σε  $\text{mg/L}$  διαλύματος. Για γρήγορες μετρήσεις γίνεται μέτρηση της θολότητας νεφελομετρικά.



### **Ολικά Διαλυμένα Στερεά (Total Dissolved Solids, TDS)**

Οφείλονται στην παρουσία κυρίως ευδιάλυτων ανόργανων αλάτων, όπως τα χλωριούχα, τα θειικά, τα άλατα των αλκαλίων, τα νιτρικά, τα αμμωνιακά και προέρχονται από φυσικές πηγές ή από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα προβλήματα που δημιουργούν προέρχονται από τα ειδικά χημικά χαρακτηριστικά τους. Για τον προσδιορισμό τους διηθείται ποσότητα δείγματος με φίλτρο 0,45  $\mu\text{m}$  και το διήθημα ξηραίνεται στους 105°C. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε  $\text{mg/L}$  δείγματος.

### **Καθιζάνοντα Στερεά (Settle able Solids)**

Είναι τα στερεά που καθιζάνουν από μόνα τους και ο προσδιορισμός τους γίνεται ογκομετρικά σε ειδικά βαθμονομημένο όργανο (φιάλη Imhoff). Σχηματίζουν πυθμενική ιλύ που αποτίθεται σε αγωγούς.

Για τον προσδιορισμό των Ολικών Στερεών (Total Solids), ξηραίνεται και ζυγίζεται το υπόλειμμα του δείγματος. Έτσι μετρώνται όλα τα στερεά που υπάρχουν στο δείγμα (αιωρούμενα, διαλυμένα, οργανικά και ανόργανα). Τα περισσότερα αιωρούμενα στερεά μπορούν να απομακρυνθούν από το νερό με διήθηση. Έτσι το κλάσμα των αιωρούμενων στερεών στο δείγμα μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά διηθώντας το νερό, ξηραίνοντας το φίλτρο με τα στερεά στους 103°C και μετρώντας τη μάζα του στερεού υπολείμματος που παρέμεινε στο φίλτρο. Με αφαίρεση των Αιωρούμενων Στερεών από τα Ολικά Στερεά πρέπει να βρούμε αποτέλεσμα ίσο με την υπολογισμένη συγκέντρωση των Διαλυμένων Στερεών, αφού ισχύει ότι:

$$\text{TS} = \text{TSS} + \text{TDS} \text{ (Total Solids = Total Suspended Solids + Total Dissolved Solids).}$$

## **2.6. Φυτοφάρμακα**

Ο συγκεκριμένος όρος χρησιμοποιείται για να καλύψει μια σειρά συνθετικών οργανικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για τη θανάτωση οργανισμών ανεπιθύμητων για τον άνθρωπο όπως έντομα, ζιζάνια και μύκητες.

Οι τρεις κύριες κατηγορίες συνθετικών οργανικών εντομοκτόνων είναι τα οργανοχλωριωμένα, τα οργανοφωσφορικά και τα καρβαμιδικά. Στην πρώτη κατηγορία εντομοκτόνων ανήκει το DDT (διχλωροδιφαινυλ-τριχλωροαιθάνιο), που είχε ευρύτατα χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν για τον έλεγχο εντόμων που ήταν φορείς μολυσματικών ασθενειών και τα aldrin, dieldrin, endosulfan, heptachlor. Τα εντομοκτόνα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να διασπαστούν και συσσωρεύονται στους λιπώδεις ιστούς. Ως αποτέλεσμα, οι οργανισμοί που βρίσκονται στις ανώτερες βαθμίδες της τροφικής αλυσίδας συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των ουσιών. Τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα όπως τα parathion, malathion και diazinon διασπώνται πιο γρήγορα και για το λόγο αυτό αντικατέστησαν τα οργανοχλωριωμένα.

## 2.7. Βαρέα μέταλλα

Ως βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα στοιχεία με ειδικό βάρος ίσο ή μεγαλύτερο των  $5 \text{ gcm}^{-3}$ . Σε εργασίες που αφορούν στο περιβάλλον, συχνά στα βαρέα μέταλλα περιλαμβάνονται και ελαφρύτερα στοιχεία (Al, Be) και μεταλλοειδή (As, Se, Sb). Τα βαρέα μέταλλα καταλήγουν στο νερό κυρίως λόγω της χρήσης του σε διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες (μεταλλουργεία, παραγωγή χημικών, εξόρυξη ορυκτών κ.λπ.). Σημαντική είναι επίσης η συνεισφορά των αστικών απορροών που επιβαρύνονται με βαρέα μέταλλα μέσω των εμπορικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται εντός των ορίων των οικισμών (συνεργεία αυτοκινήτων, πλυντήρια, φωτογραφεία).

Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του μετάλλου και τη μορφή με την οποία είναι διαθέσιμο στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, ορισμένα από τα βαρέα μέταλλα όπως ο σίδηρος (Fe) και το τρισθενές χρώμιο (Cr(III)) αποτελούν απαραίτητα ιχνοστοιχεία για τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ άλλα όπως ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το νικέλιο (Ni) και το αρσενικό (As) παρουσιάζουν πολύ υψηλή τοξικότητα ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Τα μέταλλα δεν βιοαποδομούνται, είναι εφικτή όμως η βιομετατροπή τους από μια χημική μορφή σε μια άλλη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το εξασθενές χρώμιο (Cr(VI)) που υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις ανάγεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε Cr(III).

## 2.8. Οι μικροοργανισμοί

Οι μικροοργανισμοί παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της ποιότητας του νερού και των υγρών αποβλήτων. Είναι υπεύθυνοι για πολλές ασθένειες που μεταδίδονται μέσω των νερών, για την οσμή και τη γεύση του πόσιμου νερού, τη διάβρωση των μετάλλων και του σκυροδέματος καθώς επίσης και για τον ευτροφισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η αφομοίωση των ρύπων, κυρίως των οργανικών ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα, επιτυγχάνεται με βιολογικό αυτοκαθαρισμό του νερού χάρη στους μικροοργανισμούς. Αυτή ακριβώς η δραστηριότητα των μικροοργανισμών, δηλαδή την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών (ρύπων), αξιοποιείται ευρύτατα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Η σπουδαιότητα των βιολογικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων συνίσταται σε λόγους προστασίας της υγείας των ανθρώπων από τους παθογόνους μικροοργανισμούς ανθρώπινης προέλευσης και τη σημασία των βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών στην αποικοδόμηση και την σταθεροποίηση της οργανικής ύλης. Αποτέλεσμα για παράδειγμα του μεταβολισμού των αερόβιων ετερότροφων οργανισμών είναι η κατανάλωση οργανικού άνθρακα για σύνθεση καθώς και οξυγόνου για οξειδωση.

Οι μικροοργανισμοί κατατάσσονται σε φυτικούς (Βακτήρια, Μύκητες, Φύκια) και ζωικούς (Πρωτόζωα, Έλμινθες, Μαλακόστρακα). Με τα βακτήρια εκτιμάται η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών και η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης ενώ με άλλους ειδικούς μικροοργανισμούς εκτιμάται η λειτουργία της Ε.Ε.Λ. καθώς και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων μέσω των ελέγχων τοξικότητας.



### 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

#### 3.1. Εισαγωγή

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

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει έργα για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεσή τους. Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης, το οποίο είναι δυνατόν να είναι χωριστικό (όταν δεν δέχεται όμβρια ύδατα) ή παντοροϊκό (όταν δέχεται και όμβρια ύδατα) ή και μερικά χωριστικό (όταν μόνο μερικά τμήματα του δικτύου αποχέτευσης δέχονται όμβρια ύδατα και μερικά δεν δέχονται).

Πολλές φορές το σύστημα δέχεται και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Μπορεί ακόμα και υπό προϋποθέσεις να δέχεται και κάποιες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων τα οποία όμως έχουν οπωσδήποτε υποστεί κάποιου είδους προεπεξεργασία. Όλο το δίκτυο του συστήματος αποχέτευσης συμβάλλει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α.) ο οποίος καταλήγει σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) όπου τα λύματα υφίστανται επεξεργασία με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων συστατικών τους.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν από τη διάθεσή τους αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις στους αποδέκτες, διαφυλάσσει την οικολογική ισορροπία και προστατεύει το περιβάλλον. Οι μέθοδοι επεξεργασίας με φυσικές δυνάμεις είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες, ενώ οι μέθοδοι κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές και βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές και βιολογικές διεργασίες.



**Σχήμα 3.1.** : Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (Roseville, Καλιφόρνια)

Τα κύρια στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι τα εξής:

- *Προεπεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνονται υλικά όπως πανιά, χαλίκια, άμμος, μικρά τεμάχια ξύλου και πλαστικού, λάδια, λίπη κ.λπ. τα οποία συνήθως προκαλούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό και προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ.
- *Πρωτοβάθμια επεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνεται ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών και ένα μέρος των οργανικών ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης.
- *Δευτεροβάθμια επεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες και τα αιωρούμενα στερεά με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών. Σημειώνεται ότι και η απολύμανση περιλαμβάνεται στον τυπικό ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.
- *Δευτεροβάθμια επεξεργασία* με απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών, κατά την οποία απομακρύνονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες, τα αιωρούμενα στερεά και οι θρεπτικές ουσίες του αζώτου και του φωσφόρου και πάλι με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών.
- *Τριτοβάθμια επεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνονται οι εναπομείνουσες από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αιωρούμενες ουσίες, συνήθως με χρήση μέσου διήθησης.
- *Προχωρημένη επεξεργασία*, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων αλλά και των διαλυμένων ουσιών που παραμένουν στα απόβλητα μετά τη συνηθισμένη βιολογική επεξεργασία, όταν αυτή απαιτείται σε διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού. Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, βιολογικών και χημικών διεργασιών και συνήθως περιλαμβάνει διήθηση, χρήση μεμβρανών, αντίστροφη ώσμωση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, ιοντοεναλλαγή κ.ά.

Με στόχο λοιπόν την προστασία της δημόσιας υγείας μέσω της προστασίας της ποιότητας του νερού και την αποφυγή μετάδοσης ασθενειών, την αποτροπή δηλητηριάσεων από τοξικές ουσίες, υπολείμματα φαρμάκων και βαριά μέταλλα τα οποία βιοσυσσωρεύονται, την προστασία της ποιότητας των αποδεκτών από την ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και την αλλοίωση του οικοσυστήματος (αποξυγόνωση), από την αισθητική υποβάθμιση (οσμές, μη διαύγεια, κ.λπ.) και τα φαινόμενα ευτροφισμού (υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων), είναι προφανές ότι όλοι οι ρύποι πρέπει να απομακρυνθούν από τα υγρά απόβλητα στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) εφαρμόζοντας διάφορες διεργασίες και τεχνικές.

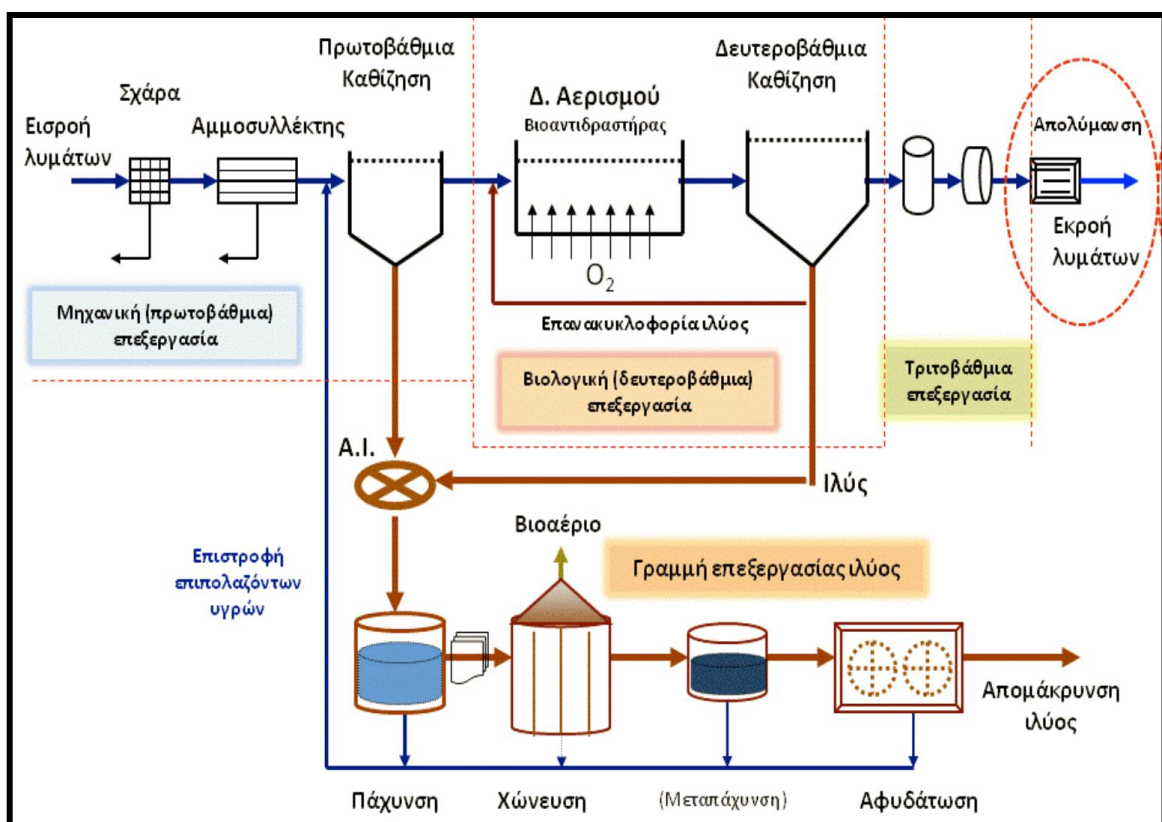
Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης άρχισαν να κατασκευάζονται στην Ευρώπη πριν από 100 – 120 περίπου χρόνια. Τη δεκαετία του 1930 ξεκίνησε στην Ευρώπη η κατασκευή των πρώτων Ε.Ε.Λ. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες Ε.Ε.Λ. σε όλες σχεδόν τις πόλεις της Ελλάδας, οι οποίες περιλαμβάνουν πολλά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και κάθε στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει περισσότερες από μια διεργασίες.

Στις μεγάλες Ε.Ε.Λ. οι διάφορες διεργασίες γίνονται σε ξεχωριστούς χώρους (δεξαμενές). Στις μικρότερες εγκαταστάσεις κατασκευάζονται όσο το δυνατόν λιγότερες δεξαμενές. Αντίστοιχα έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστές τεχνολογίες για την κατασκευή:

- μικρών εγκαταστάσεων, (για μικρούς οικισμούς),
- μεσαίων εγκαταστάσεων, (για χωριά),
- μεγάλων εγκαταστάσεων, (για μικρές πόλεις),
- πολύ μεγάλων εγκαταστάσεων (για μεγάλες πόλεις).

Ένα σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορα στάδια επεξεργασίας και σχεδιάζεται με σκοπό να δεσμεύσει και να απομακρύνει από τα απόβλητα το οργανικό φορτίο, ανόργανες ουσίες όπως τα θρεπτικά άλατα (N και P), τα αιωρούμενα (SS) και διαλυμένα (DS) στερεά, τους επικίνδυνους μικροοργανισμούς και διάφορους άλλους ρυπαντές. Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Το σύνολο αυτών των διεργασιών αποτελεί τη διαδικασία της επεξεργασίας, κύρια επιδίωξη της οποίας είναι η απαλλαγή της μάζας των αποβλήτων από τους ρύπους και δευτερεύουσα επιδίωξη η εξουδετέρωση των ρύπων.

Στο **Σχήμα 3.2.** δίνεται ένα απλουστευμένο διάγραμμα ροής μιας μεγάλης εγκατάστασης βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος.



**Σχήμα 3.2.** : Τυπικό διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. με τη μέθοδο ενεργού ιλύος

**Πίνακας 3.1. :** Τα βασικά συστήματα επεξεργασίας (Νταρακάς, 2010)

Συστήματα προεπεξεργασίας ή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας	Συστήματα δευτεροβάθμιας ή βιολογικής επεξεργασίας	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εσχάρωση</li> <li>• Κοσκίνισμα</li> <li>• Εξάμωση (αμμοσυλλέκτης)</li> <li>• Λιποσυλλογή (ελαιοδιαχωριστήρες)</li> <li>• Επίπλευση</li> <li>• Πρωτοβάθμια καθίζηση</li> </ul>	Αερόβια συστήματα	Αναερόβια συστήματα
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντιδραστήρες αιωρούμενης βιομάζας (ενεργού ιλύος)</li> <li>• Αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας (Βιολογικοί υμένες) (Χαλικοδιυλιστήρια, Δισκοδιυλιστήρια)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σηπτικές δεξαμενές</li> <li>• Δεξαμενές Imhoff</li> <li>• Λίμνες και δεξαμενές σταθεροποίησης</li> </ul>
Συστήματα χημικής επεξεργασίας	Συστήματα τριτοβάθμιας επεξεργασίας	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οξειδωση</li> <li>• Αναγωγή</li> <li>• Χημική κατακρήμνιση</li> <li>• Κροκίδωση</li> <li>• Ιζηματοποίηση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διήθηση</li> <li>• Μεμβράνες - Αντίστροφη ώσμωση</li> <li>• Προσρόφηση</li> <li>• Ιοντοεναλλαγή</li> </ul>	
Μέθοδοι απολύμανσης	Μέθοδοι διάθεσης της επεξεργασμένης εκροής	Τεχνολογίες επεξεργασίας ιλύος
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χλωρίωση (Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>, NaOCl, NaOCl<sub>2</sub>)</li> <li>• Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)</li> <li>• Οζόνωση (O<sub>3</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάθεση σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες</li> <li>• Διάθεση στο έδαφος (επιφανειακή απορροή, διήθηση στο έδαφος, άρδευση)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πάχυνση</li> <li>• Βιολογική σταθεροποίηση (αερόβια ή αναερόβια)</li> <li>• Αφυδάτωση (κλίνες ξήρανσης, ταινιοφιλτράτρες, φυγοκέντριση)</li> </ul>

Διευκρινίζεται ότι σε κάθε περίπτωση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα όλες οι πιο πάνω επεξεργασίες, αλλά ο πιο κατάλληλος για την περίπτωση συνδυασμός, που η εκλογή του γίνεται από τον ειδικό μελετητή με βάση την επαγγελματική του εκτίμηση, την ποιότητα και ποσότητα των αποβλήτων, την αφομοιωτική ικανότητα και τις επιθυμητές χρήσεις του αποδέκτη. Ο καθορισμός της χρήσης του αποδέκτη καθορίζει κατά κανόνα τον τελικό βαθμό καθαρισμού/επεξεργασίας.

Διαφορετικός είναι για παράδειγμα ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας όταν ο αποδέκτης είναι η θάλασσα και διαφορετικός όταν πρόκειται για ένα ποτάμι ή μια λίμνη. Πολλές φορές μελετάται το σύστημα σε πειραματική μονάδα και διεξάγονται εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των ειδικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να συνδυάζεται η απαιτούμενη ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων με τη μικρότερη δυνατή δαπάνη κατασκευής και λειτουργίας μιας Ε.Ε.Λ., να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία και γενικότερα η προστασία του περιβάλλοντος και η ποιότητα ζωής.

### 3.2. Προεπεξεργασία

Το πρώτο στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων είναι προκαταρτικό και για αυτό χαρακτηρίζεται και ως «προεπεξεργασία». Στο στάδιο της προεπεξεργασίας επιδιώκεται η απομάκρυνση των μεγαλύτερων αντικειμένων που βρίσκονται σε αιώρηση στα λύματα και που εγκυμονούν κινδύνους έμφραξης των αγωγών, φθοράς του μηχανολογικού εξοπλισμού και δυσλειτουργίας των συστημάτων επεξεργασίας που ακολουθούν.

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας επιδιώκεται η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (χαρτιά, κουρέλια, πλαστικά υλικά). Για το λόγο αυτό τα λύματα περνούν μέσα από μεταλλικές σχάρες ή κόσκινα που έχουν τοποθετηθεί σε κατακόρυφη ή κεκλιμένη θέση και απέχουν μεταξύ τους 2 με 7 cm (εσχάρωση). Τα στερεά που συγκεντρώνονται στις σχάρες απομακρύνονται συνήθως με μηχανικά μέσα, αποθηκεύονται σε κλειστούς κάδους απορριμμάτων και απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.



**Σχήμα 3.3.** : Σχάρες για τη συλλογή αντικειμένων

Στη συνέχεια, τα απόβλητα περνούν μέσα από δεξαμενή (εξαμμωτή), όπου παραμένουν για μερικά λεπτά, ώστε να καθιζήσουν τα βαρύτερα σωματίδια, όπως η άμμος, τα σωματίδια αργίλου και άλλα σωματίδια γεωλογικής ή όχι υφής. Η άμμος και τα υπόλοιπα στερεά που συλλέγονται στο στάδιο αυτό αφυδατώνονται (στραγγίζονται) και συλλέγονται σε δοχεία, όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των εσχαρισμάτων. Η τελική διάθεση μπορεί να γίνει σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ή να επαναχρησιμοποιηθεί σε δρόμους ως υλικό επίστρωσης.

Ακολούθως, τα απόβλητα οδηγούνται σε δεξαμενές, όπου διαχωρίζονται οι ελαιώδεις και λιπαρές ουσίες από τη μάζα των αποβλήτων (λιποσυλλογή). Αυτό επιτυγχάνεται με την παραμονή των αποβλήτων στις δεξαμενές, όπου τα λίπη και έλαια συγκεντρώνονται στην επιφάνεια, λόγω του ότι είναι ελαφρύτερα από το νερό. Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας, η διαδικασία μπορεί να υποβοηθείται από τη διοχέτευση αέρα από τον πυθμένα. Τα λίπη και έλαια, που απομακρύνονται από τα απόβλητα, διατίθενται για υγειονομική ταφή ή καίγονται σε ειδικούς καυστήρες.

Σε πολλές περιπτώσεις, και κυρίως όταν η περιεκτικότητα σε λίπη και έλαια είναι χαμηλή, οι διαδικασίες της εξάμμωσης και της λιποσυλλογής συνδυάζονται σε μια δεξαμενή μεγιστοποιώντας έτσι την οικονομία του χώρου.



### 3.3. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Με την καθίζηση επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός από τα λύματα των ουσιών που καθιζάνουν και αυτών που επιπλέουν. Πρόκειται για μια φυσική διεργασία διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων, το ειδικό βάρος των οποίων είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του νερού. Για σωματίδια με μέσο μέγεθος μεγαλύτερο από 100  $\mu m$  και συγκέντρωση μεγαλύτερη από 50  $mg/L$ , η καθίζηση είναι η κατ' εξοχήν εφαρμοζόμενη μέθοδος διαχωρισμού. Στηρίζεται στο φαινόμενο της βαρύτητας και εφαρμόζεται για την απομάκρυνση διαφόρων στερεών που καθιζάνουν (Νταρακάς, 2010).

Η καθίζηση εφαρμόζεται:

- για την απομάκρυνση της άμμου στους αμμοσυλλέκτες,
- για την απομάκρυνση των TSS (πρωτοβάθμια καθίζηση),
- για την απομάκρυνση των βιολογικών κροκίδων μετά από βιολογική επεξεργασία (δευτεροβάθμια καθίζηση),
- για την απομάκρυνση των χημικών κροκίδων (μετά από χημική κροκίδωση),
- για την πάχυνση (πύκνωση) των στερεών στους παχυντές ιλύος.

Η ευρεία χρήση της καθίζησης οφείλεται στην απλότητα της μεθόδου, παρά τις περιπλοκές που παρουσιάζουν πολλές φορές διάφορες δεξαμενές καθίζησης, και στη μικρή κατανάλωση ενέργειας.

Τα σωματίδια καθιζάνουν με βαρύτητα και η ταχύτητα καθίζησης σε ηρεμία εξαρτάται από το μέγεθος, το ειδικό βάρος και το σχήμα των σωματιδίων καθώς και την κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού, η οποία είναι συνάρτηση και της θερμοκρασίας. Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 1,5 – 3,0 ώρες, με βάση τη μέση παροχή των λυμάτων και η καθίζηση συμβαίνει σε ορθογώνιες, ή κυκλικές δεξαμενές.

Η είσοδος των υγρών στη δεξαμενή καθίζησης γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνονται οι αναταράξεις-αναδεύσεις και να επιτυγχάνεται η καθίζηση. Αυτό επιτυγχάνεται με τις διατάξεις ηρεμίας. Η έξοδος των διαυγασμένων αποβλήτων γίνεται με ειδική διάταξη (υπερχειλιστή) για ομοιόμορφη απομάκρυνση των εξερχόμενων σε όλη την περιφέρεια ή σε όλη τη διάταξη εξόδου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση, δηλαδή την απόδοση των δεξαμενών, είναι η μεταβολή της πυκνότητας του νερού (συγκέντρωση αλάτων, θολότητα, θερμοκρασία), οι διατάξεις ηρεμίας κατά την εισροή του νερού, οι άνεμοι, και οι μηχανισμοί απομάκρυνσης της ιλύος.

Απόδοση πρωτοβάθμιας καθίζησης (Νταρακάς, 2010):

- Μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (TSS) κατά 40 – 50%.
- Μείωση οργανικού φορτίου ως  $BOD_5$  κατά 25 – 30%.

Σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης καθορίζεται από τη μέθοδο επεξεργασίας που θα εφαρμοστεί περαιτέρω. Όταν εφαρμόζεται μόνο μηχανική επεξεργασία, η καθίζηση θέτει αυστηρά όρια και έτσι στην εκροή από τις δεξαμενές, δεν επιτρέπεται μεγαλύτερη περιεκτικότητα από  $0,3 \text{ cm}^3/\text{L}$  σε καθιζάνουσα ιλύ. Στην περίπτωση της βιολογικής επεξεργασίας με τη μέθοδο της αιωρούμενης βιομάζας, οι απαιτήσεις στο βαθμό απόδοσης των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι σχετικά μικρές. Πολλές φορές αρκεί μόνο η απομάκρυνση των πλέον μεγάλων σωματιδίων. Αντίθετα οι απαιτήσεις στην εκροή από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης οι οποίες τοποθετούνται μετά τη βιολογική και χημική επεξεργασία για να συγκρατήσουν τους βιολογικούς και χημικούς θρόμβους είναι πολύ αυστηρές.



**Σχήμα 3.4. :** Κυκλική δεξαμενή καθίζησης

Η ιλύς που προκύπτει από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (συνήθως  $45 \text{ gr/κατ. ημ.}$ ) περιέχει κυρίως ανόργανες ουσίες, δηλαδή πολλά αδρανή υλικά όπως άμμο, χώμα κ.λπ. Πρόκειται για ιλύ η οποία αφυδατώνεται σχετικά εύκολα. Η περιεκτικότητά της σε στερεά είναι συνήθως  $2,5 - 3,0\%$ . Με δεδομένο ότι τα λύματα στο στάδιο του μηχανικού καθαρισμού δεν έχουν ακόμα υποστεί βιολογική επεξεργασία, η ιλύς της πρωτοβάθμιας καθίζησης περιέχει και πολύ μεγάλο ποσοστό οργανικών ουσιών. Γι αυτό το λόγο απαιτείται οπωσδήποτε σταθεροποίηση πριν την τελική της διάθεση.

### **3.4. Δευτεροβάθμια επεξεργασία**

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια και αποσκοπεί στη περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου (BOD) και των αιωρούμενων στερεών (SS), ενώ ακόμα μπορεί να στοχεύει στη μείωση των αζωτούχων (N) και φωσφορικών (P) ενώσεων, που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Με δεδομένο ότι το κυριότερο ρυπαντικό φορτίο στα αστικά λύματα είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος (σε ποσοστό περίπου  $70\%$ ) οργανικής σύνθεσης, η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στηρίζεται στη βιοχημική αποικοδόμηση και μετατροπή των πολύ λεπτών και διαλυμένων οργανικών ουσιών σε συσσωματώματα, τα οποία στη συνέχεια απομακρύνονται με καθίζηση. Οι ποσότητες των λυμάτων που επεξεργάζεται ένας βιολογικός καθαρισμός μπορεί να είναι γύρω στις μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα.

Κατά τη βιολογική διεργασία οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν ένα μέρος της τροφής (του υποστρώματος) σε διεργασίες αποσύνθεσης, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη για τις λειτουργικές τους ανάγκες ενέργεια, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν ένα άλλο μέρος του υποστρώματος για τη σύνθεση της κυτταρικής τους δομής.

Διακρίνεται ανάλογα με τους μικροοργανισμούς σε:

- *Αερόβια*, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση από αερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς,
- *Αναερόβια*, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση από αναερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς και
- *Αερόβια - αναερόβια*, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση και από τα τρία είδη των οργανισμών (αερόβιοι, αναερόβιοι και επαμφοτερίζοντες).

### **Αερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

Η απομάκρυνση και η σταθεροποίηση της διαλυμένης και της σωματιδιακής οργανικής ύλης που βρίσκεται στα λύματα επιτυγχάνεται βιολογικά με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών, κυρίως βακτηρίων. Οι μικροοργανισμοί λαμβάνουν ενέργεια καταναλώνοντας στοιχειακό οξυγόνο ( $O_2$ ) και οξειδώνουν το οργανικό υλικό των αποβλήτων (την τροφή τους) σε διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), νερό ( $H_2O$ ) και επιπρόσθετη βιομάζα (νέα κύτταρα). Τα θρεπτικά συστατικά (N και P) απαιτούνται για τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε απλά τελικά προϊόντα. Ο όρος νέα κυτταρική μάζα χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τη βιομάζα που παράγεται ως αποτέλεσμα της οξείδωσης της οργανικής ύλης των υγρών αποβλήτων.



**Σχήμα 3.5. :** Δεξαμενή αερισμού

Η αμμωνία ( $NH_3$ ) που υπάρχει στα απόβλητα οξειδώνεται από ειδικά βακτήρια σε νιτρώδη ( $NO_2^-$ ) και νιτρικά ( $NO_3^-$ ) άλατα σε μια διαδικασία η οποία ονομάζεται νιτροποίηση και τα νιτρικά άλατα μετατρέπονται από άλλα ειδικά βακτήρια σε αέριο άζωτο ( $N_2$ ) σε μια διαδικασία η οποία ονομάζεται απονιτροποίηση. Έτσι απομακρύνεται το άζωτο από τα απόβλητα. Για την απομάκρυνση του φωσφόρου, οι βιολογικές διεργασίες διαμορφώνονται έτσι ώστε να προάγουν την ανάπτυξη βακτηρίων με την ικανότητα να απορροφούν και να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ανόργανου φωσφόρου.

Η μέθοδος της αερόβιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων βασίζεται στην ανάμιξη και τον αερισμό των αποβλήτων υπό συνθήκες που επιτρέπουν την επικράτηση κατάλληλων αερόβιων μικροοργανισμών, σε βιοαντιδραστήρες, όπου τα διαλυτά και κolloειδή ρυπαντικά φορτία (εκπεφρασμένα ως οργανικό φορτίο μετρούμενο με το BOD<sub>5</sub>, ολικό άζωτο, ολικός φώσφορος κ.λπ.) μετατρέπονται σε προϊόντα αποσύνθεσης (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) και προϊόντα σύνθεσης (νέα κυτταρική μάζα), τα οποία μπορούν εύκολα να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν από την υγρή φάση. Η βιομάζα που παράγεται έχει σχετική πυκνότητα ελαφρώς μεγαλύτερη απ' αυτή του νερού και μπορεί να απομακρυνθεί από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα με καθίζηση με βαρύτητα στις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Εάν δεν απομακρυνθεί δεν επιτυγχάνεται ολοκληρωμένη επεξεργασία γιατί η βιομάζα είναι εκ φύσεως οργανικό υλικό και θα προσμετρηθεί ως BOD στην εκροή.

Οι βιοαντιδραστήρες σχεδιάζονται κατάλληλα, ώστε να παρέχουν ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών (θερμοκρασία, pH, συγκέντρωση οξυγόνου, αλκαλικότητα, ανάδευση, κ.ά.) και διαστασιολογούνται από την ένταση και το είδος των διεργασιών (αερόβιοι, αναερόβιοι) ενώ οι δεξαμενές καθίζησης είναι κοινές σε όλες τις περιπτώσεις.

### **Αναερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

Κατά την αναερόβια διεργασία η βιολογική αποικοδόμηση του οργανικού υλικού πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου με τη δράση αναερόβιων μικροοργανισμών, οι οποίοι αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας τις οργανικές ενώσεις. Τα βασικότερα προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας, είναι μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), υδρογόνο (H<sub>2</sub>), αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και αναερόβια βιομάζα. Η δημιουργία των προϊόντων εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας και τα εμπλεκόμενα είδη των μικροοργανισμών.

Η αναερόβια αποικοδόμηση είναι μια πολύ αργή και ευαίσθητη διαδικασία στην οποία συμμετέχουν υποχρεωτικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί όπως τα αρχαιοβακτήρια και τα μεθανοβακτήρια, τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, καθώς και μύκητες και πρωτόζωα. Τα θετικά της αναερόβιας διαδικασίας είναι η παραγωγή μεθανίου (CH<sub>4</sub>), το οποίο μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) συνθέτει το βιοαέριο, ότι δεν απαιτείται αερισμός, ότι επιτυγχάνεται αποικοδόμηση δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών και ότι υπάρχει πολύ χαμηλή παραγωγή ιλύος (Νταρακάς, 2010).

Αναερόβια επεξεργασία εφαρμόζεται ως επί το πλείστον για τη χώνευση ή ζύμωση της ιλύος η οποία προκύπτει από τα συστήματα καθίζησης και για την επεξεργασία πυκνών βιομηχανικών ή άλλων αποβλήτων. Η διεργασία αποικοδόμησης πραγματοποιείται σε δυο στάδια από διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών. Στο πρώτο στάδιο γίνεται υδρόλυση και ζύμωση των σύνθετων οργανικών ενώσεων με παραγωγή απλών οργανικών οξέων από επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια, ενώ κατά το δεύτερο στάδιο μετατρέπονται τα οργανικά οξέα σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από αναερόβια βακτήρια.

## **Αερόβια – αναερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων**

Πρόκειται για συστήματα μικτής επεξεργασίας η οποία πραγματοποιείται σε δεξαμενές ή λίμνες σταθεροποίησης, όπου στο ανώτερο στρώμα διατηρούνται αερόβιες συνθήκες εξαιτίας του ατμοσφαιρικού οξυγόνου ή του παραγόμενου από τα φύκια οξυγόνου με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης, ενώ στο κατώτερο στρώμα όπου δεν διεισδύει το φως επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Οι δεξαμενές σταθεροποίησης είναι σχετικά μικρού βάθους λεκάνες με επίπεδο πυθμένα και συνήθως κατασκευάζονται με χωμάτινο ανάχωμα. Το σχήμα και οι ακριβείς διαστάσεις των λιμνών ποικίλουν ανάλογα με τη διεργασία, τον τύπο των αποβλήτων (ποσότητα, ποιοτικά χαρακτηριστικά) και το κλίμα της περιοχής. Το σχήμα μπορεί να είναι στρογγυλό, τετράγωνο ή ορθογώνιο με στρογγυλεμένες γωνίες και το μήκος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του πλάτους.

Ο πυθμένας των δεξαμενών πρέπει να είναι επίπεδος, εκτός από το σημείο εισροής, για να διευκολύνεται η συνεχής ροή των αποβλήτων. Η στρογγύλευση των γωνιών βοηθά επίσης τη διατήρηση του υδραυλικού τύπου και αποτρέπει τα νεκρά σημεία στη ροή που μπορεί να δημιουργήσουν επιπτώσεις στην επεξεργασία. Κατά το σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες της περιοχής της εγκατάστασης όπως ο τύπος του εδάφους, το κλίμα κ.λπ., η διαθέσιμη έκταση, η ποσότητα και η ποιότητα των αποβλήτων και το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας. Τα τοιχώματα και ο πυθμένας των λιμνών επενδύονται συνήθως με υλικά όπως η άργιλος ή ένα τεχνητό επικαλυπτικό (μπεντονίτης, πλαστικό, ελαστικό, σκυρόδεμα ή άλλο υλικό), για να αποτραπεί η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα από τυχόν διαρροές.

Όλες αυτές οι κατασκευές διακρίνονται σε:

- Δεξαμενές σταθεροποίησης ή οξειδωσης (αερόβιες, αερόβιες-αναερόβιες, αναερόβιες).
- Αεριζόμενες δεξαμενές (αερόβιες, αερόβιες-αναερόβιες, παρατεταμένου αερισμού).

Οι λίμνες σταθεροποίησης είναι κατάλληλες για μικρές εγκαταστάσεις, εφόσον υπάρχει αρκετή εδαφική έκταση με πρόσφορη τοπογραφική διαμόρφωση και κατάλληλη φύση του εδάφους για την αποφυγή ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και λειτουργούν υπό συνθήκες φυσικού ή τεχνητού αερισμού ή και αναερόβια. Ο φυσικός αερισμός στηρίζεται στη διάλυση και διάχυση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στην ανεπτυγμένη επιφάνεια και στη διαδικασία της παραγωγής οξυγόνου με φωτοσύνθεση από τα φύκια.

Μια αεριζόμενη λίμνη είναι στην ουσία ένας βιολογικός αντιδραστήρας πλήρους ανάμιξης, χωρίς επανακυκλοφορία, όπου πραγματοποιείται οξείδωση του οργανικού φορτίου. Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων κυμαίνεται από 3 έως 6 ημέρες. Ανάλογα με τη ποσότητα του αέρα που προστίθεται κατά τη διεργασία διακρίνονται σε αερόβιες και αερόβιες/αναερόβιες. Όταν ο αερισμός δεν δημιουργεί συνθήκες πλήρους ανάμιξης στον πυθμένα της λίμνης μπορεί να εμφανιστούν αναερόβιες συνθήκες.

Η εκροή περιέχει το 1/2 έως 1/3 της ποσότητας του BOD εισόδου υπό μορφή βακτηριακής μάζας ενώ το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου απομακρύνεται με καθίζηση. Εάν ανακυκλωθεί η ιλύς από τη δεξαμενή καθίζησης, η μέθοδος μετατρέπεται σε μέθοδο ενεργού ιλύος. Η εκροή των επεξεργασμένων αποβλήτων χαρακτηρίζεται από το απομένον φορτίο του BOD και από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όλες οι πόλεις με πληθυσμό πάνω από 15.000 κατοίκους υποχρεούνται μέχρι το 2000 να εγκαταστήσουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού για την επεξεργασία των λυμάτων τους, ενώ από το 2005 την ίδια υποχρέωση έχουν δήμοι και κοινότητες με πληθυσμό από 2.000 έως 15.000 κατοίκους (Νταρακάς, 2010).

### 3.5. Τριτοβάθμια επεξεργασία

Στα λύματα είναι δυνατόν να υπάρχουν και ουσίες οι οποίες προέρχονται από τη βιομηχανία και τη βιοτεχνία και οι οποίες δεν κατακρατούνται στις κοινές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Επίσης οι προδιαγραφές για τη διάθεση κατεργασμένων λυμάτων σε αποδέκτες τα νερά των οποίων χρησιμοποιούνται για την ύδρευση οικισμών, είναι πολύ αυστηρές. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται η χρήση μεθόδων προχωρημένου καθαρισμού, δηλαδή συστημάτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία έπεται της δευτεροβάθμιας και αποσκοπεί στην περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου, χρώματος, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ρυπαντών όπως τα βαριά μέταλλα, το αρσενικό (As), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, τα θειούχα ( $S_2^-$ ), τα κυανιούχα ( $CN^-$ ) κ.λπ. (μη συμβατικοί ρύποι του νερού).

Οι διατάξεις και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- Η διήθηση με πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κ.λπ. με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Σημειώνεται ότι στις πιο προχωρημένες εφαρμογές μεμβρανών ανήκει η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF), η νανοδιήθηση (NF).
- Η αντίστροφη ώσμωση (RO).
- Η χημική επεξεργασία (οξειδωση, αναγωγή κ.λπ.).
- Οι διεργασίες προχωρημένης οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes).
- Η προσρόφηση (κυρίως σε ενεργό άνθρακα).
- Η ιοντοεναλλαγή.
- Η απογύμνωση αερίου, η οποία εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση αερίων όπως το υδρόθειο ( $H_2S$ ), η αμμωνία ( $NH_3$ ) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις.

### 3.6. Διύλιση

Η διύλιση είναι φυσική, βασικά, διαδικασία κατά την οποία απομακρύνονται από το νερό αιωρούμενα και κolloειδή στερεά κατά την διέλευσή του από πορώδες μέσο που μπορεί να είναι ένα στρώμα άμμου ή άλλου κοκκώδους υλικού. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας του διυλιστηρίου, τα συγκρατούμενα από το διυλιστικό μέσο σωματίδια του νερού, έχουν ως συνέπεια την έμφραξη του με συνέπεια την αύξηση της πτώσης πίεσης ή και την μείωση της απόδοσης της διύλισης. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται καθαρισμός του φίλτρου ο οποίος αποσκοπεί στην απομάκρυνση των σωματιδίων. Ο καθαρισμός, που γίνεται συνήθως με αντιστροφή της ροής του νερού μέσα από το στρώμα και ρευστοποίησή του, επαναφέρει το διυλιστήριο στην αρχική του κατάσταση και η διαδικασία της διύλισης επαναλαμβάνεται.

### 3.7. Απολύμανση

Η απολύμανση των υγρών αποβλήτων έχει ως στόχο την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να προστατευτεί η δημόσια υγεία. Όλες οι μέθοδοι απολύμανσης στοχεύουν στην καταστροφή των βακτηρίων, των ιών και των λοιπών μικροοργανισμών που πιθανό να είναι φορείς ασθενειών, ή μπορούν να εξελιχθούν σε τέτοιους.

Το απολυμαντικό μέσο πρέπει να είναι δραστικό σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που παρουσιάζονται ή αναμένεται να παρουσιασθούν στο σύστημα, να συμφέρει οικονομικά η εφαρμογή του, να μην δημιουργεί παρενέργειες στο σύστημα και να μη διευκολύνει την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη ανεπιθύμητων ειδών, να μην δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για το προσωπικό και το περιβάλλον.

Επισημαίνεται ότι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν διαφορετική ανθεκτικότητα στα διάφορα απολυμαντικά μέσα. Οι σπόροι των βακτηρίων και των πρωτόζωων παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα και ακολουθούν οι ιοί και τα βακτήρια.

Οι κύριες κατηγορίες ανθρώπινων εντερικών μικροοργανισμών οι οποίες υπάρχουν στα υγρά απόβλητα και πρέπει να θανατωθούν πριν τα υγρά απόβλητα διατεθούν στο περιβάλλον είναι τα βακτήρια, τα πρωτόζωα, οι ωοκύστες, οι κύστες, οι ιοί και οι έλμινθες.

Η περιεκτικότητα των τυπικών αστικών λυμάτων σε κολοβακτηρίδια είναι της τάξης των 10<sup>7</sup> – 10<sup>9</sup> CFU/100 mL. Είναι προφανές λοιπόν ότι στα λύματα θα υπάρχουν και παθογόνοι μικροοργανισμοί. Με τις επί μέρους διεργασίες κατά την επεξεργασία των λυμάτων απομακρύνεται ένα μεγάλο ποσοστό αυτών των μικροοργανισμών. Στις σχάρες για παράδειγμα επιτυγχάνεται ποσοστό απομάκρυνσης 10 – 20% περίπου, στους αμμοσυλλέκτες 10 – 25% περίπου και κατά την καθίζηση απομακρύνεται ποσοστό της τάξης του 25 – 75%. Με τη βιολογική επεξεργασία και πιο συγκεκριμένα με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος επιτυγχάνεται απομάκρυνση του 90 – 98% των μικροοργανισμών. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό. Η απολύμανση με τη χρήση ισχυρών οξειδωτικών παραγόντων (Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) ή με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθεί η μικροβιακή μόλυνση των φυσικών αποδεκτών γιατί αυτοί χρησιμοποιούνται για υδροληψία, κολύμβηση, αλιεία κ.λπ.

Με την απολύμανση λοιπόν επιτυγχάνεται καταστροφή ή αδρανοποίηση των μικροοργανισμών που περιέχονται στα λύματα, σε ποσοστό της τάξης του 98 – 99,9%, ώστε αυτοί να μην είναι ικανοί να μεταδώσουν ασθένειες στα ζώα και τους ανθρώπους. Με τον όρο «αδρανοποίηση» εννοείται όχι απαραίτητα θανάτωση των μικροοργανισμών αλλά παρεμπόδιση της ανάπτυξης ή της δυνατότητας αναπαραγωγής. Οι μηχανισμοί με τους οποίους δρουν τα απολυμαντικά μέσα είναι η καταστροφή του κυτταρικού υλικού των μικροοργανισμών, η παρεμβολή στον ενεργειακό τους μεταβολισμό με την αδρανοποίηση της λειτουργίας των ενζύμων τους και η παρεμβολή στην βιοσύνθεση και την ανάπτυξη τους παρεμποδίζοντας τη σύνθεση των πρωτεϊνών, των νουκλεϊνικών οξέων και των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, κυριότερες από τις οποίες είναι:

- Το είδος, η δόση και ο χρόνος επαφής του απολυμαντικού,
- Ο τύπος και η φυσιολογική κατάσταση του μικροοργανισμού (πρωτόζωα, βακτήρια, ιοί),
- Το pH, η θερμοκρασία, η θολότητα και η διαλυμένη οργανική ύλη.

Σημειώνεται ότι η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας για την απολύμανση των λυμάτων και την πρόσθετη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι σκόπιμο να εξετάζεται ανά περίπτωση ανάλογα με τα έργα διάθεσης των λυμάτων και τα χαρακτηριστικά του υδάτινου αποδέκτη.

Στην περίπτωση διάθεσης των λυμάτων στην ανοικτή θάλασσα η απολύμανση των λυμάτων είναι συχνά περιττή καθώς λόγω της αραιώσης και της φυσικής φθοράς των μικροοργανισμών οι συγκεντρώσεις τους είναι αρκετά χαμηλές ώστε να μη δημιουργούν κινδύνους μετάδοσης ασθενειών.

Σε περίπτωση, όμως, επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων πρέπει το νερό να βρίσκεται σε άριστη κατάσταση, απαλλαγμένο από ρύπους και μολυντές οι οποίοι θα μπορούσαν να υποβαθμίσουν τα υπόγεια νερά.



**Σχήμα 3.6. :** Απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία





## 4. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### 4.1. Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ζήτηση νερού λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού, της ταχείας αύξησης του τουρισμού και των περιοδικών ξηρασιών, σε συνδυασμό με την ανομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων και η ανάγκη για αποτελεσματικότερο έλεγχο της ρύπανσης των υδατικών πόρων έχουν οδηγήσει διάφορες υπηρεσίες και οργανισμούς, που εμπλέκονται στην διαχείριση των υδατικών πόρων στην αναζήτηση νέων και αξιόπιστων πηγών νερού.

Για να επιτευχθεί η διαχείριση των υδατικών πόρων σε αποτελεσματικό βαθμό και ολοκληρωμένα, πρέπει στις πηγές υδροφορίας να συνυπολογιστούν και οι μη συμβατικοί υδατικοί πόροι, οι οποίοι κυρίως συμπεριλαμβάνουν το αφαλατωμένο νερό, τα υφάλμυρα νερά, τα νερά στράγγισης και τις εκροές των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Τα τελευταία χρόνια υλοποιούνται με επιτυχία και ταχύτατους ρυθμούς έργα ανακύκλωσης νερού σε πολλές χώρες (Asano et al., 2007). Διεθνείς οργανισμοί εκτιμούν ότι η μέση ετήσια αύξηση του όγκου επαναχρησιμοποίησης των εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στις Η.Π.Α., Κίνα, Ιαπωνία, Ισπανία και Αυστραλία κυμαίνεται από 25 έως 65%. Επίσης, η Διεθνής Τράπεζα, ο Οργανισμός Γεωργίας και Τροφίμων (F.A.O.) και άλλοι διεθνείς οργανισμοί θεωρούν τις τεχνολογίες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων ως τους πιο φθηνούς (0,05 – 0,10 €/m<sup>3</sup>). Ενδεικτικά, το κόστος αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση διαμορφώνεται την τελευταία 15/ετία από 1,50 €/m<sup>3</sup> το 1991 μέχρι 0,20 €/m<sup>3</sup> το 2005 (Αγγελάκης κ.ά., 2009). Επίσης, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) χρηματοδοτεί σχετικά έργα και έχει εκδώσει οδηγίες για διάφορες χρήσεις τέτοιων νερών, οι οποίες περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θεωρείται ότι συμβάλλει (Αγγελάκης κ.ά., 1999):

- Στην ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων.
- Στην προστασία των υδάτινων πόρων, σε παράκτιες κυρίως περιοχές στις οποίες παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς (φαινόμενο υφαλμύρισης).
- Στην ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων, με έμφαση στη διατήρηση πηγών και περιβάλλοντος.
- Στη προστασία της υγείας του κοινού και του περιβάλλοντος (ο περιορισμός μέχρι και η πλήρης εξάλειψη της ρυπαντικής επίδρασης των αποβλήτων στο περιβάλλον).
- Στη μείωση του κόστους νερού.
- Στην αξιοπιστία υδατοπρομήθειας ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές.

## 4.2. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης

Η ανακύκλωση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων γίνεται όλο και πιο δημοφιλής για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος αφορά τη διάθεση εκροών στα επιφανειακά ύδατα που καθίσταται όλο και πιο δύσκολη, καθώς οι απαιτήσεις επεξεργασίας γίνονται αυστηρότερες για την προστασία των υδρόβιων οργανισμών και των χρηστών νερού κατάντη των θέσεων διάθεσης σε ένα υδατόρευμα. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι εκροές υγρών αποβλήτων αποτελούν σημαντική πηγή νερού, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες ωφέλιμες χρήσεις ειδικότερα σε περιοχές ελλειμματικές σε υδατικούς πόρους. Τυπικές εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι:

- Άρδευση (γεωργικών καλλιεργειών και χώρων πρασίνου)
- Βιομηχανική χρήση
- Μη πόσιμες αστικές χρήσεις (πυρόσβεση, καθαρισμός χώρων, κλιματισμός)
- Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- Ψυχαγωγία και περιβαλλοντικές εφαρμογές
- Υδατοκαλλιέργειες
- Έμμεση πόσιμη χρήση

### 4.2.1. Άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου

Η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών αποτελεί τη παλαιότερη αλλά και τη συνηθέστερη κατηγορία επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Angelakis & Koutsoyiannis, 2003 and U.S. E.P.A., 2004). Οι κυριότερες κατηγορίες καλλιεργειών που 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. Ακόμη, άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων μπορεί να εφαρμοσθεί και για καλλιέργειες, που η παραγωγή τους καταναλώνεται νωπή, με την προϋπόθεση οι εκροές να έχουν δεχθεί προωθημένη επεξεργασία και να πληρούν ανάλογα κριτήρια (Asano et al., 2007). Τα κυριότερα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση ανακυκλωμένου νερού για άρδευση περιλαμβάνουν:

- Έλεγχο της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.
- Διατήρηση των φυσικών πηγών νερού για μελλοντική χρήση.
- Αύξηση της παραγωγικότητας του εδάφους, καθώς οι εκροές υγρών αποβλήτων, εκτός από τον εφοδιασμό του με νερό, περιέχουν βασικά θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.
- Οικονομικά οφέλη για τους παραγωγούς εξαιτίας της μικρότερης εφαρμογής εμπορικών λιπασμάτων.
- Βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους δια μέσου της προστιθέμενης οργανικής ύλης. Επιπλέον, με τη συγκράτηση του εδαφικού χούμου παρεμποδίζεται η διάβρωση.

## **Άρδευση γεωργικών εκτάσεων**

Παρόλο που η πρακτική των αρδεύσεων ήταν γνωστή πριν από πολλές χιλιετίες, η ποιότητα του αρδευτικού νερού, ως βασικής παραμέτρου γεωργικής ανάπτυξης, αναγνωρίστηκε μόλις τον προηγούμενο αιώνα. Ο σχεδιασμός ενός αρδευτικού έργου με εκροές υγρών αποβλήτων, εξαρτάται κυρίως από το βασικό σκοπό του έργου, δηλαδή, εάν ο κύριος σκοπός είναι ο εφοδιασμός με νερό της καλλιέργειας ή η περαιτέρω επεξεργασία του αποβλήτου (Tzanakakis et al., 2003). Ακόμη και για την δεύτερη περίπτωση, η εφαρμογή ενός ελάχιστου επιπέδου επεξεργασίας των υγρών πριν την εφαρμογή τους στο έδαφος, αποτελεί αναγκαιότητα. Όλες οι γνωστές μέθοδοι άρδευσης μπορούν να εφαρμοσθούν και στη περίπτωση άρδευσης με εκροές υγρών αποβλήτων.



**Σχήμα 4.1.** : Τα υγρά αστικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση καλλιεργειών

Ωστόσο, σημειώνεται ότι η επιλογή της μεθόδου εφαρμογής είναι συνάρτηση της προοριζόμενης χρήσης της καλλιέργειας και του εφαρμοζόμενου επιπέδου επεξεργασίας προκειμένου να εξλειφθούν οι κίνδυνοι για την δημόσια υγεία. Ιδιαίτερα η χρήση συστημάτων τοπικής ή υποεπιφανειακής άρδευσης πλεονεκτούν σε σχέση με τις επιφανειακές μεθόδους εφαρμογής καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή νερού χαμηλότερης ποιότητας χωρίς πρόσθετους κινδύνους για τους καλλιεργητές και τους καταναλωτές.

## **Άρδευση χώρων αναψυχής**

Η άρδευση χώρων πρασίνου και/ή αναψυχής που αναφέρεται και ως αστική επαναχρησιμοποίησης, περιλαμβάνει την άρδευση:

- Πάρκων
- Παιδότοπων
- Γηπέδων γκολφ
- Διαχωριστικών νησίδων αυτοκινητοδρόμων
- Χώρων πρασίνου γύρω από εμπορικά κέντρα, γραφεία και βιοτεχνίες
- Χώρων πρασίνου σε κατοικίες

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. Στις Η.Π.Α. και στην Αυστραλία οι μελέτες άρδευσης χώρων πρασίνου περιλαμβάνουν συνήθως δύο συστήματα διανομής, ένα δίκτυο διανομής για το νερό ύδρευσης και ένα δεύτερο με ανακυκλωμένο νερό για την άρδευση οικιακών κήπων. Το σύστημα διανομής του ανακυκλωμένου νερού αποτελεί τη τρίτη εγκατάσταση νερού μετά από το σύστημα αποχέτευσης των υγρών αποβλήτων και το σύστημα ύδρευσης. Το παλαιότερο δημοτικό σύστημα διπλής διανομής στις Η.Π.Α. είναι αυτό που εφαρμόζεται στο St. Petersburg της Φλόριντα (U.S. E.P.A., 1992). Το σύστημα παρέχει ανακυκλωμένο νερό για ποικίλλες χρήσεις, συμπεριλαμβανομένων ενός εργοστασίου επεξεργασίας και ανακύκλωσης, άρδευση σχολικών κήπων, γηπέδων, γρασιδι κατοικιών και εμπορικών και βιομηχανικών πάρκων.

#### **4.2.2. Βιομηχανική χρήση**

Η επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων στην βιομηχανία αποτελεί μία αρκετά διαδεδομένη χρήση ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. (U.S. E.P.A., 2004, Asano et al., 2007). Οι κύριες χρήσεις ανακυκλωμένου νερού στη βιομηχανία είναι για ψύξη, στη γραμμή παραγωγής, μονάδων παραγωγής ενέργειας, διυλιστηρίων πετρελαίου και κατασκευαστικών βιομηχανιών, για άρδευση και συντήρηση χώρων πρασίνου. Αντίθετα, η χρήση ανακυκλωμένου νερού στις βιομηχανίες μεταποίησης τροφίμων έχει απαγορευθεί στις περισσότερες χώρες, που έχουν αναπτύξει κριτήρια επαναχρησιμοποίησης. Θέματα προβληματισμού στη χρήση εκροών υγρών αποβλήτων σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι η δημιουργία σταγονιδίων, η μεταλλική διάβρωση, η βιολογική ανάπτυξη και η εναπόθεση αλάτων.

#### **Χρησιμοποιούμενο βιομηχανικό νερό**

Οι συνολικές ανάγκες νερού των κατασκευαστικών βιομηχανιών στις Η.Π.Α. εκτιμήθηκαν σε  $1,20 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{d}$  για το έτος 2000. Με δεδομένο τους σχετικούς περιορισμούς στην διάθεση αποβλήτων σε επιφανειακούς υδατικούς αποδέκτες για τον έλεγχο της ρύπανσης, η διαχείριση νερού σε τέτοιες μονάδες αναμένεται να αλλάξει δραστικά, με αποτέλεσμα τη ταχεία αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένου νερού τόσο στις Η.Π.Α., όσο και σε άλλες χώρες. Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής προωθημένων τεχνολογιών επεξεργασίας για χρήση τους σε ψύξη, η χρήση φυσικού νερού σε ατμοηλεκτρικές μονάδες προβλέπεται ότι θα μειωθεί κατά 11% για το έτος 2000.

Ωστόσο, η κατανάλωση φυσικού νερού παραμένει ακόμη σε υψηλά επίπεδα, αφού συνιστά το 94% της συνολικής κατανάλωσης για ενεργειακή παραγωγή. Οι υπόλοιπες χρήσεις ενεργειακής παραγωγής (άντληση, επεξεργασία και χρησιμοποίηση πετρελαίου και φυσικού αερίου, εξόρυξη, επεξεργασία και χρησιμοποίηση λιγνίτη και άλλων μεταλλευμάτων) αποτελούν το υπόλοιπο 6% της συνολικής κατανάλωσης του φυσικού νερού. Στη μεταλλευτική βιομηχανία το νερό χρησιμοποιείται στην εξόρυξη μετάλλων και καυσίμων υλών.

## Χρήση σε υδατόπυργους ψύξης

Η εφαρμογή αυτή αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης νερού. Σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διυλιστήρια και πολλές κατασκευαστικές βιομηχανίες, η χρήση νερού για τη δημιουργία ψυκτικών υδατόπυργων υπολογίζεται στο ένα τρίτο έως και το ήμισυ της συνολικής κατανάλωσης νερού. Επειδή οι υδατόπυργοι ψύξης λειτουργούν συνήθως ως κλειστά συστήματα, θεωρούνται και ως ανεξάρτητα υδατικά συστήματα με τις ιδιαίτερές τους ποσοτικές και ποιοτικές απαιτήσεις, ανεξάρτητα από τις βιομηχανικές μονάδες. Για αυτό το σκοπό η χρήση νερού, που ανακτάται από αστικά υγρά απόβλητα σε τέτοιες μονάδες, αποτελεί μια προσιτή διαδικασία με πρακτικές διαστάσεις, που εφαρμόζεται σε πολλές περιοχές των Η.Π.Α.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στους ψυκτικούς υδατόπυργους στο σταθμό του Palo Verde Nuclear Generating στην Αριζόνα (Σχήμα 4.2.). Σε αυτό το έργο χρησιμοποιείται εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από τις πόλεις Tolleson και Phoenix, που μεταφέρεται στην περιοχή της μονάδας (από απόσταση 61 km). Η δευτεροβάθμια εκροή, πριν από τη χρήση της στους υδατόπυργους της μονάδας, υφίσταται προωθημένη επεξεργασία, που συνίσταται σε (α) βιολογική νιτροποίηση (β) προσθήκη υδρασβεστίου και σόδας για αύξηση του pH και την απομάκρυνση φωσφόρου (γ) φίλτρανση (δ) προσαρμογή του pH (ε) απολύμανση. Η πρόσθετη επεξεργασία αποσκοπεί στη μείωση της διάβρωσης και της εναπόθεσης αλάτων στις εγκαταστάσεις των υδατόπυργων.



**Σχήμα 4.2.** : Ο σταθμός Palo Verde Nuclear Generating στην Αριζόνα

Γενικά, τα προβλήματα που μπορούν να ανακύψουν στους ψυκτικούς υδατόπυργους και αποδίδονται στη ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού συνοψίζονται στα εξής: (α) εναποθέσεις αλάτων κυρίως ασβεστίου, (β) μεταλλική διάβρωση, (γ) βιολογική ανάπτυξη και (δ) πρόσφυση και ανάπτυξη διαφόρων εναποθέσεων (fouling). Τόσο το φυσικό νερό, όσο και αυτό που ανακτάται από αστικά υγρά απόβλητα, περιέχουν συστατικά που μπορούν να προξενήσουν τέτοια προβλήματα (Drew Chem. Corp., 1979, State of California Water Resource Control Board, 1980). Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα είναι εντονότερα στην περίπτωση χρήσης ανακυκλωμένου νερού εξαιτίας της υψηλότερης συγκέντρωσής του σε διαλυτά άλατα και άλλα βιολογικής προέλευσης συστατικά.

### 4.2.3. Ψυχαγωγικές και περιβαλλοντικές χρήσεις

Αρκετές από τις περιβαλλοντικές εφαρμογές του ανακυκλωμένου νερού βασίζονται στη διάθεση επεξεργασμένων εκροών σε φυσικούς αποδέκτες. Με τη πάροδο του χρόνου η αναβάθμιση των διεργασιών επεξεργασίας, ώστε να ικανοποιήσουν τα συνεχώς αυστηρότερα κριτήρια για τη διάθεση εκροών σε υδατικούς αποδέκτες είχε ως αποτέλεσμα την αναγνώριση των σημαντικών οφελών που μπορεί να έχουν σε αρκετές περιπτώσεις οι εκροές υγρών αποβλήτων όπως αυτές για τη διατήρηση της ροής των υδατορευμάτων και τη διατήρηση και προστασία επιφανειακών πηγών νερού. Όσο αφορά τις ψυχαγωγικές χρήσεις αυτές σχεδιάζονται και υλοποιούνται πιο προσεχτικά σε σχέση με τις περιβαλλοντικές χρήσεις και αφορούν κυρίως πιλοτικά έργα για την επίδειξη των ωφελειών από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων καθώς και της εξοικείωσης του κοινού με το ανακυκλωμένο νερό.

