



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

2η ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

**Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων  
συστημάτων με επεξεργασμένα υγρά  
απόβλητα: Η περίπτωση της Πρέβεζας**

Λαγούδη Δ. Ελένη  
*Πολιτικός Μηχανικός*

Μεταπτυχιακή διατριβή η οποία υποβάλλεται για μερική  
εκπλήρωση των απαιτήσεων του Διπλώματος Ειδίκευσης  
του Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων:** Καθηγήτρια Λοϊζίδου Μαρία

**Τριμελής επιτροπή:**  
Λοϊζίδου Μαρία  
Κορωναίος Χριστοφής  
Αικατερίνη Χαραλάμπους

Περιβάλλον  
και  
Ανάπτυξη

Ιωάννινα, 2013

## Ευχαριστίες

Με το πέρας των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και πριν από την εισαγωγή στο θέμα που διαπραγματεύεται η παρούσα διατριβή νιώθω την ανάγκη να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όλα εκείνα τα άτομα τα οποία με στήριξαν είτε μέσω της επιστημονικής τους ειδικότητας και των γνώσεών τους στη συγγραφή της εργασίας μου είτε μέσω της ηθικής και ψυχολογικής τους συμπαράστασης στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Η παρούσα εργασία αντανακλά το αποτέλεσμα εκτεταμένης έρευνας από μέρους μου και υπήρξε μέχρι σήμερα το πλέον δημιουργικό κομμάτι της σταδιοδρομίας μου. Για το λόγο αυτό και με απόλυτη ειλικρίνεια, θα ήθελα, αρχικά, να εκφράσω την εκτίμησή μου και τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα Καθηγήτρια της εργασίας, κυρία Μαρία Λοϊζίδου, Καθηγήτρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, η οποία εκτός από τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά τη διδασκαλία του μαθήματος «Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος» στο πλαίσιο του εαρινού εξαμήνου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος, μου εμπιστεύτηκε το πολύ ενδιαφέρον θέμα της εργασίας, αυτό του Τ.Ε. των υπόγειων νερών. Παρακολουθώντας την εξέλιξη του θέματος με καθοδήγησε στην επιτυχή και έγκαιρη διεκπεραίωση της εργασίας υποδεικνύοντας σε κάθε περίπτωση τον ορθό τρόπο αντιμετώπισης οποιουδήποτε αντικειμένου. Επεδίωξα και ελπίζω να κατάφερα να φανώ αντάξια των προσδοκιών της και να μην υπήρξα κουραστική ή ενοχλητική.

Επιπροσθέτως, θα επιθυμούσα να εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στον Αναπληρωτή Καθηγητή του Δημοκρίτειου Πανεπιστήμιου Θράκης, κύριο Φώτιο-Κωνσταντίνο Πλιάκα, ο οποίος υπήρξε Καθηγητής μου κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή των Πολιτικών Μηχανικών στη Ξάνθη, με φιλοξένησε αρκετές φορές στο γραφείο του, αντάλλαξε μαζί μου απόψεις όσον αφορά στο θέμα της διατριβής και με βοήθησε σε ο,τιδήποτε και αν του ζήτησα με πολλή ευγένεια, προθυμία και πολύτιμο υλικό που μου παρείχε.

Άλλο ένα πρόσωπο από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο το οποίο με στήριξε ιδιαίτερα ψυχολογικά, ώστε να προχωράω με επιτυχία στις προπτυχιακές και μεταπτυχιακές μου σπουδές επιχειρώντας τη σύνεση και τη σεμνότητα στη ζωή μου και με το οποίο είχα στενή συνεργασία κατά την εκπόνηση της προπτυχιακής μου διπλωματικής εργασίας υπήρξε η Λέκτορας, κυρία Κωνσταντία Ιωσηφίδου.

Κατόπιν, ιδιαίτερες ευχαριστίες αρμόζουν στο Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κύριο Νίκο Μαμάση, ο οποίος υπήρξε Καθηγητής μου κατά τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος, με ευχαρίστηση με βοήθησε στην επιλογή του θέματος της διατριβής και με στήριξε ηθικά στην επιτυχή ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ επίσης θερμά όλους τους Καθηγητές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, οι οποίοι μου έδωσαν τη μεγάλη ευκαιρία να παρακολουθήσω τα μαθήματα και από τους οποίους εισέπραξα πέρα από γνώσεις που σχετίζονται με τα ιδιαίτερα γνωστικά τους πεδία, δικαιοσύνη όσον αφορά στη βαθμολόγηση, άμεση ανταπόκριση οποτεδήποτε χρειάστηκα την ενημέρωσή τους και προθυμία να μου δώσουν συμβουλές για μια επιτυχημένη μετέπειτα σταδιοδρομία. Ευχαριστώ

ειδικότερα τον Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κύριο Δημήτρη Καλιαμπάκο και τον Ομότιμο Καθηγητή του ίδιου ιδρύματος, κύριο Δημήτρη Ρόκο.

Επίσης στάθηκα πολύ τυχερή που συνεργάστηκα με τους υποψήφιους διδάκτορες του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κυρίους Νίκο Κατσουλάκο και Βάιο Κώτσιο και κυρία Στέλλα Γιαννακοπούλου, τους οποίους θα ήθελα να διαβεβαιώσω ότι θα προσπαθήσω με τη σειρά μου να βοηθήσω σε ο,τιδήποτε μπορεί να χρειαστούν από εμένα.

Εκτός από τους διδάσκοντες στις προπτυχιακές και μεταπτυχιακές μου σπουδές, τους οποίους ευχαρίστησα προηγουμένως, αρμόζουν ιδιαίτερες ευχαριστίες και σε ορισμένα άτομα που μου παρείχαν σημαντικό υλικό και πληροφορίες σχετικά με το θέμα της εργασίας. Ευχαριστώ συγκεκριμένα τον κύριο Ευάγγελο Νικολάου, υδρογεωλόγο-μηχανικό και Διευθυντή της Περιφερειακής Μονάδας Ηπείρου του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), τις κυρίες Καλλιόπη Αγγελιδάκη και Αυρηλία Μούλια, γεωλόγο και χημικό μηχανικό αντίστοιχα και υπαλλήλους της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας Ηπείρου, καθώς και τον υπεύθυνο του βιολογικού καθαρισμού Πρέβεζας, κύριο Δημήτρη Βάση.

Ευχαριστώ επίσης τους στενούς μου φίλους, Γιώργο Παναγιωτάκη, Ζωή Γροντή, Ζωή Καζαντζίδου, Αλέξανδρο Ιωσηφίδη, Γιώργο Παπλιάκο και Δημήτρη Φυτανίδη, καθώς και την οικογενειακή φίλη και Διευθύντρια του Περιφερειακού Επιχειρησιακού Προγράμματος Ηπείρου, κυρία Ελένη Ρόκου για την υποστήριξη και τις πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με το μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Ολοκληρώνοντας και επισημαίνοντας ότι η σειρά με την οποία επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε αυτούς δεν υποδηλώνει τη θέση που έχουν στην καρδιά μου, εκφράζω την αγάπη και ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, Δημήτριο και Ελπίδα-Αικατερίνη και το συνάδελφό μου και συνοδοιπόρο της ζωής μου, Παύλο. Οι αξίες που μου έχουν εμφυσησει, η κατανόηση και η υπομονή που έχουν επιδείξει και η ηθική στήριξη που μου έχουν προσφέρει απλόχερα υπήρξαν η κινητήρια δύναμη για κάθε επιτυχές εγχείρημά μου έως σήμερα.

Κάθε ομαλή συνεργασία επιφέρει και ένα καλό αποτέλεσμα. Σας ευχαριστώ για μια ακόμη φορά όλους για τις αναμνήσεις, τη στήριξη και την άψογη και επικοινωνιακή συνεργασία μας.

Με απεριόριστη εκτίμηση προς όλους,  
Ελένη Δ. Λαγούδη

*Στους γονείς μου & τον Παύλο  
με ένα μεγάλο «Ευχαριστώ»*

## Πίνακας περιεχομένων

Εξώφυλλο.....	1
Ευχαριστίες .....	2
Αφιέρωση .....	4
Πίνακας περιεχομένων .....	5
Κατάλογος συμβόλων.....	10
Κατάλογος σχημάτων .....	16
Κατάλογος πινάκων.....	20
Κατάλογος φωτογραφιών.....	24
Πρόλογος .....	25
Περίληψη .....	28
Summary .....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ I: Το νερό στη σύγχρονη εποχή.....</b>	<b>32</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>32</b>
1.1. Υδρολογικός κύκλος και κλιματική αλλαγή .....	33
1.2. Η οικονομική αξία των υδατικών πόρων .....	40
1.3. Εναλλακτικές χρήσεις του νερού.....	41
1.3.1. Η χρήση του νερού στη γεωργία.....	41
1.3.2. Η χρήση του νερού στη βιομηχανία.....	44
1.3.3. Η χρήση του νερού στην παραγωγή ενέργειας .....	45
1.3.4. Η χρήση του νερού στον τουρισμό .....	45
1.4. Νέες τάσεις στη διαχείριση των υδατικών πόρων.....	46
1.5. Η ρύπανση των επιφανειακών και των υπόγειων νερών .....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ II: Τα χαρακτηριστικά και η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.....</b>	<b>63</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>63</b>
2.1. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ως εναλλακτική πηγή νερού.....	63
2.2. Τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων .....	64
2.2.1. Πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία .....	65
2.2.2. Δευτεροβάθμια ή βιολογική επεξεργασία .....	66
2.2.3. Τριτοβάθμια χημική ή προχωρημένη επεξεργασία.....	68
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ III: Διαδεδομένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων .....</b>	<b>71</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>71</b>
3.1. Συστήματα σε συνδυασμό με δίκτυο αποχέτευσης .....	72

3.1.1. Σύστημα ενεργού ιλύος (Activated Sludge System).....	72
3.1.1.1. Αρχές λειτουργίας .....	72
3.1.1.2. Η απομάκρυνση του αζώτου(N).....	83
3.1.1.3. Η απομάκρυνση του φωσφόρου(P) .....	99
3.1.1.4. Η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων .....	99
3.1.2. Σύστημα προσκολλημένης βιομάζας (Adherent Biomass System).....	100
3.1.3. Σύστημα παρατεταμένου αερισμού ή οξειδωτική τάφρος (Oxidation Ditch).....	102
3.1.4. Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου με περιοδική λειτουργία ή τυποποιημένο σύστημα Compact (Sequential Batch Reactor, SBR).....	105
3.1.5. Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Reactor).....	107
3.1.6. Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών (Membrane Bioreactor, MBR) .....	109
3.1.7. Εδαφική διάθεση (Territorial Disposition).....	110
3.2. Ιδιωτικά συστήματα χωρίς δίκτυο αποχέτευσης.....	111
3.2.1. Βόθρος (Sink).....	111
3.2.1.1. Στεγανός βόθρος (Sealed Cesspool) .....	111
3.2.1.2. Απορροφητικός βόθρος (Absorbent Sink).....	112
3.2.1.3. Συμβατικός βόθρος βαρύτητας (Conventional Gravity Septic Tank) .....	112
3.2.1.4. Βόθρος βαρύτητας σηπτικών δεξαμενών απορροής ή σύστημα STEG (Gravity Septic Tank) .....	113
3.2.1.5. Βόθρος άντλησης σηπτικών δεξαμενών απορροής (Septic Tank Pumping) .....	113
3.2.1.6. Βόθρος πίεσης με αλεστικές αντλίες (Fossa Pressure) .....	113
3.2.2. Σηπτική δεξαμενή (Septic Tank) με ενσωματωμένο φίλτρο εκροής (Filter Effluent) ή με σύστημα βιολογικής επεξεργασίας.....	114
3.3. Συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων .....	116
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV: Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.....</b>	<b>122</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>122</b>
4.1. Εναλλακτικοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα/ΚΥΑ 145116/2011.....	122
4.1.1. Η αστική και περιαστική χρήση του ανακτημένου νερού .....	131
4.1.2. Η βιομηχανική χρήση του ανακτημένου νερού.....	133
4.1.3. Η γεωργική χρήση του ανακτημένου νερού .....	134
4.1.4. Ο Τ.Ε. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με χρήση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας .....	140
4.2. Το διεθνές νομοθετικό πλαίσιο.....	140
4.2.1. Η Οδηγία του ΠΟΥ.....	141

4.2.2. Οι προτάσεις του FAO .....	146
4.2.3. Η νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής .....	149
4.2.3.1. Ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια .....	151
4.2.3.2. Η Οδηγία της EPA .....	157
4.2.4. Η νομοθεσία στην Ευρώπη .....	159
4.2.4.1. Γαλλία .....	159
4.2.4.2. Ελλάδα .....	161
4.2.4.3. Ισπανία .....	161
4.2.4.4. Ιταλία .....	165
4.2.4.5. Κύπρος .....	167
4.2.4.6. Πορτογαλία .....	171
4.2.5. Η νομοθεσία στη Νότιο Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή .....	173
4.2.5.1. Αίγυπτος .....	173
4.2.5.2. Ιορδανία .....	176
4.2.5.3. Ισραήλ .....	178
4.2.5.4. Τυνησία .....	180
4.2.6. Η νομοθεσία στην Αυστραλία .....	182
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ V: Οι μέθοδοι του Τ.Ε. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων και οι περιοριστικοί παράγοντες για την εφαρμογή του .....</b>	<b>186</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>186</b>
5.1. Το ύψωμα του Τ.Ε. ....	189
5.2. Οι μέθοδοι του Τ.Ε. ....	199
5.2.1. Επιφανειακή φόρτιση .....	200
5.2.1.1. Μέθοδος λεκάνης κατάκλυσης (Basin Method) .....	202
5.2.1.2. Μέθοδος τάφρων και αυλακιών (Ditch and Furrow Method).....	206
5.2.1.3. Μέθοδος πλημμύρας (Flooding Method) .....	208
5.2.1.4. Μέθοδος διευθέτησης υδατορεύματος (Stream Channel Modification) .....	209
5.2.1.5. Επανεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδατορεύματος (Stream Flow Reactivation or Augmentation) .....	209
5.2.1.6. Μέθοδος άρδευσης (Irrigation Method) .....	210
5.2.2. Άμεση έγχυση (Injection Wells) .....	211
5.2.2.1. Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (Natural Openings Method) .....	213
5.2.2.2. Μέθοδος ορυγμάτων (Pit Method).....	213
5.2.2.3. Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (Reverse Drainage Method).....	213

5.2.2.4. Μέθοδος με γεωτρήσεις T.E. (Recharge Well Method) .....	214
5.2.2.5. Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης και άντλησης (Aquifer Storage and Recover Wells, ASR Wells) .....	215
5.2.2.6. Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (Vadose Zone Wells) .....	216
5.2.3. Συνδυασμός επιφανειακού και υπεδάφιου T.E. ....	216
5.2.3.1. Συνδυασμός λεκάνης T.E. και αποστραγγιστικού δικτύου (Basins with Subsurface Drainage Collectors and Wells).....	216
5.2.3.2. Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (Basins with Pits, Shafts or Wells).....	217
5.2.4. Μέθοδοι έμμεσου T.E. (Indirect Recharge) .....	217
5.2.4.1. Επαγωγικός T.E. (Induced Surface Water Recharge).....	218
5.2.4.2. Συμπωματικός T.E. (Incidental Recharge).....	219
5.2.4.3. Διευθέτηση υδροφόρων συστημάτων (Aquifer Modification) .....	219
5.2.5. Μέθοδοι T.E. με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.....	220
5.2.5.1. Συστήματα εδαφικής διάθεσης .....	221
5.2.5.2. Προϋποθέσεις εγκατάστασης συστημάτων SAT: Οι κατάλληλοι εδαφικοί σχηματισμοί.....	236
5.3. Δημοφιλείς εφαρμογές T.E. ανά τον κόσμο.....	237
5.4. Η αντιμετώπιση της υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων μέσω εφαρμογών T.E. ....	254
5.5. Οι περιοριστικοί παράγοντες στην εφαρμογή του T.E. ....	262
5.5.1. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.....	262
5.5.2. Οι διαλυμένοι ανόργανοι ρύποι .....	265
5.5.3. Οι οργανικές ενώσεις .....	265
5.5.4. Το υπολειμματικό χλώριο (Cl).....	265
5.5.5. Η αλατότητα .....	266
5.5.6. Οι οικονομοτεχνικές απαιτήσεις.....	266
5.5.7. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες.....	270
5.5.8. Οι κοινωνικές συνθήκες .....	273
5.5.9. Το θεσμικό πλαίσιο .....	276
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI: Ενδεικτική πρόταση εφαρμογής πιλοτικού συστήματος T.E. στη χερσόνησο της Πρέβεζας .....</b>	<b>278</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>278</b>
6.1. Μεθοδολογία .....	281
6.2. Τα μορφολογικά, λιθοστρωματογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της χερσονήσου της Πρέβεζας .....	282



6.3. Η υδρογεωλογία της περιοχής-ενδιαφέροντος .....	283
6.3.1. Το υδροφόρο σύστημα της χερσονήσου της Πρέβεζας .....	283
6.3.2. Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της χερσονήσου της Πρέβεζας .....	290
6.4. Τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής της ΕΕΛ Πρέβεζας.....	293
6.5. Κλιματολογικά δεδομένα για τη χερσόνησο της Πρέβεζας .....	298
6.6. Ενδεικτική πρόταση εγκατάστασης συστήματος SAT στη ΒΙΠΕ Πρέβεζας .....	303
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII: Συμπεράσματα-Διαχειριστικές προτάσεις .....</b>	<b>309</b>
<b>Παραρτήματα.....</b>	<b>313</b>
Παράρτημα Α .....	313
Παράρτημα Β.....	317
Παράρτημα Γ .....	321
Παράρτημα Δ.....	326
<b>Πηγές πληροφοριών.....</b>	<b>336</b>
Βιβλιογραφία .....	336
Δικτυακοί τόποι.....	355

## Κατάλογος συμβόλων

<b>A:</b>	Η έκταση όπου εφαρμόζεται το νερό T.E. (m <sup>2</sup> )
<b>a:</b>	Η σταθερά διάσπασης ( $a=0,693/t_{1/2}$ , όπου $t_{1/2}$ είναι ο χρόνος ημιζωής)
<b>ADWF:</b>	Average Dry Weather Flow
<b>AWT:</b>	Advanced Wastewater Treatment
<b>B:</b>	Ο συντελεστής απωλειών του φορτίου σχηματισμού κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης
<b>B' :</b>	Ο συντελεστής απωλειών φορτίου κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης, οι οποίες σχετίζονται με αστοχίες της διάτρησης ή άλλες παραμέτρους ελάττωσης της διαπερατότητας της περιοχής πλησίον του γεωτρητικού φίλτρου
<b>b:</b>	Το πάχος ενός αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος κατά την άντληση γεώτρησης
<b>BOD ή BOD<sub>5</sub>:</b>	Biochemical Oxygen Demand (mg/L)
<b>BOR:</b>	Bureau of Reclamation (United States)
<b>BRGM:</b>	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
<b>C:</b>	Ο συντελεστής απωλειών φορτίου της γεώτρησης κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης
<b>C:</b>	Η συγκέντρωση του ρύπου μετά από χρόνο t
<b>C<sub>o</sub>:</b>	Η αρχική συγκέντρωση του ρύπου
<b>c:</b>	Η υδραυλική αντίσταση (Ισχύει $c=b'/K'$ , όπου $K'$ : η υδραυλική αγωγιμότητα του ημιπερατού στρώματος και $b'$ : το πάχος του ημιπερατού στρώματος)
<b>CEC:</b>	Cation Exchange Capacity
<b>CFU:</b>	Colony-Forming Units
<b>COD:</b>	Chemical Oxygen Demand
<b>CSHPF:</b>	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
<b>D:</b>	Ο ρυθμός διήθησης κατά την εφαρμογή ανακτημένων υγρών αποβλήτων σε υδάτινα ή χερσαία οικοσυστήματα
<b>D:</b>	Το πάχος του υδροφόρου συστήματος στις τετράγωνες λεκάνες T.E.
<b>d:</b>	Στάθμη αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος πριν από τον T.E.
<b>d:</b>	Η διάμετρος των φυσαλίδων ενός αεριστήρα
<b>DDT:</b>	Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane
<b>DO:</b>	Dissolved Oxygen
<b>DW:</b>	Dry Weight
<b>E:</b>	Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής κατά την εφαρμογή ανακτημένων υγρών αποβλήτων σε υδάτινα ή χερσαία οικοσυστήματα
<b>E:</b>	Η απόδοση της διεργασίας καθαρισμού σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>E:</b>	Η απόδοση των γεωτρήσεων έγχυσης
<b>EC:</b>	<i>Escherichia coli</i>
<b>ECw:</b>	Electrical Conductivity of water (1dS/m=1000EC (or $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) $\approx$ 640mg/kg (or ppm), 1mS/m=100mmho/cm)
<b>EUREAU:</b>	European federation of national associations of water services
<b>F/M:</b>	Το φορτίο ιλύος σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>f:</b>	Το ακόρεστο πορώδες στην εξίσωση Hantush
<b>FAO:</b>	Food and Agriculture Organization (United Nations)
<b>FAP:</b>	Floating Aquatic Plant Treatment System
<b>FBR:</b>	Fluidized Bed Reactor
<b>FC:</b>	Fecal Coliform
<b>FOG:</b>	Fast Oxidative Glycolytic
<b>FWS:</b>	Free Water Surface Treatment Wetlands
<b>G:</b>	Το υδραυλικό φορτίο του βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>GFDL:</b>	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (United States)
<b>H:</b>	Άθροισμα $h_o + d$ αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος
<b>H:</b>	Η αρχική στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στην εξίσωση Hantush μετρημένη από το κατώτερο στεγανό όριο του υδροφόρου συστήματος

<b>H<sub>c</sub>:</b>	Το ύψος του υβώματος Τ.Ε. κάτω από το κέντρο της επιφάνειας Τ.Ε. στις επιμήκεις λεκάνες Τ.Ε. και στις λεκάνες Τ.Ε. με ακανόνιστο σχήμα, όταν υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στην τροφοδοσία των υπόγειων νερών και την άντλησή τους
<b>H<sub>n</sub>:</b>	Η στάθμη των υπόγειων νερών στην περιοχή ελέγχου στις επιμήκεις λεκάνες Τ.Ε.
<b>H<sub>n</sub>:</b>	Το ύψος ισορροπίας του υβώματος Τ.Ε. πάνω από τη στάθμη των υπόγειων νερών και σε απόσταση R <sub>n</sub> από το κέντρο της επιφάνειας Τ.Ε. στις λεκάνες Τ.Ε. με ακανόνιστο σχήμα
<b>h:</b>	Το ύψος του υβώματος Τ.Ε. των τετράγωνων λεκανών Τ.Ε.
<b>h:</b>	Η στάθμη των υπόγειων νερών στις επιμήκεις λεκάνες Τ.Ε. σε απόσταση X και r από το άκρο του συστήματος Τ.Ε. στις επιμήκεις λεκάνες Τ.Ε. και τις λεκάνες Τ.Ε. με ακανόνιστο σχήμα αντίστοιχα
<b>h ή h<sub>i</sub>:</b>	Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατά την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό και σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα αντίστοιχα σε απόσταση r από τη γεώτρηση άντλησης και μετρημένη κατά την οριζόντια διεύθυνση
<b>h:</b>	Το πάχος της ζώνης γλυκού νερού επάνω από το επίπεδο της θάλασσας στην εξίσωση Ghyben-Herzberg
<b>h<sub>e</sub>:</b>	Η στάθμη των υπόγειων νερών στις επιμήκεις λεκάνες Τ.Ε. σε απόσταση ίση με το μισό πλάτος του συστήματος Τ.Ε. από το άκρο του συστήματος, όπου η πλευρική ροή θεωρείται σταθερή
<b>h<sub>i</sub>:</b>	Η αρχική στάθμη των υπόγειων νερών με αφετηρία των μετρήσεων τη βάση του υδροφόρου συστήματος στις κυκλικές λεκάνες Τ.Ε.
<b>h<sub>i</sub>:</b>	Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατά την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό ή σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα σε απόσταση r <sub>i</sub> από τη γεώτρηση άντλησης και μετρημένη κατά την οριζόντια διεύθυνση
<b>h<sub>m</sub>:</b>	Το ύψος του υβώματος Τ.Ε. στις κυκλικές λεκάνες Τ.Ε.
<b>h<sub>o</sub>:</b>	Διαφορά στάθμης ελεύθερου και αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος
<b>h<sub>o</sub>:</b>	Η αρχική στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα πριν από την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό ή σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα
<b>h<sub>w</sub>:</b>	Η στάθμη του νερού στη γεώτρηση
<b>h<sub>x,y,t</sub>:</b>	το ύψος των υπόγειων νερών της εξίσωσης Hantush επάνω από το στεγανό όριο κατά τους άξονες x και y
<b>HF:</b>	Horizontal Flow Artificial Wetland
<b>I:</b>	Η ικανότητα διήθησης στην περιοχή εφαρμογής του συστήματος Τ.Ε., κατόπιν 2 έως 4 εβδομάδων κατάκλυσης (m/sec)
<b>I:</b>	Ιοντική ισχύς
<b>i:</b>	Ο μέσος ρυθμός διήθησης στην περιοχή Τ.Ε. στις επιμήκεις λεκάνες Τ.Ε.
<b>IPCC:</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>K<sub>i</sub>:</b>	Ο ρυθμός κατακρήμνισης της στρώσης i κατά την εφαρμογή ανακτημένων υγρών αποβλήτων σε υδάτινα ή χερσαία οικοσυστήματα (ή εδαφική διαπερατότητα της στρώσης i) (m/sec)
<b>K<sub>s</sub>:</b>	Η σταθερά ημικορεσμού σε σύστημα ενεργού ιλύος (mg/L)
<b>k<sub>alk</sub>:</b>	Η παράμετρος ημικορεσμού της αλκαλικότητας σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>k<sub>d</sub>:</b>	Η σταθερά του ενδογενούς ρυθμού αποικοδόμησης σε t <sup>-1</sup> σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>k<sub>D,A</sub>:</b>	Ο ενδογενής ρυθμός αποσύνθεσης ή η απώλεια κυτταρικής βιομάζας κατά τη διάρκεια της ενδογενούς αναπνοής στη μονάδα του χρόνου σε σύστημα ενεργού ιλύος (1/ημέρα)
<b>k<sub>NH4</sub>:</b>	Η σταθερά ημικορεσμού της αμμωνίας (NH <sub>3</sub> ) σε σύστημα ενεργού ιλύος (gr αζώτου (N)/m <sup>3</sup> )
<b>k<sub>o</sub>:</b>	Η σταθερά που αντιστοιχεί στο μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης σε t <sup>-1</sup> σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>k<sub>O2</sub>:</b>	Η σταθερά ημικορεσμού του οξυγόνου (O <sub>2</sub> ) σε σύστημα ενεργού ιλύος (gr οξυγόνου (O <sub>2</sub> )/m <sup>3</sup> )
<b>L:</b>	Το μήκος της περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε.
<b>L<sub>n</sub>:</b>	Η οριζόντια απόσταση από το άκρο της επιφάνειας Τ.Ε. μέχρι τη στάθμη

	σταθερού ελέγχου, όπου η πλευρική ροή θεωρείται σταθερή και για τις επιμήκεις λεκάνες T.E.
<b>lb:</b>	Μονάδα μέτρησης της μάζας (1lb ≈ 0,45kg)
<b>m<sub>α</sub>:</b>	Συνάρτηση των h <sub>m</sub> και h <sub>i</sub> στις κυκλικές λεκάνες T.E.
<b>MAR:</b>	Management of Aquifer Recharge
<b>MBR:</b>	Membrane Bioreactor
<b>Mi:</b>	Μοριακή συγκέντρωση του i-οστού ιόντος (mol/L)
<b>MLSS:</b>	Mixed Liquor Suspended Solids
<b>MLVSS:</b>	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
<b>MPL:</b>	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)
<b>MPN:</b>	Most Probable Number
<b>n, F(α,β), α, β:</b>	Συντελεστές οι οποίοι εμπλέκονται στους υπολογισμούς της εξίσωσης Hantush
<b>NTU:</b>	Nephelometric Turbidity Unit (μονάδα μέτρησης της θολότητας)
<b>OCWP:</b>	Oklahoma Comprehensive Water Plan
<b>ODA:</b>	Overseas Development Administration
<b>P:</b>	Το φορτίο έγχυσης κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης
<b>P<sub>α</sub>:</b>	Το φορτίο έγχυσης που μετρείται στο πεδίο κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης
<b>P<sub>h</sub>:</b>	Η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου συστήματος στην οριζόντια διεύθυνση στις κυκλικές λεκάνες T.E.
<b>P<sub>n</sub>:</b>	Βροχόπτωση (mm)
<b>P<sub>t</sub>:</b>	Το θεωρητικό φορτίο έγχυσης κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης
<b>PCU:</b>	Μονάδα μέτρησης της απόχρωσης στα μικροβιολογικά όρια της Ιορδανίας περί επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων
<b>PFU:</b>	Pyrococcus Furiosus
<b>Q:</b>	Η παροχή άντλησης υπόγειων νερών από γεώτρηση κατά τον επιφανειακό T.E. ή η παροχή νερού T.E. κατά τον T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης σε αρτεσιανό ή φρεάτιο υδροφόρο σύστημα (L <sup>3</sup> /T)
<b>Q<sub>ο</sub>:</b>	Η εισερχόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων σε σύστημα ενεργού ιλύος (m <sup>3</sup> /ημέρα)
<b>Q<sub>R</sub>:</b>	Η ποσότητα μίγματος υγρών αποβλήτων-βιομάζας που επανατροφοδοτεί το σύστημα ενεργού ιλύος (m <sup>3</sup> /ημέρα)
<b>Q<sub>w</sub>:</b>	Η παροχή που απομακρύνεται από το σύστημα ενεργού ιλύος (m <sup>3</sup> /ημέρα)
<b>q:</b>	Ο μέγιστος ρυθμός εφαρμογής των ανακτημένων υγρών αποβλήτων στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα ή η μέγιστη τιμή του λόγου ροή/επιφάνεια
<b>q<sub>ο</sub>:</b>	Η ογκομετρική φόρτιση σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>R:</b>	Η ακτίνα της κυκλικής λεκάνης T.E.
<b>R:</b>	Η ισοδύναμη ακτίνα της περιοχής T.E. στις λεκάνες T.E. με ακανόνιστο σχήμα
<b>R:</b>	Εύρος ανύψωσης της στάθμης του υδροφόρου συστήματος ύστερα από T.E.
<b>R<sub>g</sub>:</b>	Οι νέοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε σύστημα ενεργού ιλύος για το χρονικό διάστημα που τα στερεά υλικά παραμένουν στο βιοαντιδραστήρα
<b>R<sub>n</sub>:</b>	Απορροή (mm)
<b>R<sub>n</sub>:</b>	Η απόσταση από το κέντρο της επιφάνειας T.E. μέχρι το σημείο που εξετάζεται στις λεκάνες T.E. με ακανόνιστο σχήμα
<b>r:</b>	Η ενεργός ακτίνα της γεώτρησης παρακολούθησης στις κυκλικές λεκάνες T.E.
<b>r:</b>	Συμβολισμός στην εξίσωση του συντελεστή Revell, ο οποίος δηλώνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε mg/L
<b>r<sub>i</sub>:</b>	Η απόσταση των γεωτρήσεων παρακολούθησης i από την γεώτρηση άντλησης και μετρημένες κατά την οριζόντια διεύθυνση κατά την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό ή σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα
<b>r<sub>s</sub>:</b>	Ο ρυθμός χρησιμοποίησης της τροφής από τους μικροοργανισμούς σε βιοαντιδραστήρα plug-flow
<b>r<sub>w</sub>:</b>	Η διάμετρος της γεώτρησης
<b>RBC:</b>	Rotating Biological Contactor
<b>S:</b>	Ο συντελεστής υδροχωρητικότητας ή εναποθήκευσης του υδροφόρου

	συστήματος
<b>S:</b>	Η συγκέντρωση διαλυμένης τροφής στο βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος (mg/L)
<b>S<sub>alk</sub>:</b>	Η ολική αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>S<sub>i</sub>:</b>	Η συγκέντρωση (mg/L) του βιοχημικά και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD και COD) των αποβλήτων στην εισροή συστήματος ενεργού ιλύος
<b>S<sub>NH4</sub>:</b>	Η περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων σε διαλυμένη αμμωνία και διαλυμένα αμμωνιακά ιόντα (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> ) σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>S<sub>o</sub>:</b>	Η συγκέντρωση διαλυμένης τροφής στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα σε σύστημα ενεργού ιλύος (mg/L)
<b>S<sub>o2</sub>:</b>	Η περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων σε διαλυμένο οξυγόνο (DO) σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>S<sub>y</sub>:</b>	Η ειδική απόδοση του Τ.Ε. σε κυκλική λεκάνη διήθησης
<b>s:</b>	Η πτώση της στάθμης του υδροφόρου συστήματος μετά από την πάροδο χρόνου t στη γεώτρηση παρακολούθησης στις κυκλικές λεκάνες Τ.Ε.
<b>s<sub>i</sub>:</b>	Η πτώση στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα κατά την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό ή σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα σε απόσταση r <sub>i</sub> από τη γεώτρηση άντλησης και μετρημένη κατά την οριζόντια διεύθυνση
<b>s<sub>w</sub>:</b>	Απόσταση μεταξύ της ανυψωμένης στάθμης και της ελεύθερης επιφάνειας υδροφόρου συστήματος ύστερα από τον Τ.Ε.
<b>SAR:</b>	Sodium Absorption Ratio
<b>SAT system:</b>	Soil-Aquifer Treatment system
<b>SBR:</b>	Sequential Batch Reactor
<b>SRT:</b>	Ο χρόνος παραμονής των στερεών υλικών στο βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος (ημέρες)
<b>SS:</b>	Suspended Solids (mg/L)
<b>SSF:</b>	Subsurface Flow Treatment Wetlands
<b>SVI:</b>	Sludge Volume Index
<b>T ή t:</b>	Η θερμοκρασία σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>T:</b>	Η μεταβιβατικότητα του υδροφόρου συστήματος (m <sup>2</sup> /sec)
<b>t:</b>	Ο χρόνος δημιουργίας του υβώματος Τ.Ε. από την έναρξη του Τ.Ε. και έπειτα στην εξίσωση Hantush
<b>t:</b>	Ο χρόνος μετά την άντληση γεώτρησης στις κυκλικές λεκάνες Τ.Ε.
<b>t:</b>	Ο χρόνος μετά την έναρξη του Τ.Ε. στις τετράγωνες λεκάνες Τ.Ε.
<b>TC:</b>	Total Coliform
<b>2,3,7,8- TCDD:</b>	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin
<b>TDS:</b>	Total Dissolved Solids (mg/L)
<b>TKN:</b>	Total Kjeldahl Nitrogen (sum of ammonia and organic nitrogen)
<b>TN:</b>	Total N (άθροισμα των TKN, νιτρικών και νιτρωδών)
<b>TOC:</b>	Total Organic Carbon
<b>TP:</b>	Total Phosphorus
<b>TS:</b>	Total Solids
<b>TSS:</b>	Total Suspended Solids
<b>tr:</b>	Ο χρόνος παραμονής του ρύπου στον υδροφόρο ορίζοντα
<b>U:</b>	Ο λόγος του οργανικού υποστρώματος προς τους μικροοργανισμούς σε σύστημα ενεργού ιλύος.
<b>UKMO:</b>	United Kingdom Meteorological Office
<b>V:</b>	Ο όγκος του βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος (m <sup>3</sup> )
<b>V<sub>α</sub>:</b>	Ο ρυθμός τροφοδοσίας των υπόγειων νερών με το νερό Τ.Ε. από την επιφάνεια διήθησης στην εξίσωση Hantush
<b>V<sub>i</sub>:</b>	Ο ρυθμός διήθησης της κατακόρυφης ροής διαμέσου του εδάφους και διαμέσου της κρεμαστής ζώνης
<b>v<sub>i</sub>:</b>	Ο ρυθμός απονιτροποίησης σε t <sup>o</sup> C στην εξίσωση του Van't Hoff-Arrhenius
<b>v<sub>20</sub>:</b>	Ο ρυθμός απονιτροποίησης στους 20 <sup>o</sup> C στην εξίσωση του Van't Hoff-Arrhenius
<b>VF:</b>	Vertical Flow Artificial Wetland
<b>ve':</b>	Η ταχύτητα με την οποία το νερό εισάγεται στο δοχείο της συσκευής Bouwer,

	κατά την περίοδο όπου το $\Delta$ λαμβάνει θετικές τιμές (ή η κλίση της καμπύλης A)
<b>W:</b>	Το πλάτος της περιοχής εφαρμογής του T.E.
<b>W:</b>	Η παροχή του νερού T.E. στις κυκλικές και τις τετράγωνες λεκάνες T.E.
<b>W(u), W(u<sub>o</sub>):</b>	Οι συναρτήσεις της γεώτρησης παρακολούθησης ή χαρακτηριστικές συναρτήσεις στις κυκλικές λεκάνες T.E.
<b>WPCF:</b>	Water Pollution Control Federation
$\bar{X}$ :	Η μέση τιμή συγκέντρωσης βιομάζας σε βιοαντιδραστήρα plug-flow υλός
<b>X:</b>	Η συγκέντρωση βιομάζας στο βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού υλός (mg/L)
<b>x:</b>	Η απόσταση από το κέντρο μιας τετράγωνης λεκάνης T.E. από ένα ορισμένο σημείο ελέγχου
<b>X<sub>e</sub>:</b>	Η συγκέντρωση βιομάζας στην εκροή συστήματος ενεργού υλός (mg/L)
<b>X<sub>o</sub>:</b>	Η συγκέντρωση βιομάζας στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα σε σύστημα ενεργού υλός (mg/L)
<b>X<sub>μ</sub>:</b>	Η συγκέντρωση βιομάζας στην περίσσεια ποσότητα υλός σε σύστημα ενεργού υλός (mg/L)
<b>x<sub>o</sub>:</b>	Απόσταση των κέντρων δύο γεωτρήσεων έγχυσης
<b>Y:</b>	Το κλάσμα της τροφής το οποίο μετατρέπεται σε βιομάζα σε σύστημα ενεργού υλός
<b>z:</b>	Το πάχος της ζώνης γλυκού νερού κάτω από το επίπεδο της θάλασσας στην εξίσωση Ghyben-Herzberg
<b>ZE:</b>	Equivalent Zinc
<b>Zi:</b>	Φορτίο i-οστού ιόντος
<b>A:</b>	Η έκταση όπου εφαρμόζεται το νερό T.E. (m <sup>2</sup> )
<b>α:</b>	Ο συντελεστής διαλυτότητας οξυγόνου (O <sub>2</sub> ) στο μίγμα υγρών αποβλήτων-ενεργού υλός σε σύστημα ενεργού υλός
<b>A, B:</b>	Τα πιεζομετρικά φορτία στο δοχείο και στη λεκάνη αντίστοιχα της συσκευής Bouwer σε σχέση με ένα τυχαίο επίπεδο αναφοράς
<b>α/α:</b>	Αύξων αριθμός
<b>ΑΕΠ:</b>	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
<b>ΒΙΠΕ:</b>	Βιομηχανική Περιοχή
<b>ΓΟΚ:</b>	Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός
<b>Δ:</b>	Το ύψος επάνω από τη στάθμη του νερού της λεκάνης κατάκλυσης στο οποίο φτάνει η επιφάνεια του νερού του δοχείου της συσκευής του Bouwer, όταν το δοχείο τροφοδοτείται με νερό από μια δεξαμενή
<b>ΔΟ.Π.ΠΟΙ.ΖΩ.:</b>	Η Δημοτική Επιχείρηση Δομημένου Περιβάλλοντος και Ποιότητας Ζωής του Δήμου Θέρμης
<b>ΔΠΚ:</b>	Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης
<b>ΔΤΚ:</b>	Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης
<b>E:</b>	Η απόδοση των γεωτρήσεων έγχυσης
<b>E:</b>	Η απόδοση της διεργασίας καθαρισμού σε σύστημα ενεργού υλός
<b>E:</b>	Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής κατά την εφαρμογή ανακτημένων υγρών αποβλήτων σε υδάτινα ή χερσαία οικοσυστήματα
<b>ΕΕΛ:</b>	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
<b>Ε.ΚΕ.Τ.Α/Ι.Τ.ΧΗ.Δ.:</b>	Το Ινστιτούτο Τεχνικών και Χημικών Διεργασιών
<b>ΕΜΕΚΑ:</b>	Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής
<b>ΕΜΥ:</b>	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
<b>Ε.Υ.Α.Θ. Α.Ε.:</b>	Η Εταιρεία Ύδρευσης-Αποχέτευσης της Θεσσαλονίκης Α.Ε.
<b>ΕΥΔΑΠ:</b>	Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας
<b>Ηλ:</b>	Η ηλικία της υλός σε σύστημα ενεργού υλός
<b>θ:</b>	Ο θερμοκρασιακός συντελεστής της εξίσωσης του Van't Hoff-Arrhenius
<b>θ ή HRT:</b>	Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων στο βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού υλός
<b>θ<sub>c</sub> ή SRT:</b>	Ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών σε βιοαντιδραστήρα plug-flow ή η ηλικία της υλός

<b>ΙΓΜΕ:</b>	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
<b>ΙΚ:</b>	Ισοδύναμος Κάτοικος
<b>ΚΥΑ:</b>	Κοινή Υπουργική Απόφαση
<b>λ:</b>	Ισχύει $\lambda = Kbc^{1/2}$
<b>μ<sub>D</sub>:</b>	Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των οργανισμών απονιτροποίησης συναρτήσει του διαλυμένου οξυγόνου (DO) σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>μ<sub>d</sub> ή μ<sub>D</sub>:</b>	Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των οργανισμών απονιτροποίησης συναρτήσει της θερμοκρασίας σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>μ<sub>N</sub>:</b>	Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών συναρτήσει του διαλυμένου οξυγόνου (DO) σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>μ<sub>n,pH</sub>:</b>	Ο ρυθμός νιτροποίησης συναρτήσει του pH
<b>ΜΕΛ:</b>	Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων
<b>N.:</b>	Νόμος
<b>Π.Δ.:</b>	Προεδρικό Διάταγμα
<b>ΠΟΥ:</b>	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
<b>ρf:</b>	Η πυκνότητα του γλυκού νερού στην εξίσωση Ghyben-Herzberg
<b>ρs:</b>	Η πυκνότητα του υφάλμυρου νερού στην εξίσωση Ghyben-Herzberg
<b>Τ.Ε.:</b>	Τεχνητός Εμπλουτισμός
<b>ΥΠ.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.:</b>	Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων
<b>Φ:</b>	Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα πριν τον Τ.Ε. σε ελεύθερο υδροφόρο σύστημα
<b>Φ<sub>B</sub> ή Φ:</b>	Το ημερήσιο εισερχόμενο οργανικό φορτίο στον αντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος
<b>ΦΕΚ:</b>	Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης
<b>ΧΥΤΑ:</b>	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

## Κατάλογος σχημάτων

- Σχήμα 1.1:** Ο υδρολογικός κύκλος
- Σχήμα 1.2:** Παγκόσμια κατανομή του νερού
- Σχήμα 1.3:** Οι κατανομές βροχόπτωσης και απορροής στην Ελλάδα το διάστημα 1980-2001
- Σχήμα 1.4:** Η κατανομή του χρησιμοποιούμενου νερού ανά παραγωγικό τομέα στην Ελλάδα
- Σχήμα 1.5:** Οι υδατικές καταναλώσεις το 2000 για τις χώρες της περιοχής Europe-30
- Σχήμα 1.6:** Η ετήσια μεταβολή της υδατικής κατανάλωσης για το χρονικό διάστημα 2000-2030
- Σχήμα 1.7:** Η εξέλιξη της βροχόπτωσης και της υδατικής ζήτησης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
- Σχήμα 2.1:** Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων υπό αερόβιες συνθήκες
- Σχήμα 2.2:** Η αναερόβια δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων
- Σχήμα 2.3:** Τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων
- Σχήμα 2.4:** Κατανομή του πληθυσμού που εξυπηρετείται από ΕΕΛ ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα το έτος 2001
- Σχήμα 3.1:** Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός των υγρών αποβλήτων σε μονάδα ενεργού ιλύος με αερισμό ανά διαστήματα
- Σχήμα 3.2:** Η κυκλοφορία υλικών κατά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό των υγρών αποβλήτων σε μονάδα ενεργού ιλύος με αερισμό ανά διαστήματα
- Σχήμα 3.3:** Η διεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων σε σύστημα ενεργού ιλύος
- Σχήμα 3.4:** Κατανάλωση οξυγόνου ( $O_2$ ) συναρτήσει της οργανικής φόρτισης των υγρών αποβλήτων
- Σχήμα 3.5:** Οι κατηγορίες των δεξαμενών καθίζησης
- Σχήμα 3.6:** Η νιτροποίηση
- Σχήμα 3.7:** Η απονιτροποίηση
- Σχήμα 3.8:** Τα είδη της βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N) σε μονάδα ενεργού ιλύος ανά τον κόσμο και οι βιοαντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται: α. παραγωγή ιλύος σε δύο στάδια, β. παραγωγή ιλύος σε ένα στάδιο, γ. οξειδωτική τάφρος
- Σχήμα 3.9:** Μεταβολή της οξύτητας με την εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης-απονιτροποίησης
- Σχήμα 3.10:** Συσχέτιση του πληθυσμού των βακτηρίων *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* με το pH
- Σχήμα 3.11:** Η επιρροή της θερμοκρασίας στο ρυθμό βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N)-Εξίσωση Van't Hoff-Arrhenius
- Σχήμα 3.12:** Μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των νιτροποιητών και απονιτροποιητών συναρτήσει της θερμοκρασίας: α. *Nitrosomonas*, β. *Nitrobacter*
- Σχήμα 3.13:** Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών συναρτήσει της θερμοκρασίας
- Σχήμα 3.14:** Ο ρυθμός ανάπτυξης των απονιτροποιητών συναρτήσει της θερμοκρασίας
- Σχήμα 3.15:** Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών συναρτήσει του διαλυμένου οξυγόνου (DO) του βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος
- Σχήμα 3.16:** Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των απονιτροποιητών συναρτήσει του διαλυμένου οξυγόνου (DO) του βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος
- Σχήμα 3.17:** Σχηματισμός αερόβιων και ανοξικών ζωνών μέσα στο βιοαντιδραστήρα
- Σχήμα 3.18:** Η απομάκρυνση του αζώτου (N) από τα υγρά απόβλητα συναρτήσει της ηλικίας της ιλύος
- Σχήμα 3.19:** Οι περιοριστικοί παράγοντες της νιτροποίησης
- Σχήμα 3.20:** Η συγκέντρωση του αζώτου (N) συναρτήσει του απαιτούμενου ρυθμού ανακύκλωσης
- Σχήμα 3.21:** Η αμμωνιακή φόρτιση αιχμής συναρτήσει της υδραυλικής
- Σχήμα 3.22:** Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε σύστημα προσκολλημένης βιομάζας



- Σχήμα 3.23:** Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε οξειδωτική τάφρο
- Σχήμα 3.24:** Η θερμοκρασιακή επίδραση στη νιτροποίηση σε σύστημα οξειδωτικής τάφρου
- Σχήμα 3.25:** Η λειτουργία του Compact συστήματος
- Σχήμα 3.26:** Ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης
- Σχήμα 3.27:** Η σηπτική δεξαμενή παλαιού τύπου
- Σχήμα 3.28:** Η προσθήκη του μηχανικού φίλτρου στη σηπτική δεξαμενή
- Σχήμα 3.29:** Η σηπτική δεξαμενή με μηχανικό φίλτρο από διάτρητους σωλήνες
- Σχήμα 4.1:** Η ποσοστιαία κατανομή του ανακτημένου νερού ανά παραγωγικό τομέα: α. στην Καλιφόρνια, β. στη Φλόριντα
- Σχήμα 4.2:** Η εξελικτική διαδικασία των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ
- Σχήμα 5.1:** Ακτινωτή ροή κατά την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα
- Σχήμα 5.2:** Ακτινωτή ροή κατά την άντληση γεώτρησης σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα
- Σχήμα 5.3:** Ακτινωτή ροή κατά την άντληση γεώτρησης σε υδροφόρο σύστημα με διαρροές
- Σχήμα 5.4:** Σύστημα διήθησης με κρεμαστά υπόγεια νερά επάνω από παρεμβαλλόμενη εδαφική στρώση
- Σχήμα 5.5:** Τα μεγέθη της εξίσωσης Hantush
- Σχήμα 5.6:** Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υβώματος T.E. κάτω από επιμήκη λεκάνη T.E.
- Σχήμα 5.7:** Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υβώματος T.E. κάτω από κυκλική λεκάνη T.E.
- Σχήμα 5.8:** Το ύβωμα T.E. κάτω από μια τετράγωνη λεκάνη T.E.
- Σχήμα 5.9:** Γραφική εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του υβώματος T.E. κάτω από μια τετράγωνη λεκάνη T.E.
- Σχήμα 5.10:** Νομόγραμμα της ταχύτητας T.E. ενός υδροφόρου συστήματος συναρτήσει της διαπερατότητας του εδάφους
- Σχήμα 5.11:** Νομόγραμμα της ταχύτητας διήθησης συναρτήσει του χρόνου
- Σχήμα 5.12:** Η σκαμμένη λεκάνη κατάκλυσης
- Σχήμα 5.13:** Διάταξη λεκανών κατάκλυσης σε κάτοψη
- Σχήμα 5.14:** Η συσκευή του Bouwer για τη μέτρηση της ταχύτητας διήθησης στον πυθμένα λεκάνης κατάκλυσης
- Σχήμα 5.15:** Η εξέλιξη του T.E. κάτω από μια τάφρο
- Σχήμα 5.16:** Η θεωρητική και η πειραματική καμπύλη ανόδου του υβώματος T.E.
- Σχήμα 5.17:** Τυπικό σύστημα T.E. τάφρων και αυλακιών: α. πλευρική διάταξη β. δενδροειδής διάταξη γ. μαιανδρική διάταξη
- Σχήμα 5.18:** Το σύστημα T.E. με πλημμύρα
- Σχήμα 5.19:** T.E. με διευθέτηση της κοίτης υδατορεύματος: α. με εκτροπή, β. με τάφρους, γ. με φράγματα και λεκάνες ελέγχου
- Σχήμα 5.20:** Οι εναλλακτικές αρδευτικές τεχνικές: α. η επιφανειακή ροή, β. το σύστημα τάφρων και αυλακιών, γ. η υπόγεια άρδευση, δ. ο T.E. με πλημμύρα, ε. το σύστημα καταιονισμού
- Σχήμα 5.21:** T.E. από γεώτρηση: α. σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα, β. σε αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα
- Σχήμα 5.22:** T.E. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης: α. η καμπύλη στάθμης συναρτήσει του χρόνου, β. η καμπύλη ειδικής παροχής συναρτήσει του χρόνου
- Σχήμα 5.23:** T.E. με ορύγματα και κανάλια
- Σχήμα 5.24:** Η μέθοδος των γεωτρήσεων έγχυσης: α. γεώτρηση άντλησης και T.E. σε αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα, β. το δίκτυο ροής του συστήματος των δύο γεωτρήσεων
- Σχήμα 5.25:** Λεκάνη κατάκλυσης συνδεδεμένη με σύστημα συλλογής και μεταφοράς νερού T.E.
- Σχήμα 5.26:** Συνδυασμός λεκάνης κατάκλυσης και γεώτρησης T.E.
- Σχήμα 5.27:** Επαγωγικός T.E.: α. πριν την άντληση, β. μετά την άντληση

**Σχήμα 5.28:** Παραδείγματα διευθέτησης υδροφόρων συστημάτων: α. με παρεμπόδιση της εξόδου ροής, β. με αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας (υπόγειο διάφραγμα), γ. με κατασκευή τεχνητού υδροφόρου συστήματος

**Σχήμα 5.29:** Τα συστήματα βραδείας διήθησης: α. η υδραυλική ροή, β. η κατάκλυση, γ. η τεχνητή βροχή

**Σχήμα 5.30:** Τα φυτά των τεχνητών υγροβιότοπων επιφανειακής ροής

**Σχήμα 5.31:** Τεχνητοί υγροβιότοποι: α. επιφανειακής ροής, β. υποεπιφανειακής ροής

**Σχήμα 5.32:** Παγκόσμια κατανομή των επεξεργασμένων μέσω προηγμένης εδαφικής διάθεσης υγρών αποβλήτων ανά χρήση

**Σχήμα 5.33:** Τα έργα Τ.Ε. του προγράμματος Water Factory 21

**Σχήμα 5.34:** Σκαρίφημα μιας γεώτρησης Τ.Ε. του προγράμματος Water Factory 21

**Σχήμα 5.35:** Τα έργα Τ.Ε. του προγράμματος Montebello Forebay

**Σχήμα 5.36:** Τα έργα Τ.Ε. για τη μονάδα 91st Avenue

**Σχήμα 5.37:** Τα έργα Τ.Ε. για τη μονάδα 23rd Avenue

**Σχήμα 5.38:** Οι θέσεις Τ.Ε. στην Ελλάδα

**Σχήμα 5.39:** Η μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα σε μια γεώτρηση παρακολούθησης κατά τον Τ.Ε. στην Πέλλα

**Σχήμα 5.40:** Η μεταβολή της απορροφητικής ικανότητας συναρτήσει του χρόνου σε φρέαρ στο Αργολικό πεδίο, όταν ο Τ.Ε. γίνεται με χρήση καθαρού νερού ως νερού Τ.Ε.