Πρέπει ωστόσο να αναφερθεί, ότι στις ψυχαγωγικές χρήσεις παρά τη χρήση εκροών που έχουν δεχθεί υψηλό επίπεδο επεξεργασίας, σπάνια επιτρέπονται εφαρμογές που συνεπάγονται επαφή ολόκληρου του σώματος με αυτό, όπως στην περίπτωση της κολύμβησης. Συγκριτικά με άλλες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης, σε περιπτώσεις περιβαλλοντικών χρήσεων δίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην προστασία των οικοσυστημάτων, παρόλο που η προστασία της δημόσιας υγείας παραμένει σε υψηλή προτεραιότητα. Οι ποιοτικές απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το ανακυκλωμένο νερό εξαρτάται από το υδατικό σώμα στο οποίο πρόκειται να εκφορτιστεί και την έκθεση του κοινού σε αυτό.

Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, που ευνοούν την ανάπτυξη αλγών και υδροχαρών φυτών, στη συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου, αλλά και σε άλλους ρυπαντές που μπορεί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη τοξικοτήτων στους υδρόβιους οργανισμούς. Συνήθως, απαιτείται η απομάκρυνση P και πιθανώς του N, ώστε να εμποδιστεί η ανάπτυξη φαινομένων ευτροφισμού. Χωρίς τον έλεγχο των θρεπτικών στοιχείων, ευνοείται η ανάπτυξη κυανοβακτηρίων, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία δυσάρεστων οσμών και στην άσχημη εμφάνιση των νερών. Μικροί ταμιευτήρες ή δεξαμενές συλλογής ανακυκλωμένου νερού για διαμόρφωση χώρων πρασίνου μπορούν να συμπεριληφθούν στις αστικές χρήσεις. Αποθηκευτικές μικρές λίμνες και κατασκευές συλλογής νερού σε γήπεδα γκολφ και άλλους χώρους αναψυχής, μπορούν να εφοδιάζονται με ανακυκλωμένο νερό. Παραδείγματα δεξαμενών συλλογής νερού για ψυχαγωγικές χρήσεις αναφέρονται στο Las Colinas του Τέξας, στο Sante της Καλιφόρνια, στο Lubbock του Τέξας και στο εργοστάσιο επεξεργασίας αποβλήτων του Tillman στο Λος Άντζελες (U.S. E.P.A., 1992, W.P.C.F., 1989).

Μία από τις πλέον συνηθισμένες εφαρμογές ανακυκλωμένου νερού αποτελούν οι υγροβιότοποι. Οι φυσικοί ή τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούνται για την πρόληψη πλημμύρων, για την αναβάθμιση και διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος (ανάπτυξη άγριων ζώων και πουλιών και φυτών), τον εμπλουτισμό των υδροφορέων και τη βελτίωση της ποιότητας των υδατικών πόρων. Η διαφορά μεταξύ ενός «τεχνητού» ή «φυσικού» υγροβιότοπου είναι ότι ο τεχνητός θεωρείται ως μια μονάδα επεξεργασίας η οποία μπορεί να τροποποιηθεί ή να εγκαταλειφθεί μετά τη πάροδο της ωφέλιμης ζωής του.

Αντίθετα, ένας φυσικός υγροβιότοπος πρέπει να συντηρείται και να προστατεύεται προς όφελος της χλωρίδας και πανίδας. Το ανακυκλωμένο νερό εφαρμόζεται στους υγροβιότοπους για ποικίλους λόγους, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται: (α) η δημιουργία και/ή αποκατάσταση υγροβιότοπων (β) ο εμπλουτισμός του υδροφορέα (γ) η προετοιμασία για επιπλέον επεξεργασία πριν αυτό διατεθεί σε υδατικό αποδέκτη (δ) η προετοιμασία για την εναλλακτική λύση της διάθεσης του ανακυκλωμένου νερού στο έδαφος σε περιόδους βροχόπτωσης.

Παραδείγματα περιοχών με υγροβιότοπους είναι το Orlando της Φλόριδα, το Showlow της Αριζόνα και το Arcata της Καλιφόρνια (Σχήμα 4.3.). Οι υγροβιότοποι του Arcata αποτελούνται από τρεις ελώδεις περιοχές έκτασης  $40 \text{ km}^2$  η καθεμία και έχουν προσελκύσει περισσότερα από 200 είδη πουλιών, παράσχουν εκκολαπτήριο για τους σολομούς δημιουργώντας ταυτόχρονα τουριστικό αξιοθέατο για την περιοχή, συνεισφέροντας έτσι άμεσα στην ανάπτυξη του Καταφύγιου Ελών και Άγριας Ζωής της πόλης.



Σχήμα 4.3. : Οι υγροβιότοποι του Arcata της Καλιφόρνια

#### 4.2.4. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων

Γενικά ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με ανακυκλωμένο νερό συνδυάζει την αποθήκευση νερού στους υδροφορείς με την περαιτέρω επεξεργασία των εφαρμοζόμενων εκροών, δια μέσου των φυσικών χημικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ακόρεστη ζώνη. Η πρακτική αυτή στοχεύει, κυρίως, στην αποθήκευση πλεονασμάτων επιφανειακών νερών ή/και στην ενίσχυση των αποθεμάτων νερού του υδροφορέα και προστασία τους από την υπεράντληση ή τη ρύπανση, που πολλές φορές οφείλεται στη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς.

Έτσι, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων εφαρμόζεται για την ελάττωση της πτώσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, την προστασία του υπόγειου νερού σε παράκτιους υδροφορείς από τη διείσδυση και ανάμειξή του με θαλασσινό νερό και στην αποθήκευση νερού, που ανακτάται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ή άλλων επιφανειακών νερών για μελλοντική του χρήση (Todd, 1980).



Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων επιτυγχάνεται και από τυχαία γεγονότα, όπως κατά τη διάθεση εκρών υγρών αποβλήτων σε διάφορους αποδέκτες, δια μέσου της διήθησης και κατείσδυσης σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς (Angelakis, 2001). Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με νερό, που ανακτάται κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αποτελεί μια προσέγγιση επαναχρησιμοποίησης τους ως επακόλουθο της μεγέθυνσης του υπόγειου όγκου νερού. Τα κύρια πλεονεκτήματα της πρακτικής αυτής είναι:

- Το κόστος της αποθήκευσης νερού σε υπόγειους υδροφορείς είναι συνήθως μικρότερο από το αντίστοιχο αποθήκευσης σε επιφανειακούς ταμιευτήρες.
- Οι υπόγειοι υδροφορείς μπορούν να συνεισφέρουν και στη τελική διανομή του αποθηκευμένου νερού και έτσι να ελαττώσουν την επιφανειακή μεταφορά του με σωλήνες ή κανάλια.
- Το νερό που αποθηκεύεται σε επιφανειακές εγκαταστάσεις, συνήθως, υπόκειται σε εξάτμιση και ρύπανση, ενώ επίσης μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα γεύσης και οσμών, που συνήθως οφείλονται στην ανάπτυξη αλγών και υδροχαρών φυτών.
- Θέσεις επιφανειακών αποταμιευτών νερού πιθανόν να μην είναι αποδεκτές για περιβαλλοντικούς ή κοινωνικούς λόγους.
- Όταν ένα έργο ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, παρέχονται έμμεσα κοινωνικά, ψυχολογικά και αισθητικά οφέλη, ως αποτέλεσμα της εναλλαγής μεταξύ ανακτώμενου και υπόγειου νερού.

Στην Πολιτεία της Καλιφόρνια, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με εκροές προεπεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων αποτελεί το 14% των συνολικών επαναχρησιμοποιούμενων εκρών. Σε αυτήν την Πολιτεία λειτουργούν πάνω από 200 μονάδες ανάκτησης που διανέμουν σε 850 περιοχές περίπου 500  $Mm^3/yr$  ανακτώμενων εκρών (Asano et al., 1992).

Η απαιτούμενη προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, προκειμένου να ανακτηθεί νερό που θα χρησιμοποιηθεί για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, ποικίλλει ανάλογα με το σκοπό του εμπλουτισμού, τη μέθοδο εμπλουτισμού, την τοποθεσία του έργου και τη χρήση του ανακτώμενου τελικά νερού. Έτσι είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ταχείας διήθησης, ακόμα και εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, ή λιμνών σταθεροποίησης.

Όμως, συστήματα επεξεργασίας που ευνοούν την ανάπτυξη και συγκέντρωση αλγών στην εκροή εμπλουτισμού (λίμνες σταθεροποίησης), πρέπει να αποφεύγονται γιατί μπορεί να προξενήσουν σημαντική μείωση της ταχύτητας διήθησης. Το ανακτώμενο νερό από συστήματα ταχείας διήθησης είναι ποιοτικά ισοδύναμο με το φυσικό νερό. Για αυτό, τα συστήματα αυτά πρέπει να σχεδιάζονται και να διαχειρίζονται έτσι ώστε να αποφεύγονται επεμβάσεις υποβάθμισης φυσικών υδροφορέων. Η απόσταση μεταξύ των λεκανών διήθησης και των γεωτρήσεων άντλησης στα συστήματα ταχείας διήθησης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη η οποία κυμαίνεται μεταξύ 45 – 105 m.

Σε περιπτώσεις που νερό από υπόγειους υδροφορείς που εμπλουτίζονται με εκροές προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται για ύδρευση, πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη σημασία στην προστασία των υδροφορέων με σκοπό την ελαχιστοποίηση πιθανών κινδύνων για τη δημόσια υγεία. Ανεξάρτητα όμως από τη μέθοδο εμπλουτισμού ενός υδροφορέα, η απόσταση των γεωτρήσεων άντλησης από αυτές του εμπλουτισμού ή των λεκανών διήθησης πρέπει να αυξάνει ανάλογα με την ταχύτητα εκροής και το χρόνο παραμονής της εκροής εμπλουτισμού στον υπόγειο υδροφορέα. Αυτός ο διαχωρισμός, χωρικά και χρονικά, συνεισφέρει στην αφομοίωση της εφαρμοζόμενης εκροής με το υπόγειο νερό και στην απώλεια της ταυτότητας και της πηγής προέλευσής της (Αγγελάκης κ.ά., 2009).

Η κατανόηση της κατανομής των βιοαποδομούμενων οργανικών ενώσεων με χαμηλούς ρυθμούς και των παθογόνων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο αξιολόγησης έργων εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Οι κυριότεροι μηχανισμοί μετατροπής-μεταφοράς των συστατικών των εφαρμοζόμενων εκροών διέπεται από πολύπλοκους μηχανισμούς όπως η βιοαποδόμηση, η χημική οξειδωση και αναγωγή, η προσρόφηση η ιοντική εναλλαγή, η αραίωση, η φίλτρανση κ.ά.

#### **4.2.5.Χρήση ανακυκλωμένου νερού για ύδρευση**

Γενικά, σε περιοχές με θερμό κλίμα, όπου οι ανάγκες για άρδευση χώρων πρασίνου είναι υψηλές η χρήση ανακυκλωμένου νερού μπορεί να συνεισφέρει σε ένα σημαντικό ποσοστό στη κάλυψη των αναγκών αυτών. Η χρήση ανακυκλωμένου νερού μπορεί να είναι υψηλή ακόμα και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Για παράδειγμα στο Irvine Ranch Water District της πολιτείας της Καλιφόρνια (Σχήμα 4.4.) το 90% της χρήσης νερού σε ένα πολυώροφο εμπορικό κτίριο προέρχεται από ανακυκλωμένο νερό που χρησιμοποιείται για κλιματισμό και καθαρισμό τουαλετών (Asano et al., 2007).

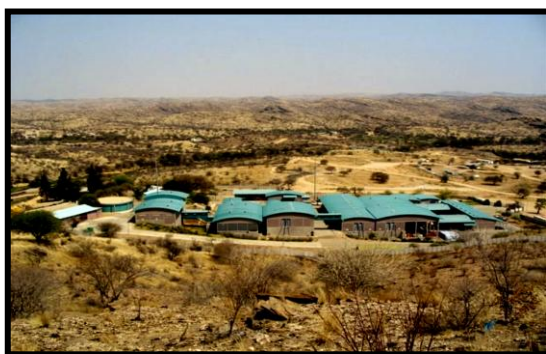


**Σχήμα 4.4.** : Σύμπλεγμα λεκανών εμπλουτισμού στο Irvine Ranch Water District της Καλιφόρνια

Τυπικές εφαρμογές αστικών χρήσεων ανακυκλωμένου νερού περιλαμβάνουν κλιματισμό, καθαρισμό τουαλετών, καθαρισμό δρόμων, πλύσιμο αυτοκινήτων και πυρόσβεση. Αυτές οι χρήσεις αποτελούν ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με τη συνολική χρήση ανακυκλωμένου νερού. Η ευρεία εξάπλωση των δορυφορικών και αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας στις επόμενες δεκαετίες αναμένεται ότι θα οδηγήσει σε αύξηση του ποσοστού του ανακυκλωμένου νερού, που χρησιμοποιείται για τέτοιες εφαρμογές.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη αστικών εφαρμογών είναι ο εξοπλισμός, η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού και η αξιοπιστία των αποθεμάτων αλλά και η κοινωνική αποδοχή. Γενικά τέτοιες εφαρμογές απαιτούν υψηλό επίπεδο επεξεργασίας για τη προστασία της δημόσιας υγείας. Ακόμη, απαιτείται και η απομάκρυνση συστατικών τα οποία αν και δεν είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία, εντούτοις μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη οσμών ή να προσδίδουν χρωματισμό. Άλλα θέματα αφορούν την ανάπτυξη βιοφίλμ, την εναπόθεση αλάτων και τη διάβρωση των σωληνώσεων.

Τα αποθέματα πόσιμου νερού μπορούν να αυξηθούν με τη χρήση ανακτημένου νερού. Η έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόσιμη χρήση έχει εφαρμοστεί στις επαρχίες Fairfax της Virginia και Clayton της Georgia (Reed and Crites, 1984). Άμεση επαναχρησιμοποίηση εφαρμόζεται ουσιαστικά μόνο στο Windhoek της Ναμίμπια (U.S. E.P.A., 1992). Όμως έρευνες για την άμεση πόσιμη επαναχρησιμοποίηση έχουν πραγματοποιηθεί ή πραγματοποιούνται στο Denver του Κολοράντο, στο Tampa της Φλόριντα και στο San Diego της Καλιφόρνια (Asano and Tchobanoglous, 1995, Tchobanoglous et al., 2003).



**Σχήμα 4.5.** : Οι εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού (Goreangab Plant) στο Windhoek της Ναμίμπια

Αν και οι ποσότητες υγρών αποβλήτων, που σήμερα χρησιμοποιούνται για αστική χρήση και κυρίως για ύδρευση, είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό παρουσιάζουν αξιόλογο ενδιαφέρον. Η άποψη σχετικά με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για ύδρευση, λαμβάνει ιδιαίτερη προσοχή για λόγους που σχετίζονται με την προστασία της δημόσιας υγείας, την αισθητική και τη γενικότερη ασφάλεια και προφύλαξη.

Παρ όλα αυτά, μερικές κοινότητες αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες και έργα άμεσης ή έμμεσης επαναχρησιμοποίησης για ύδρευση, όπου δεν είναι δυνατή ή είναι δύσκολη η ανάπτυξη άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων (Lauer et al., 1985 και Odendaal and Hattingh, 1988). Έτσι, αν και οι ποσότητες επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων για ύδρευση είναι σχετικά περιορισμένες, το ενδιαφέρον για τη δημόσια υγεία έχει επιβάλλει την ανάπτυξη σχετικής τεχνογνωσίας, με αποτέλεσμα μια σημαντική ερευνητική προσπάθεια να κατευθύνεται σε σχετικά με αυτή γνωστά αντικείμενα.

### **Έμμεση πόσιμη επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων**

Γενικά, έμμεση επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων συμβαίνει εκ των πραγμάτων σε πολλές περιπτώσεις κυρίως σε περιοχές με μεγάλες λεκάνες απορροής όπως είναι αυτές του Ρήνου, του Δούναβη και του Μισισσιπή ποταμού. Από αρκετά ποτάμια αντλείται νερό που χρησιμοποιείται για ύδρευση, ανάντη των οποίων έχουν διατεθεί επεξεργασμένες εκροές υγρών αποβλήτων.

Το πιο γνωστό γεγονός έμμεσης πόσιμης επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων συνέβη στο Chanute του Κάνσας των Η.Π.Α. την περίοδο 1956 – 1957, στη διάρκεια της παρατεταμένης ξηρασίας 1952 – 1957 (Metzler et al., 1958). Σε αυτήν την περίπτωση, εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας μετά από χλωρίωση συγκεντρωνόταν επί πέντε μήνες στον ταμιευτήρα Neosho River και στη συνέχεια χρησιμοποιούνταν για την υδροδότηση της πόλης. Ολόκληρη την περίοδο ανατροφοδότησης με πόσιμο νερό η εκροή τηρούσε τα ισχύοντα ποιοτικά κριτήρια. Έτσι, θεωρήθηκε ότι το περιθώριο ασφάλειας για υδροδότηση κοινοτήτων με νερό ανακτώμενο από υγρά απόβλητα δεν ήταν και τόσο περιοριστικό. Το πιο σοβαρό, όμως, πρόβλημα ήταν η δημόσια αποδοχή και συγκεκριμένα η αντίδραση, οφειλόμενη στον ωχρό κίτρινο χρωματισμό, στην δυσάρεστη γεύση και οσμή και στην αφρώδη εμφάνιση του χρησιμοποιούμενου νερού (Metzler et al., 1958).

Στην έμμεση επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για ύδρευση περιλαμβάνονται βέβαια και τα έργα εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων, όπως το έργο του Whittier Narrows Groundwater Recharge στην περιοχή του Λος Άντζελες, της Καλιφόρνια και αυτό του El Paso στο Τέξας (Asano, 1985, Nellor et al., 1985 και Knorr et al., 1988). Επίσης, έμμεση επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για ανάγκες ύδρευσης πραγματοποιείται δια μέσου του ταμιευτήρα Occoquan στη Βόρεια Βιρτζίνια (U.S. Nat. Res. Council, 1982 και Water Pol. Contr. Feder., 1989). Σε αυτό το έργο, προωθημένης επεξεργασίας εκροή από την μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Manassas της Βιρτζίνια, όπου λειτουργεί η επιχείρηση Upper Occoquan Wastewater Authority, δυναμικότητας 56.250 m<sup>3</sup>/d εκροής, παροχετεύεται κατ' ευθείαν στον ταμιευτήρα του Occoquan από όπου υδροδοτούνται πάνω από 600.000 κάτοικοι.

Γενικά, η κύρια έμφαση σήμερα, σε έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για ύδρευση αφορά χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμιξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη εκροή, ακόμη και υπό συνθήκες πολύ προωθημένης επεξεργασίας (W.H.O., 1980 και U.S. Nat. Res. Council, 1982).

## Άμεση πόσιμη επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις που θεωρείται ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για ύδρευση, επιδιώκεται να αναπτυχθούν εναλλακτικές πηγές νερού για τα κρίσιμα έτη με σκοπό να αποφευχθεί η άμεση επαναχρησιμοποίηση νερού. Για απευθείας ανακύκληση (σωλήνα σε σωλήνα) εκροής επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, με σκοπό τη χρήση τους για ύδρευση, τα συνήθη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού δεν θεωρούνται επαρκή, επειδή αυτά έχουν αναπτυχθεί και είναι εφαρμόσιμα, κυρίως, σε σχετικά καθαρές και χωρίς ρύπανση πηγές νερού. Οι εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, συνήθως, περιέχουν πολυάριθμες φυσικές ή συνθετικές χημικές ουσίες και δεν είναι εφικτό να καθοριστούν υγειονομικά κριτήρια για κάθε μια από αυτές. Επίσης, δεν είναι πάντοτε εφικτό να διενεργούνται δοκιμές και έλεγχοι για να διαπιστώνεται αν οι συγκεντρώσεις όλων αυτών των ουσιών είναι μικρότερες από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια.

Η χωρίς περιορισμούς επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων απαιτεί εφαρμογή καθορισμένων και εξειδικευμένων προγραμμάτων επεξεργασίας, που βασίζεται σε χημικές και βιολογικές αναλύσεις και παρακολούθηση και έλεγχο του ανακτώμενου νερού σε πιλοτικές ερευνητικές μονάδες, προκειμένου να διασφαλίζεται η παραγωγή πόσιμου νερού υψηλής ποιότητας.

Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι Potable Water Reuse Demonstration Project που εφαρμόζεται στο Denver του Κολοράντο (Lauer, 1991). Στο έργο του Denver, θεωρείται συμβατική χωρίς χλωρίωση εκροή ενεργού ιλύος, που συμπληρωματικά έχει υποστεί τις διεργασίες κροκίδωσης, καθίζησης και μερικής απονιτροποίησης. Στη συνέχεια υφίσταται την ακόλουθη επεξεργασία για παραγωγή πόσιμου νερού: διάγυση, επαναπροσρόφηση με ενεργό άνθρακα, φιλτράρισμα, απολύμανση με UV, αντίστροφη ώσμωση, απολύμανση με  $O_3$ , απομάκρυνση με ρεύμα αέρος (απογύμνωση) και χλωρίωση. Αυτή η επεξεργασία επιλέχθηκε προκειμένου να εξασφαλιστεί η αναγκαία επιπλέον επεξεργασία και να τεθούν πολλαπλοί φραγμοί στα διάφορα συστατικά-μολυντές της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκροής.

Το συνολικό κόστος της παραπάνω επεξεργασίας βασιζόμενο σε μια μέση παροχή 0,4 εκατ.  $m^3/d$ , είναι περίπου 600\$ (τιμές 1988) για κάθε 1000  $m^3$  ανακτώμενου υγρού αποβλήτου (Bouwer, 1991) σε αυτό το ποσό συμπεριλαμβάνεται η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης για το 100% της παροχής και φυσικά το σύνολο του αρχικού κόστους εγκατάστασης και το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του έργου. Το συνολικό κόστος πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με ενεργό ιλύ, εκτιμάται σε 80\$/1000  $m^3$  εκροής.

Αυτό δείχνει ότι το συνολικό κόστος για άμεση επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για ύδρευση δεν είναι και τόσο απαγορευτικό ιδιαίτερα σε σύγκριση με την ανάπτυξη άλλων πηγών νερού όπως είναι η αφαλάτωση θαλάσσιου νερού όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου. Σε πιθανά έργα άμεσης επαναχρησιμοποίησης για υδροδότηση με νερό που ανακτάται από υγρά απόβλητα πρέπει να θεωρηθεί σοβαρά εάν η χρήση αφορά μια βραχυπρόθεσμη και επείγουσα ανάγκη ή κάποια μόνιμη χρήση σε μακροπρόθεσμη βάση (Tchobanoglous et al., 2003).

#### 4.2.6. Υδατοκαλλιέργειες

Υδατοκαλλιέργεια είναι η εκτροφή ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών για παραγωγή τροφών. Τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνταν σε πολλές μονάδες υδατοκαλλιέργειας σε όλο τον κόσμο. Όμως, στις επιχειρήσεις αυτές η παραγωγή βιομάζας ήταν το πρωταρχικό αντικείμενο του συστήματος και η οποιαδήποτε επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα έμμεσο πλεονέκτημα. Η επεξεργασία που επιτυγχάνεται με τις υδατοκαλλιέργειες αποδίδεται περισσότερο στα επιπλέοντα υδροχαρή φυτά, ενώ υπάρχουν λίγες αποδείξεις για την άμεση συνεισφορά των ψαριών σε αυτήν. Η σύνδεση της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και της υδατοκαλλιέργειας σε μια μόνο επιχείρηση απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

Ειδικότερα, πρέπει να καθοριστούν οι κίνδυνοι για την υγεία που σχετίζονται με την κατανάλωση υδρόβιων οργανισμών (Metcalf and Eddy, Inc., 1991). 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.

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 προσεχτικά και σχολαστικά, ώστε να αποφευχθούν αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Γενικά, η χρήση εκροών υγρών αποβλήτων για απευθείας ανεφοδιασμό υδατοκαλλιεργείων δε μπορεί να αποκλειστεί. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι η πρακτική του εφαρμοσιμότητα έγκειται στην ποιότητα του νερού και μόνο, κατάλληλες πολιτικές ενέργειες πρέπει να λαμβάνονται προς την κατεύθυνση της προώθησης περισσότερο προηγμένων μεθοδολογιών, που χρησιμοποιούν παραδοσιακές πηγές νερού οι οποίες θα είναι πιο προσιτές, ασφαλέστερες και πρακτικότερες.

#### 4.2.7. Διάφορες άλλες χρήσεις

Για τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα υπάρχουν διάφορες χρήσεις όπως:

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

**Πίνακας 4.1.** : Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και θέματα/περιορισμοί που ενδέχεται να προκύψουν σε επίπεδο κοινότητας (Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α., 2009).

Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων	Θέματα/Περιορισμοί
<p><b>Άρδευση</b> (γεωργικών καλλιιεργειών, λιβαδιών, χορτοδοτικών καλλιιεργειών και εμπορικών φυτώριων)</p>	<p>(α) Εποχιακή χρήση (β) Πιθανή ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (γ) Εμπορευσιμότητα και η κοινή αποδοχή των παραγόμενων προϊόντων (δ) Η επίδραση της ποιότητας του νερού στο έδαφος και στις καλλιέργειες (ε) Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία που σχετίζονται με παθογόνα (βακτήρια, ιούς και παράσιτα)</p>
<p><b>Αστικές χρήσεις</b> (α) Άρδευση χώρων πρασίνου (β) Πυρόσβεση (γ) Συστήματα κλιματισμού (δ) Καθαρισμός τουαλέτας (ε) Άρδευση οικιακών κήπων (στ) Πλύσιμο αυτοκινήτων (ζ) Καθαρισμός δρόμων</p>	<p>(α) Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία όσον αφορά τα παθογόνα που μεταφέρονται μέσω σταγονιδίων (β) Η επίδραση στην ποιότητα του νερού, μεταλλική διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και ανάπτυξη διαφόρων εναποθέσεων (γ) Η λανθασμένη σύνδεση δικτύων μεταφοράς ανακυκλωμένου και νερού ύδρευσης</p>
<p><b>Βιομηχανική χρήση</b> (α) Νερό ψύξης (β) Τροφοδοσία του λέβητα (γ) Διεργασίες μεταποίησης (δ) Βαριές βιομηχανίες</p>	<p>(α) Συστατικά στα ανακτημένα υγρά απόβλητα που σχετίζονται με διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και ανάπτυξη διαφόρων εναποθέσεων (β) Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία, ειδικά όσον αφορά τυχόν μεταφορά μέσω του αέρα παθογόνων στο νερό ψύξης</p>
<p><b>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων</b> (α) Αναπλήρωση υπόγειων υδροφόρων (β) Έλεγχος της υπαλμύρωσης</p>	<p>(α) Οργανικές ενώσεις στα ανακτημένα υγρά απόβλητα και οι τοξικές επιδράσεις τους (β) Ολικά διαλυμένα στερεά, νιτρικά και παθογόνα στα ανακτημένα υγρά απόβλητα</p>
<p><b>Αναψυχή, περιβαλλοντικές εφαρμογές</b> (α) Φυσικές και τεχνητές λίμνες (β) Αναβάθμιση ελών (γ) Εξασφάλιση συνεχούς ροής ρυακιών (δ) Ιχθυοτροφεία (ε) Παραγωγή χιονιού</p>	<p>(α) Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία από παθογόνα (β) Ευτροφισμός λόγω Ν και Ρ σε επιφανειακά υδατικά σώματα (γ) Τοξικές επιδράσεις για την υδρόβια ζωή, υπολειμματικό Cl<sub>2</sub> ή (βαρέα μέταλλα)</p>
<p><b>Επαναχρησιμοποίηση για οικιακή χρήση</b> (α) Μετά από ανάμειξη και (β) κατευθείαν</p>	<p>(α) Διάφορες οργανικές ενώσεις και οι τοξικολογικές επιδράσεις τους (β) Αισθητική και κοινή αποδοχή (γ) Ανησυχία για την υγεία για μεταφορά παθογόνων και ιδιαίτερα ιών</p>

### **4.3. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων**

Φυσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων ονομάζονται αυτά που η επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνεται στο περιβάλλον με συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα με τη συμμετοχή των ακόλουθων παραγόντων:

- Απόβλητα
- Έδαφος
- Φυτά-Βλάστηση

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων στο έδαφος είναι οι εξής:

#### **4.3.1. Αρδευση**

Σε αυτή της τεχνική χρησιμοποιούνται τα θρεπτικά συστατικά των λυμάτων (φώσφορος, άζωτο) ως λίπασμα. Η μέθοδος λειτουργεί σαν τριτοβάθμια επεξεργασία, αλλά αυξάνει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων του νερού που κατεισδύει στον υδροφόρο ορίζοντα. Το έδαφος πρέπει να συνίσταται από ιλυούχο πηλό επαρκούς υδροπερατότητας με ελάχιστο πάχος ακόρεστης ζώνης 1,5 m.

Οι αζωτούχες ενώσεις απομακρύνονται από το ριζικό σύστημα των φυτών ή την απονίτρωση (εξαέρωση με τη μορφή αμμωνίας ή εξαέρωση με μορφή ελεύθερου αζώτου). Η αφομοιωτική ικανότητα των φυτών εξαρτάται από το είδος τους, περιορίζεται όμως σε μερικές εκατοντάδες *kg/εκτάριο/έτος*. Υπέρβαση της ικανότητας του εδάφους επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις σε πολλές καλλιέργειες.

Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων και στην απελευθέρωση πολύτιμων υδατικών πόρων για άλλες χρήσεις πέραν της άρδευσης.

#### **4.3.2. Συστήματα βραδείας εφαρμογής (SR)**

Τα συστήματα αυτά είναι γενικά τα πιο διαδεδομένα φυσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων. Τα προεπεξεργασμένα λύματα εφαρμόζονται απευθείας στο έδαφος και χρησιμοποιούνται εν μέρει από τα παρακείμενα φυτά για την κάλυψη των αναγκών εξατμισοδιαπνοής αλλά και για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, αφού πρώτα διηθηθούν από το έδαφος (Angelakis, 1989).

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής περιλαμβάνουν την επεξεργασία των αποβλήτων στο έδαφος με τη διήθηση. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε υδροπερατά εδάφη (άμμοι, αμμούχοι πηλοί), όπου τα απόβλητα διοχετεύονται σε μικρές λεκάνες (10×10 m), βάθους 20 – 50 cm, που διαχωρίζονται με χαμηλά αναχώματα και αφήνονται για αρκετές ημέρες για να γίνει η εξάτμιση και η διήθηση. Οποιαδήποτε επιφανειακή απορροή συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται στο σύστημα. Η διάθεση του υγρού αποβλήτου στο έδαφος μπορεί να γίνει και με καταιονισμό ή με τεχνικές επιφανειακών αρδεύσεων.



Η φυτοκάλυψη του εδάφους κατακρατά μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών και οργανικών υλικών. Βασικός περιορισμός για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ότι το πάχος της ακόρεστης ζώνης, στην οποία τα απόβλητα υφίστανται φυσικοχημική και βιολογική αναγέννηση πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 5 – 6 m (Paranychanakis et al., 2006).

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής που εγκαθίστανται σε υδροπερατούς αμμώδεις σχηματισμούς λειτουργούν πολλές φορές, ως τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων. Σε μερικές περιπτώσεις η διηθούμενη εκροή μπορεί να ανακτηθεί με τη βοήθεια στραγγιστικών αγωγών ή φρεατίων ανάκτησης (Tzanakakis et al., 2006).

Οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου, BOD και των μετάλλων στο ανακτημένο νερό είναι πολύ μικρές σε σχέση με αυτές των λυμάτων, αλλά περιέχει σε υψηλή συγκέντρωση οργανικό άνθρακα. Το άζωτο, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων δεν είναι δυνατό να απομακρυνθεί από τα φυτά, εκτός μόνο με απονίτρωση.

#### **4.3.3. Συστήματα επιφανειακής ροής (OF)**

Αυτού του τύπου τα συστήματα εφαρμόζονται σε σχετικά αδιαπέραστα και επικλινή εδάφη (2 – 8%). Ένα μέρος του επεξεργασμένου αποβλήτου χρησιμοποιείται από τα φυτά για τις ανάγκες εξατμισοδιαπνοής, ένα άλλο μέρος διηθείται προς τον υπόγειο υδροφόρα, ενώ ο κύριος όγκος του συλλέγεται ως επιφανειακή απορροή.

Κατά την πορεία του αποβλήτου από το σημείο εφαρμογής προς τη λεκάνη συλλογής συντελούνται μια σειρά φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που το απαλλάσσουν από σημαντικό μέρος τόσο των αιωρούμενων σωματιδίων όσο και οργανικού φορτίου, αζώτου, φωσφόρου καθώς και μικροβιακού φορτίου (Smith and Schroeder, 1985).

Ο χρόνος παραμονής καθορίζει και τον βαθμό απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου. Το συνηθισμένο μήκος διαδρομής για αστικά λύματα είναι περίπου 50 m (Καλλέργης, 2000).

#### **4.3.4. Φυσικοί ή τεχνητοί υγρότοποι**

Η φυτο-αποκατάσταση δηλαδή η μείωση της ρύπανσης μέσω της φύτευσης συγκεκριμένων φυτών βρίσκει τα τελευταία χρόνια πολλές εφαρμογές, κυρίως για την αποκατάσταση εδαφών που έχουν ρυπανθεί, καθώς και την επεξεργασία λυμάτων.

Μια διαδεδομένη μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν οι τεχνητοί υγρότοποι (wetlands) ή στρώμα καλαμιών (reed bed system).

Οι υγρότοποι είναι μικρού βάθους (μέχρι 60 cm) φυσικοί ή τεχνητοί, όπου υπάρχει πυκνή βλάστηση από υδρόβια φυτά. Βασίζεται στην ικανότητα που έχουν τα φυτά να προσλαμβάνουν και να αποθηκεύουν στους ιστούς τους διάφορα στοιχεία, καθώς επίσης και στη μικροβιακή πανίδα που αναπτύσσεται στο χώρο των ριζών και είναι υπεύθυνη για τη διάσπαση ανόργανων και την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών. Τα αιωρούμενα στερεά αποσυντίθενται στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι κύριοι τύποι τεχνητών συστημάτων υγροβιότοπων είναι (Αγγελάκης, 2005): α) οι ελεύθερης επιφάνειας νερού (Free Water Surface – F.W.S.) και β) οι υποεπιφανειακής ροής (Subsurface Water Flow – S.W.F.). Τα συστήματα SWF αποτελούνται από λεκάνες ή τάφρους με πορώδες υλικό (άμμος, χάλικες), εντός των οποίων αναπτύσσεται φυτική βλάστηση. Πλεονεκτούν δε στο ότι έχουν περιορισμένες οχλήσεις (οσμές, κουνούπια).

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή είναι η προεπεξεργασία των αποβλήτων και ο έλεγχος των κουνουπιών. Τα φυτά που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι (Αντωνόπουλος, 2001): βούρλα (*Scirpus*), κοινό καλάμι (*Phragmites communis*), νεροκάλαμο (*Phragmites australis*), ψαθί (*Typha*).

#### **4.3.5. Συστήματα ταχείας διήθησης (RI)**

Με τη διαδικασία της ταχείας διήθησης υγρών αποβλήτων στο έδαφος, η επεξεργασμένη εκροή είτε καταλήγει σε κάποιο υπόγειο υδροφορέα ή σε κάποια επιφανειακή πηγή. Με την ταχεία διήθηση το υγρό απόβλητο εφαρμόζεται σε εδάφη με μεγάλη περατότητα (αμμώδη μέχρι πηλοαμμώδη) και η εφαρμογή – διανομή του διενεργείται με τεχνητές επιφανειακές λεκάνες ή με τη χρήση εκτοξευτών. Η εφαρμογή του αποβλήτου γίνεται σε περιοδική βάση.

Κατά την διήθηση των επεξεργασμένων λυμάτων από το έδαφος επιτυγχάνεται η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, οργανικού φορτίου, αζώτου, φωσφόρου και μικροβιακού φορτίου. Ανάλογα με την επεξεργασία στην οποία υπόκεινται τα λύματα είναι δυνατό μετά την εφαρμογή ταχείας διήθησης να γίνει χρήση του υδροφορέα ακόμη και για άντληση πόσιμου ύδατος (Bouwer, 1996).

Οι επιδιωκόμενοι σκοποί με συστήματα ταχείας διήθησης είναι η συμπληρωματική επεξεργασία του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου και παράλληλα:

- Ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων.
- Η ανάκτηση νερού για άλλες χρήσεις.
- Η ενίσχυση επιφανειακών πηγών νερού.
- Η προσωρινή αποθήκευση νερού.

Για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, πρέπει τα επεξεργασμένα απόβλητα με κάποιο τρόπο να περάσουν από τα ανώτερα στρώματα του εδάφους, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί είτε με χρήση λεκανών διήθησης, είτε με γεωτρήσεις εισαγωγής, αν και η τελευταία μέθοδος έχει αυξημένο κόστος.

Γενικά, οι κυριότεροι μηχανισμοί και διεργασίες απομάκρυνσης διαφόρων ρυπαντών με συστήματα ταχείας διήθησης είναι η διήθηση, η προσρόφηση και η κατακρήμνιση. Με την ταχεία διήθηση επιτυγχάνεται υψηλού επιπέδου απομάκρυνση BOD και αιωρούμενων στερεών.

#### **4.4. Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων μέσω Εδάφους – Υδροφορέα (SAT Systems)**

Οι εγκαταστάσεις SAT ή αλλιώς τα «Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας (των υγρών αποβλήτων) μέσω εδάφους-υδροφορέα» (*Soil-Aquifer Treatment Systems*), κοινώς «SAT Systems» αποτελούν την σύνθεση των εννοιών του τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέων και της επεξεργασίας ή/και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για την αναβάθμιση της ποιότητας των νερών έως και σε πόσιμα επίπεδα. Θεωρούνται ως συστήματα ταχείας διήθησης και παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα τεχνικών για την επαναπλήρωση υπόγειων νερών χρησιμοποιώντας αστικά λύματα.

Η μέθοδος εφαρμόζεται ευρέως στις Η.Π.Α. (Καλιφόρνια, Αριζόνα, Φλόριντα) και στο Ισραήλ (Bouwer, 1985) ενώ παρά τις ενστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O.), τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται χρήση των αστικών λυμάτων για εμπλουτισμό των υπόγειων νερών (Καλλέργης, 1986).

##### **4.4.1. Το έδαφος ως μέσο επεξεργασίας**

Η επεξεργασία των λυμάτων στο έδαφος στηρίζεται στην ικανότητα της εδαφικής και ακόρεστης ζώνης να μειώνουν το ρυπαντικό φορτίο, μέχρι και πλήρους εξασθένησης. Για το λόγο αυτό τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ή τα υποβαθμισμένα ποιοτικά νερά διηθούνται στο έδαφος, καθαρίζονται κινούμενα προς την κορεσμένη ζώνη και αντλούνται ως αναγεννημένα νερά ή εκφορτίζονται από τον υδροφορέα.

Οι φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την εδαφική επεξεργασία των λυμάτων είναι η κίνηση των ρύπων και του νερού στο έδαφος, η συγκράτηση αιωρούμενων στερεών κ.λπ. Οι χημικές διαδικασίες σχετίζονται με φαινόμενα ιοντοανταλλαγής, προσρόφησης, κατακρήμνισης και αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Οι βιολογικές διεργασίες περιλαμβάνουν την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από τα φυτά και τις διάφορες μικροβιακές διασπάσεις.

Ο βαθμός καθαρισμού των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από τα εδαφικά χαρακτηριστικά, τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων, τη βλάστηση, τους κλιματικούς παράγοντες, καθώς και τον τρόπο διάθεσης των λυμάτων. Το έδαφος έχει την ικανότητα συγκράτησης των οργανικών ουσιών κατά τη διέλευσή τους από αυτό και τη βιολογική διάσπασή τους. Ο ρυθμός διάθεσης στο έδαφος δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη οργανική φόρτιση που μπορεί αυτό να δεχθεί. Υπέρβαση του ρυθμού αυτού δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες με συνέπεια τη συσσώρευση οργανικής ύλης στο έδαφος και την εμφάνιση οσμών και φράξιμο των πόρων (clogging).

Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης γίνεται, αφού πρώτα ληφθούν υπόψη τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων και η αφομοιωτική ικανότητα του εδάφους. Αυτό γίνεται με τον προσδιορισμό του περιοριστικού συστατικού του εδάφους (land limiting constituent). Η ανάλυση αυτή στηρίζεται στον προσδιορισμό του συστατικού εκείνου (οργανικές ουσίες, τοξικά μέταλλα, νιτρικά ιόντα κ.ά.), που απαιτεί τη μεγαλύτερη εδαφική έκταση.

#### 4.4.2. Περιγραφή της διαδικασίας

Τα Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας μέσω Εδάφους Υδροφορέα παρέχουν επεξεργασία των λυμάτων κατά τη διάρκεια της ροής τους μέσω της ακόρεστης ζώνης και του υδροφόρου ενώ το επεξεργασμένο νερό ανακτάται μέσω φρεατίων ανάκτησης. Τα SAT αποτελούν μία προηγμένη (πέραν της δευτεροβάθμιας) διαδικασία επεξεργασίας των λυμάτων. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής τρία βήματα:

- Επιφανειακή διήθηση
- Διήθηση μέσω της ακόρεστης ζώνης
- Αργή μεταφορά μέσω του υδροφόρου ορίζοντα

Στη μέθοδο SAT η διαλυμένη οργανική ύλη απομακρύνεται με συνδυασμό βιολογικών, χημικών και φυσικών διεργασιών οι οποίες λαμβάνουν χώρα κυρίως στην ακόρεστη ζώνη. Η ακόρεστη ζώνη αλλά και ο υδροφόρος ενεργούν, με αργούς ρυθμούς, ως φυσικά φίλτρα τα οποία μειώνουν επιτυχώς τις συγκεντρώσεις διαφόρων ρύπων μέσω φυσικών, χημικών και μικροβιολογικών διαδικασιών. Τα συγκρατούμενα στερεά φιλτράρονται και απομακρύνονται, οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις αποσυντίθενται, οι μικροοργανισμοί απορροφώνται, μειώνονται ή πεθαίνουν λόγω του ανταγωνισμού τους με άλλους μικροοργανισμούς στο έδαφος. Επίσης, οι συγκεντρώσεις αζώτου μειώνονται κατά την απονιτροποίηση, συνθετικές οργανικές ενώσεις προσροφώνται και/ή βιοδιασπώνται και τα φωσφορικά, το φθόριο και τα βαρέα μέταλλα ακινητοποιούνται, απορροφώνται ή καθιζάνουν.

Στην περίπτωση των SAT η διαδικασία επαναφόρτισης-ανάκτησης βασίζεται στον διαλείποντα πλημμυρισμό και ξήρανση επιφανειακών λεκανών για την παροχή οξυγόνου στο έδαφος, την ελεγχόμενη διέλευση του υγρού προς επεξεργασία στην ακόρεστη ζώνη και σε τμήμα του υδροφορέα και τέλος, στην επακόλουθη άντληση του ανακτηθέντος νερού με χρήση φρεατίων τα οποία βρίσκονται περιμετρικά της περιοχής επαναφόρτισης (Σχήμα 4.6.).

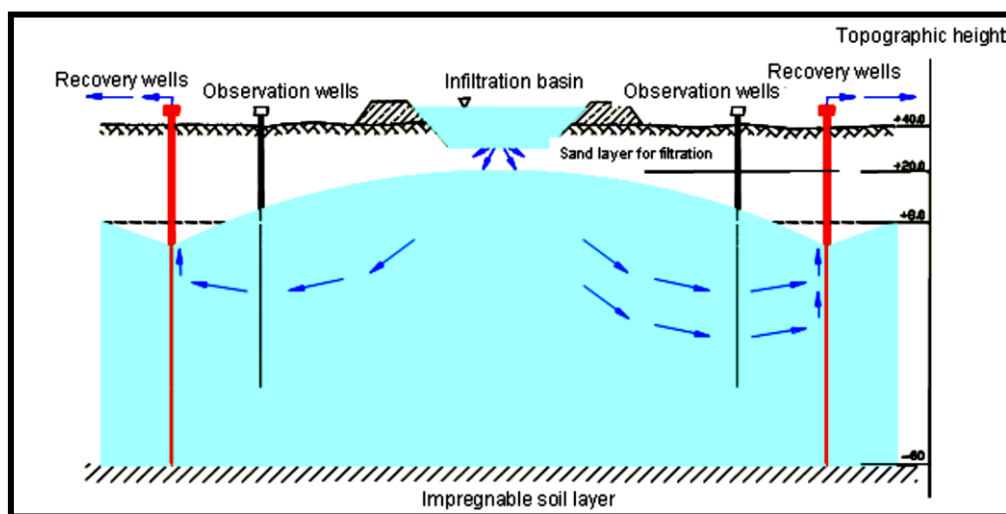


**Σχήμα 4.6.** : Οι περίοδοι ξήρανσης/ύγρυνσης λεκάνης SAT Dan Region, Ισραήλ (Idelovitch, 2003)

Η τεχνολογία SAT εκμεταλλεύεται το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα ως μέσα επεξεργασίας αλλά και ως μακροχρόνια ή εποχιακά μέσα αποθήκευσης (Bouwer & Rice, 1984). Τα SAT χρησιμοποιούνται επίσης και για την αποθήκευση νερού υψηλής ποιότητας με σκοπό την αναπλήρωση των αποθεμάτων νερού αλλά και για να εμποδιστεί η θαλάσσια διείσδυση. Σήμερα, το ανακτηθέν νερό από τα SAT χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α. για μη πόσιμες χρήσεις αλλά και στο Ισραήλ, όπου το νερό υπόκειται σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να φτάνει ακόμα και σε επίπεδα πόσιμου νερού και χρησιμοποιείται για άρδευση χωρίς περιορισμούς.

Για τη διαχείριση λυμάτων πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας από τα SAT, δημιουργείται μία ξεχωριστή ζώνη εντός της περιοχής του υδροφορέα, η οποία βρίσκεται κάτω από τις λεκάνες επαναφόρτισης και είναι υδρογεωλογικά διαχωρισμένη από τον υπόλοιπο υδροφορέα από τα φρέατα που περιβάλλουν τη ζώνη επαναφόρτισης. Αυτή η ζώνη επικεντρώνεται στην επεξεργασία και την εποχιακή αποθήκευση των λυμάτων.

Στον υδροφόρο ορίζοντα τα ανατροφοδοτούμενα λύματα παρακολουθούνται μέσω φρεατίων παρατήρησης τα οποία βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις και σε όλες τις διευθύνσεις από τις λεκάνες επαναφόρτισης (Σχήμα 4.7.). Λόγω της σημαντικής λειτουργίας για την βελτίωση της ποιότητας των νερών, αυτά τα συστήματα επαναφόρτισης-ανάκτησης αναφέρονται ως συστήματα SAT.



**Σχήμα 4.7. :** Διάγραμμα SAT – διακρίνονται τα φρέατα παρατήρησης και ανάκτησης (Bixio and Wintgens, 2006)

Τα SAT αποτελούν ένα αποτελεσματικό βήμα στην διαδικασία επεξεργασίας για την επαναχρησιμοποίηση των νερών. Από την άλλη πλευρά, η επιφάνεια εφαρμογής των SAT έχει τα συνήθη προβλήματα απόφραξης των εδαφικών πόρων, προβλήματα λόγω της διάλυσης μαγγανίου, ενώ, για έμμεση πόσιμη χρήση του ανακτηθέντος νερού, πρέπει να αντιμετωπιστεί η μη ικανοποιητική απομάκρυνση μικρορύπων. Όμως, είναι σημαντικό να τονιστεί πως τα συστήματα SAT δύνανται να παρέχουν πολύ υψηλή ποιότητα νερού για αρδευτικούς σκοπούς χωρίς περιορισμούς.

Για αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια, έχουν προταθεί και υβριδικοί τρόποι επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένων και εξελιγμένων μεθόδων προ επεξεργασίας όπως:

- Βελτίωση της ποιότητας των λυμάτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, πριν το SAT με υπερ-διήθηση (UF – Ultra Filtration), ταχεία διήθηση των προϊόντων της UF σε φρέαρ και ανάκτηση του νερού έπειτα από σύντομο SAT (15 – 20 m που διανύει το υγρό και περίπου 30 ημέρες χρόνος παραμονής) ώστε να προκύψει νερό για άρδευση χωρίς περιορισμούς. RECLAIM WATER project (Gaus et al, 2007, Cikurel & Aharoni, 2011).
- Επιφανειακή διείσδυση χρησιμοποιώντας λύματα τριτοβάθμιας επεξεργασίας (λύματα δευτερογενούς επεξεργασίας φιλτραρισμένα μέσω άμμου) σε σύντομο SAT (15 – 20 m που διανύει το υγρό και περίπου 30 ημέρες χρόνος παραμονής) ως προεπεξεργασία ώστε μέσω νανο-διήθησης (NF – Nano Filtration) να βελτιωθεί η ποιότητα των λυμάτων του SAT για έμμεση χρήση ως πόσιμο νερό. EU SWITCH project (Cikurel et al., 2010).
- Κροκίδωση – αερισμός – διήθηση και AOP (ozone-hydrogen peroxide) προεπεξεργασία πριν τη διείσδυση μέσω φρεατίων και έπειτα σύντομο SAT για την υποβάθμιση και απομάκρυνση μικρορύπων καθώς και για την αποτροπή της διαλυτοποίησης μαγγανίου. Pre-ozonation – SAT project (Maman et. al, 2010).

Τα προκαταρκτικά επεξεργασμένα λύματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας φιλτράρονται μέσω φρεατίων (με διαλείπουσα ή συνεχή διήθηση) σε υψηλές ταχύτητες και το νερό αντλείται μετά από μικρότερο χρονικό διάστημα παραμονής στον υδροφόρο από το σύνηθες (1 ή 2 μήνες αντί 6 ή 12 μηνών). Με αυτό το σύστημα SAT ανακτάται νερό πολύ καλής μικροβιακής ποιότητας, με χαμηλό DOC, μικρή συγκέντρωση σε θρεπτικά και με χαμηλή συγκέντρωση μικρορύπων, αξιοποιώντας μικρότερη επιφάνεια διήθησης και σχετικά μικρότερους χρόνους παραμονής χάρη στις μεθόδους προ- και μετέπειτα επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται (Aharoni et. al., 2007).

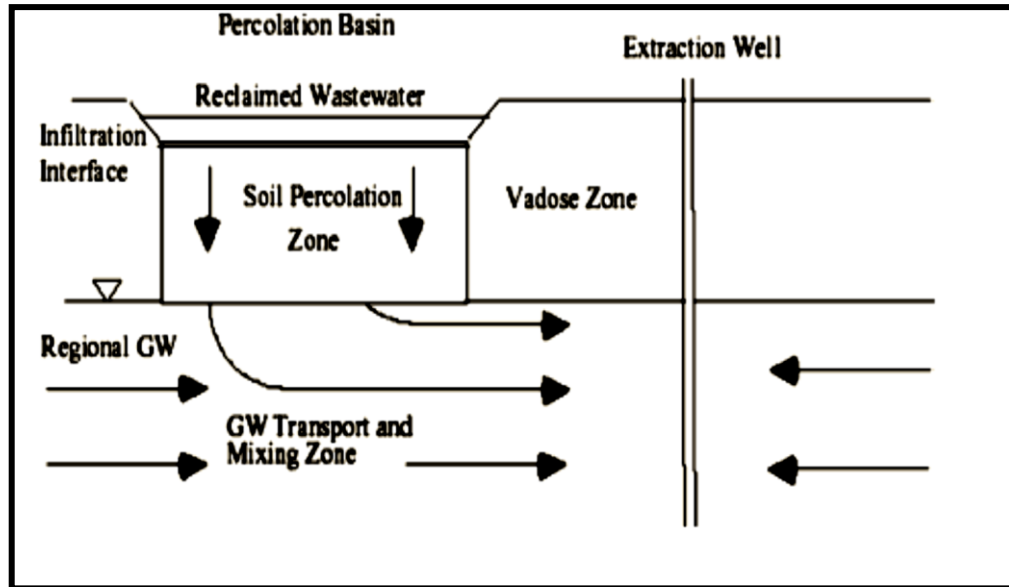
Για τη μέθοδο τεχνητού εμπλουτισμού με φρέατα αλλά και για τη μέθοδο SAT η εμπειρία έχει δείξει πως εντός των περιορισμών που παρουσιάζουν οι τοξικολογικές εξετάσεις (οι επιπτώσεις των μικρορύπων ερευνώνται το πρόσφατο διάστημα), το ανακτηθέν νερό δεν συνιστά μεγαλύτερο κίνδυνο για την υγεία από τα ήδη αποδεκτά αποθέματα νερού (Bouwer, 1999).

Η μέθοδος SAT έχει εφαρμοστεί για περαιτέρω επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας τα οποία προέρχονται από κέντρα επεξεργασίας λυμάτων (Wilson et al., 1995, Nema et al., 2001, Fox et al., 2001, Crites et al., 2006, Sharma et. al, 2010).

Άλλες υβριδικές μέθοδοι επεξεργασίας οι οποίες ερευνώνται πειραματικά είναι:

- SAT προεπεξεργασία και μετέπειτα νανο-διήθηση (NF) για τη ποιοτική βελτίωση του νερού (Fernando et. al, 2009).
- Τα αποτελέσματα της SAT προεπεξεργασίας στα λύματα με την απόδοση μικρο-διήθησης, υπερ-διήθησης και νανο-διήθησης (MF/UF/NF) (Sharma et. al, 2009).

Μετά την περαιτέρω επεξεργασία της εκροής κατά την κατείδυση μέσω της ακόρεστης ζώνης, το νερό εμπλουτισμού διηθείται προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτή η κίνηση μέσα στον υδροφόρα (κορεσμένη ζώνη) μπορεί να προκαλέσει τον περαιτέρω καθαρισμό (απομάκρυνση των μικροοργανισμών, καθίζηση των φωσφορικών, απορρόφηση συνθετικών οργανικών ουσιών κ.λπ.) του νερού εμπλουτισμού. Τα SAT είναι στην ουσία, μία προηγμένη μέθοδος προεπεξεργασίας ταυτόχρονα όμως χαμηλής τεχνολογίας.



**Σχήμα 4.8.** : Σχηματική απεικόνιση συστήματος φυσικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μέσω εδάφους-υδροφόρα (Amy & Drewes, 2006)

Επίσης το νερό που ανακτάται έχει σαφές αισθητικό πλεονέκτημα έναντι των συμβατικά επεξεργασμένων λυμάτων, καθώς όχι μόνο είναι άοσμο και άχρωμο, αλλά επιπλέον μπορεί να προέλθει από γεώτρηση ή από φυσική πηγή αντί κέντρων επεξεργασίας λυμάτων. Έτσι, το ανακτηθέν νερό έχει πάψει πια να χαρακτηρίζεται ως λύμα και το κοινό το αντιμετωπίζει ως προερχόμενο από το έδαφος και όχι ως απόβλητο.

Τα συστήματα SAT είναι φυσικά, φθηνά, εύκολα στη χρήση και αξιόπιστα επιτρέποντας την εποχιακή αποθήκευση του νερού σε περιόδους χαμηλής ζήτησης για τη χρησιμοποίησή του σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Τα SAT έχουν μια εξαιρετική ικανότητα να απομακρύνουν από τα επεξεργασμένα νερά ένα ευρύ φάσμα ρύπων με μία ποικιλία διεργασιών. Το σύστημα εδάφους - υδροφόρου θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένας τεράστιος αντιδραστήρας όπου συμβαίνουν βιολογικές και φυσικοχημικές διαδικασίες. Οι βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε συνδυασμό μεταξύ τους.

Κατά συνέπεια, η ικανότητα καθαρισμού δεν επηρεάζεται με τον χρόνο. Με τη σωστή λειτουργία και συντήρηση αλλά και επαρκή παρακολούθηση, τα συστήματα SAT θεωρούνται ως μια ελκυστική και αξιόπιστη μέθοδος για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων σε περιοχές όπου υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες για την επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων μέσω λεκανών εμπλουτισμού (Idelovitch et. al, 2003).

#### 4.4.3. Τα συστήματα SAT ως μέσα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υδάτων

Τα συστήματα φυσικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μέσω εδάφους-υδροφορέα παρέχουν καθαρισμό των λυμάτων κατά τη ροή τους μέσω των ακόρεστων εδαφών και του υδροφορέα ενώ το μη ρυπασμένο νερό ανακτάται μέσω φρεατίων. Λόγω αυτής της αργής επεξεργασίας μέσω τους εδάφους το οποίο λειτουργεί ως βιοφίλτρο, τα ανώτερα στρώματα (1 – 2 m) της ακόρεστης ζώνης μπορούν να αποτελέσουν ένα αποτελεσματικό και χαμηλής ενέργειας βήμα στην τεχνολογία SAT ώστε να ληφθεί νερό κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση.

Τα βακτήρια και οι ιοί αδρανοποιούνται ως αποτέλεσμα του χρόνου κατακράτησης του υγρού και της θερμοκρασίας του εδάφους. Τα βακτήρια και οι παρασιτικοί οργανισμοί απομακρύνονται μέσω διήθησης μαζί με τη συμβολή άλλων μηχανισμών. Οι ιοί μπορούν, ενδεχομένως, να επιβιώσουν έξι μήνες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ένας εκ των λόγων που τα λύματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας απαιτούν μεγάλους χρόνους παραμονής στα συστήματα SAT, είναι ότι είναι αναγκαία η παραμονή τους τουλάχιστον για έξι μήνες στον υδροφορέα για την ολική απομάκρυνση των ιών (Fox, 2010). Εάν όμως εφαρμοσθεί η κατάλληλη προεπεξεργασία (απολύμανση ή μεμβρανική κατεργασία) τότε ενδέχεται να απαιτούνται μικρότεροι χρόνοι παραμονής. Η μετατροπή του DOC εξαρτάται από το χαρακτηρισμό της οργανικής ύλης των εκροών. Εάν τα χουμικά οξέα έχουν υψηλή συγκέντρωση (κυρίως στην Ευρώπη) το DOC μπορεί να απομακρυνθεί έως και το 50% ανάλογα με το χρόνο που διανύουν τα υγρά (κατακράτηση του εδάφους), όμως σε περιοχές όπου υπάρχει έρημος (π.χ. Ισραήλ) όπου τα λύματα δε περιέχουν πολλά χουμικά οξέα, η απομάκρυνση του DOC μπορεί να φτάσει και το 80 – 85% για χρόνο όπου θα διανύσουν τα υγρά 30 ημερών.

Δεδομένου ότι η κύρια δραστηριότητα συμβαίνει στα πρώτα μέτρα του εδάφους έπειτα από τη διήθηση των υγρών σε μια λεκάνη διήθησης, το οξυγόνο εξαντλείται με ταχύ ρυθμό δημιουργώντας ανοξικές συνθήκες. Οι υγροί/ξηροί κύκλοι συμβάλλουν στην βελτίωση των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Κατά τη διάρκεια του υγρού κύκλου το οξυγόνο εξαντλείται καθώς καταναλώνεται από τις οργανικές ενώσεις ενώ κατά τη διάρκεια του ξηρού κύκλου το οξυγόνο εισέρχεται στο έδαφος καθώς το υγρό μέτωπο κατεισδύει προς το υπόγειο νερό. Σε αυτό το διάστημα η αμμωνία καταναλώνει οξυγόνο και παράγονται νιτρικά. Αυτό σημαίνει επίσης ότι το φιλτραρισμένο νερό, η οργανική ύλη και η περιεχόμενη αμμωνία επιδρούν έντονα στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής γεγονός το οποίο απαιτεί προσαρμογή των κύκλων ύγρανσης/ξήρανσης για την εισαγωγή περισσότερου οξυγόνου.

Τα λύματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας χωρίς νιτροποίηση περιέχουν  $BOD < 20 \text{ mg/L}$  αλλά τα αζωτούχα περιέχουν  $BOD > 80 \text{ mg/L}$  (Fox, 2010). Από την άλλη πλευρά, τα λύματα που έχουν υποστεί νιτροποίηση επίσης περιέχουν  $BOD < 20 \text{ mg/L}$  αλλά τα αζωτούχα περιέχουν  $BOD$  περίπου  $5 \text{ mg/L}$  και τα νιτροποιημένα-απονιτροποιημένα λύματα περιέχουν  $BOD < 10 \text{ mg/L}$  και τα νιτρογενή  $BOD$  περίπου  $2 - 3 \text{ mg/L}$ . Έτσι, η προεπεξεργασία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες. Αν και μια τροποποίηση στο κύκλο ύγρανσης/ξήρανσης, ώστε να αντισταθμιστεί το οξυγόνο που χάνεται είναι δυνατή, ένας τέτοιος συλλογισμός είναι περισσότερο θεωρητικός.



Επειδή, ανάλογα με το βαθμό απόφραξης των πόρων του εδάφους από τη μία πλευρά, και από την αύξηση της ποσότητας των λυμάτων που καλείται να διαχειριστεί ένα σύστημα SAT (π.χ. λόγω αύξησης πληθυσμού) από την άλλη, ο κύκλος ύγρυνσης/ξήρανσης μπορεί μόνο να μειωθεί και όχι να επεκταθεί. Αυτό προκαλεί ανοξικές συνθήκες οι οποίες προκαλούν περαιτέρω διάλυση  $Mn^{+}$  (Cikurel & Aharoni, 2011). Έτσι, πέραν του κύκλου ύγρυνσης/ξήρανσης, είναι απαραίτητο να παρέχεται οξυγόνο από εξωτερική πηγή. Αυτό μπορεί να γίνει εφαρμόζοντας διαφορετικές μεθόδους οξειδωσης (εισαγωγή αέρα ή υπεροξειδίου υδρογόνου – εισαγωγή όζοντος στα λύματα) και προεπεξεργασία για τη μείωση του DOC και των συγκεντρώσεων αζώτου.