**Σχήμα 5.41:** Η μεταβολή της απορροφητικής ικανότητας συναρτήσει του χρόνου σε φρέαρ στο Αργολικό πεδίο, όταν ο Τ.Ε. γίνεται με χρήση νερού επιφανειακής ροής ως νερού Τ.Ε.

**Σχήμα 5.42:** Η υφιστάμενη ΕΕΛ της Θέρμης

**Σχήμα 5.43:** Η νέα προηγμένη ΜΕΛ που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Σχήμα 5.44:** Το αυτοκαθαριζόμενο αμμόφιλτρο της νέας ΜΕΛ στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Σχήμα 5.45:** Τα έργα επιφανειακής διήθησης και οι γεωτρήσεις παρακολούθησης των υπόγειων νερών στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Σχήμα 5.46:** Ο πληθυσμός ανά χώρα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στις παράκτιες περιοχές του Ατλαντικού Ωκεανού (Βάση ψηφιακών δεδομένων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, Γραφείο Απογραφών, κωνική προβολή, παράλληλοι 29°30' και 45°30', κεντρικός μεσημβρινός-77°00', 1996)

**Σχήμα 5.47:** Οι αντλήσεις νερού ανά χώρα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στις παράκτιες περιοχές του Ατλαντικού Ωκεανού (Βάση ψηφιακών δεδομένων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, κωνική προβολή, παράλληλοι 29°30' και 45°30', κεντρικός μεσημβρινός-77°00', 2000)

**Σχήμα 5.48:** Η ροή των υπόγειων νερών σε ένα σύνθετο, πολυστρωματικό υδροφόρο σύστημα

**Σχήμα 5.49:** Η απλοποιημένη διεπιφάνεια γλυκού-υφάλμυρου νερού σε παράκτιο υδροφόρο σύστημα

**Σχήμα 5.50:** Οι μέθοδοι αντιμετώπισης της υφαλμύρισης σε αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα: α. οι ελεγχόμενες αντλήσεις, β. ο Τ.Ε. με επιφανειακή διήθηση, γ. ο υπόγειος φυσικός φραγμός, δ. το κοίλωμα γεωτρήσεων άντλησης, ε. ο συνδυασμός ελεγχόμενων αντλήσεων και γεωτρήσεων Τ.Ε.

**Σχήμα 5.51:** Συσχέτιση του όγκου νερού Τ.Ε. και του κόστους της εφαρμογής: α. με προεπεξεργασία του νερού Τ.Ε., β. άνευ προεπεξεργασίας του νερού Τ.Ε.

**Σχήμα 5.52:** Ο νόμος της προσφοράς και της ζήτησης αναφορικά με τα υγρά απόβλητα

**Σχήμα 5.53:** Αποτελέσματα έρευνας στο San Diego το 2004 και το 2011 στην ερώτηση «Είστε πρόθυμοι να χρησιμοποιήσετε ανακτημένο νερό από προηγμένο σύστημα επεξεργασίας στη θέση του πόσιμου γλυκού νερού;»

**Σχήμα 6.1:** Η περιοχή ενδιαφέροντος: α. θέση σε σχέση με το Νομό Πρέβεζας, β. θέση σε σχέση με τη χερσόνησο της Πρέβεζας

**Σχήμα 6.2:** Η ροή των εργασιών για την υλοποίηση ενός έργου Τ.Ε.

**Σχήμα 6.3:** Απόσπασμα από γεωλογικό χάρτη ΙΓΜΕ 1/50.000-Φύλλο Βόνιτσα

**Σχήμα 6.4:** Το υδρογραφικό δίκτυο της χερσονήσου της Πρέβεζας

**Σχήμα 6.5:** Τοπογραφικός χάρτης της χερσονήσου της Πρέβεζας

**Σχήμα 6.6:** Το δίκτυο των γεωτρήσεων ελέγχου της περιοχής ενδιαφέροντος

**Σχήμα 6.7:** Συσχέτιση των μηνιαίων υψών υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου της ΕΜΥ και το μετεωρολογικό σταθμό του ΙΓΜΕ για το χρονικό διάστημα 1997-2007

**Σχήμα 6.8:** Συσχέτιση των ετήσιων υψών υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου της ΕΜΥ και το μετεωρολογικό σταθμό του ΙΓΜΕ για το χρονικό διάστημα 1997-2007

**Σχήμα 6.9:** Η μηνιαία διακύμανση της σχετικής υγρασίας στη χερσόνησο της Πρέβεζας για το χρονικό διάστημα 1971-1996

**Σχήμα 6.10:** Η μηνιαία διακύμανση διάφορων καιρικών χαρακτηριστικών στη χερσόνησο της Πρέβεζας για το χρονικό διάστημα 1971-1996

**Σχήμα 6.11:** Θέση των επιλεγόμενων γεωτρήσεων σε σχέση με την ΕΕΛ Πρέβεζας

**Σχήμα 6.12:** Σκαρίφημα διάταξης και διαστάσεων του ενδεικτικά προτεινόμενου συστήματος SAT

**Σχήμα 6.13:** Κάτοψη και τομή μιας λεκάνης διήθησης του προτεινόμενου συστήματος SAT

**Σχήμα 6.14:** Οι υποψήφιες θέσεις εγκατάστασης των προτεινόμενων στο πλαίσιο της εργασίας συστημάτων SAT σε υπόβαθρο Google Earth 2012

## Κατάλογος πινάκων

- Πίνακας 1.1:** Η ανθρωπογενής επίδραση στους υδατικούς πόρους
- Πίνακας 1.2:** Μέσες ετήσιες κατακρημνίσεις και υδατικό δυναμικό ανά υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας
- Πίνακας 1.3:** Μέσες ετήσιες χρησιμοποιούμενες ποσότητες ( $Mm^3/έτος$ ) του νερού ανά παραγωγικό τομέα σε κάθε υδατικό διαμέρισμα
- Πίνακας 1.4:** Η ετήσια κατά κεφαλήν διαθεσιμότητα νερού το 2050 σύμφωνα με 3 εναλλακτικά κλιματικά σενάρια
- Πίνακας 1.5:** Η χρήση του νερού στον αγροτικό παραγωγικό τομέα ανά τον κόσμο
- Πίνακας 1.6:** Απαιτούμενη υδατική κατανάλωση για την παραγωγή αγροτικών και κτηνοτροφικών προϊόντων διατροφής
- Πίνακας 1.7:** Μέσες τιμές ποιοτικών παραμέτρων σε απορροή ομβρίων νερών αστικής περιοχής
- Πίνακας 1.8:** Βαθμός διάσωσης (%) των αρδευόμενων θάμνων της Συρίας κατόπιν εφαρμογής έργων υδροσυλλογής μικρής κλίμακας και διαφορετικών διαστάσεων
- Πίνακας 1.9:** Μέση απόδοση καλλιεργειών ρυζιού και σιταριού, όπως αυτή επιρεάζεται από τη συνδυασμένη χρήση γλυκού και αλκαλικού νερού για χρονικό διάστημα 6 ετών
- Πίνακας 1.10:** Οι ενδεχόμενες χρήσεις του νερού υποβαθμισμένης ποιότητας
- Πίνακας 1.11:** Οι μέθοδοι επεξεργασίας του νερού
- Πίνακας 1.12:** Οικονομικά στοιχεία για τις διάφορες διεργασίες επεξεργασίας του νερού
- Πίνακας 2.1:** Η συγκέντρωση ρύπων στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα ύστερα από την πρωτοβάθμια καθίζηση
- Πίνακας 2.2:** Τα χαρακτηριστικά των φίλτρων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων
- Πίνακας 3.1:** Σχέση της σύστασης των υγρών αποβλήτων και της οργανικής φόρτισης
- Πίνακας 3.2:** Οι εναλλαγές της μεθόδου ενεργού ιλύος και οι τιμές των παραμέτρων απόδοσης στην κάθε μέθοδο
- Πίνακας 3.3:** Οι κινητικές και λειτουργικές παράμετροι του συστήματος ενεργού ιλύος
- Πίνακας 3.4:** Τυπικές τιμές του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης
- Πίνακας 3.5:** Τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή ( $\theta$ ) σε σύστημα ενεργού ιλύος
- Πίνακας 3.6:** Η επίδραση της οργανικής φόρτισης στην οξείδωση της αμμωνίας ( $NH_3$ )
- Πίνακας 3.7:** Οι οργανικές ενώσεις που προκαλούν αναστολή της νιτροποίησης σε συστήματα ενεργού ιλύος
- Πίνακας 3.8:** Η απαιτούμενη παράπλευρη επιφάνεια στεγανού βόθρου σε σχέση με το είδος του εδάφους
- Πίνακας 3.9:** Συγκριτική αξιολόγηση των βόθρων πίεσης με αλεστικές αντλίες και των συμβατικών βόθρων βαρύτητας
- Πίνακας 3.10:** Το λειτουργικό κόστος των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας (ευρώ / I.K.)
- Πίνακας 3.11:** Το κατασκευαστικό κόστος των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας (ευρώ / I.K.)
- Πίνακας 3.12:** Η παρούσα αξία του συνολικού κόστους των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας για χρονικό ορίζοντα 40 ετών (ευρώ / I.K.)
- Πίνακας 3.13:** Αποτίμηση της επίδοσης των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ως προς διάφορα κριτήρια
- Πίνακας 3.14:** Τυπική απομάκρυνση διάφορων παθογόνων μικροοργανισμών κατ' αναλογία με τη μέθοδο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων
- Πίνακας 4.1:** Οι εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε σχέση με την πηγή παραγωγής τους σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.2:** Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.3:** Τα επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.4:** Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.5:** Προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα

**Πίνακας 4.6:** Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων, η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για αστική και περιαστική χρήση και Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με γεωτρήσεις έγχυσης σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.7:** Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων, η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.8:** Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων, η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και Τ.Ε. υπόγειου υδροφόρου συστήματος, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

**Πίνακας 4.9:** Αρδευόμενες εκτάσεις με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ανά τον κόσμο

**Πίνακας 4.10:** Τα μικροβιολογικά όρια της Οδηγίας του ΠΟΥ (1989)

**Πίνακας 4.11:** Η Οδηγία του ΠΟΥ (1989) για τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο έδαφος

**Πίνακας 4.12:** Η Οδηγία του ΠΟΥ (1989) για τις συγκεντρώσεις των οργανικών ουσιών στο έδαφος

**Πίνακας 4.13:** Ποσοτική ανάλυση κινδύνου για μόλυνση από ροταϊό για διαφορετικά σενάρια έκθεσης σύμφωνα με τον ΠΟΥ το 2006

**Πίνακας 4.14:** Στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας κατά την επαναχρησιμοποίηση εκρών ΕΕΛ στη γεωργία σύμφωνα με τον ΠΟΥ το 2006

**Πίνακας 4.15:** Οι προτάσεις του FAO για την εκτίμηση της ποιότητας του αρδευόμενου νερού

**Πίνακας 4.16:** Τα ανώτερα αποδεκτά όρια των συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων για την πρόληψη του κινδύνου φυτοτοξικότητας σύμφωνα με το FAO

**Πίνακας 4.17:** Τα μικροβιολογικά όρια του κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978)

**Πίνακας 4.18:** Τα κριτήρια του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978) για τον Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

**Πίνακας 4.19:** Ο εκτιμώμενος βαθμός απομάκρυνσης των παθογόνων μικροοργανισμών συναρτήσει της κατηγορίας έργων Τ.Ε. σύμφωνα με τον Κανονισμό της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978)

**Πίνακας 4.20:** Η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, ώστε το ίδιο μέγεθος στις θέσεις απόληξης να μην υπερβαίνει το 1mg/L σύμφωνα με τον Κανονισμό της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978)

**Πίνακας 4.21:** Τα αναθεωρημένα κριτήρια του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια το 2000

**Πίνακας 4.22:** Τα μικροβιολογικά όρια για την επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία της EPA το 2004

**Πίνακας 4.23:** Η Οδηγία 1620/2007 της Ισπανίας: α. Οι εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων, β. Τα όρια των ποιοτικών παραμέτρων για κάθε εναλλακτική χρήση, γ. Η απαιτούμενη επεξεργασία σε σχέση με την πιθανή χρήση του ανακτημένου νερού, δ. Το κόστος κάθε χρήσης

**Πίνακας 4.24:** Μικροβιολογικά κριτήρια στην Ιταλία για άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και σύγκρισή τους με τις οδηγίες του ΠΟΥ και κριτηρίων άλλων περιφερειών

**Πίνακας 4.25:** Τα μικροβιολογικά όρια της Κύπρου για άρδευση

**Πίνακας 4.26:** Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων για άρδευση στην Κύπρο

**Πίνακας 4.27:** Οδηγίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Πορτογαλία

**Πίνακας 4.28:** Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στη γεωργία (mg/L) ανάλογα με την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων εκρών σύμφωνα με τον Αιγυπτιακό Κώδικα Επαναχρησιμοποίησης Υγρών Αποβλήτων στην Άρδευση το Φεβρουάριο του 2005

**Πίνακας 4.29:** Κατηγοριοποίηση των φυτών και καλλιεργειών που αρδεύονται με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην Αίγυπτο σύμφωνα με τον Αιγυπτιακό Κώδικα Επαναχρησιμοποίησης Υγρών Αποβλήτων στην Άρδευση το Φεβρουάριο του 2005

**Πίνακας 4.30:** Η υδατική παροχή και κατανάλωση ανά παραγωγικό τομέα στο Ισραήλ

**Πίνακας 4.31:** Τα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων πολλαπλού σκοπού στο Ισραήλ

**Πίνακας 4.32:** Κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ

**Πίνακας 4.33:** Τα μικροβιολογικά όρια της Τυνησίας για αρδευτική χρήση και διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες

**Πίνακας 4.34:** Συνεκτίμηση της ποιότητας των υγρών αποβλήτων και επιτόπιων μέτρων προστασίας για συγκεκριμένες δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης εκρών ΕΕΛ στην Αυστραλία

**Πίνακας 5.1:** Η υδραυλική αγωγιμότητα σε διάφορες κατηγορίες εδάφους

**Πίνακας 5.2:** Τα κριτήρια εκτίμησης της καταλληλότητας ενός εδάφους για την εφαρμογή εδαφικού συστήματος βραδείας διήθησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

**Πίνακας 5.3:** Οι κύκλοι λειτουργίας της ταχείας διήθησης

**Πίνακας 5.4:** Ο αριθμός των απαιτούμενων λεκανών Τ.Ε. σε σύστημα ταχείας διήθησης συναρτήσει των κύκλων διήθησης

**Πίνακας 5.5:** Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της εδαφικής διάθεσης των υγρών αποβλήτων με επιφανειακή απορροή

**Πίνακας 5.6:** Η απομάκρυνση χημικών οργανικών συστατικών κατά την επιφανειακή διάθεση υγρών αποβλήτων σε σύστημα SAT

**Πίνακας 5.7:** Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών, ύστερα από εφαρμογή συστήματος SAT στο Salt River Floodplain West of Phoenix, Arizona

**Πίνακας 5.8:** Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών, ύστερα από εφαρμογή συστήματος SAT στο Τελ Αβίβ

**Πίνακας 5.9:** Αξιολόγηση των κατηγοριών τεχνητών λιμνών αναφορικά με βασικές παραμέτρους λειτουργίας και το βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

**Πίνακας 5.10:** Ο μέγιστος ρυθμός εφαρμογής μεταλλικών ιόντων στο έδαφος ανά έτος σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΕΚ

**Πίνακας 5.11:** Σημαντικά έργα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα

**Πίνακας 5.12:** Οι σχεδιαστικές παράμετροι της προηγμένης ΕΕΛ Θέρμης στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Πίνακας 5.13:** Οι τιμές των λειτουργικών παραμέτρων του φίλτρου άμμου της νέας προηγμένης ΕΕΛ Θέρμης στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Πίνακας 5.14:** Οι μέσες συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο υφάλμυρο νερό

**Πίνακας 5.15:** Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας των υπόγειων νερών αναφορικά με την υφαλμύρισή τους

**Πίνακας 5.16:** Οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία της επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς

**Πίνακας 5.17:** Οικονομικά στοιχεία για τις εναλλακτικές μεθόδους Τ.Ε.

**Πίνακας 5.18:** Ρυθμός διάθεσης των επεξεργασμένων εκροών εδαφικών συστημάτων σε διάφορες χρήσεις

**Πίνακας 5.19:** Η τεχνική αποτελεσματικότητα του Τ.Ε. σε σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους

**Πίνακας 5.20:** Η καταλληλότητα των εναλλακτικών συστημάτων Τ.Ε. σε σχέση με τη λιθολογία και την τοπογραφία

**Πίνακας 6.1:** Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των γεωτρήσεων ελέγχου των υπόγειων νερών της χερσονήσου της Πρέβεζας σε WGS84

**Πίνακας 6.2:** Οι μέσες τιμές του βάθους ανάπτυξης της στάθμης του φρεατίου και του αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος στη χερσόνησο της Πρέβεζας

**Πίνακας 6.3:** Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά του κοκκώδους υδροφόρου συστήματος της χερσονήσου της Πρέβεζας

**Πίνακας 6.4:** Οι τιμές των βασικών ποιοτικών παραμέτρων των υπόγειων νερών στη χερσόνησο της Πρέβεζας

**Πίνακας 6.5:** Η περιεκτικότητα των υπόγειων νερών της χερσονήσου της Πρέβεζας σε ανιόντα και κατιόντα

**Πίνακας 6.6:** Οι ποιοτικές παράμετροι της εκροής της ΕΕΛ Πρέβεζας

**Πίνακας 6.7:** Τα μηνιαία ύψη υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου της ΕΜΥ για το χρονικό διάστημα 1971-2013

**Πίνακας 6.8:** Τα μηνιαία ύψη υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του ΙΓΜΕ για το χρονικό διάστημα 1997-2007

**Πίνακας 6.9:** Η μηνιαία συχνότητα εμφάνισης (%) της νηνεμίας και του ανέμου ανά κατεύθυνση για το χρονικό διάστημα 1971-1996

**Πίνακας 6.10:** Η θερμοκρασία και οι νεφώσεις ανά μήνα για το χρονικό διάστημα 1971-1996

**Πίνακας I:** Οι τιμές της  $F(\alpha, \beta)$  για διάφορες τιμές των  $\alpha$  και  $\beta$

**Πίνακας II:** Οι τιμές της  $W(u)$  για τιμές του  $u$  στο διάστημα  $10^{-15}$ -9,9

**Πίνακας III:** Μέθοδοι απορρύπανσης των υδροφόρων συστημάτων και του εδάφους

## Κατάλογος φωτογραφιών

- Φωτογραφία 1.1:** Συστήματα αποστράγγισης: α. αγωγός, β. φρεάτιο
- Φωτογραφία 1.2:** Ομιχλοπαγίδες
- Φωτογραφία 3.1:** Ο κώνος του Imhoff
- Φωτογραφία 3.2:** Ο επιφανειακός περιστρεφόμενος αεριστήρας σταθερού άξονα
- Φωτογραφία 3.3:** Ο περιστρεφόμενος πλωτός αεριστήρας
- Φωτογραφία 3.4:** Ο διαχυτής λεπτής φυσαλίδας
- Φωτογραφία 3.5:** Οι αεριστήρες τύπου βούρτσας
- Φωτογραφία 3.6:** Το βακτήριο *Nitrosomonas* στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο
- Φωτογραφία 3.7:** Το βακτήριο *Nitrobacter* στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο
- Φωτογραφία 3.8:** Το χαλικοδιυλιστήριο
- Φωτογραφία 3.9:** Το δισκοδιυλιστήριο
- Φωτογραφία 3.10:** Ο τύπος Orbal της οξειδωτικής τάφρου
- Φωτογραφία 3.11:** Η σύνθετη οξειδωτική τάφρος
- Φωτογραφία 3.12:** Ο αντιδραστήρας βιομεμβρανών
- Φωτογραφία 4.1:** Εκτάσεις λαχανικών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό το οποίο έχει απολυμανθεί μέσω εδαφικής διάθεσης στο Monterey County
- Φωτογραφία 4.2:** Τριφύλλι που αρδεύεται με δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην περιοχή Wadi Mousa της Ιορδανίας
- Φωτογραφία 5.1:** Εδαφική διάθεση υγρών αποβλήτων
- Φωτογραφία 5.2:** Τεχνητή λίμνη
- Φωτογραφία 5.3:** Η διαδικασία απομάκρυνσης του φυτοπλαγκτόν από τεχνητή λίμνη
- Φωτογραφία 6.1:** Το αντλιοστάσιο των υγρών αποβλήτων της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.2:** Ο σταθμός βοθρολυμάτων της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.3:** Η δεξαμενή αερισμού της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.4:** Η δεξαμενή καθίζησης της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.5:** Το κανάλι χλωρίωσης της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.6:** Το κιόσκι του δειγματολήπτη της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.7:** Ο παχυντής ιλύος της ΕΕΛ Πρέβεζας
- Φωτογραφία 6.8:** Η ταινιοφιλτροπρέσα της ΕΕΛ Πρέβεζας



## Πρόλογος

Μεταξύ των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει τον 21ο αιώνα η ανθρωπότητα υφίστανται και εκείνα της υποβάθμισης του υδατικού περιβάλλοντος και της σταδιακής εξάντλησης των υδατικών πόρων (Βουτυράκης, 2004). Ο Brent Clothier (2009), μέλος του Ινστιτούτου Χλωρίδας και Διατροφής της Νέας Ζηλανδίας, επισημαίνει σχετικά ότι: «*Ενώ μια δεκαετία πριν το ζήτημα του νερού βρισκόταν αρκετά πίσω σε σχέση με το αντίστοιχο των διοξειδίων, πολύ σύντομα θα το ξεπεράσει*». Ο Καθηγητής Εφαρμοσμένης Βιολογίας των Πληθυσμών του Πανεπιστημίου Imperial του Λονδίνου, John Beddington (2012), αναφέρει ότι έως το 2030 η ανθρωπότητα θα γνωρίσει έναν «*πραγματικό τυφώνα*» λόγω των ελλείψεων σε τρόφιμα, ενεργειακές πηγές και νερό, για το οποίο η ζήτηση μέχρι τότε αναμένεται να αυξηθεί κατά 30%. Το νερό, στις περισσότερες των περιπτώσεων, δεν αντιμετωπίζεται ως καίριος πόρος για τη συντήρηση των οικοσυστημάτων και της ανθρώπινης ζωής, αλλά ως απόθεμα το οποίο εξυπηρετεί τις ολόένα αυξανόμενες υδατικές απαιτήσεις. Η ρύπανσή του συντελείται με ποικίλους τρόπους, όπως λ.χ. η παρουσία πετρελαιοειδών, οξέων, τοξικών αλάτων βαρέων μετάλλων ή οργανικών ουσιών, η αυξημένη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (SS) ή συνθετικών ενώσεων (απορρυπαντικών) και η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Η μετατροπή των καλλιεργειών σε περισσότερο υδροβόρες, η αυξημένη κατανάλωση νερού στη βιομηχανία και η αύξηση της οικιακής χρήσης του νερού, έχουν δημιουργήσει υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών, καθώς αυτά αποτελούν τις σημαντικότερες δεξαμενές αποθήκευσης, κυρίως στις πεδινές περιοχές. Επιπροσθέτως, σήμερα παρατηρείται δυσχέρεια στην τροφοδοσία των υπόγειων συστημάτων λόγω της ελαττωμένης διήθησης των επιφανειακών νερών, φαινόμενο που συνδέεται με τις εκτροπές και τις διευθετήσεις ποταμών, τον εγκιβωτισμό κοιτών και τα διάφορα έργα αποστράγγισης, που κατασκευάστηκαν χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αρχές της βιωσιμότητας στο τέλος της δεκαετίας του '50.

Ως κύριες αιτίες των προβλημάτων, που σχετίζονται με το νερό, εμφανίζονται (Mariolakos, 2007):

✦ **Η διαρκής αύξηση του πληθυσμού:** Ως «*δημογραφική έκρηξη*» ορίζεται το κοινωνικό φαινόμενο το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό γεννήσεων και χαμηλό ρυθμό θνησιμότητας, κυρίως εξαιτίας της προόδου της ιατρικής επιστήμης. Σύμφωνα με το Τμήμα Απογραφών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Kinder, 1998), στις ανεπτυγμένες χώρες αντιστοιχούν 3 έως 1,6 γεννήσεις σε κάθε θάνατο και στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες αντιστοιχούν 3,3 γεννήσεις σε κάθε θάνατο. Κατά συνέπεια, ο παγκόσμιος πληθυσμός το 1810 έφτασε το 1 δισεκατομμύριο, το 1930 διπλασιάστηκε, ενώ σήμερα ξεπερνά τα 7 δισεκατομμύρια ατόμων. Η αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας δημιουργεί περισσότερες απαιτήσεις για κατανάλωση νερού και ενισχύει τη γεωγραφική ανισοκατανομή των υδατικών πόρων και των κέντρων αστικής ανάπτυξης (Postel, 1997).

✦ **Η διαχείριση των υδατικών πόρων:** Τα βασικότερα διαχειριστικά προβλήματα των υδατικών πόρων περιλαμβάνουν την έλλειψη συνδυασμένης ανάπτυξης και χρήσης τόσο των επιφανειακών όσο και υπόγειων νερών, την αδυναμία από πλευράς των υδρογεωλόγων αξιόπιστης ποσοτικοποίησης της έννοιας της «*ασφαλούς*» απόδοσης ενός υδροφόρου συστήματος, οποιοδήποτε κι

αν είναι το περιεχόμενό της, μια και δεν είναι μετρήσιμες πάντα όλες οι παράμετροί της, την αδυναμία των διαχειριστών (συνήθως μηχανικών) να κατανοήσουν το πρόβλημα, τη μη αποτελεσματική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού, αλλά και αποθήκευσης των πλημμυρικών απορροών για πιθανή μελλοντική χρήση, την έλλειψη συνδυασμού της χρήσης φυσικού νερού με αναγεννημένα ή αφαλατωμένα ή ακόμη και υφάλμυρα νερά (Καλλέργης, 2000). Ακόμη και σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν την ποσοτική επάρκεια των υδατικών πόρων, για διάφορους λόγους, τα υπόγεια και επιφανειακά νερά ρυπαίνονται σε τέτοιον βαθμό που η χρήση τους καθίσταται προβληματική. Στις Μεσογειακές χώρες, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, δημιουργούνται προβλήματα τροφοδοσίας εφόσον ταυτόχρονα επικρατούν χαμηλή κατακρήμνιση, υψηλή εξατμισοδιαπνοή, αυξημένες ανάγκες σε τουρισμό και γεωργία (Angelakis και Bontoux, 2001). Στην Ελλάδα, τα προβλήματα που συνδέονται με το νερό, προκύπτουν ως επακόλουθο της αστικοποίησης, της μη ορθολογικής χρήσης του νερού στην αγροτική παραγωγή και τις βιομηχανικές εφαρμογές, καθώς και της έλλειψης περιβαλλοντικής πολιτικής.

✦ **Η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου:** Η διάδοση της πληροφορίας με χρήση και του διαδικτύου, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η γρήγορη κοινωνικο-οικονομική πρόοδος, ιδιαίτερα μετά το πέρας του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, είναι παράγοντες που συνέβαλαν στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου των πολιτών.

✦ **Η αμφισβητούμενη από τμήμα της επιστημονικής κοινότητας κλιματική αλλαγή (World Bank, World Development Report, 1992):** Στη σύγχρονη εποχή, με τον όρο κλιματική αλλαγή νοείται η θερμοκρασιακή άνοδος που προκαλείται από τη μεταβολή των συγκεντρώσεων των αερίων που αποτελούν τη γήινη ατμόσφαιρα ως συνέπεια των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (βιομηχανίες, αυτοκίνητα, καύση πετρελαίου, κάρβουνου και άλλων ορυκτών πόρων, αποψίλωση δασών). Τμήμα της επιστημονικής κοινότητας επισημαίνει τους κινδύνους που εγκυμονεί η κλιματική αλλαγή για τους υδατικούς πόρους. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει τον υδρολογικό κύκλο και θα επιφέρει μεταβολές στην κατακρήμνιση, στο μέγεθος και το χρόνο απορροής, στη συχνότητα των πλημμυρών και των ξηρασιών. Ωστόσο, όση αβεβαιότητα επικρατεί αναφορικά με το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας της Γης, τόσο περιορισμένες είναι και οι γνώσεις των επιστημόνων σε σχέση με τις επιπτώσεις της θερμοκρασιακής ανόδου στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Λόγω του γεγονότος ότι από τη μια πλευρά, ο σχεδιασμός της αντιπλημμυρικής προστασίας συντελείται μη λαμβάνοντας υπόψη τη σπανιότητα των υδατικών πόρων και από την άλλη πλευρά ότι το πλεόνασμα της απορροής των ομβρίων νερών κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών ή η εκροή καθαρού νερού από εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων παραμένουν αναξιοποίητα, τα προαναφερθέντα προβλήματα δεν έχουν βρει ακόμη αποτελεσματική λύση. Μέχρι σήμερα, η αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας επιδιώκεται κυρίως μέσω της κατασκευής τεχνικών έργων, όπως η κατασκευή νέου αρδευτικού συστήματος και φραγμάτων, ώστε το νερό να αποθηκεύεται σε ταμιευτήρες από όπου μεταφέρεται με αγωγούς σε περιοχές, οι οποίες υποφέρουν από ξηρασία. Τα μέτρα αυτά κρίνονται επίσης αναποτελεσματικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της Θεσσαλίας, όπου έχει καταγραφεί πτώση του υδροφόρου ορίζοντα της τάξης των 4 έως 5m ανά έτος στις λεκάνες απορροής των Ορφανών του Νομού Καρδίτσας και της Υπέρειας του Νομού Λάρισας (Mariolakos et al., 1999), εξαιτίας της υπεράντλησης νερού για άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Η πτώση της στάθμης

του υπόγειου νερού προκαλεί καταστροφικές συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες, εάν δεν ελεγχθούν άμεσα, θα επιφέρουν τεράστιες κοινωνικο-οικονομικές ζημιές. Οι κυριότερες συνέπειες είναι (Mariolakos, 2007):

- **Ελάττωση των υδροφόρων συστημάτων.**
- **Εκφόρτιση του δυναμικού των φυσικών πηγών.**
- **Καθίζηση του εδάφους, ρηγμάτωση της εδαφικής επιφάνειας και φθορά των τεχνητών δομών.**
- **Υφαλμύριση υδροφόρων συστημάτων, στην περίπτωση όπου η πτώση της στάθμης λαμβάνει χώρα πλησίον παράκτιων περιοχών, όπως συμβαίνει στην Αργολίδα.**

Υπό το πρίσμα μιας στρατηγικής ολοκληρωμένης ανάπτυξης, οι πολιτικές οφείλουν να σχεδιάζονται υπακούοντας σε καθορισμένες αρχές οι οποίες περιλαμβάνουν συνοπτικά τα εξής (Βουτυράκης, 2004):

- **Σφαιρική, μακροπρόθεσμη, προσαρμοσμένη διαχείριση.**
- **Ανάδειξη των συγκριτικών πλεονεκτημάτων κάθε περιοχής.**
- **Συνυπολογισμό της φέρουσας ικανότητας των φυσικών οικοσυστημάτων, της γεωμορφολογίας και των φυσικών διεργασιών, όπως η διάβρωση και η υφαλμύριση.**
- **Συμμετοχικό σχεδιασμό-μέσω του συντονισμού των διοικητικών αρχών και του συνδυασμού νομικών/οικονομικών μέσων, διάδοσης πληροφοριών, τεχνολογικών προτάσεων, έρευνας και εκπαίδευσης-σε όλα τα επίπεδα της διοίκησης.**

Ο T.E. των υδροφόρων συστημάτων (Frycklund, 1998, Mariolakos et al., 2002) δύναται να αποτελέσει μια πρόταση για τη βελτίωση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των νερών και την επαναφορά του καθεστώτος των υπόγειων νερών στην πρότερη κατάσταση όπου δεν είχαν εμφανιστεί τα προαναφερθέντα σοβαρά προβλήματα. Όλες οι εργασίες, που βρίσκονται σε εξέλιξη ή σχεδιάζονται για το μέλλον και αφορούν στο νερό, οφείλουν, βέβαια, να προσαρμοστούν στο πνεύμα της Ευρωπαϊκής Οδηγίας Πλαίσιο 2000/60, με την οποία οι υδατικοί πόροι δεν κατηγοριοποιούνται ως επιφανειακοί, υπόγειοι ή υφάλμυροι, αλλά καθίστανται αξιοποιήσιμοι και άξιοι προστασίας στο σύνολό τους.

Η εκροή «καθαρού νερού» από εγκαταστάσεις επεξεργασίας δημοτικών υγρών αποβλήτων, έπειτα από δευτεροβάθμιο καθαρισμό, υπόκειται σε κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να παραχθεί νερό υψηλής ποιότητας το οποίο να δύναται να επαναχρησιμοποιηθεί για την προστασία των υπόγειων νερών από την υφαλμύριση. Οι μέθοδοι επεξεργασίας της δευτεροβάθμιας εκροής περιλαμβάνουν τη χημική πήξη-απευθείας φίλτρανση, την προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και την απολύμανση με όζον. Η αποκατάσταση των υπόγειων νερών επιτυγχάνεται είτε με την επιφανειακή κατάκλυση, είτε με την υπόγεια διήθηση, ώστε το νερό από την επιφάνεια του εδάφους να μεταφερθεί σε υπόγεια υδροφόρα συστήματα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, λαμβάνει χώρα τακτικός έλεγχος της ποιότητας των νερών, με στόχο να προσδιορίζονται οι περιβαλλοντικές συνέπειες της κάθε φορά εφαρμοζόμενης μεθόδου (Samaras et al., 2002). Όλες οι παραπάνω μέθοδοι αναλύονται σε ακόλουθα υποκεφάλαια της εργασίας.

## Περίληψη

Ο αντικειμενικός στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης της εκροής εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) ως νερού τεχνητού εμπλουτισμού (Τ.Ε.) με σκοπό την τροφοδότηση υπόγειων υδροφόρων συστημάτων υπό το πρίσμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ιδιαίτερως, εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα των συστημάτων επεξεργασίας εδάφους-υδροφόρου συστήματος (Soil-Aquifer Treatment systems, SAT systems) για την αντιμετώπιση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης (υφαλμύρισης) στα υπόγεια συστήματα παρουσιάζοντας σημαντικό τμήμα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Αποτιμώντας την πραγματικότητα της χερσονήσου της Πρέβεζας προσδιορίστηκε μια κατάλληλη θέση για ενδεχόμενη μελλοντική εγκατάσταση ενός συστήματος SAT, καθώς επίσης έλαβε χώρα η προδιαστασιολόγηση του συγκεκριμένου έργου.

Ο όρος «λύματα» αναφέρεται στα υγρά απόβλητα των κατοικιών (οικιακά λύματα), αλλά και των συνηθισμένων δραστηριοτήτων των οικισμών (αστικά λύματα). Τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται από τα λύματα ενός οικισμού και ποσότητες υγρών αποβλήτων βιομηχανιών. Στην εργασία, χρησιμοποιείται ο όρος «υγρά απόβλητα» για οποιαδήποτε από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. «Επεξεργασία υγρών αποβλήτων» ονομάζεται η διαδικασία που διαχωρίζει, εξουδετερώνει ή τροποποιεί κατάλληλα τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα υγρά απόβλητα (αιωρούμενα στερεά (SS), οργανική ύλη, τροφικές αλυσίδες μικροβίων, βαρέα μέταλλα, τοξικές ουσίες) παράγοντας εκροή, η οποία να μπορεί να διατεθεί στο περιβάλλον χωρίς να προκαλεί περιβαλλοντική υποβάθμιση ή να επαναχρησιμοποιηθεί.

Στο **Κεφάλαιο I** της εργασίας, παρουσιάζεται συνοπτικά η σύγχρονη πραγματικότητα του καθεστώτος των επιφανειακών και των υπόγειων νερών, επισημαίνεται η αξία του νερού για τον άνθρωπο και το περιβάλλον και επιδιώκεται μια γενική προσέγγιση όσον αφορά στα αίτια από τα οποία απορρέουν τα καίρια προβλήματα που σχετίζονται με το νερό σήμερα.

Στο **Κεφάλαιο II**, τονίζεται η αναγκαιότητα ύπαρξης της διαδικασίας καθαρισμού των υγρών αποβλήτων πριν την τελική διάθεσή τους σε ορισμένο φυσικό αποδέκτη και εκτίθενται τα τρία στάδια επεξεργασίας τους.

Στο **Κεφάλαιο III**, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των πλέον διαδεδομένων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ανά τον κόσμο. Παρατίθενται εν συντομία τα κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου συστήματος ανά περίπτωση, περιγράφονται λεπτομερώς οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε κάθε σύστημα και με τις οποίες επιτυγχάνεται ο καθαρισμός των αποβλήτων και δίδονται οι βασικότερες παράμετροι της κάθε μεθόδου επεξεργασίας.

Το **Κεφάλαιο IV** αποτελεί μια εκτενή ανασκόπηση των νομοθετημάτων (λ.χ. της Οδηγίας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια, της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (EPA), του Οργανισμού Τροφίμων και Αγροτικών Εφαρμογών των Ηνωμένων Εθνών (FAO), της Ελληνικής Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) 145116/2011-Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης (ΦΕΚ) 354-8 Μαρτίου 2011) τα οποία έχουν καταρτιστεί διεθνώς και σχετίζονται με τη χρήση της ανακτημένης εκροής των ΕΕΛ σε διάφορες υδατικές χρήσεις.

Το **Κεφάλαιο V** παρέχει σημαντικό τμήμα της βιβλιογραφίας αναφορικά με το επίπεδο της τρέχουσας γνώσης για τις εναλλακτικές μεθόδους Τ.Ε. και περιγράφει σημαντικές εφαρμογές επανατροφοδότησης με χρήση είτε καθαρού νερού είτε νερού υποβαθμισμένης ποιότητας, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα (λ.χ. περίπτωση της Θέρμης, Θεσσαλονίκης), την Καλιφόρνια (λ.χ. Water Factory 21), την Αριζόνα (λ.χ. Phoenix), το Τέξας (λ.χ. El Paso), τη Νέα Υόρκη (λ.χ. Long Island), τη Φλόριδα (λ.χ. δίκτυο αποστραγγιστικών γεωτρήσεων στο Ορλάντο) και το Ισραήλ (λ.χ. Τελ Αβίβ).

Το **Κεφάλαιο VI** μελετά τη δυνατότητα εφαρμογής συστήματος επιφανειακής διήθησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη χερσόνησο της Πρέβεζας ως τεχνικής για τον Τ.Ε. των υπόγειων νερών της περιοχής και τη δημιουργία υδραυλικού φραγμού ανάσχεσης του μετώπου της υφαλμύρισης του φρεάτιου (ή ελεύθερου) υδροφόρου συστήματος. Τα ανακτημένα υγρά απόβλητα προτείνεται να προέρχονται από το βιολογικό καθαρισμό της Πρέβεζας, ο οποίος λειτουργεί από το έτος 2001 στη ΒΙΠΕ και εντοπίζεται πλησίον της περιοχής-ενδιαφέροντος.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το **Κεφάλαιο VII**, όπου και διατυπώνονται ορισμένες διαχειριστικές προτάσεις σε σχέση με την ενδεχόμενη μελλοντική υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος Τ.Ε. στη χερσόνησο της Πρέβεζας.

## Summary

In the context of integrated water resources management, the present paper evaluates the possibility of utilizing the effluent of treatment plants as artificial recharge water in order to supply groundwater aquifer systems. In particular and by presenting important part of the international literature, the effectiveness of soil-aquifer treatment system (SAT system) to address the phenomenon of seawater intrusion in groundwater systems is examined. By assessing the reality of the peninsula of Preveza, a suitable location for a possible future installation of a SAT system was identified and preliminary design of this project took place.

"Waste" refers to the residential wastewater (domestic sewage), but also the wastewater of settlements (urban waste). Municipal wastewater consists of sewage and industrial wastewater. In this paper, the term "wastewater" is used to describe any of the categories mentioned. "Wastewater treatment" is the process of separating, eliminating or appropriately modifying the hazardous substances, that the mixture of water-wastewater contains (suspended solids (SS), organic matter, microbial food chains, heavy metals, toxic substances), so as to produce effluent, which can be disposed in the environment without causing environmental degradation or be reused.

**Chapter I** summarizes the contemporary reality of the status of surface water and groundwater, highlights the value of water for humans and for the environment and attempts a general approach to the causes of the key problems associated with the water nowadays.

**Chapter II** punctuates the necessity of wastewater treatment before its final disposal in certain natural recipient and exposes the three stages of their processing.

**Chapter III** analyzes the characteristics of the most widely used wastewater treatment systems worldwide. The criteria used in the selection of the appropriate treatment plant for each case are briefly quoted, the process taking place in each system is described in detail and the main parameters of each purification process are mentioned.

**Chapter IV** provides a comprehensive review of legislation, which has been established internationally and is associated with the use of the recovered effluent of treatment plants in various aqueous uses (e.g. Directive of the World Health Organization (WHO), Rules of the State of California, of the Environmental Protection Agency of the United States of America (EPA) and of the Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), the Greek Joint Ministerial Decision 145116/201).

**Chapter V** exposes a significant portion of the literature on the level of current knowledge on alternative methods of artificial recharge and describes important applications using either pure water or water of degraded quality, which have taken place in Greece (e.g. the case of Thermi, Thessaloniki), in California (e.g. the Water Factory 21), in Arizona (e.g. Phoenix), in Texas (e.g. El Paso), in New York (e.g. Long Island), in Florida (e.g. network of drainage boreholes in Orlando) and in Israel (e.g. Tel Aviv).

**Chapter VI** examines the applicability of surface infiltration of treated wastewater in the peninsula of Preveza as a technique of artificial recharge of groundwater and so as to create a hydraulic barrier to confine salinization of the

aquifer system. Recovered waste is proposed to be derived from the treatment plant of Preveza, which operates since 2001 and is located in the industrial area near the region of interest.

**Chapter VII** comprises the basic conclusions of the thesis and some management proposals in relation to a possible future development of a SAT system in the peninsula of Preveza.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι: Το νερό στη σύγχρονη εποχή

### Εισαγωγή

Σύμφωνα με τη Σύνοδο Πρυτάνεων και Προέδρων (1996) στους υδατικούς πόρους περιλαμβάνονται:

- Τα επιφανειακά και υπόγεια νερά χωρίς να υφίσταται διάκριση στην ποιότητα, την προέλευση ή τη χρήση τους.
- Τα νερά φυσικών χερσαίων ή υποθαλάσσιων πηγών.
- Τα νερά θερμομεταλλικών και ιαματικών πηγών.
- Τα αεριούχα νερά.
- Οι επεξεργασμένες εκροές μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και περιθωριακά νερά για τα οποία υπάρχει δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.

Οι υδατικοί πόροι χαρακτηρίζονται ως ένα δυναμικό υδατικής προσφοράς από το περιβάλλον, διότι οι ανάγκες σε νερό των διάφορων δραστηριοτήτων του ανθρώπου είναι δυνατό να ικανοποιηθούν από τη ροή και τα αποθέματα που υφίστανται μέσα σε αυτό. Τα χαρακτηριστικά των υδατικών πόρων τα οποία επηρεάζουν τις υδατικές απαιτήσεις είναι η θέση στο χώρο των υδατικών αποθεμάτων, η ποσότητά τους, η χωροχρονική μεταβολή τους και η ποιότητά τους, προσδιοριζόμενη από τις φυσικοχημικές ιδιότητες, μεταβαλλόμενη με τη ροή και εξαρτώμενη από τις προδιαγραφές που απαιτείται να ικανοποιούνται για την κάθε φορά χρήση (Στουρνάρας κ.α., 2011).

Το νερό, όμως, δεν αποτελεί αποκλειστικά ένα βασικό φυσικό πόρο για την ανθρώπινη ζωή και τη συντήρηση της αγροτικής παραγωγής ή της βιομηχανικής δραστηριότητας, αλλά διαδραματίζει διαχρονικά σπουδαίο ρόλο, μέσω της κινητικής και δυναμικής του ενέργειας, και στη διαμόρφωση της μορφολογίας του εδάφους. Η γεωδυναμική δραστηριότητα σε συνδυασμό με κλιματικές παραμέτρους (και κυρίως το νερό) έχουν σχηματίσει τη γεωμορφολογία κάθε περιοχής (Στουρνάρας κ.α., 2011).

Σε σχέση με τη θέση τους στο χώρο, οι υδατικοί πόροι διακρίνονται στους επιφανειακούς και τους υπόγειους. Σε σχέση με το χαρακτηρισμό τους ως ροή ή απόθεμα, καθίστανται ανανεώσιμοι ή μη. Σε σχέση με τη δυνατότητα αξιοποίησής τους χαρακτηρίζονται ως δυναμικοί ή ερευνήσιμοι. Σε σχέση με την τεχνολογία απόληψής τους, κατηγοριοποιούνται σε συμβατικούς και μη. Οι τελευταίοι περιλαμβάνουν τις τεχνικές αφαλάτωσης, την τεχνητή βροχή κ.α. Τέλος, αναφορικά με την επάρκειά τους και το συνυπολογισμό φυσικοχημικών παραμέτρων και τη χρήση τους, ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες (Στουρνάρας κ.α., 2011):

■ **Ανανεώσιμοι επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι:** Υπό όρους εισερχόμενης ροής, η επιφανειακή απορροή και κατείσδυση τροφοδοτούν τους υδροφόρους ορίζοντες. Υπό όρους απωλειών, λαμβάνουν χώρα επιφανειακή και υπόγεια απορροή.

■ **Ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι (υπόγεια νερά):** Το φαινόμενο κατά το οποίο λαμβάνουν χώρα απολήψεις από αποθέματα νερού δε συσχετίζεται με τη φυσική ανανέωση του αποθέματος από τη φυσική συνολική ροή. Με άλλα λόγια, σε αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα, αλλά και σε φρεάτια υδροφόρα συστήματα ο



υδατικός όγκος που λαμβάνεται από το απόθεμα του οποίου αποτελεί ποσοστό θεωρείται μη ανανεώσιμος πόρος, ανεξάρτητα της πιθανότητας το απόθεμα αυτό να ανανεώνεται σταθερά από την εισερχόμενη φυσική ροή.

Σύμφωνα με την Υπηρεσία του Υπουργείου Βιομηχανίας της Γαλλίας (BRGM, 1983), εκμεταλλεύσιμοι υδατικοί πόροι θεωρούνται οι ποσότητες νερού που υπόκεινται σε καθεστώς διαχείρισης, εξαρτώνται από τη φυσική προσφορά του περιβάλλοντος και παραχωρούνται προς κάλυψη διάφορων υδατικών απαιτήσεων. Οι μετακινήσιμοι υδατικοί πόροι είναι εκείνες οι ποσότητες νερού που διατίθενται στη κατανάλωση.