Το κύριο πρόβλημα με τη μέθοδο φρεάτων στην ακόρεστη ζώνη και τη μέθοδο γεωτρήσεων αποθήκευσης άντλησης είναι η απόφραξη των πόρων του εδάφους κυρίως λόγω της παρουσίας οργανικής ύλης γύρω από τα φρέατα (ειδικά για τα φρέατα στη ακόρεστη ζώνη) η οποία δε μπορεί να απομακρυνθεί ή να αποκατασταθεί το έδαφος αφού παρέλθει η απόφραξη. Κάποιες φορές ακόμα και η χημική ή η μηχανική αποκατάσταση του εδάφους δεν είναι αρκετή.

Από την άλλη πλευρά, τα επιφανειακά συστήματα SAT έχουν το πρόβλημα της απόφραξης των πόρων το οποίο εντοπίζεται στην επιφάνεια. Η οργανική ύλη από τα εισαχθέντα λύματα εύκολα μεταβάλλει τις αρχικές ιδιότητες του πυθμένα της λεκάνης λόγω της υδροφοβίας που αναπτύσσεται (Arye et al, 2010). Αυτό το φαινόμενο μπορεί να βελτιωθεί αλλάζοντας το κύκλος ύγρυνσης/ξήρανσης (Nadav et al, 2010) ή μπορεί να ληφθεί μέριμνα με μηχανικούς τρόπους θεραπείας του εδάφους (Σχήμα 4.9.) (Paricio & Carrera, 1998).

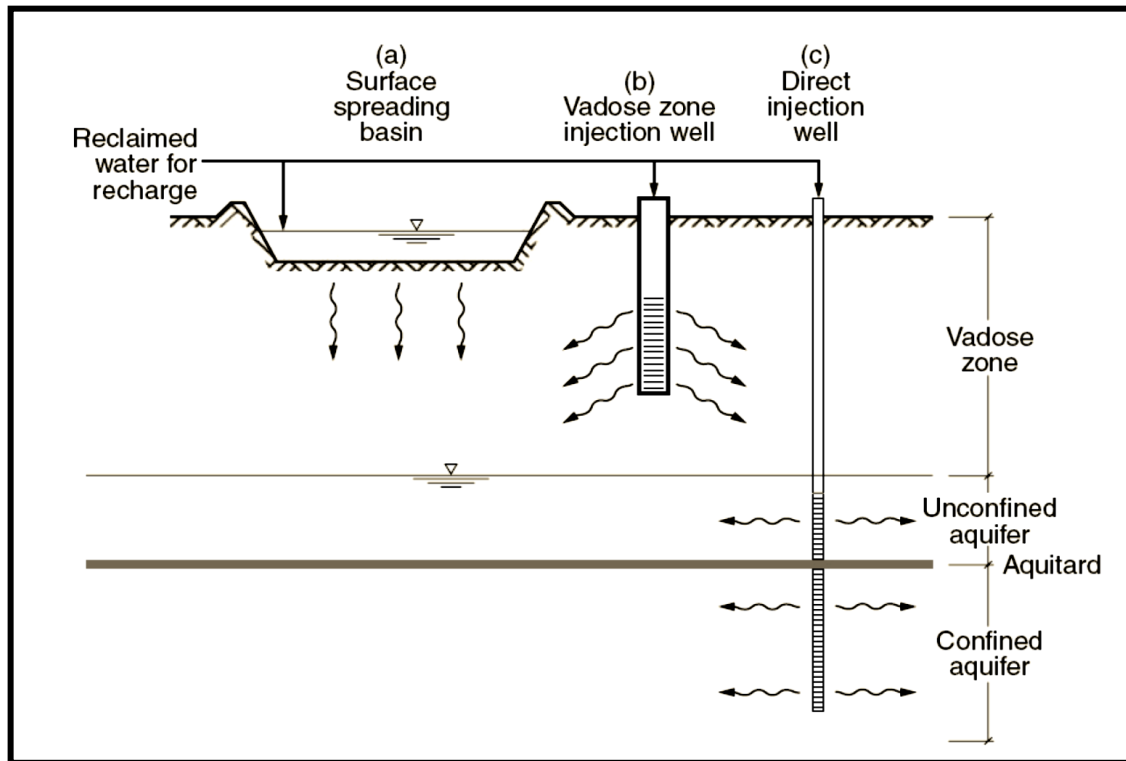


**Σχήμα 4.9.** : Καθαρισμός λεκάνης εμπλουτισμού (SAT) με μηχανικά μέσα (Cikurel & Aharoni, Aquarec, 2005)

Καθώς το νερό ρέει μέσω της ακόρεστης ζώνης στον υδροφόρο ορίζοντα και ιδιαίτερα μέσω των συστημάτων SAT απαιτείται μικρότερος βαθμός προεπεξεργασίας στα διηθέντα λύματα χάρη στις βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων της οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς και της απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών (Bouwer, 1996). Έτσι τα συστήματα επιφανειακής διήθησης μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη ποιότητα νερού που λαμβάνεται.

#### 4.4.4. Τύποι συστημάτων SAT

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υδροφορέων με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους (Bouwer, 1996):



**Σχήμα 4.10.** : Τύποι συστημάτων SAT a) Με λεκάνες διήθησης b) Με φρέατα στην ακόρεστη ζώνη c) Με απευθείας εισπίεση σε Φρέατα (U.S. E.P.A., 2004)

- **Με λεκάνες διήθησης (Infiltration Basins):**

Η διήθηση μέσω λεκανών αναφέρεται στον επιφανειακό πλημμυρισμό λεκανών. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε αμμώδη εδάφη τα οποία δεν περιέχουν στρώματα αργίλου ή άλλων αδιαπέρατων σχηματισμών που μπορεί να περιορίσουν τη καθοδική κίνηση του νερού.

- **Με φρέατα στην ακόρεστη ζώνη (Vadose Zone Wells):**

Τα φρέατα στην ακόρεστη ζώνη χρησιμοποιούνται όταν η επιφανειακή διήθηση καθίσταται δύσκολη λόγω των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών του εδάφους ενδιαφέροντος και όπου υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα σε έκταση γης λόγω υψηλού κόστους.

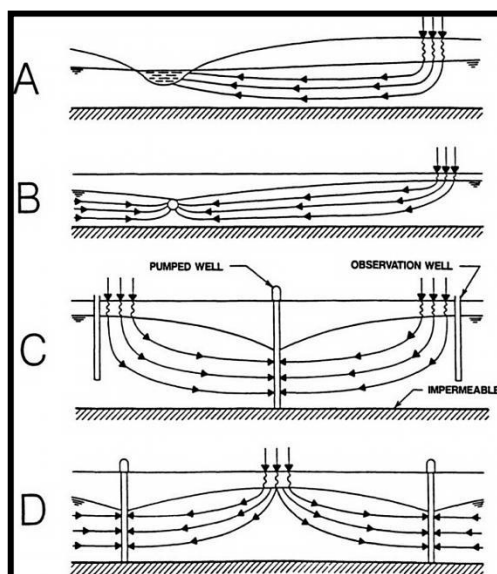
- **Με απευθείας εισπίεση σε φρέατα (Direct Injection Wells):**

Η απευθείας εισπίεση στον υδροφορέα μέσω φρεάτων προτιμάται στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα διαπερατά εδάφη στην επιφάνεια, δεν υπάρχουν διαπερατά στρώματα στην ακόρεστη ζώνη και/ή όπου οι υδροφορείς είναι περιορισμένοι.

## Λεκάνες διήθησης

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τις υδατικές απορροές καθώς και για επεξεργασμένα λύματα τα οποία, ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που έχουν υποστεί, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν είτε για χρήση ως πόσιμο νερό είτε για γεωργική άρδευση. Όταν οι συνθήκες των ανώτερων στρωμάτων του εδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα είναι ευνοϊκές για τεχνητό εμπλουτισμό των υπογείων υδάτων μέσω λεκανών, μπορεί να επιτευχθεί υψηλός βαθμός ποιοτικής αναβάθμισης επιτρέποντας στα επεξεργασμένα λύματα να διεισδύσουν στο έδαφος και να κινηθούν προς τα υπόγεια νερά.

Η ακόρεστη ζώνη δρα τότε ως φυσικό φίλτρο και δύναται μάλιστα να αφαιρέσει ουσιαστικά όλα τα αιωρούμενα στερεά, τα βιοαποικοδομήσιμα υλικά, τα βακτήρια, τους ιούς και άλλους μικροοργανισμούς. Μπορούν να επιτευχθούν επίσης και σημαντικές μειώσεις στις συγκεντρώσεις φωσφόρου και βαρέων μετάλλων (Bouwer & Rice, 1984).



**Σχήμα 4.11.** : Απεικόνιση συστημάτων SAT (Bouwer 1987 επανασχεδίαση)

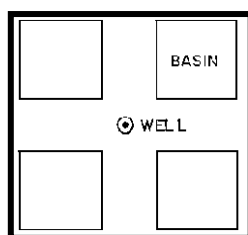
**Μέθοδος A:** Ο απλούστερος και παλαιότερος τρόπος διήθησης είναι με αναχώματα όπου τα λύματα συγκεντρώνονται σε λεκάνες διήθησης δημιουργημένες σε ράχες ψαμμίτη όπου τα νερά κινούνται καθοδικά προς το ρηχό υδροφόρο και ρέουν σε χαμηλότερο επίπεδο το οποίο μπορεί να είναι ένα ρέμα ή λίμνη. Τέτοια συστήματα SAT χρησιμοποιούνται επίσης και για τη μείωση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων. Αντί τα λύματα να απορρίπτονται απ ευθείας σε ρέματα ή λίμνες, συγκεντρώνονται σε λεκάνες σε υψηλότερο υψόμετρο ώστε να γίνεται η επεξεργασία τους μέσω τους εδάφους/υδροφορέα πριν να εισαχθούν σε ένα ρέμα ή λίμνη.

**Μέθοδος B:** Επιπρόσθετα, είναι δυνατόν τα λύματα μιας μονάδας επεξεργασίας να συγκεντρώνονται, μετά από SAT, από υπόγεια γεωργικού τύπου φρέατα. Τέτοια συστήματα έχουν το πλεονέκτημα ότι η επεξεργασία μέσω SAT επιτυγχάνεται χωρίς άντληση νερού.

**Μέθοδος C:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει δύο παράλληλα φρέατα και στη μέση των οποίων εγκαθίσταται συστοιχία γεωτρήσεων ανάκτησης που δημιουργούν μια υδραυλική ταπείνωση η οποία αναγκάζει το διηθούμενο επεξεργασμένο νερό να ρέει προς τις γεωτρήσεις ανάκτησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε οι γεωτρήσεις να αντλούν μόνο το ανακτημένο νερό και όχι τα υπόγεια νερά του υδροφόρου εκτός του συστήματος SAT.

**Μέθοδος D:** Στην τέταρτη μέθοδο οι λεκάνες διήθησης βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ως ένα σύμπλεγμα λεκανών και οι γεωτρήσεις τοποθετούνται περιμετρικά του συμπλέγματος. Αυτή η μέθοδος είναι δυνατό να προσφέρει μίγμα του ανακτηθέντος και του υπογείου νερού (Shafdan, Israel). Σε αυτή τη μέθοδο μπορεί το ανακτημένο νερό να διαρρεύσει σε γειτονικούς υδροφόρους. Για αυτό το λόγο η περιοχή του συστήματος ανάκτησης περιορίζεται από περιφερειακές γεωτρήσεις ανάκτησης (Shafdan, Israel).

Οι μέθοδοι C και D μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εποχιακή αποθήκευση λυμάτων επιτρέποντας την άνοδο της στάθμης των υπογείων υδάτων σε περιόδους χαμηλής ζήτησης αρδευτικού νερού (χειμώνας), αλλά και για την άντληση νερού σε περιόδους υψηλής ζήτησης νερού άρδευσης (καλοκαίρι) (Bouwer, 1987). Ο τύπος SAT C θα μπορούσε να είναι κατάλληλος για μικρά συστήματα όπου υπάρχουν λίγες λεκάνες γύρω από μία κεντρικά τοποθετημένη γεώτρηση.



**Σχήμα 4.12. :** Απεικόνιση τεσσάρων μικρών λεκανών γύρω από τη κεντρική γεώτρηση για την άντληση επεξεργασμένων νερών από τον υδροφόρο (Bouwer, 1987)

### **Φρέατα στην ακόρεστη ζώνη**

Το τελευταίο χρονικό διάστημα, παρουσιάζεται μεγάλο ενδιαφέρον για χρήση ξηρών φρεατίων μεγαλύτερης διαμέτρου ή φρεατίων στην ακόρεστη ζώνη για την επαναφόρτιση μη περιορισμένων υδροφορέων. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για έμμεση επαναχρησιμοποίηση πόσιμου νερού. Το κύριο πρόβλημα με τα φρέατα στην ακόρεστη ζώνη ή στον υδροφορέα είναι το φαινόμενο απόφραξης των πόρων του εδάφους γύρω από το φρέαρ. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τα φρέατα στην ακόρεστη ζώνη καθώς η αποσυμφόρησή τους καθίσταται εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί με χημικούς ή μηχανικούς τρόπους.

Σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη γη είναι περιορισμένη, έχει υψηλό κόστος ή βρίσκεται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, συμφέρει η προεπεξεργασία των λυμάτων έως ένα υψηλό βαθμό καθαρισμού (με UF ή MF συστήματα) και στη συνέχεια η διήθηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη αν αυτή είναι σε σχετικά μεγάλο βάθος (15 – 30 m).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κύρια διαδικασία απομάκρυνσης της οργανικής ύλης, των νιτρικών και των φωσφορικών λαμβάνει χώρα σε βάθος (1 – 2 m). Έτσι, εάν τα λύματα με καλό επίπεδο καθαρισμού έχουν ικανοποιητικό αερισμό πριν τη διήθηση και φιλτραριστούν στην ακόρεστη ζώνη, υπάρχει αρκετή βιολογική δραστηριότητα για τη μείωση του οργανικού φορτίου χωρίς να δημιουργηθούν ανοξικές συνθήκες.

Τα φρέατα ακόρεστης ζώνης είναι γεωτρήσεις ή πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη βάθους 10 – 15 m συνήθως ανάλογα με το βάθος της ακόρεστης ζώνης και έχουν διάμετρο 1 – 2 m. Χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διαχείριση νερών προερχόμενων από καταιγίδες σε περιοχές με σχετικά μικρό ποσοστό βροχοπτώσεων όπου δεν διαθέτουν υπονόμους για τις περιπτώσεις έντονων βροχών (Bouwer, 1996). Αυτά τα φρέατα είναι παρόμοια με τα φρέατα που χρησιμοποιούνται για την αναπλήρωση νερού στους υδροφόρους.

Για να αποτραπεί το φαινόμενο της απόφραξης (clogging) πρέπει να προηγηθεί καλή προεπεξεργασία των λυμάτων (π.χ. υπερ-διήθηση, UF, ή κροκίδωση – διήθηση μέσω άμμου ακολουθούμενη από προχωρημένη οξειδωση).

### **Απευθείας εισπίεση σε φρέατα**

Η απευθείας εισπίεση σε φρέατα αναφέρεται στην άμεση τροφοδότηση επεξεργασμένου ή ανακτημένου νερού σε μεγάλο βάθος, στον υδροφόρο ορίζοντα. Αν το νερό χρησιμοποιηθεί για πόσιμες χρήσεις, το επεξεργασμένο νερό είναι απαραίτητο να δεχθεί περαιτέρω επεξεργασία πριν την εισαγωγή του στον υδροφόρο. Η απευθείας εισπίεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμες ή μη πόσιμες χρήσεις του νερού. Στη περίπτωση των Συστημάτων Φυσικής Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων μέσω Εδάφους-Υδροφορέα αυτή η μέθοδος βρίσκει εφαρμογές σε μη πόσιμες χρήσεις αν και η ποιότητα του ανακτηθέντος νερού μπορεί να φτάσει και ποιοτικά επίπεδα πόσιμου νερού.

Η άμεση φόρτιση εφαρμόζεται κυρίως σε ξηρές περιοχές όπου οι γεωλογικές και οι υδρολογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν επιφανειακή διήθηση ή ανάπτυξη φρεάτων στην ακόρεστη ζώνη (μη-πορώδες ή ημι-πορώδες έδαφος, ρηχή ακόρεστη ζώνη).

Για *άμεση επαναχρησιμοποίηση νερών για πόσιμους σκοπούς* τα υγρά απόβλητα ή αστικά λύματα από τα κέντρα επεξεργασίας αποστέλλονται απευθείας για είσοδο σε κέντρο επεξεργασίας και διανομής πόσιμου νερού. Αν και αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τις πιο προηγμένες τεχνολογικά μεθόδους επεξεργασίας νερού (UF-RO-AOP) και το νερό το οποίο εισέρχεται στο σύστημα διανομής πρέπει να πληροί συγκεκριμένα πρότυπα, αντιμετωπίζεται με δυσπιστία και σκεπτικισμό από τους καταναλωτές. Επί του παρόντος, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η έλλειψη νερού αγγίζει κρίσιμα επίπεδα, όπως σε περιπτώσεις που ανακλύπουν σε ξηρές περιοχές.

Για *έμμεση επαναχρησιμοποίηση νερών για πόσιμους σκοπούς* το επεξεργασμένο νερό από τα κέντρα επεξεργασίας προστίθεται στα υπάρχοντα αποθέματα νερού. Αυτό γίνεται συνήθως μέσω της ροής ενός υπάρχοντος καναλιού ή ποταμού ή μέσω της απευθείας εισπίεσης στον υδροφόρο. Έτσι, το καλά επεξεργασμένο νερό διαλύεται επιτυχώς.

Πολλές κοινωνίες χρησιμοποιούν ακούσια αυτή τη μέθοδο διότι ο υπεδαφικός πάροχος νερού τους βρίσκεται κάτω από τις τοποθεσίες όπου γίνεται η απόρριψη των επεξεργασμένων λυμάτων από τα κέντρα επεξεργασίας.

Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χαρακτηριστεί και ως *επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς* καθώς οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται στη κάθε μια είναι οι ίδιες. Η άμεση επαναχρησιμοποίηση νερών για πόσιμους σκοπούς μπορεί να περιλαμβάνει τις πιο προηγμένες τεχνολογίες (φιλτράρισμα με μεμβράνες) και συνήθως χρησιμοποιεί επιπλέον σωλήνες (πλησίον των σωλήνων για τη μεταφορά πόσιμου νερού) οι οποίοι μεταφέρουν επεξεργασμένο νερό σε μεγάλες περιοχές άρδευσης, όπως δημόσιοι κήποι, γήπεδα γκολφ και βιομηχανικά πάρκα (Asano, 2007).

#### **4.4.5. Βαθμός διείσδυσης στα SAT**

Ο χρόνος κατακράτησης στο βιολογικό φίλτρο (το οποίο βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ζώνης διηθήσεως) έχει σημαντική επίδραση στη τελική ποιότητα του νερού, Εκτός αυτού, οι ποσότητες του νερού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναφόρτιση μιας λεκάνης εξαρτώνται κυρίως από το γεωλογικό προφίλ (απουσία αδιαπέραστων στρωμάτων στην ακόρεστη ζώνη) και του βαθμού διείσδυσης.

Για κάποια ποιότητα των λυμάτων και βάθος της ακόρεστης ζώνης, οι μικρότεροι βαθμοί διείσδυσης επιτρέπουν μεγαλύτερο χρόνο κατακράτησης για βιο-επεξεργασία, ενώ ο μεγάλος βαθμός εφαρμογής διαφόρων βαθμών επεξεργασμένων λυμάτων επιτρέπει μεγαλύτερες περιόδους ανάπαυσης (μία μέρα για τη πλήρωση των λεκανών, 2 – 4 μέρες διακοπή) αφήνοντας έτσι να κατεισδύσει περισσότερο οξυγόνο στη ακόρεστη ζώνη. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η βιολογική δραστηριότητα και αφαιρείται μεγαλύτερο ποσοστό βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ύλης ενώ μειώνονται οι αναερόβιες συνθήκες στον υδροφόρο ορίζοντα και αποτρέπεται η διάλυση μαγγανίου.

Μελέτες δείχνουν ότι κατά τη διάρκεια της επιφανειακής κατείσδυσης, οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις βιο-πολυμερών στα λύματα δευτερογενούς επεξεργασίας μπορούν να απομακρυνθούν με επιτυχία μέσω βιο-διήθησης στα ανώτερα στρώματα του εδάφους (Sperlich et al., 2008). Ωστόσο, απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις διήθησης αφού οι διαδικασίες φυσικού βιο-φιλτραρίσματος όπως αργά φίλτρα άμμου αλλά και κάποια συστήματα SAT συνήθως λειτουργούν σε χαμηλούς ρυθμούς διήθησης (<0,05  $m/h$  ή <1,2  $m/d$ ). Για τη μείωση της απαιτούμενης έκτασης, τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερους βαθμούς διήθησης (0,1 – 0,5  $m/hr$  ή 2,4 – 12  $m/d$ ). Η πιλοτική μελέτη που πραγματοποιήθηκε κατά το πρόγραμμα EU SWITCH έδειξε ότι με ρυθμούς διήθησης 4 – 6  $m/d$  τα ανώτερα στρώματα μπορούσαν να απομακρύνουν τα βιο-πολυμερή αποτελεσματικά (Cikurel et al., 2010). Όμως, μεγαλύτεροι ρυθμοί διήθησης παρόμοιοι με τα ταχέα φίλτρα άμμου (ρυθμός >5  $m/h$ ) δεν απομακρύνουν το DOC ή τα βιο-πολυμερή εξαιτίας των μικρών χρόνων κατακράτησης (Zheng et. al, 2009).

Διάφορες ποιότητες λυμάτων (πρωτογενούς επεξεργασίας, δευτερογενούς επεξεργασίας, τριτογενούς επεξεργασίας ή UF-RO επεξεργασμένα λύματα) μπορούν να φιλτραριστούν σε διάφορες ταχύτητες ανάλογα και με τι τύπο SAT.

Από διάφορους τύπους SAT στις Η.Π.Α. και στο Ισραήλ φαίνεται ότι για την επιφανειακή διήθηση οι ρυθμοί διήθησης είναι 1 – 3 m/d, για διήθηση στην ακόρεστη ζώνη, ενώ για καλά επεξεργασμένο νερό μπορούν να φτάσουν τα 10 – 12 m/d. Για απευθείας εισπίεση σε φρέατα, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, οι ρυθμοί μπορούν να φτάσουν ακόμα μεγαλύτερα ποσά.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τους ρυθμούς διήθησης είναι (Fernando, 2009):

- Τύπος του εδάφους και περατότητα
- Εδαφικό υλικό που αποφράσει τους πόρους (το είδος των λυμάτων που εφαρμόζεται)
- Βάθος λεκάνης
- Διάρκεια των περιόδων ύγρυνσης/ξήρανσης

### **Τύπος του εδάφους**

Ο τύπος του εδάφους μπορεί να επηρεάσει το ρυθμό διήθησης. Δεδομένου ότι η υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα μπορεί να είναι διαφορετική ακόμη και για το ίδιο είδος των λυμάτων σε διαφορετικά εδάφη προκύπτουν διαφορετικοί ρυθμοί διείσδυσης. Η βιολογική δραστηριότητα θα επηρεαστεί και θα προκύψουν διαφορετικοί βαθμοί απομάκρυνσης του DOC. Αποτελέσματα από τους Quanrud et al. (1996) δείχνουν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης οι οποίες ελήφθησαν κατά τη διάρκεια απομάκρυνσης διαλυμένου οργανικού άνθρακα (NPDOC) από στήλες που περιείχαν αργιλο-αμμώδη υλικά (56%), άμμο (48%) και ιλυώδη άμμο (44%). Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις για την απομάκρυνση οργανικών UV-απορρόφησης στο ίδιο πείραμα για στήλες που περιείχαν άμμο (22%) και πηλοαμμώδη υλικά (20%).

Οι El-Hattab et al. (2007) αξιολόγησαν την ικανότητα των συστημάτων SAT με σκοπό την απομάκρυνση ψευδάργυρου, σιδήρου – ως βαρύ μέταλλο – μαγνησίου και νατρίου. Επίσης αξιολογήθηκαν οι δυνατότητες διαφόρων τύπων εδαφών για την απομάκρυνση αυτών των συστατικών των λυμάτων ώστε να προσδιοριστεί η βέλτιστη μήτρα του εδάφους για την απομάκρυνσή τους.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν επιγραμματικά αναφέρονται παρακάτω:

- Τα αργιλο-αμμώδη εδάφη ήταν πιο αποτελεσματικά από τα αργιλώδη εδάφη για την απομάκρυνση νατρίου και μαγνησίου κατά τη διαδικασία SAT.
- Τα αμμώδη εδάφη δεν ενδείκνυνται για την αποτελεσματική απομάκρυνση μαγνησίου και νατρίου αλλά αποδείχθηκαν αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα αργιλώδη εδάφη για την απομάκρυνση ψευδάργυρου και σιδήρου κατά τη διαδικασία SAT.
- Τα αργιλο-αμμώδη εδάφη δεν είναι κατάλληλα για την απομάκρυνση ψευδαργύρου και σιδήρου.

### **Εδαφικό υλικό που αποφράσει τους πόρους**

Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των λεκανών διήθησης των λυμάτων επηρεάζονται αρνητικά από το σχηματισμό στρώματος χαμηλής αγωγιμότητας πάνω και εντός των άνω λίγων χιλιοστών της επιφάνειας του εδάφους (Bouwer, 1996b), όπως αναφέρεται από (Houston et al., 1999). Το φαινόμενο της απόφραξης εμφανίζεται ακόμα και στις λεκάνες εμπλουτισμού με καθαρό νερό, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό το στρώμα εμποδίζει τη διήθηση των λυμάτων (Quanrud et al., 1996).

### **Βάθος λεκάνης**

Το μεγάλο βάθος της λεκάνης αυξάνει την υδραυλική κλίση σε όλο το στρώμα απόφραξης στην ακόρεστη στήλη το οποίο τείνει να αυξήσει το ποσοστό διήθησης εάν όλοι οι άλλοι παράγοντες παραμείνουν ίδιοι. Αυτό το φαινόμενο ανταγωνίζεται την επιφανειακή απόφραξη των εδαφικών πόρων. Το καθαρό αποτέλεσμα εξαρτάται από τη σχετική σημασία των δύο αυτών φαινομένων και η αύξηση του βάθους της λεκάνης μπορεί είτε να αυξήσει είτε να μειώσει το ποσοστό διείσδυσης είτε αυτό να παραμείνει σταθερό εάν τα φαινόμενα αντισταθμιστούν μεταξύ τους (Houston et al., 1999).

### **Διάρκεια των περιόδων ύγρανσης/ξήρανσης**

Κατά τη SAT διαδικασία, οι κύκλοι ύγρανσης/ξήρανσης των λεκανών είναι απαραίτητοι για τη βελτίωση των ρυθμών διήθησης και για τον έλεγχο των αερόβιων/αναερόβιων συνθηκών του εδάφους (Korchynski et al., 1996). Οι λεκάνες επαναφόρτισης λειτουργούν γενικά με την εναλλαγή των υγρών/ξηρών περιόδων. Ένα στρώμα απόφραξης που αποδίδεται με τον όρο «schmutzdecke» (βιολογικό στρώμα συνήθως αποτελούμενο από ζελατινοειδές βιοφίλμ από βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, προνύμφες εντόμων) αναπτύσσεται στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια του υγρού κύκλου και επιβραδύνει το ρυθμό διήθησης. Ωστόσο, οι ομαλοί ρυθμοί διήθησης μπορούν να αποκατασταθούν κατά τη περίοδο ξήρανσης όπου το έδαφος αφήνεται να ξηρανθεί με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται οι γνωστές ρωγμές στην επιφάνεια (Quanrud et al., 1996).

Οι υγροί/ξηροί κύκλοι αποτελούνται από τη πλήρωση της λεκάνης έως ένα επίπεδο, έπειτα παύση της πλήρωσης επιτρέποντας στο νερό να κατεισδύσει στο έδαφος. Αφού το νερό κατεισδύσει, η λεκάνη αφήνεται να ξηρανθεί για ένα χρονικό διάστημα που να επιτρέπει τον φυσικό αερισμό της. Κατά τη φάση ξήρανσης, το νερό διεισδύει και η πιθανότητα διήθησης για την επόμενη φάση (ύγρανσης) αυξάνεται. Όταν συμβαίνει η απόφραξη, η λεκάνη εμπλουτισμού μπορεί να καθαριστεί, ακόμα και να επαναφερθεί στην αρχική της ικανότητα με στράγγιση, ξήρανση και απόξεση.

Άλλη μέθοδος υγρών/ξηρών κύκλων αφορά τη συνεχή διατήρηση της στάθμης της λεκάνης δηλαδή ο βαθμός επαναφόρτισης να παραμένει ίδιος με το ρυθμό πλήρωσης της λεκάνης με επιπλέον επεξεργασμένα λύματα. Όταν ο ρυθμός επαναφόρτισης φτάσει μη επιτρεπτά επίπεδα η διαδικασία σταματά ώστε να αφαιρεθεί το στρώμα που προκαλεί την απόφραξη.



Συνεχίζοντας την έρευνα σχετικά με την υδροφοβικότητα των ανώτερων στρωμάτων των λεκανών διήθησης στα SAT στο Shafdan, Ισραήλ (Arye et al., 2010) διαπιστώθηκε ότι οι συνέπειες της αρχικής κατάστασης με το υδρόφοβο άνω στρώμα του εδάφους κατά την επόμενη επαναφόρτιση μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιογενή διανομή επεξεργασμένων λυμάτων κατά τη αρχική φάση του πλημμυρισμού των λεκανών και λόγω της αρχικής καθυστέρησης της διήθησης των επεξεργασμένων λυμάτων. Αυτό το θέμα βρίσκεται υπό έρευνα (Nadav et al., 2012) και μέθοδοι για την ενίσχυση του βαθμού διήθησης εξετάζονται σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του υδρόφοβου στρώματος και διαφορετικές περιόδους ύγρυνσης/ξήρανσης.

#### 4.4.6. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των SAT

Συγκεκριμένες συνθήκες για διαφορετικές παραμέτρους για τα τρία στάδια εφαρμογής των SAT επηρεάζουν την απόδοσή τους. Αυτές οι παράμετροι είναι:

- Χρόνος παραμονής και απόσταση διαδρομής (των υγρών)
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων
- Οξειδοαναγωγικές συνθήκες
- Διατήρηση της διείσδυσης (υδραυλικό φορτίο)
- Άλλες παράμετροι όπως: pH, θερμοκρασία, τύπος του εδάφους, πρόγραμμα διαχείρισης

Ο Πίνακας 4.2. συνοψίζει τις προϋποθέσεις για διαφορετικές παραμέτρους για τα τρία στάδια της SAT διαδικασίας (Επιφανειακή διήθηση, Διήθηση στο έδαφος, Μεταφορά στο υπέδαφος) τα οποία επηρεάζουν την απόδοση της.

**Πίνακας 4.2. :** Σύγκριση τυπικών σταδίων SAT (Amy, 2009)

Διαδικασία/ Παράμετρος	Επιφανειακή διήθηση	Διήθηση στο έδαφος	Μεταφορά στο υπέδαφος
Μηχανισμοί επεξεργασίας	Διήθηση +, Βιοαποικοδόμηση	Βιοαποικοδόμηση +, Προσρόφηση	Βιοαποικοδόμηση, Προσρόφηση, Διάλυση +
Μεταφορά	Κορεσμένο	Ακόρεστο	Κορεσμένο
Χρόνος παραμονής	Λεπτά	Ώρες έως μέρες	Μήνες έως χρόνια
Απόσταση που διανύεται	Εκατοστά - ίντσες	3 -30 m/10 – 100 m	Μεταβαλλόμενη
Ανάμειξη	Όχι	Όχι	Ναι (με τα υπόγεια νερά της περιοχής)
Τροφοδοσία οξυγόνου (O <sub>2</sub> )	Νερό επαναφόρτισης	Ακόρεστη ζώνη	Μέσω των τοπικών υπόγειων νερών
Επάρκεια βιοαποικοδομήσιμου οργ. άνθρακα	Μεγάλη	Μεγάλη/περιορισμένη	Περιορισμένη
Οξειδοαναγωγικές συνθήκες	Αερόβιες	Αερόβιες προς αναερόβιες	Αναερόβιες προς αερόβιες

#### **4.4.7. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των SAT**

##### **Πλεονεκτήματα των συστημάτων SAT**

Τα συστήματα SAT για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα (Harun et. al, 2007), όπως:

- Αποτελεσματική συνολική απομάκρυνση των βακτηρίων και των ιών.
- Απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών-πολύ υψηλή απομάκρυνση της αμμωνίας, P, C.
- Πολύ αποτελεσματική απομάκρυνση του DOC.
- Αποτελεσματική απομάκρυνση των περισσοτέρων μικρο-ρύπων.
- Αναπλήρωση των υπόγειων νερών χρησιμοποιώντας τον υδροφόρο ορίζοντα ως μέσο αποθήκευσης, ιδιαίτερα σε γεωργικές και αστικές περιοχές όπου υπάρχει υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων.
- Η πολύ αποτελεσματική απομάκρυνση των οργανικών, των θρεπτικών ουσιών, των μικροοργανισμών και η καλή απομάκρυνση μικρο-ρύπων συμβαίνει μέσω ενός εντελώς φυσικού συστήματος.
- Εξαιτίας της ποιότητας του νερού που θα χρησιμοποιείται, μπορεί να μειωθεί η χρήση χημικών λιπασμάτων στη περιοχή εφαρμογής.

##### **Περιορισμοί των συστημάτων SAT**

Υπάρχουν μειονεκτήματα σχετικά με την εφαρμογή των SAT τα οποία και πρέπει να λαμβάνονται υπ όψη, όπως:

- Μετά από 30 χρόνια εφαρμογής στο Ισραήλ υπάρχουν ενδείξεις επιδείνωσης του ποσοστού διείσδυσης (Λιγότερο από 1 *m/d*), χωρίς δυνατότητα να επαναφορτίζει όλα τα διαθέσιμα λύματα.
- Λόγω ανοξικών συνθηκών, σημάδια διαλύσεως μαγγανίου εμφανίζονται στον υδροφόρο ορίζοντα κάτω από τις λεκάνες διήθησης.
- Τα συστήματα SAT έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε εκτάσεις γης
- Το φαινόμενο clogging κατά τη διήθηση που προκαλείται από τις βιολογικές και φυσικές διεργασίες.
- Η χημική διεργασία που συμβαίνει λόγω της φωτοσύνθεσης των αλγών αλλάζει το pH του εδάφους προκαλεί καθίζηση ανθρακικών, γύψου, φωσφόρου και άλλων χημικών στο έδαφος, με αποτέλεσμα να δημιουργείται το φαινόμενο clogging κάτω από τη περιοχή διείσδυσης.

#### 4.5. Ιστορικό εφαρμογής

Η διάθεση υγρών αποβλήτων στο έδαφος έχει μακρά ιστορία που πιθανότατα αρχίζει από την Μινωική εποχή, από τότε που κατασκευάσθηκαν τα πρώτα αστικά κεντρικά αποχετευτικά έργα. Από τότε η διάθεση υγρών αποβλήτων σε γεωργικά εδάφη συνδυάστηκε με την άρδευση καλλιεργειών.

Αυτές οι πρωτοποριακές πρακτικές αναπτύχθηκαν και βελτιώθηκαν περαιτέρω στην Ελληνιστική, Ρωμαϊκή και Βυζαντινή περίοδο και συγχρόνως διαδόθηκαν στην υπόλοιπη χώρα και μέσω του Ελλαδικού χώρου στην ηπειρωτική Ευρώπη.

Με την ανάπτυξη συστημάτων αποχέτευσης, άρχισε παράλληλα και η ανάπτυξη των αποκαλούμενων ως γεωργικών εκμεταλλεύσεων αποβλήτων, που αναπτύχθηκαν αρχικά στην Ευρώπη και στη συνέχεια επεκτάθηκαν και στις Η.Π.Α. κι άλλες χώρες.

Το πρώτο τέτοιο έργο στην κεντρική Ευρώπη είναι αυτό του Bunzlau στη Γερμανία από το 1531, όπου αστικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση καλλιεργειών (Paranychianakis et al., 2006).

Τα πρώτα οργανωμένα έργα επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων, βασιζόμενα κυρίως στην εφαρμογή των αποβλήτων στο έδαφος, αναπτύχθηκαν παράλληλα με την ανάπτυξη των συστημάτων αποχέτευσης από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

Επίσης, τα πρώτα έργα που στόχευαν στην αποδοτική χρήση των εκροών υγρών αποβλήτων ξεκίνησαν στην αρχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα στην Καλιφόρνια. Η Πολιτεία της Καλιφόρνια αναγνωρίζοντας τα οφέλη, αλλά και τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία θέσπισε το 1918 τα πρώτα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών (California State, Board of Health, 1918).

Στο εθνικό πάρκο του Grand Canyon στην Αριζόνα των Η.Π.Α. τα αστικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για άρδευση χώρων πρασίνου, καθαρισμό τουαλέτας, ψύξη και θέρμανση νερού (1926).

Στη Baltimore στο Μέριλαντ των Η.Π.Α. τα αστικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για τη ψύξη σε βιομηχανίες μετάλλου και επεξεργασία χάλυβα στη Bethlehem Steel Company (1942).

Στη πόλη Colorado Springs στο Κολοράντο των Η.Π.Α. τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται στη άρδευση γηπέδων γκολφ, πάρκων, νεκροταφείων και διαδρόμων περιπάτου (1960).

Στο Irvine Ranch Water District στη Καλιφόρνια των Η.Π.Α. έργα δυναμικότητας 60.000  $m^3/d$  εφαρμόζονται για άρδευση, βιομηχανική και αστική χρήση και καθαρισμό τουαλέτας σε ψηλά κτίρια (1961).

Στο La Soukra της Τυνησίας όπου το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται στη άρδευση εσπεριδοειδών και στη μείωση της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων (1962).

Στη πόλη του Windhoek στη Ναμίμπια έργα δυναμικότητας 21.000  $m^3/d$  χρησιμοποιούνται για την αύξηση των αποθεμάτων πόσιμων παροχών νερού μετά από ανάμειξη (1968).

Στη πόλη Wagga Wagga της Αυστραλίας έργα δυναμικότητας 10.000  $m^3/d$  χρησιμοποιούνται για άρδευση κοινόχρηστων χώρων και καθαρισμό τουαλέτας (1969).

Στη κοιλάδα του ποταμού Salt στο Phoenix της Αριζόνα στις Η.Π.Α. πραγματοποιείται ο εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας μέσω έργων δυναμικότητας 10.000  $m^3/d$  (1975).

Στη κομητεία Orange της Καλιφόρνια των Η.Π.Α. (Water Factory 21) έργα δυναμικότητας 200.000  $m^3/d$  χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα με απευθείας έγχυση (1976).

Στο Tel-Aviv του Ισραήλ (Dan Region Project) πραγματοποιείται εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με λεκάνες διήθησης. Τα υπόγεια νερά μεταφέρονται στο νότιο μέρος της χώρας για άρδευση καλλιεργειών. Τα έργα έχουν δυναμικότητα 500.000  $m^3/d$  (1977).

Στη πόλη του St. Petersburg στη Φλόριντα των Η.Π.Α. τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την άρδευση πάρκων, γηπέδων γκολφ, σχολικών κήπων, άλλων χώρων πρασίνου και ψύξη νερού. Η δυναμικότητα των έργων είναι 100.000 με 150.000  $m^3/d$  (1977).

Στο Shinjuku District του Τόκιο της Ιαπωνίας (Metropolitan Government) υπάρχει έργο ανακύκλωσης νερού με τη προμήθεια ανακτώμενου νερού για καθαρισμό τουαλέτας σε 19 ουρανοξύστες (1984).

Στη πόλη του El Paso στο Τέξας των Η.Π.Α. έργα δυναμικότητας 38.000  $m^3/d$  χρησιμοποιείται στον εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα με απευθείας εφαρμογή με γεωτρήσεις στους υδροφορείς του Hueco Bolson και στη ψύξη νερού σε μονάδα παραγωγής ενέργειας (1985).

Στο Μοντερέυ της Καλιφόρνια των Η.Π.Α. (Monterey Regional Water Pollution Control Agency – Monterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture), για την άρδευση γεωργικών καλλιεργειών χρησιμοποιούνται έργα δυναμικότητας 5.000  $m^3/d$  (1987).

Στο Shoalhaven Heads της Αυστραλίας, έργα δυναμικότητας 120.000  $m^3/d$  χρησιμοποιούνται για την άρδευση κήπων και για χρήση καθαρισμού τουαλέτας σε ιδιωτικές κατοικίες (1989).

Στη επαρχία Τζιρόνα της Ισπανίας (Consorti de la Costa Brava), τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται κυρίως στην άρδευση γηπέδων γκολφ (1989).



## 5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### 5.1. Εισαγωγή

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχετικά έργα, σε αυξημένο μάλιστα αριθμό και έκταση, προγραμματίζονται και υλοποιούνται κάθε έτος σε αρκετές χώρες και ιδιαίτερα στις Η.Π.Α., την Αυστραλία, το Ισραήλ, στην Ιαπωνία, στις χώρες του Μαγκρέμπ και της Νοτίου Αφρικής. Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της και των υφιστάμενων διαφορών μεταξύ των χωρών-μελών, η Ε.Ε. δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα μέχρι σήμερα με αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού. Οι ξηρασίες των τελευταίων ετών στην Ισπανία, στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, θέτουν επιτακτικά το θέμα της ανακύκλωσης νερού. Εξάλλου, η έλλειψη νερού τοπικά και η διάχυτη ρύπανση σε όλη την Ευρώπη που επιτείνουν περιβαλλοντικά προβλήματα, έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον σε τέτοια αντικείμενα. Επομένως, η πρακτική αυτή αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον, εξαιτίας της μείωσης της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων που προβλέπεται εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου του παγκοσμίως και της αύξησης της θερμοκρασίας.

Για κάθε ωφέλιμη χρήση επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, και η οποία προσδιορίζει τις απαιτούμενες διεργασίες και τεχνολογίες επεξεργασίας και φυσικά το ανάλογο κόστος. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια. Είναι φανερό λοιπόν ότι η έμφαση κατά τον καθορισμό κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων δίνεται στην προστασία της δημόσιας υγείας μέσω κατάλληλου ελέγχου των παθογόνων μικροοργανισμών. Τα κριτήρια-προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία δεν είναι αμφιλεγόμενα, αφού η απαιτούμενη ποιότητα του νερού καθορίζεται από τις προδιαγραφές της βιομηχανικής ζήτησης. Επίσης, τα κριτήρια ποιότητας που πρέπει να πληροί το ανακυκλωμένο νερό που προορίζεται για πόση δεν είναι αμφιλεγόμενα, αλλά θέματα κοινωνικής αποδοχής και φυσικά επικινδυνότητας, έχουν περιορίσει την εφαρμογή της. Αντίθετα, τα κριτήρια για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, παρόλη την συμπληρωματική επεξεργασία που διενεργείται κατά τη διήθηση και κατείσδυση των εκροών, διεθνώς σήμερα αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό. Σε τέτοια συστήματα το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στα επίπεδα των συγκεντρώσεων νιτρικών, υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και άλλων οργανικών ενώσεων, που υπάρχουν σε ίχνη στις εκροές αποβλήτων (Aertgeerts and Angelakis, 2003)..

Η κατάσταση διαφοροποιείται στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, καθώς επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται, κυρίως όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς και πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας (Asano and Levine, 1996).

Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρές ελλείψεις νερού και έλλειψη πόρων, επιδιώκουν με την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών να υπερασπιστούν τις ισχύουσες λιγότερο αυστηρές οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization, W.H.O.).

Οι οδηγίες αυτές βασίσθηκαν στις επικρατούσες τάσεις σε αναπτυσσόμενες χώρες και ουσιαστικά θεωρούν όρια για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια ( $1000 \text{ FC}/100 \text{ cm}^3$ ) και τους εντερικούς νηματώδεις (αυγά  $\leq 1/L$ ). Παρόλο που οι οδηγίες αυτές δεν εξειδικεύονται στις επιμέρους χρήσεις και ποιοτικές και άλλες παραμέτρους, αποτελούν ωστόσο ένα θετικό βήμα σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων ή πλημμελώς επεξεργασμένων εκροών. Η κύρια φιλοσοφία τους εστιάζεται στα όρια που θέτουν, ως εγγύηση για την ασφάλεια του νερού, που χρησιμοποιείται για άρδευση.

Επίσης, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι προκειμένου να υπάρχει απευθείας επαναχρησιμοποίηση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, οι προδιαγραφές του W.H.O. είναι ήδη ένα βήμα μπροστά. Σημειώνεται ότι οι οδηγίες του W.H.O. είναι πιο αυστηρές από τις οδηγίες της E.E., για το νερό κολύμβησης. Πρόσφατα, ο W.H.O. εξέδωσε οδηγίες που αφορούν χημικές ουσίες σχετικές με την ανθρώπινη υγιεινή για γεωργικές εφαρμογές εκροών και ιλύος υγρών αποβλήτων (Chang et al., 1995).

Εξαιτίας των κινδύνων, που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν ξεκινήσει τις απαραίτητες διαδικασίες θέσπισης κριτηρίων επαναχρησιμοποίηση (Asano and Mujeriego, 1988). Τα κριτήρια/οδηγίες διαφοροποιούνται θεαματικά μεταξύ των διαφόρων χωρών ή και περιοχών. Ορισμένες υπηρεσίες, όπως το Συμβούλιο Νερού τον Ισραήλ και το τοπικό Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνιας, έχουν θεσπίσει κανονισμούς σχετικά αυστηρούς ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση, που παρουσιάζονται αναλυτικά σε επόμενες ενότητες.

Όμως, στις αναπτυσσόμενες χώρες τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί για την προστασία της δημόσιας υγείας από κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση ανακτημένων υγρών αποβλήτων συχνά συνδέονται με τις δυνατότητες ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδατικών πόρων. Σε αρκετές από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης, ουσιαστικά, αποτελούν πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων.

Σε άλλες, περισσότερο αναπτυγμένες χώρες, το κύριο πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιεχομένων στα ανεπεξέργαστα ή πλημμελώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα παθογόνα, όπως είναι οι εντερικοί έλμινθοι, κυρίως η ταινία των αγελάδων, τα παράσιτα της οικ. *Ancylostomatidae* και τα ασκάρια (*Ascaris iumbricoides*). Αυτοί οι μολυσματικοί οργανισμοί είναι επικίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και ιδιαίτερα τους καλλιεργητές και τα μέλη των οικογενειών τους καθώς και στους καταναλωτές φυτικών τροφών (Feachem et al., 1983, Pescod, 1990, Shuval et al., 1986, W.H.O., 1980 και άλλοι).

## 5.2. Παράγοντες θέσπισης κριτηρίων

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

- Προστασία της δημόσιας υγείας: Η χρήση επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Για αυτό το σύνολο των οδηγιών επαναχρησιμοποίησης επικεντρώνονται στη προστασία της δημόσιας υγείας. Σε περιπτώσεις μη πόσιμων χρήσεων, οι κανονισμοί αναφέρονται κύρια στα όρια παθογόνων οργανισμών στο ανακυκλωμένο νερό. Ωστόσο, όταν σχεδιάζεται επαναχρησιμοποίηση για έμμεση πόση ή για εμπλουτισμό υδροφορέων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση, τα επίπεδα διάφορων τοξικών οργανικών λαμβάνονται υπόψη θέτοντας μέγιστα όρια και απαιτούμενες διεργασίες επεξεργασίας.
- Απαιτήσεις χρήσης: Ορισμένες χρήσεις, όπως βιομηχανικές, έχουν ειδικές φυσικές και χημικές απαιτήσεις ποιότητας νερού που δεν έχουν σχέση με θέματα προστασίας υγείας. Η αποδοχή των επεξεργασμένων λυμάτων για επαναχρησιμοποίηση πιθανόν περιορίζεται από φυσικά, χημικά και μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας. Διεθνώς, υπάρχει μια αυξανόμενη απαίτηση για το συνυπολογισμό των χημικών παραμέτρων στις προδιαγραφές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων. Ο κύριος λόγος είναι ότι οι χημικές ουσίες στις χαμηλές συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν άμεσα τοξικά αποτελέσματα, αλλά μακροχρόνια αποτελέσματα ή βιοσυσσώρευση. Στην περίπτωση της άρδευσης θα πρέπει να εξετάζονται πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στις καλλιέργειες, στο έδαφος και στους υπόγειους υδροφορείς από την παρουσία χημικών στοιχείων και ενώσεων στα λύματα (π.χ. νάτριο, βαρέα μέταλλα, ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) κ.λπ.).
- Προστασία του περιβάλλοντος: Στις περιοχές εφαρμογής προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων και στις γύρω απ' αυτές θα πρέπει να εξασφαλίζεται η προστασία της φυσικής χλωρίδας και πανίδας, των φυσικών αποδεκτών και των υπόγειων νερών.
- Αισθητική: Για ορισμένες χρήσεις (όπως άρδευση αστικού πρασίνου, πλύσιμο τουαλέτας και πλύσιμο δρόμων), η εμφάνιση των επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων λυμάτων δεν θα πρέπει να διαφέρει απ' αυτήν του πόσιμου νερού. Στην περίπτωση χρήσης αναψυχής θα πρέπει να διασφαλίζεται επιπλέον η παρεμπόδιση του φαινομένου του ευτροφισμού.
- Αποδοχή από τους χρήστες και το κοινό: Τα επαναχρησιμοποιούμενα επεξεργασμένα λύματα θα πρέπει να θεωρούνται ασφαλή και αποδεκτά για την προβλεπόμενη χρήση και οι υπεύθυνοι φορείς να παρέχουν αυτή τη διασφάλιση.
- Επίσης, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η πολιτική πραγματικότητα, η κοινωνικοπολιτική αντίληψη, οι προσωπικές απόψεις/προκαταλήψεις ατόμων ή ομάδων και οι οικονομικές δυνατότητες.



### **5.3. Ζητήματα δημόσιας υγείας**

Η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού, που παράγεται συμπληρωματικά άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων, πρέπει να θεωρείται ισοδύναμη τους. Στην περίπτωση έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων πρέπει να διασφαλίζεται ότι παρέχουν τον ίδιο βαθμό προστασίας της δημόσιας υγείας, που παρέχουν οι συμβατικές πηγές νερού. Οι κύριες παράμετροι που θεωρούνται είναι τα παθογόνα, οι οργανικές ενώσεις και τα ανόργανα στοιχεία (κυρίως βαρέα μέταλλα).

#### **Μετάδοση ασθενειών**

Γενικά εκφράζονται σοβαρές ανησυχίες σχετικά με τη πιθανότητα μετάδοσης ασθενειών από την χρήση ανακυκλωμένου νερού, κυρίως δια μέσου της άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών ή του εμπλουτισμού υδροφορέων, ιδιαίτερα σε χώρες χωρίς εμπειρία σε τέτοιες τεχνολογίες. Αυτός ο προβληματισμός βασίζεται σε θεωρήσεις και εμπειρία, που έχουν αποκτηθεί από χώρες που η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποτελεί κοινή πρακτική, υπαγορεύει την ανάγκη της ανάπτυξης, καθιέρωσης και θέσπισης κριτηρίων για την αποφυγή δυσμενών καταστάσεων.

Αυτά τα κριτήρια περιλαμβάνουν:

- Οδηγίες για την ποιότητα των εκροών ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση.
- Εφαρμογή βέλτιστης επεξεργασίας και απολύμανσης και αποθήκευση των εκροών και άλλων τεχνολογιών.
- Περιορισμός της άρδευσης σε κατηγορίες καλλιεργειών συμβατές με το εφαρμοζόμενο επίπεδο επεξεργασίας των αποβλήτων.
- Περιορισμούς στην εφαρμοζόμενη πρακτική άρδευσης (όπως επιφανειακή, καταιονισμό, στάγδην και υποεπιφανειακή), ανάλογα με την ποιότητα των εφαρμοζόμενων εκροών.

#### **Χημικοί παράγοντες**

Γενικά, τα χημικά συστατικά που συναντώνται στις εκροές υγρών αποβλήτων που προορίζονται για διάφορες αστικές χρήσεις δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για την δημόσια υγεία. Ωστόσο, προβλήματα μπορούν να προκύψουν κατά την άρδευση καλλιεργειών εξαιτίας της συσσώρευσης βαρέων μετάλλων σε αυτές ή κατά τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφόρων που χρησιμοποιούνται για πόσιμη χρήση, εξαιτίας της πλημμελούς απομάκρυνσης διαφόρων τοξικών οργανικών ουσιών στις διηθούμενες εκροές.

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

#### 5.4. Η Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O.)

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

Οι τέσσερις κατηγορίες αυτές είναι :

- Επίπεδο επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων.
- Περιορισμένη άρδευση γεωργικών καλλιεργειών.
- Επιλογή μεθόδου εφαρμογής.
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης σε παθογόνους μικροοργανισμούς των εκροών υγρών αποβλήτων, του εδάφους ή των γεωργικών καλλιεργειών.

**Πίνακας 5.1.** : Μέτρα αντιμετώπισης κινδύνων ρύπανσης ή/και μόλυνσης από επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

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

Βαθμός ρύπανσης (υγρά απόβλητα, έδαφος, καλλιέργειες) ή κινδύνου (εργάτες, καταναλωτές)

♦♦ : υψηλός      ♦ : χαμηλός      - : ασφάλεια

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

- Η άρδευση με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων, εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ή η λήψη μέτρων που περιορίζουν την ανθρώπινη επαφή με τις εκροές υγρών αποβλήτων, ελαττώνει τους κινδύνους μόλυνσης, που όμως εξακολουθούν να υφίσταται έστω σε χαμηλότερα επίπεδα.
- 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 εκρών, 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).

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην επιλογή του τύπου των αρδευόμενων καλλιεργειών και στον βάσει αυτού διαχωρισμό της άρδευσης σε δύο κατηγορίες. Την «*περιορισμένη άρδευση*» η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά και την «*απεριόριστη*» η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας αλλά και για πότισμα γηπέδων, πάρκων, κ.λπ.

Στην πρώτη περίπτωση ουσιαστικά 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 5.2.). Επισημαίνεται πάντως ότι βασική προϋπόθεση για την περιορισμένη άρδευση είναι η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω επιλογής κατάλληλης μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή και όχι με καταιονισμό) και με αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Επίσης, ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνιστάται η διακοπή της άρδευσης δύο εβδομάδες πριν τη συλλογή των καρπών.

Στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης συνιστάται η τήρηση συγκεκριμένων μικροβιολογικών κριτηρίων τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις μικροοργανισμούς (<1 αυγό ανά λίτρο) όσο και ως προς τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια FC (<1000 FC/100 mL), με ακόμη αυστηρότερα κριτήρια (<200 FC/100 mL) για ορισμένες περιπτώσεις, όπως το πότισμα του γκαζόν. Σημειώνεται ότι τα κριτήρια αυτά είναι λιγότερο αυστηρά από προγενέστερα κριτήρια του Π.Ο.Υ. για απεριόριστη άρδευση με μέγιστη τιμή 100 FC/100 mL.

**Πίνακας 5.2.** : Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια κατά τον Π.Ο.Υ. (1989) για την χρήση υγρών αποβλήτων στη γεωργία (Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις <sup>β</sup> (αριθμητικός μέσος αριθμός αυγών/L <sup>γ</sup> )	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (γεωμετρικός μέσος αριθμός/100 mL <sup>γ</sup> )	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημόσιων πάρκων <sup>δ</sup>	Εργάτες, Καταναλωτές, Κοινό	≤1	≤1000 <sup>δ</sup>	Σειρά λιμνών σταθεροποίησης που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
Άρδευση δημητριακών βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων <sup>ε</sup>	Εργάτες	≤1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση εντερικών νηματωδών και FC
Ομοίως με την προηγούμενη, με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από τη τεχνολογία του συστήματος άρδευσης πάντως όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

(α) Σε ειδικές περιπτώσεις, τοπικοί επιδημιολογικοί κοινωνικο-πολιτιστικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι οδηγίες να τροποποιούνται ανάλογα.

(β) Τα είδη *Ascaris* και *Tichuris* και νηματοσκώληκες.

(γ) Κατά τη περίοδο της άρδευσης.

(δ) Σε γκαζόν όπου υπάρχει πρόσβαση κοινού π.χ. ξενοδοχεία, πάρκα, χώροι αναψυχής πρέπει να εφαρμόζεται το αυστηρότερο κριτήριο 200 FC 100 ml.

(ε) Στη περίπτωση οπωροφόρων δέντρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των φρούτων ενώ δεν πρέπει να συλλέγονται φρούτα από το έδαφος. Επίσης δε θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό.

Η οδηγία του Π.Ο.Υ. βασίζεται κυρίως σε δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μια προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην θέτει αυστηρά κριτήρια, τα οποία υφίστανται έντονη κριτική στις αναπτυσσόμενες χώρες (Η.Π.Α., Αυστραλία και άλλες).

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

- Σε περιπτώσεις εφαρμογής ενός εκτεταμένου και αποτελεσματικού προγράμματος ελέγχου βιομηχανικών αποβλήτων, τότε δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή μπορεί να εφαρμόζεται σε καλλιέργειες χωρίς περιορισμούς, στο βαθμό, που καλύπτονται τα προτεινόμενα υγιεινολογικά και αγρονομικά κριτήρια.
- Επειδή τα ανεπεξέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, μπορεί να περιέχουν σημαντικές ποσότητες χημικών ρυπαντών, η εφαρμογή τους στο έδαφος πρέπει να καθορίζεται με βάση τις ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των ρυπαντών στο έδαφος.
- Σε ότι αφορά το νιτρικό άζωτο και τα ιόντα νατρίου, που θεωρήθηκαν έπειτα από ειδική πρόταση του W.H.O., εξαιτίας των πιθανών αιματολογικών και καρδιοαγγειακών συνεπειών, που μπορούν να προκαλέσουν μακροπρόθεσμα, όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό, προτείνεται: α) Το νιτρικό άζωτο στις επεξεργασμένες εκροές δεν θα πρέπει να τεθούν ειδικά όρια. Αντίθετα, τα κριτήρια ποιότητας του F.A.O. για το νερό άρδευσης θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν ως γενική οδηγία (όπου για συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3\text{-N}$ : χαμηλότερες από  $5 \text{ mg/L}$  δεν θέτουν κανένα περιορισμό στη χρήση,  $5 - 30 \text{ mg/L}$  θέτουν ελάχιστους περιορισμούς και υψηλότερες από  $30 \text{ mg/L}$  θέτουν σημαντικούς περιορισμούς). β) Δεν θα πρέπει να τεθούν αυστηρά όρια για το νάτριο, αλλά να τηρηθεί το επίπεδο εκείνο για το οποίο το νάτριο είναι από τη φύση του περιοριστικό στο πόσιμο νερό γευστικά ( $\sim 200 \text{ mg/L}$ ).

Η διαμόρφωση αριθμητικών τιμών για τις μέγιστες συγκεντρώσεις ρυπαντών (Πίνακας 5.3.) στο έδαφος βασίστηκε στην εκτίμηση του κινδύνου, που αφορούν την υγεία, ακολουθώντας τα εξής στάδια:

- Προσδιορισμός κινδύνου: Χρησιμοποιούνται επιδημιολογικά και τοξικολογικά στοιχεία και πληροφορίες για την χημική σύσταση των αποβλήτων, κυρίως για τον προσδιορισμό πιθανών τοξικών ρυπαντών υψηλής επικινδυνότητας.
- Ανάλυση δόσης-απόκρισης: Καθορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη προσλαμβάνουσα ποσότητα των ρυπαντών υπό τη μορφή ημερήσιας αποδεκτής πρόσληψης (acceptable daily intake).
- Διαδρομή έκθεσης και ανάλυση σεναρίων: Προσδιορίζονται οι τρόποι και τα σενάρια έκθεσης ενός πληθυσμού στους ρυπαντές. Καθορίζονται ποσοτικά οι συντελεστές μεταφοράς ρυπαντών για κάθε στάδιο της έκθεσης.
- Υπολογισμός φόρτισης ρυπαντών: Με βάση την ημερήσια αποδεκτή πρόσληψη, το στάδιο και τα σενάρια έκθεσης, καθορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα των ρυπαντών στο έδαφος.

**Πίνακας 5.3.** : Προτεινόμενα όρια για χημικούς ρυπαντές (ανόργανα στοιχεία και οργανικές ενώσεις στο έδαφος) από τον W.H.O. (1989) (Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Οργανικές ενώσεις	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξ.β.)	Ανόργανα στοιχεία	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξ.β.)
Aldrin	0,2	As	9
Benzene	0,03	B	2.900
Benzo(a)pyrene	3	Be	20
Chlorodane	0,3	Cd	7
Chlorobenzene	<b>A.Σ.</b>	Cr	3.200
Chloroform	2	F	2.600
Dichlorophenols	<b>A.Σ.</b>	Pd	150
2,4-D	10	Mn	5
DDT	<b>A.Σ.</b>	Ni	650
Dieldrin	0,03	Se	140
Heptachlor	1	Ag	3
Hexachlorobenzene	40	-	-
Hexachloroethane	2	-	-
Pyrene	480	-	-
Lindane	0,6	-	-
Methoxychlor	20	-	-
Pentachlorophenol	320	-	-
PCBs	30	-	-
Tetrachloroethane	4	-	-
Tetrachloroethylene	250	-	-
Toluene	50	-	-
Toxaphene	9	-	-
2,4,5,-T	<b>A.Σ.</b>	-	-
2,3,7,8 TCDD	30	-	-

A.Σ. : ανεπαρκή στοιχεία

ξ.β. : ξηρό βάρος

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

Η πρόθεση του W.H.O. να προωθήσει την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών εκμεταλλεύσεων θα πρέπει να αξιολογηθεί σε σχέση με τη σημασία και τη δυνατότητα εφαρμογής της με βάση τις επικρατούσες κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην πρώτη του προσπάθεια να εκδώσει οδηγία για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, ο W.H.O. (1973) κάλυψε ένα ευρύτερο πεδίο εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης. Για την επαναχρησιμοποίηση ανακυκλωμένου νερού σε εφαρμογές αναψυχής, με αυξημένη ανθρώπινη επαφή και για διάφορες αστικές εφαρμογές με εξαίρεση τη χρήση για ύδρευση, είχε προταθεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, φίλτρανση με φίλτρα άμμου και απολύμανση. Διαφοροποίηση παρατηρήθηκε ωστόσο, για την περίπτωση της αστικής χρήσης, όπου προδιαγράφονταν μόνο γενικές απαιτήσεις για την αποτελεσματική απομάκρυνση βακτηρίων και την μερική απομάκρυνση των ιών, ενώ για χρήσεις αναψυχής με ανθρώπινη επαφή καθορίζονταν τα 100 FC/100 mL στο 80% των δειγμάτων και η απουσία χημικών ουσιών, που προκαλούν ερεθισμό του δέρματος.

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

## 5.5. Η οδηγία του Οργανισμού Γεωργίας και Τροφίμων (F.A.O.)

Ο F.A.O. στην προσπάθειά του να διαμορφώσει κριτήρια ποιότητας για το νερό άρδευσης, που να αντιμετωπίζουν προβλήματα δημόσιας υγείας, πρότεινε τη χρήση της οδηγίας σε ότι αφορά όρια FC που προτείνονται από τον W.H.O.

**Πίνακας 5.4. :** Οδηγίες για ερμηνεία της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, E.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Αρδευτικό πρόβλημα	Βαθμός περιορισμού χρήσης			
	Μονάδες	Χωρίς πρόβλημα	Αυξανόμενο πρόβλημα	Σοβαρό πρόβλημα
<b>Αλατότητα (επηρεάζει κυρίως τη διαθεσιμότητα του νερού στην καλλιέργεια)</b>				
EC <sub>w</sub>	dS/m	<0,75	0,75 – 3,0	>3,0
TDS	mg/L	<450	450 - 2000	>2000
<b>Διαπερατότητα (επηρεάζει τη ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος και εκτιμάται με συνδυασμένη θεώρηση του EC<sub>w</sub> SAR ή SAR adj<sup>(α)</sup>)</b>				
SAR = 0 – 3 και EC <sub>w</sub>	dS/m	>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
= 3 – 6 EC <sub>w</sub>	dS/m	>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
= 6 – 12 EC <sub>w</sub>	dS/m	>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
= 12 -20 EC <sub>w</sub>	dS/m	>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
= 20 – 40 EC <sub>w</sub>	dS/m	>5,0	5,0 – 2,9	<2,9
<b>Ειδική τοξικότητα ιόντων (επηρεάζει κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)</b>				
Νάτριο (Na <sup>+</sup> ) <sup>β</sup>		<3,0	3 – 9	>9
a) Επιφανειακή άρδευση (SAR)				
b) Άρδευση με καταιονισμό	mg/L	<70	<70	
Χλώριο (Cl <sup>-</sup> ) <sup>β</sup>				
a) Επιφανειακή άρδευση	mg/L	<140	140 – 350	>350
b) Άρδευση με καταιονισμό	mg/L	<100	>100	
<b>Βόριο (B<sup>+3</sup>) σε ίχνη</b>				
Διάφορες άλλες επιδράσεις (αφορούν κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)	mg/L	<0,7	7,0 – 3,0	>3,0
<b>Άζωτο (συνολικό N)</b>	mg/L	<5,0	5 – 30	>30
<b>Δισανθρακικά (HCO<sub>3</sub>), μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό</b>	mg/L	<90	90 – 500	>500
<b>pH</b>		Κανονική διακύμανση: 6,5 – 8,4		
<b>Υπόλειμμα χλωρίου, μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό</b>	mg/L			

(α) Λόγος προσρόφησης νατρίου. Όταν πρόκειται για αρδεύσεις με προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο προσαρμοσμένος SAR adj.

(β) Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις συγκεντρώσεις των ιόντων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup>, κυρίως σε περιπτώσεις άρδευσης με καταιονισμό, εξαιτίας της δυνατότητας προσρόφησης τους από το φύλλωμα διάφορων καλλιεργειών.



**Πίνακας 5.5.** : Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις στοιχείων σε ίχνη στο αρδευτικό νερό (Ayers and Westcot, 1985, Pettygrove and Asano, 1988, E.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Στοιχεία	Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις <sup>α</sup>	Παρατηρήσεις
<b>Al (Αργίλλιο)</b>	5,0	Σε όξινα εδάφη (pH<5,5) προξενεί μείωση της παραγωγικότητας, αλλά σε αλκαλικά εδάφη (pH>7,0) προξενεί κατακρήμνιση του Fe και περιορίζεται η τοξικότητά του.
<b>As (Αρσενικό)</b>	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλλει και κυμαίνεται από 12 mg/L σε αγρωστώδη έως κάτω από 0,05 mg/L στο ρύζι.
<b>Be (Βερύλιο)</b>	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλλει από 5 mg/L και στα λάχανα έως 0,5 mg/L στα φασόλια (νάνα)
<b>Cd (Κάδμιο)</b>	0,01	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/L, σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό στα φασόλια, ζαχαρότευτλα και γογγυλώδη είδη. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας του δυναμικού αθροιστικής συσσώρευσής του σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς.
<b>Co (Κοβάλτιο)</b>	0,05	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/L σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό σε φυτά ντομάτας. Τείνει, όμως, να αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
<b>Cr (Χρώμιο)</b>	0,20	Γενικά θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο. Προτείνονται σχετικά συντηρητικές συγκεντρώσεις εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης για τις τοξικές του επιδράσεις σε φυτικά είδη.
<b>Cu (Χαλκός)</b>	0,20	Σε συγκεντρώσεις από 0,1 mg/L έως 1,0 mg/L σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό σε αρκετά είδη φυτών.
<b>F (Φθόριο)</b>	1,00	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
<b>Fe (Σίδηρος)</b>	5,00	Σε καλά αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Συνεργεί στη μείωση του pH του εδάφους και ανταγωνίζεται το P και το Mo. Επίσης, εναποτίθεται σε διάφορα μέρη των δικτύων διανομής του αρδευτικού νερού και ακόμη και σε φυτικές επιφάνειες στις περιπτώσεις άρδευσης με καταιονισμό.
<b>Li (Λίθιο)</b>	2,50	Σε συγκεντρώσεις μέχρι 5 mg/L είναι ανεκτικό στα περισσότερα είδη φυτών. Είναι κινητικό στο έδαφος. Στ εσπεριδοειδή, όμως, είναι τοξικό σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (>0,07 mg/L). Γενικά επιδρά όμοια με το B.
<b>Mn (Μαγγάνιο)</b>	0,20	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις από 0,1 mg/L έως 1,0 mg/L, αλλά μόνο σε όξινα εδάφη.
<b>Mo (Μολυβδένιο)</b>	0,01	Σε κανονικές συγκεντρώσεις δεν είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Mo.
<b>Ni (Νικέλιο)</b>	0,20	Τοξικό σε διάφορα είδη φυτών σε συγκεντρώσεις από 0,5 έως 1,0 mg/L. Η τοξικότητά του, όμως, ελαττώνεται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
<b>Pb (Μόλυβδος)</b>	5,00	Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προξενήσει ανάσχεση αύξησης των φυτικών κυττάρων.
<b>Se (Σελήνιο)</b>	0,02	Τοξικό στα φυτά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,0225 mg/L) καθώς επίσης και σε ζώα, που τρέφονται με τροφές που παράχθηκαν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις Se. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις θεωρείται απαραίτητο στοιχείο στα ζώα.
<b>Sn (Κασσίτερος)</b>	-	Δε προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητά του είναι άγνωστη.
<b>Ti (Τιτάνιο)</b>	-	(όπως και στο Sn)
<b>W (Βολθάνιο)</b>	-	(όπως και στο Sn)
<b>V (Βενάδιο)</b>	0,10	Τοξικό σε πολλά φυτά σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις.
<b>Zn (Ψευδάργυρος)</b>	2,00	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις που ποικίλλουν. Η τοξικότητά του ελαττώνεται σε εδάφη με pH>6,0 και καλής υφής ή οργανικά εδάφη.

(α) Οι μέγιστες συγκεντρώσεις βασίζονται στην εφαρμογή αρδευτικού νερού ύψους 1200 mm/yr σε εδάφη υπό ορθολογική γεωργική διαχείριση.

**Πίνακας 5.6.** : Οδηγίες για τα κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων μη-απευθείας χρήσης τους για ύδρευση (Jimenez, 2003)

Τρόπος εμπλουτισμού	Κριτήρια εμπλουτισμού
<b>Εμπλουτισμός με λεκάνες διήθησης</b>	Πρωτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση, επιπρόσθετα αυτής στο SAT, εναλλαγή ξηρών και υγρών περιόδων, καθώς επίσης και υδραυλικών φορτίσεων και φορτίσεων μάζας για την αποφυγή ρύπανσης του εδάφους, στη περίπτωση που τα αιωρούμενα στερεά είναι κυρίως ανόργανα συστατικά.
	Πρωτοβάθμια προωθημένη επεξεργασία και απολύμανση, επιπρόσθετα εναλλαγή ξηρών και υγρών περιόδων, καθώς επίσης και υδραυλικών φορτίσεων και φορτίσεων μάζας για την αποφυγή ρύπανσης του εδάφους, στη περίπτωση που τα αιωρούμενα στερεά είναι κυρίως ανόργανα συστατικά.
	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση με ορθή λειτουργία του συστήματος SAT.
	Πιθανή προωθημένη επεξεργασία εξαρτωμένη από τις τοπικές προϋποθέσεις.
	Επίτευξη κριτηρίων πόσιμου νερού μετά από κατείσδυση. Παρακολούθηση κολοβακτηριδίων, pH, υπολειμματικού χλωρίου, κριτήρια πόσιμου νερού ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Απόσταση του σημείου άντλησης (600 m) ή αναλόγως με τις τοπικές συνθήκες.
<b>Εμπλουτισμός με γεωτρήσεις</b>	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, φίλτραση, απολύμανση, εξελεγμένη επεξεργασία.
	Ποιότητα πόσιμου νερού με μη-ανιχνεύσιμα FC/100 mL, περιορισμένη θολότητα, 1 mg/L υπολειμματικό χλώριο, pH μεταξύ 6,5 και 8,5 και άλλα. Απόσταση του σημείου άντλησης (600 m) ή αναλόγως με τις τοπικές συνθήκες.

Η καταλληλότητα της οδηγίας του W.H.O. να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για το νερό άρδευσης διαφαίνεται στο σημείο της οδηγίας, όπου χαρακτηριστικά αναφέρεται: "Μικρότερος βαθμός απομάκρυνσης (απ' αυτόν που απαιτείται για να επιτευχθεί η προτεινόμενη ποιότητα της οδηγίας για απεριόριστη άρδευση), μπορεί να είναι αποδεκτός, εάν άλλα μέτρα προστασίας της δημόσιας υγείας εφαρμοσθούν ή η ποιότητα των υγρών αποβλήτων μετά την επεξεργασία, βελτιωθεί περαιτέρω με αραίωση με φυσικά νερά, παρατεταμένη αποθήκευση ή μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις με ποταμούς ή αγωγούς" (W.H.O., 1989).

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

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

## **5.6. Επαναχρησιμοποίηση στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής**

Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει ομοσπονδιακή νομοθεσία που να ρυθμίζει άμεσα την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στις Η.Π.Α. Ωστόσο, αρκετές Πολιτείες έχουν θεσπίσει σχετική νομοθεσία. Επίσης, η U.S. E.P.A. έχει εκδώσει συγκεκριμένα οδηγία. Μέχρι το 1992, 18 Πολιτείες είχαν θεσπίσει κανονισμούς για επαναχρησιμοποίηση, 18 Πολιτείες είχαν αντίστοιχες οδηγίες και 14 Πολιτείες δεν είχαν θεσπίσει ούτε κανονισμούς, ούτε οδηγίες. Οι περισσότερες πολιτείες δεν έχουν θεσπίσει νομοθεσία, που να καλύπτει το σύνολο των δυνατών εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης. Κάποιες άλλες πολιτείες όπως η Αριζόνα, η Καλιφόρνια, η Φλόριντα και το Τέξας έχουν εκτενείς κανονισμούς ή οδηγίες, που προδιαγράφουν απαιτήσεις για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης. Ειδικά τα κριτήρια που έχει υιοθετήσει η Καλιφόρνια έχουν αποτελέσει και συνεχίζουν να αποτελούν μοντέλο για την ανάπτυξη οδηγιών/κανονισμών επαναχρησιμοποίησης και σε άλλες Πολιτείες και χώρες του κόσμου.

Σημαντικές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στη φιλοσοφία που διέπει την ανάπτυξη σχετικής νομοθεσίας από τη μια Πολιτεία στην άλλη. Σε μερικές πολιτείες, όπως η Αριζόνα, η Καλιφόρνια, η Φλόριντα και το Τέξας, το ανακτημένο νερό αντιμετωπίζεται ως υδατικός πόρος και γι' αυτό έχουν αναπτύξει νομοθεσίες, που ενθαρρύνουν την επαναχρησιμοποίηση στα πλαίσια στρατηγικής προστασίας των υδατικών πόρων. Ο αντικειμενικός στόχος στις περιπτώσεις αυτές είναι η εξαγωγή του μέγιστου δυνατού οφέλους, από την ορθολογική χρήση των υδατικών πόρων και παράλληλα η προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας. Αυτό επιδιώκεται διαμέσου ενός σύγχρονου νομοθετικού πλαισίου, που καθιστά την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων ακόμη και υποχρεωτική.

Ιδιαίτερα η νομοθεσία της Καλιφόρνια είναι δεσμευτική για τη χρήση νερού κατάλληλου για ύδρευση σε μη πόσιμες χρήσεις εάν ικανοποιητικής ποιότητας ανακτημένο νερό είναι διαθέσιμο και πληροί ορισμένες προϋποθέσεις όπως, λογικό κόστος, ασφαλές για τη δημόσια υγεία, δεν επηρεάζει το καθεστώς χρήσης νερού κατάντη, δεν υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού, και δεν είναι επιβλαβές στη χλωρίδα και πανίδα και γενικότερα στο περιβάλλον. Άλλες διατάξεις της σχετικής νομοθεσίας προβλέπουν την υποχρεωτική επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση χώρων πρασίνου σε συγκροτήματα κατοικιών, βιομηχανικές εφαρμογές όπως νερό ψύξης και καθαριότητα τουαλετών σε κτίρια, που δεν χρησιμοποιούνται για κατοικίες. Επίσης τοπικά, όπου έχουν θεσπιστεί κανονισμοί, η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για ορισμένες περιπτώσεις θεωρείται υποχρεωτική. Για παράδειγμα, η τοπική αρχή υδάτων της περιοχής Irvine Ranch, στην Καλιφόρνια έχει θέσει σε ισχύ από το 1990 Διάταγμα με το οποίο όλα τα κτίρια, που είναι υψηλότερα από 17 m υποχρεούνται να εγκαταστήσουν διπλό σύστημα διανομής νερού για χρήση ανακτημένων νερών στις τουαλέτες στις περιοχές όπου αυτά είναι διαθέσιμα.

Η Φλόριντα επίσης, εφαρμόζει μια ενεργή πολιτική, η οποία απαιτεί τον καθορισμό περιοχών, που αντιμετωπίζουν ή προβλέπεται να αντιμετωπίσουν προβλήματα διαθεσιμότητας νερού. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία απαιτείται η διερεύνηση της βιωσιμότητας επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων από εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε αυτές τις "κρίσιμες" περιοχές σε βαθμό, που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί "λογικός" εκτός από τη περίπτωση, που κάτι τέτοιο αποδειχθεί ότι δεν είναι εφικτό από οικονομικής, περιβαλλοντικής ή τεχνικής πλευράς. Επαναχρησιμοποίηση μπορεί να θεωρηθεί και σε περιοχές, που δεν χαρακτηρίζονται ιδιαίτερης ευαισθησίας, ως προς τους υδατικούς πόρους, εάν το ανακυκλωμένο νερό είναι άμεσα διαθέσιμο και είναι εφικτή η χρήση του από οικονομικής, περιβαλλοντικής και τεχνικής άποψης.

Αντίθετα, ορισμένες Πολιτείες έχουν αναπτύξει νομοθετικά πλαίσια αντιμετωπίζοντας την επαναχρησιμοποίηση απλώς, ως μια εναλλακτική διάθεση των εκρών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και όχι ως μέρος της συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η νομοθεσία προσανατολίζεται κυρίως στη ρύθμιση εφαρμογών, όπως η εδαφική εφαρμογή, παρά χρήσεων, που παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό ωφελιμότητας (Ohio, Oregon, Kentucky και άλλες).

#### **5.6.1.Ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια**

Η Καλιφόρνια έχει μακρά ιστορία στην επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και είναι η Πολιτεία που θεσμοθέτησε τον πρώτο σχετικό κανονισμό το 1918. Ο κανονισμός αυτός έχει υποστεί αναθεωρήσεις και επεκτάσεις και με τη σημερινή του μορφή, όπως διαμορφώθηκε το 1978, αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης και σε άλλες πολιτείες των Η.Π.Α. και χώρες του κόσμου. Τα μικροβιολογικά κριτήρια και τα συνεπαγόμενα επίπεδα επεξεργασίας (Πίνακας 5.7.) δεν βασίζονται σε επιδημιολογικές έρευνες, αλλά σε μία προσπάθεια ελαχιστοποίησης των θεωρητικών κινδύνων από την επαναχρησιμοποίηση εκρών υγρών αποβλήτων. Βασική παράμετρος θεωρείται η πιθανότητα ανθρώπινης έκθεσης στις εκροές, η οποία καθορίζει

και το μέγεθος του κινδύνου. Έμμεσα θεωρείται η διάκριση σε περιορισμένη και απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση.

Κατά την περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση για άρδευση καλλιεργειών, που δεν παράγουν βρώσιμα προϊόντα, όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές και υπό όρους ορισμένα οπωροκηπευτικά και αμπελώνες, δεν τίθενται μικροβιολογικά όρια και μέχρι πρόσφατα προτεινόταν κατ' ελάχιστο η πρωτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων, σε αναλογία με τις αντίστοιχες απαιτήσεις της οδηγίας του W.H.O για τις κατηγορίες (Πίνακας 5.2.):

- Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημόσιων πάρκων.
- Άρδευση δημητριακών βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων.

Ωστόσο, η ελάχιστη απαίτηση πρωτοβάθμιας επεξεργασίας για αστικά υγρά απόβλητα που επαναχρησιμοποιούνται στις πιο πάνω εφαρμογές αναθεωρήθηκε σε δευτεροβάθμια επεξεργασία (χωρίς απολύμανση). Στον κανονισμό της Καλιφόρνια και για την κατηγορία της περιορισμένης άρδευσης γίνονται περαιτέρω διαφοροποιήσεις, που αφορούν βοσκότοπους, επιφανειακή άρδευση καλλιεργειών που παράγουν βρώσιμα προϊόντα, άρδευση γηπέδων, γκολφ και άλλων, καθώς και ορισμένες κατηγορίες τεχνητών λιμνών, όπου αναγνωρίζεται μία, έστω σχετικά περιορισμένη πιθανότητα επαφής με το νερό και επομένως με παθογόνους μικροοργανισμούς. Στις περιπτώσεις αυτές τα μικροβιολογικά όρια, εκφρασμένα σε διάμεσες τιμές των TC, κυμαίνονται από 2,2 έως 23 ανά 100 mL και οι προτεινόμενες επεξεργασίες βασίζονται στη βιολογική επεξεργασία με λιγότερο ή περισσότερο έντονη απολύμανση (συνήθως με χλώριο).

Τέλος, στην περίπτωση της απεριόριστης επαναχρησιμοποίησης (η οποία περιλαμβάνει και την απεριόριστη άρδευση) κατά την οποία αναγνωρίζεται μεγάλη πιθανότητα άμεσης επαφής με το ανακυκλωμένο νερό (είτε διαμέσου κολύμβησης ή διαμέσου κατανάλωσης προϊόντων, που έχουν έρθει σε επαφή με τις εκροές), ο κανονισμός απαιτεί εκροές οι οποίες πρακτικά είναι απαλλαγμένες από παθογόνους μικροοργανισμούς με όριο για TC τα 2,2/100 mL ως διάμεση τιμή και τα 23/100 mL ως μέγιστη τιμή. Εκ πρώτης όψεως τα όρια αυτά δεν φαίνονται να διαφέρουν πολύ από αυτά της αμέσως προηγούμενης κατηγορίας (2,2/100 mL διάμεση τιμή), στην πραγματικότητα όμως τα προτεινόμενα όρια επιτυγχάνονται μόνο με πλήρη τριτοβάθμια επεξεργασία με κροκίδωση, καθίζηση, φίλτραυση και απολύμανση.

Έτσι, επιτυγχάνεται και υψηλή απομάκρυνση ιών. Εξαιτίας της ισχυρής συσχέτισης των παθογόνων με τα στερεά σωματίδια τα οποία μπορούν να προστατεύσουν τα παθογόνα από τους απολυμαντές, εισήχθη η παράμετρος της θολότητας, προκειμένου να διασφαλιστεί αποτελεσματική απομάκρυνση ιών κατά τη διαδικασία απολύμανσης (E.M.Π., 2000). Σε εφαρμογές όπου είναι πιθανή η άμεση ανθρώπινη επαφή, η θολότητα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2 NTU σε συνεχή βάση παρακολούθησης.

Τα κριτήρια που είχε θεσπίσει η πολιτεία της California για γεωργική και άλλες χρήσεις ανακτώμενων υγρών αποβλήτων (Πίνακας 5.7.) έχουν αναθεωρηθεί σε αυτά που αναφέρονται στον Πίνακα 5.8. Σε αυτά ουσιαστικά θεσπίζονται τέσσερις κατηγορίες ποιότητας ανακυκλωμένου νερού. Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης εκτός από όρια παθογόνων οργανισμών, θολότητας και απαιτήσεις επεξεργασίας περιλαμβάνουν προδιαγραφές και για την αξιοπιστία της επεξεργασίας.

Οι προδιαγραφές αυτές αναφέρονται σε εφεδρικά συστήματα ενέργειας και ασφαλείας, πολλαπλές ή εφεδρικές μονάδες επεξεργασίας, σε αποθήκευση ή διάθεση μερικώς επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε περιπτώσεις ανάγκης, ελαχιστοποίηση παρακάμψεων στη διαδικασία επεξεργασίας, μηχανισμούς παρακολούθησης, αυτοματοποίηση λειτουργίας και θέματα σχεδιασμού για πιο ευέλικτη λειτουργία.

Επιπλέον οι προτεινόμενες προσθήκες στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνουν τις ακόλουθες απαιτήσεις αποστάσεων ασφαλείας:

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

Άλλα μέτρα ελέγχου χώρου, περιλαμβάνουν περιορισμό των απορροών κατά τη χρήση ανακυκλωμένου νερού, προστασία χώρων αναψυχής, τοποθέτηση προειδοποιητικών πινακίδων όπως «Ανακυκλωμένο νερό – Δεν πίνεται» και άλλα. Σε θέσεις όπου γίνεται χρήση ανακτημένου νερού, απαγόρευση απευθείας σύνδεσης συστημάτων ανακτημένου νερού σε συστήματα διανομής πόσιμου νερού, εφαρμογή συστημάτων αποτροπής επιστροφής νερού στα δίκτυα διανομής πόσιμου νερού σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται διπλό σύστημα δηλαδή πόσιμου και ανακτημένου νερού (State of California, 2003).

Γενικά ο εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων που αποτελούν πηγή πόσιμου νερού, με εκροές υγρών αποβλήτων αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό καθώς πρόκειται για έμμεση πόση που σχετίζεται άμεσα με τη δημόσια υγεία. Γι' αυτό σε πολλές πολιτείες των Η.Π.Α. ο εμπλουτισμός υδροφορέων με νερό που ανακτάται από υγρά απόβλητα προωθημένης επεξεργασίας, αντιμετωπίζεται ως ιδιαίτερη περίπτωση από τις αρμόδιες τοπικές υπηρεσίες. Παράγοντες που θεωρούνται πρωτίστης σημασίας για τον εμπλουτισμό υδροφορέων στις Η.Π.Α. είναι το επίπεδο επεξεργασίας, το βάθος του υδροφόρου, ο χρόνος κατακράτησης, το ποσοστό εκροής σε σχέση με το συνολικό δυναμικό του υδροφορέα, η απόσταση άντλησης από το σημείο εφαρμογής των εκροών και η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού του υδροφορέα (Asano, 1985, Nellor et al., 1985 και State of California, Depts. of Water Resour. and Health Serv., 1978).

Θεωρώντας τους προαναφερόμενους παράγοντες η Πολιτεία της Καλιφόρνιας θέσπισε κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων το 1994. Αυτά τα κριτήρια περιγράφονται στον Πίνακα 5.9.

**Πίνακας 5.7.** : Κριτήρια που έχει θεσπίσει η πολιτεία της California για γεωργική και άλλες χρήσεις ανακτώμενων υγρών αποβλήτων (State Calif., Dept. of Health Serv., 1978, E.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Χρήση ανακτώμενων υγρών αποβλήτων	Επίπεδο επεξεργασίας			
	Πρωτοβάθμια <sup>α</sup>	Δευτεροβάθμια <sup>β</sup>	Πρωθυμής ή Τριτοβάθμια <sup>γ</sup>	TC σε ημερήσια δείγματα (MPN/ 100 mL)
<b>Άρδευση (γεωργικά είδη)</b>				
Κτηνοτροφικά φυτά	♦			Δεν απαιτείται
Φυτά για παραγωγή ινών	♦			
Φυτά για παραγωγή σπόρων	♦			
<b>Φυτά για παραγωγή φυτικών τροφών άμεσης κατανάλωσης:</b>				
α) Άρδευση με καταιονισμό			♦	2,2
β) Επιφανειακή άρδευση		♦		2,2
<b>Φυτά για παραγωγή φυτικών τροφών για μεταποίηση:</b>				
α) Άρδευση με καταιονισμό		♦		23,0
β) Επιφανειακή άρδευση	♦			Δεν απαιτείται
<b>Άρδευση κοινόχρηστων χώρων:</b>				
α) Ιππόδρομοι, νεκροταφεία, δρόμοι		♦		23,0
β) Πάρκα, σχολικοί κήποι κ.ά.			♦	2,2
<b>Άλλες χρήσεις (αναψυχής):</b>				
α) Χωρίς δημόσια επαφή		♦		23,0
β) Λεμβοπλοία και αλιεία		♦		2,2
γ) Με δημόσια επαφή		♦		2,2

(α) Λιγότερα από 0,5 mg/L καθιζάνοντα στερεά.

(β) Συμπεριλαμβάνεται και απολύμανση.

(γ) Περιλαμβάνει κυρίως κροκίδωση, φιλτράρισμα (με εκροή που περιέχει λιγότερη από 2 NTU) και απολύμανση.

**Πίνακας 5.8.** : Αναθεωρημένα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης στη Καλιφόρνια: Επεξεργασία και ποιοτικές απαιτήσεις για μη-πόσιμες χρήσεις ανακυκλωμένων νερών (State of California Title 22 Water Recycling Criteria, 2000, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Τύπος χρήσης	Όρια ολικών κολοβακτηριδίων	Απαιτούμενη επεξεργασία
Άρδευση χορτονομής, ινωδών και κτηνοτροφικών φυτών, οπωρώνων <sup>β</sup> και αμπλελώνων <sup>β</sup> , φυτωρίων <sup>γ</sup> , βολβωδών <sup>γ</sup> , βρεφικών σταθμών, αγροκτημάτων <sup>γ</sup> , γρασιδιών και καθαρισμού τουαλέτας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν απαιτείται</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια</li> </ul>
Άρδευση βοσκοτόπων <sup>δ</sup> , βρεφονηπιακών σταθμών και των γρασιδιών, όπου η δημόσια πρόσβαση δεν είναι περιορισμένη, βιομηχανική χρήση, πυρόσβεση, βιομηχανική τροφοδοσία λεβήτων, εδαφολογική συμπίεση, έλεγχος σκόνης, καθαρισμός δρόμων, πεζοδρόμια και άλλων υπαίθριων χώρων	<ul style="list-style-type: none"> <li>≤23/100 mL</li> <li>≤240/100 mL σε περισσότερα από ένα δείγμα σε μηνιαία περίοδο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια</li> <li>Απολύμανση</li> </ul>
Άρδευση λαχανικών και άλλων εδώδιμων φυτών <sup>ε</sup> χρήση για αναψυχή και εκκολαπτήρια ψαριών	<ul style="list-style-type: none"> <li>≤2,2/100 mL</li> <li>≤23/100 mL σε περισσότερα από ένα δείγμα σε μηνιαία περίοδο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια</li> <li>Απολύμανση</li> </ul>
Άρδευση λαχανικών και άλλων εδώδιμων φυτών <sup>ε</sup> και των ανοικτών περιοχών <sup>φ</sup> , καθαρισμός τουαλέτας, βιομηχανική χρήση, διακοσμητικές πηγές, εμπορικά πλυντήρια και πλύσιμο αυτοκινήτων, παραγωγή χιονιού, πυρόσβεση, βιομηχανική ή εμπορική ψύξη	<ul style="list-style-type: none"> <li>≤2,2/100 mL</li> <li>≤23/100 mL σε περισσότερα από ένα δείγμα σε μηνιαία περίοδο</li> <li>240/100 mL (μέγιστο)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια</li> <li>Απολύμανση</li> <li>Πήξη<sup>θ</sup></li> <li>Φίλτραση<sup>h</sup></li> </ul>
Ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις χωρίς περιορισμό	<ul style="list-style-type: none"> <li>≤2,2/100 mL</li> <li>≤23/100 mL σε περισσότερα από ένα δείγμα σε μηνιαία περίοδο</li> <li>240/100 mL (μέγιστο)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δευτεροβάθμια</li> <li>Απολύμανση</li> <li>Πήξη<sup>θ</sup></li> <li>Φίλτραση<sup>h</sup></li> <li>Διάλυση<sup>i</sup></li> </ul>

(α) Διάμεσος τιμή 7 ημερών.

(β) Καμία επαφή μεταξύ του νερού άρδευσης και του εδώδιμου μέρους του φυτού.

(γ) Καμία άρδευση για τουλάχιστον 14 ημέρες πριν από τη συγκομιδή, την πώληση ή την άδεια της δημόσιας πρόσβασης.

(φ) Πάρκα, παιδικές χαρές, εξωραϊσμός κατοικημένων περιοχών, γκολφ και άλλες περιοχές ανεξέλεγκτης πρόσβασης.

(i) Δεν απαιτείται εάν το εφαρμοζόμενο νερό ελέγχεται για τους εντερικούς ιούς, Giardia και Cryptosporidium.



**Πίνακας 5.9.** : Κριτήρια εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων στην Καλιφόρνια (State of Calif., 1992, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Απαιτήσεις επεξεργασίας και παράμετροι πεδίου	Κατηγορία έργου			
	I	II	III	IV
<b>Απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας</b>				
<b>Δευτεροβάθμια Φίλτραση</b>	♦ <sup>β</sup>	♦	♦	♦
<b>Απολύμανση</b>	♦	♦	♦	♦
<b>Απομάκρυνση οργανικών</b>	♦			♦
<b>Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό ανακτώμενου νερού στις θέσεις άντλησης (%)</b>	50	20	20	50
<b>Βάθος υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τη ταχύτητα διήθησης</b>				
<b>&lt;0,5 cm/min</b>	3 m	3 m	6 m	ME <sup>γ</sup>
<b>&lt;0,8 cm/min</b>	6 m	6 m	15 m	ME <sup>γ</sup>
<b>Ελάχιστος χρόνος παραμονής στον υπόγειο υδροφόρο (μήνες)</b>	6	6	12	12
<b>Οριζόντιος διαχωρισμός<sup>δ</sup> (m)</b>	150	150	300	600

(α) Οι κατηγορίες I, II και III αφορούν επιφανειακές λεκάνες, ενώ η κατηγορία IV απευθείας διάθεση με γεωτρήσεις. Οι κατηγορίες έργου που καθορίζονται στα κριτήρια ανακλούν πρακτικά ένα ισοδύναμο επίπεδο επικινδυνότητας με την προϋπόθεση ότι όλες οι συνθήκες που προδιαγράφονται εφαρμόζονται, καθιστώντας τέσσερις ισοδύναμα αποδεκτές περιπτώσεις έργων εμπλουτισμού.

(β) Σημαίνει ότι απαιτείται η αναφερόμενη διεργασία.

(γ) Μη εφαρμόσιμο.

(δ) Από τα όρια του συστήματος επαναφόρτισης έως το πλησιέστερο σημείο υπόληψης νερού.

Σε αυτόν τον πίνακα οι απαιτήσεις πλήρους επεξεργασίας (δευτεροβάθμια, φίλτραση και απολύμανση), που δίδονται για τους τύπους I, II, III και IV έχει ως αποτέλεσμα παραγωγή εκροής, που είναι ουσιαστικά απαλλαγμένη από εντερικούς ιούς. Επιπρόσθετα, η συνδυασμένη επίδραση της αφομοιωτικής ικανότητας του εδάφους (διήθηση διαμέσου της ακόρεστης ζώνης του) και του χρόνου παραμονής στον υδροφόρο (από 6 έως 12 μήνες) λαμβάνονται υπόψη.

Στα προαναφερόμενα κριτήρια περιλαμβάνονται επίσης αυστηρά όρια για χημικές ενώσεις. Οι συγκεντρώσεις των ανόργανων στοιχείων ή ενώσεων (εκτός από τις ενώσεις αζώτου), αλλά και των οργανικών στις εκροές πριν από την εφαρμογή τους με απ' ευθείας διάθεση με γεωτρήσεις, δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τις μέγιστες τιμές ρυπαντών, που έχουν καθοριστεί για το πόσιμο νερό του κανονισμού αυτής της πολιτείας. Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στις εφαρμοζόμενες εκροές δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10 mg/L αζώτου εκτός από την περίπτωση που μπορεί να τεκμηριωθεί, ότι η συγκέντρωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί πριν οι εκροές φθάσουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Επίσης, προδιαγράφονται απαιτήσεις αραίωσης των εκροών με ποσότητα υπόγειου νερού υπό τη μορφή μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας ανακτημένου νερού, στις θέσεις απόληξης για τον έλεγχο της παρουσίας οργανικών ουσιών στο χρησιμοποιούμενο νερό. Εκτός από τις περιπτώσεις που το ανακτημένο νερό στην απόληξη αποτελεί το 20% (όπως στις κατηγορίες II και ΠΙ), απαιτείται απομάκρυνση των οργανικών ουσιών. Ωστόσο, ακόμα και στις κατηγορίες I και IV, που απαιτείται απομάκρυνση οργανικών, δεν επιτρέπεται συμμετοχή του ανακτημένου νερού στην απόληξη του, μεγαλύτερη από 50%. Επιπλέον, προτείνεται η χρήση του ολικού οργανικού άνθρακα ως υποκατάστατο για τις μη ελεγχόμενες οργανικές ενώσεις, που δημιουργούν προβληματισμό. Αν και ο ολικός οργανικός άνθρακας δεν αποτελεί μέτρηση συγκεκριμένων οργανικών ουσιών, θεωρείται ότι αποτελεί κατάλληλη μέτρηση της ολικής περιεκτικότητας οργανικών στο ανακτημένο νερό για τις ανάγκες καθορισμού τη αποτελεσματικότητας απομάκρυνσης οργανικών. Επισημαίνεται ότι περίπου το 90% του βάρους των οργανικών, που αποτελούν τον ολικό οργανικό άνθρακα στα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα, είναι μη αναγνωρίσιμες. Έτσι, στη νομοθεσία προβλέπεται ότι οι εκροές, που εφαρμόζονται σε υπόγειους υδροφορείς δεν θα πρέπει να περιέχουν περισσότερο από 1 mg/L ολικού οργανικού άνθρακα.

**Πίνακας 5.10.** : Προτεινόμενα (Καλιφόρνια) κριτήρια τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Bouwer, 2002)

Τύπος ρυπαντή	Τύπος εμπλουτισμού	
Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Με λεκάνες διήθησης	Με γεωτρήσεις
Δευτεροβάθμια επεξεργασία		
Φίλτραση	SS ≤ 30 mg/L	
Απολύμανση	4-log αδρανοποίηση ιών, TC ≤ 2,2 TC/100 ml	
Χρόνος κράτησης υπόγειου νερού	6 μήνες	12 μήνες
Οριζόντιος διαχωρισμός	152 m	610 m
Συνήθεις ρυπαντές	Εφαρμογή όλων των κριτηρίων πόσιμου νερού	
Μη συνήθεις ρυπαντές		
Δευτεροβάθμια επεξεργασία	BOD ≤ 60 mg/L, TOC ≤ 16 mg/L	
Αντίστροφη όσμωση	≤ mg/L TOC που να προέρχεται από το εφαρμοζόμενο απόβλητο	100% επεξεργασία μέχρι που TOC ≤ (1 mg/L)/RWC <sup>1</sup>
Κριτήρια διασποράς για SAT με απομάκρυνση 50% TOC	Βάθος του υπόγειου υδροφορέα κατά τον αρχικό ρυθμό διηθητικότητας: < 0,5 cm/min = 3 m και < 0,7 cm/min = 6 m	NA <sup>2</sup>
Ποσοστό ανακυκλωμένου νερού στον υπόγειο υδροφορέα	≤ 50%	

(1) Ποσοστό ανακυκλωμένου νερού που περιέχεται σε υπόγειο νερό που αντλείται από γεωτρήσεις ύδρευσης.

(2) Δεν εφαρμόζεται.

Τα κριτήρια του παραπάνω πίνακα είναι σχετικά πολύπλοκα και μη πρακτικά. Ιδιαίτερα σχολιάζονται αυτά που αφορούν την εφαρμογή  $TOC \leq (1 \text{ mg/L})/RWC$ .

Για επαναχρησιμοποιήσεις που δεν αφορούν ύδρευση, ο βαθμός επεξεργασίας που προτείνεται διαφοροποιείται σε δύο επίπεδα. Ανακτημένες εκροές που χρησιμοποιούνται σε κατηγορίες όπου η επαφή του κοινού ή εργαζομένων (άμεση ή έμμεση) με τις εφαρμοζόμενες εκροές είναι ελεγχόμενη, θα πρέπει να υφίστανται κατ' ελάχιστο δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση, ώστε να επιτευχθεί συγκέντρωση περιττωματικών κολοβακτηριδίων μικρότερη των 200/100 mL.

Επισημαίνεται ότι για εφαρμογές όπως η επιφανειακή άρδευση οπωρώνων και αμπελώνων ή περιορισμένη άρδευση γεωργικών καλλιεργειών που παράγουν προϊόντα που δεν καταναλώνονται ωμά (για τις οποίες η νομοθεσία της Καλιφόρνιας επιτρέπει ως ελάχιστη αποδεκτή επεξεργασία τη δευτεροβάθμια), η U.S. E.P.A. (United States Environmental Protection Agency), συνιστά ένα ελάχιστο επίπεδο απολύμανσης για να αποφευχθούν δυσμενείς συνέπειες από τυχαία επαφή ή επαφή προερχόμενη από ατύχημα ή λανθασμένους χειρισμούς. Όμως, ο ίδιος βαθμός επεξεργασίας και χαρακτηριστικά ποιότητας (δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση και 200 FC/100 mL), αφορούν εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης (άρδευση καλλιεργειών με καταιονισμό που παράγουν προϊόντα που καταναλώνονται ωμά) για τις οποίες στη νομοθεσία της Καλιφόρνιας προβλέπονται αυστηρότερα κριτήρια (2,2/100 ή 23/100 mL TC).

Οι λόγοι για τους οποίους η U.S. E.P.A. συνιστά τα πιο πάνω επίπεδα επεξεργασίας και ποιότητας του ανακτημένου νερού είναι οι ακόλουθες:

- Τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια θα απενεργοποιηθούν ή θα απομακρυνθούν σε χαμηλά ή μη σημαντικά επίπεδα.
- Η συγκέντρωση ενεργών ιών και παρασίτων θα μειωθεί σημαντικά.
- Η απολύμανση δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκροών στο επίπεδο 200 FC/100 mL είναι εύκολα επιτεύξιμη και με μικρό σχετικά κόστος.
- Τέλος, η επίτευξη χαμηλότερου (και όχι μηδενικού) επιπέδου παθογόνων οργανισμών θεωρείται ότι δεν συνεπάγεται αντίστοιχα σημαντικά οφέλη για τη δημόσια υγεία.

Για κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης, όπου απ' ευθείας ή έμμεση επαφή με τις ανακτημένες εκροές είναι πιθανή ή αναμένεται να συμβεί όπως σε διπλά δίκτυα διανομής, όπου μπορεί να συμβεί λανθασμένη σύνδεση στο σύστημα, συνιστάται η απολύμανση να έχει ως αποτέλεσμα την μη ανίχνευση FC στα 100 mL στο ανακτημένο νερό.

Αυτό, το πιο αυστηρό επίπεδο απολύμανσης, αποσκοπεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τριτοβάθμια επεξεργασία (δευτεροβάθμια επεξεργασία, φίλτρανση και απολύμανση) και προσθήκη χημικών κροκιδωτικών πριν τη φίλτρανση, εάν αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα εκροής.

Η U.S. E.P.A. συνιστά απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας καθώς και ποιοτικά όρια παραμέτρων για την επαναχρησιμοποίηση ανακτημένων εκροών αποβλήτων για τους ακόλουθους λόγους:

- Τα ποιοτικά κριτήρια από μόνα τους δεν μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά την ποιότητα των ανακτημένων εκροών, καθώς αναφέρονται σε ενδεικτικές παραμέτρους.
- Ο συνδυασμός ποιοτικών κριτηρίων και επεξεργασίας μειώνει την ανάγκη παρακολούθησης ορισμένων ποιοτικών παραμέτρων.
- Ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις παρακολούθησης και ελέγχου παθογόνων μικροοργανισμών οι οποίες είναι δαπανηρές, χρονοβόρες και σε ορισμένες περιπτώσεις αμφίβολες, χωρίς να διακυβεύεται η προστασία της δημόσιας υγείας.
- Βελτιστοποιείται η αξιοπιστία της διαδικασίας επεξεργασίας.

Όπως και στους κανονισμούς της Καλιφόρνια θεωρείται η παράμετρος της θολότητας προκειμένου να διασφαλισθεί η συγκέντρωση στερεών σωματιδίων σε ικανοποιητικό επίπεδο και συνεπώς η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαιτίας της συσχέτισης των παθογόνων με τα στερεά σωματίδια, που μπορούν να προστατεύσουν τόσο τους ιούς, όσο και τα βακτήρια από τους απολυμαντές. Έτσι, προτείνεται η θολότητα να μην υπερβαίνει κατά μέσο όρο τα 2 NTU, πριν την απολύμανση.

Η οδηγία περιλαμβάνει επίσης, όρια για τα FC χωρίς να περιλαμβάνει όρια για ιούς ή παράσιτα. Τα παράσιτα για τα προτεινόμενα επίπεδα επεξεργασίας και ποιοτικά όρια, δεν αποτελούν πρόβλημα, ιδίως όταν εφαρμόζονται χημικά. Οι ιοί αν και αποτελούν αντικείμενο προβληματισμού στη χρήση ανακτώμενων εκροών, δεν προδιαγράφονται όρια για τους ακόλουθους λόγους (U.S. E.P.A., 1992):

- Ο όγκος πληροφοριών που υποδεικνύει ότι οι ιοί αδρανοποιούνται ή μειώνονται σε χαμηλά ή μη μετρήσιμα επίπεδα με κατάλληλη επεξεργασία.
- Η περιορισμένη δυνατότητα των εγκαταστάσεων και προσωπικού για τη διεξαγωγή σχετικών αναλύσεων.
- Η εργαστηριακή ανάλυση προσδιορισμού ιών μπορεί να διαρκέσει έως και 4 εβδομάδες.
- Δεν υπάρχει συναίνεση στην επιστημονική κοινότητα σχετικά με τη σημασία που μπορεί να έχουν οι ιοί στη δημόσια υγεία, όταν βρίσκονται σε μειωμένες συγκεντρώσεις στο ανακυκλωμένο νερό.
- Δεν έχουν καταγραφεί περιπτώσεις ασθενειών ιογενούς προέλευσης στις ΗΠΑ, που να συνδέονται με τη χρήση εκροών που έχουν ανακτηθεί από υγρά απόβλητα.

Η οδηγία προβλέπει κριτήρια και για την επαναχρησιμοποίηση εκροών που έχουν ανακτηθεί στη βιομηχανία. Υπάρχει ωστόσο μια σημαντική διαφοροποίηση των απαιτούμενων ποιοτικών χαρακτηριστικών, και του βαθμού επεξεργασίας σε σχέση με τις επιμέρους χρήσεις.

**Πίνακας 5.11.** : Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. για επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων (Asano and Levine, 1998, Ε.Δ.Ε.Υ.Α., 2004)

Κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων	Στόχοι επεξεργασίας	Ενδεικτική χρήση
<b>ΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ</b>	Απεριόριστη Δευτεροβάθμια επεξεργασία, φιλτράνση, απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 10 mg/L FC < ND/100 ml Θολότητα < 2 NTU Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> : 1 mg/L pH : 6 έως 9	Άρδευση τοπίων (πάρκα και αυλές), αντιπυρική προστασία, κατασκευαστικές εργασίες, σιντριβάνια, τουαλέτες, κλιματισμός
	Περιορισμένη Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 30 mg/L FC < ND/100 ml TSS < 30 mg/L Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> : 1 mg/L pH : 6 έως 9	Άρδευση περιοχών όπου η διέλευση κοινού είναι μικρή και ελεγχόμενη (νησίδες εθνικών οδών, γήπεδα γκολφ, νεκροταφεία, οικιστικές ζώνες πρασίνου
<b>ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ</b>	Περιορισμένη άρδευση Δευτεροβάθμια επεξεργασία, φιλτράνση, απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 10 mg/L FC < ND/100 ml Θολότητα < 2 NTU Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> : 1 mg/L pH : 6 έως 9	Καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα που καταναλώνονται ωμά
	Απεριόριστη άρδευση Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 30 mg/L FC < 200/100 ml TSS < 30 mg/L Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> : 1 mg/L pH : 6 έως 9	Κτηνοτροφικά φυτά, καλλιέργειες για σπόρο, ανθοκομικές καλλιέργειες, λιβάδια, βοσκές κ.ά.
<b>ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΝΑΨΥΧΗ</b>	Απεριόριστη Δευτεροβάθμια επεξεργασία, φιλτράνση, απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 10 mg/L FC < ND/100 ml Θολότητα < 2 NTU Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> : 1 mg/L pH : 6 έως 9	Κανένας περιορισμός ως προς την ανθρώπινη επαφή (λίμνες που χρησιμοποιούνται για κολύμβηση, Παρασκευή τεχνητού χιονιού
	Περιορισμένη Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 30 mg/L FC < 200/100 ml TSS < 30 mg/L Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> : 1 mg/L pH : 6 έως 9	Ψάρεμα και άλλες χρήσεις αναμυχής που δεν περιλαμβάνουν επαφή
<b>ΠΕΡΙΒ/ΝΤΙΚ Η ΧΡΗΣΗ</b>	Όρια ανά περίπτωση pH, DO, TC θρεπτικά	Χρήση ανακτημένων εκροών σε υδροβιότοπους, αύξηση ροής υδατορευμάτων κ.ά. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, έλεγχος θαλάσσιας διείσδυσης κ.ά.
	Υπόγεια ύδατα Κατά περίπτωση	Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, έλεγχος θαλάσσιας διείσδυσης κ.ά.
Βιομηχανική χρήση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση BOD <sub>5</sub> < 30 mg/L FC < 200/100 ml TSS < 30 mg/L	Συστήματα ψύξης, νερό τροφοδοσίας λεβήτων και κατασκευαστικές χρήσεις
Πόσιμη χρήση	Κριτήρια πόσιμου νερού	Ανάμιξη με αποθέματα πόσιμου νερού

Για μερικές ευρείας εφαρμογής χρήσεις, όπως νερό ψύξης (κυρίως σε ψυκτικά συστήματα με επανακυκλοφορία), νερό τροφοδοσίας λεβήτων και ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες (όπως η βιομηχανία χαρτιού, η χημική βιομηχανία, η υφαντουργία και η βιομηχανία πετρελαιοειδών) η U.S. E.P.A. στηρίζεται κυρίως στα κριτήρια που έχουν προταθεί από άλλους έγκριτους οργανισμούς όπως ο Οργανισμός Ελέγχου Ρύπανσης στο Νερό (W.P.C.F.). Γενικά, τα ποιοτικά κριτήρια αποσκοπούν στην αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως η αθροιστική συσσώρευση ουσιών, η διάβρωση, η ανάπτυξη βιομάζας, και η δημιουργία αφρού στο βαθμό, που σχετίζονται με τις επιμέρους εφαρμογές. Έτσι, τα ποιοτικά κριτήρια για το νερό ψύξης είναι ελαστικότερα, σε σύγκριση με αυτά του νερού τροφοδοσίας λεβητοστασίων, διεργασία για την οποία ανάλογα με την πίεση λειτουργίας μπορεί να απαιτείται ακόμα και αποσταγμένο νερό." Συμπληρωματικά η U.S. E.P.A. συνιστά μια απόσταση ασφαλείας 90 m προκειμένου σταγονίδια μεταφερόμενα με τον αέρα να μην προσεγγίζουν περιοχές που είναι προσπελάσιμες στο κοινό ή τους εργαζόμενους.



**Σχήμα 5.1.** : Σχεδιάγραμμα λεκανών εμπλουτισμού στο Κολοράντο των Η.Π.Α.

Τέλος, για την επαναχρησιμοποίηση εκροών για εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων, που προορίζονται για ύδρευση ή ενίσχυση πόσιμων επιφανειακών νερών, η U.S. E.P.A., εκτός από ορισμένες συστάσεις για το βαθμό επεξεργασίας και την ποιότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, θεωρεί την κατά περίπτωση αξιολόγηση τέτοιων εφαρμογών. Σε γενικές γραμμές τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα που προορίζονται για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων και ενίσχυση επιφανειακών νερών θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από FC και σύμφωνα με τα κριτήρια για το πόσιμο νερό, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις απευθείας εμπλουτισμού με γεωτρήσεις. Για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων καθορίζονται επίσης ο ελάχιστος χρόνος παραμονής των ανακτημένων εκροών στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (ένα έτος) και ελάχιστη απόσταση ασφαλείας για απόληψη νερού 600 m.

## 5.7. Διεθνής νομοθεσία

Σε πολλές χώρες, που βρίσκονται σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές, όπως στην Ν. Αφρική, στο Μεξικό, στη Σιγκαπούρη, στην Ιορδανία και πολλές Πολιτείες των ΗΠΑ (Αριζόνα, Φλόριντα, Τέξας και άλλες), έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος σε αντικείμενα επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων. Στις περισσότερες από αυτές έχουν θεσπισθεί κριτήρια ποιότητας κατά κατηγορία επαναχρησιμοποίησης (Αγγελάκης, 2004):

### 5.7.1. Αυστραλία

Η Υπηρεσία E.P.A στην Πολιτεία New South Wales (N.S.W.) έχει την υπευθυνότητα για τη ρύθμιση της επεξεργασίας και διάθεσης των εκρών υγρών αποβλήτων. Η Πολιτεία N.S.W. από το 1984 έχει θεσπίσει ένα συμβούλιο για την ανάπτυξη οδηγιών και προώθηση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων. Πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι στην περιοχή του Σύδνεϋ επεξεργάζονται περίπου  $1,3 \text{ Mm}^3/d$  από τα οποία  $0,031 \text{ Mm}^3/d$  επαναχρησιμοποιούνται. Οι αντίστοιχες ποσότητες στην περιοχή της Μελβούρνης  $0,8 \text{ Mm}^3/d$  και  $0,017 \text{ Mm}^3/d$ . Τόσο στην περιοχή του Σύδνεϋ όσο και στην περιοχή της Μελβούρνης παρατηρούνται αυξητικές τάσεις επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων (Anderson, 2004). Για τα όρια των μικροβιολογικών παραμέτρων στις επεξεργασμένες εκροές των αποβλήτων αρμόδιο είναι το Υπουργείο Υγείας. Η χρονολογική εξέλιξη της ανάπτυξης οδηγιών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων έχει ως εξής:

- Το 1987 οι Οδηγίες της Πολιτείας N.S.W. προέβλεπαν τρεις κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, μετά από απολύμανση για γεωργική και βιομηχανική χρήση, με τα παρακάτω ποιοτικά κριτήρια (Anderson, 2004):
  - α)  $A < 300 \text{ cfu}/100 \text{ mL FC(GM)}$ , μετά από 30 ημέρες αποθήκευση
  - β)  $B < 750 \text{ cfu}/100 \text{ mL FC(GM)}$ , μετά από 20 ημέρες αποθήκευση
  - γ)  $\Gamma < 2.000 \text{ cfu}/100 \text{ mL FC(GM)}$ , μετά από 10 ημέρες αποθήκευση
- Το 1993 η ίδια Πολιτεία καθιέρωσε οδηγίες για αστική και απεριόριστη χρήση εκρών υγρών αποβλήτων, με τα ακόλουθα ποιοτικά κριτήρια:
  - α)  $\text{FC} < 1/100 \text{ mL}$
  - β)  $\text{TC} < 10/100 \text{ mL}$
  - γ)  $\text{loí} < 5/50 \text{ L}$
  - δ) Παράσιτα  $< 1/50 \text{ L}$
- Το 1995, η N.S.W. E.P.A. διένειμε μια προκαταρκτική επικαιροποίηση των παραπάνω οδηγιών (1987) για γεωργική χρήση με εξειδικευμένες συστάσεις και μετρήσεις για τη προστασία του περιβάλλοντος.
- Το 1997 αναλήφθηκε μια προσπάθεια θέσπισης οδηγιών σε εθνικό επίπεδο από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας για την Υγεία και Ιατρική, το Συμβούλιο Περιβάλλοντος και Διατήρησης της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας και το Συμβούλιο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας. Μια προκαταρκτική έκθεση των ποιοτικών κριτηρίων αυτών των οδηγιών, έχει ως εξής:
  - α) Υψηλή πρόσβαση  $< 10/100 \text{ mL FC}$  (διάμεσος όρος) και σε 4 από τα 5 δείγματα να είναι  $< 20/100 \text{ mL FC}$
  - β) Μέση πρόσβαση  $< 100/100 \text{ mL FC}$  (διάμεσος όρος)
  - γ) Χαμηλή πρόσβαση  $< 1000/100 \text{ mL FC}$  (διάμεσος όρος)
  - δ) Ελεγχόμενη πρόσβαση  $< 10.000/100 \text{ mL FC}$  (διάμεσος όρος)

### 5.7.2. Ιαπωνία

Στην Ιαπωνία σε αντίθεση με άλλες Χώρες που βρίσκονται σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων είναι για αναβάθμιση του περιβάλλοντος, καθαρισμό τουαλετών, βιομηχανική χρήση και παραγωγή χιονιού. Αναλυτικά οι επαναχρησιμοποιούμενες σήμερα ποσότητες περιγράφονται στον Πίνακα 5.12. (Japan Sewage Works Association, 2003 και National Land Agency, 1998).

**Πίνακας 5.12. :** Κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων στην Ιαπωνία

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

### 5.7.3. Ναμίμπια

Στο Windhoek της Ναμίμπια από πολύ νωρίς (1968) σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το πρώτο σε όλο τον κόσμο έργο ανάκτησης πόσιμου νερού από εκροές αστικών υγρών αποβλήτων. Αυτό το έργο σχεδιάστηκε για την ανάκτηση και έμμεση επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων για κάλυψη μέχρι και 50% των συνολικών υδροδοτικών αναγκών της πόλης αυτής, στη διάρκεια των κρίσιμων περιόδων. Η αρχική δυναμικότητα του έργου ήταν  $4.800 \text{ m}^3/\text{d}$  και παρήγαγε νερό αποδεκτής ποιότητας για πόση επί 30 έτη. Το έργο αυτό λειτουργεί επιτυχώς από τις αρχές της 10ετίας του 1970 και μέχρι σήμερα τα αποτελέσματα των μελετών, που έχουν πραγματοποιηθεί, δεν δείχνουν δυσμενείς επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Το έργο αυτό μέχρι σήμερα έχει αναβαθμιστεί και επεκταθεί, με αποτέλεσμα η δυναμικότητά του να έχει φτάσει τα  $21.000 \text{ m}^3/\text{d}$  και να χρησιμοποιεί τεχνολογίες δυαδικών μεμβρανών.

Έτσι, σήμερα προμηθεύει το 31% των συνολικών αναγκών σε νερό της πόλης. Το ανακυκλωμένο νερό αναμιγνύεται με το νερό της μονάδας επεξεργασίας πόσιμου νερού στο Goreangab, πριν από τη διανομή του στη πόλη. Η μέγιστη αναλογία μείξης είναι 1:1 και η οποία παρατηρείται κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας. Ο μέσος όρος μείξης από την αρχή της λειτουργίας του έργου το 1968 είναι 1:3,5. Γενικά όμως, το νερό της μονάδας του Goreangab στη συνέχεια αναμιγνύεται στις δεξαμενές διανομής και με νερό άλλων πηγών και τελικά η μέγιστη αναλογία ανακυκλωμένου νερού στο χρησιμοποιούμενο από τους καταναλωτές χρονικά και χωρικά δεν ξεπερνά το 25% (Αγγελάκης, 2004).



## 5.8. Νομοθεσία στον Ευρωπαϊκό χώρο

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσόγειου είναι η απουσία ενός ενιαίου, διεθνούς ή έστω και περιφερειακού, νομοθετικού πλαισίου. Αξιοσημείωτη είναι η απουσία νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Ε.Ε. Η μόνη αναφορά η οποία είναι αρκετά γενικόλογη γίνεται στην Οδηγία 91/271/EC «...περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων», όπου στο άρθρο 12, § 1 αναφέρεται ότι: «Τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο» (EC, 1991). Πολλές από τις αιτίες μη θέσπισης ενός ενιαίου Νομοθετικού πλαισίου έχουν ήδη αναφερθεί κατά την παρουσίαση και συναξιολόγηση της Οδηγίας του W.H.O. και του κανονισμού της Καλιφόρνιας. Ειδικότερα, για τον χώρο της Ε.Ε. σημαντική παράμετρος για την έλλειψη ενιαίας θεώρησης, είναι οι διαφοροποιήσεις στη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και στις χρήσεις τους μεταξύ των βορείων, των κεντρικών και των νοτίων χωρών-μελών της.

Στις αρχές του 1990, επικράτησαν ισχυρές ξηρασίες στην Ευρώπη, με πιο σημαντική την ξηρασία που έπληξε την Ισπανία την περίοδο 1991-1995, που η επίδρασή της στη γεωργία και την υδροδότηση πόλεων της ήταν πολύ έντονη. Επίσης, ανάλογη ξηρασία σημειώθηκε στην Αγγλία το 1995 προκαλώντας προβλήματα στις καλλιέργειες και επηρεάζοντας τις συνθήκες ύδρευσης. Μοντέλα που αφορούν τις κλιματολογικές αλλαγές προβλέπουν αύξηση της βροχόπτωσης σε περιοχές με ήδη υψηλή βροχόπτωση και μείωση σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές, με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας. Τα φαινόμενα αυτά αναμένεται να είναι εντονότερα στις Μεσογειακές χώρες οι οποίες χαρακτηρίζονται ως περιοχές υψηλής επικινδυνότητας.

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

### 5.8.1.Γαλλία

Στη Γαλλία η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων εκτιμάται σε 3500  $m^3$ /κατ.έτος και έτσι θεωρείται ότι υπάρχει σχετική επάρκεια. Όμως, η άνιση χωρική και χρονική κατανομή των διαθέσιμων πόρων δημιουργεί εποχιακά ελλείμματα σε ορισμένες περιοχές της χώρας. Σύμφωνα με στατιστικά διαθέσιμα στοιχεία, η μέση κατανάλωση νερού στη Γαλλία έχει αυξηθεί κατά 21% τη δεκαετία 1981-91. Ο γεωργικός τομέας καταναλώνει το 42% της συνολικής κατανάλωσης. Αυτό οφείλεται στη σημαντική αύξηση της αρδευόμενης έκτασης (σχεδόν κατά 100%) στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σημαντική ήταν επίσης η αύξηση κατανάλωσης νερού για άρδευση χώρων αναψυχής τα τελευταία έτη. Ο μόνος τομέας χωρίς ουσιαστική αύξηση της κατανάλωσης νερού είναι ο βιομηχανικός τομέας, στον οποίο η ανακύκλωση νερού τα τελευταία έτη έχει συντελέσει σημαντική πρόοδο.

Σχετικά με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων, αυτή αποτελεί μια πρακτική γνωστή από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Σήμερα, η άρδευση με εκροές αστικών υγρών αποβλήτων στη Γαλλία αποτελεί μια πρακτική πολύ διαδεδομένη. Οι κύριοι λόγοι που οδήγησαν στη διάδοση αυτής της εφαρμογής είναι η ανάγκη διατήρησης των υφιστάμενων υδατικών πόρων και η προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

Η νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση βασίζεται στα κριτήρια του W.H.O., τα οποία όμως συμπληρώνονται από μία σειρά αυστηρών όρων, όπως:

- Αυξημένη προστασία υπόγειων και επιφανειακών νερών.
- Περιορισμοί κατά την επαναχρησιμοποίηση ανάλογα με την ποιότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.
- Τα χημικά χαρακτηριστικά προς χρήση εκροών.
- Υγειονομικός έλεγχος, που διενεργείται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και άρδευσης.
- Εκπαίδευση του προσωπικού και των υπευθύνων λειτουργίας έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης.