Ο άνθρωπος επιδρά στο υδατικό ισοζύγιο, δηλαδή τους υδατικούς πόρους που βρίσκονται σε ορισμένη χρήση για ορισμένη χρονική διάρκεια, με τους τρόπους που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

**Πίνακας 1.1:** Η ανθρωπογενής επίδραση στους υδατικούς πόρους (Στουρνάρας κ.α., 2011)

Επίδραση	Επηρεαζόμενος υδατικός παράγοντας	
	Εισερχόμενη ροή	Απορροή
<b>Αύξηση</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Εισαγωγή νερού</li> <li>✚ Σύλληψη επιφανειακών ή υπόγειων νερών από συνορεύουσα περιοχή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Ελάττωση εξατμισοδιαπνοής</li> <li>✚ Εξαγωγή νερού</li> </ul>
<b>Ελάττωση</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Ενίσχυση εξατμισοδιαπνοής</li> <li>✚ Μείωση ενεργών κατακρημνισμάτων</li> </ul>	Κατανάλωση νερού

## 1.1. Υδρολογικός κύκλος και κλιματική αλλαγή

Η συνεχής ανακύκλωση των χημικών ουσιών, στο πλαίσιο ενός οικοσυστήματος και με εναλλαγές οργανικής και ανόργανης φύσης, εξασφαλίζει τη συντήρηση, αύξηση και διαίωνιση των οργανισμών. Η ηλιακή ενέργεια, που τροφοδοτεί το οικοσύστημα, αξιοποιείται αρχικά από τους παραγωγικούς οργανισμούς, στη συνέχεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας και τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα, δηλαδή μη επαναχρησιμοποιήσιμη μορφή (Χατζημπίρος, 2007).

Η ροή των χημικών ουσιών δεν περιορίζεται μόνο στο πλαίσιο ενός οικοσυστήματος, αλλά διαμορφώνει ένα δίκτυο οικοσυστημάτων το οποίο συνθέτει τη Βιόσφαιρα μέσα στην οποία συντελούνται οι βιογεωχημικοί κύκλοι των στοιχείων (Χατζημπίρος, 2007).

Ο υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο του βιογεωχημικού κύκλου του ανόργανου ύδατος το οποίο περιγράφει τη ροή του νερού μεταξύ της ατμόσφαιρας, της λιθόσφαιρας και της υδρόσφαιρας, δηλαδή την ανακύκλωση του νερού μέσα στη Βιόσφαιρα και την εναλλαγή του σε τρεις φάσεις (υγρή, στερεά και αέρια). Το νερό είναι το στοιχείο που βρίσκεται στο μεγαλύτερο ποσοστό στους ζωντανούς οργανισμούς (63% στο ανθρώπινο σώμα και 98% σε ορισμένους υδρόβιους οργανισμούς) και η κατανομή του παρουσιάζεται άνιση ανά την υφήλιο (Χατζημπίρος, 2007). Από τα διαθέσιμα 1600 εκατομμύρια km<sup>2</sup> νερού

που υφίστανται στην υφήλιο (Χολέβα, 2007), έχει τεκμηριωθεί ότι μόλις 8 εκατομμύρια km<sup>2</sup> βρίσκονται στη διαθεσιμότητα του ανθρώπου (Μαλλιάρους, 2000).

Η αρχή των φαινομένων που απαρτίζουν τον υδρολογικό κύκλο εντοπίζεται στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλάζι, δροσιά, πάχνη), τα οποία φτάνουν στη γήινη επιφάνεια, όταν οι υδρατμοί που βρίσκονται στα σύννεφα υγροποιούνται. Το νερό, με την άφιξή του στην επιφάνεια του εδάφους, εξατμίζεται, απορρέει επιφανειακά διαμορφώνοντας τα υδρογραφικά δίκτυα ή κατεισδύει στο υπέδαφος (Χατζημπίρος, 2007).

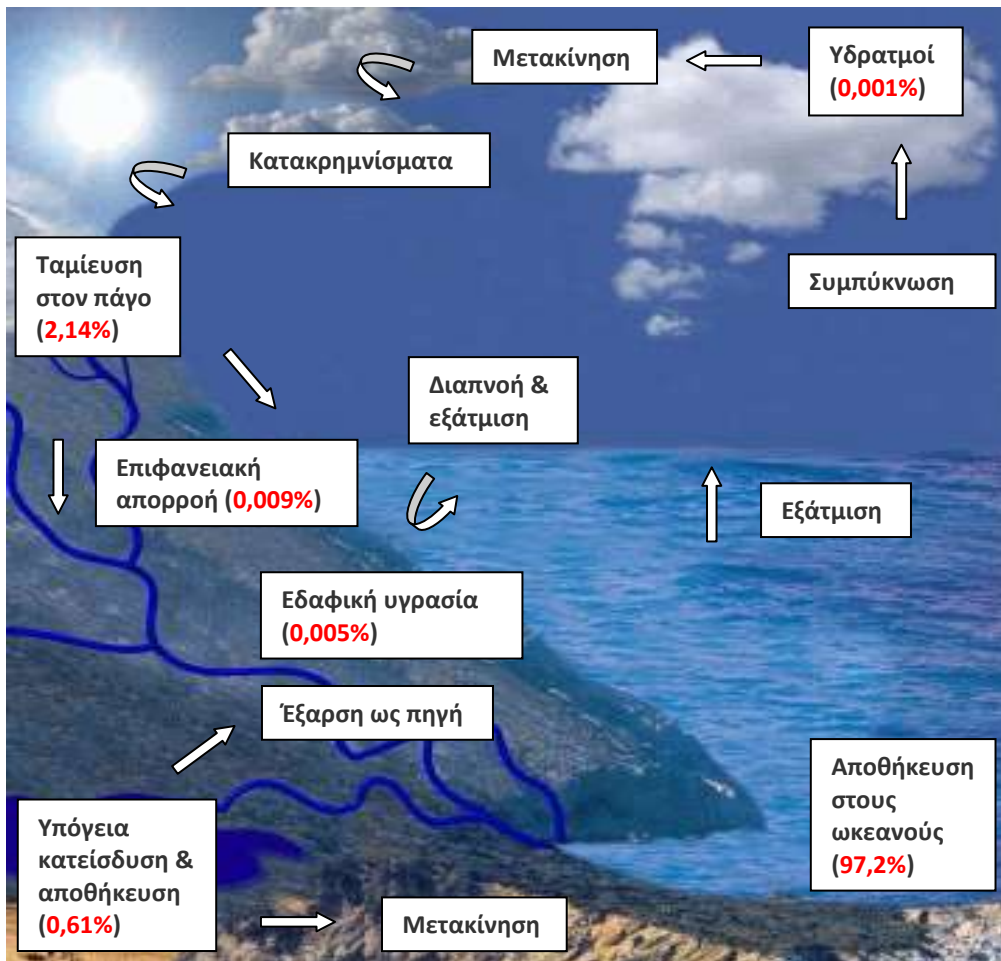
Η επιφανειακή ροή του νερού αποτελεί βασική συνιστώσα του φαινομένου της εδαφικής διάβρωσης και ενισχύεται συνήθως από την απουσία βλάστησης. Από την άλλη πλευρά, καθώς το νερό διηθείται στο έδαφος, στην πορεία του προς τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα, συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών του εδάφους και υπεδάφους με τις λειτουργίες της κατακράτησης από το ριζικό σύστημα των φυτών και την οργανική ύλη, της προσρόφησης και του τριχοειδούς. Μέσω των εδαφικών ρωγμών και κλίσεων δύναται να εξέλθει πάλι στην επιφάνεια ως νερό πηγών και έπειτα να συνεχίσει τη διαδρομή του προς τους ωκεανούς ως επιφανειακή απορροή και να υποστεί μερική εξάτμιση ή να οδηγηθεί απευθείας στη θάλασσα. Τέλος, η εξάτμισή του από την επιφάνεια των ωκεανών είναι η σημαντικότερη πηγή επανόδου του νερού στην ατμόσφαιρα (Χατζημπίρος, 2007).

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτό ότι κάθε μεταβολή στο καθεστώς των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων επιφέρει διαταραχές στον υδρολογικό κύκλο, οι οποίες συνεπάγονται αλλαγές στο ισοζύγιο των επιφανειακών και υπόγειων νερών (Στουρνάρας κ.α., 2011). Τα υποθετικά κλιματικά σενάρια εκτιμούν ότι θα υπάρξει θερμοκρασιακή άνοδος 1 έως 4°C, η οποία θα επιφέρει ποσοστιαία μεταβολή (είτε αύξηση είτε μείωση) της βροχόπτωσης 10 έως 20% (Frederick και Major, 1997). Η Μεσογειακή λεκάνη, εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης και της κυκλοφορίας των αέριων μαζών, φαίνεται ότι επηρεάζεται αισθητά από τις κλιματικές αλλαγές παρουσιάζοντας (IPCC, 1996a και 1996b):

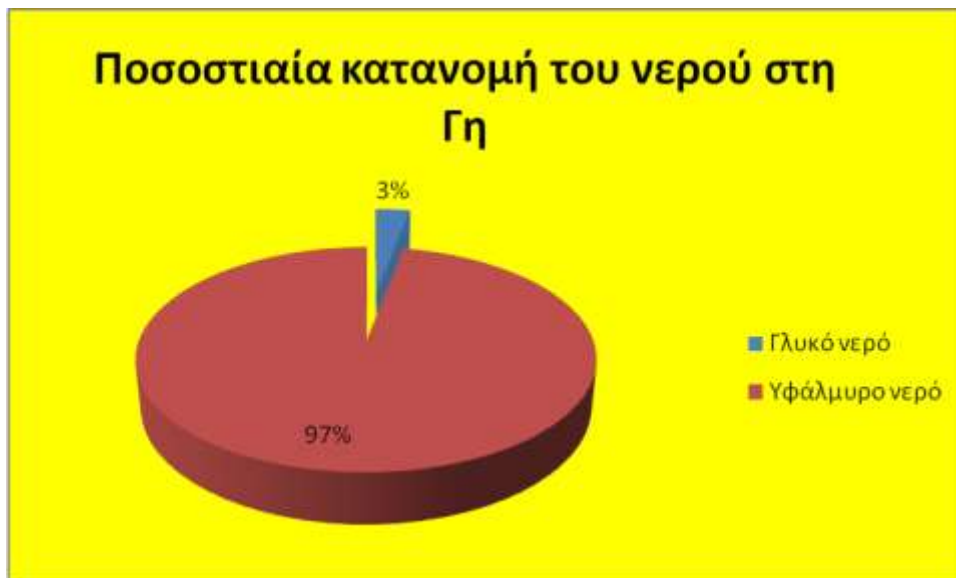
- **Θερμοκρασιακή άνοδο.**
- **Αύξηση της εξάτμισης και της διαπνοής.**
- **Αυξημένη υδατική κατανάλωση για αρδευτικούς σκοπούς και άλλες χρήσεις (λ.χ. τουρισμού), η οποία απορρέει από την αύξηση της θερμοκρασίας και της εξατμισοδιαπνοής.**
- **Αυξημένη συγκέντρωση ρυπαντικού φορτίου, διότι η ίδια ποσότητα ρύπου εμπεριέχεται πλέον σε μικρότερο όγκο νερού (εφόσον αυξάνεται η εξάτμιση).**

Το Σχήμα 1.1 απεικονίζει τη ροή και ταμίευση του νερού στο πλαίσιο του υδρολογικού κύκλου.

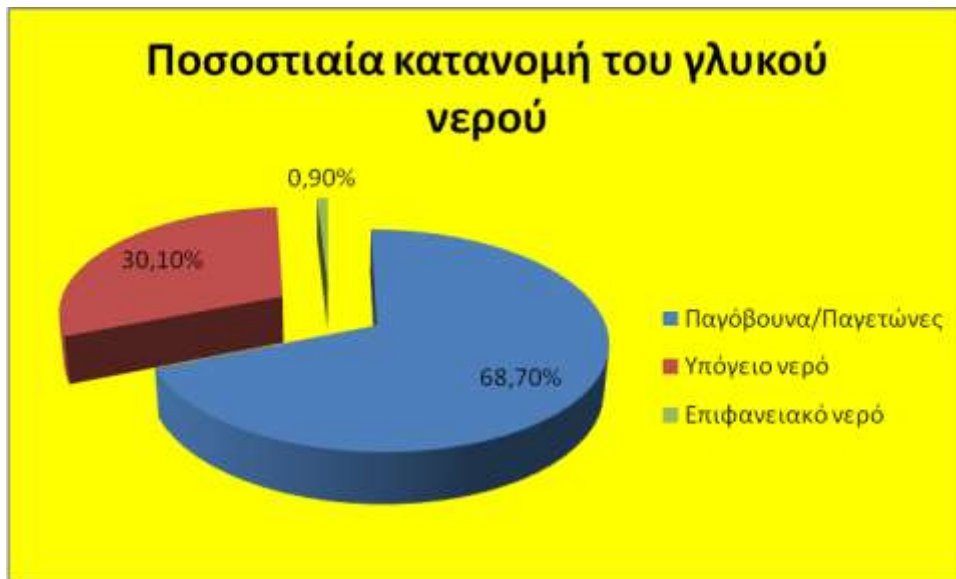
Το Σχήμα 1.2 παρουσιάζει την παγκόσμια κατανομή του νερού.



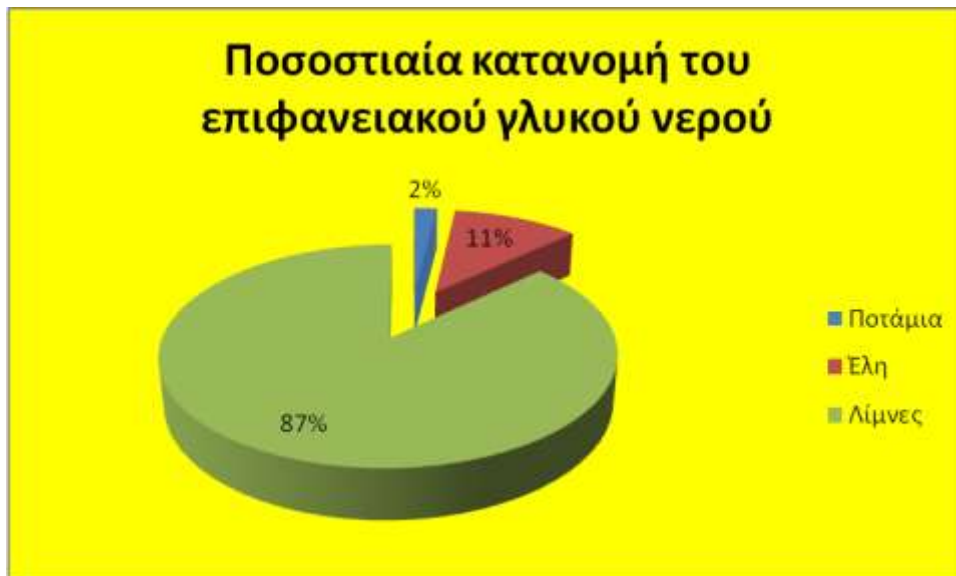
Σχήμα 1.1: Ο υδρολογικός κύκλος (ΕΥΔΑΠ και Βουδούρης, 2009)



α.



β.

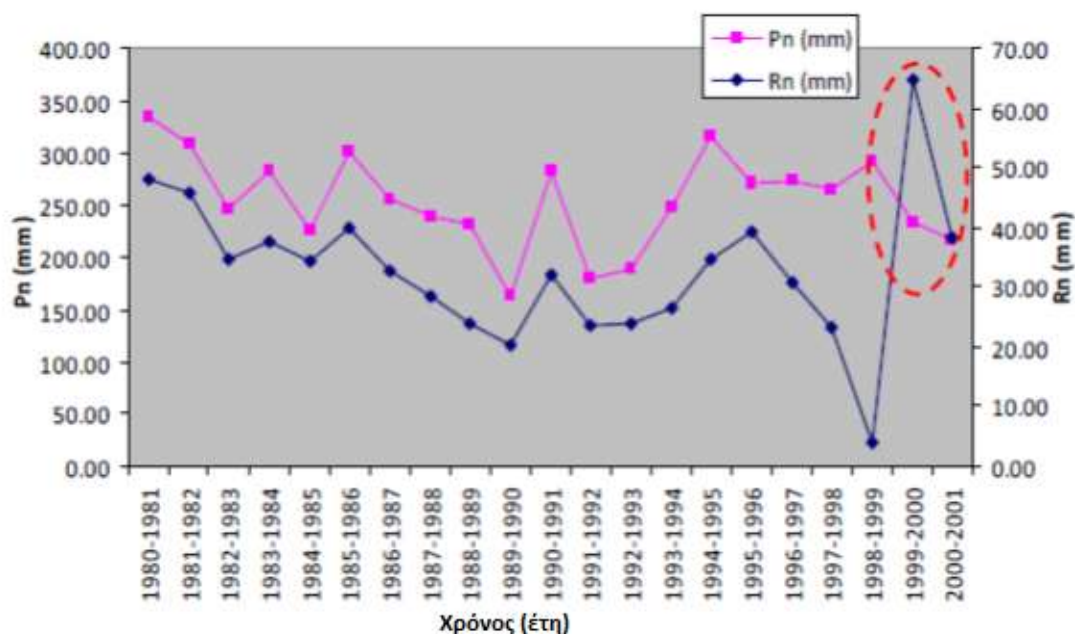


γ.

**Σχήμα 1.2:** Παγκόσμια κατανομή του νερού (Αβραμίδου, 2007)

Στην Ελλάδα, υφίσταται διαφορετικό ποσοστό βροχοπτώσεων στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της χώρας. Η οροσειρά της Πίνδου εμποδίζει τις βροχοπτώσεις να κινηθούν προς τα ανατολικά, οπότε δημιουργείται ανισοκατανομή με τις περισσότερες βροχοπτώσεις να λαμβάνουν χώρα στα δυτικά (Στουρνάρας κ.α., 2011). Η κατανομή της απορροής είναι ανάλογη με την κατανομή της βροχόπτωσης, οπότε εμφανίζεται υδατικό έλλειμμα (Σχήμα 1.3).

Σύμφωνα με το Σχήμα 1.3, οι τιμές της απορροής ( $R_n$ ) ακολουθούν την ίδια διακύμανση με την αντίστοιχη διακύμανση των τιμών βροχόπτωσης ( $P_n$ ). Ανατροπή της αναλογίας αυτής επισημαίνεται μόνο κατά το διάστημα μεταξύ των ετών 1998-1999, όπου η αύξηση των τιμών της βροχόπτωσης ακολουθείται από μείωση των τιμών της επιφανειακής απορροής. Αυτό το γεγονός πιθανόν να οφείλεται σε αύξηση της κατανάλωσης νερού για αρδευτικούς σκοπούς.



**Σχήμα 1.3:** Οι κατανομές βροχόπτωσης και απορροής στην Ελλάδα το διάστημα 1980-2001 (Στουρνάρας κ.α., 2011)

Ο Πίνακας 1.2 παρουσιάζει τις μέσες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις ανά έτος και το υφιστάμενο υδατικό δυναμικό για κάθε υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, ενώ ο Πίνακας 1.3 την ετήσια κατανομή του χρησιμοποιούμενου νερού ανά παραγωγικό τομέα σε κάθε υδατικό διαμέρισμα.

**Πίνακας 1.2:** Μέσες ετήσιες κατακρημνίσεις και υδατικό δυναμικό ανά υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (Παρανουχιανάκης κ.α., 2009)

Υδατικό διαμέρισμα	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Κατακρημνίσεις (Mm <sup>3</sup> /έτος)	Υδατικό δυναμικό (Mm <sup>3</sup> /έτος)	
			Επιφανειακό	Υπόγειο
Δ. Πελοπόννησος	7301	8031	3050	700
Β. Πελοπόννησος	7310	6404	2650	900
Αν. Πελοπόννησος	8477	5811	1000	950
Δ. Κεντρ. Ελλάδα	10199	13592	9750	850
Ήπειρος	10026	17046	8500	250
Αττική	3207	1642	200	200
Κεντρ. Ελλάδα-Εύβοια	12341	9516	1900	1050
Θεσσαλία	13377	10426	3250	1350
Δ. Μακεδονία	13440	10599	4100	850
Κεντρ. Μακεδονία	10389	6596	6900	700
Αν. Μακεδονία	7280	4422	4200	550
Θράκη	11177	8574	10900	400
Κρήτη	8335	7500	1300	1300

Νησιά Αιγαίου	9103	5216	1000	250
<b>Σύνολο</b>	<b>131962</b>	<b>115375</b>	<b>58700</b>	<b>10300</b>

**Πίνακας 1.3:** Μέσες ετήσιες χρησιμοποιούμενες ποσότητες (Mm<sup>3</sup>/έτος) του νερού ανά παραγωγικό τομέα σε κάθε υδατικό διαμέρισμα (Παρανυχιανάκης κ.α., 2009)

Υδατικό διαμέρισμα	Γεωργία	Ύδρευση	Βιομηχανία	Άλλη χρήση	Σύνολο
Δ. Πελοπόννησος	206,0	23,0	3,0	20,0	252,0
Β. Πελοπόννησος	408,1	41,7	3,0	-	452,8
Αν. Πελοπόννησος	329,6	22,1	-	-	351,7
Δ. Κεντρ. Ελλάδα	374,5	22,4	-	-	396,9
Ήπειρος	137,3	33,9	1,0	-	172,2
Αττική	101,5	400,0	17,5	-	519,0
Κεντρ. Ελλάδα-Εύβοια	783,6	165,9	12,6	-	962,1
Θεσσαλία	1,562,0	54,0	-	-	1.616,0
Δ. Μακεδονία	617,3	43,7	30,0	80,0	771,0
Κεντρ. Μακεδονία	536,6	99,8	80,0	-	716,4
Αν. Μακεδονία	632,8	32,0	-	-	664,8
Θράκη	832,3	27,9	11,0	-	871,2
Κρήτη	330,2	42,3	-	-	372,5
Νησιά Αιγαίου	87,0	37,2	-	-	124,2
<b>Σύνολο</b>	<b>6.938,8</b>	<b>1.045,9</b>	<b>158,1</b>	<b>100,0</b>	<b>8.242,8</b>

Οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στα υπόγεια υδατικά καθεστώτα συνοψίζονται στα εξής (ΕΜΕΚΑ, 2011):

- ✦ **Δυσχερής τροφοδοσία, διότι μειώνονται οι βροχοπτώσεις και αυξάνεται η εξατμισοδιαπνοή.**

- ✦ **Ερημοποίηση, εξαιτίας του υδατικού ελλείμματος και των εδαφικών μεταβολών (συμπυκνώσεις, στεγανοποιήσεις κ.λ.π.).**

- ✦ **Υφαλμύριση των παράκτιων και υποθαλάσσιων υδροφόρων συστημάτων, λόγω του μειωμένου υδατικού δυναμικού της ενδοχώρας από την ελαττωμένη τροφοδοσία και τη μη ορθολογική άντληση ύδατος, κυρίως για ικανοποίηση των αναγκών άρδευσης.**

- ✦ **Αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων στα παράκτια συστήματα και τη θάλασσα.**

- ✦ **Ρύπανση και αποξήρανση των παράκτιων υγρότοπων.**

- ✦ **Υποβάθμιση των περιοχών που γειτνιάζουν με δέλτα ποταμών με πιο εντατικό ρυθμό: Η αποδόμηση των δελταϊκών περιοχών ήδη λαμβάνει χώρα λόγω**

καταρχήν των μεγάλων εγκάρσιων φραγμάτων που έχουν κατασκευαστεί στα ανάντη των δέλτα, οδηγώντας σε μείωση της απορροής και στερεοπαροχής και αφετέρου των παράλληλων αναχωμάτων που κατασκευάζονται στα πεδινά τμήματα των δέλτα και επιτρέπουν τη δίοδο φερτών υλών από ένα μόνο στόμιο.

Ο Πίνακας 1.4 παρουσιάζει τη διαθεσιμότητα νερού ( $m^3/έτος/κάτοικος$ ) το 2050 σύμφωνα με 3 εναλλακτικά κλιματικά σενάρια και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Τα σενάρια βασίζονται σε γενικά κλιματικά μοντέλα κυκλοφορίας των GFDL, UKMO και MPL. Ο πλέον εύχρηστος δείκτης του υδατικού ελλείμματος είναι γνωστός ως «δείκτης Falkenmark». Η εκτίμησή του βασίζεται στο σκεπτικό ότι απαιτείται μια ελάχιστη ποσότητα νερού ανά άτομο με σκοπό να επιτευχθεί κατάλληλη ποιότητα ζωής στις μέτρια ανεπτυγμένες χώρες. Όταν η ετήσια ανανεώσιμη υδατοπρομήθεια δεν ξεπερνά τα  $500m^3$  ανά κάτοικο, η χώρα θεωρείται ότι βιώνει την απόλυτη λειψυδρία. Εκτός από το δείκτη Falkenmark χρησιμοποιούνται και άλλοι δείκτες εκτίμησης του υδατικού ελλείμματος, οι οποίοι εξετάζουν ποικίλλες παραμέτρους του προβλήματος και για το λόγο αυτό συμβάλλουν στη βαθύτερη μελέτη του. Ωστόσο, η αυξημένη πολυπλοκότητά τους, η έλλειψη δεδομένων για τον προσδιορισμό τους και ο περισσότερο διαισθητικός ορισμός τους αποτελούν παράγοντες που τους καθιστούν λιγότερο διαδεδομένους (Rijsberman, 2006).