### 5.8.2. Ιταλία

Στην Ιταλία και κυρίως στη νότια χώρα (Σικελία, Σαρδηνία και άλλες περιοχές) παρατηρείται ελλειμματικό ισοζύγιο (ποσοτικά και ποιοτικά) υδατικών πόρων κυρίως σε έτη ξηρασίας ή τη θερινή περίοδο. Ακόμη η παρατηρούμενη μείωση των διαθέσιμων συμβατικών υδατικών πόρων τα τελευταία έτη, έχει προκαλέσει επιπτώσεις στην απόδοση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Η χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων, όπως είναι οι εκροές των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πιστεύεται ότι θα συμβάλει στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

Στην Ιταλία η αρχική νομοθεσία που κάλυπτε σε εθνικό επίπεδο την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση θεσπίστηκε το 1976. Ο Νόμος 319/1976 (γνωστός ως Νόμος του Merli) περί προστασίας των υδάτων, όπως συμπληρώθηκε από το διάταγμα «Κριτήρια, Μεθοδολογία και Γενικά Τεχνικά Κριτήρια», που εκδόθηκε το 1997 από το Υπουργείο Δημοσίων Έργων, παρέχει ένα αυστηρό, από βακτηριολογικής άποψης, νομοθετικό πλαίσιο. Για άρδευση καλλιεργειών που τα παραγόμενα προϊόντα πρόκειται να καταναλωθούν ωμά (απεριόριστη άρδευση) καθορίζεται δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση για επίτευξη 2 TC/100 ml, ενώ για άρδευση βοσκοτόπων (περιορισμένη άρδευση) απαιτούνται 20 TC/100 ml.

Επιπλέον, προσδιορίζονται μέτρα ελέγχου όπως προειδοποιητικές πινακίδες για την οριοθέτηση περιοχών που αρδεύονται με ανακτημένες εκροές και ζώνες προστασίας 80 m, ανεξάρτητα από την ποιότητα των ανακτημένων εκροών ή την μέθοδο άρδευσης. Από αγρονομικής άποψης τα κριτήρια αυτά προδιαγράφουν μέγιστη τιμή για την προσροφητική αναλογία Na (SAR) τις 15 μονάδες.

Ένας νέος Νόμος-Διάταγμα αριθ. 152 νομοθετήθηκε στις 11/5(1999 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος). Αυτός αναθεωρεί συνολικά τα κριτήρια ανάκτησης, επαναχρησιμοποίησης και διάθεσης υγρών αποβλήτων και ουσιαστικά ακυρώνει το νόμο αριθ. 319/76. Έτσι, σχετικά με τη χρήση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση αυτή θεωρείται ως διάθεση στο έδαφος και επιτρέπεται μόνο όταν αυτή συνεπάγεται αύξηση της παραγωγής. Το ανώτατο όριο για την προσροφητική αναλογία του Na (SAR) παραμένει 15, αλλά μια μέγιστη τιμή 10 προτείνεται. Η παρουσία TC στη χρησιμοποιούμενη εκροή για άρδευση πρέπει να είναι ελάχιστη, ιδιαίτερα στην περίπτωση άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά. Όρια για τοξικά συστατικά δεν χρησιμοποιούνται, αλλά μια γενικότερη εκτίμηση του όγκου των χρησιμοποιούμενων εκροών σε σχέση με το έδαφος και την αρδευόμενη καλλιέργεια επιβάλλεται να διενεργείται μια φορά κατ' έτος.

Ένας ακόμη νέος Νόμος-Διάταγμα (άρθρο 185/03) νομοθετήθηκε στις 12/06/2003, που θεωρεί 54 συνολικά παραμέτρους. Από αυτές 20% είναι όμοιες με αυτές του πόσιμου νερού και 37% δεν θεωρούνται για το πόσιμο νερό και άλλες είναι αδύνατον να δικαιολογηθούν αγρονομικά. Έτσι, οι δυσκολίες για αποτελεσματική εφαρμογή αυτών των κριτηρίων έχει γίνει πιο προβληματική.

### **5.8.3.Ισπανία**

Στην Ισπανία σήμερα υφίσταται τόσο προκαταρκτική εθνική νομοθεσία (προς το παρόν σε στάδιο πρότασης), όσο και περιφερειακοί κανονισμοί σε αυτόνομες περιοχές. Ωστόσο, σε περιοχές που διαθέτουν κάποιο βαθμό διοικητικής αυτονομίας, όπως η Καταλονία και η Ανδαλουσία, ισχύουν λιγότερο αυστηροί κανονισμοί, που σε γενικές γραμμές βασίζονται στις οδηγίες του W.H.O.

Η αλλαγή της κυβέρνησης τον Μάρτιο του 1996 στην Ισπανία, ανέστειλε την υιοθέτηση ενός Εθνικού Υδρολογικού Σχεδίου, στο οποίο συμπεριλαμβάνονταν και η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων. Έτσι, προβλέπεται μελλοντικά ριζική αλλαγή της φιλοσοφίας της Ισπανικής πολιτικής νερού, με υιοθέτηση καινούργιου νομοθετικού πλαισίου για τους υδατικούς πόρους.

Ένα πρώτο νομοθέτημα, σχετικό με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, το οποίο αναπτύχθηκε το 1995, προσέγγιζε κατά πολύ τα κριτήρια της Καλιφόρνιας. Ωστόσο, μερικά έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, που είχαν σχεδιαστεί, υπολείπονταν από τα όρια αυτού του σχεδίου για τις ξηρές και ημίξηρες περιοχές της Ισπανίας. Σε εθνικό επίπεδο έχει ετοιμασθεί μια «Λευκή Βίβλος», που αναμένεται να δημοσιευτεί, που ενσωματώνει την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στις συμβατικές διαθέσιμες πηγές νερού.

Σήμερα η Ισπανία πρωτοπορεί στην υιοθέτηση ποιοτικών κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. Έτσι, η Aqbar (Επιχείρηση Ύδρευσης, Αποχέτευσης της Ευρύτερης Περιοχής της Βαρκελώνης) συγχρηματοδοτεί μια προσπάθεια ανάπτυξης σχετικών κριτηρίων σε Μεσογειακό επίπεδο.

#### 5.8.4. Κύπρος

Στη Κύπρο τα απόβλητα που παράγονται στις μεγαλύτερες πόλεις υπολογίζονται σε περίπου  $25 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ , και σχεδιάζεται η συλλογή και χρησιμοποίησή τους για άρδευση μετά από τριτοβάθμια επεξεργασία. Αυτό θα επιτρέψει την αύξηση της αρδευόμενης γεωργικής έκτασης σε ποσοστό 8 – 10%, ενώ θα εξοικονομηθεί ένα ισοδύναμο ποσό νερού για άλλες χρήσεις (Papadopoulos, 1995). Αντίθετα, η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων βιομηχανικών αποβλήτων στη γεωργία δεν θεωρείται εφικτή, καθώς η βιομηχανική ανάπτυξη στην Κύπρο είναι διάσπαρτη και σε πολλές περιπτώσεις σε περιοχές όπου δεν υπάρχει γεωργική δραστηριότητα. Ο συνολικός όγκος βιομηχανικών αποβλήτων, που παράγεται σήμερα στην Κύπρο, εκτιμάται σε 2,5 εκατ.  $\text{m}^3/\text{yr}$ .

Στην Κύπρο απαγορεύεται η απευθείας διάθεση ακόμη και εκρών τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε παράκτια νερά, εκβολές ποταμών ή επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, που χρησιμοποιούνται για την υδροδότηση πόλεων. Ο Κυπριακός Κώδικας Εφαρμογής για τη διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά νερά επιτρέπει τη διάθεση εκρών τριτοβάθμιας επεξεργασίας, σε νερά ποταμών μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις και υπό την προϋπόθεση ότι η διατιθέμενη ποσότητα είναι μικρότερη από το 10% της βασικής ροής του ποταμού (Ε.Μ.Π., 2000). Οι σχετικές προδιαγραφές για την διάθεση εκρών σε επιφανειακά ύδατα συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα εκροής θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις, που ορίζονται για επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση όλων των γεωργικών καλλιεργειών.
- Εναρμόνιση με την οδηγία 91/271/EC, που προβλέπει ότι στην περίπτωση διάθεσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε ευαίσθητα ύδατα, η συγκέντρωση N θα πρέπει να είναι μικρότερη από  $10 \text{ mg N/L}$  και αυτή του P χαμηλότερη από 1 έως  $2 \text{ mg P/L}$ .
- Στις περιπτώσεις διάθεσης εκρών σε υδατορεύματα, λίμνες ή φράγματα, απαιτούνται επιπρόσθετοι έλεγχοι προσδιορισμού της πιθανής τοξικότητάς τους.
- Απαγορεύεται η διάθεση εκρών σε πόρους που χρησιμοποιούνται για πόσιμη χρήση.

Σύμφωνα με τη Νομοθεσία (69/91) περί ελέγχου της ρύπανσης των υδάτων, η διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων υπόκεινται σε ελέγχους και κανονισμούς, έτσι, ώστε να αποφεύγονται δυσμενείς επιδράσεις. Οι άδειες διάθεσης χορηγούνται αφού πρώτα εξετασθούν διάφοροι παράγοντες, όπως η τεχνολογία επεξεργασίας, που θα χρησιμοποιηθεί, τα κριτήρια διάθεσης, η ποσότητα που θα διατεθεί και ο αποδέκτης.

Προκειμένου να τεθούν κριτήρια ποιότητας για την Κύπρο έχει οριστεί η «Τεχνική Επιτροπή Ποιότητας Υγρών Αποβλήτων Εκροής» (SESTEC), στην οποία συμμετέχουν ειδικοί από διάφορα υπουργεία (Υπ. Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Υπουργείο Εσωτερικών και Υπουργείο Υγείας). Το έργο της Επιτροπής αυτής επικεντρώνεται στην προετοιμασία κριτηρίων ποιότητας για τη διάθεση κυρίως οικιακών (αστικών) υγρών αποβλήτων και ιλύος, παρά των βιομηχανικών αποβλήτων.

Το έργο της Τεχνικής Επιτροπής προκειμένου να ορίσει «Κυπριακά Κριτήρια Ποιότητας» επικεντρώνεται στις μικροβιολογικές και φυσικοχημικές μη-τοξικές επιμολύνσεις και όχι στις τοξικές ενώσεις καθώς αυτές απαντώνται σε αμελητέες ποσότητες σε υγρά απόβλητα αστικής προέλευσης.

Για τη διατύπωση των Οδηγιών Ποιότητας έχουν υιοθετηθεί δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η μια βασίζεται στις οδηγίες του W.H.O. και η άλλη στον κανονισμό της Καλιφόρνιας στις Η.Π.Α. Τα κριτήρια ποιότητας της Κύπρου είναι ένας συνδυασμός των δύο αυτών προσεγγίσεων με τις τοπικές συνθήκες, χωρίς βέβαια να αποκλείουν ταυτόχρονα τις τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων χαμηλού κόστους, που ευνοούνται από τις κλιματολογικές συνθήκες της νήσου. Τα κριτήρια της Κύπρου ορίζουν, τις μέσες και τις μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις για κάθε θεωρούμενη παράμετρο, ανάλογα με τον τύπο της γεωργικής καλλιέργειας που πρόκειται να αρδευτεί. Επιπλέον, ορίζεται και το επίπεδο επεξεργασίας και απολύμανσης, με στόχο τη διασφάλιση των απαιτήσεων ποιότητας. Επίσης, προκειμένου να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας και να πιστοποιηθεί η καλή αρδευτική εφαρμογή, τα κριτήρια συνοδεύονται από έναν Κώδικα Εφαρμογών, ο οποίος αποτελεί αναπόσπαστο μέρος τους (Ε.Μ.Π., 2000).

#### **5.8.5. Πορτογαλία**

Στη Πορτογαλία μέχρι το 1974, η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ήταν σε πολύ χαμηλό επίπεδο στην Πορτογαλία. Στη συνέχεια, έγινε μία σοβαρή προσπάθεια και από το 1992 το ποσοστό του πληθυσμού της ηπειρωτικής ενδοχώρας που εξυπηρετούνταν από συστήματα πόσιμου νερού, σύστημα αποχέτευσης και μονάδες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων ήταν 77%, 55% και 38%, αντίστοιχα. Αυτά τα ποσοστά αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά πριν από το 2005, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που επιβάλλονται από την Οδηγία για τα υγρά απόβλητα της Ε.Ε. (91/271/EEC). Γνωρίζοντας ότι η προσπάθεια που πραγματοποιήθηκε ήταν επιτυχής, το ποσοστό των επεξεργασμένων, διαθέσιμων για επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην Πορτογαλία διπλασιάστηκε μέχρι το 2000. Το υπολογιζόμενο ποσό επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, που δεν χρησιμοποιήθηκε μέχρι το 2000, θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες αρδέσιμου νερού σε περιόδους ξηρασίας χωρίς εποχιακή αποθήκευση. Με πρόσθετη αποθήκευση, θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά το δυναμικό ποσοστό του διαθέσιμου νερού (Angelakis et al., 1999).

#### **5.8.6. Μάλτα**

Στη Μάλτα οι εκροές χρησιμοποιούνται για άρδευση 6.000  $km^3$  γεωργικών καλλιεργειών με αυλάκια ή καταιονισμό. Η ποιότητα των εκρών είναι κατάλληλη για άρδευση χωρίς περιορισμούς και χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών πατάτας, τομάτας, φασολιών και κουκιών, γλυκιάς πιπεριάς, λάχανων, κουνουπιδιού, μαρουλιού, φράουλας, τριφυλλιού και άλλων. Εξαιτίας της χαμηλής κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο, τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα στη Μάλτα θεωρούνται ισχυρά ( $BODs = 530 \text{ mg/L}$  και  $SS = 445 \text{ mg/L}$ ) και έχουν υψηλή αλατότητα (υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου), εξαιτίας των υψηλών επιπέδων αυτών των ιόντων στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα.

## 5.9. Νομοθεσία στις χώρες της Μεσογείου

Σ' όλες τις χώρες της λεκάνης της Μεσογείου με εξαίρεση την Αλβανία και τις χώρες της τέως Γιουγκοσλαβίας, υπάρχει έκδηλο ενδιαφέρον σε μη συμβατικούς υδατικούς πόρους, όπως είναι οι εκροές που έχουν ανακτηθεί από επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα. Οι εφαρμοζόμενες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης εκροών αστικών υγρών αποβλήτων σε χώρες της Μεσογείου αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.13.

**Πίνακας 5.13.** : Εφαρμοζόμενες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε χώρες της Μεσογείου

Χώρες	Αστική χρήση	Απεριόριστη γεωργική και βιομηχανική χρήση	Περιορισμένη γεωργική χρήση	Μη ανακύκλωση
Αλβανία	-	-	-	♦
Αλγερία <sup>α</sup>	♦	-	-	-
Βοσνία και Ερζεγοβίνη	-	-	-	♦
Κροατία	-	-	-	♦
Κύπρος	♦	♦	♦	
Αίγυπτος	♦	-	♦	-
Γαλλία	♦	♦	♦	-
Ελλάδα	♦	-	♦	-
Ισραήλ	♦	♦	♦	-
Ιταλία	-	♦	♦	-
Λίβανος	-	-	♦	-
Λιβύη	-	-	♦	-
Μάλτα	-	-	♦	-
Μονακό	-	-	-	♦
Μαρόκο	-	-	♦	-
Σλοβενία	-	-	-	♦
Ισπανία	♦	♦	♦	-
Συρία	-	-	♦	-
Τυνησία	♦	♦	♦	-
Τουρκία	-	-	♦	-

α : Μόνο για κτηνοτροφικά φυτά, βοσκές και δενδρώδης καλλιέργειες

Μερικές από τις παραπάνω χώρες έχουν ήδη θεσπίσει κριτήρια κυρίως για χρήσεις που αφορούν την άρδευση. Στον επόμενο Πίνακα εμφανίζεται το νομικό πλαίσιο το οποίο ισχύει στις χώρες της Μεσογείου.

**Πίνακας 5.14. :** Θεσμοθέτηση ή μη κριτηρίων σε χώρες της Μεσογείου

Χώρες	Θεσμοθέτηση κριτηρίων	Σχεδιάζεται θεσμοθέτηση κριτηρίων	Δεν υφίστανται κριτήρια
Αλβανία	-	-	♦
Αλγερία <sup>α</sup>	-	♦	-
Βοσνία και Ερζεγοβίνη	-	-	♦
Κροατία	-	-	♦
Κύπρος	♦	-	-
Αίγυπτος	-	♦	-
Γαλλία	♦	-	-
Ελλάδα <sup>β</sup>	-	♦	-
Ισραήλ	♦	-	-
Ιταλία	♦	-	-
Λίβανος	-	♦	-
Λιβύη	-	♦	-
Μάλτα	-	♦	-
Μονακό	-	-	♦
Μαρόκο	-	♦	-
Σλοβενία	-	-	♦
Ισπανία <sup>γ</sup>	♦	-	-
Συρία	-	♦	-
Τυνησία	♦	-	-
Τουρκία	♦	-	-

α : Προγραμματίζεται εφαρμογή

β : Έχει ανατεθεί μελέτη

γ : Μόνο σε ορισμένες Περιφέρειες (Balearic, Andalucia)

### 5.9.1. Ιορδανία

Στην Ιορδανία η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ρυθμίζεται από την οδηγία JS/893/1995 με τίτλο “Πρότυπες συνθήκες επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων”. Η νομοθεσία ορίζει ως υπεύθυνους για την παρακολούθηση της συμμόρφωσης προς τον προαναφερθέντα νόμο την Αρχή Ύδατος της Ιορδανίας και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Υγείας. Η νομοθεσία ορίζει τα κριτήρια ποιότητας των επεξεργασμένων εκροών, που επιτρέπεται να διατεθούν σε υδατορέματα ή να επαναχρησιμοποιηθούν σε γεωργικές χρήσεις και καθορίζει ένα ελάχιστο επίπεδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Γενικά, τα κριτήρια που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση στην Ιορδανία, ακολουθούν τις γενικές αρχές των Οδηγιών του W.H.O. Η νομοθεσία της Ιορδανίας καθορίζει επτά διαφορετικές κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων για: (α) άρδευση λαχανικών που δεν καταναλώνονται ωμά, (β) άρδευση δέντρων, (γ) βιομηχανική χρήση, (δ) εμπλουτισμό υπογείων υδροφορέων, (ε) ιχθυοκαλλιέργειες, (ζ) άρδευση πάρκων και άλλων χώρων πρασίνου και (η) άρδευση κτηνοτροφικών φυτών.

Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης για άρδευση δέντρων και λαχανικών, που τα προϊόντα τους δεν καταναλώνονται ωμά, εμφανίζονται ως τα αυστηρότερα και απαιτούν εκροές υψηλής ποιότητας, ενώ η άρδευση κτηνοτροφικών καλλιεργειών είναι λιγότερο αυστηρή. Επίσης, τα κριτήρια που αφορούν τον εμπλουτισμό επιφανειακών ή υπογείων νερών είναι πολύ αυστηρότερα. Οι ρυθμίσεις αυτές έχουν στόχο, να αποθαρρύνουν τη διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε υδατικούς αποδέκτες από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και να ενθαρρύνουν την ωφέλιμη χρήση τους. Η νομοθεσία ορίζει και ορισμένες επιπλέον απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στις ρυθμίσεις του W.H.O., όπως είναι:

- Η απαγόρευση επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού για άρδευση καλλιεργειών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά, όπως ντομάτες, καρότα και άλλα λαχανικά.
- Η απαγόρευση εφαρμογής συστημάτων καταιονισμού για άρδευση με ανακτημένο νερό.
- Η απαγόρευση αραίωσης ανακτημένων εκροών με νερό, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ποιότητας.
- Η απαγόρευση εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων με ανακτημένες εκροές στην περίπτωση χρήσης τους για πόσιμη χρήση.
- Η διακοπή της άρδευσης με ανακτημένες εκροές δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή φυτικών μερών.

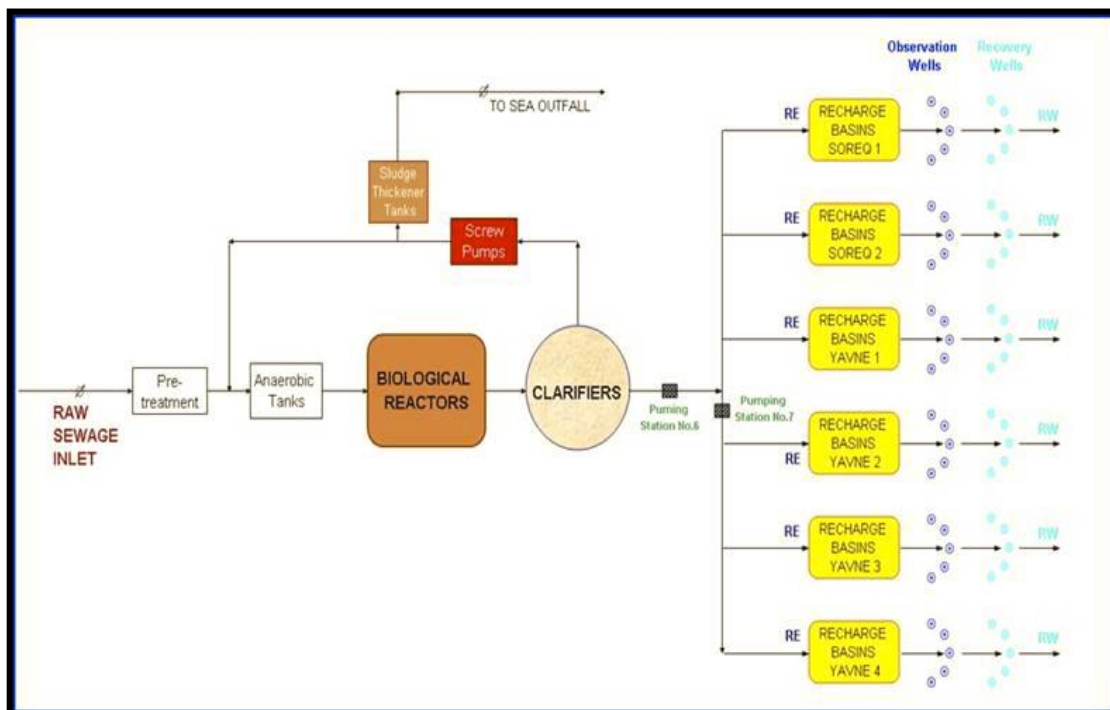
Για την εκτίμηση της ποιότητας των επεξεργασμένων εκροών, η νομοθεσία ορίζει τον απαιτούμενο αριθμό των δειγμάτων, τη συχνότητα δειγματοληψιών και τις παραμέτρους που θα πρέπει να ελέγχονται. Όλες οι αναλύσεις θα πρέπει να διεξάγονται σύμφωνα με πρότυπες και διεθνώς αποδεκτές μεθόδους. Η αναλογία των δειγμάτων που δεν συμφωνούν με τα υφιστάμενα κριτήρια δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% του συνολικού αριθμού δειγμάτων που λαμβάνονται σε κάθε δειγματοληψία.



### 5.9.2. Ισραήλ

Στο Ισραήλ η χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση είναι γνωστή από πολύ νωρίς, τη 10ετία του '70, όταν εφαρμόστηκε για άρδευση βαμβακιού. Από τότε έχει αποκτηθεί τεράστια εμπειρία και σήμερα όλα σχεδόν τα γεωργικά είδη σε αυτή τη χώρα αρδεύονται με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Το 70% περίπου των αστικών υγρών αποβλήτων επεξεργάζονται και χρησιμοποιούνται για άρδευση. Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 200 περίπου δεξαμενές αποθήκευσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, ενώ πρόσθετα έργα προγραμματίζονται ή εκτελούνται. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποτελούν ένα σημαντικό και αναπόσπαστο τμήμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Ένα από τα σημαντικότερα έργα επαναχρησιμοποίησης είναι το ευρύτατο γνωστό έργο του Dan Region, που αφορά τον εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα. Αυτό βασικά αφορά δύο θέσεις: (α) Αυτή που αφορά 4 λεκάνες διήθησης έκτασης 390 στρ. και ακόρεστη ζώνη από 27 έως 36 m και (β) που αφορά 3 λεκάνες έκτασης 180 στρέμματα. Σε χρονική περίοδο δύο ετών εφαρμόστηκε ποσότητα 170  $Mm^3/έτος$  ανακτημένων εκροών. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης γι' αυτό το έργο είναι \$0,03 ανά  $m^3$ . Εξαιτίας του υψηλού ποσοστού χρήσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε αυτή τη χώρα και της εμπειρίας και τεχνογνωσίας που έχει αποκτηθεί αυτή θεωρείται παγκοσμίως πρωτοπόρα σε αυτό τον τομέα. Για αυτό το λόγο, από πολύ νωρίς έχει θεσπισθεί κανονισμός επαναχρησιμοποίησης εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. Σήμερα, ο κανονισμός αυτός βρίσκεται σε στάδιο αναθεώρησης.



**Σχήμα 5.2.** : Το σύστημα Ε.Ε.Α. και το σύστημα εμπλουτισμού με λεκάνες στην περιοχή Dan Region (Icekson, et al., 2002)

### 5.9.3. Τυνησία

Στην Τυνησία, επεξεργασμένα υγρά απόβλητα επαναχρησιμοποιούνται σε περίπου 45 εγκαταστάσεις συνολικής δυναμικότητας περίπου  $130 \text{ Mm}^3/\text{έτος}$ . Μερικά από αυτά είναι τοποθετημένα κατά μήκος της ακτής για να προστατεύσουν παραλιακά θέρετρα και να αποτρέψουν τη ρύπανση της θάλασσας. Τα αστικά υγρά απόβλητα είναι κυρίως οικιακά (περίπου 82% οικιακά, 12% βιομηχανικά και 6% τουριστικά) και υπόκεινται σε δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία. Δεν παρέχεται επιπλέον επεξεργασία εξαιτίας του απαιτούμενου κόστους. Οι διαδικασίες της επεξεργασίας διαφέρουν ανάλογα με την προέλευση των υγρών αποβλήτων και τις τοπικές συνθήκες.

Το VIII Εθνικό Σχέδιο (1992 – 1996) προβλέπει ότι ο ετήσιος βαθμός επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, θα φθάσει τα  $147 \text{ Mm}^3/\text{έτος}$ , επιτρέποντας την άρδευση επιπλέον 180.000 στρ. Μέχρι το 2000, οι επεξεργασμένες εκροές υγρών αποβλήτων αυξήθηκαν κατά 10% των διαθέσιμων υπόγειων νερών. Ακόμη εκτιμάται ότι μέχρι το 2011 η παραγωγή επεξεργασμένων εκροών θα φθάσει τα  $266 \text{ Mm}^3$ . Η επαναχρησιμοποίηση των εκροών αυτών, αναμένεται ότι θα συμβάλει στην εξοικονόμηση υπόγειου νερού και την αποφυγή διείσδυσης θαλάσσιου νερού στους υπόγειους υδροφορείς σε παράκτιες περιοχές (Angelakis et al., 1999).



**Σχήμα 5.3.** : Σύστημα λεκανών εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της περιοχής Hammamet με την εκροή από μονάδα βιολογικού καθαρισμού σε παρακείμενο οικισμό (σύστημα SAT) για αρδευτικούς σκοπούς κατάντη (Μαρίνος, κ.ά., 2008)

Στην Τυνησία σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, απαγορεύεται η χρήση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς. Επίσης, απαγορεύεται η άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται ωμά με εκροές που έχουν ανακτηθεί. Με τη νομοθεσία αυτή, οι εκροές αποβλήτων που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να πληρούν ποιοτικά κριτήρια τέτοια, που να διαφυλάσσονται πιθανές επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία. Η χρήση των ανακτημένων εκροών καθορίζεται από το υπουργείο Γεωργίας σε συνεργασία με τα υπουργεία Υγείας και Περιβάλλοντος.

Η νομοθεσία που ισχύει στην Τυνησία προσομοιάζει με αυτή του W.H.O., όσον αφορά τα μικροβιολογικά κριτήρια. Ωστόσο, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι είναι αντίθετη με αυτή του W.H.O. σε ότι αφορά την απεριόριστη και επιτρέπει μόνο την περιορισμένη άρδευση. Επιπρόσθετα, η νομοθεσία καθορίζει τους όρους για τη δημόσια υγεία (όπως η υγεία των αγροτών και των καταναλωτών) αλλά και για το περιβάλλον. Για παράδειγμα σε περιοχές, όπου εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό, μια ουδέτερη ζώνη πρέπει να δημιουργηθεί έτσι, ώστε, να αποφεύγεται η μεταφορά των παθογόνων διαμέσου σταγονιδίων. Η βόσκηση σε αρδευόμενες εκτάσεις με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απαγορεύεται.

Επίσης, η νομοθεσία καθορίζει τον τύπο των προγραμμάτων ελέγχου τα οποία πρέπει να εφαρμόζονται σε περιοχές αρδευόμενες με τέτοια νερά, όπως αναλύσεις ομάδων φυσικοχημικών παραμέτρων μια φορά το μήνα, αναλύσεις βαρέων μετάλλων μια φορά κάθε εξάμηνο και αυγών νηματωδών κάθε δύο εβδομάδες σε σύνθετο 24/ωρο δείγμα.

#### **5.9.4. Αίγυπτος**

Στην Αίγυπτο δεν έχουν ακόμα υιοθετηθεί οδηγίες αλλά ο στρατιωτικός νόμος του 1984 απαγορεύει τη χρήση εκροών για την άρδευση καλλιεργειών, εκτός αν ήταν επεξεργασμένα σύμφωνα με τα απαιτούμενα ποιοτικά κριτήρια του αρδευτικού νερού. Επίσης, απαγορεύεται η άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται ωμά, με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, ανεξάρτητα από την ποιότητά τους (Angelakis et al., 1999).

#### **5.9.5. Αλγερία**

Στην Αλγερία περίπου 15 Μ.Ε.Υ.Α. (Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων) παρέχουν το 6,3% των εθνικών αναγκών σε συστήματα αποχέτευσης και το 30% της ενεργού πραγματικής δυνατότητάς τους. Δυστυχώς, μερικές από αυτές τις Μ.Ε.Υ.Α. δεν λειτουργούν σήμερα (περίπου το 12% της συνολικής δυναμικότητας). Επίσης, περίπου 20 Μ.Ε.Υ.Α. βρίσκονται υπό κατασκευή (18% της συνολικής δυναμικότητας) και περισσότερο από 100 μονάδες ευρίσκονται στο στάδιο μελέτης. Όπως στην Τυνησία, έτσι και στην Αλγερία ο Νόμος Νερού απαγορεύει τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για την άρδευση λαχανικών, που μπορούν να καταναλωθούν ωμά. Γενικά απαιτείται σχετική άδεια χρήσης μη συμβατικών πηγών νερών.

#### **5.9.6. Λιβύη**

Στη Λιβύη, στο Hadba El Khadra (5 km από την Τρίπολη, σε αμμώδη εδάφη), άρχισε η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων το 1971. Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων λαμβάνει επίσης χώρα στην Al Marj μετά από βιολογική επεξεργασία, αμμοδιύληση, χλωρίωση και αποθήκευση.

#### **5.9.7. Συρία**

Στη Συρία, προς το παρόν, δεν υπάρχουν ούτε κανονισμοί, ούτε οδηγίες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. Όμως, σε αυτή τη χώρα υφίσταται μακρά παράδοση στη χρήση συμβατικών υδατικών πόρων.

## 5.10. Η Ελληνική νομοθεσία

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

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο των υδατικών πόρων χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Χαρακτηριστικό είναι ότι από το 1900 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί περίπου 300 νόμοι και νομοθετικά, βασιλικά και προεδρικά διατάγματα, γενικής, ειδικής και τοπικής έκτασης που συνθέτουν το νομικό πλαίσιο διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Ο Ν. 1739/87 (Υπουργείο Ανάπτυξης, 1987) αποτελούσε το βασικότερο νομοθέτημα που έχει εκδοθεί στον τομέα διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ο Νόμος αυτός κατήργησε πολλές από τις διατάξεις των προαναφερθέντων νόμων και εκσυγχρονίζεται σε κάποιο βαθμό η ισχύουσα νομοθεσία σε ό, τι αφορά στην ορθολογική διαχείριση του συστήματος "υδατικός πόρος-χρήση του".

Αυτός διαμόρφωσε ένα νέο θεσμικό πλαίσιο και τους αναγκαίους μηχανισμούς για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας μας το οποίο όμως δεν έτυχε ουσιαστικής εφαρμογής. Πρόσφατα, ο τελευταίος Ν.3199/03, επιχειρεί εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας υδατικών πόρων με την οδηγία 60/2000/ΕC (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2003). Όμως, ούτε ο Νόμος αυτός αναφέρεται σε αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Έτσι, το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων, που εξαρτάται από αυτούς στην Ε.Ε. διέπεται από αυτή την οδηγία (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2003).

Παρόλο που στην οδηγία αυτή δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων πιστεύεται ότι η ευαισθητοποίηση των Ευρωπαίων πολιτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος θα συμβάλει θετικά στην προώθηση ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων για χρήση περιθωριακών νερών. Όμως, οι νομοθετικές διαδικασίες στην Ε.Ε. είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Έτσι, λαμβανομένου υπόψη ότι οι ελλειμματικές περιοχές σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους εντοπίζεται κυρίως στον Ευρωπαϊκό Νότο και όχι στο σύνολο των Χωρών μελών της Ε.Ε., πιθανόν να υπάρξει σχετική oligωρία και καθυστέρηση νομοθετικής ρύθμισης.

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

- Να υπάρξει νομοθετική τροποποίηση του Ν. 3199/03, έτσι, ώστε να προβλεφθεί η διαχείρισή τους με τρόπο που να εναρμονίζεται με τα προαναφερθέντα στη ενότητα των νομικών θεμάτων που συνδέονται με αυτά (σύστημα αδειοδότησης, περιορισμοί κατά χρήση, αποζημιώσεις, μηχανισμοί τιμολόγησης, έκδοση κανονισμών λειτουργίας και διαχείρισης για κάθε έργο ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και άλλα).
- Να εκδοθεί υγειονομική διάταξη με βάση τη διεθνή εμπειρία και τεχνογνωσία, που να ορίζει τις προδιαγραφές καταλληλότητας εκροών υγρών αποβλήτων.
- Να ληφθεί υπόψη ότι μια νέα Οδηγία για τα βιοστερεά που παράγονται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων προωθείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η ενσωμάτωση της παραπάνω Οδηγίας στο Ελληνικό δίκαιο θα μπορούσε να συμπεριλάβει και την επαναχρησιμοποίηση των εκροών, αφού και στις δύο περιπτώσεις πρόκειται για αξιοποίηση προϊόντων των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

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

Στην Ελλάδα, όπως, και σε άλλες χώρες του κόσμου, έχει υιοθετηθεί η πρακτική της ανακύκλωσης εκροών υγρών αποβλήτων προοδευτικά χωρίς την απαραίτητη θεσμοθέτηση σχετικών κριτηρίων (Αγγελάκης κ.ά., 2000). Όμως, σήμερα, όπως προαναφέρεται, πολλές χώρες έχουν θεσπίσει εθνικές οδηγίες ή κανονισμούς προσαρμοσμένες στις τοπικές κοινωνικοοικονομικές και φυσικές συνθήκες ή έχουν εναρμονισθεί με αυτές διεθνών οργανισμών (W.H.O., U.S. E.P.A., F.A.O. και άλλων).

Στη χώρα μας οι βασικές χρήσεις που ενδιαφέρουν είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (πρανών δρόμων, πάρκων κ.ά.) και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων για την προστασία τους κυρίως από την υφαλμύριση. Για κάθε κατηγορία όμως, θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ποσοτικοποιοτικά κριτήρια καθώς, επίσης και κάθε ιδιαίτερη θεώρηση σε περιπτώσεις που μια παραδοσιακή υδατική πηγή, αντικαθίσταται με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Έτσι, τα αναγκαία κριτήρια ποιότητας θα πρέπει να διαφοροποιούνται όχι μόνο μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών επαναχρησιμοποίησης, αλλά ακόμη και στην ίδια κατηγορία ανάλογα στις επιμέρους χρήσεις (όπως είναι η άρδευση εδώδιμων και βιομηχανικών φυτικών ειδών).

## Σύγχρονες νομοθετικές ρυθμίσεις

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο που καθορίζει την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων καθορίστηκε πρόσφατα. Η σχετική ΚΥΑ «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», είναι η 145116/02-02-2011 (ΦΕΚ Β΄354/2011), η οποία συνοδεύτηκε από δύο ερμηνευτικές εγκυκλίους. Ο νομοθέτης έχει καθορίσει όρια για ρυπαντές και μολυσματικούς παράγοντες όλων των προαναφερθεισών κατηγοριών.

Δεδομένου όμως ότι η πρόοδος της τεχνολογίας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων υπολείπεται αυτής των αναλυτικών μεθόδων προσδιορισμού ιχνών ρυπαντών, ιδιαίτερα της κατηγορίας των «αναδυομένων», συνεχώς ανιχνεύονται νέες ουσίες, που είτε δεν ήταν δυνατόν να προβλεφθεί η παρουσία τους είτε δεν υπήρχαν τεχνικές προσδιορισμού σε ίχνη. Για παράδειγμα, η χλωρίωση είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους απολύμανσης και η αναγκαία υπολειμματική συγκέντρωση καθορίζεται επακριβώς. Είναι γνωστό όμως ότι υπό προϋποθέσεις μπορεί να σχηματισθεί με αυτή τη διαδικασία N-Nitrosodimethylamine (NDMA, cas number 62-75-9), ένωση καρκινογόνος και ηπατοτοξική.

Είναι επομένως αναγκαίο εκτός από τη συμμόρφωση με τις διατάξεις της σχετικής ΚΥΑ στην επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση, όπως για παράδειγμα αν ο «τύπος επαναχρησιμοποίησης» είναι αυτός της «απεριόριστης άρδευσης», όπου επιτρέπεται η άρδευση και λαχανικών που καταναλώνονται ωμά, να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα ύπαρξης ή και η διερεύνηση τέτοιου είδους ενώσεων. Η ανάπτυξη και χρήση σε κάθε μία των περιπτώσεων αυτών μοντέλων εκτίμησης κινδύνου θα διασφαλίσει τη δημόσια υγεία από πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις.

Η πρόσφατη ΚΥΑ 145116/8.3.2011 ορίζει στο Άρθρο 1: Σκοπός της απόφασης αυτής είναι:

- Η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων, η οποία θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από:
  - α) την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω κλιματικής αλλαγής,
  - β) την έντονη ταπείνωση ή/και υφαλμύριση υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση
- Η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων

Η απόφαση ορίζει επίσης πως απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

Επίσης στο Άρθρο 5 ορίζεται για τη τροφοδότηση ή εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων:

- Για την αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα, που ενδέχεται να παραβιάσουν μελλοντικές χρήσεις των υπογείων υδάτων του υδροφορέα, απαιτείται:
  - α) Στις περιπτώσεις άμεσου εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα σε επιλεγμένες θέσεις γεωτρήσεων, επαρκής βαθμός επεξεργασίας για την απομάκρυνση οργανικών που περιλαμβάνει, εκτός από δευτεροβάθμια βιολογική και ενδεχόμενη τριτοβάθμια επεξεργασία, προχωρημένες μεθόδους κατάλληλες για την απομάκρυνση διαλυτού οργανικού υλικού, όπως μέσω μεμβρανών τουλάχιστον υπερδιήθησης ή ισοδύναμης αποτελεσματικότητας εναλλακτικής μεθόδου προχωρημένης επεξεργασίας.
  - β) Στις περιπτώσεις εμπλουτισμού με μέθοδο διήθησης δια μέσου στρώματος εδάφους με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος, η αποφυγή των πρόσθετων προχωρημένων μεθόδων επεξεργασίας στο βαθμό που τεκμηριώνεται ότι επιτυγχάνεται επαρκής κατακράτηση οργανικών από το έδαφος.
- Απαιτείται η εκπόνηση ειδικής υδρογεωλογικής μελέτης για τη διασφάλιση της αποφυγής της διείσδυσης υγρών αποβλήτων σε υπόγειους υδροφορείς τα ύδατα των οποίων χρησιμοποιούνται για απόληψη πόσιμου νερού, όπου εξετάζεται μεταξύ των άλλων:
  - α) Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα
  - β) Η ύπαρξη ή μη πολλαπλών γεωλογικών στρωμάτων και η υδραυλική αγωγιμότητα εκάστου στρώματος
  - γ) Το βάθος που θα πραγματοποιείται ο εμπλουτισμός
- Απαιτείται η εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του εμπλουτισμού (περιλαμβανομένης της υδρογεωλογικής μελέτης) η οποία περιλαμβάνει:
  - α) Εξέταση των συγκεντρώσεων στα ΕΥΑ των ουσιών που περιλαμβάνονται στη υπ. Αριθ. 39626/2208/2009 . ΚΥΑ (Β΄ Β΄2075), 2075).
  - β) Εξειδίκευση των προβλεπόμενων στην ανωτέρω ΚΥΑ μέτρων και περιορισμών ανάλογα με τη μέθοδο εφαρμογής του εμπλουτισμού, την ποιότητα των ΕΥΑ και την κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα.
  - γ) Περιγραφή της ποσότητας και ποιότητας του ανακτημένου ύδατος.
  - δ) Προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και των χαρακτηριστικών των ΥΝ.
  - ε) Την αραίωση που επιτυγχάνεται με τα ύδατα του υπόγειου υδροφορέα.

- Η τροφοδοσία (εμπλουτισμός) υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποβλέπει κυρίως:
  - α) Στη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων.
  - β) Στην αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης όπως για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή.
  - γ) Στην ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσης και επειδή η φυσική ανανέωση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό.
  - δ) Στον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους.
- Στην ειδική περίπτωση εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 κατοίκους (Μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού), καθώς και στις περιπτώσεις ιδιωτικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μεμονωμένων κατοικιών ή ομάδων κατοικιών ή ξενοδοχειακών μονάδων, η εφαρμογή υπεδάφιας διοχέτευσης των επεξεργασμένων λυμάτων, μέσω διήθησης, δια μέσου εδαφικού στρώματος σε υπόγειο υδροφόρα, επιτρέπεται μόνον εφόσον:
  - α) εφαρμόζονται τα κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που προβλέπονται στην υπ. αριθ. 5673/400/1997 ΚΥΑ, όπως ισχύει και
  - β) υποβληθεί μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής, στην οποία μεταξύ άλλων, γίνεται περιγραφή του εδαφικού στρώματος διήθησης, προσδιορίζεται η στάθμη των υπόγειων νερών και τεκμηριώνεται η αποφυγή διείσδυσης των λυμάτων σε υπόγειους υδροφορείς τα ύδατα των οποίων χρησιμοποιούνται για απόληψη πόσιμου νερού.
- Τα προβλεπόμενα στο παρόν άρθρο δεν έχουν ισχύ στις περιπτώσεις στις οποίες λόγω ειδικών χαρακτηριστικών και συνθηκών ισχύει απαγορευτική διάταξη εμπλουτισμού συγκεκριμένου υδροφόρα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.
- Για το περιεχόμενο της μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του εμπλουτισμού γνωμοδοτεί η Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης στο πλαίσιο της διαδικασίας έκδοσης της άδειας επαναχρησιμοποίησης που προβλέπεται στο άρθρο 9.

Ενώ στο Άρθρο 2: «Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων» είναι «η εν γένει διαχείριση των υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μπορούν να αποκτηθούν ως νερό με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους» Άρα το νερό που θα προκύψει από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πρέπει να έχει ποιοτικά χαρακτηριστικά τέτοια, που να μπορεί ακίνδυνα να διατεθεί για διάφορες χρήσεις.



Στα πλαίσια του νέου αυτού νομικού καθεστώτος, πρέπει εφ' εξής τα νέα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων (Κ.Ε.Λ.) να δίδουν στην έξοδο τους νερό κατάλληλο για αρδεύσεις καθώς και τεχνητό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Στο ίδιο πλαίσιο να βελτιωθούν τα υπάρχοντα Κ.Ε.Λ. ώστε στην περιοχή τους να έχουμε διαθέσιμους επιπλέον υδατικούς πόρους εξ ανακύκλωσης, κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών και μείωση της υδατικής σπατάλης.

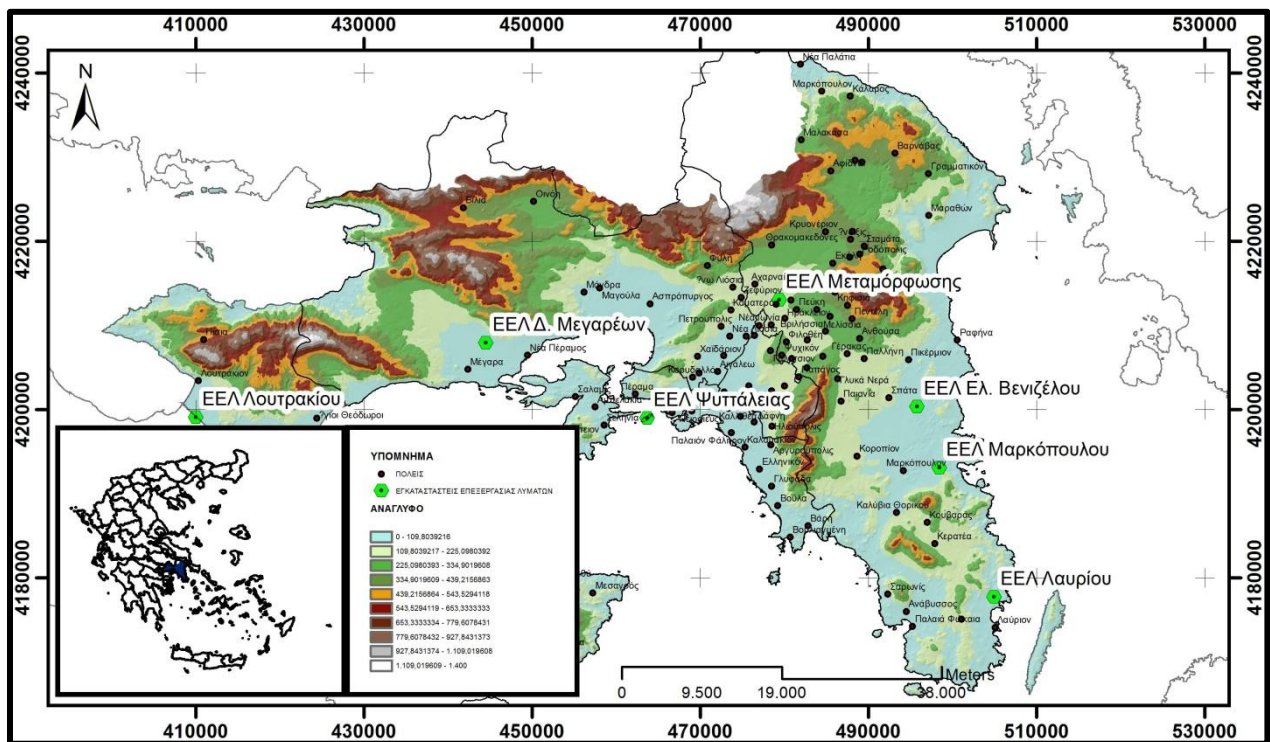
Μεταξύ των άλλων πλεονεκτημάτων, η διάθεση των νερών που παράγονται από τα Κ.Ε.Λ., στην περιοχή λειτουργίας των, είναι και η ελαχιστοποίηση των δαπανών, για έργα μεταφοράς μεγάλου μήκους προς διάθεση τους σε μακρινές ενίοτε αποστάσεις.

Επειδή στους υπόγειους υδροφορείς που έχουν υφαλμυρωθεί δεν υπάρχουν γεωτρήσεις ή φρέατα που το νερό τους να διατίθεται για ύδρευση ή αν υπήρχαν, σταμάτησαν να λειτουργούν ως υδρευτικά έργα, μπορεί να εφαρμοσθεί τεχνητός εμπλουτισμός με χρήση νερών από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σύμφωνα με όσα ορίζει η πρόσφατη σχετική ΚΥΑ 145116/2011.

## 6. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΤΤΙΚΗΣ

### 6.1. Εισαγωγή

Η Αττική είναι ιστορική περιοχή της Ελλάδας που σήμερα αποτελεί μία από τις 13 περιφέρειες της χώρας και περιλαμβάνει το Ν.Α. τμήμα της Στερεάς Ελλάδας, την Τροιζηνία στην χερσόνησο της Αργολίδας, τα περισσότερα νησιά του Αργοσαρωνικού και τα νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα. Η περιφέρεια Αττικής έχει έκταση  $3.808 \text{ km}^2$  και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας. Έχει έδρα την Αθήνα, την διοικητική πρωτεύουσα της Ελλάδας.

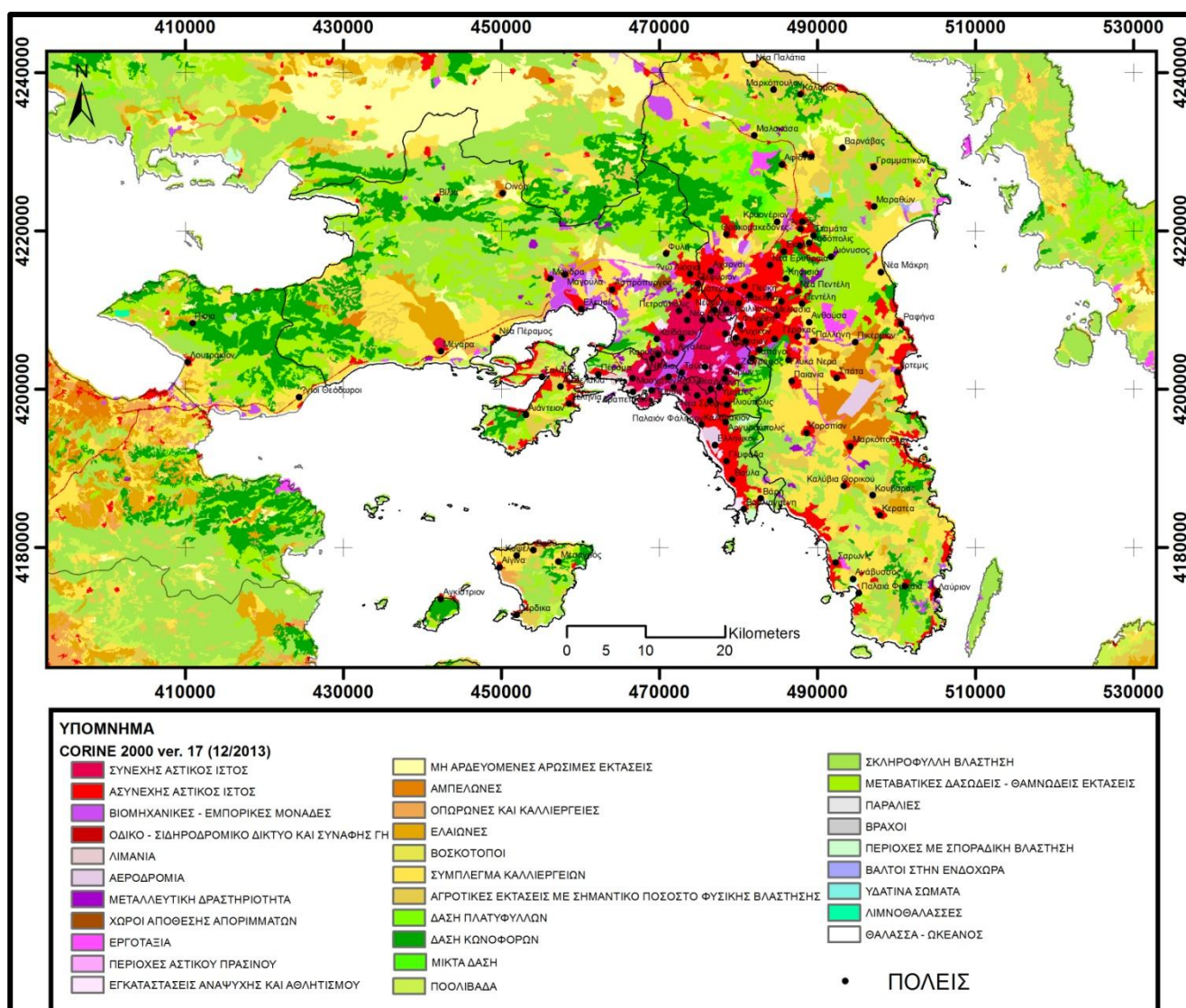


Σχήμα 6.1. : Χάρτης του Υ.Δ. Αττικής ως περιοχή έρευνας

Η Περιφέρεια Αττικής χωρίζεται σε δύο μεγάλες υποενοτήτες, την περιφέρεια πρωτεύουσας και το υπόλοιπο Αττικής. Η περιφέρεια πρωτεύουσας περιλαμβάνει το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας (μαζί με τον Πειραιά) έχει έκταση  $427 \text{ km}^2$  και καλύπτει το 11,2% της συνολικής έκτασης της Περιφέρειας Αττικής. Επίσης, συγκεντρώνει ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού της χώρας ο οποίος βάση της απογραφής του 2001 ανέρχεται σε 3.163.000 άτομα.

Το υπόλοιπο Αττικής καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της Περιφέρειας Αττικής. Ειδικότερα, έχει έκταση  $3.382 \text{ km}^2$  και καλύπτει το 88,8% της συνολικής έκτασης της Περιφέρειας. Χωρίζεται στην δυτική, βόρεια και ανατολική Αττική και το υπόλοιπο της νομαρχίας Πειραιά όπου ανήκουν από διοικητικής άποψης η Σαλαμίνα, η Αίγινα, η Ύδρα, ο Πόρος, οι Σπέτσες, τα Κύθηρα και τα Αντικύθηρα, καθώς και η επαρχία Τροιζηνίας που βρίσκεται στην Πελοπόννησο.

Όσον αφορά τις χρήσεις γης (Σχήμα 6.2.), σημαντικό μέρος της περιφέρειας Αττικής καταλαμβάνει ο αστικός ιστός (συνεχής – ασυνεχής) ο οποίος αναπτύσσεται κυρίως γύρω από τη πρωτεύουσα. Οι βιομηχανικές και εμπορικές μονάδες ακολουθούν την ίδια ανάπτυξη, μέρος τους όμως βρίσκεται και στην περιοχή της Ελευσίνας και στο Λαύριο. Ν.Α. και δυτικά της Αθήνας εντοπίζεται το μεγαλύτερο μέρος καλλιεργήσιμης γης (μόνιμα αρδευόμενες περιοχές – αμπελώνες περιμετρικά του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλος – ελαιώνες) ενώ κυρίως βόρεια επικρατούν η φυσική βλάστηση και τα δάση (δάση πλατύφυλλων, δάση κωνοφόρων, μικτά δάση).



Σχήμα 6.2. : Χάρτης χρήσεων γης (Corine 2000 land use: Version 17 (12/2013))

Ο συνολικός πληθυσμός της περιφέρειας, με βάση την απογραφή του 1991 ήταν 3.523.407 κάτοικοι και σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ήταν 3.761.810 κάτοικοι, σημειώνοντας αύξηση κατά 6,7%. Τα αποτελέσματα της απογραφής του 2011 υπολογίζουν τους κατοίκους της περιφέρειας Αττικής στα 3.827.624 άτομα με πυκνότητα πληθυσμού 1.000 άτομα/km<sup>2</sup>.

Τόσο ο δευτερογενής όσο και ο τριτογενής τομέας της οικονομίας έχουν σημαντική συμμετοχή στην απασχόληση και στο Α.Ε.Π. της χώρας. Σχεδόν όλα τα είδη της βιομηχανικής δραστηριότητας υπάρχουν στην Αττική (χαλυβουργεία, διυλιστήρια πετρελαίου, χημικών προϊόντων κ.λπ.). Η τουριστική βιομηχανία είναι επίσης αναπτυγμένη χωρίς να υστερεί και η γεωργική δραστηριότητα.

## 6.2. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (κωδικού GR06) περιλαμβάνει σχεδόν ολόκληρο το Νομό Αττικής (74,9%), τα νησιά Αίγινα, Αγκίστρι, Σαλαμίνα και Μακρόνησο, μικρό τμήμα του Νομού Βοιωτίας (1,4%) και του Νομού Κορινθίας (12,9%). Η συνολική του έκταση είναι 3.207  $km^2$ .

Η γεωμορφολογική εικόνα του διαμερίσματος χαρακτηρίζεται από ποικιλομορφία ανάγλυφου και περιλαμβάνει τα βουνά Πάρνηθα (υψόμετρο 1.413  $m$ ), Κιθαιρώνα (υψόμετρο 1.400  $m$ ), Πεντέλη (υψόμετρο 1.108  $m$ ) και Υμηττό (υψόμετρο 1.025  $m$ ) με τη Πάρνηθα, τον Υμηττό και τη Πεντέλη να ορίζουν το λεκανοπέδιο Αττικής. Το λεκανοπέδιο Αττικής, το Θριάσιο Πεδίο, τα Μεσόγεια, η λεκάνη των Μεγάρων και η παράκτια ζώνη του Μαραθώνα και της Νέας Μάκρης, αποτελούν κυρίως πεδινό τμήμα της περιφέρειας με το μέσο υψόμετρο να φθάνει τα 115  $m$  ενώ των νησιών Αίγινας και Σαλαμίνας 60 και 20 μέτρα αντίστοιχα (Σιέμος Ν., 2010)

Η σημερινή φυσιογραφική εικόνα του διαμερίσματος, στην οποία διακρίνονται διάφορες γεωμορφολογικές μονάδες, όπως η οροσειρά Πατέρας – Πάρνηθα στα δυτικά, οι ορεινοί όγκοι Υμηττός – Πεντελικό στα ανατολικά και το τεκτονικό βύθισμα του λεκανοπεδίου Αττικής μεταξύ των ορεινών συγκροτημάτων, είναι αποτέλεσμα ενδογενούς και εξωγενούς δράσης. Το ανατολικότερο τμήμα του διαμερίσματος καταλαμβάνεται από τη λεκάνη Μεσογαίας και την ομαλή παράκτια ζώνη Ραφήνας – Μαραθώνα.

Το Θριάσιο Πεδίο καλύπτει σχετικά μικρή έκταση μεταξύ των ορέων Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πατέρας και του Σαρωνικού κόλπου. Στο δυτικό τμήμα διαμορφώνεται το τεκτονικό βύθισμα των Μεγάρων και η λεκάνη του Λουτρακίου, επίσης με ομαλό ανάγλυφο εδάφους. Στη νήσο Σαλαμίνα κυριαρχεί το λοφώδες ανάγλυφο με υψηλότερες κορυφές τις Μαυροβούνι (375  $m$ ) και Βίγλα (366  $m$ ).

Στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής επικρατεί η δενδρική μορφή και εμφανίζεται περισσότερο αναπτυγμένο στα νότια τμήματα του ανάγλυφου. Τα δύο κύρια ποτάμια είναι ο Ιλισός και ο Κηφισός, που στις αστικές περιοχές έχουν μετατραπεί σε αγωγούς ομβρίων και εκβάλλουν στο Σαρωνικό Κόλπο. Υπάρχουν δύο μικρές λίμνες, η λίμνη Βουλιαγμένης και η λίμνη Κουμουνδούρου.

### 6.3. Κλιματικά χαρακτηριστικά

Οι κλιματικές συνθήκες του Υδατικού διαμερίσματος εμπίπτουν στο Μεσογειακό τύπο κλίματος που χαρακτηρίζεται από τους σχετικά υγρούς, ήπιους χειμώνες και τα θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Η άνοιξη χαρακτηρίζεται από καιρική αστάθεια με συχνές εναλλαγές ημερών με χαρακτηριστικά χειμώνα και ημερών με χαρακτηριστικά θέρους.

Αντίθετα, το φθινόπωρο είναι συνήθως μικρής χρονικής διάρκειας και η μετάβαση στο χειμώνα γίνεται μάλλον σταθερά. Σαν θερμή περίοδος θεωρείται το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου και σαν ψυχρή το διάστημα Οκτωβρίου – Μαΐου αν και οι μήνες Οκτώβριος και Μάιος μπορούν λόγω των χαρακτηριστικών τους να θεωρηθούν σαν μεταβατικοί μήνες.

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 350 *mm* στο λεκανοπέδιο Αττικής μέχρι 1.000 *mm* στα ορεινά τμήματα (Πάρνηθα – Κιθαιρώνας), ενώ οι ημέρες βροχής κυμαίνονται από 60 μέχρι 100 ετησίως (Σιέμος Ν., 2010). Η χιονόπτωση είναι σπάνια στις παράκτιες περιοχές, ενώ αυξάνει σημαντικά στο εσωτερικό του. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C μέχρι 18°C, ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από τη θάλασσα, ενώ το ετήσιο θερμομετρικό εύρος είναι περίπου 16°C.

### 6.4. Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Γεωλογικά, την Αττική δομούν δύο διακριτά συστήματα, το δομικό υπόβαθρο που αποτελείται από πετρώματα ηλικίας Παλαιοζωϊκού μέχρι Ανωτάτου Κρητιδικού και το κλαστικό κάλυμμα από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις (Σιέμος Ν., 2010).

Οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις κυρίως χαλαρές ή μέτριας συνεκτικότητας, πληρώνουν τις γεωμορφολογικές ταπεινώσεις ή τεκτονικές τάφρους των Αθηνών, της Μεσογαίας, των Μεγάρων, τον Μαραθώνα και των μικρών κοιλάδων της Λαυρεωτικής. Οι εν λόγω αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από άμμους, χάλικες, κροκάλες, μάργες, ψαμμίτες, πηλούς και κροκαλο-λατυπτοπαγή. Το δομικό υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα και σχιστόλιθους.

Στην *ανατολική Αττική* το υπόβαθρο συνίσταται από μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρα και χαλαζιακοί, μοσχοβιτικοί, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι), ενώ στην *δυτική Αττική* από μη μεταμορφωμένα (ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί, ασβεστόλιθοι, δολομίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, οφιόλιθοι κ.λπ.).

Το υπόβαθρο αυτό στη *δυτική Αττική* δομεί τους όγκους της Πάρνηθας, του Κιθαιρώνα, του Πατέρα και του μεγαλύτερου μέρους των Γερανείων. Στρωματογραφικά τοποθετείται μεταξύ Αν. Παλαιοζωϊκού και Αν. Κρητιδικού (Σιέμος Ν., 2010).

Στην *ανατολική Αττική* δομεί τους ορεινούς όγκους του Πεντελικού, του Υμηττού, του Πανείου καθώς και μικρότερους της νότιας Αττικής με στρωματογραφικό εύρος από Αν. Παλαιοζωϊκό έως Ηώκαινο.

Το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της ανατολικής Αττικής εντάσσεται στην αυτόχθονη ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής. Πρόκειται για τη μεγάλη Ενότητα σχηματισμών, που εμφανίζεται στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών με μορφή τεκτονικών παραθύρων, η οποία ανήκει στην τεράστια πλατφόρμα της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Αποτελείται από μια σειρά μεσοζωικών μέχρι και μεσοηκαινικών μαρμάρων, μεγάλου πάχους, που συνοδεύεται από σχηματισμούς μεταφλύσχη και από μεταμορφωμένους κάτω-μεσοτριάδικούς και νεοπαλαιοζωϊκούς σχηματισμούς που αποτελούν το υπόβαθρό της.

Σχηματισμοί της Ενότητας αυτής απαντώνται τόσο στην Αττική (Σειρά Αττικής) όσο και στη Νότια Εύβοια (Σειρά Αλμυροποτάμου). Στην μεταξύ της Αυτόχθονος Ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής και της Πελαγονικής ζώνης περιοχή απαντάται ένα σύνολο σχηματισμών που ανήκουν στις Εξωτερικές ζώνες και διακρίνονται σε δύο μεγάλα σύνολα. Την Ενότητα Αφιδνών – Τουρκοβουνίων και την Ενότητα Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος (Σιέμος Ν., 2010).

Οι σχηματισμοί της πρώτης Ενότητας είναι αμεταμόρφωτοι και κατά πάσα πιθανότητα αποτελούν μέλη της Βοιωτικής ζώνης, ενώ οι σχηματισμοί της δεύτερης είναι μεταμορφωμένοι.

Οι σχηματισμοί της Ενότητας του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος απαντώνται στις περιοχές Βαρνάβα – Λίμνης Μαραθώνα – Αγίου Στεφάνου και Υμηπτού, σε μικρές, γενικά, εμφανίσεις, επειδή ο κύριος όγκος αυτών καλύπτεται από μεταλλικές αποθέσεις.

Είναι επωθημένοι πάνω σε μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Αυτόχθονος Ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής και αποτελούν τμήμα του μεγάλου Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Νότιας Εύβοιας και σημαντικό τμήμα της Νότιας Αττικής (Σιέμος Ν., 2010).

Στη νήσο *Σαλαμίνα* η δομή κυριαρχείται από μεγάλου πάχους (>900 m) ανθρακική αυτόχθονη σειρά, με φυλλίτες χαλαζίτες και σχιστόλιθους στη βάση της, επί της οποίας έχει επωθηθεί σύμπλεγμα οφιολίθων – σχιστοκερατολίθων.

Στη νήσο *Αίγινα* η γεωλογική δομή χαρακτηρίζεται από παχιά αυτόχθονη ασβεστολιθική σειρά της Υποπελαγονικής ζώνης που αποτελεί και υπόβαθρο και από ηφαιστειακά πετρώματα τα οποία δομούν εξ' ολοκλήρου το νότιο ήμισυ της νήσου. Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της νήσου.

Στην περιοχή της *Τροιζηνίας*, το κυρίαρχο στοιχείο της δομής από στρωματογραφικής άποψης, είναι η παρουσία ενός ανθρακικού υποβάθρου και ενός εκτεταμένου φλυσχικού καλύμματος. Το ενδιάμεσο στρωματογραφικό εύρος αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς και υλικά της μικτής ηφαιστειακής σειράς (Σιέμος Ν., 2010).

## 6.5. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Διαπερατοί γεωλογικοί σχηματισμοί καλύπτουν ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής έκτασης με καρστικούς σχηματισμούς από ασβεστόλιθο να καλύπτουν το ανατολικό και δυτικό τμήμα της περιοχής. Η συνολική διαθεσιμότητα υδάτων είναι περίπου  $449 \text{ hm}^3$  ( $0,449 \text{ km}^3$ ) εκ των οποίων τα  $259 \text{ hm}^3$  ( $0,259 \text{ km}^3$ ) είναι επιφανειακά νερά και τα  $190 \text{ hm}^3$  ( $0,190 \text{ km}^3$ ) το υπόγειο υδατικό δυναμικό (Κουτσογιάννης, 2007).

Στα πλαίσια της διάκρισης των υδροφόρων συστημάτων σε κοκκώδη, καρστικά και ρωγματικά και σε συνδυασμό με τις συνθήκες που επιβάλλει η πολλαπλή δομή και μορφολογία στην περιοχή του Υδατικού διαμερίσματος Αττικής, έχουν οριοθετηθεί 20 κύρια και δευτερεύοντα υδροφόρα συστήματα. Εκ των συστημάτων αυτών τα 13 είναι κοκκώδη τα 6 καρστικά και 1 ρωγματικό (Πίνακας 6.1.).

Τα κοκκώδη υδροφόρα αναπτύσσονται κυρίως στις παράκτιες πεδινές περιοχές αλλά και σε εσωτερικές λεκάνες όπως αυτές της Οινόης και της Μεσογαίας. Υπόστρωμα σε όλους τους παράκτιους κοκκώδεις υδροφορείς αποτελεί, τουλάχιστον εν μέρει, το θαλάσσιο επίπεδο. Βασικό χαρακτηριστικό των εν λόγω συστημάτων είναι η υδραυλική τους συνέχεια με τη θάλασσα, η θαλασσογενώς βεβαρημένη ποιότητα της υδροφορίας τους και το ελλειμματικό, γενικά, ισοζύγιό τους.

Τα καρστικά υδροφόρα συστήματα αναπτύσσονται σε ορεινές ανθρακικές μάζες τόσο της ανατολικής όσο και της δυτικής Αττικής. Στα εν λόγω συστήματα, η πολύ βαθιά διάβρωση της ανθρακικής ακολουθίας έχει ως αποτέλεσμα την υδραυλική συνέχεια αυτής σε όλη τη λιθολογική της στήλη. Η υδροπερατότητα των εν λόγω υδροσυστημάτων οφείλεται στο πυκνό, συνήθως, ρωγματικό τους δίκτυο και την εσωτερική διάβρωση (καρστικοποίηση) που αυτό έχει υποστεί.

Το Υ.Δ. Αττικής δομούν σχηματισμοί :

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



**Πίνακας 6.1.** : Στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής έχουν καταγραφεί και οριοθετηθεί τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα (Σιέμος Ν., 2010):

<b>Κοκκώδες σύστημα Λουτρακίου (0601)</b>	<b>Καρστικό σύστημα ΒΑ/κης Πάρνηθας (0606)</b>
<b>Καρστικό σύστημα Πατέρα (0602)</b>	<b>Καρστικό σύστημα Μαραθώνα (α) (0607)</b>
<b>Κοκκώδες σύστημα Μεγάρων (0603)</b>	<b>Κοκκώδες σύστημα Μαραθώνα (β) (0608)</b>
<b>Κοκκώδες σύστημα Θριασίου Πεδίου (0604)</b>	<b>Κοκκώδες σύστημα Μεσογαίας (0609)</b>
<b>Κοκκώδες σύστημα Οινόης (0605)</b>	<b>Καρστικό σύστημα Υμηττού (0610)</b>
<b>Κοκκώδες σύστημα Θρακομακεδόνων (0611)</b>	<b>Κοκκώδες σύστημα Σαλαμίνας (α) (0616)</b>
<b>Κοκκώδες σύστημα Αναβύσσου (0612)</b>	<b>Κοκκώδες σύστημα Σαλαμίνας (β) (0617)</b>
<b>Κοκκώδες σύστημα Αίγινας (α) (0613)</b>	<b>Καρστικό σύστημα Σαλαμίνας (γ) (0618)</b>
<b>Ρωγματικό σύστημα Αίγινας (β) (0614)</b>	<b>Κοκκώδες σύστημα Τροιζήνας (0304)</b>
<b>Καρστικό σύστημα Αίγινας (γ) (0615)</b>	<b>Κοκκώδες σύστημα Καλλονής (0322)</b>





## 6.6. Το υδροδοτικό σύστημα του Υ.Δ. Αττικής

Η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (Ε.ΥΔ.Α.Π.) είναι ο φορέας ύδρευσης για το σύνολο σχεδόν του Νομού Αττικής. Η Περιφέρεια Αττικής αποτελείται από δήμους και κοινότητες των οποίων η λειτουργία και η εκμετάλλευση του δικτύου διανομής γίνεται από την Ε.ΥΔ.Α.Π. (περιοχή ευθύνης), από δήμους και κοινότητες των οποίων το δίκτυο διανομής είναι μεν δημοτικό, αλλά ενισχύεται από τους κεντρικούς τροφοδοτικούς αγωγούς της Ε.ΥΔ.Α.Π. (περιοχή ενίσχυσης δικτύου), καθώς και από δήμους και κοινότητες των οποίων τμήμα του δικτύου ανήκει στο δήμο και το υπόλοιπο ανήκει στην Ε.ΥΔ.Α.Π. (μικτό σύστημα) <sup>(1)</sup>.

Ο Ιδρυτικός Νόμος 1068/1980, ο Νόμος 2744/99 και η Κοινή Απόφαση των Υπουργών Εθνικής Οικονομίας, Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων παρέχουν τη δυνατότητα επέκτασης των δραστηριοτήτων της και σε άλλες περιοχές εντός και εκτός του Λεκανοπεδίου της Αττικής. Προϋπόθεση για την επιχειρούμενη κάθε φορά επέκταση είναι η Ε.ΥΔ.Α.Π. να εξετάζει και να εξασφαλίζει αφενός την εύλογη αποτελεσματικότητα της επένδυσης, αφετέρου τη δυνατότητα χρηματοδότησης της Εταιρείας για το σκοπό αυτό, ώστε να είναι σε θέση να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις της. Για την εξασφάλιση της υδροδότησης της μείζονος περιοχής της Πρωτεύουσας η Ε.ΥΔ.Α.Π. προμηθεύεται ακατέργαστο νερό από το Δημόσιο, το οποίο έχει συμφωνήσει να το εξασφαλίζει από κατάλληλες πηγές και να το παραδίδει στην Ε.ΥΔ.Α.Π.

Σύμφωνα με τα δεδομένα της απογραφής του 2011 το σύνολο της περιοχής ευθύνης της Εταιρείας ανέρχεται σε 2.914.570 κατοίκους και της περιοχής ενίσχυσης δικτύου σε 398.380 κατοίκους. Συγκρίνοντας τις δύο τελευταίες απογραφές (2001 και 2011) παρατηρείται μείωση του πληθυσμού στις περιοχές ευθύνης κατά 7,85% και στις περιοχές ενίσχυσης δικτύου κατά 10,7%, γεγονός που κατά ένα βαθμό οφείλεται στην επιστροφή στην επαρχία για λόγους εύρεσης εργασίας (εσωτερική μετανάστευση) <sup>(1)</sup>.

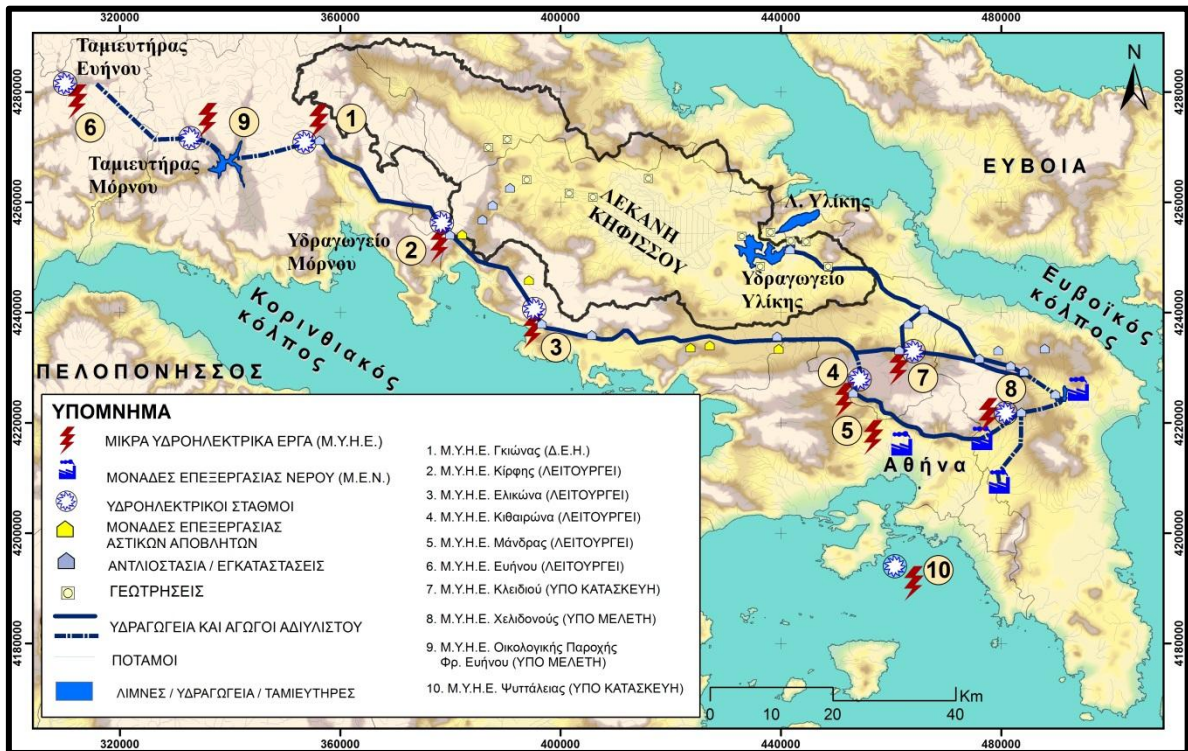
Η συνολική κατανάλωση του νερού υποδιαιρείται σε διάφορες κατηγορίες χρήσεων <sup>(1)</sup>:

- Κοινή κατανάλωση: περιλαμβάνει την οικιακή κατανάλωση καθώς και αυτή από μικρές επαγγελματικές δραστηριότητες (γραφεία, καταστήματα κ.λπ.).
- Κατανάλωση για την ενίσχυση των Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας (Ο.Τ.Α.): αφορά τη παροχή νερού σε δήμους και κοινότητες.
- Βιομηχανική και επαγγελματική κατανάλωση: αφορά τη παροχή νερού με τιμολόγια βιομηχανικής κατανάλωσης (βιομηχανίες, ξενοδοχεία, τουριστικές-αθλητικές εγκαταστάσεις κ.λπ.)
- Δημόσια και δημοτική κατανάλωση: περιλαμβάνει τη κατανάλωση δημόσιων και ιδιωτικών εγκαταστάσεων, ύδρευση και άρδευση κοινόχρηστων χώρων.
- Αδιύλιστο νερό: πρόκειται για το ακατέργαστο νερό που παρέχεται σε ορισμένους δήμους και κοινότητες κοντά στα εξωτερικά υδραγωγεία της Ε.ΥΔ.Α.Π.
- Άλλες χρήσεις: περιλαμβάνει καταναλώσεις για πυρόσβεση, φιλανθρωπικά ιδρύματα, του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς.

(1) (<http://www.evdap.gr>)

Ως υδροδοτικό σύστημα της Αττικής ορίζεται το σύστημα που περιλαμβάνει <sup>(1)</sup>:

- Τους υδατικούς πόρους (επιφανειακούς και υπόγειους)
- Έργα αποθήκευσης επιφανειακού νερού (ταμιευτήρες, φράγματα, δεξαμενές)
- Έργα άντλησης υπόγειου νερού (γεωτρήσεις)
- Υδραγωγεία, έργα διαχείρισης υδραγωγείων (αντλιοστάσια, ρυθμιστές ροής)
- Μονάδες επεξεργασίας νερού



**Σχήμα 6.4. :** Το δίκτυο διανομής νερού στην Αθήνα

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο επιφανειακούς υδατικούς πόρους (ποταμοί Μόρνος, Εύηνος, Β. Κηφισός, Χάραδρος, λίμνη Υλίκη). Εκτός από τα επιφανειακά νερά των ταμιευτήρων, για την ύδρευση της Αθήνας χρησιμοποιούνται, εφεδρικά, και υπόγειοι υδατικοί πόροι (υδροφορείς μέσου ρου Β. Κηφισού, Υλίκης και Β.Α. Πάρνηθας). Οι υδρευτικές γεωτρήσεις είναι περίπου εκατό, και βρίσκονται στην περιοχή του μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού, γύρω από την Υλίκη και στην περιοχή της Β.Α. Πάρνηθας. Στο υδατικό διαμέρισμα δεν υπάρχουν μεγάλα αρδευτικά έργα, ενώ το σημαντικότερο αρδευτικό έργο είναι ο ταμιευτήρας Μαραθώνα.

Οι υδατικοί πόροι διακρίνονται βάσει των σημερινών συνθηκών λειτουργίας σε:

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

(1) (<http://www.eydap.gr>)

**Πίνακας 6.2.** : Επιφανειακοί υδατικοί πόροι <sup>(1)</sup>

Λεκάνη απορροής	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Μέση ετήσια απορροή (hm <sup>3</sup> )
Μόρνου (ανάντη φράγματος)	588,1	234,1
Εύηνου (ανάντη φράγματος)	351,9	276,1
Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης	2.466,6	294,1
Χάραδρου (ανάντη φράγματος)	118,0	13,4

**Πίνακας 6.3.** : Υπόγειοι υδατικοί πόροι <sup>(1)</sup>

Υδροφορέας	Πλήθος γεωτρήσεων Ε.ΥΔ.Α.Π.	Ετήσια ικανότητα άντλησης (hm <sup>3</sup> )
Μέσου ρου Β. Κηφισού	16	25
Υλίκης	33	20
Β.Α. Πάρνηθας	34	43

#### 6.6.1. Ταμιευτήρες

Από τους ταμιευτήρες μόνο αυτός της Υλίκης είναι φυσικός και χρησιμοποιείται ως βοηθητικός υδατικός πόρος. Ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα χρησιμοποιείται για την αποθήκευση νερού για λόγους ασφαλείας, λόγω εγγύτητάς του με την Αθήνα.

**Πίνακας 6.4.** : Μέγιστες ετήσιες απολήψεις από ταμιευτήρες <sup>(1)</sup>

Λεκάνη απορροής	Μέγιστη ετήσια απόληψη (hm <sup>3</sup> )	Υδρολογικό έτος
Μόρνος	490,4	2006 – 2007
Εύηνος	430,1	2002 – 2003
Μαραθώνας	108,1	2001 – 2002
Υλίκη	226,6	1978 – 1979

(1) (<http://www.eydap.gr>)



**Πίνακας 6.5.** : Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων <sup>(1)</sup>

Ταμιευτήρας	Μέγιστη επιφάνεια <sup>1</sup> (km <sup>2</sup> )	Ολική χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Στάθμη υπερχειλίσης (m)	Κατώτατη στάθμη υδροληψίας (m)
Μόρνος	19,93	763,71	630,23	435,0	384,0
Εύηνος	3,6	137,63	112,05	505,0	458,3
Υλίκη	27,74	594,75	584,75	79,8	43,5
Μαραθώνας	2,57	42,85	32,20	224,0 <sup>2</sup>	204,4

(1) Η μέγιστη επιφάνεια αναφέρεται στη στάθμη υπερχειλίσης.

(2) Η στάθμη υπερχειλίσης του Μαραθώνα είναι αυξημένη κατά 1,0 m σε σχέση με την πραγματική, μετά τη τοποθέτηση δοκίδων κατά μήκος του υπερχειλιστή.

**Πίνακας 6.6.** : Χαρακτηριστικά φραγμάτων <sup>(1)</sup>

Ονομασία	Ύψος από τη θεμελίωση (m)	Υψόμετρο στέψης (m)	Μήκος στέψης (m)
Μόρνος	139,0	446,5	815,0
Εύηνος	127,0	519,0	640,0
Μαραθώνας	62,5	227,0	285,0



**Σχήμα 6.5.** : Ταμιευτήρας Μαραθώνα

(1) (<http://www.eydap.gr>)

### 6.6.2. Υπόγειοι υδροφορείς – Γεωτρήσεις

Όπως προαναφέρθηκε, η Ε.ΥΔ.Α.Π. έχει στη κυριότητά της περισσότερες από εκατό γεωτρήσεις που λειτουργούν στους νομούς Αττικής και Βοιωτίας σε ομάδες και έχουν εφεδρικό ρόλο στο σύστημα υδροληψίας που διαχειρίζεται η Ε.ΥΔ.Α.Π. 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. Οι γεωτρήσεις της Ε.ΥΔ.Α.Π. έχουν συνολική ικανότητα άντλησης 800.000  $m^3/ημέρα$  ενώ η ασφαλής τους απόδοση εκτιμάται σε 70 – 125 εκατ.  $m^3/έτος$  <sup>(1)</sup>.

Πίνακας 6.7. : Οι βασικότερες ομάδες γεωτρήσεων <sup>(1)</sup>

Γεώτρηση	Πλήθος Γεωτρήσεων	Εγκαταστημένη Ισχύς (HP)	Υφιστάμενη ικανότητα άντλησης ( $\times 1.000 m^3/ημέρα$ )
<b>Β.Α. ΠΑΡΝΗΘΑΣ</b>			
Μαυροσουβάλας			
Βίλιζας(10 <sup>ου</sup> Σίφωνα)	20	6.110	100
No 3	7	1.740	23
	4	760	13
<b>ΥΛΙΚΗΣ</b>			
Ούγγρων	11	1.800	60
Ν.Δ. Υλίκης	14	2.450	70
<b>ΜΕΣΟΥ ΡΟΥ Β. ΚΗΦΙΣΟΥ</b>			
Βασιλικών - Παρορίου	16	4.500	100

### 6.6.3. Υδραγωγεία

Η μεταφορά του ακατέργαστου νερού από τις πηγές του (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (Μ.Ε.Ν.) της Ε.ΥΔ.Α.Π. γίνεται μέσω ενός εκτενούς συστήματος εξωτερικών υδραγωγείων συνολικού μήκους 485 km.

Τα υδραγωγεία αυτά διακρίνονται σε:

- Κύρια (Μόρνου, Υλίκης), συνολικού μήκους 310 km.
- Ενωτικά (Μόρνου – Υλίκης, Μαραθώνα – Γαλατσίου, Διστόμου), συνολικού μήκους 105 km.
- Βοηθητικά, συνολικού μήκους 80 km.

Τα υδραγωγεία του Μόρνου και της Υλίκης επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των ενωτικών υδραγωγείων. Η ύπαρξη των ενωτικών υδραγωγείων επιτρέπει τον έλεγχο, τη συντήρηση και την επισκευή των δύο υδραγωγείων, με τη δυνατότητα παύσης της λειτουργίας του ενός από τα δύο. Επιπλέον παρέχουν τη δυνατότητα εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών υδροληψίας, επιφανειακών και υπόγειων, ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες και τις ανάγκες της κατανάλωσης.

(1) (<http://www.eydap.gr>)

#### 6.6.4. Μονάδες Επεξεργασίας Νερού

Το νερό, αφού συλλεχθεί στους ταμιευτήρες φτάνει μέσω των υδραγωγείων στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού. Εκεί υποβάλλεται σε επεξεργασία που το καθιστά πόσιμο. Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας περιλαμβάνει 4 Μονάδες Επεξεργασίας Νερού οι οποίες κατασκευάστηκαν από το 1929 έως το 1996 και βρίσκονται στο Γαλάτσι, στις Αχαρνές (Μενίδι), στο Πολυδένδρι (Κιούρκα) και στον Ασπρόπυργο (Μάνδρα). Το έτος 2004 περατώθηκε ένα μεγάλο έργο αναβάθμισης των τριών παλαιότερων διυλιστηρίων.

Στις Μ.Ε.Ν. ακολουθείται η παρακάτω αλληλουχία σταδίων για την επεξεργασία του νερού:

- Προσθήκη χλωρίου (απολύμανση)
- Προσθήκη θειικού αργιλίου (κροκίδωση)
- Καθίζηση
- Φίλτραση
- Μεταχλωρίωση

Πίνακας 6.8. : Τεχνικά χαρακτηριστικά των Μ.Ε.Ν. <sup>(1)</sup>

Όνομα	Έτος λειτουργίας	Υψόμετρο (m)	Διυλιστική ικανότητα ( $hm^3/ημ$ )	Διυλιστική ικανότητα αιχμής ( $hm^3/ημ$ )	Αποθηκευτική ικανότητα ( $hm^3/ημ$ )
Γαλατσίου	1931 – 1964	+159	0,600	0,700	0,215
Αχαρνών	1977 – 1990	+232	0,678	0,800	0,280
Πολυδενδρίου	1985	+248	0,239	0,310	0,060
Ασπρόπυργου	1996	+232	0,200	0,215	0,050
<b>Σύνολο</b>	-	-	<b>1,540</b>	<b>2,025</b>	<b>0,590</b>

Επιπλέον λειτουργούν κατά μήκος των εξωτερικών υδραγωγείων μικρές μονάδες ταχυδιυλιστηρίων για την ύδρευση 14 Δήμων και Οικισμών, ενώ παράλληλα παρέχεται και μικρή ποσότητα ανεπεξεργαστου νερού σε βιομηχανικές μονάδες.

(1) (<http://www.eydap.gr>)

### 6.6.5. Δίκτυο διανομής νερού

Ο όρος «εσωτερικό δίκτυο διανομής ή δίκτυο ύδρευσης» περιγράφει το σύνολο των αγωγών μεταφοράς επεξεργασμένου νερού (διυλισμένου), από τις κατά τόπους Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας μέχρι τα υδρόμετρα των καταναλωτών. Το δίκτυο που λειτουργεί σήμερα είχε αρχίσει να τοποθετείται μετά το 1926 από την ULEN Co., παράλληλα με τα έργα του φράγματος Μαραθώνα, της σήραγγας Μπογιατίου και του αγωγού από Χελιδονού έως Γαλάτσι που εγκαινιάστηκαν επίσημα τον Μάιο του 1931.

Το ολικό μήκος του δικτύου ύδρευσης είναι περίπου 9.500 km (πλέον 5.000 km συνδέσεις) και αποτελείται από χάλυβα, χυτοσίδηρο, αμιαντοσιμέντο κλάσης πίεσης 10 bar για τους παλαιότερους και 12,5 bar για τους νεότερους. Οι διάμετροι των αγωγών είναι 1.800 mm η μεγαλύτερη και 60 mm η μικρότερη για αγωγούς που προέρχονται από παραλαβές δικτύων (δημοτικών ή κοινοτικών), ενώ από τον Κανονισμό Ύδρευσης που ισχύει ορίζεται ως ελάχιστη διάμετρος τα 100 mm.

Οι πιέσεις λειτουργίας έχουν μέγιστο τα 25 bar και ελάχιστο το 1 bar, ενώ υποχρέωση της Ε.ΥΔ.Α.Π. είναι να παρέχει νερό με πίεση από 1 έως 12 bar στη θέση του υδρομέτρου σύμφωνα με τον Κανονισμό Ύδρευσης. Η Ε.ΥΔ.Α.Π. παρέχει νερό σε περιοχές με υψόμετρο εδάφους από 0 έως +600 m. Εδαφικές περιοχές ανά 30 m υψομετρικής διαφοράς αποτελούν ζώνες ύδρευσης. Η τροφοδοσία των ζωνών ύδρευσης πραγματοποιείται από δεξαμενή αποθήκευσης με βαρύτητα ή από υδραυλική βάνα με ρύθμιση της πίεσης εξόδου για το σύνολο της διερχόμενης παροχής (μέγιστο – ελάχιστο) ή από αντλιοστάσιο.

Η λειτουργία των ζωνών ύδρευσης καταβάλλεται προσπάθεια να πραγματοποιείται σύμφωνα με το κυκλοφοριακό σύστημα, αλλά αρκετές φορές για πολεοδομικούς λόγους το σύστημα γίνεται ακτινωτό με αναπόφευκτη συνέπεια την ύπαρξη τερμάτων.

Στο δίκτυο ύδρευσης είναι εγκατεστημένες περίπου 90.000 βάνες διαφόρων τύπων, διαμέτρων και αντοχής σε πίεση. Οι ζώνες ύδρευσης διαχωρίζονται με βάνες κλειστές που γίνεται χειρισμός τους περιοδικά για την αποφυγή τερμάτων.

Η αναρρύθμιση των αιχμών της κατανάλωσης εξυπηρετείται από 45 δεξαμενές αποθήκευσης με συνολικό αποθηκευτικό όγκο περίπου 300.000 m<sup>3</sup>.

Η υψομετρική διαμόρφωση της υδρευόμενης περιοχής απαιτεί τη λειτουργία περίπου 70 αντλιοστασίων με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 30.000 HP (Γεωργιάδης, Ε.ΥΔ.Α.Π. 2011).

Σύστημα τηλεέγχου-τηλεχειρισμού (SCADA) παρακολουθεί τη λειτουργία του δικτύου ύδρευσης. Σε 100 κομβικά σημεία του δικτύου ύδρευσης (δεξαμενές, αντλιοστάσια, μονάδες επεξεργασίας νερού) παρακολουθούνται και καταγράφονται συνεχώς πιέσεις, στάθμες και παροχές. Παράλληλα, υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα καταγραφής και τηλεμετάδοσης με τεχνολογία GSM σε 800 σημεία του δικτύου ύδρευσης που περιλαμβάνουν ρυθμιστικές διατάξεις καθώς και υδρομετρητές ειδικών καταναλωτών.



### 6.6.6. Απώλειες νερού

Οι συνολικές απώλειες νερού υπολογίζονται ως η διαφορά του συνολικού όγκου νερού που τιμολογείται από τον όγκο νερού που καταγράφεται στην έξοδο των ταμιευτήρων. Η διαφορά αυτή προέρχεται από τις απώλειες των εξωτερικών υδραγωγείων κατά τη διαδρομή έως τα διυλιστήρια και τις απώλειες του εσωτερικού δικτύου. Οι πρώτες περιλαμβάνουν διαρροές (Σχήμα 6.6.), υπερχειλίσεις ή μη μετρούμενες παροχές στη διαδρομή μέχρι τα διυλιστήρια, ενώ οι δεύτερες που προκύπτουν ως η διαφορά μεταξύ του εξερχόμενου επεξεργασμένου νερού και του τιμολογούμενου και προέρχονται από τα σφάλματα των οικιακών υδρομετρητών που υποεκτιμούν την εισερχόμενη ποσότητα και από διαρροές του εσωτερικού δικτύου ή παράνομες απολήψεις. Επίσης, σημαντικές ποσότητες του εισερχόμενου νερού χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των διυλιστηρίων.



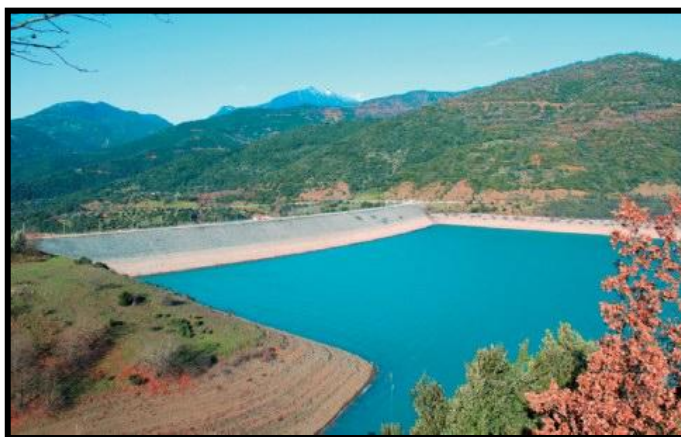
**Σχήμα 6.6.** : Τυχόν διαρροές συμβάλλουν σημαντικά στις απώλειες νερού της Εταιρίας

Οι επιπτώσεις των απωλειών είναι τεράστιες σε όλα τα επίπεδα. Υπάρχει περιβαλλοντική επίπτωση, καθώς νερό που χάνεται δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον. Το ενεργειακό πρόβλημα είναι εξίσου σημαντικό, αφού χάνεται ενέργεια. Επίσης, η κοινωνική διάσταση των απωλειών είναι πολύ μεγάλη, καθώς νερό που χάνεται, θα μπορούσε να καλύψει τις υδροδοτικές ανάγκες ανθρώπων που δεν έχουν πρόσβαση σε αυτό. Τέλος, η οικονομική επίπτωση είναι και η πιο σημαντική καθώς όλες οι δραστηριότητες κινούνται κάτω από το πρίσμα του κόστους (Γεωργιάδης, Ε.ΥΔ.Α.Π., 2011).

Συνολικά το 20 – 25% του νερού χάνεται από το εσωτερικό και το εξωτερικό δίκτυο. Από την πλευρά της η Ε.ΥΔ.Α.Π. εκτιμά ότι οι απώλειες νερού στην ύδρευση της πρωτεύουσας φτάνουν γύρω στο 10% της ποσότητας που διατίθεται. Μια μέση εκτίμηση δείχνει ότι χάνονται 100.000  $m^3$  νερό την ημέρα. Όπως εξηγούν, αρμοδίως, από την εταιρεία, σύμφωνα με την κοινοτική κατεύθυνση δεν πρέπει να έχουμε περισσότερο από 20% ατιμολόγητη κατανάλωση. Η Ελλάδα βρίσκεται γύρω στο 19%, όμως αυτό θεωρείται ότι δεν προέρχεται εξ ολόκληρου από διαρροές. Ένα ποσοστό 1 – 10% εκτιμάται ότι είναι οι υποεγγραφές των υδρομέτρων. Σε κάθε περίπτωση και η Ε.ΥΔ.Α.Π. θεωρεί ότι το 10% της διαρροής στο κεντρικό ή το δευτερεύον δίκτυο μπορεί να μειωθεί, αν και ο μηδενισμός των απωλειών δε μπορεί να καταστεί εφικτός.

### 6.6.7. Ιδιαιτερότητες και προβλήματα της μεταφοράς νερού στην Αττική

Οι κύριοι υδατικοί πόροι βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την Αθήνα εκτός από τον ταμιευτήρα Μαραθώνα, που έχει μικρή χωρητικότητα και δυνατότητα παροχής νερού προς τα διυλιστήρια. Αυτό το σχετικό μικρό υδατικό δυναμικό των πόρων της Αττικής σε συνδυασμό με τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση, οδήγησε σε αναζήτηση πηγών μακριά, με αποτέλεσμα οι κύριοι υδατικοί πόροι που είναι οι ποταμοί Μόρνος και Εύηνος να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 200 km από την Αθήνα.



Σχήμα 6.7. : Το φράγμα του Μόρνου

Η έλλειψη αξιόλογου όγκου ταμίευσης επιφανειακού νερού κοντά στην Αθήνα (δεξαμενή αναρρύθμισης) – με εξαίρεση τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα που χρησιμοποιείται ως απόθεμα ασφάλειας – και ειδικότερα κατάντη του υδραγωγείου του Μόρνου, περιορίζει την ευελιξία του συστήματος, καθώς δεν είναι δυνατή η διαχείριση της ημερήσιας διακύμανσης της ζήτησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ετήσια δυναμικότητα του συστήματος να είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με την ονομαστική δυνατότητα παροχής των υδραγωγείων. Για το λόγο αυτό έχει προταθεί η κατασκευή κατάλληλων έργων αναρρύθμισης, ανάντη και κατάντη των διυλιστηρίων με σημαντικότερο αυτό της λιμνοδεξαμενής της Μάνδρας χωρητικότητας 700.000 m<sup>3</sup>. Τέτοια έργα κρίνονται σημαντικά όχι μόνο για τους ανωτέρω λόγους αλλά και επειδή συμβάλλουν στην ασφάλεια του συστήματος έναντι βλαβών μικρής διάρκειας.

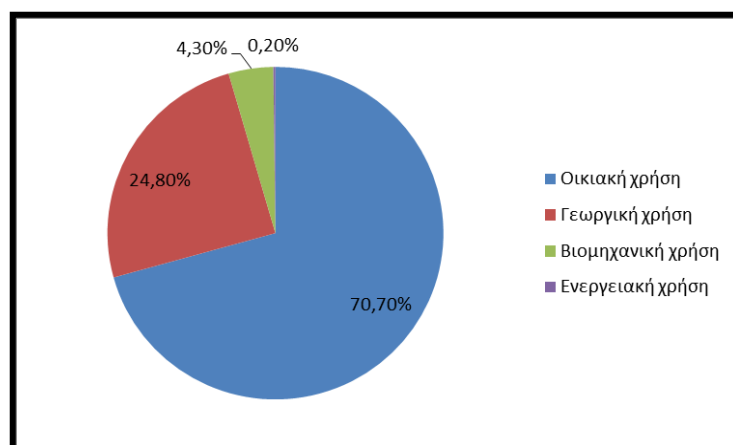
Η δυνατότητα παροχής των εξωτερικών υδραγωγείων είναι κρίσιμος περιοριστικός παράγοντας ως προς τη λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος. Σε μεταγενέστερη φάση που θα έχουν ολοκληρωθεί τα έργα ενίσχυσης των εξωτερικών υδραγωγείων και διασύνδεσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας μεταξύ τους, αναμένεται να υπάρξει επαρκής δυνατότητα παροχής, ώστε να δημιουργούνται λειτουργικοί περιορισμοί και προβλήματα διαχείρισης.

Σημαντικό ζήτημα στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος αποτελεί η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του νερού από την Υλίκη και από τις γεωτρήσεις που απαιτούν άντληση. Επίσης, οι απώλειες του δικτύου έχουν άμεσες συνέπειες στα έσοδα της εταιρείας και στις ανάγκες της για παροχέυτευση του νερού.

## 6.7. Κατανάλωση νερού στο Υ.Δ. Αττικής

Γενικά, οι χρήσεις νερού στην Ελλάδα είναι η γεωργική, κτηνοτροφική και αστική, ενώ η βιομηχανία καταναλώνει συγκριτικά μικρές ποσότητες. Όσον αφορά τις χρήσεις του νερού, η γεωργία καταναλώνει το 87 – 88%, τα νοικοκυριά (αστική χρήση) και ο τουρισμός το 10% και η βιομηχανία το 3% περίπου. Οι υψηλές αρδευτικές ανάγκες, ο τουρισμός που αυξάνεται την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο, και οι οικιακές ανάγκες ασκούν σημαντική πίεση στα αποθέματα γλυκού νερού της χώρας.

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής η κατανάλωση νερού αφορά στο μεγαλύτερο βαθμό οικιακή χρήση (ανάγκες ύδρευσης) πλησιάζοντας το 71% της συνολικής. Αποτελεί το μόνο Υδατικό Διαμέρισμα της Ελλάδας όπου η ύδρευση αποτελεί τη μεγαλύτερη χρήση νερού. Η γεωργική χρήση του νερού της Αττικής φτάνει το 25%, η βιομηχανική το 4,3%, ενώ η ενεργειακή το 0,2% (Σχήμα 6.8.). Επειδή λόγω του μεγέθους του πληθυσμού, οι μόνιμες και εποχιακές ανάγκες είναι σημαντικές, σε συνδυασμό με τη σχεδόν πλήρη ανεπάρκεια των τοπικών πόρων, απαιτείται η μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων νερού από τα Υδατικά Διαμερίσματα Δυτικής και Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας – Ε.Τ.Υ.Μ.Π.)<sup>(2)</sup>.



Σχήμα 6.8. : Ποσοστά κατανάλωσης νερού στην Αττική <sup>(2)</sup>

Οι μελλοντικές ζητήσεις στο υδατικό διαμέρισμα αφορούν βασικά στην κύρια χρήση, που είναι η ύδρευση της Αθήνας. Όπως προκύπτει από τον παρακάτω Πίνακα, η μέση απόληψη για την ύδρευση της Αθήνας στη δεκαετία του 1970 διπλασιάστηκε σε σχέση με αυτήν της δεκαετίας του 1960, ενώ στη συνέχεια αυξήθηκε κατά 50% ακόμη στην δεκαετία του 1980.

Για τα έτη που ακολούθησαν, από το 1989 και έπειτα είναι φανερή η συνεχής αύξηση της ζήτησης με εξαιρέσεις τα έτη 1983, 1990 και 1993. Μία μικρή μείωση της κατανάλωσης του νερού ο 1983 συνδέεται με την αύξηση της τιμής του νερού, ενώ η δραστική μείωση της περιόδου 1990 – 1993 συνδέεται με την εκτεταμένη λειψυδρία και τα έκτατα μέτρα εξοικονόμησης νερού που επέβαλε η Ε.Υ.Δ.Α.Π.

(2) (<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/index.html>)

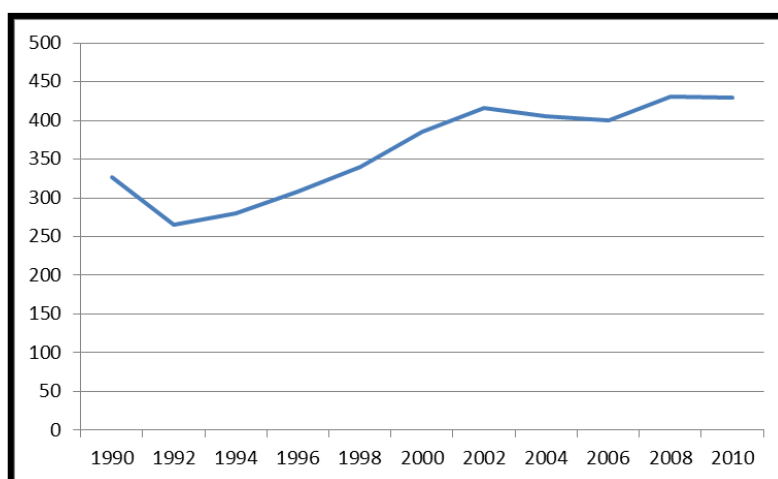
Ωστόσο, η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σε σχέση με την συνετή χρήση των υδατικών πόρων, η επισκευή των δικτύων διανομής και η συνεχιζόμενη εκστρατεία εξοικονόμησης νερού της Ε.Υ.Δ.Α.Π. πιστεύεται ότι θα συμβάλει στο μετριασμό της κατανάλωσης νερού. Δεδομένου ότι δεν προβλέπεται σημαντική αύξηση του πληθυσμού τα επόμενα έτη (μετά τη σημαντική αύξηση της δεκαετίας του 1990, που αποδίδεται κυρίως στην εισροή μεταναστών), και αναμένεται έλεγχος της ζήτησης νερού για ύδρευση, θεωρείται ότι η ετήσια ζήτηση νερού στην περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ μελλοντικά δεν θα υπερβαίνει τα 420  $hm^3$ . (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

Ο Πίνακας 6.9. που ακολουθεί εμφανίζει τα στοιχεία καταναλώσεων νερού σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού της Περιφέρειας Αττικής αλλά και τα γεγονότα που επηρέασαν την κατανάλωση νερού. Τα στοιχεία αφορούν τις καταναλώσεις για ανάγκες ύδρευσης της Αττικής.

**Πίνακας 6.9.** : Συνοπτικό ιστορικό για την κατανάλωση νερού στην Αθήνα <sup>(1)</sup>

Έτος	Ιστορικό	Κατανάλωση ( $hm^3$ )
1927	Ύδρευση από το Αδριάνειο Υδραγωγείο και πηγές. Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 802.000	4,8
1931	Πλήρης λειτουργία Υδραγωγείου Μαραθώνα.	11,5
1941	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 1.394.021	22,8
1941-51	Στασιμότητα κατανάλωσης κατά την περίοδο της Κατοχής και του Εμφυλίου.	15,7 (1944) 25,8 (1951)
1951	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 1.378.586	21,8
1958	Συστηματική λειτουργία Υδραγωγείου Υλίκης.	49,2
1961	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 1.852.709	70,9
1971	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 2.540.241	143,0
1979	Έναρξη λειτουργίας Υδραγωγείου Μόρνου.	244,0
1981	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 3.369.443	282,0

Έτος	Ιστορικό	Κατανάλωση ( $hm^3$ )
1989	Σημαντική μείωση των εισροών, ενώ σημειώνεται η μεγαλύτερη ετήσια κατανάλωση του αιώνα.	375,8
1990	Η ξηρότερη χρονιά του αιώνα. Σημαντική αύξηση της τιμής του νερού. Έναρξη εκστρατείας για εξοικονόμησή του. Σημαντική μείωση κατανάλωσης.	326,5
1991	Σχετικά υγρό έτος. Πληθυσμός Πρωτεύουσας: 3.523.407	323,8
1992-93	Η ξηρασία συνεχίζεται. Νέα αύξηση της τιμής του νερού. Επίσπευση ενίσχυσης του συστήματος (Γεωτρήσεις-Εύηνος).	330,2 (1992) 252,3 (1993)
1995	Ενίσχυση Μόρνου από Εύηνο μέσω προσωρινής υδροληψίας.	284,0
1999	Η κατανάλωση επανέρχεται στο επίπεδα του 1990	365,6
2001	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 3.761.810 Έναρξη λειτουργίας ταμιευτήρα Ευήνου (09/2001).	407,8
2008	Ρεκόρ ετήσιας κατανάλωσης νερού.	431,4
2011	Πληθυσμός Περιφέρειας Πρωτεύουσας: 3.827.624	420,0

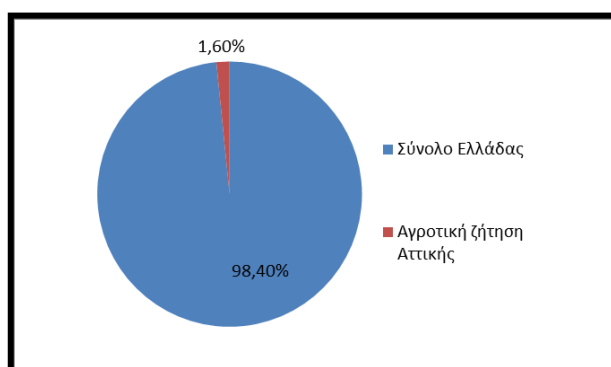


**Σχήμα 6.9.** : Η εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωσης νερού για ύδρευση (σε  $hm^3$ ) την περίοδο 1990 – 2010

(1) (<http://www.eydap.gr>)

### Ποσοστό αγροτικής χρήσης

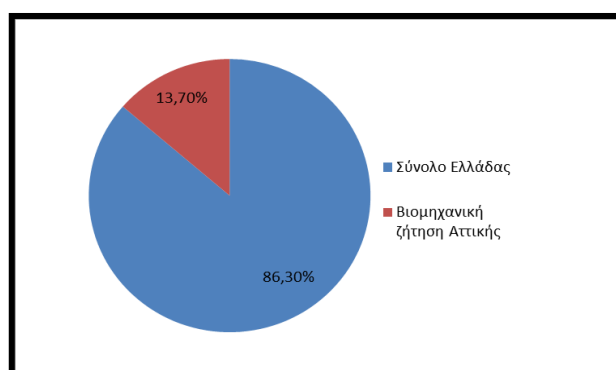
Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων εκτιμάται σε  $695 \text{ km}^2$ . Από τις εκτάσεις αυτές τα  $136 \text{ km}^2$  είναι αρδευόμενα, ενώ τα  $119 \text{ km}^2$  είχαν αρδευτεί το 1991. Με βάση την κατανομή των καλλιεργειών στο υδατικό διαμέρισμα η ζήτηση νερού για άρδευση υπολογίζεται σε  $99 \text{ hm}^3$ . Επίσης, με βάση την κατανομή των ζώων στο υδατικό διαμέρισμα, η ζήτηση για κτηνοτροφία υπολογίζεται σε  $2,5 \text{ hm}^3$  και επομένως η συνολική ζήτηση νερού για αγροτικές χρήσεις φτάνει τα  $101,5 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ . Η ζήτηση αυτή καλύπτεται κυρίως από υπόγεια νερά και, εν μέρει, από το νερό της Ε.ΥΔ.Α.Π. Σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση νερού της χώρας για αγροτικές χρήσεις, το ποσοστό της Αττικής είναι ιδιαίτερα μικρό, το μικρότερο από κάθε άλλο Υ.Δ. της ηπειρωτικής Ελλάδας (Κουτσογιάννης κ.ά., 2007).



Σχήμα 6.10. : Διάγραμμα ζήτησης νερού για αγροτική χρήση <sup>(2)</sup>

### Ποσοστό βιομηχανικής χρήσης

Η ετήσια κατανάλωση νερού για βιομηχανική χρήση στην περιοχή της πρωτεύουσας ήταν για το 1995  $17,5 \text{ hm}^3$ , ενώ το μήνα Ιούλιο  $1,5 \text{ hm}^3$  (στοιχεία Υπουργείου Ανάπτυξης). Αν και μεγάλο μέρος των βιομηχανιών της χώρας εδρεύει στο Υ.Δ. Αττικής, η κατανάλωση νερού είναι αισθητά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των Υ.Δ. Μακεδονίας καθώς σε αυτά η πολύ υψηλή κατανάλωση νερού οφείλεται στη δραστηριότητα της Δ.Ε.Η.

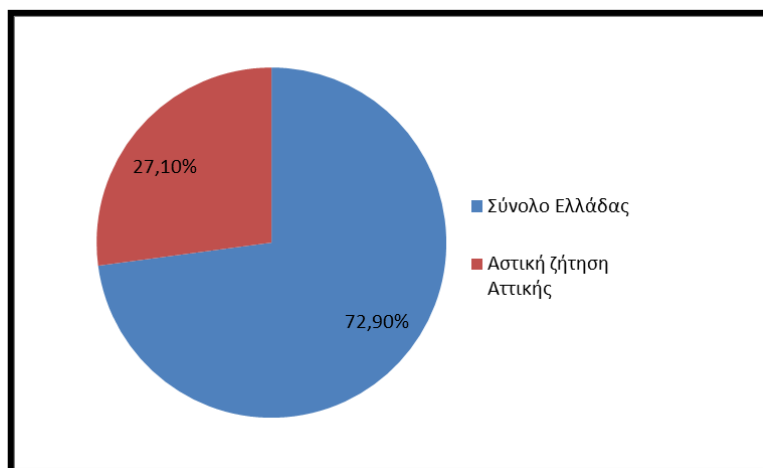


Σχήμα 6.11. : Διάγραμμα ζήτησης νερού για βιομηχανική χρήση <sup>(2)</sup>

(2) (<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/index.html>)

### Ποσοστό αστικής χρήσης

Το Υδατικό Διαμέρισμα τη Αττικής αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση, όσον αφορά την αστική ζήτηση νερού, σε σχέση με τα υπόλοιπα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας. Περισσότερο από το 1/4 της συνολικής ζήτησης νερού για αστικές χρήσεις αφορά το Υ.Δ. Αττικής και φτάνει τα 400  $Mm^3/yr$ . Αν και η Αττική συγκεντρώνει το 30 – 40% του πληθυσμού της χώρας το ποσοστό κατανάλωσης για αστικές χρήσεις δεν αντιστοιχεί με το ποσοστό συγκέντρωσης του πληθυσμού. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι στα υπόλοιπα Υδατικά Διαμερίσματα το νερό ύδρευσης χρησιμοποιείται και για άλλες χρήσεις (πότισμα λαχανόκηπων).



Σχήμα 6.12. : Διάγραμμα ζήτησης νερού για αστική χρήση <sup>(2)</sup>

### Ποσοστό χρήσης για ενέργεια

Δεν υπάρχουν υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας στα όρια του υδατικού διαμερίσματος. Ο πετρελαϊκός σταθμός Λαυρίου χρησιμοποιεί για ψύξη θαλάσσιο νερό, ενώ οι μικρές ποσότητες πόσιμου νερού προέρχονται από τα δίκτυα ύδρευσης ή από γεωτρήσεις.

### Συνολική ζήτηση

Η συνολική σημερινή ζήτηση νερού για καταναλωτικές χρήσεις εκτιμάται ως το άθροισμα των ζητήσεων όλων των χρήσεων που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Οι ανάγκες ύδρευσης εκτιμήθηκαν με βάση τις πρόσφατες καταναλώσεις και αναφέρονται, ως επί το πλείστον, στη ζήτηση νερού στα διυλιστήρια της Ε.ΥΔ.Α.Π.

Στον Πίνακα 6.10. που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ανά κατηγορά καταναλώσεις αλλά και η συνολική κατανάλωση του Υ.Δ. Αττικής συγκρινόμενες και με τις αντίστοιχες των υπόλοιπων Υδατικών Διαμερισμάτων.

(2) (<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/index.html>)

**Πίνακας 6.10.** : Μέσες ετήσιες χρήσεις νερού ανά κατηγορία σε  $Mm^3/yr$  (Ε.Π.Δ.Π. Υδατικών Πόρων, 2008 και Pedrero et al., 2010)

Υδατικό διαμέρισμα	Υδρευση	Γεωργική χρήση	Βιομηχανική χρήση	Άλλες	Σύνολο χρήσης	CI <sup>1</sup> (%)
<b>Δ. Πελοπόννησος</b>	23,0	206,0	3,0	20,0	252,0	6,7
<b>Β. Πελοπόννησος</b>	41,7	408,1	3,0	-	452,8	18,5
<b>Α. Πελοπόννησος</b>	22,1	329,6	-	-	351,7	18,0
<b>Δ. Κεντρ. Ελλάδα</b>	22,4	374,5	-	-	396,9	4,1
<b>Ήπειρος</b>	33,9	137,3	1,0	-	172,2	2,0
<b>Αττική</b>	420,0	101,5	17,5	-	539,0	129,7
<b>Κεντρ. Ελλάδα και Εύβοια</b>	165,9	783,6	12,6	-	962,1	32,6
<b>Θεσσαλία</b>	54,0	1,562,0	-	-	1.616,0	35,1
<b>Δ. Μακεδονία</b>	43,7	617,3	30,0	80,0	771,0	15,6
<b>Κ. Μακεδονία</b>	99,8	536,6	80,0	-	716,4	9,4
<b>Α. Μακεδονία</b>	32,0	632,8	-	-	664,8	14,3
<b>Θράκη</b>	27,9	832,3	11,0	-	871,2	7,7
<b>Κρήτη</b>	42,3	330,2	-	-	372,5	14,3
<b>Νήσοι Αιγαίου</b>	37,2	87,0	-	-	124,2	9,9
<b>Σύνολο</b>	<b>1.065,9</b>	<b>6.938,8</b>	<b>158,1</b>	<b>100,0</b>	<b>8.242,8</b>	<b>11,9</b>



## 6.8. Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων

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

Η Ψυττάλεια είναι μικρό νησί του Σαρωνικού Κόλπου, ανάμεσα στο λιμάνι του Πειραιά και τη Σαλαμίνα. Έχει έκταση  $0,375 \text{ km}^2$  και δεν έχει μόνιμους κατοίκους. Ανήκει διοικητικά στο δήμο Πειραιά. Στο νησί εδρεύουν οι εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων προερχόμενα από το νομό Αττικής.



**Σχήμα 6.13.** : Άποψη του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας

Η κύρια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, με μέση παροχή εισερχομένων λυμάτων της τάξης των  $730.000 \text{ m}^3$  ημερησίως, είναι το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (Κ.Ε.Λ.Ψ.). Το Κ.Ε.Λ.Ψ. λειτουργεί με δυναμικότητα ισοδύναμου πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων.

Το έργο άρχισε να κατασκευάζεται το 1983, όταν αποφασίστηκε η μεταφορά και η επεξεργασία των λυμάτων της Αττικής στη νήσο Ψυττάλεια. Πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων – το δεύτερο – στην Ευρώπη και ίσως το πιο σύγχρονο, συνολικού κόστους 70 δισ. δρχ., το οποίο συμβάλλει αποφασιστικά στην εξυγίανση του Σαρωνικού Κόλπου.

Η εγκατάσταση κατασκευάστηκε σε δυο φάσεις με κοινοτική και εθνική χρηματοδότηση. Η πρώτη ολοκληρώθηκε το 1996 και παραδόθηκε στην Ε.ΥΔ.Α.Π. που έχει και την ευθύνη λειτουργίας της. Η δεύτερη βρίσκεται υπό την ευθύνη του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και υπάρχει χρονικός ορίζοντας ως το 2020.

Ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (Κ.Α.Α.) είναι ο αγωγός με τον οποίο γίνεται η παροχέτευση ομβρίων και ακαθάρτων του παντορροϊκού συστήματος από το τέρμα της οδού Πατησίων μέχρι τον Ακροκέραμο Κερατσινίου όπου και γινόταν η εκβολή προς τη

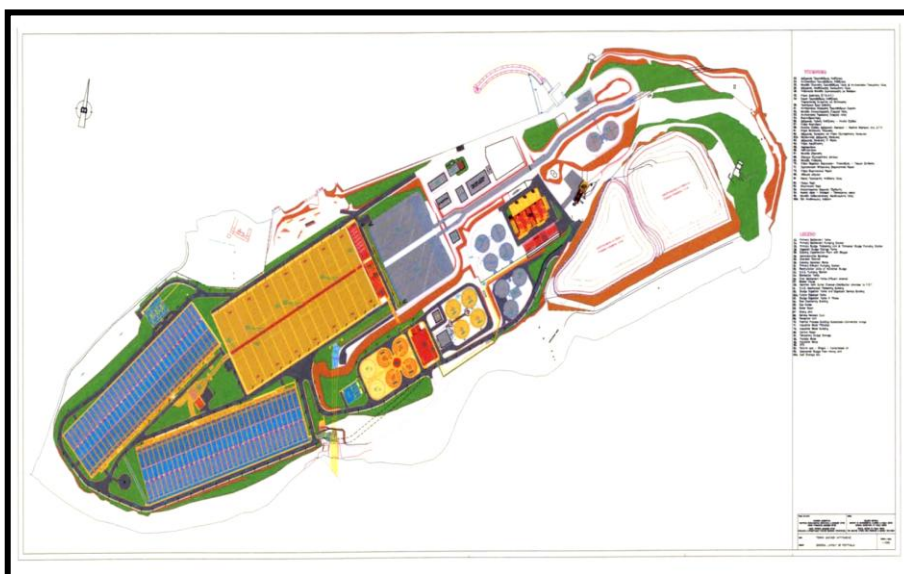
θάλασσα. Η διατομή του αγωγού αρχίζει με ωειδή διατομή  $0,70 \times 1,05 \text{ m}$  και καταλήγει σε ορθογωνική διατομή  $3,60 \times 3,60 \text{ m}$

Με την κατασκευή του Κ.Α.Α. δρομολογήθηκε η οριστική διάταξη του παρόντος δικτύου αποχέτευσης. Μέχρι τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο είχαν κατασκευασθεί τα  $10 \text{ km}$  του Κ.Α.Α. ενώ η ολοκλήρωσή του έγινε μεταπολεμικά, μέχρι το 1959 (συνολικό μήκος  $16 \text{ km}$ ). Η παροχетеυτική ικανότητα του αγωγού στην εκβολή είναι  $15 \text{ m}^3$  ανά δευτερόλεπτο. Με την κατασκευή του Κ.Α.Α. οι τοπικοί συλλεκτήρες συνολικού μήκους  $60 \text{ km}$  κρίθηκαν διατηρητέοι και εντάχθηκαν στο νέο δίκτυο αποχέτευσης που κατασκευάστηκε (Ε.ΥΔ.Α.Π.).

Ο Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχетеυτικός Αγωγός (Σ.Κ.Α.Α.) προστέθηκε σε δεύτερη φάση. Κατασκευάστηκε μέσα στη δεκαετία του 1980. Αρχίζει από τον Κ.Α.Α. από σημείο του στο τμήμα που διέρχεται από την περιοχή της Αγίας Άννης στο Δήμο Αγ. Ιωάννου Ρέντη και απολήγει στον Ακροκέραμο. Συμπληρώνει την παροχетеυτική ικανότητα του Κ.Α.Α. Είναι κυκλικός αγωγός από οπλισμένο σκυρόδεμα μήκους  $7,5 \text{ km}$  και ικανότητας μεταφοράς όγκων  $15 \text{ m}^3$  ανά δευτερόλεπτο. Στην αρχή του είναι εγκατεστημένα θυροφράγματα ρύθμισης των παροχών και έχει διάμετρο  $3,3 \text{ m}$ .

Το έργο της Ψυττάλειας αποτελείται από τα εξής επιμέρους έργα:

- Συμπληρωματικό Κεντρικό Αποχетеυτικό Αγωγό (Σ.Κ.Α.Α.)
- Μηχανική επεξεργασία λυμάτων στον Ακροκέραμο
- Δίδυμο υποθαλάσσιο αγωγό (ανεστραμμένος σίφωνας) από τον Ακροκέραμο στη νήσο Ψυττάλεια
- Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ψυττάλεια
- Σύστημα αγωγών εκβολής.



**Σχήμα 6.14.** : Σχεδιάγραμμα των εγκαταστάσεων

## Λειτουργία Α΄ Φάσης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλεια

Η κατασκευή της Α΄ φάσης ολοκληρώθηκε το 1993 και από το Νοέμβριο του 1994 το Κ.Ε.Λ.Ψ. βρίσκεται σε κανονική λειτουργία. Τα λύματα της Αθήνας (περίπου 730.000  $m^3$  ημερησίως) αφού υποστούν προεπεξεργασία (εσχάρωση – εξάμμωση) στον Ακροκέραμο, οδηγούνται μέσω συστήματος ανεστραμμένων σιφώνων στη νήσο Ψυττάλεια. Προς αποφυγή περιβαλλοντικών οχλήσεων, οι εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας είναι καλυμμένες, και ο περιεχόμενος αέρας υφίσταται συνεχή καθαρισμό, μέσω συστήματος μονάδων απόσμησης.