**Πίνακας 1.4:** Η ετήσια κατά κεφαλήν διαθεσιμότητα νερού το 2050 σύμφωνα με 3 εναλλακτικά κλιματικά σενάρια (Frederick και Major, 1997)

Περιοχή	1990	2050	Εύρος πρόβλεψης για το 2050
Κίνα	2500	1630	1550-1780
Κύπρος	1280	820	620-850
Γαλλία	4110	3620	2510-2970
Αϊτή	1700	650	280-840
Ινδία	1930	1050	1060-1420
Ιαπωνία	3210	3060	2940-3470
Κένυα	640	170	210-250
Μαδαγασκάρη	3330	710	480-730
Μεξικό	4270	2100	1740-2010
Περού	1860	880	690-1020
Πολωνία	1470	1250	980-1860
Σαουδική Αραβία	310	80	30-140
Νότια Αφρική	1320	540	150-500
Ισπανία	3310	3090	1820-2200
Σρι Λάνκα	2500	1520	1440-4900
Ταϊλάνδη	3380	2220	590-3070
Togo	3400	900	550-880
Τουρκία	3070	1240	700-1910
Ουκρανία	4050	3480	2830-3990
Ηνωμένο	2650	2430	2190-2520

Βασίλειο			
Βιετνάμ	6880	2970	2680-3140

Οι πρωτογενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (μείωση κατακρημνισμάτων, θερμοκρασιακή άνοδος, αύξηση της εξάτμισης) σε συνδυασμό με τις απώλειες νερού από τα παλιά τμήματα των αστικών υδρευτικών δικτύων, της διαρκούς αύξησης της υδατικής κατανάλωσης στη γεωργία και τον τουρισμό, καθώς και της αύξησης του πληθυσμού, της συνεχούς βελτίωσης του επιπέδου ζωής (επέκταση εξοχικών κατοικιών, χωροθέτηση πάρκων, συνθηκών καθημερινότητας κ.α.) και της μετατροπής αγροτικών περιοχών σε τουριστικές είναι εφικτό να περιοριστούν, αλλά όχι να εξαλειφθούν, μέσω της προσαρμογής σε συνθήκες αλλαγής κλίματος (Στουρνάκας κ.α., 2011).

Η προσαρμογή οφείλει να ενισχυθεί με πληροφόρηση σχετικά με τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, αλλά και κανόνες και θεσμούς σε ένα πλαίσιο ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Οι υπουργικές αποφάσεις μπορούν να προβλέπουν την εφαρμογή διαχειριστικών μελετών, την εκτίμηση των επιπτώσεων σε κάθε λεκάνη απορροής, την ευαισθησία επιφανειακών και υπόγειων νερών, αλλά και μέτρα για την εξοικονόμηση νερού, όπως μεταπήδηση της αγροτικής παραγωγής σε αυξημένη κλιματική αντίσταση με φύτευση διαφορετικών καλλιεργειών ή αλλαγή του χρόνου φυτεύσεως και εκσυγχρονισμός των αρδευτικών συστημάτων για τον περιορισμό των υδατικών απωλειών, εκσυγχρονισμός των αστικών υδρευτικών συστημάτων, αξιοποίηση υδατικών αχρησιμοποίητων αποθεμάτων, επαναχρησιμοποίηση νερού και υγρών αποβλήτων ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία και Τ.Ε. υδροφόρων συστημάτων (Στουρνάρας κ.α., 2011).

## 1.2. Η οικονομική αξία των υδατικών πόρων

Η αντιμετώπιση του νερού ως οικονομικού πόρου διαμορφώνει τις προϋποθέσεις εκείνες ώστε να προκαθορίζονται μελλοντικές τιμές διάθεσης για το «γαλάζιο χρυσό» (Σουέρεφ, 2003).

Η αγορά του νερού προϋποθέτει την ύπαρξη, τουλάχιστον ενός ενδιαμέσου οικονομικού παράγοντα (παραγωγού, διανομέα) ανάμεσα στο περιβάλλον (υδατικό πόρο) και το χρήστη. Όταν επιδιώκεται η προστασία του περιβάλλοντος ή η αποκατάστασή του, υπάρχει άμεση επίπτωση και στο κόστος των φυσικών διαθεσίμων, όπως λ.χ. το νερό. Η αιτία για την οποία το κόστος του νερού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή είναι ότι η οικονομική αποτίμηση του νερού λαμβάνει υπόψη την άμεση (εσωτερικό κόστος) και την έμμεση (εξωτερικό κόστος) επίπτωση μιας οικονομικής δραστηριότητας στο επίπεδο διαχείρισης του νερού. Για παράδειγμα, όταν ο διαχειριστής του νερού λαμβάνει άμεσα νερό από μια υδροληψία, προκαλεί άμεση επίπτωση στο φυσικό περιβάλλον η οποία μεταφράζεται ως εσωτερικό κόστος εκμετάλλευσης ή παραγωγής και εξαρτάται από την υδατική προσφορά. Στην περίπτωση, που τα χαρακτηριστικά του νερού (λ.χ. η ποσότητα) δεν συνάδουν με την υδατική ανάγκη, στο εσωτερικό κόστος προστίθενται τα κόστη μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας, τα οποία εξαρτώνται από την υδατική απαίτηση. Από την άλλη πλευρά, το εξωτερικό κόστος



ορίζεται σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον ή τους διάφορους χρήστες του νερού και εκφράζει τις επιπτώσεις που προκαλούνται από τη μέθοδο υδροληψίας ή τον τρόπο χρήσης. Η συσχέτιση τιμής και κόστους του νερού ύδρευσης διαμορφώνεται από το συγκεκριμένο κάθε φορά υδατικό καθεστώς, την κατανάλωση και τον προσδιορισμό της τιμής κάνοντας χρήση των λόγων (Στουρνάρας κ.α., 2011):

■ **Ετήσια κατά κεφαλή δαπάνη νερού / ετήσιος χρησιμοποιούμενος κατά κεφαλή όγκος νερού.**

■ **Ετήσια κατά νοικοκυριό δαπάνη νερού / ετήσιος χρησιμοποιούμενος κατά νοικοκυριό όγκος νερού.**

Το νερό το οποίο προορίζεται για άλλες χρήσεις (γεωργία, βιομηχανία) πιθανόν να υπόκεινται σε διαχείριση υπό άλλες συνθήκες. Επίσης το εμφιαλωμένο νερό, μολονότι χρησιμοποιείται για σκοπούς ύδρευσης, δεν περιλαμβάνεται στην προσέγγιση που αναλύθηκε νωρίτερα (Στουρνάρας κ.α., 2011).

Η εκτίμηση της αξίας του νερού συνυπολογίζει την εμπορική και πραγματική αξία του αγαθού αυτού στο σύνολό τους. Η εκτίμηση της αξίας μπορεί να αποφέρει τον υπολογισμό της «αληθινής αξίας», η οποία σπάνια θεωρείται ως αξία που εκφράζεται από μια τιμή. Από την άλλη πλευρά, το πλήρες κόστος του νερού περιλαμβάνει όλα τα οικονομικά κόστη τα οποία συνδέονται με την απόσβεση των επενδύσεων για τις κατασκευές, τον εφοδιασμό με νερό, τη μεταφορά και συντήρηση των δικτύων και δε συμπεριλαμβάνει την αξία του νερού, ούτε προσεγγίζει άλλες αξίες, όπως την περιβαλλοντική, την πολιτιστική κτλ. (<http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>).

### 1.3. Εναλλακτικές χρήσεις του νερού

#### **1.3.1. Η χρήση του νερού στη γεωργία**

Η κύρια οικονομική αξία του νερού απορρέει από την αξιοποίησή του στον αγροτικό τομέα παραγωγής. Το νερό χρησιμοποιείται προς ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών και επιτρέπει την ανάπτυξη καλλιεργειών για οικιακή χρήση, τις εξαγωγές, την επεξεργασία και μεταποίηση αγροτικών προϊόντων. Με τον τρόπο αυτό ενδυναμώνει την εθνική οικονομία και προσφέρει πολλές ευκαιρίες απασχόλησης. Πιο συγκεκριμένα, η γεωργία, η κτηνοτροφία και οι υδατοκαλλιέργειες απορροφούν συνολικά το 30 έως 87% της ποσότητας νερού που καταναλώνεται για την καλλιέργεια προϊόντων οικιακής χρήσης, την προμήθεια της αγοράς, το εξαγωγικό εμπόριο και τη μεταποίηση (Δίκτυο Μεσόγειος SOS, 2009). Ωστόσο, στις Μεσογειακές χώρες, υφίσταται μια βασική στρέβλωση όσον αφορά στην αρδεύσιμη γεωργία, η οποία ναι μεν αξιοποιεί το μεγαλύτερο ποσοστό του αντλούμενου νερού, αποτελεί δε μόνο ένα μικρό ποσοστό του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ) (Πίνακας 1.5) (<http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>).

**Πίνακας 1.5:** Η χρήση του νερού στον αγροτικό παραγωγικό τομέα ανά τον κόσμο (<http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>)

Χώρα	Χρήση νερού στη γεωργία (%)	ΑΕΠ που παράγεται από τη γεωργία (%)	Εξαγωγές που σχετίζονται με τη γεωργία (%)	Ενεργός πληθυσμός που απασχολείται στη γεωργία (%)	Πληθυσμός σε αραιοκατοικημένες περιοχές (%)
Ισπανία	79	1,25	9,5	7,5	23
Κύπρος	88	5,4	21	10	46
Ισραήλ	72	5	-	3	9
Ιορδανία	74	6	12	-	29
Αίγυπτος	87	17	-	35	55
Τυνησία	86	16	-	26	43
Τουρκία	72	16	15	48	31
Μαρόκο	86	13	-	39	52

Η γεωγραφία της αρδευόμενης περιοχής καθορίζει σε σημαντικό ποσοστό την ποσότητα νερού που θα καταναλωθεί στη γεωργία. Στις νότιες Ευρωπαϊκές χώρες, η άρδευση αφορά σε καλλιέργειες ειδών τα οποία δεν απαιτούν πότισμα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (λ.χ. ελιές, συκιές, αμπέλια). Στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, το νερό χρησιμοποιείται για τη διάσωση καλλιεργειών σε περιόδους ξηρασίας (Καραβίτης, 2005). Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η άρδευση καλλιεργειών απορροφά το 34 έως 40% των χρησιμοποιούμενων υδατικών ποσοτήτων, στην Καλιφόρνια και την Αριζόνα το 80 έως 85%, ενώ στο Ισραήλ το 75%. Στην Ελλάδα, υφίσταται υπεράντληση του υπόγειου νερού για χρήση του στη γεωργία, ενώ κακή κατάσταση του αρδευτικού δικτύου, οι μη βιώσιμες αρδευτικές τεχνικές και η καλλιέργεια υδροβόρων ειδών (βαμβακιού και εσπεριδοειδών) οδηγούν σε απώλειες της τάξης του 50% του μεταφερόμενου νερού και δυσχεραίνουν σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό τη σπατάλη νερού. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στη Μεγάλη Βρετανία έχουν διανοιχτεί 16000 υδρογεωτρήσεις, ενώ στην Ελλάδα άνω των 210000. Επιπροσθέτως, ενώ στη Γερμανία αξιοποιούνται τα επιφανειακά νερά κατά ποσοστό 87% για την κάλυψη των αρδευτικών καταναλώσεων, στη χώρα μας οι υδατικές απαιτήσεις του αγροτικού τομέα παραγωγής καλύπτονται κατά ποσοστό που κυμαίνεται από 41 έως 71% από τα υπόγεια νερά. Σε γενικές γραμμές, η συμμετοχή επιφανειακών και υπόγειων νερών προς κάλυψη των αρδευτικών αναγκών κατανέμεται αντίστοιχα 52/48 (Σαμπατακάκης, 2010). Στο Θεσσαλικό κάμπο, η αντικατάσταση καλλιεργειών με χαμηλή απαίτηση νερού από άλλες βαμβακιού κατέληξε στην εξάντληση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων και σε εντονότερο κίνδυνο μελλοντικής ερημοποίησης περιοχών, καθώς ο ρυθμός άντλησης υπερέβαινε το ρυθμό φυσικής ανανέωσής τους. Συγκεκριμένα, το διάστημα 1974 έως 1994 καταναλώθηκε 1 εκατομμύριο m<sup>3</sup> νερού (Δίκτυο Μεσόγειος SOS, 2009). Σε άλλες περιοχές στον Ελλαδικό χώρο, η εισχώρηση υφάλμυρου νερού στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα (λόγω της πτώσης της στάθμης των τελευταίων) αποκλείει τη χρήση των αποθεμάτων για άρδευση. Σε διεθνές επίπεδο, ο μέσος όρος του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση είναι

70% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης και ξεπερνά κατά 1000 περίπου φορές την υδατική κατανάλωση άλλων χρήσεων (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας κ.α., 2004). Επιπλέον, ο αγροτικός τομέας ευθύνεται για την υποβάθμιση της ποιότητας επιφανειακών και υπόγειων νερών σε πλήθος περιπτώσεων. Στην περίπτωση κατά την οποία τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα δεν απορροφηθούν από τις καλλιέργειες, τα περίσσεια θρεπτικά άλατα (κυρίως νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )) και διάφορες χημικές ενώσεις απορρέουν σε επιφανειακούς και υπόγειους αποδέκτες, όπου προκαλούν ρύπανση και μόλυνση. Σε έκθεσή του (2003) ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (Δίκτυο Μεσόγειος SOS, 2009) προειδοποιεί ότι: «*ίσως χρειαστεί μεγάλο χρονικό διάστημα, έως ότου οι αλλαγές στις γεωργικές πρακτικές αρχίσουν να αντικατοπτρίζονται στην ποιότητα των υπόγειων νερών. Καθώς η ηλικία των υπόγειων νερών κυμαίνεται από δεκαετίες έως χιλιετίες (παρότι τα υπόγεια νερά χρησιμοποιούνται για πόση, έχουν μέσο όρο ηλικίας 40 ετών), οι τρέχουσες πρακτικές αφήνουν ουσιαστικά μια κληρονομιά ρύπανσης των υπόγειων νερών για τις επόμενες γενιές*».

Δεδομένων της πληθυσμιακής έκρηξης, της χαμηλής αγροτικής παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο, του χαμηλού ρυθμού με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι εξελίξεις στη γεωργία και του γεγονότος ότι το γλυκό νερό αποτελεί βασικό συστατικό στοιχείο για την παραγωγή τροφίμων διαφαίνεται στο εγγύς μέλλον η τάση να καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες νερού για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών (παροχή τροφίμων, ύδρευση και τομείς οικονομίας) (Qadir et al, 2007). Ο Πίνακας 1.6 παρουσιάζει εκτιμήσεις για την ποσότητα του νερού που απαιτείται στην παραγωγή διάφορων τροφίμων.

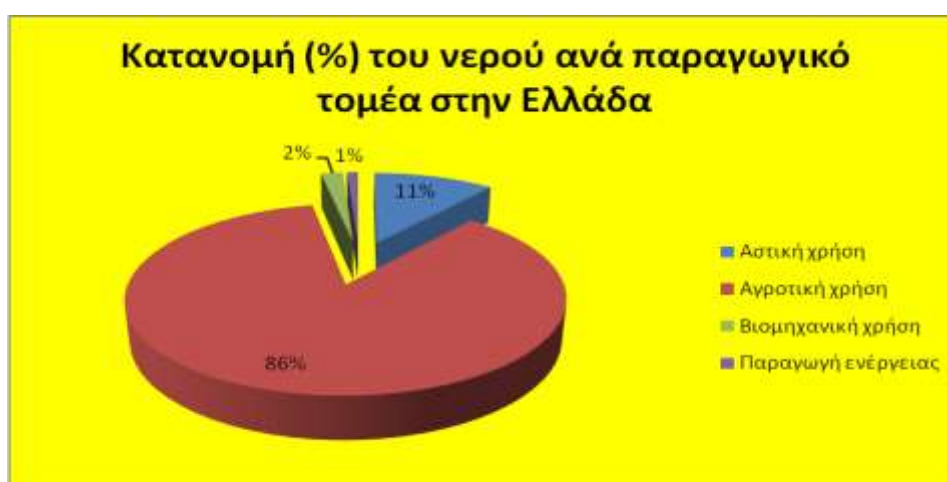
**Πίνακας 1.6:** Απαιτούμενη υδατική κατανάλωση για την παραγωγή αγροτικών και κτηνοτροφικών προϊόντων διατροφής (Qadir et al, 2007)

Είδος διατροφής	Υδατική απαίτηση ( $\text{m}^3/\text{Mg}$ )			
	Allan (1999)	Hoekstra και Hung (2003)	Zimmer και Renault (2003)	Chapagain και Hoekstra (2003)
Σιτάρι	1000	1150	1160	1109
Ρύζι	1500	2656	1400	-
Αραβόσιτος	-	450	-	463
Σόγια	-	2300	2750	1716
Φοινικέλαιο	2000	-	-	-
Βοδινό κρέας	20000	-	13500	-
Πρόβειο κρέας	10000	-	-	-
Κρέας πουλερικών	6000	-	4100	-
Αυγά	-	-	2700	-
Γάλα	-	-	790	-

Μια πρόταση αντιμετώπισης του υδατικού ελλείμματος είναι η εφαρμογή τεχνικών και πιλοτικών προγραμμάτων, ώστε να αντλείται νερό με τέτοιο ρυθμό που να προηγείται η ανανέωση των αποθεμάτων με φυσικό τρόπο, αλλά και να λαμβάνεται υπόψη η επάρκεια των επιφανειακών και υπόγειων νερών για κάλυψη και των αναγκών των οικοσυστημάτων που τροφοδοτούν.

Σε ένα πλαίσιο πολιτικής περιβάλλοντος, κάποιες χώρες (Αυστρία, Φιλανδία) έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν πολιτικές εξοικονόμησης νερού, όπως η προώθηση εκσυγχρονισμένων αρδευτικών μεθόδων για τον περιορισμό των απωλειών σε αρδευτικά δίκτυα. Ρυθμιστικό ρόλο στην αντιμετώπιση της σπατάλης του νερού κατέχει η εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση των αγροτών. Οι καλλιεργητές οφείλουν να γνωρίζουν τα όρια της αρδευτικής περιόδου και να συνυπολογίζουν τη βροχόπτωση και τον τύπο της καλλιέργειας και του εδάφους στην εκτίμηση της ποσότητας νερού που θα καταναλώσουν. Η αναθεωρημένη Κοινή Αγροτική Πολιτική στοχεύει στην προστασία των φυσικών διαθεσίμων (και κατ' επέκταση των υδατικών πόρων) μέσω των γεωργοπεριβαλλοντικών στρατηγικών. Δυστυχώς στην Ελλάδα, μόνο στο 5% των αγροτικών εκτάσεων εφαρμόζονται γεωργοπεριβαλλοντικά μέτρα.

Το Σχήμα 1.4 παρουσιάζει την τομεακή κατανομή του νερού στην Ελλάδα.



**Σχήμα 1.4:** Η κατανομή του χρησιμοποιούμενου νερού ανά παραγωγικό τομέα στην Ελλάδα (Lazarou, 2006)

### **1.3.2. Η χρήση του νερού στη βιομηχανία**

Η ποσότητα του νερού που ικανοποιεί ετησίως τις ανάγκες της βιομηχανίας αγγίζει τα  $34194\text{Hm}^3$ , ποσότητα που αντιπροσωπεύει το 18% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης (Καραβίτης, 2005). Οι βιομηχανικοί κλάδοι που απορροφούν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού είναι οι χημικές και πετρελαϊκές εγκαταστάσεις, η βιομηχανία χάλυβα, η μεταλλουργία, η βιομηχανία κατασκευής μηχανημάτων και χαρτιού (Καραβίτης, 2005). Στην Ελλάδα, η ύπαρξη ολιγάριθμων εγκαταστάσεων βαριάς βιομηχανίας περιόρισε την απαίτηση σε νερό σε ποσοστό 3% της συνολικής υδατικής ζήτησης (Δίκτυο Μεσόγειος SOS, 2009). Ωστόσο, υφίστανται ακόμη σημαντικά περιθώρια προς την κατεύθυνση της περιβαλλοντικής προστασίας και της μείωσης του νερού που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία. Για παράδειγμα, μια βιομηχανία παραγωγής χαρτιού συσκευασίας η οποία αξιοποιεί ανακυκλωμένο χαρτί ως πρώτη ύλη δύναται να πραγματοποιήσει αλλαγές στο σύστημα στεγνώματος του χαρτοπολτού, να εξοικονομήσει ενέργεια και να περιορίσει το νερό που καταναλώνεται υπό μορφή ατμού.

Η διάδοση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης προϊόντων, ο εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού, ο περιορισμός της χρήσης χημικών και η

αντικατάστασή τους από αντίστοιχα «πράσινα», η μείωση των εργασιών του βιομηχανικού κλάδου παραγωγής, το κλείσιμο βιομηχανιών που κατανάλωναν φυσικούς πόρους, η εφαρμογή τιμολόγησης σε όσες βιομηχανίες έκαναν αλόγιστη χρήση νερού και η οικονομική επιβάρυνση για τη συλλογή υγρών αποβλήτων από αποχετευτικά δίκτυα αποτέλεσαν παράγοντες που από το 1980 και έπειτα ελάττωσαν την ποσότητα του νερού που προοριζόταν για βιομηχανική χρήση (Καραβίτης, 2005).

### **1.3.3. Η χρήση του νερού στην παραγωγή ενέργειας**

Η μη καταναλωτική χρήση του νερού στην ενεργειακή παραγωγή αντιπροσωπεύει το 30% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Το νερό χρησιμοποιείται για να παράγει κυρίως ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων ψύξης και των ατμοηλεκτρικών σταθμών.

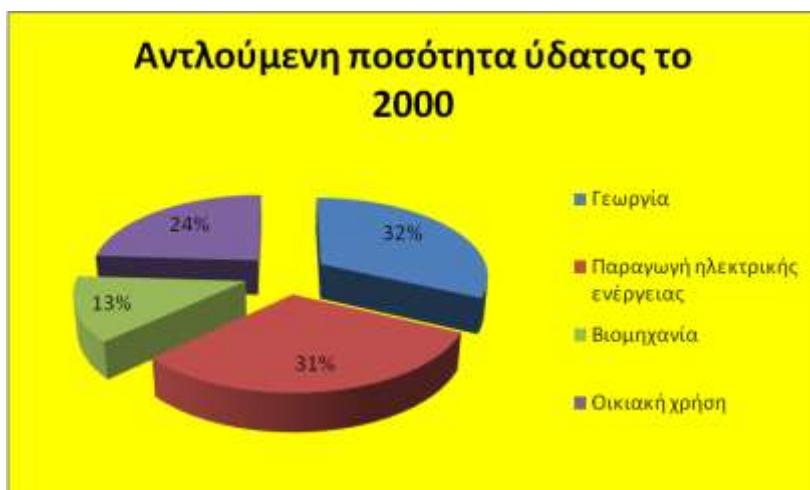
Οι σημαντικότεροι καταναλωτές νερού με σκοπό την παραγωγή ενέργειας είναι οι δυτικές και κεντρικές χώρες της Ευρώπης (Καραβίτης, 2005).

### **1.3.4. Η χρήση του νερού στον τουρισμό**

Η υδατική κατανάλωση ολοένα και αυξάνεται προς εξυπηρέτηση των αναγκών της τουριστικής δραστηριότητας (Δίκτυο Μεσόγειος SOS, 2009). Το νερό αξιοποιείται στον τουρισμό είτε ως πηγή εσόδων, λ.χ. παρατήρηση οικοσυστημάτων σε υγροτόπους, αθλήματα σε ποταμούς, ανάπτυξη προγραμμάτων οικοτουρισμού, είτε ως φυσικός πόρος, ο οποίος χρησιμοποιείται σπάταλα σε τουριστικές εγκαταστάσεις για τη συντήρηση πισινών, γηπέδων γκολφ, χώρων πρασίνου κ.ο.κ., ιδιαίτερα όταν δεν υφίσταται σύστημα επαναχρησιμοποίησης. Στα ελληνικά νησιά, που αποτελούν δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς, σημειώνεται τα τελευταία χρόνια υπέρμετρη υδατική κατανάλωση, καθώς οι κάτοικοι των μεγαλουπόλεων ως κακότετροποι καταναλωτές μεταφέρουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες στις άνυδρες νησιωτικές περιοχές. Μελέτη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, 2004/05) προειδοποιεί ότι περίπου 20 νησιά των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου αναμένεται να παρουσιάσουν αύξηση του υδατικού ελλείμματος της τάξης του 25 έως 40% τα προσεχή έτη (Δίκτυο Μεσόγειος SOS, 2009).

Το Σχήμα 1.5 παρουσιάζει την ποσοστιαία κατανομή του νερού στις εναλλακτικές υδατικές καταναλώσεις στη Βόρεια και Νότια Ευρώπη και άλλες χώρες (Κύπρο, Δημοκρατία της Τσεχίας, Εσθονία, Ουγγαρία, Λετονία, Λιθουανία, Μάλτα, Πολωνία, Δημοκρατία της Σλοβακίας, Σλοβενία, Βουλγαρία, Ρουμανία και Τουρκία).