Στην Ψυττάλεια τα λύματα υποβάλλονται σε κυρίως επεξεργασία, δηλαδή σε πρωτοβάθμια καθίζηση. Στη συνέχεια, μέσω των αγωγών διάθεσης οδηγούνται σε ικανοποιητικό βάθος και διαχέονται στον αποδέκτη, το Σαρωνικό Κόλπο, επιτυγχάνοντας υψηλή αραίωση τόσο κατά το καλοκαίρι όσο και κατά το χειμώνα.

Μέσω της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας τα αιωρούμενα στερεά των λυμάτων μειώνονται κατά 60% περίπου και το οργανικό φορτίο (BOD) κατά 35% περίπου και φθάνουν σε μέσες συγκεντρώσεις 160  $mg/L$  και 250  $mg/L$  αντίστοιχα, στα επεξεργασμένα λύματα. Ειδικότερα τα χαρακτηριστικά (συγκεντρώσεις σε  $mg/L$ ) των εισερχομένων λυμάτων είναι (μέσες τιμές περιόδου 9/96 - 8/00): αιωρούμενα στερεά 446, πτητικά αιωρούμενα στερεά 338, BOD 418 και COD 948, ενώ τα αντίστοιχα μεγέθη στην εκροή είναι: αιωρούμενα στερεά 159, πτητικά αιωρούμενα στερεά 126, BOD 250 και COD 529. Η θερμοκρασία των λυμάτων κυμαίνεται μεταξύ 17° C και 26° C και χαρακτηρίζονται από μέση τιμή pH ίση με 7,4.

Η ιλύς που προκύπτει από τον καθαρισμό των λυμάτων, υφίσταται μια σειρά διεργασιών προς αδρανοποίηση και ελάττωση του όγκου της (προπάχυνση, αναερόβια χώνευση, αφυδάτωση) και τελικά διατίθεται προς υγειονομική ταφή. Κατά την αναερόβια χώνευση (που χαρακτηρίζεται από μέση απόδοση διάσπασης οργανικού φορτίου ίση προς 42%) παράγεται βιοαέριο, σε μέση ποσότητα περίπου 50.000  $m^3/ημέρα$ , ενώ η παραγόμενη ποσότητα αφυδατωμένης ιλύος είναι περίπου 280  $t/ημέρα$ .

Από τις αρχές του 2001 λειτουργεί στην Ψυττάλεια μια σύγχρονη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την καύση του βιοαερίου που παράγεται στο Κ.Ε.Λ.Ψ. Η μονάδα, προϋπολογισμού 3,8 δισ. δρχ. – η οποία χρηματοδοτήθηκε κατά 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση – θα έχει δυναμικότητα 7,4  $MW$  και θα παράγει ποσότητες ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ικανές για να καλυφθούν οι ανάγκες του Κ.Ε.Λ.Ψ., ενώ η πλεονάζουσα ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πωλείται στη Δ.Ε.Η.

Με τον τρόπο αυτό θα εξασφαλιστεί ενεργειακή αυτονομία και μείωση του κόστους λειτουργίας του Κ.Ε.Λ.Ψ., ενώ θα αξιοποιείται πλήρως η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου. Ακόμη, η θερμική ενέργεια από την ψύξη των μηχανών βιοαερίου θα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτών ιλύος και μελλοντικά για την ξήρανση της αφυδατωμένης ιλύος.

## Λειτουργία Β΄ Φάσης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας

Οι εργασίες για την κατασκευή της Β΄ φάσης των έργων στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας άρχισαν τον Φεβρουάριο του 1999. Περιλαμβάνονταν σε αυτές εκτεταμένες εκσκαφές για την προετοιμασία του χώρου για την κατασκευή των δεξαμενών αερισμού και τελικής καθίζησης, καθώς και για τις νέες δεξαμενές χώνευσης. Το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. είχε την ευθύνη της οριστικής μελέτης της εγκατάστασης ώστε αυτή να ανταποκρίνεται προς τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (Ε.Υ.Δ.Α.Π.). Με την ολοκλήρωση των έργων της Β΄ φάσης (κατασκευή εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων και επεξεργασίας της προκύπτουσας ιλύος), η μείωση του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων υπερβαίνει το 90%.

Στα πλαίσια της εκπλήρωσης των όρων σχετικής Κοινοτικής Οδηγίας, σχεδιάστηκε η ελάττωση του οργανικού φορτίου (BOD) σε 25 mg/L και των αιωρούμενων στερεών σε 35 mg/L στην εκροή των επεξεργασμένων λυμάτων, καθώς επίσης και μείωση του ολικού αζώτου κατά 80 – 90%.

Ο βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων πραγματοποιείται σε δεξαμενές αερισμού, οι οποίες ακολουθούνται από δεξαμενές τελικής καθίζησης. Κατά τη λειτουργία επιτυγχάνεται σε σημαντικό βαθμό και η απομάκρυνση οργανικού αζώτου, μέσω διεργασιών νιτροποίησης – απονιτροποίησης, προς αποτροπή του ευτροφισμού του αποδέκτη. Η δευτεροβάθμια ιλύς υφίσταται μηχανική πάχυνση, χώνευση (μαζί με την πρωτοβάθμια ιλύ) και αφυδάτωση, με αντίστοιχες αυξήσεις στις παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου και αφυδατωμένης ιλύος.

Με την ολοκλήρωση και της Β΄ φάσης των έργων στο Κ.Ε.Λ.Ψ. ο Σαρωνικός δέχεται επεξεργασμένα λύματα με πολύ μικρό ποσοστό επιβάρυνσης, σε ρυπαντικό φορτίο και θρεπτικά στοιχεία που συμβάλλουν στο ανεπιθύμητο φαινόμενο του ευτροφισμού. Επομένως, αναμένεται ότι η βελτίωση του θαλασσίου περιβάλλοντος του Σαρωνικού Κόλπου θα συνεχιστεί με ταχύ ρυθμό, ώστε να αποκατασταθεί η ισορροπία των οικοσυστημάτων.



**Σχήμα 6.15.** : Οι εγκαταστάσεις του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας

## Εγκαταστάσεις

Οι εγκαταστάσεις του Κ.Ε.Λ.Ψ. περιλαμβάνουν <sup>(1)</sup>:

- Έργα προεπεξεργασίας λυμάτων στον Ακροκέραμο (άντληση, εσχάρωση, εξάμμωση, απόσμηση).
- Έξι ορθογώνιες δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, διαστάσεων 100×20×3 m, συνολικού όγκου 36.000 m<sup>3</sup>.
- Δώδεκα βιοαντιδραστήρες, συνολικού όγκου 298.000 m<sup>3</sup>.
- Εξήντα τέσσερις δεξαμενές τελικής καθίζησης, συνολικής επιφάνειας 52.000 m<sup>3</sup>.
- Τρία αμμόφιτρα για παραγωγή βιομηχανικού νερού, συνολικής δυναμικότητας 1.500 m<sup>3</sup> ανά ώρα.
- Δύο συστήματα απολύμανσης UV, συνολικής δυναμικότητας 600 m<sup>3</sup> ανά ώρα.
- Τρεις καλυμμένες κυλινδρικές δεξαμενές προπάχυνσης ιλύος, διαμέτρου 25 m, βάθους 5 m περίπου, συνολικού ωφέλιμου όγκου 7.380 m<sup>3</sup>.
- Δέκα τέσσερις τράπεζες μηχανικής πάχυνσης, δυναμικότητας 150 m<sup>3</sup> ανά ώρα, έκαστη.
- Οκτώ κλειστές κυλινδρικές δεξαμενές χώνευσης ιλύος, διαμέτρου 30 m, συνολικού όγκου 80.000 m<sup>3</sup>.
- Τέσσερις κυλινδρικές δεξαμενές αποθήκευσης ιλύος, ωφέλιμου όγκου 2.900 m<sup>3</sup> έκαστη και δύο ορθογώνιες δεξαμενές αποθήκευσης ιλύος, ωφέλιμου όγκου 2.590 m<sup>3</sup> έκαστη.
- Μονάδα αφυδάτωσης με 6 φυγοκεντρικούς αφυδατωτές, δυναμικότητας 70 m<sup>3</sup> ανά ώρα έκαστος.
- Τέσσερις γραμμές ξήρανσης, δυναμικότητας εξάτμισης 8,6 τόνων ανά ώρα έκαστη.
- Δύο αεριοφυλάκια, χωρητικότητας 5.600 m<sup>3</sup> έκαστο.
- Μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας (Σ.Η.Θ.Ε.), ισχύος 7,14 MWe και 10,35 MWth με βιοαέριο με τρεις αεριομηχανές.
- Μονάδα Σ.Η.Θ.Ε., ισχύος 4,2 MWe και 6,80 MWth με βιοαέριο με δύο αεριομηχανές.
- Μονάδα Σ.Η.Θ.Ε. τύπου αεριοστροβίλου - γεννήτριας με καύση φυσικού αερίου, ισχύος 12,9 MWe και 17,3 MWth.
- Αγωγοί εκβολής

Η εγκατάσταση διαθέτει επίσης ένα πολύ καλά εξοπλισμένο εργαστήριο για χημικές αναλύσεις και προσδιορισμό της ποιότητας των λυμάτων εισόδου αλλά και των εκροών. Μπορούν να γίνουν οι κλασικοί προσδιορισμοί στερεών (TDS, TSS) με τη βοήθεια φούρνων, να εκτιμηθεί η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Υπάρχουν φασματοφωτόμετρα και όλα τα απαραίτητα όργανα στο εργαστήριο

(1) (<http://www.eydap.gr>)



Μια πολύ χρήσιμη μέτρηση είναι αυτή του προσδιορισμού της απομάκρυνσης των βαρέων μετάλλων που γίνεται με μια πολύ ενδιαφέρουσα μέθοδο – αυτή της ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry) της SCIEUX. Πρόκειται για έναν τύπο φασματοσκοπίας μάζας που είναι πολύ ευαίσθητη και ικανή να προσδιορίσει ένα μεγάλο εύρος μετάλλων και πολλών μη μεταλλικών στοιχείων σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1 μέρος σε 1012.

Μια ευρεία κατηγορία μετάλλων όπως Zn, Pb, Cu, Ni, Cd μπορεί να είναι τοξικά για τα φυτά, αλλά και είναι δυνατόν να συσσωρευτούν και να προσληφθούν από καταναλωτές οργανισμούς. Η διαλυτότητά τους είναι συνάρτηση του pH. Για  $pH < 6,5$  τα περισσότερα μέταλλα απαντώνται σε διαλυμένη μορφή, ενώ για τιμές  $pH > 6,5$  αυτά βρίσκονται με τη μορφή οξειδίων ή υδροξειδίων.



**Σχήμα 6.16. :** Το Κ.Ε.Λ. Ψυτάλειας

Στην βιολογική επεξεργασία τα βαρέα μέταλλα συγκεντρώνονται στην παραγόμενη ιλύ. Δημιουργείται λοιπόν ένα σοβαρό πρόβλημα με την τοξικότητα που κάνει προβληματική την απόθεση της ιλύος. Το ζήτημα της επεξεργασίας της παραγόμενης λάσπης αποτέλεσε θέμα προστριβών όλα τα προηγούμενα χρόνια. Αυτό που γίνεται σήμερα είναι η ασβεστοποίηση της ιλύος που έχει παραχθεί. Με τον τρόπο αυτό η ιλύς σταθεροποιείται με τη βοήθεια ασβέστη για να μην είναι τόσο επιβλαβής. Δυσμενείς πάντως είναι οι συνθήκες του περιβάλλοντος εργασίας της ασβεστοποίησης.

Η παραγόμενη ιλύς από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων περιέχει πλήθος πολύτιμων συστατικών όπως θρεπτικά, υψηλή θερμογόνο δύναμη, συγχρόνως όμως είναι φορέας ανεπιθύμητων ρύπων όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, τα συνθετικά οργανικά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, γεγονός που καθιστά την διαχείρισή της ένα από τα πιο δυσεπίλυτα προβλήματα που σχετίζονται με την λειτουργία μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων.

Η κατά κανόνα εφαρμοζόμενη πρακτική διαχείρισης της ιλύος στη χώρα μας, συνίσταται στη διάθεση της ιλύος σε Χ.Υ.Τ.Α., μέθοδος η οποία δεν αποτελεί βιώσιμη λύση τόσο σε μεσοπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο επίπεδο. Αυτή η πρακτική δεν ακολουθείται στην περίπτωση της Ψυττάλειας, αφού ο Χ.Υ.Τ.Α. δεν επιτρέπει την απόρριψη σε αυτόν της λάσπης, οπότε εφαρμόζεται ως εναλλακτική λύση μια δυνατότητα υγειονομοποίησης της ιλύος με ασβέστη που έχει στόχο την εξασφάλιση των όρων διάθεσης της ιλύος σε Χ.Υ.Τ.Α. ή επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία.

**Πίνακας 6.11.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Ψ. <sup>(3)</sup>

<b>Είσοδος (ανεπεξεργαστα λύματα)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	323,7 mg/L	740,1 mg/L	350,9 mg/L	36,8 mg/L
<b>Έξοδος (επεξεργασμένη εκροή)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	9,9 mg/L	49,9 mg/L	17,1 mg/L	0,6 mg/L



**Σχήμα 6.17.** : Το Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας

(3) (<http://ypeka.plexscape.com>)

### 6.8.2. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης (Κ.Ε.Λ.Μ.)

Η Μεταμόρφωση (πρώην «Κουκουβάουνες») είναι βόρειος δήμος του πολεοδομικού συγκροτήματος Αθηνών, στους νοτιοανατολικούς πρόποδες της Πάρνηθας, ο οποίος εξυπηρετείται συγκοινωνιακά κυρίως μέσω της εθνικής οδού Αθηνών – Λαμίας. Διοικητικά υπάγεται στην Περιφέρεια Αττικής – περιφερειακή ενότητα Βόρειου Τομέα Αθηνών. Η παλαιότερη ονομασία Κουκουβάουνες, που άλλαξε στις 17 Ιανουαρίου του 1957 σε Μεταμόρφωση, παραμένει ευρέως διαδεδομένη, ιδιαίτερα από τους γηραιότερους κατοίκους της πόλης. Κατά την αρχαιότητα, στην θέση της σημερινής Μεταμόρφωσης βρισκόταν ο αρχαίος Δήμος Συπαλητού. Ο σημερινός Δήμος κείται νότια της Κηφισιάς και απέχει 12 km. από την Αθήνα. Είναι έκτασης 9 km<sup>2</sup>. Αρχικά υπαγόταν διοικητικά στον Δήμο της Αθήνας, έως το 1934. Από το 1934 έως και το 1971 αναγνωρίστηκε ως αυτόνομη Κοινότητα Μεταμορφώσεως, για να προαχθεί τελικά σε Δήμο Μεταμορφώσεως το έτος 1972.



**Σχήμα 6.18. :** Το Κ.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης κατασκευάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Αποτελεί τη μοναδική εγκατάσταση υποδοχής και επεξεργασίας οικιακών βοθρολυμάτων στο Νομό Αττικής εξυπηρετώντας Δήμους και Κοινότητες που στερούνται αποχετευτικού δικτύου. Με την αδιάλειπτη λειτουργία του Κ.Ε.Λ.Μ. απαλείφθηκαν οι ανεξέλεγκτες εκκενώσεις λυμάτων, κυρίως σε ρέματα, με αποτέλεσμα την αναβάθμιση και προστασία του περιβάλλοντος όσον αφορά στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

#### **Λειτουργία Α΄ Φάσης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης**

Η λειτουργία της πρώτης φάσης με επεξεργασία αμιγών βοθρολυμάτων άρχισε τον Ιούλιο 1984. Το Μάρτιο 1986 τέθηκε σε λειτουργία ολόκληρο το Κέντρο με την επεξεργασία του συνόλου των βοθρολυμάτων της Αττικής και αστικών λυμάτων από τμήματα των βορείων προαστίων. Τα επεξεργασμένα λύματα διατίθενται στο ρέμα της Πύρνας.

Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων ανέρχεται σε 24.000 m<sup>3</sup> βοθρολυμάτων ημερησίως και 20.000 m<sup>3</sup> ημερησίως αστικών λυμάτων, συνολικού οργανικού φορτίου 30.470 kg BOD ημερησίως που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο πληθυσμό 500.000 κατοίκων.



Σύμφωνα με πρόσφατα λειτουργικά στοιχεία, το Κ.Ε.Λ.Μ. δέχεται ημερησίως 700 βυτιοφόρα λυμάτων (μέσος ετήσιος όρος 550) που αντιστοιχούν σε 11.000  $m^3$  βοθρολυμάτων ημερησίως και περί τα 10.000  $m^3$  αστικών λυμάτων ημερησίως. Η απόδοση της εγκατάστασης είναι άνω του 97%.

### Εγκαταστάσεις

Οι εγκαταστάσεις του Κ.Ε.Λ.Μ. περιλαμβάνουν <sup>(1)</sup> :

- Χώρο Εκκένωσης Βυτιοφόρων.
- Προεπεξεργασία βοθρολυμάτων-αστικών λυμάτων (εσχάρωση, εξάμμωση, λιπосуλλογή). Δύο (2) χειροκαθαριζόμενες χονδροεσχάρες και τρεις (3) αυτόματες εσχάρες, δύο (2) αεριζόμενοι εξαμμωτές, έκαστος όγκου 300  $m^3$ .
- Σύστημα απόσμησης κτηρίου προεπεξεργασίας με χημική πλυντηρίδα τριών σταδίων.
- Πρωτοβάθμια καθίζηση βοθρολυμάτων με προσθήκη κροκιδωτικού (διαχωριστές υγρών - στερεών). Δύο (2) δεξαμενές καθίζησης, έκαστη 1.350  $m^3$  Αντλιοστάσιο ιλύος με τέσσερις αντλίες τύπου monohorumpis, έκαστη δυναμικότητας 30  $m^3$  την ώρα.
- Πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών λυμάτων. Δύο (2) δεξαμενές καθίζησης, έκαστη 1.512  $m^3$  Αντλιοστάσιο ιλύος με δύο υποβρύχιες αντλίες, έκαστη δυναμικότητας 60  $m^3$  την ώρα.
- Βιολογική επεξεργασία (μέθοδος ενεργού ιλύος). Μία (1) δεξαμενή αερισμού όγκου 21.000  $m^3$ , δεκαπέντε (15) αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες κατακόρυφου άξονα, έκαστος ισχύος 55  $KW$ . Αντλιοστάσιο με τρεις (3) αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος, έκαστη δυναμικότητας 900  $m^3$  την ώρα. Αντλιοστάσιο με δύο αντλίες περίσσειας ιλύος 120  $m^3$  την ώρα έκαστη. Δευτεροβάθμια καθίζηση με δύο (2) δεξαμενές καθίζησης, έκαστη 4.570  $m^3$ .
- Απολύμανση. Μία (1) δεξαμενή επαφής όγκου 1.600  $m^3$ . Σύστημα δοσομέτρησης με απολυμαντικό μέσο υποχλωριώδες νάτριο.
- Εγκατάσταση βιομηχανικού νερού (μονοστρωματικά αμμόφιλτρα).
- Αναερόβια χώνευση ιλύος. Δύο (2) πρωτοβάθμιοι χωνευτές, έκαστος όγκου 7.900  $m^3$ , ένας (1) δευτεροβάθμιος χωνευτής όγκου 3.000  $m^3$ , σύστημα ανάδευσης με βιοαέριο.
- Ένα (1) αεροφυλάκιο υγρού τύπου, όγκου 1.000  $m^3$ .
- Αφυδάτωση ιλύος (ταινιοφιλτρόπρεσσες). Τέσσερις (4) ταινιοφιλτρόπρεσσες, έκαστη δυναμικότητος 800 – 1000  $kg DS/m.hr$  (κιλά ξηρών στερεών ανά μέτρο την ώρα).
- Σύστημα απόσμησης κτηρίου αφυδάτωσης με χημική πλυντηρίδα τριών σταδίων
- Σύστημα τηλεελέγχου – τηλεχειρισμού SCADA.
- Χημικό – μικροβιολογικό εργαστήριο.

**Πίνακας 6.12. :** Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Μ. <sup>(3)</sup>

<b>Είσοδος (ανεπεξεργαστα λύματα)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	603,7 mg/L	1.270,3 mg/L	580,2 mg/L	0 mg/L

<b>Έξοδος (επεξεργασμένη εκροή)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	8,2mg/L	29,5 mg/L	7,9 mg/L	0 mg/L

### **6.8.3.Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Λαυρίου**

Το Λαύριο (γνωστό κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και ως Εργαστήρια Λαυρίου) είναι μια μικρή πόλη στο νοτιοανατολικό μέρος της Αττικής και έδρα του Δήμου Λαυρεωτικής. Είναι γνωστό από την κλασσική αρχαιότητα για την εξόρυξη ασημιού, που ήταν μια από τις κύριες πηγές εισοδήματος της πόλης-κράτους της Αθήνας, για την παραγωγή νομισμάτων και την χρηματοδότηση του Αθηναϊκού στόλου. Τα τελευταία χρόνια διατέθηκαν σημαντικοί πόροι για την ανάπτυξη και επέκταση του λιμανιού του Λαυρίου. Σε αυτό το πλαίσιο εκσυγχρονίστηκε επίσης ο δρόμος που το συνδέει με το αεροδρόμιο και συνεπώς με την πρωτεύουσα.

Το Λαύριο υπήρξε άλλοτε μια ανθηρή βιομηχανική πόλη με πλήθος βιομηχανιών, όμως μετά το οριστικό κλείσιμο των μεταλλείων (περίπου 1980) και των περισσότερων βιομηχανιών σαν συνέπεια της γενικότερης αποβιομηχάνισης της χώρας, πέρασε μια περίοδο οικονομικής κρίσης και αυξημένης ανεργίας. Η κύρια απασχόληση των κατοίκων του είναι η εργασία σε μικρές βιομηχανίες και βιοτεχνίες. Λόγω της σχετικά μικρής απόστασής του από την περιοχή του Κορωπίου (περίπου 30 km), το οποίο είναι ένα βιομηχανικό κέντρο, σημαντικός αριθμός κατοίκων εργάζεται εκεί. Το Λαύριο βρίσκεται 40 km Ν.Α. της Αθήνας (60 km οδικώς) και 7 χιλιόμετρα βόρεια του ακρωτηρίου Σούνιο.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων του Λαυρίου κατασκευάστηκε το Δεκέμβρη του 1994 και λειτούργησε το Δεκέμβρη του 1995. Οι εγκαταστάσεις μπορούν να εξυπηρετήσουν έως και 35.000 κατοίκους. Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων ανέρχεται σε 1.000 m<sup>3</sup> βοθρολυμάτων ημερησίως και 1.100 m<sup>3</sup> ημερησίως αστικών λυμάτων, συνολικού οργανικού φορτίου 410 kg BOD ημερησίως.

(1) (<http://www.eydap.gr>)

(3) (<http://ypeka.plexscape.com>)

**Πίνακας 6.13.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Λ. <sup>(3)</sup> :

<b>Είσοδος (ανεπεξεργαστα λύματα)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	376,5 mg/L	1.351,3 mg/L	662,0 mg/L	73,8 mg/L

<b>Έξοδος (επεξεργασμένη εκροή)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	8,1 mg/L	30,2 mg/L	9,1 mg/L	1,2 mg/L

#### **6.8.4. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεγαρέων (Κ.Ε.Λ.Μ.)**

Τα Μέγαρα είναι πόλη της δυτικής Αττικής. Βρίσκεται στις βόρειες ακτές του Σαρωνικού στο μέσον περίπου της διαδρομής μεταξύ Αθήνας και Κορίνθου. Τα Μέγαρα αποτελούν έδρα του δήμου Μεγαρέων και πρωτεύουσα της επαρχίας Μεγαρίδας. Ο Πληθυσμός τους, σύμφωνα με την απογραφή του 2001, είναι 28.195 κάτοικοι.

Το Κ.Ε.Λ. Μεγάρων βρίσκεται 2 km Β.Δ. της πόλης των Μεγάρων, στη θέση Σχινέα πηγάδι. Οι εγκαταστάσεις ολοκληρώθηκαν το Μάιο του 2009 και λειτούργησαν τον Νοέμβριο του ίδιου έτους. Οι εγκαταστάσεις εξυπηρετούν 43.000 κατοίκους. Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων ανέρχεται σε 2.300 m<sup>3</sup> λύματα ημερησίως, συνολικού οργανικού φορτίου 600 kg BOD ημερησίως.

#### **6.8.5. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Κερατέας (Κ.Ε.Λ.Κ.)**

Η Κερατέα είναι πόλη της Αττικής, που ανήκει διοικητικά στον Δήμο Λαυρεωτικής. Βρίσκεται στα νότια της Αττικής, χτισμένη στους βόρειους πρόποδες του όρους Πάνειο σε υψόμετρο 190 m. Απέχει 40 km από την Αθήνα με την οποία συνδέεται μέσω της λεωφόρου Λαυρίου και 16 km από το Λαύριο. Επίσης απέχει περίπου οκτώ χιλιόμετρα από τις ανατολικές ακτές της Αττικής. Κοντινότερες παραλίες στην Κερατέα είναι η Παραλία Κακής Θάλασσας και η παραλία Δασκαλειού. Ο πληθυσμός της Κερατέας είναι 7.493 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Κερατέας ολοκληρώθηκε το 1993 ενώ η λειτουργία του ξεκίνησε τον Οκτώβρη του 1994. Φορέας του έργου είναι Δημοτική Ενότητα Κερατέας Δήμου Λαυρεωτικής. Τα έργα επέκτασης του Κ.Ε.Λ. ολοκληρώθηκαν το 2008 μέσω προγράμματος χρηματοδότησης του Υπουργείου Ανάπτυξης.

(3) (<http://ypeka.plexscape.com>)

Οι εγκαταστάσεις εξυπηρετούν τον οικισμό Κερατέας μέσω δικτύου αποχέτευσης με πληθυσμό αιχμής 12.500 άτομα, αλλά δεν δέχεται και δεν επεξεργάζεται βιομηχανικά λύματα. Η διάθεση της επεξεργασμένης εκροής γίνεται στο ρέμα Ελαιοχωρίου. Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων ανέρχεται σε 4.000 m<sup>3</sup> αστικών λυμάτων ημερησίως και συνολικού οργανικού φορτίου 445 kg BOD ημερησίως.

**Πίνακας 6.14.** : Τιμές εισόδου και εξόδου του Κ.Ε.Λ.Κ. <sup>(3)</sup> :

<b>Είσοδος (ανεπεξεργαστα λύματα)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	0 mg/L	436,8 mg/L	346,0 mg/L	122,8 mg/L
<b>Έξοδος (επεξεργασμένη εκροή)</b>				
	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
<b>Τιμή</b>	0 mg/L	6,1 mg/L	24,2 mg/L	1,1 mg/L

(3) (<http://ypeka.plexscape.com>)



## **7. Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAT ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΤΤΙΚΗΣ**

### **7.1. Εισαγωγή**

Το πρόβλημα καταλληλότητας για τη χωροθέτηση ενός έργου είναι το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας η οποία αξιολογεί, ένα ευρύ φάσμα αναγκών για την υποψήφια θέση και την πρόταση για μια περιοχή, με βάση την ορθή εκτίμηση της διαθέσιμης γης. Αυτή η διαδικασία αποτελεί το βασικό στόχο και την πρωταρχική προϋπόθεση για ένα σύστημα τεχνητού εμπλουτισμού (Yi et al., 2010).

Η απόδοση ενός συστήματος τεχνητού εμπλουτισμού εξαρτάται σαφώς από την ικανότητα των φορέων λήψης αποφάσεων για τη συλλογή και ανάλυση των κατάλληλων γεωγραφικών δεδομένων (Kalantari et al., 2010). Ωστόσο, μεγάλος αριθμός παραμέτρων και η έκταση των μεταξύ τους σχέσεων, δημιουργούν δυσκολίες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Πολύπλοκα περιφερειακά υδρολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά κάνουν την επιλογή τοποθεσίας χωροθέτησης έργων τεχνητού εμπλουτισμού μία πολύ απαιτητική διαδικασία το αποτέλεσμα της οποίας καθορίζει εν πολλοίς και την ίδια την αποτελεσματικότητα του έργου (Anbazhagan et al., 2005). Η εν λόγω διαδικασία περιπλέκεται εντονότερα όταν πρόκειται για τη χρήση νερών εμπλουτισμού υποβαθμισμένης ποιότητας.

Για την επιλογή των κατάλληλων τοποθεσιών χωροθέτησης έργων τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής, χρησιμοποιείται ένα πρόδρομο εργαλείο Πολυκριτηριακού Συστήματος Λήψης Αποφάσεων. Γίνεται, συνεπώς, η απόπειρα ενσωμάτωσης σε μια δυναμική πλατφόρμα τόσο των τεχνικών του τεχνητού εμπλουτισμού, όσο και των γεωγραφικών χαρακτηριστικών που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα του έργου. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελεί ένα προχωρημένο εργαλείο σύζευξης Συστημάτων Λήψης Αποφάσεων και Γεωγραφικών Πληροφοριών ικανό να αξιολογεί κρίσιμα ζητήματα που αφορούν σε έργα τεχνητού εμπλουτισμού – γεωλογικά, υδρογεωλογικά, κλιματολογικά, νομικά, κοινωνικά, οικονομικά κ.ά. – δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση σε συστήματα SAT.

### **7.2. Η Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση**

Γενικά, ακόμα και στο πιο στοιχειώδες πλαίσιο, ένα χωρικό πρόβλημα αποφάσεων πολλών κριτηρίων περιλαμβάνει ένα σύνολο γεωγραφικά ορισμένων εναλλακτικών (συμβάντων), από τις οποίες, η επιλογή μιας ή περισσότερων εναλλακτικών πραγματοποιείται με βάση ενός δοθέντος συνόλου από κριτήρια αξιολόγησης (Carver, 1991, Heywood et al. 1995, Jankowski, 1995, Keller, 1996, Malczewski, 1996). Οι εναλλακτικές ορίζονται γεωγραφικά, υπό την έννοια ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης (αποφάσεις) εξαρτώνται από τη χωρική κατανομή των εναλλακτικών. Στην ορολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information Systems – GIS), οι εναλλακτικές είναι ένα σύμπλεγμα από σημεία, γραμμές και επιφάνειες στα οποία επισυνάπτονται οι τιμές των κριτηρίων.

Οι συμβατικές Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων (Multicriteria Decision Making – MCDM) είναι σε μεγάλο βαθμό μη χωρικές. Συνήθως χρησιμοποιούν μέσες ή ολικές επιπτώσεις οι οποίες θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για ολόκληρη τη περιοχή ενδιαφέροντος (Tkach and Simonovic, 1997). Πιο απλά, οι συμβατικές προσεγγίσεις υποθέτουν μία χωρική ομοιογένεια στην περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτή η υπόθεση είναι φανερά μη ρεαλιστική για πολλές περιπτώσεις λήψης αποφάσεων γιατί τα κριτήρια αξιολόγησης μεταβάλλονται στο χώρο έρευνας.

Η Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση διαφοροποιείται από τις συμβατικές Πολυκριτηριακές Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων λόγω του σαφούς γεωγραφικού χαρακτηριστικού της. Συνεπώς, απαιτεί δεδομένα σε τιμές κριτηρίων αλλά και τις γεωγραφικές κατανομές των εναλλακτικών. Τα στοιχεία υποβάλλονται σε επεξεργασία με συνδυασμό του GIS και των τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης ώστε να προκύψουν δεδομένα τα οποία θα οδηγήσουν στη λήψη μιας απόφασης. Κατά συνέπεια, οι όροι Πολυκριτηριακή Μέθοδος Λήψης Αποφάσεων με χρήση GIS και Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση μπορούν να θεωρηθούν πως έχουν την ίδια σημασία (Malczewski, 1999).

Η Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση συνιστά μια διαδικασία η οποία συνδυάζει και μετασχηματίζει γεωγραφικά δεδομένα οδηγώντας σε μία τελική απόφαση. Οι διαδικασίες των Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων ορίζουν τη σχέση μεταξύ των γεωγραφικών δεδομένων που εισάγονται και της τελικής απόφασης. Με αυτόν τον τρόπο εμπλέκονται η χρήση γεωγραφικών δεδομένων, οι προτιμήσεις του λήπτη των αποφάσεων, και ο χειρισμός των δεδομένων και προτιμήσεων σύμφωνα με τις καθορισμένες συνθήκες λήψης αποφάσεων. Δηλαδή, συγκεντρώνουν πολυδιάστατα γεωγραφικά δεδομένα και πληροφορίες σε μονοδιάστατες τιμές εναλλακτικών αποφάσεων. Η κρίσιμη πτυχή της Χωρικής Πολυκριτηριακής Ανάλυσης είναι το γεγονός ότι περιλαμβάνει την αξιολόγηση γεωγραφικών δεδομένων βασισμένων σε κριτήρια τιμών και των προτιμήσεων του λήπτη των αποφάσεων σε σχέση με ένα σύνολο από κριτήρια αξιολόγησης. Αυτό συνεπάγεται ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης εξαρτώνται, όχι μόνο από τη γεωγραφική κατανομή των δεδομένων (γνωρισμάτων), αλλά και από τη αξιολόγηση των τιμών που εμπλέκονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επομένως, δύο παράγοντες έχουν κρίσιμη σημασία για τη χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση:

- Οι δυνατότητες του GIS για την απόκτηση, αποθήκευση, ανάκτηση, χειρισμό και ανάλυση δεδομένων
- Οι δυνατότητες των Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων για την πρόσθεση των γεωγραφικών δεδομένων και των προτιμήσεων του λήπτη των αποφάσεων σε μονοδιάστατες τιμές εναλλακτικών αποφάσεων

Ο μεγάλος αριθμός παραγόντων απαραίτητων για το προσδιορισμό και μελέτη κατά τη λήψη χωρικών αποφάσεων και η έκταση των συσχετισμών μεταξύ αυτών των παραγόντων δημιουργούν δυσκολίες στη λήψη αποφάσεων. Οι δυσκολίες έγκεινται στο γεγονός ότι στην προσπάθεια να ληφθούν και να υποστούν επεξεργασία τα δεδομένα ώστε να ανακτηθούν πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων, η πολυπλοκότητα του προβλήματος μπορεί να απαιτεί επεξεργασία έως ένα βαθμό ο οποίος υπερβαίνει τις γνωστικές δυνατότητες του λήπτη αποφάσεων.

Για αυτό το σκοπό, ο ρόλος των GIS και των Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων είναι η παροχή υποστήριξης στο λήπτη των αποφάσεων ώστε να επιλέξει με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα επιλύοντας ταυτόχρονα χωρικά προβλήματα αποφάσεων. Επιπλέον, ο συνδυασμός του GIS και της Πολυκριτηριακής Μεθόδου Λήψης Αποφάσεων παρέχει στο φορέα λήψης αποφάσεων την απαιτούμενη υποστήριξη σε όλα τα στάδια της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, δηλαδή, στο στάδιο της προετοιμασίας (συλλογή και αποθήκευση δεδομένων), κατά το σχεδιασμό, αλλά και κατά τις φάσεις επιλογής. Μια σειρά από διαδικασίες στάθμισης των κριτηρίων βασιζόμενη στη κρίση του φορέα λήψης αποφάσεων έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία της πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων.

Μερικές από τις πιο δημοφιλείς διαδικασίες περιλαμβάνουν: κατάταξη, βαθμολόγηση, κατά ζεύγη σύγκριση και ανάλυση συμβιβασμών (Malczewski, 1999). Κάθε μέθοδος διαφέρει από την άλλη, από την άποψη της ακρίβειάς τους, το βαθμό ευκολίας χρήσης, της κατανόησης, θεωρητικής υποστήριξης ενώ η επιλογή της βέλτιστης λύσης για το πρόβλημα απαιτεί συζήτηση, επιτόπια επαλήθευση και επαναληπτικές τροποποιήσεις (Liu & Mason, 2009).

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σύγκρισης κατά ζεύγη στο πλαίσιο της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process – AHP) προκειμένου να εντοπιστούν οι κατάλληλες τοποθεσίες για τα συστήματα εμπλουτισμού SAT στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής στο μοντέλο GIS. Η μεθοδολογία που εισάγεται αποτελεί ένα πρώτο βήμα για τη χωροθέτηση λεκανών SAT το οποίο προηγείται της επιτόπιας έρευνας.

### **7.3. Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης**

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης αναπτύχθηκε στο Wharton School of Business, από τον Thomas Saaty στα τέλη της δεκαετίας του 70 (Saaty, 1980). Αποτελεί μια συστηματική διαδικασία καθορισμού προτιμήσεων εκ μέρους του λήπτη των αποφάσεων.

Η μέθοδος βασίζεται στην ανάλυση του προβλήματος στα στοιχειώδη τμήματά του και στην οργάνωση της βασικής λογικής του σε δομές (ιεραρχία), στις οποίες καθορίζονται οι σχέσεις προτίμησης, μεταξύ των στοιχείων του προβλήματος. Με τον όρο ιεραρχία περιγράφεται η ταξινομημένη διάταξη στοιχείων ή τμημάτων ενός συνόλου από το ανώτερο ως το κατώτερο επίπεδο σύμφωνα με κάποιο κριτήριο σπουδαιότητας.

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης βασίζεται σε τρεις θεμελιώδεις αρχές: στην αρχή της αποσύνθεσης, στην αρχή των συγκριτικών κρίσεων και την αρχή της σύνθεσης προτεραιοτήτων (Malczewski, 1999). Η αρχή της αποσύνθεσης αφορά στην ικανότητα της μεθόδου να διαρθρώνει ιεραρχικά ένα πολύπλοκο πρόβλημα να ερευνά κάθε επίπεδο ιεραρχίας χωριστά, και να συνδυάζει τα αποτελέσματα καθώς προχωρά η ανάλυση. Η αρχή των συγκριτικών κρίσεων αφορά στη δημιουργία ενός πίνακα προκειμένου να πραγματοποιηθούν κατά ζεύγη συγκρίσεις της σχετικής σημασίας των στοιχείων στο δεύτερο. Η κλιμακωτή αυτή διαδικασία εκφράζεται με βαρύτητες προτεραιότητας ή βαθμολογίες για την κατάταξη των εναλλακτικών δυνατοτήτων (Saaty, 1986).



## **7.4. Μέθοδοι και εργαλεία επιλογής**

### **7.4.1.Πλαίσιο**

Η λήψη αποφάσεων μπορεί να θεωρηθεί ως μία νοητική διαδικασία, η οποία βοηθά στην επιλογή μιας πορείας δράσης μεταξύ διάφορων εναλλακτικών σεναρίων. Κάθε διαδικασία λήψης αποφάσεων παράγει μια τελική επιλογή (Reason, 1990). Το προτεινόμενο πλαίσιο περιλαμβάνει τρεις κύριες φάσεις:

- Ορισμός του προβλήματος (Problem Definition Process – PDP)
- Διαμόρφωση χαρτών περιορισμών (Constraint Mapping Process – CMP)
- Διαμόρφωση χαρτών καταλληλότητας (Suitability Mapping Process – SMP)

### **7.4.2.Ορισμός του προβλήματος**

Η διαδικασία ορισμού του προβλήματος είναι το πρώτο και το πιο σημαντικό βήμα, το οποίο περιλαμβάνει την αναγνώριση και τον ορισμό του προβλήματος αποφάσεων. Στο σχεδιασμό και διαχείριση των υδατικών πόρων, τα συστήματα SAT έχει αποδειχθεί πως αποτελούν έναν αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης της λειψυδρίας. Για τον εντοπισμό των κατάλληλων τοποθεσιών για τη χωροθέτηση των συστημάτων SAT και για τη δημιουργία χάρτη καταλληλότητας, είναι σημαντικό να ενσωματωθούν οι τεχνικές της Πολυκριτηριακής Μεθόδου Λήψης Αποφάσεων σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Η Πολυκριτηριακή Μέθοδος Λήψης Αποφάσεων συνδυάζει κατάλληλα τεχνικά, οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια στα οποία και προσδίδει την ανάλογη βαρύτητα ανάλογα με τη σημασία τους για τα συστήματα SAT, ενώ τα GIS αναλύουν και διαχειρίζονται χωρικά αυτά τα κριτήρια και τους χάρτες των κατάλληλων θέσεων.

Αρκετές τεχνικές Πολυκριτηριακής Λήψης Αποφάσεων έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς για την επιλογή τοποθεσίας και κατανομής γης όπως οι: ELECTRE, PROMETHEE, AHP, TOPSIS, AIM, κ.ά. (Gilliams et al, 2005. Gomez and Barredo, 2005, Zhong-Wu et al, 2007). Ωστόσο, μόνο λίγες από αυτές έχουν ενσωματωθεί στα GIS (Gomez and Barredo, 2005, Marinoni, 2004), μεταξύ των οποίων η διαδικασία της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας η οποία αποτελεί και την πιο ευρέως διαδεδομένη.

### **7.4.3.Διαμόρφωση χαρτών περιορισμών**

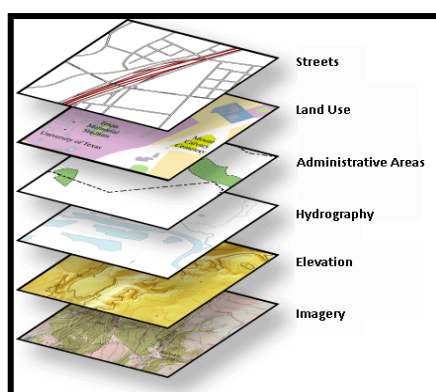
Ένας χάρτης περιορισμών απεικονίζει τα όρια της τιμής που αποδίδει και τις μεταβλητές της απόφασης που μπορεί να ληφθούν. Σε αυτή τη φάση, ο κύριος στόχος είναι να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για άλλα έργα σχεδιασμού ή οι οποίες δεν είναι κατάλληλες για την εφαρμογή SAT αποκλείονται από περαιτέρω ανάλυση κατασκευής χαρτών περιορισμών.

#### 7.4.4. Διαμόρφωση χαρτών καταλληλότητας

Το επόμενο βήμα αφορά τον ορισμό των κριτηρίων αξιολόγησης, βήμα το οποίο προσδιορίζει:

- Ένα συνεκτικό σύνολο στόχων που εκφράζουν όλες τις ανησυχίες σχετικά με το πρόβλημα αποφάσεων.
- Μέτρα για την επίτευξη των στόχων αυτών. Τα μέτρα αυτά ονομάζονται χαρακτηριστικά.

Ο βαθμός στον οποίο επιτυγχάνονται οι στόχοι, όπως μετράται από τα χαρακτηριστικά, είναι η βάση για τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων. Τα κριτήρια αξιολόγησης συνδέονται με τις γεωχωρικές οντότητες και τις σχέσεις μεταξύ των γεωχωρικών οντοτήτων και ως εκ τούτου μπορούν να αναπαρασταθούν με τη μορφή θεματικών χαρτών ή επιπέδων δεδομένων (data layer maps).



**Σχήμα 7.1.** : Ενδεικτικά επίπεδα δεδομένων (data layers) χαρτών GIS

Οι πληροφορίες αναφορικά με τη σχετική σημασία των κριτηρίων επιτυγχάνεται συνήθως με την αντιστοίχιση βαρύτητας σε κάθε κριτήριο. Η τιμή του βάρους αντιπροσωπεύει τη σημασία του σε σχέση με τα άλλα υπό εξέταση κριτήρια, στα οποία όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή, τόσο πιο σημαντικό το κριτήριο της συνολικής χρησιμότητας (Malczewski, 1999). Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων καταλληλότητας για SAT.
- Χρήση των GIS για τη διαχείριση των σχετικών επιπέδων δεδομένων.
- Ανάπτυξη μιας ιεραρχικής δομής αποφάσεων.
- Τυποποίηση του κάθε κριτηρίου.
- Προσδιορισμό των προτεραιοτήτων για κάθε ένα από τα κριτήρια αποφάσεων.
- Εκτίμηση του Δείκτη Καταλληλότητας ( $S_i$ ).
- Εξαγωγή των καταλληλότερων τοποθεσιών που βασίζονται στη τιμή  $S_i$  τους.

Το πρώτο κρίσιμο βήμα κατά τη διάρκεια της φάσης χαρτογράφησης των περιοχών καταλληλότητας είναι η επιλογή της κατάλληλης και σχετικής επιφάνειας, του υπεδάφους, των χωρικών και μη χωρικών δεδομένων. Γεωλογικοί χάρτες, γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, κλίση εδάφους και χάρτες προσανατολισμού κλίσης, χάρτες χρήσεων γης, οδικές υποδομές, ηλεκτροφόρα καλώδια, εγγύτητα σε πηγή νερού και ρύπανση υπόγειων νερών.

Το επόμενο βήμα είναι η μετατροπή των επιπέδων δεδομένων σε μια κοινή κλίμακα, μια διαδικασία η οποία ονομάζεται τυποποίηση. Είναι κρίσιμο για τη διαδικασία ότι οι τάξεις του κάθε παράγοντα πρέπει να είναι τυποποιημένες σε μια κοινή κλίμακα. Η βαθμολογία των κατηγοριών σε κάθε παράγοντα βασίζεται στη σχετική σημασία κάθε κατηγορίας που προέρχεται από ειδικές γνώσεις ή στατιστικές υποθέσεις. Για την τυποποίηση των κατηγοριών σε μια ενιαία κλίμακα αξιολόγησης η παρακάτω εξίσωση θα μπορούσε να εφαρμοστεί.

### Εξίσωση 1:

$$newValue = \frac{(oldValue - \min(oldValue))}{\max(oldValue) - \min(oldValue)} * (\max(newRange) - \min(newRange)) + \min(newRange)$$

όπου,  $\min(newRange) = 1$ , and  $\max(newRange) = 3$

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη για να προσδιορίσει συστηματικά προτιμήσεις βασισμένες στη πρόταση του Saaty (Saaty, 2000). Η μέθοδος βοηθά στο καθορισμό της σημασίας του κάθε επιλεγμένου παράγοντα στην Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης.

Η μέθοδος περιλαμβάνει έξι βασικά βήματα (Lee et al., 2008):

- Τον καθορισμό του μη δομημένου προβλήματος.
- Την ανάπτυξη της ιεράρχησης βάση της Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης.
- Τη σύγκριση κατά ζεύγη.
- Την εκτίμηση της σχετικής βαρύτητας.
- Τον έλεγχο της συνέπειας.
- Την εξαγωγή της συνολικής βαθμολογίας

## 7.5. Η περιοχή ενδιαφέροντος

Η περιοχή ενδιαφέροντος της μελέτης απεικονίστηκε στο πρόγραμμα GIS και στη συνέχεια διερευνήθηκε αν μπορούν να εντοπιστούν κατάλληλες τοποθεσίες που να ικανοποιούν τα κριτήρια που δόθηκαν για τη φιλοξενία των έργων τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα. Ως περιοχή ενδιαφέροντος επιλέχθηκε το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής.

## 7.6. Επιλέγοντας τα κατάλληλα κριτήρια

Στη περιοχή έρευνας επιλέχθηκαν συγκεκριμένα κριτήρια καθώς βάση της σχετικής βιβλιογραφίας αυτά έχουν καθοριστική σημασία στην δυνατότητα χωροθέτησης των συστημάτων SAT αλλά και στην επιτυχή και απρόσκοπτη λειτουργία τους. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά
- Βάθος υδροφόρου
- Κλίσεις του εδάφους

Κάθε κριτήριο επιλογής έχει την ανάλογη σημασία και επηρεάζει τη λήψη της τελικής απόφασης. Κάθε χάρτης που διαμορφώνεται αφορά ένα από τα παραπάνω κριτήρια και λαμβάνει τη διαβάθμιση σε:

- Αποδεκτά εδάφη (Good): όπου επικρατούν οι όσο το δυνατό καλύτερες συνθήκες. Σε αυτή τη περίπτωση δεν εμποδίζεται η χωροθέτηση του έργου.
- Μέτριας αποδοχής (Fair): όπου οι συνθήκες που επικρατούν δεν είναι ιδανικές αλλά επιτρέπουν τη χωροθέτηση του έργου.
- Μη αποδεκτά εδάφη (Bad): όπου οι συνθήκες που επικρατούν καθιστούν τη χωροθέτηση του έργου ως απαγορευτική.

Επιπλέον, τα επιπλέον κριτήρια που συνθέτουν τους παράγοντες οικονομικού κόστους του έργου θα πρέπει να είναι:

- Η απόσταση μεταφοράς των λυμάτων από τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στη θέση εφαρμογής η οποία απόσταση δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 8 km. Μεγαλύτερη απόσταση από την ορισμένη αυξάνει το κόστος των έργων υποδομής για τη μεταφορά νερού.
- Η υψομετρική διαφορά της θέσης εφαρμογής με τις θέσεις των Ε.Ε.Λ. συμβάλλει σημαντικά στην λειτουργία του έργου καθώς μεγάλη υψομετρική διαφορά συνεπάγεται υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια για την άντληση των όγκων των εφαρμοζόμενων επεξεργασμένων λυμάτων ώστε αυτά να μεταφερθούν σε λεκάνες εμπλουτισμού που βρίσκονται σε μεγαλύτερο ύψος.

### 7.6.1. Διαμόρφωση χαρτών περιορισμών

Οι εναλλακτικές επιλογές που δεν πληρούν τους περιορισμούς αναφέρονται ως μη εφικτές ή ως μη αποδεκτές επιλογές. Ως αποδεκτή χαρακτηρίζεται μία επιλογή όταν αυτή πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές ή τα κατώτατα όρια για όλα τα κριτήρια αξιολόγησης. Η μελέτη λαμβάνει υπόψη τους εξής περιορισμούς:

- Προστατευόμενες περιοχές: Ο περιορισμός αυτός αφορά προστατευόμενες περιοχές βάση του Δικτύου Natura 2000 οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο.
- Χρήσεις γης: Αφορά στοιχεία από τη βάση δεδομένων Corine (Commission of the European Communities) μέσω της οποίας ορίζονται οι περιοχές στις οποίες δεν είναι αποδεκτή η χωροθέτηση έργων Τεχνητού Εμπλουτισμού.
- Απόσταση από ρυπογόνους για τα υπόγεια νερά δραστηριότητες: Αφορά την ύπαρξη ασφαλούς απόστασης από ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες ενδέχεται να ρυπάνουν/μολύνουν τα υπόγεια νερά, ακυρώνοντας έτσι τα έργα Τεχνητού Εμπλουτισμού.

Για κάθε περιορισμό αποδίδεται μία κατώτατη τιμή και στη συνέχεια κατασκευάζονται χάρτες με τον καθένα να περιλαμβάνει κάποιο κριτήριο περιορισμού. Αθροίζοντας τους επιμέρους χάρτες περιορισμών προκύπτει ένας τελικός χάρτης ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους περιορισμούς που λαμβάνονται υπόψη δίνοντας ένα πεδίο στο οποίο μπορεί να επιλεγεί η βέλτιστη τοποθεσία για τη χωροθέτηση του SAT. Ο Πίνακας 7.1. εμφανίζει τα επίπεδα περιορισμών ενώ στα Σχήματα 7.2. έως 7.4. απεικονίζονται οι χάρτες περιορισμών που παρήχθησαν.

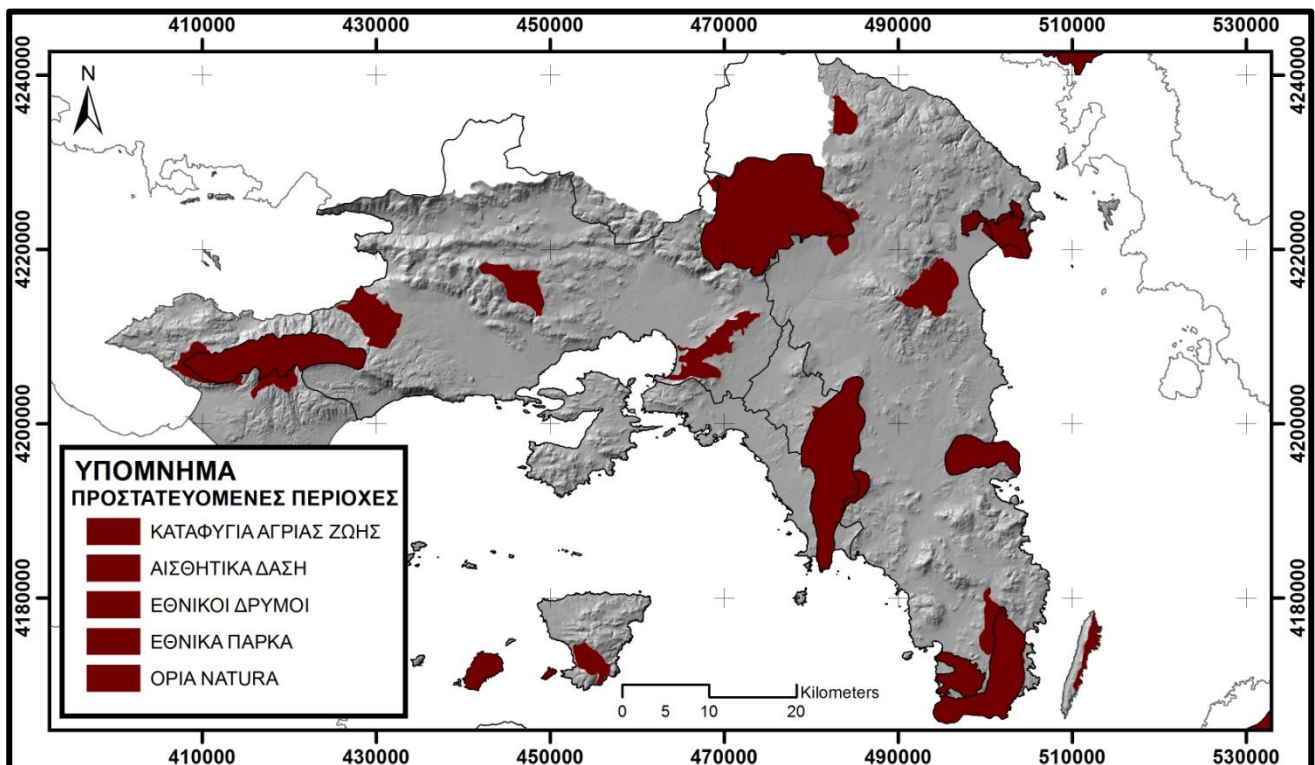
**Πίνακας 7.1.** : Περιορισμοί για μεθόδους τεχνητού εμπλουτισμού βάσει χρήσεων γης

Κριτήρια Περιορισμών	Όρια Αποδοχής
Τύποι χρήσεων γης	Φυσική βλάστηση, μη αρδευόμενες εκτάσεις Αποδεκτά
	Γεωργικές εκτάσεις, αρδευόμενες εκτάσεις, λατομεία, αστικές εκτάσεις Μη αποδεκτά
Προστατευόμενες περιοχές	Δίκτυο Natura 2000, εθνικοί δρυμοί αισθητικά δάση, καταφύγια άγριας ζωής εθνικά πάρκα Μη αποδεκτά
Απόσταση από ρυπογόνους για τα υπόγεια νερά δραστηριότητες	> 500 m Αποδεκτά
	< 500 m Μη αποδεκτά

## Προστατευόμενες περιοχές

Ως προστατευόμενες ορίζονται εκείνες οι περιοχές οι οποίες περιλαμβάνουν χερσαίες εκτάσεις όπου είναι αφιερωμένες στην προστασία και διατήρηση της βιολογικής ποικιλότητας και των φυσικών και συναφών πολιτιστικών πόρων. Συνεπώς, είναι αναπόφευκτος ο αποκλεισμός τους από τοποθεσίες χωροθέτησης έργων τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα καθώς κάθε ανθρώπινη παρέμβαση καθίσταται απαγορευτική από τη διεθνή ή/και ευρωπαϊκή νομοθεσία (Σχήμα 7.2.).

Στη μελέτη αποκλείονται τα όρια Natura 2000, οι εθνικοί δρυμοί, τα αισθητικά δάση, τα καταφύγια άγριας ζωής και τα εθνικά πάρκα.



Σχήμα 7.2. : Προστατευόμενες περιοχές

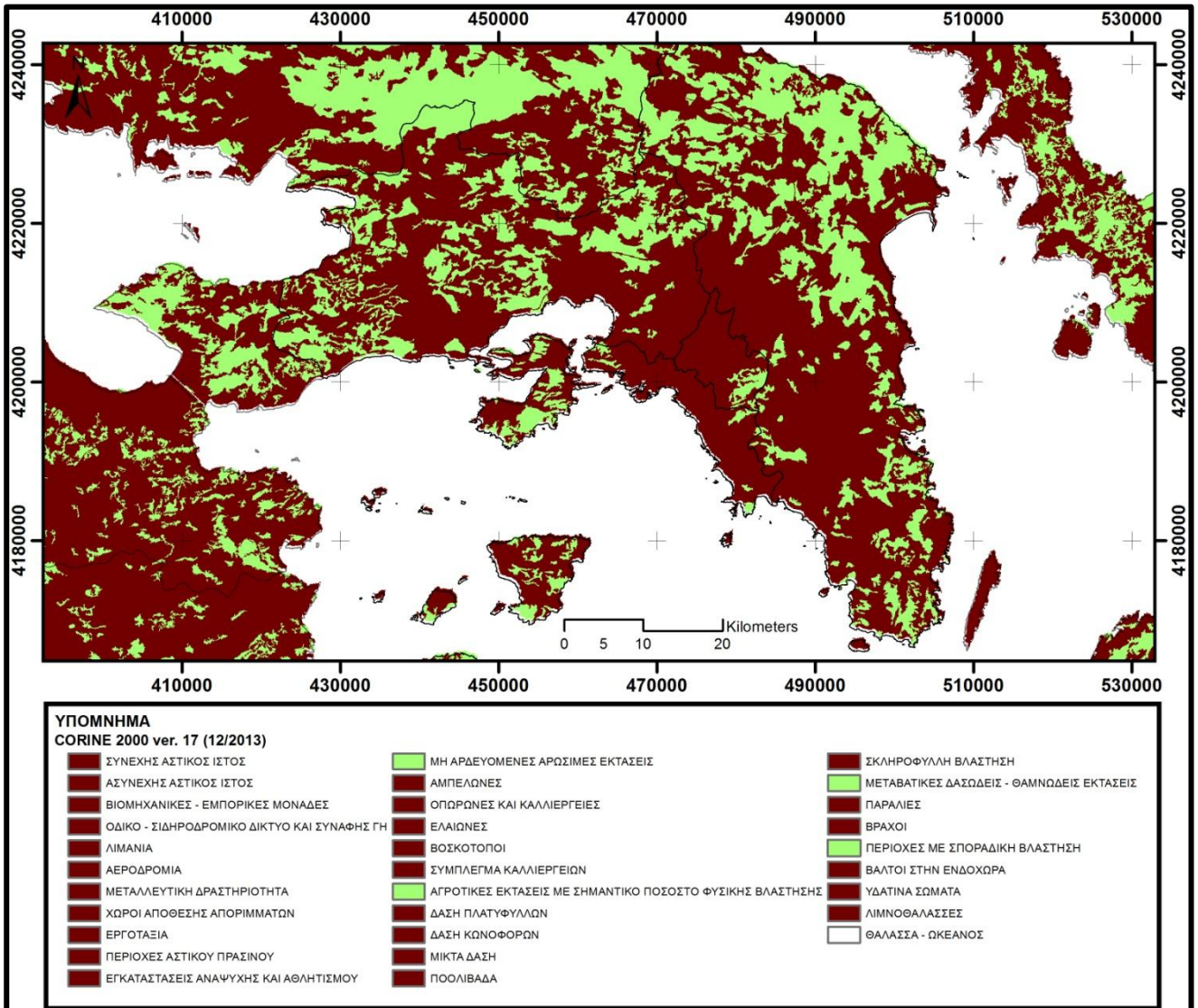
## Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης αποτελούν έναν εξαιρετικά σημαντικό παράγοντα για τη χωροθέτηση έργων τεχνητού εμπλουτισμού καθώς αυτά απαιτούν την ύπαρξη διαθέσιμων εκτάσεων ειδικά για τις περιπτώσεις εμπλουτισμού μέσω λεκανών.

Στο Σχήμα 7.3. εμφανίζεται ο χάρτης των χρήσεων γης στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής βάση του Corine 2000 οι οποίες δεν επιτρέπουν την χωροθέτηση έργων SAT, τα οποία απαιτούν εύλογες εκτάσεις για τη λειτουργία τους, ειδικά στις περιπτώσεις εμπλουτισμού μέσω λεκανών. Τέτοιες χρήσεις γης είναι: αστικός ιστός (συνεχής – ασυνεχής), γεωργικές και αρδευόμενες εκτάσεις, λατομεία, αεροδρόμια, βιομηχανικός ιστός και κάθε έκταση η οποία χρησιμοποιείται εκτενώς από τον άνθρωπο.



Αντίθετα, ως αποδεκτές θεωρούνται οι εκτάσεις με φυσική βλάστηση, εκτάσεις με χαμηλή βλάστηση και οι μη αρδευόμενες περιοχές. Τέτοιες εκτάσεις δεν απαιτούν ενδεχόμενες απαλλοτριώσεις. Επίσης, τα υπόγεια νερά και τα εδάφη (ακόρεστη ζώνη, επιφάνεια) δεν θα έχουν υποστεί υποβάθμιση λόγω χρήσης λιπασμάτων ή άλλης ρυπογόνου ανθρώπινης δραστηριότητας.



**Σχήμα 7.3. :** Χρήσεις γης

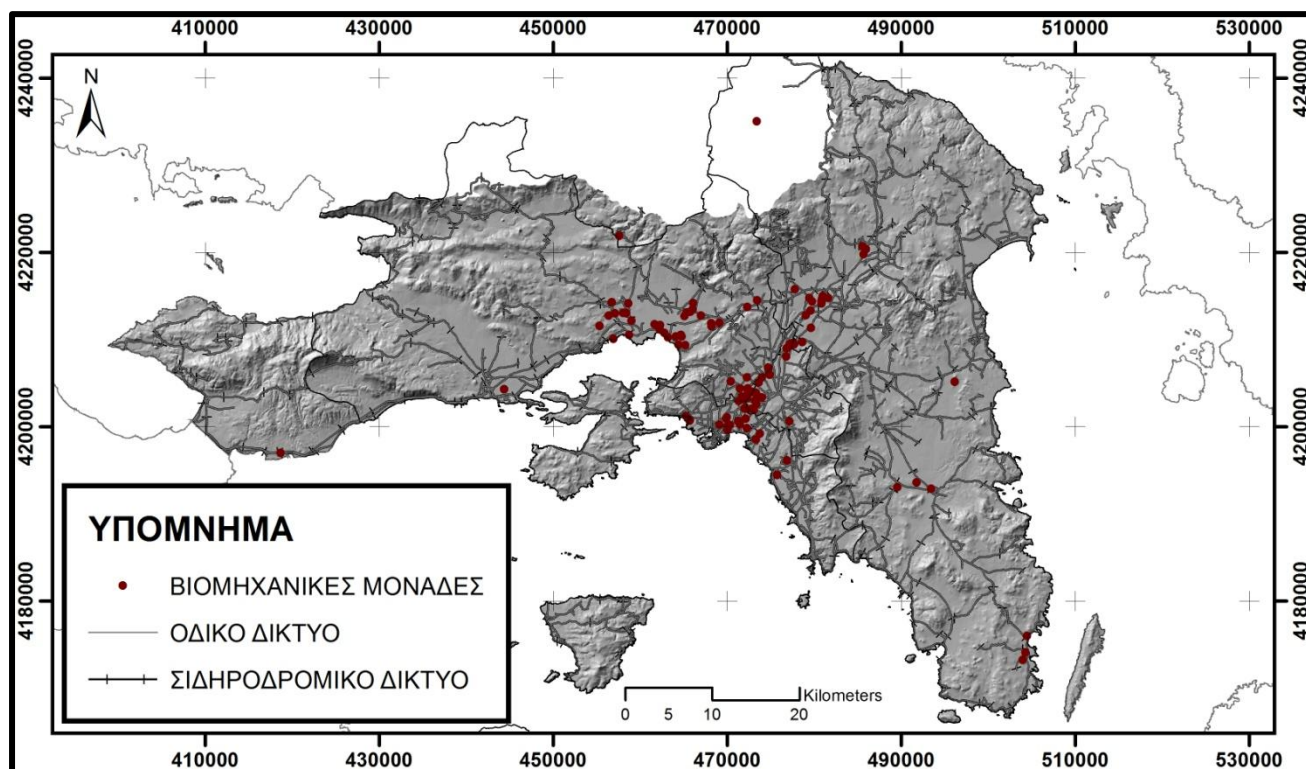
Από το χάρτη παρατηρείται η έλλειψη διαθέσιμης γης λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, ειδικά στο λεκανοπέδιο Αττικής όπου ο χώρος καταλαμβάνεται από κατοικίες, βιομηχανικές μονάδες κ.ά. Περιφερειακά, οι μη διαθέσιμη γη οφείλεται σε καλλιέργειες (αμπελώνες, ελαιώνες και άλλες καλλιέργειες) σε βοσκότοπους αλλά και στην ύπαρξη δασών.

## Απόσταση από ρυπογόνους δραστηριότητες

Για την επιτυχία ενός έργου τεχνητού εμπλουτισμού οφείλουν να αποκλειστούν οι τοποθεσίες οι οποίες βρίσκονται κοντά σε ρυπογόνους για τα υπόγεια νερά δραστηριότητες, όπως οι βιομηχανίες. Τέτοιες βιομηχανίες στην Αττική είναι τα διυλιστήρια, οι βιομηχανίες χρωμάτων, οι μεταλλουργικές, παραγωγής λιπασμάτων, οι βιομηχανίες τροφίμων και γαλακτοκομικών κ.ά.

Τα έργα τεχνητού εμπλουτισμού απαιτείται να βρίσκονται σε μία εύλογη απόσταση από μεγάλες βιομηχανίες λόγω του αυξημένου κινδύνου διατάραξης των υπόγειων νερών από ρυπογόνα παράγωγα των δραστηριοτήτων τους. Στη παρούσα μελέτη η απόσταση ασφαλείας των έργων τεχνητού εμπλουτισμού από τις βιομηχανικές μονάδες θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 500 m.

Βάση του χάρτη (Σχήμα 7.4.) ο μεγαλύτερος αριθμός των βιομηχανιών βρίσκεται στο λεκανοπέδιο Αττικής ενώ άλλες βιομηχανικές μονάδες βρίσκονται στη περιοχή του Ασπρόπυργου και του Λαυρίου.



Σχήμα 7.4. : Βιομηχανίες



## 7.6.2. Διαμόρφωση χαρτών καταλληλότητας

Για να καταταχθεί η καταλληλότητα μιας περιοχής αναζήτησης, αποδίδεται η βαρύτητα για κάθε κριτήριο. Η απόδοση βαρύτητας εκφράζει τη σχετικότητα και προτίμηση ενός κριτηρίου σε σύγκριση με άλλο κριτήριο. Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τη διαδικασία χαρτογράφησης των περιοχών καταλληλότητας προχωρά στην απόδοση βαρύτητας μέσω των κατά ζεύγη συγκρίσεων μεταξύ των στοιχείων για κάθε επίπεδο ιεράρχησης (Saaty, 1980).

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης μειώνει την πολυπλοκότητα ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων σε μια ακολουθία κατά ζεύγη συγκρίσεων τα οποία συντίθενται σε μια μήτρα αλληλεπίδρασης. Αυτή η μέθοδος κατασκευάζει μια ιεράρχηση των κριτηρίων λήψης αποφάσεων και μέσω της κατά ζεύγη σύγκρισης κάθε πιθανού ζεύγους κριτηρίων, παράγεται ένα σχετικό βάρος για κάθε κριτήριο απόφασης. Κάθε σύγκριση είναι ένα διμερές ζήτημα καθορίζοντας ποιο κριτήριο είναι μεγαλύτερης σημασίας, και κατά πόσο πιο σημαντικό, χρησιμοποιώντας μια αριθμητική σχεσιακή κλίμακα (Πίνακας 7.2.).

**Πίνακας 7.2.** : Κλίμακα σημασίας μεταξύ των δύο παραμέτρων κατά την Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Saaty, 2000)

Κλίμακα	Ένταση της σημασίας	Επεξήγηση
1	Ίδιας σημασίας	Τα δύο σχέδια συνεισφέρουν ισότιμα στο κριτήριο
3	Ασθενής προτίμηση του ενός ως προς το άλλο	Η εμπειρία και η κρίση δίνουν ελαφρά προτίμηση στο ένα σχέδιο
5	Αισθητή ή δυνατή σημασία	Η εμπειρία και η κρίση δίνουν ισχυρή προτίμηση στο ένα σχέδιο
7	Πολύ δυνατή σημασία	Το ένα σχέδιο είναι ισχυρά επιθυμητό και η διαφορά του αποδεικνύεται στην πράξη
9	Απόλυτη σημασία	Η προφανής προτίμηση του ενός σχεδίου επιβεβαιώνεται κατηγορηματικά
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές μεταξύ των δύο κρίσεων	Όταν απαιτείται συμβιβασμός μεταξύ των αναφορών των δεικτών βαρύτητας 1,3,5,7,9

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα σχετικά βάρη, οι σχετικές προτεραιότητες, για κάθε πίνακα συγκρίσεων καθώς και δεικτών που εκφράζουν την ποιότητα των παραγόμενων πινάκων.

Συγκεκριμένα, η ποιότητα του πίνακα συγκρίσεων, εκφράζεται με έναν δείκτη συνέπειας (*CI* – Consistency Index), ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση:

**Εξίσωση 2:**

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

όπου,  $\lambda_{max}$ , η μέγιστη ιδιοτιμή, στοιχείου της Γραμμικής Άλγεβρας και  $n$  ο αριθμός των παραγόντων που εξετάζονται αντίστοιχα.

Αναφέρεται από τον Saaty ότι όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά  $\lambda_{max}$ , τόσο περισσότερες είναι οι ασυνέπειες που παρουσιάζει ο πίνακας συγκρίσεων.

Ένα ακόμα μέτρο ποιότητας αποτελεί ο λόγος της συνέπειας (*CR*), ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση:

**Εξίσωση 3:**

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

όπου, *CI*, ο δείκτης συνέπειας και *RI* ο Τυχαίος Δείκτης Συνέπειας.

Ο Τυχαίος Δείκτης Συνέπειας *RI* (*Random Consistency Index*), προκύπτει ως η μέση τιμή των δεικτών συνέπειας, από τυχαία δημιουργημένους πίνακες συγκρίσεως, διαφόρων διαστάσεων, που ακολουθούν την κλίμακα 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9 (Πίνακας 7.3.)

**Πίνακας 7.3 :** Κλίμακα συγκρίσεων (Saaty, 1986).

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>RI</b>	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Ο Πίνακας 7.4. εμφανίζει τη μήτρα για τα κύρια κριτήρια αποφάσεων. Τα διαγώνια κελιά της μήτρας λαμβάνουν τη τιμή 1 ενώ τα κελιά των άνω και κάτω μισών είναι συμμετρικά μεταξύ τους και οι αντίστοιχες τιμές τους είναι αμοιβαίες μεταξύ τους. Όταν ο παράγοντας του κάθετου άξονα είναι σημαντικότερος ενός παράγοντα του οριζόντιου άξονα η τιμή λαμβάνει τιμές από 1 έως 9. Αντίθετα η τιμή διαμορφώνεται ανάμεσα σε 1/2 και 1/9.

**Πίνακας 7.4.** : Μήτρα σύγκρισης κατά ζεύγη για την αξιολόγηση της σχετικής σημασίας των επιλεγμένων κριτηρίων για τα SAT

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>w</b>
<b>F1</b>	1	1	5	7	9	0.398
<b>F2</b>	1	1	5	7	9	0.398
<b>F3</b>	1/5	1/5	1	3	4	0.112
<b>F4</b>	1/7	1/7	1/3	1	3	0.059
<b>F5</b>	1/9	1/9	1/4	1/3	1	0.033
						<b>1</b>
<b>λmax</b>						5.1845
<b>CI</b>						0.0461
<b>CR</b>						0.0412

F1 : Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά

F2 : Βάθος του υδροφόρου

F3 : Κλίση του εδάφους

F4 : Απόσταση από τα κέντρα κατοικήσιμων περιοχών.

F5 : Απόσταση από τα Κ.Ε.Λ.

Βασική προϋπόθεση της βαθμονόμησης κατά τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης είναι το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας να είναι 1 όπως απαιτείται από το Σταθμισμένο Γραμμικό Συνδυασμό. Έπειτα από τη κατά ζεύγη σύγκριση, η συνέπεια κατασκευής της μήτρας ελέγχεται μέσω της αναλογίας συνέπειας (CR) η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των παραμέτρων. Σύμφωνα με τον Saaty (1980) η CR πρέπει να λαμβάνει τιμή μικρότερη του 0,1 διαφορετικά οι τιμές θα πρέπει να αναθεωρηθούν. Στο Πίνακα 7.4. η CR είναι 0.0412 άρα υπάρχει η επιθυμητή συνέπεια στη μήτρα σύγκρισης.

Κατά τη διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης χρησιμοποιώντας το Σταθμισμένο Γραμμικό Συνδυασμό είναι απαραίτητο όχι μόνο οι συντελεστές βαρύτητας (w) της μήτρας σύγκρισης να έχουν άθροισμα 1 αλλά και οι κλάσεις των παραγόντων να τυποποιούνται σε μια κοινή αριθμητική σειρά. Η βαθμονόμηση των κλάσεων κάθε παράγοντα εμφανίζονται στον Πίνακα 7.5. και προκύπτει μέσα από τη σχετική βιβλιογραφία αλλά και τη σχετική σημασία του κάθε παράγοντα.

Πίνακας 7.5. : Βαθμονόμηση των κλάσεων κάθε παράγοντα

Παράγοντες - Κριτήρια	Συντελεστές βαρύτητας	Κλάσεις	Βαθμονόμηση τιμών	Τυποποίηση τιμών
Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά	0,398	Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις, κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας υδροπερατότητας	2	100
		Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας	1	50
		Καρστικοί σχηματισμοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, Φλύσχης, Μεταμορφωμένα πετρώματα, Πλουτώνια και Ηφαιστειακά πετρώματα	0	0
		Υδροστεγανοί σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας		
Βάθος του υδροφόρου	0,398	> 78 m	2	100
		6 – 77 m	1	75
		< 5 m	0	0

Παράγοντες - Κριτήρια	Συντελεστές βαρύτητας	Κλάσεις	Βαθμονόμηση τιμών	Τυποποίηση τιμών
Κλίση του εδάφους	0,112	< 6 <sup>0</sup>	2	100
		6 – 12 <sup>0</sup>	1	65
		> 12 <sup>0</sup>	0	0
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	0,059	> 2000 <i>m</i>	1	100
		< 2000 <i>m</i>	0	0
Απόσταση από τα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων	0,033	< 8000 <i>m</i>	1	100
		> 8000 <i>m</i>	0	0

Η επόμενη φάση αφορά στο συνδυασμό όλων των στοιχείων χρησιμοποιώντας το Σταθμισμένο Γραμμικό Συνδυασμό (Weighted Linear Combination – WLC) για την εκτίμηση του Δείκτη Καταλληλότητας. Ο Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες Πολυκριτηριακές Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων (Malczewski, 1999, Ayalew et al., 2005).

Η μέθοδος περιλαμβάνει το γινόμενο της τιμής βαρύτητας, η οποία αποδίδεται για κάθε παράγοντα, με τις τυποποιημένες τιμές που δίδονται σε κάθε κατηγορία και προστίθενται αριθμητικά σύμφωνα με τη παρακάτω εξίσωση ώστε να παραχθεί ο χάρτης βάση του Δείκτη Καταλληλότητας.

Κάθε *pixel* του τελικού χάρτη καταλληλότητας, λαμβάνει μια τιμή κυμαινόμενη μεταξύ 0,1 και 1, όπου το 0,1 αντιστοιχεί στις πιο ακατάλληλες συνθήκες ενώ το 1 αντιστοιχεί στις πλέον κατάλληλες.

Εξίσωση 4:

$$Si_{pi} = \sum_{j=1}^n Fw_j * c_{kFj}$$

όπου  $p_i$  ο αριθμός ( $i^{th}$ ) του *pixel*,  $Fw_j$  το βάρος του ( $j^{th}$ ) παράγοντα και  $c_{kFj}$  οι τυποποιημένες αξιολογήσεις της κλάσης ( $k^{th}$ ) του ( $j^{th}$ ) παράγοντα

## 7.7. Αποτελέσματα

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού ο συντελεστής βαρύτητας κάθε παράγοντα πολλαπλασιάζεται με τις τυποποιημένες τιμές των κλάσεων και στη συνέχεια βάση της εξίσωσης 4 αθροίζεται ώστε να προκύψουν οι επί μέρους χάρτες καταλληλότητας (Σχήματα 7.5. έως 7.7. )

Οι χάρτες καταλληλότητας διαβαθμίζονται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες:

- Κακή (Bad) – Μη αποδεκτά εδάφη
- Ικανοποιητική (Fair) – Μέτριας αποδοχής εδάφη
- Καλή (Good) – Αποδεκτά εδάφη

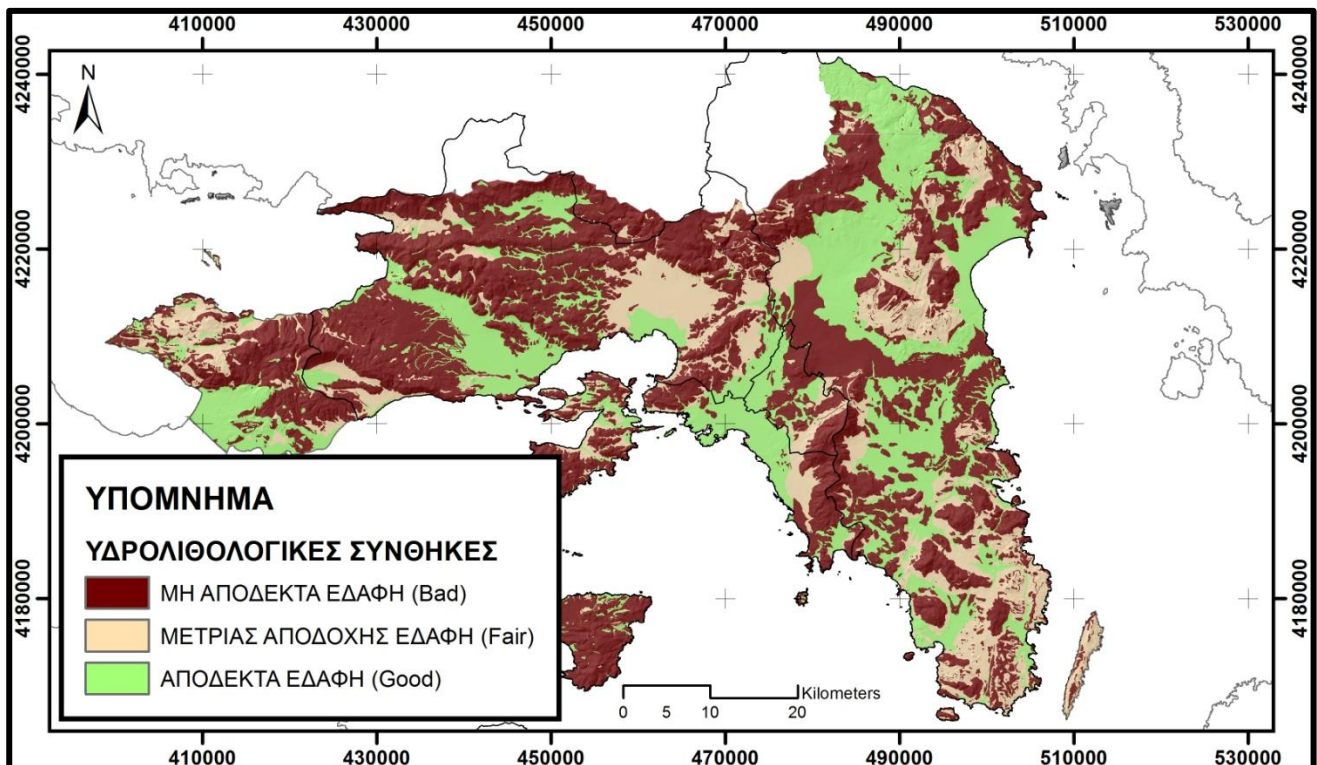
Στη συνέχεια οι χάρτες καταλληλότητας αθροίζονται μαζί με τους χάρτες περιορισμών και τελικός σύνθετος χάρτης καταλληλότητας (Σχήμα 7.8.) της περιοχής μελέτης προκύπτει υπολογίζοντας το Δείκτη Καταλληλότητας ( $S_i$ ) για κάθε *pixel* σύμφωνα με την Εξίσωση 4.

### Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά

Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τα συστήματα SAT, αφού απεικονίζουν το περιεχόμενο ενός μεγάλου μέρους της ακόρεστης ζώνης. Γενικά, οι καταλληλότερες θέσεις για τη χωροθέτηση των SAT θα πρέπει να έχουν πολύ μικρό ποσοστό σε άργιλο ώστε να ανταπεξέλθουν στις υψηλές υδραυλικές συνθήκες αγωγιμότητας και μπορούν να εκτελέσουν επαρκή καθαρισμό των λυμάτων (Anane et al., 2008).

Ως μη αποδεκτά (Bad) χαρακτηρίζονται τα εδάφη πολύ χαμηλής υδροπερατότητας υδροστεγανοί και καρστικοί σχηματισμοί. Ως μέτριας αποδοχής (Fair) χαρακτηρίζονται τα εδάφη μέτριας υδροπερατότητας και υδροπερατοί σχηματισμοί. Ως αποδεκτά (Good) χαρακτηρίζονται τα εδάφη όπου εντοπίζονται κοκκώδεις, υψηλής υδροπερατότητας σχηματισμοί και κατά συνέπεια δημιουργούνται και οι καταλληλότερες συνθήκες για τον τεχνητό εμπλουτισμό (Σχήμα 7.5.).

Η περιοχή έρευνας διαθέτει εκτάσεις εδαφών κατάλληλων για τη χωροθέτηση συστημάτων SAT. Δυτικά, ανατολικά και βόρεια κυρίως εντοπίζονται οι μεγαλύτερες περιοχές υδροπερατών εδαφών ενώ και στο λεκανοπέδιο Αττικής υπάρχουν οι επιθυμητοί σχηματισμοί. Σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας εντοπίζονται κυρίως στα δυτικά, και κεντρικά της περιοχής έρευνας και απορρίπτονται από τοποθεσίες εφαρμογής εμπλουτισμού.



Σχήμα 7.5. : Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά

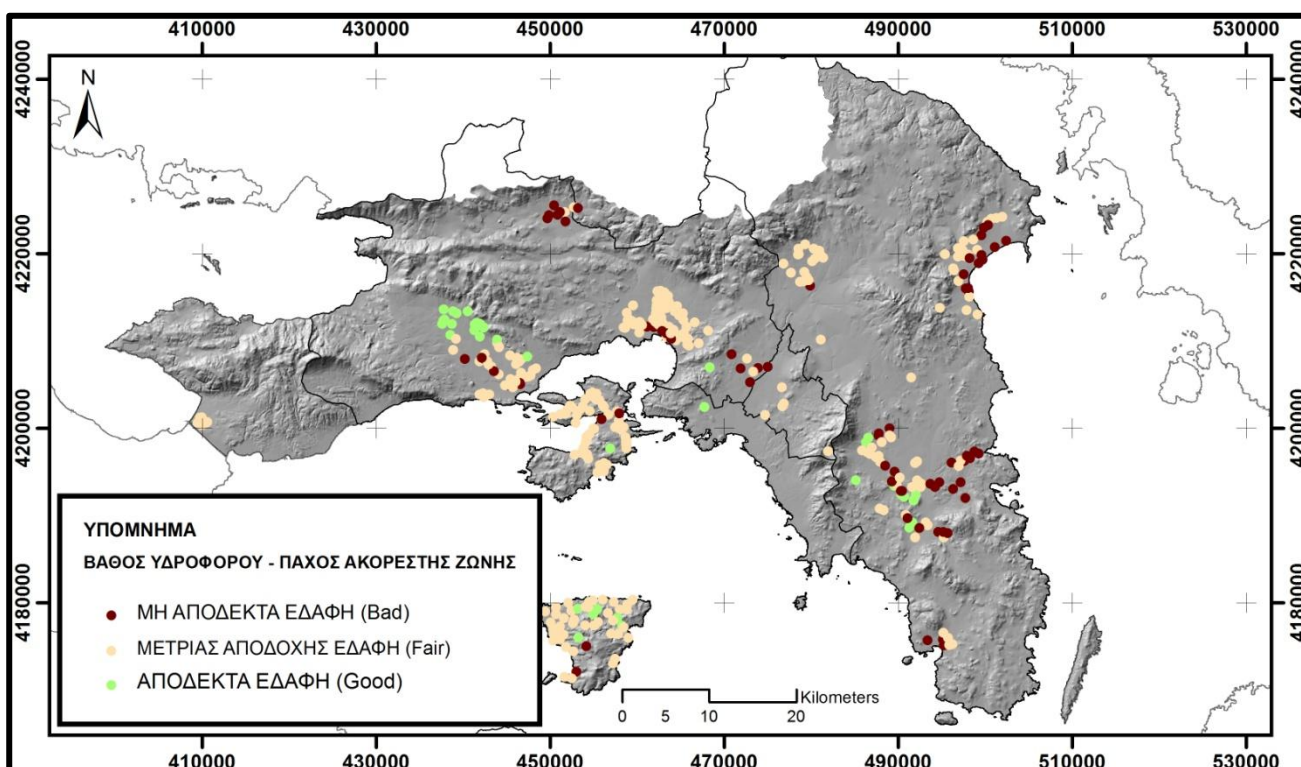
## Βάθος υπόγειου υδροφόρου

Το βάθος του υπόγειου υδροφόρου αποτελεί ένα τεχνικό κριτήριο με μεγάλη σημασία, καθώς αντιπροσωπεύει το πάχος της ακόρεστης ζώνης στην οποία και θα τελεστεί ένα μέρος της διαδικασίας καθαρισμού των επεξεργασμένων λυμάτων πριν αυτά διηθηθούν στην ακόρεστη ζώνη.

Το πάχος της ακόρεστης ζώνης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 5 m για να ενισχυθεί η SAT διαδικασία αλλά και για να αποφευχθεί οποιαδήποτε πιθανότητα ρύπανσης των υποκείμενων υδροφόρων στρωμάτων (Asano et al., 2007).

Τα επεξεργασμένα λύματα είναι αναγκαίο να διανύσουν τα απαιτούμενα βάθη ώστε να επιτευχθεί ο επαρκής καθαρισμός τους. Για βάθη μικρότερα των 5 m τα επεξεργασμένα λύματα παραμένουν για μικρό χρονικό διάστημα στην ακόρεστη ζώνη με αποτέλεσμα να μην συντελούνται οι αναγκαίες φυσικοχημικές διεργασίες και να μην απομακρύνονται επαρκώς οι ρύποι.

Σύμφωνα με το χάρτη (Σχήμα 7.6.) βάση γεωτρήσεων στο δυτικά της περιοχής έρευνας εντοπίζονται εδάφη όπου η ακόρεστη ζώνη ξεπερνά τα 6 m πάχος ενώ ανατολικά εντοπίζονται περιοχές με βάθος υδροφόρου μικρότερου των 5 m.



Σχήμα 7.6. : Βάθος υδροφόρου

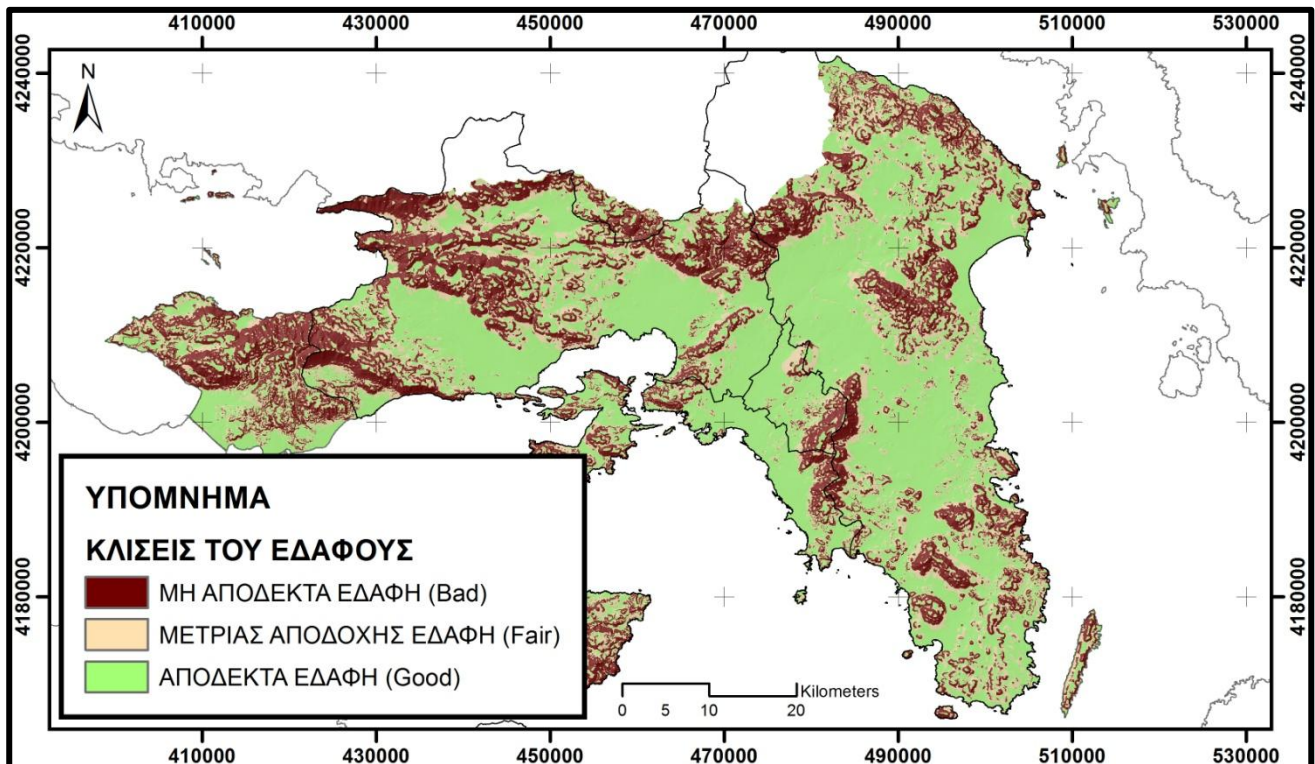


## Κλίση του Εδάφους

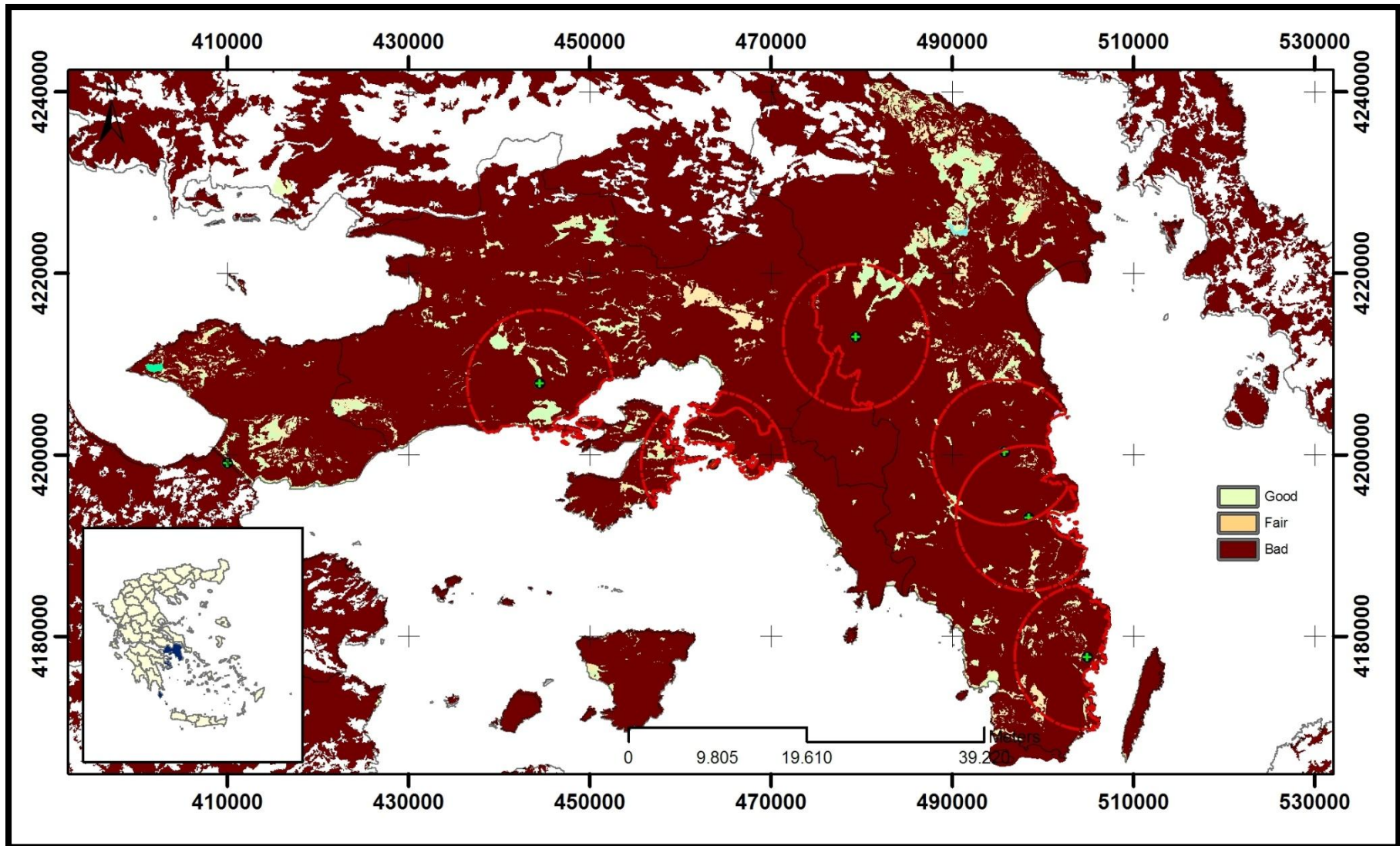
Λαμβάνοντας υπόψη τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και πιο συγκεκριμένα τις τιμές κλίσης του εδάφους, όσο πιο μεγάλη η κλίση τόσο πιο ακατάλληλη χαρακτηρίζεται μια περιοχή για τη χωροθέτηση μιας μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού. Κατάλληλες περιοχές για SAT είναι αυτές των οποίων η κλίση κυμαίνεται από επίπεδη έως και κλίση  $15^\circ$ . Μεγαλύτερες κλίσεις αυξάνουν τις διαφυγές των λυμάτων και τη διάβρωση του εδάφους ενώ μικρότερες κλίσεις είναι και αυτές που χαρακτηρίζουν μια περιοχή υψηλής προτεραιότητας (E.P.A., 2006).

Το θεματικό επίπεδο που απεικονίζει τις κλίσεις του εδάφους προήλθε από το Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model (S.R.T.M. D.E.M.) ανάλυσης 90 m έπειτα από μετατροπή των συντεταγμένων από UTM (ελλειψοειδούς αναφοράς WGS84) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 με φαντίο μεγέθους 25×25 m.

Στο Σχήμα 7.7. ως μη αποδεκτές (Bad) χαρακτηρίζονται οι κλίσεις του εδάφους που έχουν τιμές μεγαλύτερες των  $12^\circ$ . Μέτριας αποδοχής (Fair) χαρακτηρίζονται οι κλίσεις του εδάφους από 6 έως  $12^\circ$  όπου και σταδιακά αυξάνεται ο κίνδυνος διαφυγής των λυμάτων και διάβρωσης του εδάφους αλλά παραμένει σε ανεκτά επίπεδα. Ως αποδεκτές χαρακτηρίζονται οι κλίσεις από 0 έως  $6^\circ$  όπου το έδαφος είναι σχεδόν επίπεδο και διαμορφώνονται οι ιδανικές συνθήκες για τη χωροθέτηση των SAT. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας έχει τις επιθυμητές κλίσεις για το έργο εμπλουτισμού.



Σχήμα 7.7. : Κλίση του εδάφους



Σχήμα 7.8. : ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ



## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του χάρτη της περιοχής μελέτης αφορά τις ορεινές ζώνες και περιοχές σε πολύ μεγάλο βαθμό αστικοποιημένες, η χωρική κατανομή των διαθέσιμων εδαφών για τις SAT εγκαταστάσεις είναι αρκετά περιορισμένη.

Οι κλίσεις του εδάφους δεν αποτέλεσαν πρόβλημα για την επιλογή θέσης, καθώς σε σημαντικό τμήμα της περιοχής έρευνας οι κλίσεις βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων, εκτός από τους ορεινούς όγκους της περιοχής έρευνας. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας έχει κλίσεις εδάφους μικρότερες των  $6^\circ$  ενώ κλίσεις από  $6^\circ$  έως  $12^\circ$  είναι επίσης αποδεκτές αλλά όχι και οι προτιμότερες.

Περιορισμένο τμήμα της περιοχής έρευνας παρέχει τις κατάλληλες υδρογεωλογικές συνθήκες για τη χωροθέτηση των SAT καθώς αυτό χαρακτηρίζεται από καρστικά εδάφη τα οποία και είναι ακατάλληλα για τη SAT διαδικασία. Το κυριότερο τμήμα της περιοχής έρευνας κρίνεται ως μέτριας αποδοχής, βάση όμως της τοποθεσίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και συνυπολογιζόμενης της απαιτούμενης απόστασης των 8 km των Ε.Ε.Λ. από τους χώρους εμπλουτισμού, το εύρος των διαθέσιμων εκτάσεων με άριστες υδρογεωλογικές συνθήκες είναι μειωμένο. Πιο συγκεκριμένα οι Ε.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης, Κερατέας, Μαρκόπουλου, Λαυρίου και Ελ. Βενιζέλου βρίσκονται κυρίως σε μέτριας υδροπερατότητας σχηματισμούς.

Καθοριστικής σημασίας αποδεικνύονται οι περιοχές αποκλεισμού κυρίως λόγω των εκτεταμένων χρήσεων γης από τον άνθρωπο. Η ανάπτυξη του αστικού ιστού (κατοικίες, χώροι αστικού πρασίνου), οι βιομηχανίες και οι καλλιέργειες δημιουργούν συνθήκες έλλειψης διαθέσιμων εδαφών. Επίσης, βάση των κριτηρίων που ορίστηκαν, απορρίφθηκαν τοποθεσίες όπου δεν υπάρχει ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποίες όμως ανήκουν σε προστατευόμενες περιοχές και συνεπώς κάθε παρέμβαση (αποψίλωση δασών για τη διαμόρφωση λεκανών εμπλουτισμού, κατασκευή αγωγών μεταφοράς νερού εμπλουτισμού κ.ά.) είναι αδύνατη.

Βάση του τελικού χάρτη καταλληλότητας (Σχήμα 7.8.) εντοπίστηκαν οι ακόλουθες τοποθεσίες όπου μπορούν να χωροθετηθούν τα έργα τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα:

### **Ε.Ε.Λ. Δ. Μεγάρων:**

Νότια των Ε.Ε.Λ. Μεγάρων εντοπίζεται κατάλληλη τοποθεσία σημαντικής έκτασης η οποία και επισημαίνεται ως «καλή». Βρίσκεται κοντά στην πόλη των Μεγάρων και διατρέχεται από την Ολυμπία Οδό. Επίσης, τη τοποθεσία αυτή διατρέχει το χερσαίο τμήμα του αγωγού διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων στη θάλασσα. Βόρεια – Β.Δ. εντοπίζονται τοποθεσίες σε διάφορες αποστάσεις από τις Ε.Ε.Λ. Κατατάσσονται ως «καλές» εκ των οποίων κάποιες βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από το βιολογικό καθαρισμό. Συνεπώς, μπορεί να απαιτείται η κατασκευή αγωγού έως και πολύ μικρού μήκους για τη μεταφορά των εκρών στα SAT.

### **Ε.Ε.Λ. Ψυττάλειας**

Βόρεια των Ε.Ε.Λ. Ψυττάλειας προέκυψε ως κατάλληλη τοποθεσία μία στενή λωρίδα γης παραλιακά του Περάματος η οποία κατατάσσεται ως «ικανοποιητική» για εφαρμογή SAT. Το πρόβλημα της συγκεκριμένης τοποθεσίας είναι η εγγύτητά της με κατοικημένη περιοχή καθώς η κατασκευή έργων υποδομής ενδέχεται να συναντήσει δυσκολίες. Δυτικά της Ψυττάλειας, προέκυψε ως κατάλληλη τοποθεσία για εφαρμογή SAT, έκταση στη νήσο Σαλαμίνα. Αυτή η έκταση βρίσκεται κοντά στον οικισμό Αμπελάκια και αντίθετα με εκείνη του Περάματος, δεν είναι σε πολύ κοντινή απόσταση από κατοικημένη περιοχή. Ωστόσο, για τη μεταφορά των επεξεργασμένων λυμάτων από τις Ε.Ε.Λ. Ψυττάλειας απαιτούνται υποδομές (υποθαλάσσιοι αγωγοί) μεγάλου κόστους. Ως τρόπος μεταφοράς θα μπορούσε να προταθεί η μεταφορά με υδροφόρα πλοία, αφού υπάρχουν διαθέσιμα λιμάνια στο Πέραμα και στη Σαλαμίνα.

### **Ε.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης**

Βόρεια των Ε.Ε.Λ. εντοπίζονται κατάλληλες τοποθεσίες για SAT, οι οποίες και επισημαίνονται ως «καλές». Βρίσκονται σε σχετικά μακρινές αποστάσεις από το βιολογικό καθαρισμό. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι εκτάσεις βρίσκονται στους πρόποδες της Πάρνηθας, και κοντά στις περιοχές Θρακομακεδόνες, Αγ. Στέφανος και Άνοιξη.

### **Ε.Ε.Λ. Μαρκόπουλο**

Μικρές εκτάσεις κυρίως, Ν.Α. των Ε.Ε.Λ. κρίνονται ως κατάλληλες για την εφαρμογή SAT. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις χρήσεις γης (καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αμπελώνες) και στα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους (χαμηλής έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας σχηματισμοί).

### **Ε.Ε.Λ Κερατέας**

Βόρεια – Β.Δ. των Ε.Ε.Λ. δεν εντοπίζονται μεγάλες εκτάσεις πέρα από κάποιες οι οποίες βρίσκονται ενδιάμεσα των οικισμών Ζαπάνι και Αυλίζα. Αυτές οι εκτάσεις επισημαίνονται ως «ικανοποιητικές» Νότια των Ε.Ε.Λ. υπάρχουν αρκετές τοποθεσίες μέτριας έκτασης οι οποίες βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση από την Επαρχιακή Οδό Κερατέας – Ανάβυσσου. Αυτές οι τοποθεσίες χαρακτηρίζονται ως «ικανοποιητικές»

### **Ε.Ε.Λ. Λαυρίου**

Ν.Δ. του βιολογικού καθαρισμού, προκύπτουν μεγάλες εκτάσεις οι οποίες κατατάσσονται ως «ικανοποιητικές». Αυτές βρίσκονται κοντά στον οικισμό Αγ. Κωνσταντίνος όπου οι χρήσεις γης περιλαμβάνουν κυρίως μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις. Επίσης, Νότια των Ε.Ε.Λ. εντοπίζονται τοποθεσίες στη παραθαλάσσια περιοχή της πόλης του Λαυρίου. Βόρεια – Β.Δ. προκύπτουν, τέλος, τοποθεσίες κοντά στη Λεωφόρο Λαυρίου, στις περιοχές του Θορικού, Ελαιοχωρίου και στη περιοχή Μεγάλα Πεύκα. Οι τοποθεσίες αυτές επισημαίνονται ως «ικανοποιητικές». Σε περίπτωση τυχόν εφαρμογής SAT στην περιοχή του Λαυρίου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ρύπανση των εδαφών, απόρροια της μεταλλευτικής και βιομηχανικής δραστηριότητας, λαθών και παραλείψεων προηγούμενων ετών.

Η Ελλάδα μπορεί να μην στερείται μέχρι στιγμής υδατικών πόρων, όμως, οι ξηρασίες της περιόδου 1990 – 93 έδειξαν τη τρωτότητα της χώρας σε αυτά τα φαινόμενα. Με τις ετήσιες ανάγκες να κυμαίνονται σε περίπου 9 δις. κυβικά μέτρα νερού, και τη γεωργία να απορροφά το 86 με 88% των αποθεμάτων νερού, είναι επιβεβλημένη η λήψη μέτρων για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Η χώρα μας παρουσιάζει το υψηλότερο ποσοστό χρήσης νερού στην άρδευση από άλλες μεσογειακές χώρες, όπως η Ισπανία (72%) και η Πορτογαλία (59%). Συμπεραίνεται, πως το πρόβλημα της Ελλάδας αφορά πρωτίστως τη διαχείριση των υδατικών πόρων χωρίς όμως να παραβλέπονται και οι κλιματικές συνθήκες.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής αποτελεί παράδειγμα λανθασμένης διαχείρισης των υδατικών αποθεμάτων. Σημαντικές απώλειες εντοπίζονται λόγω του παλαιού δικτύου μεταφοράς νερού της Ε.Υ.Δ.Α.Π. απώλειες που οφείλονται σε διαρροές των αγωγών. Εκτός των απωλειών, σημαντικές επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα νερού έχουν οι κατανομές των βροχοπτώσεων και η αντι-οικολογική διαχείριση του νερού από τους κατοίκους. Αυτό αποτυπώνεται στην αύξηση κατοικιών με πισίνες και διαμορφωμένους χώρους με γκαζόν, στην ανάπτυξη κήπων με υδροχαρή φυτά και στις βιομηχανικές δραστηριότητες που απαιτούν σημαντικές ποσότητες ύδατος. Εκτιμάται από την Ε.Υ.Δ.Α.Π. ότι σε περιοχές της Αττικής με μεγάλη κατανάλωση, η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για χρήσεις όπως το πότισμα κήπων και πρασίνου, το πλύσιμο το αυτοκινήτων και οι πισίνες μπορεί να φθάνει και το 50% της συνολικής κατανάλωσης. Συνεπώς, καταναλώνονται σημαντικές ποσότητες νερού για μη πόσιμες χρήσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα και συνθήκες, η Αττική μπορεί να αποτελέσει πεδίο εφαρμογής των συστημάτων SAT για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων αναγκών των πολιτών σε νερό. Για την επιλογή των κατάλληλων τοποθεσιών χωροθέτησης ενός έργου τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην Αττική είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί η βέλτιστη διαδικασία αξιολόγησης με βάση την ορθή εκτίμηση της διαθέσιμης γης.

Προτάσεις που μπορούν να συμπεριληφθούν σε ενδεχόμενο σχεδιασμό μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων και κυρίως του υπόγειου δυναμικού της περιοχής έρευνας είναι:

- Λεπτομερής και συστηματική διερεύνηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της περιοχής και πιο αναλυτικά στις τοποθεσίες εφαρμογής των έργων τεχνητού εμπλουτισμού.
- Λεπτομερής γεωτεχνική μελέτη του υλικού της ακόρεστης ζώνης κάτω από τις θέσεις των λεκανών εμπλουτισμού που έχουν επιλεγθεί (στρωματογραφία, μηχανικές παράμετροι εδάφους, τιμές συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, ενδεχόμενη ρύπανση κ.λπ.).
- Καθορισμός και συστηματικός έλεγχος όλων των απαραίτητων ποιοτικών χαρακτηριστικών των εκροών με βάση σχετικές προδιαγραφές και σταθερότυπα της Ελλάδας και άλλων χωρών και οργανισμών και οδηγιών – διατάξεων, τη

σχετική διεθνή βιβλιογραφία, αντίστοιχες εφαρμογές και εμπειρίες στο διεθνή χώρο (SS, TDS, SAR, TOC, BOD, παθογόνοι μικροοργανισμοί, οργανικές ενώσεις, DBPs, βαρέα μέταλλα, νιτρικά, θρεπτικά, φωσφορικά, κ.λπ.).

- Υδραυλική – διαχειριστική μελέτη με την οποία θα πρέπει να επιμερισθούν τα ποσοστά των εκροών που θα διατίθενται για άρδευση και εμπλουτισμό του υδροφόρου των περιοχών έρευνας.
- Καθορισμός των απαιτούμενων διαστάσεων συμπεριλαμβανομένου και του βάθους των λεκανών εμπλουτισμού.
- Καθορισμός του βέλτιστου και οικονομικότερου τρόπου μεταφοράς των εκροών των Ε.Ε.Λ. στις τοποθεσίες εφαρμογής τους.
- Καθορισμός των κύκλων ξήρανσης/ύγρανσης.
- Σχεδιασμός και ελεγχόμενη λειτουργία πιλοτικού συστήματος λεκανών εμπλουτισμού.
- Ιχνηθέτηση του νερού εμπλουτισμού με κατάλληλους ιχνηθέτες (π.χ. σε ανάλογες περιπτώσεις εμπλουτισμού χρησιμοποιείται ραδιοϊσότοπο τρίτιο) με βάση τις ανάλογες τεχνικές, προδιαγραφές και προφυλάξεις που έχουν εφαρμοσθεί σε συναφείς εφαρμογές σε αντίστοιχες περιπτώσεις (π.χ. Rekaya and Plata Bedmar, 1989) με σκοπό τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών (π.χ. πορώδες) και της δυναμικής συμπεριφοράς του υπόγειου νερού χωρικά και χρονικά.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του πιλοτικού σχεδίου.
- Υδρογεωλογική διερεύνηση της διαδρομής της εμπλουτιζόμενης εκροής με τη χρήση κατάλληλων ιχνηθετών (π.χ. ισοτόπων).
- Επιλογή κατάλληλου δικτύου επιλεγμένων γεωτρήσεων παρακολούθησης της ποιότητας του ανανεωμένου νερού.
- Καθορισμός των κατάλληλων παραμέτρων ποιοτικού ελέγχου του ανανεωμένου νερού.
- Αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων απόφραξης των εδαφικών πόρων (clogging).
- Λεπτομερής καθορισμός των χρήσεων του ανανεωμένου νερού με διερεύνηση αποφυγής ή μη χρήσης για ύδρευση και πόση (άρδευση, πότισμα μεγάλων εκτάσεων (νεκροταφεία, πρηνή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα) και εγκαταστάσεων αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, νερό για τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, νερό για διακοσμητικά σιντριβάνια και νερό για καθαρισμό τουαλετών, στη βιομηχανία ως νερά ψύξης, κ.λπ.).
- Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή από τα έργα εμπλουτισμού και τα συναφή τεχνικά έργα.

- Μελέτη κόστους απαλλοτριώσεων γεωργικών-αγροτικών εκτάσεων. Μελέτη οικονομικών επιπτώσεων των έργων εμπλουτισμού (κόστος του έργου, κόστος διαχείρισης και συντήρησης).
- Διερεύνηση πιθανών προβλημάτων αποδοχής από το κοινό των διαφόρων χρήσεων του ανανεωμένου νερού και προσπάθεια ανάληψης πρωτοβουλιών για σχετικές διαβουλεύσεις – αποτελεσματική αντιμετώπιση του φαινομένου Not In My Back Yard – N.I.M.B.Y. μέσω συστηματικής ενημέρωσης του κοινού.
- Πρόταση σχεδιασμού μόνιμων εγκαταστάσεων εμπλουτισμού.
- Λήψη μέτρων προστασίας στους χώρους των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού και συστηματικοί έλεγχοι της ποιότητας εκροής σε τακτική βάση (1 – 2 φορές την εβδομάδα), που θα περιλαμβάνουν αναλύσεις για BOD<sub>5</sub>, COD, αιωρούμενα στερεά, αμμωνία, νιτρικά, φωσφορικά, ολικό άζωτο και ολικά κολοβακτηριοειδή στο εργαστήριο της εγκατάστασης.





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αγγελάκης Α., και Tsobanoglous G. – Υγρά Απόβλητα. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση εκρών, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 1995

Αγγελάκης Α., Παρανυχιανάκης Ν. – Επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Αποβλήτων: Ανάγκη Θέσπισης Κριτηρίων – Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Ηρακλείου, 71307 Ηράκλειο Κρήτης, σελ. 3 – 11

Βουδούρης Κ. – Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος – Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009, σελ. 13 – 25, 315 – 330

Ετήσιος Απολογισμός & Ετήσιο Δελτίο Ε.ΥΔ.Α.Π., 2011, σελ. 30 – 31

Καλιαμπάκος Δ., Δαμίγος Δ. – Σημειώσεις του μαθήματος: Διαχείριση Περιβάλλοντος/Νομοθεσία, Αθήνα 2001, κεφ. 4 σελ. 1 – 9

Καλλέργης Γ. – Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, 2<sup>ος</sup> Τόμος, Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 2000

Καλλέργης, Γ. – Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμοι Α και Β, Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 1986

Κουμαντάκης Ι. – Κεφάλαια Υδρογεωλογίας, Αθήνα 1997, σελ. 2 – 30

Κουτσογιάννης Δ., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροδήμου Ρ., Χριστοφίδης Α., Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος Α., Καραβοκυρός Γ., Κοζάνης Σ., Μαμάης Δ., και Νουτσόπουλος Κ. – Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008, σελ. 307 – 322

Νταρακάς Ε. – Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Θεσσαλονίκη, 2010 σελ. 3 – 24, 29 – 31, 36 – 43, 73 – 76

Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21/5/91 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων

Οδηγία 2000/60/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (L 327 EL 22.12.2000)

Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α. – Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκρών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα, Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ελλάδας, Λάρισα Δεκέμβριος 2009, σελ. 1, 2 – 7, 15 – 19, 26 – 40, 47 – 58, 67 – 82

Πλιάκας Φ. – Έρευνα επί των Κατάλληλων Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε Ετερογενείς Υδροφορείς Αλλουβιακών Σχηματισμών. Εφαρμογές σε Υδροφορείς του Πεδινού Τμήματος Ξάνθης, Ξάνθη 1998, σελ. 2 – 17

Πλιάκας Φ., Βουδούρη Α., Διαμαντής Ι., Καλλιώρας Α. – Ανασκόπηση Σύγχρονων Θεωρήσεων και Δραστηριοτήτων για τη Διαχείριση του Τεχνητού Εμπλουτισμού των Υπόγειων Νερών, σελ. 31 – 33

Στουρνάρας Γ., Νάστος Π., Γιόξας Γ., Ευελπίδου Ν., Βασιλάκης Ε., Παρτσινέβελου Σ.Α., Ηλιόπουλος Β. – Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής: Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στα Επιφανειακά και Υπόγεια Υδατικά Σώματα του Ελλαδικού Χώρου, Ιούνιος 2011, σελ. 23 – 28

Σιέμος Σ., Μιχαλάκης Ι., Αναστασοπούλου Σ. – Υδρογεωλογική Μελέτη, Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής – Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα 2010, σελ. 7 – 14

Τασούλα Α. – Επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Λυμάτων, Τεχνικά Χρονικά, Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2007, σελ. 5 – 10

Τσέζος Μ., Χατζηκιοσεγιάν Α. – Τεχνολογία Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Αθήνα 2012, σελ. 3 – 20

Υπουργεία: Εσωτερικών, Αποκέντρωσης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης – Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας – Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής – Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης – Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων ΦΕΚ Β'354/2011 Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 2011

### **Μεταπτυχιακές – Διπλωματικές Εργασίες**

Καλλιβωκά Μ. – Μεταπτυχιακή Εργασία: Χωροχρονική Εξέλιξη των Καταναλώσεων του Νερού της Αθήνας – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα Οκτώβριος 2011, σελ. 11 – 15, 26 – 36

Χρυσικού Ε. – Μεταπτυχιακή Εργασία: Τεχνητός Εμπλουτισμός Υπόγειων Υδροφόρων με Επεξεργασμένα Λύματα: Περίπτωση Εφαρμογής στο Θριάσιο Πεδίο – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2009, σελ. 23 – 29, 81 – 95, 107 – 111

Στεργίου Μ. – Διπλωματική Εργασία: Εμπλουτισμός των Υπόγειων Νερών με τη χρήση Νερών Υποβαθμισμένης Ποιότητας. Η περίπτωση της Ν. Περάμου του Ν. Καβάλας – Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ξάνθη 2009, σελ 30 – 70

Aharoni A., Guttman J. and Cikurel H. (MEKOROT) Sharma S. (UNESCO-IHE) – Guidelines for design, operation and maintenance of SAT (and hybrid SAT) systems, 2011, pp. 6 – 21

Aharoni A., (2007), "SAT as practiced historically in Israel: Principles, operation and Problems" communications EU SWITCH FP6 project (No. 18530) SAT process Workshop, Tel-Aviv, Israel (Nov. 2007)

Amy G., Drewes J., (2006), "Soil Aquifer Treatment (SAT) as a Natural and Sustainable Wastewater Reclamation/Reuse Technology: Fate of Wastewater Effluent Organic Matter (EfOM) and Trace Organic Compounds". Environ. Monit. Assess. DOI 10.1007/s 10661-006-9421-4

Amy G., and Drewes J. – Soil Aquifer Treatment (SAT) as a Natural and Sustainable Wastewater Reclamation/Reuse Technology: Fate of Wastewater Effluent Organic Matter (EfOM) and Trace Organic Compounds. Environ Monit Assess, 129, 2007, pp. 19 – 26

Asano T. – Artificial Recharge of Groundwater. Boston, Mass: Butterworth, 1985

Asano T. et al. – Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. Water Sci. Technol. 26: 1513-1524, 1992

Asano, T., Levine, A.D., – Wastewater reclamation, recycling, and reuse: an introduction. In: Asano, T. (ed.) Wastewater reclamation and reuse. Technomic, Lancaster, Pennsylvania, 1998, pp. 1 – 56

Bixio D. and Wintgens T., eds., (2006), "Water Reuse System Management Manual", "AQUAREC – Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater", Directorate-General for Research Publications, Global Change and Ecosystems Edition.

Bixio D. and Wintgens T, eds., (2006), "Water Reuse System Management Manual" Chapter 14, "Soil Aquifer Treatment as Polishing", "AQUAREC – Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater", Directorate-General for Research Publications, Global Change and Ecosystems Edition.

Bouwer, H. – Ground Water Hydrology. New York: McGraw-Hill., 1978, p. 480

Bouwer H. – Design considerations for earth linings for seepage control. Ground Water 20 (5): 531-537., 1982

Bouwer H. – Wastewater renovation in rapid infiltration systems. Ground Water 22: 696-705., 1984

Bouwer, H. – Renovation of Wastewater with rapid-infiltration land treatment systems. Pp. 249-282 in Artificial Recharge of Groundwater, T. Asano, ed. Boston, Mass.: Butterworth, 1985

Bouwer H. – Simple derivation of the retardation equation and application to preferential flow and macrodispersion. *Ground Water* 29 (1):41-46., 1991

Bouwer H. – Effect of water depth and ground water table on infiltration from recharge basins. pp. 377-384 in: *Proceedings of the 1990 National Conference of the Irrigation and Drainage Division*. American Society of Civil Engineers, S. C. Harris ed. Durango, Colo. July 11-13, 1990

Bouwer, H. – Issues in artificial recharge. 2<sup>nd</sup> International Symposium on wastewater reclamation and reuse. International Association on Water Quality, Iraklio, Crete, Greece, 17-20/10/1995, 1995, pp.871 – 880

Bouwer, H. – Artificial recharge of groundwater: systems, design, and management. In: Mays LW (ed) *Hydraulic design handbook*. McGraw-Hill, New York 1999, pp. 24.1 – 24.44

Bouwer, H. – Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, V. 10, No 1, 2002, pp. 121 – 142

Bouwer H., and R. C. Rice – Hydraulic properties of stony vadose zones. *Ground Water* 22 (6): 696-705., 1984

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

Crites R.W, Middlebrooks E. J. and Reed S. C., (2006), "Natural Wastewater Treatment Systems". CRC Press. Boca Raton Florida, USA, pp. 413-426.

Fox, P., Nellor, M., Arnold, R., Lansey, K., Bassett, R., Gerba, C., Karpiscak, M., Amy, G., and Richard, M. (2001) "An Investigation on Soil Aquifer Treatment for Sustainable Water Reuse". AWWA Research Foundation and the American Water Works Association, USA.

Idelovitch E. – SAT (Soil Aquifer Treatment): The long-term performance of the Dan Region reclamation project. The World Bank, Water Week 2003, Washington D.C. (pdf presentation), March 2003

Harun, C.M. (2007) Analysis of removal of multiple contaminants during soil aquifer treatment. MSc Thesis MWI-2007-18, UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands. Japan Swage Works Association – Sewage Works in Japan, Tokyo, Japan, 2003

Kallioras A., Tsangaratos P., Vasileiou E., Pizpikis T., Pliakas F., Schuth C., (2013) Development of Multi-Criteria Decision Support System (DSS) coupled with GIS for identifying optimal locations for Soil Aquifer Treatment (SAT) Facilities *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol. XLVII 2013 Proceedings of the 13th International Congress, Chania, Sept. 2013

Malczewski Jacek – GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, New York, NY 1999, pp. 17 – 26, 34 – 40

Mediterranean Wastewater Reuse Working Group (MED. W.W.R. W.G.) – Mediterranean Wastewater Reuse Report, November, 2007

Nema, P., Ojha, C. S. P., Kumar, A., and Khanna, P. 2001. Techno-economic evaluation of soil aquifer treatment using primary effluent at Ahmedabad, India. *Water Research*, 35 (9), 2179-2190.

Peel M.C., Finlayson B.L. and T. A. McMahon T.A. – Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633 – 1644, 2007

Saaty, T.L. – *The Analytic Hierarchy Process*, NY, McGraw Hill, 1980

Saaty, T.L. – Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 32, 1986, pp.841 – 855

Sharma S.K., Hussen M., Amy G., (2010), "Soil Aquifer Treatment Using Advanced Primary Effluent", *Proceedings of the ISMAR 7 Conference (9-13 October 2010)*, Abu-Dhabi, UAE

State of California – Title 22. Water Recycling Criteria for the State of California. Sacramento, 2003

State of California – Code of Regulations, Title 22, Division 4, Chapter 3, Water Recycling Criteria”, Sections 60301 et seq., Berkeley Dec., California, U.S.A., 2000.

Stergiou M., Kallioras A., Pliakas F. – Groundwater recharge using a Soil Aquifer Treatment (SAT) system in NE Greece Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, Xanthi, GR 67100, Greece

U.S. Environmental Protection Agency, (E.P.A.) – Guidelines for Water Reuse. Technology Transfer Manual EPA/625/R-92/004. U.S. E.P.A. Washington, D.C. 1992, p. 247

U.S. National Research Council – Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality. National Academy Press, Washington, D.C., 1994, p. 283

U.S. E.P.A. – Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, U.S. Agency for Inter. Development, Washington, DC, USA, 2004

Wilson, L.G., Amy, G., L., Gerba, C.P. Gordon, H., Johnson, B. and Miller, J. (1995). Water quality changes during soil aquifer treatment of tertiary effluent. *Water Environment Research*, 67 (3), 371-376.

World Health Organization W.H.O. – Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Vol. 2 Wastewater Use in Agriculture, W.H.O., Geneva, Switzerland, 2006



## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΧΩΡΟΙ

(<http://ypeka.plexscape.com>)

(<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>)

(<http://www.unwater.org/index.html>)

(<http://www.prosodol.gr>)

(<http://www.geo.auth.gr>)

(<http://www.kee.gr>)

(<http://www.eydap.gr>)

(<http://portal.igme.gr>)

(<http://www.greekscapes.gr>)

(<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/index.html>)

(<http://www.geodata.gov.gr>)