Το Σχήμα 1.6 απεικονίζει τη μεταβολή της υδατικής κατανάλωσης που εκτιμάται ότι θα υποστούν οι παραγωγικοί τομείς μέχρι το 2030.



Σχήμα 1.5: Οι υδατικές καταναλώσεις το 2000 για τις χώρες της περιοχής Europe-30 (Flörke και Alcamo, 2004)



Σχήμα 1.6: Η ετήσια μεταβολή της υδατικής κατανάλωσης για το χρονικό διάστημα 2000-2030 (EEA, 2005)

#### 1.4. Νέες τάσεις στη διαχείριση των υδατικών πόρων

Σε διάφορες περιοχές ανά την υφήλιο, διαμορφώνονται σταδιακά νέες τάσεις αναφορικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και συστημάτων οι οποίες περιλαμβάνουν (Qadir et al, 2007, Παρανυχιανάκης κ.α., 2009):

- **Την αύξηση της απόδοσης των χρήσεων νερού:** Ειδικότερα, επιδιώκεται ο προσδιορισμός των υδατικών απαιτήσεων των διάφορων καλλιεργειών, ο περιορισμός των υδατικών απωλειών των δικτύων μεταφοράς, ύδρευσης και άρδευσης, καθώς και ο εκσυγχρονισμός των συστημάτων και τεχνικών άρδευσης για εξοικονόμηση νερού.

- **Τη χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων:** Οι μη συμβατικοί υδατικοί πόροι είτε είναι προϊόντα εξειδικευμένων διεργασιών, όπως της αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού και των υφάλμυρων υπόγειων νερών είτε προέρχονται από κατάλληλη διαχείριση του συστήματος έδαφος-νερό-καλλιέργειες, όπως η συλλογή και ταμίευση ομβρίων υδάτων για μελλοντική χρήση σε περιόδους υδατικού ελλείμματος και η αξιοποίηση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας στην άρδευση

καλλιεργειών. Η χρήση τους στοχεύει στην αύξηση της υδατοπρομήθειας, ούτως ώστε να αμβλυνθεί το χάσμα που υφίσταται μεταξύ της διαθεσιμότητας γλυκού νερού και της υδατικής ζήτησης, κυρίως σε εκείνες τις περιοχές που υποφέρουν από λειψυδρία.

✦ **Την προώθηση τεχνικών αφαλάτωσης (desalination):** Με τον όρο «αφαλάτωση» νοείται η διαδικασία μετατροπής του θαλασσινού νερού ή των υφάλμυρων υπόγειων νερών σε γλυκό νερό υψηλής ποιότητας. Η αφαλάτωση βρίσκει εφαρμογή εδώ και 50 χρόνια σε ολόκληρο τον κόσμο, και κυρίως σε χώρες της Μέσης Ανατολής, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, το Κουβέιτ, το Μπαχρέιν, το Κατάρ κ.α., οι οποίες υποφέρουν από λειψυδρία λόγω ανισοκατανομής των υδατικών πόρων. Ωστόσο, η αφαλάτωση τυγχάνει αποδοχής ακόμη και σε χώρες που έχουν μεν επάρκεια σε υδατικούς πόρους, αντιμετωπίζουν δε λειψυδρία εξαιτίας της υψηλής πληθυσμιακής συγκέντρωσης ή (και) της μεγάλης βιομηχανοποίησης και της αυξημένης τουριστικής δραστηριότητας, δηλαδή παραγωγικών τομέων οι οποίοι είναι μεγάλοι καταναλωτές νερού. Σύμφωνα με τον Pearce (2004), οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης παράγουν καθημερινά περίπου  $30 \times 10^6 \text{ m}^3$  γλυκού νερού από τα οποία τα 2/3 προέρχονται από το νερό των ωκεανών και το υπόλοιπο ποσοστό από υφάλμυρα υπόγεια νερά. Η αφαλάτωση αρχικά συντελούνταν σε εγκαταστάσεις απόσταξης, από τις οποίες παράγονταν νερό υψηλής ποιότητας με ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) 5 έως 50mg/L (ή ppm). Επειδή όμως η ενεργειακή κατανάλωση κρίθηκε υψηλή, άρχισε να χρησιμοποιείται από τη δεκαετία του 1970 και μετά η τεχνική της αντίστροφης όσμωσης. Η συγκεκριμένη τεχνική αξιοποιεί ημιπερατές μεμβράνες στις οποίες συγκρατούνται τα περιεχόμενα άλατα του θαλασσινού νερού καθώς αυτό ωθείται με μεγάλη πίεση. Το μίγμα που συγκρατείται στις μεμβράνες διατίθεται στη θάλασσα. Από τη δεκαετία του 1990 και αργότερα κατασκευάστηκαν μεγάλα έργα αφαλάτωσης χρησιμοποιώντας την αντίστροφη όσμωση. Συνήθως, προτιμάται η κατασκευή εγκαταστάσεων μεγάλης χωρητικότητας σε σχέση με την εγκατάσταση πολυάριθμων μονάδων μικρότερης χωρητικότητας. Συγκρινόμενη με την απόσταξη, η αντίστροφη όσμωση παράγει νερό με υψηλότερη περιεκτικότητα σε ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) (250 έως 500mg/L) και επιπλέον σε περιπτώσεις που απαιτείται καθαρισμός των εγκαταστάσεων ή αντικατάσταση εξοπλισμού πρέπει να παύσει η λειτουργία της μονάδας, πράγμα που δε συμβαίνει στις μονάδες απόσταξης. Επιπλέον, οι απαιτήσεις προεπεξεργασίας είναι αυξημένες στην αντίστροφη όσμωση, διότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν πηκτικά τα οποία θα προκαλέσουν καθίζηση των αλάτων πριν τη διέλευση του νερού από τις μεμβράνες και θα απομακρύνουν χημικές ενώσεις οι οποίες θα κατακαθίσουν στις μεμβράνες. Όσον αφορά στα πλεονεκτήματα της αντίστροφης όσμωσης έναντι της απόσταξης, αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την αντίστροφη όσμωση το νερό δεν χρειάζεται να θερμανθεί πριν την εισαγωγή του στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το περιβάλλον δεν επιβαρύνεται όταν η εκροή διατίθεται σε αυτό. Επιπλέον, με τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης μπορούν να απομακρυνθούν τα φυτοφάρμακα και τα βακτήρια, ενώ οι σχετικές εγκαταστάσεις έχουν και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και απαιτούν μικρότερη έκταση εδάφους για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας γλυκού νερού.

Το συνολικό κόστος αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού έχει υποστεί δραματική μείωση με το πέρασμα του χρόνου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ενώ

στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ήταν 5,5US\$/m<sup>3</sup>, στις μέρες μας κυμαίνεται μεταξύ των 0,5 έως 0,6US\$/m<sup>3</sup> αναλόγως την περιοχή και το μέγεθος της εγκατάστασης. Η ενεργειακή απαίτηση των εγκαταστάσεων αντίστροφης όσμωσης εκτιμάται σε 10 έως 20kJ/m<sup>3</sup>. Η τιμή αυτή μπορεί μεν να μειωθεί σε 7,2kJ/m<sup>3</sup>, εάν χρησιμοποιηθεί τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία θα ανακυκλώνει ένα ποσοστό του ηλεκτρικού ρεύματος που έχει καταναλωθεί για αφαλάτωση, θα είναι και πάλι δε περίπου 44% υψηλότερη από τις θεωρητικές εκτιμήσεις. Επίσης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ηλιακή και πυρηνική ενέργεια για τη θέρμανση του νερού, καθώς και η αιολική σε προγράμματα μικρής κλίμακας.

Όσον αφορά στις περιβαλλοντικές διαστάσεις της αφαλάτωσης, επισημαίνεται το γεγονός ότι η εκροή των σχετικών μονάδων περιέχει άλατα σε διπλάσια ποσοστά από τα αντίστοιχα του θαλασσινού νερού και σημαντική ποσότητα χημικών, όταν αφαλατώνονται υφάλμυρα υπόγεια νερά. Συνεπώς, εάν δεν διατεθεί στους ωκεανούς, θα τροφοδοτήσει υπόγεια υδροφόρα συστήματα και θα αυξήσει την αλατότητά τους. Στις μέρες μας, μελετάται η ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων διάθεσης της εκροής των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, ούτως ώστε να περιοριστούν οι επιζήμιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Latorre, 2002).

✦ **Την αξιοποίηση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας:** Στο νερό υποβαθμισμένης ποιότητας περιλαμβάνονται τα υγρά απόβλητα των τομέων παραγωγής (λ.χ. οικιακών, εμπορικών, βιομηχανικών χρήσεων), το νερό που αποστραγγίζεται από την αρδευόμενη αγροτική δραστηριότητα και την επιφανειακή απορροή, καθώς και τα υπόγεια νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε διάφορα άλατα εξαιτίας των υπόγειων γεωλογικών σχηματισμών με τους οποίους βρίσκονται σε επαφή, της υφαλμύρισης παράκτιων υδροφόρων συστημάτων, της τροφοδοσίας υδροφόρων οριζόντων με νερό που αποστραγγίζεται από τον αγροτικό τομέα παραγωγής, την απορροή της βροχόπτωσης των αστικών κέντρων και τέλος τη διήθηση υγρών αποβλήτων που έχουν χρησιμοποιηθεί ως αρδευτικό νερό. Το νερό υποβαθμισμένης ποιότητας περιλαμβάνει ανεπιθύμητα συστατικά σε υψηλότερα επίπεδα από τα αντίστοιχα του γλυκού νερού, όπως άλατα, μέταλλα, μεταλλοειδή, ναρκωτικές ουσίες, οργανικούς ρύπους, ενδοκρινικές ενώσεις, χημικές ενώσεις καθαρισμού, ακόμη και παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα συγκεκριμένα συστατικά μπορούν να επιβαρύνουν τα εδάφη, τις καλλιέργειες, τα υδάτινα οικοσυστήματα και την υγεία ανθρώπων και ζώων. Ωστόσο, η χρήση για κάλυψη αρδευτικών αναγκών αλατούχου και νατριούχου νερού, που προέρχονται από αποστράγγιση, καθώς και υπόγειων νερών αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον. Βασική προϋπόθεση είναι ο εκσυγχρονισμός των τεχνικών διαχείρισης του εδάφους, των καλλιεργειών και της άρδευσης, ώστε να αντιμετωπιστούν οι συνεπακόλουθες συνέπειες, δηλαδή η αύξηση της αλατότητας και η νιτρορύπανση.

📄 **Υγρά απόβλητα:** Στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιλαμβάνονται οι πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες εκροές των ΕΕΛ, καθώς και τα προϊόντα εδαφικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ικανοποιούν τα θεσμοθετημένα κριτήρια διάθεσης που συνυπολογίζουν ποικιλία παραμέτρων (OCWP, 2010). Στις μέρες μας, τα υγρά αστικά απόβλητα τείνουν να θεωρούνται μη συμβατικοί υδατικοί πόροι και να αξιοποιούνται για την κάλυψη διάφορων υδατικών καταναλώσεων. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, τα υγρά απόβλητα των παραγωγικών τομέων επαναχρησιμοποιούνται ανεπεξέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα στη γεωργία. Το βασικό ζήτημα που τίθεται κατά την



ανεξέλεγκτη άρδευση είναι η προστασία της δημόσιας υγείας και του φυσικού περιβάλλοντος. Επιπροσθέτως, η ανεξέλεγκτη διάθεση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων σε υδατορεύματα προκαλεί περιβαλλοντική επιβάρυνση. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν τα υγρά απόβλητα έχουν υποστεί επεξεργασία και οι εργασίες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των εκροών συνδυάζονται με αξιόπιστο σχεδιασμό και ορθή κατασκευή και λειτουργία των σχετικών απαιτούμενων έργων, προωθείται (Μιμίκου, 2012):

- **Η ανάπτυξη νέων πηγών νερού:** Για παράδειγμα μειώνεται η χρήση του γλυκού νερού ως νερό άρδευσης. Επιπλέον, τα επαρκώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα προμηθεύουν τις καλλιέργειες με θρεπτικά συστατικά, τα οποία είναι βασικά για την ανάπτυξη των φυτών, γεγονός που έχει και οικονομικές επεκτάσεις, διότι οι αγρότες δεν απαιτείται να κάνουν επενδύσεις σε λιπάσματα.

- **Η προστασία των φυσικών συστημάτων:** Το ανακτημένο νερό των ΕΕΛ μπορεί να αξιοποιηθεί στη συντήρηση υδροβιότοπων, λιμνών, τελμάτων και καταφύγιων άγριας πανίδας, αλλά και την κάλυψη παρόχθιων ενδιατημάτων.

- **Η μείωση του κόστους του νερού:** Όταν υπάρχει επάρκεια νερού, το κόστος απόκτησης του αγαθού μειώνεται.

- **Η αύξηση της αξιοπιστίας της υδατοπρομήθειας:** Κατάλληλα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα βρίσκουν αστική και περιαστική χρήση παρέχοντας νερό για πάρκα, γήπεδα και πρανή αυτοκινητοδρόμων. Οι ανάγκες της βιομηχανικής ψύξης και της επεξεργασίας υλικών επίσης μπορούν να καλυφθούν εν μέρει με ανακτημένες εκροές ΕΕΛ. Τέλος, μπορεί να έχει και άλλες χρήσεις εκτός πόσης, όπως η πυρόσβεση, ο κλιματισμός κ.α.

- **Νερό αποστράγγισης:** Δημιουργείται όταν το νερό κατακρημνισμάτων ρέει επάνω σε φυσικές ή τεχνητές επιφάνειες (OCWP, 2010).

- **Νερό προερχόμενο από δραστηριότητες του γεωργικού παραγωγικού τομέα:** Το πρόβλημα της σπανιότητας των υδατικών πόρων πιθανόν να αντιμετωπιστεί εν μέρει με επαναχρησιμοποίηση του νερού που αποστραγγίζεται από τη γεωργική δραστηριότητα. Η επαρκής αποστράγγιση του νερού αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη βιωσιμότητα της άρδευσης, ειδικότερα σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου τα περιεχόμενα άλατα των υπόγειων νερών, οι υδροφόροι ορίζοντες μικρού βάθους και η υπέρμετρη άντληση πιθανόν να βλάψουν τις καλλιέργειες. Κ αυτό γιατί το νερό που αποστραγγίζεται από δραστηριότητες του αγροτικού τομέα, περιλαμβάνει και ποσοστό του αρδευτικού νερού, το οποίο μεταφέρει άλατα, φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Συνεπώς, το αρδευτικό νερό οφείλει να περιέχει χαμηλότερο ποσοστό αλάτων, από το νερό που αποστραγγίζεται από τις καλλιέργειες. Κατ' αυτόν τον τρόπο, διατηρείται η κατάλληλη ισορροπία αλάτων στην επιφανειακή εδαφική στρώση που υποστηρίζει το ριζικό σύστημα των φυτών. Επιπροσθέτως, οφείλει να λαμβάνεται υπόψη η δίοδος του νερού μέσω αλατούχων γεωλογικών σχηματισμών, διότι σε τέτοιες περιπτώσεις η αλατότητα του νερού που αποστραγγίζεται υπερβαίνει τα αναμενόμενα επίπεδα που έχουν εκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψη μόνο την άρδευση (Van Schilfgaarde, 1994).

Η τεχνητή αποστράγγιση επιτυγχάνεται με ένα πυκνό δίκτυο υπεδάφιας διάτρητων αγωγών, που ονομάζονται «στραγγιστήρια». Οι αγωγοί τοποθετούνται στο έδαφος με διαφορετική διαπερατότητα για να συλλέξουν και στη συνέχεια να απομακρύνουν το πλεονάζον νερό. Με αυτό το σύστημα αποφεύγεται η αλλαγή του

επιφανειακού αναγλύφου. Η αποστράγγιση απαιτείται στη γεωργία σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου οι διεισδύσεις νερού μπορούν να φθείρουν τις γεωργικές καλλιέργειες ([http://www.polieco.com/el/drenaggio\\_e\\_dispersione/](http://www.polieco.com/el/drenaggio_e_dispersione/)). Υπάρχουν δύο κατηγορίες αποστραγγιστικών συστημάτων: Η αποστράγγιση μέσω υπεδάφινων αγωγών και μέσω φρέατος υδροσυλλογής (Φωτογραφία 1.1α και β).



**Φωτογραφία 1.1:** Συστήματα αποστράγγισης: α. αγωγός, β. φρεάτιο

Εκτός από τα συμβατικά αποστραγγιστικά συστήματα, η βιο-αποστράγγιση αξιοποιεί βλάστηση με σκοπό να ελέγξει τη ροή του νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Το επιστημονικό υπόβαθρο το οποίο υποβοήθησε στην ανάπτυξη συστημάτων βιο-αποστράγγισης βασίζονταν στο σκεπτικό ότι όταν η φυσική βλάστηση αντικαθίσταται από καλλιέργειες, οι διαφυγές νερού προς τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα διαταράσσονται (αυξάνονται ή μειώνονται) σε σύγκριση με τις αντίστοιχες πριν την αλλαγή χρήσης της γης. Όταν υφίστανται αυξημένες υδατικές διαρροές, αυξάνεται ο ρυθμός τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Στις περιπτώσεις όπου το υδροφόρο σύστημα βρίσκεται σε μικρό βάθος, η εξάτμιση στην επιφάνεια του εδάφους προκαλεί την ανοδική πορεία των υπόγειων νερών μέσω του εδάφους και τη συνεπακόλουθη συσσώρευση αλάτων στη ζώνη ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών, περιορίζοντας την ανάπτυξή τους (<http://www.fao.org/docrep/005/Y3796E/y3796e07.htm>). Οι Vertessey et al. (1996) μελέτησαν τη σχέση της ηλικίας των δέντρων και του όγκου απορροής σε περιβάλλον με υψηλό ποσοστό βροχόπτωσης στη νότια Αυστραλία. Παρατήρησαν ότι το γηραιό δάσος απέδιδε το διπλάσιο ποσοστό ετήσιας απορροής σε σχέση με το δάσος νεαρής ηλικίας. Τα πορίσματα της μελέτης αυτής κρίνονται πολύ σημαντικά για τη διαχείριση των λεκανών απορροής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή νερού υδροδότησης των αστικών περιοχών.

Τα πλέον κατάλληλα φυτά για τη βιο-αποστράγγιση είναι οι καλλιέργειες με βαθύ ριζικό σύστημα και τα δέντρα. Σε περιοχές μουσώνων (υψηλή ένταση βροχόπτωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα), θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν αλατούχες εκροές χωρίς να μειωθεί η απόδοση των καλλιεργειών. Όταν το νερό έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα έως 12dS/m, μπορεί να αξιοποιηθεί στην καλλιέργεια υψηλής έως μέτριας ανθεκτικότητας φυτών σε χονδρόκοκκα εδάφη. Σε λεπτόκοκκα εδάφη, ακόμη και νερά με ηλεκτρική αγωγιμότητα 2dS/m δημιουργούν προβλήματα αλμυρότητας. Επιπροσθέτως, η απαιτήσις έπλυσης του εδάφους αυξάνονται με την αύξηση της αλατότητας του αρδευτικού νερού και την αύξηση της ευπάθειας των καλλιεργειών στην αλατότητα.

Έχουν αναπτυχθεί δύο βασικές προσεγγίσεις που υποβοηθούν την ανάπτυξη των καλλιεργειών σε περιβάλλον υψηλής αλμυρότητας: Η τροποποίηση του περιβάλλοντος ώστε να υποστηρίζει τη συγκεκριμένη καλλιέργεια και η επιλογή

κατάλληλης καλλιέργειας που να ευνοείται σε δεδομένη ποιότητα περιβάλλοντος. Οι δύο προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό (Tyagi και Sharma, 2000). Ωστόσο, η πρώτη προσέγγιση είναι περισσότερο διαδεδομένη διότι το φυτό αναγκάζεται να προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού και σε διάφορες άλλες παραμέτρους που εμπλέκονται στην παραγωγή.

Τέλος, το νερό αποστράγγισης μπορεί να αξιοποιηθεί για τη συντήρηση καταφυγίων άγριας ζωής και υγροβιότοπων και την αντιμετώπιση της αλμύρισης των εδαφών.

• **Συλλογή ομβρίων νερών και επιφανειακής απορροής:** Οι κατακρημνίσεις των άνυδρων και ημι-άνυδρων περιοχών είναι σπάνιες και υπόκεινται σε υψηλή ενδο- και δι-εποχιακή μεταβλητότητα. Επιπλέον, το βρόχινο νερό απορρέει επιφανειακά ή εξατμίζεται εξαιτίας της φτωχής φυτοκάλυψης και του είδους του εδάφους. Τέτοιες περιοχές έχουν ισχυρά κίνητρα για την ανάπτυξη τεχνικών οι οποίες να κάνουν τη βέλτιστη διαχείριση του βρόχινου νερού και της απορροής. Συνήθως, το βρόχινο νερό συλλέγεται σε ταμιευτήρες ή συγκρατείται στο ριζικό σύστημα καλλιεργειών για να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Έχουν αναπτυχθεί δύο κατηγορίες συλλογής του νερού: Εντός μεγάλων και εντός μικρών λεκανών απορροής. Στην πρώτη περίπτωση, εγκιβωτίζεται το νερό που απορρέει από πλαγιές λόφων και μικρές άγονες λεκάνες απορροής, ενώ στην δεύτερη περίπτωση, το μήκος του συστήματος συλλογής δεν ξεπερνά τα 100m, διακρίνεται από την καλλιεργούμενη έκταση όμως γειτνιάζει με αυτή. Μικρά φράγματα μπορούν να κατασκευαστούν σε πλαγιές με ήπια κλίση ώστε να συλλέξουν το νερό που απορρέει. Συνήθως προβλέπεται και η κατασκευή μικρών υπερχειλιστών στα φράγματα ώστε το πλεονάζον νερό να εκτρέπεται από το ένα φράγμα στο επόμενο. Τα μικρά φράγματα και οι μικρές λίμνες Τ.Ε. των υπόγειων νερών μπορούν να συμπεριληφθούν στις τεχνικές συλλογής νερού σε επίπεδο μεγάλων λεκανών απορροής. Ο Πίνακας 1.7 παρουσιάζει τις μέσες τιμές ορισμένων ποιοτικών παραμέτρων που έχουν ανιχνευτεί στην απορροή ομβρίων νερών αστικών περιοχών.

**Πίνακας 1.7:** Μέσες τιμές ποιοτικών παραμέτρων σε απορροή ομβρίων νερών αστικής περιοχής (OCWP, 2010)

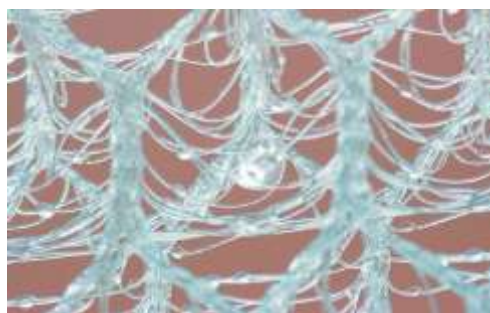
Χρήση γης	Σκληρότητα (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD <sub>5</sub> ) (mg/L)	Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) (mg/L)	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) (mg/L)	Νιτρώδη+Νιτρικά (NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> ) (mg/L)	Αμμωνία (NH <sub>3</sub> ) (mg/L)	Ολικός φώσφορος (TP) (mg/L)	pH
Εμπόριο	36	12	48	74	0,62	0,60	0,23	7,10
Αυτοκινητόδρομος	34	8	99	78	0,28	1,10	0,25	7,10
Βιομηχανία	37	9	90	84	0,75	0,50	0,27	7,20
Θεσμική αξιοποίηση	-	9	17	53	0,60	0,30	0,17	-
Μικτή κατοικία	43	7	75	85	0,56	0,40	0,27	7,30
Κατοικία	31	9	50	69	0,58	0,30	0,31	7,13
Διάφορες χρήσεις	39	8	63	78	0,60	0,40	0,27	7,40

Το βρόχινο νερό μπορεί επίσης να συλλεχθεί από τις στέγες των σπιτιών σε εδαφικές δεξαμενές. Τέτοιου είδους συστήματα χρησιμοποιούνται σε επίπεδο νοικοκυριού, λ.χ. για το πότισμα κήπων.

Άλλη μια τεχνική καταπολέμησης της λειψυδρίας αποτελούν οι χαρακτηριστικά αναφερόμενες ως «ομιχλοπαγίδες» (Φωτογραφία 1.2) (Στεφανάκης, 2013, [http://portal.environment.gr/extra/macgurublog\\_menu/macgurublog.php?uid=12&gpf=70](http://portal.environment.gr/extra/macgurublog_menu/macgurublog.php?uid=12&gpf=70)). Όπως αποκαλύπτει η ονομασία τους, τα έργα αυτά συλλέγουν την ομίχλη και υδρατμούς για να παράξουν νερό και ενέργεια, απομονώνοντας τη σκόνη. Οι ομιχλοπαγίδες είναι πολυεστερικά δίκτυα, συντίθενται από ίνες, οι οποίες παράγονται από πετρέλαιο και προσμίξεις αλκοόλης και διάφορων άλλων συστατικών, αντιστέκονται στις ταλαντώσεις λόγω του ανέμου και παραμένουν ανεπηρέαστες στις θερμοκρασιακές εναλλαγές. Το σκεπτικό με το οποίο χρησιμοποιούνται παρομοιάζεται με την μη αναγνωρισμένη από την επιστημονική κοινότητα τεχνική συλλογής νερού με χρήση υφάσματος, η οποία εφαρμόζεται εδώ και αιώνες από τους ιθαγενείς στο Περού, τη Χιλή και τη Ναμίμπια. Πρόσφατα, ομάδα επιστημόνων του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης με επικεφαλής τον Έλληνα Ιωάννη Στεφανάκη, στο πλαίσιο πειράματος, εγκατέστησε ομιχλοπαγίδες σε δύσβατες περιοχές του όρους Ψηλορείτης και σε ακτές του Λιβυκού Πελάγους στη νότια Κρήτη. Εκτιμάται ότι με τις ομιχλοπαγίδες μπορεί να συλλεχθεί σκόνη της ερήμου Σαχάρα και να μελετηθεί, όπως και κάθε μορφή ρύπανσης (ραδιενεργού ή μη).



α.



β.

**Φωτογραφία 1.2:** Ομιχλοπαγίδες


Η απόδοση των συστημάτων συλλογής νερού επηρεάζεται από την κλίση της εδαφικής επιφάνειας, τη δομή και υφή του εδάφους, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και την ύπαρξη επαρκούς βάθους διήθησης και συγκράτησης των ομβρίων νερών, ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη βλάστησης.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων υδροσυλλογής μικρής κλίμακας περιλαμβάνουν την ευκολία σχεδιασμού, το χαμηλό κόστος εγκατάστασης, την προσαρμοστικότητα σε κάθε είδους ανάγλυφο, την ευκολία διαχείρισης από την τοπική κοινωνία, το χαμηλό ποσοστό απωλειών κατά τη μεταφορά του νερού. Τα μικρά συστήματα τυγχάνουν ευρείας αποδοχής διεθνώς. Για παράδειγμα, στη Συρία, όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι μόλις 120mm, εφαρμόστηκαν ημικυκλικά αναχώματα τα οποία συνέβαλλαν στη διάσωση των αρδευόμενων θάμνων σε ποσοστό 93% (Πίνακας 1.8).

**Πίνακας 1.8:** Βαθμός διάσωσης (%) των αρδευόμενων θάμνων της Συρίας κατόπιν εφαρμογής έργων υδροσυλλογής μικρής κλίμακας και διαφορετικών διαστάσεων (Qadir et al, 2007)

Χρονική περίοδος	Βροχόπτωση (mm)	Βαθμός διάσωσης άνευ συστήματος υδροσυλλογής (%)	Βαθμός διάσωσης με σύστημα υδροσυλλογής (%)		
			Διάμετρος 2m	Διάμετρος 4m	Διάμετρος 6m
1997-1998	174	20	96	98	97
1998-1999	36	7	92	95	93
1999-2000	42	2	92	93	89
Μέσες τιμές	83	10	93	95	93

Στα μειονεκτήματα των συστημάτων υδροσυλλογής περιλαμβάνονται η εξάρτησή τους από τη βροχόπτωση, η οποία όμως παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα, η εύκολη φθορά των εγκαταστάσεων σε περιπτώσεις ισχυρών καταιγίδων, η απαίτηση για τακτική συντήρηση και μεγάλη εδαφική κάλυψη, η οποία αποκλείει την αξιοποίηση του εδάφους για καλλιέργεια, η δυνατότητα άρδευσης χαμηλών πυκνοτήτων καλλιεργειών και τέλος η χαμηλή απόδοση των καλλιεργειών σε σχέση με τις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται συμβατικά αρδευτικά συστήματα.

 **Αλατούχα ή νατριούχα υπόγεια νερά:** Τα αλατούχα νερά περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις αλάτων, ενώ τα νατριούχα αυξημένα επίπεδα ιόντων νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σε σύγκριση με άλλα κατιόντα. Η περίσσεια αλάτων ή ιόντων νατρίου προκαλείται εξαιτίας:

- Της διήθησης του επιφανειακού νερού μέσω εδαφικών σχηματισμών προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

- Των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στη διεπιφάνεια υπόγειων νερών-εδάφους. Της υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.

- Της αποστράγγισης αρδευτικού νερού προς το υπέδαφος.

Υφάλμυρα νερά θεωρούνται αυτά των οποίων η περιεκτικότητα σε ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) κυμαίνεται μεταξύ των 1000 έως 35000mg/L (OCWP, 2010). Χωρίς την κατάλληλη διαχείριση του εδάφους, των καλλιεργειών και των αρδευτικών συστημάτων, η χρήση των υπόγειων νερών υποβαθμισμένης ποιότητας εμπεριέχει κινδύνους αύξησης των επιθυμητών επιπέδων αλατότητας, ιόντων νατρίου ( $\text{Na}$ ), άλλων τοξικών ιόντων και θρεπτικών ουσιών και σαν επακόλουθο περιορίζεται η αποδοτικότητα των καλλιεργειών, αλλά και το εύρος των εναλλακτικών καλλιεργειών που μπορούν να αναπτυχθούν. Ορισμένα συστατικά των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούνται για άρδευση, όπως τα ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), τα ανθρακικά ιόντα ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) και το ανθρακικό οξύ ( $\text{HCO}_3^-$ ), μεταβάλλουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εδάφους και αναστέλλουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Επιπροσθέτως, η συνεχής άρδευση με νερά που έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC) και υψηλό δείκτη SAR τείνει να αυξήσει pH του εδάφους και το ανταλλάξιμο ποσοστό νατρίου (ESP), γεγονός που συντελεί στην ελάττωση της υδροπερατότητας του εδάφους και της απόδοσης των καλλιεργειών.

Η επιστημονική κοινότητα έχει αναπτύξει διάφορες τεχνικές ταμίευσης, αποκατάστασης και εφαρμογής του νερού υποβαθμισμένης ποιότητας. Για παράδειγμα, όταν το θαλασσινό νερό αξιοποιείται στην άρδευση, προτιμώνται ο καταιονισμός και οι στάγδην τεχνικές, διότι, συγκρινόμενες με την επιφανειακή μέθοδο, είναι περισσότερο αποτελεσματικές και το αξιοποιούμενο νερό ελέγχεται επαρκώς. Επιπλέον, πορίσματα μελετών εκτιμούν ότι εάν χρησιμοποιηθούν νατριούχα νερά στην άρδευση, ύστερα από δύο αρδευτικές περιόδους όπου χρησιμοποιήθηκε γλυκό νερό, η απόδοση των καλλιεργειών θα είναι συγκρίσιμη με αυτή που επιτυγχάνεται σε ολόκληρη καλλιεργητική περίοδο (Πίνακας 1.9). Η παραγωγή βιοκαυσίμων από μη βρώσιμες καλλιέργειες επίσης μπορεί να αξιοποιήσει νερό υποβαθμισμένης ποιότητας.

Σύμφωνα με τους Minhas et al (2004), όταν οι τιμές του υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου (RSC) υπερβαίνουν τα 5mmol/L, η δομή του εδάφους αποτελείται από μεσόκοκκα υλικά και το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης δεν ξεπερνάει τα 500mm, συνίσταται η χρήση χημικών, λ.χ. της γύψου ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), στο αρδευτικό νερό. Επειδή τα εδάφη με αυξημένη αλατότητα που βρίσκονται σε επικοινωνία με υφάλμυρα ή νατριούχα υδροφόρα συστήματα δεν μπορούν να αποκατασταθούν σε ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να ευνοούνται οι καλλιέργειες υψηλής αξίας, χρησιμοποιείται μόνιμη βλάστηση.

**Πίνακας 1.9:** Μέση απόδοση καλλιεργειών ρυζιού και σιταριού, όπως αυτή επιρεάζεται από τη συνδυασμένη χρήση γλυκού και αλκαλικού νερού για χρονικό διάστημα 6 ετών (Bajwa και Josan, 1989)

Τύπος άρδευσης	Απόδοση (Mg/ha)		Παραγωγικότητα νερού ( $\text{kg/m}^3$ )	
	Ρύζι	Σιτάρι	Ρύζι	Σιτάρι
Με γλυκό νερό	6,70	5,40	0,62	1,80
Με αλκαλικό νερό	4,20	3,60	0,39	1,20
2 αρδεύσεις με γλυκό νερό και 1 με αλκαλικό	5,20	6,70	0,62	1,73
1 άρδευση με γλυκό νερό και 1 με αλκαλικό	5,30	6,30	0,58	1,77
1 άρδευση με γλυκό νερό και 2 με αλκαλικό	4,80	5,70	0,53	1,60

Ο Πίνακας 1.10 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις πιθανές χρήσεις των εναλλακτικών πηγών νερού υποβαθμισμένης ποιότητας.

**Πίνακας 1.10:** Οι ενδεχόμενες χρήσεις του νερού υποβαθμισμένης ποιότητας (OCWP, 2010)

Τομέας υδατικής ζήτησης	Πηγή νερού υποβαθμισμένης ποιότητας				
	Επεξεργασμένα υγρά απόβλητα	Όμβρια νερά	Προϊόντα ανακύκλωσης πετρελαίου και φυσικού αερίου	Υφάλμυρα νερά	Νερό με αυξημένη περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα συστατικά
Αστική και βιομηχανική χρήση, συμπεριλαμβανομένης της πόσης	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.	<b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Η αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας αμφισβητείται, εάν δεν υπάρχει ταμίευση.	<b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.
Αστική και βιομηχανική χρήση εκτός πόσης	<b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Πιθανόν να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και των ομβρίων νερών σε σχέση με την απαιτούμενη σε περιπτώσεις Τ.Ε. και την προβλεπόμενη χρήση.	<b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Πιθανόν να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και των ομβρίων νερών σε σχέση με την απαιτούμενη σε περιπτώσεις Τ.Ε. και την προβλεπόμενη χρήση. Μπορεί να απαιτείται παθητική επεξεργασία.	<b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.	<b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.
Αστική (self-supplied)	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.	<b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.	<b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή.	<b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχής:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.
Βιομηχανική (self-supplied)	<b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες</b>	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε</b>	<b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε</b>	<b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε</b>

## Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

	<p><b>κάθε περιοχή:</b> Πιθανόν να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και των ομβρίων νερών σε σχέση με την απαιτούμενη σε περιπτώσεις Τ.Ε. και την προβλεπόμενη χρήση.</p>	<p><b>περιοχής:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας.</p>	<p>απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.</p>	<p><b>περιοχής:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.</p>	<p><b>περιοχής:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.</p>
Θερμοληκτρική ενέργεια	<p><b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Πιθανόν να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και των ομβρίων νερών σε σχέση με την απαιτούμενη σε περιπτώσεις Τ.Ε. και την προβλεπόμενη χρήση.</p>	<p><b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Μπορεί να απαιτείται παθητική επεξεργασία. Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας.</p>	<p><b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.</p>	<p><b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.</p>	<p><b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.</p>
Πετρέλαιο και φυσικό αέριο	<p><b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.</p>	<p><b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.</p>	<p><b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται παθητική επεξεργασία. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Η αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας αμφισβητείται, εάν δεν υπάρχει ταμίευση.</p>	<p><b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται παθητική επεξεργασία. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Η αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας αμφισβητείται, εάν δεν υπάρχει ταμίευση.</p>	<p><b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται παθητική επεξεργασία. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Η αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας αμφισβητείται, εάν δεν υπάρχει ταμίευση.</p>
Άρδευση καλλιιεργειών	<p><b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται</p>	<p><b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής</p>	<p><b>Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων:</b> Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη</p>	<p><b>Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας.</p>	<p><b>Εφικτή και επηρεαζόμενη από τις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχή:</b> Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος</p>



	πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης. Παίζει ρόλο η απόκριση του κοινού.	αυξημένης υδατικής ζήτησης.	χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.	Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.	επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.
Κτηνοτροφία	Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής: Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.	Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων: Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.	Απαγορευτική για την πλειονότητα των περιπτώσεων: Οι απαιτήσεις επεξεργασίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση είτε αντιοικονομική για τον καταναλωτή. Η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να μην βρίσκεται πλησίον της περιοχής αυξημένης υδατικής ζήτησης.	Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής: Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.	Λιγότερο εφικτή και επηρεαζόμενη από τις συνθήκες κάθε περιοχής: Μπορεί να απαιτείται συμβατική μέθοδος επεξεργασίας. Μπορεί να απαιτείται προηγμένη μέθοδος επεξεργασίας.

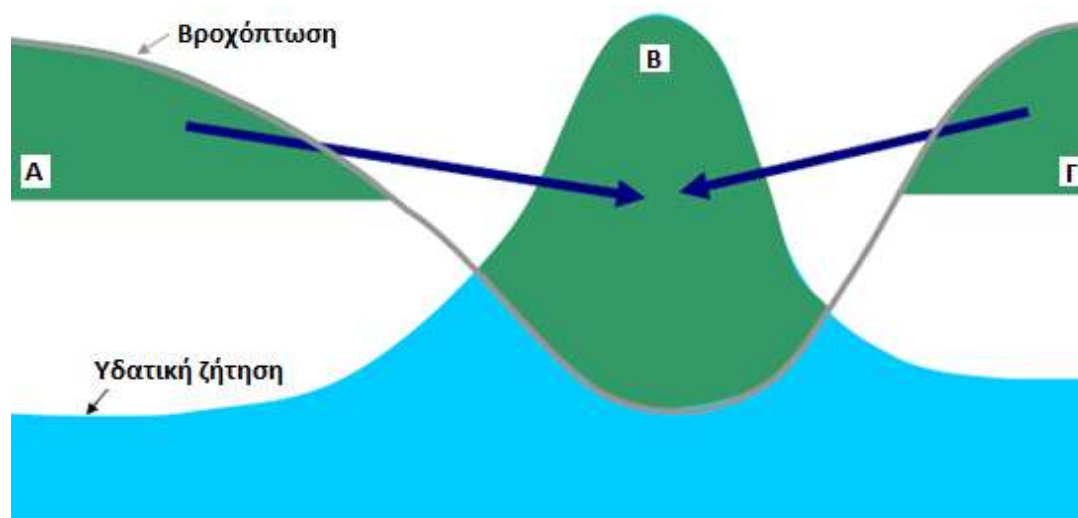
✦ **Τον Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων:** Με τον Τ.Ε. επιτυγχάνεται η αύξηση των υδατικών πόρων και η προστασία των υπόγειων νερών από την υπαλμύριση. Στη σύγχρονη εποχή, προωθείται η τάση να χρησιμοποιείται ως νερό Τ.Ε. η εκροή ΕΕΛ. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων οφείλει να πλαισιώνεται από τις κατάλληλες νομοθετικές ρυθμίσεις αναφορικά με κατάρτιση συγκεκριμένων ορίων των ποιοτικών χαρακτήρων του χρησιμοποιούμενου νερού, καθώς και να προβλέπεται η διαρκής και μεθοδική παρακολούθηση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, ώστε να ελέγχεται η απόκρισή τους στον Τ.Ε. ποσοτικά και η εξέλιξη της ποιότητάς τους. Σε γενικές γραμμές, η ποιότητα του νερού προσδιορίζεται και μελετάται με βάση φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους, ενώ οι σχετικές προδιαγραφές ποιότητας διαμορφώνονται ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται το νερό (Μιμίκου, 2012). Οι μέθοδοι και σημαντικές εμπλεκόμενες παράμετροι του Τ.Ε. θα αναλυθούν σε ακόλουθο κεφάλαιο της εργασίας (Κεφάλαιο V).

✦ **Την ανάπτυξη αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης.**

✦ **Την αύξηση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων και τη διαχείριση της υδατικής ζήτησης:** Οι περιοχές που αντιμετωπίζουν λειψυδρία (έλλειψη ή υποβάθμιση υδατικών πόρων) δε μπορούν ταυτόχρονα να εξασφαλίσουν την απαιτούμενη ποσότητα τροφίμων κάνοντας χρήση των τοπικών (συμβατικών και μη) υδατικών πηγών. Μια πιθανή λύση για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι η «φυσική» μεταφορά νερού και τροφίμων. Αν και η διαπεριφερειακή μεταφορά νερού βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, μπορούν για παράδειγμα, να κατασκευαστούν αγωγοί μεγάλου μήκους εάν η μεταφορά γίνεται στην ενδοχώρα και να αξιοποιηθούν δεξαμενές (υπερδεξαμενόπλοια ή πλαστικοί σάκοι), στην περίπτωση που το νερό απαιτείται να μεταφερθεί διαμέσου της θάλασσας. Το νερό που μεταφέρεται για την παραγωγή των τροφίμων σε περιοχές με υδατικό έλλειμμα ισοδυναμεί με τεράστια υδατική εξοικονόμηση. Εάν δεν είχε αναπτυχθεί το διεθνές εμπόριο, παρόμοιες ποσότητες νερού θα απαιτούνταν στις

οικιακές χρήσεις. Ο Allan (1996 και 2003) χρησιμοποιεί τον όρο «εικονικό νερό» με σκοπό να υπογραμμίσει τη σπουδαιότητα του νερού για το διεθνές εμπόριο μεταξύ των χωρών με πλεόνασμα και έλλειμμα υδατικών πόρων.

Το Σχήμα 1.7 παρουσιάζει ένα ποιοτικό διάγραμμα της εξέλιξης της φυσικής «προσφοράς» νερού λόγω βροχόπτωσης συναρτήσει της υδατικής ζήτησης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (διαστήματα Ιανουαρίου έως Απριλίου και Οκτωβρίου έως Δεκεμβρίου), η υδατική προσφορά υπερέχει της υδατικής ζήτησης, οπότε και δημιουργείται πλεόνασμα σε νερό (εμβαδά Α και Γ). Ένας σωστός σχεδιασμός θα πρέπει να προβλέπει την ταμίευση του πλεονάσματος αυτού, λ.χ. σε ταμιευτήρες ή σε υπόγεια υδροφόρα συστήματα, και αξιοποίησή του σε περιόδους ξηρασίας (διάστημα Μαΐου-Σεπτεμβρίου, όπου το εμβαδό Β αντικατοπτρίζει το υδατικό έλλειμμα). Το καλοκαίρι, η μειωμένη κατακρήμνιση σε συνδυασμό με την αύξηση της υδατικής ζήτησης και κατανάλωσης στη γεωργία, τον τουρισμό, τα νοικοκυριά κ.α. δημιουργούν υδατικό έλλειμμα (εμβαδό Β).



Ιαν. Φεβρ. Μαρ. Απρ. Μάιος Ιούν. Ιούλ. Αύγ. Σεπτ. Οκτ. Νοέμ. Δεκ.

Σχήμα 1.7: Η εξέλιξη της βροχόπτωσης και της υδατικής ζήτησης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Oregon Dept. of Human Services et al., 2008)

## 1.5. Η ρύπανση των επιφανειακών και των υπόγειων νερών

Η ανεξέλεγκτη απόρριψη υγρών αποβλήτων και αστικών υγρών αποβλήτων, τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποιου βαθμού επεξεργασία, σε φυσικούς (χερσαίους και υδάτινους) αποδέκτες καθίσταται επιζήμια για τους υδατικούς πόρους, το έδαφος, τη χλωρίδα και πανίδα των αποδεκτών, αλλά και κατ' επέκταση τη δημόσια υγεία.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα, όταν οι οργανικοί ρύποι διατίθενται σε επιφανειακούς αποδέκτες, είναι οι ακόλουθες (Βουδούρης, 2012):

- ✦ Αποσύνθεση ή υδρόλυση.
- ✦ Εξαέρωση στην ατμόσφαιρα.
- ✦ Βιοδιάσπαση σε ενδιάμεσες ενώσεις.
- ✦ Φωτόλυση υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- ✦ Ρόφηση από τα ιζήματα.

✦ **Βιοσυσσώρευση στην τροφική αλυσίδα.**

Οι ρύποι που εμπεριέχονται στα υγρά απόβλητα και τα αστικά υγρά απόβλητα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες (Βουδούρης, 2012):

✦ **Βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά:** Μια ουσία ονομάζεται βιοαποικοδομήσιμη, όταν καταναλώνεται σε διάρκεια 5 ημερών το 70 έως 80% της μάζας της από μικροοργανισμούς. Τα μικρόβια, για να εξασφαλίσουν την ενέργεια που τους χρειάζεται, διασπούν την οργανική ύλη και τη μετατρέπουν στην πλέον σταθερή μορφή της που είναι ανόργανα άλατα, ενώ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκλύονται διάφορα αέρια. Η αποικοδόμηση δύναται να είναι αερόβια, όταν αερόβιοι μικροοργανισμοί διασπούν την οργανική ύλη χρησιμοποιώντας το διαλυμένο οξυγόνο (DO) του νερού (συγκέντρωση  $\geq 0,5 \text{mg/L}$ ) και παράγοντας ως τελικά προϊόντα ιόντα αζώτου ( $\text{NO}_3^-$ ), άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), θείου ( $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) και νερό ή αναερόβια, όταν δεν υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ) στο νερό και αναερόβιοι μικροοργανισμοί βιοαποικοδομούν την οργανική ύλη παράγοντας υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Στα βιομηχανικά και οικιακά υγρά απόβλητα, οι χημικές ενώσεις που αποτελούν το βιοαποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο είναι οι πρωτεΐνες, τα λίπη και οι υδατάνθρακες. Κάθε μια από τις ενώσεις αυτές βιοαποικοδομείται με διαφορετικό ρυθμό, παράγοντας βιομάζα, η οποία μετρούμενη σε μονάδες βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5), χαρακτηρίζεται ως πλεονάζουσα βιομάζα. Στην περίπτωση που τα υγρά απόβλητα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό φορτίο, βιοαποικοδομούνται αρχικά οι ανθρακούχες ενώσεις και παράγεται μεγάλη ποσότητα βιομάζας και ιλύος. Εάν, όμως, δεν περιέχεται υψηλή οργανική φόρτιση στα υγρά απόβλητα, η ταχύτητα βιοαποικοδόμησης είναι μικρή, διότι δεν επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη του πληθυσμού των μικροοργανισμών οι οποίοι επιτελούν τη διάσπαση των οργανικών ενώσεων (βακτήρια). Στη θέση τους αναπτύσσονται άλλοι μικροοργανισμοί (κυρίως πρωτόζωα), οι οποίοι τρέφονται από τα βακτήρια. Κατά συνέπεια, ελαττώνεται η παραγόμενη ποσότητα ιλύος λόγω αδρανοποίησής της.

✦ **Μη βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά:** Στις μη βιοδιασπάσιμες οργανικές ενώσεις περιλαμβάνονται διάφορα προϊόντα της χημικής βιομηχανίας (λ.χ. χρώματα, απορρυπαντικά, οργανικοί διαλύτες), κυτταρίνες, λιγνίνες, καθώς και φαινόλες (λ.χ. βιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα ελαιουργείων).

✦ **Θρεπτικά συστατικά:** Ως θρεπτικά συστατικά των υγρών αποβλήτων νοούνται τα ανόργανα άλατα του αζώτου (N), του φωσφόρου (P) και του θείου (S). Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τα θρεπτικά συστατικά ως τροφή και με σκοπό να συνθέσουν πρωτεΐνες και πεπτίδια.

✦ **Τοξικές ουσίες:** Στα τοξικά συστατικά των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνονται ορισμένες ανόργανες ενώσεις, θειούχα στοιχεία, χρωμικά άλατα, το αρσενικό (As), το σελήνιο (Se), το αντιμόνιο (Sb), το τελούριο (Te), καθώς και κάποιες οργανικές ενώσεις (π.χ. κυανιούχα στοιχεία, φαινόλες, οργανοφωσφορικές ενώσεις).

✦ **Βαρέα μέταλλα:** Ρυπαντές στα υγρά απόβλητα θεωρούνται τα μέταλλα υδράργυρος (Hg), μόλυβδος (Pb), κάδμιο (Cd), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), ψευδάργυρος (Zn), κασσίτερος (Sn), κοβάλτιο (Co) κ.α. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται στις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων (ΜΕΛ) για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων αφορούν στην κατακρήμνισή τους, στην προσρόφησή τους σε εξωκυτταρικά πολυμερή, στην απορρόφηση και συγκράτησή

τους από κύτταρα και στη μετατροπή τους σε πτητικές μορφές. Η κατακρήμνιση των βαρέων μετάλλων επιτυγχάνεται είτε με καθίζηση του κατακρημνίσματος είτε με πρόσληψη από ένα συσσωμάτωμα ενεργών μικροβίων (βιοκροκίδα).

✦ **Ανόργανα υλικά:** Τα ανόργανα υλικά που αποτελούν ρυπαντικά φορτία των υγρών αποβλήτων είναι τα βαρέα μέταλλα, οι ανόργανες τοξικές ουσίες και τα θρεπτικά άλατα.

Οι πλέον ευαίσθητες περιοχές υποδοχής ανεπεξέργαστων αποβλήτων είναι τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για άντληση πόσιμου νερού, οι φυσικές λίμνες γλυκού νερού, οι εκβολές ποταμών, οι όρμοι και οι παράκτιες περιοχές. Αυξημένη επικινδυνότητα, δηλαδή, υφίσταται σε περιοχές όπου εμφανίζεται ασθενής ανανέωση του νερού ή αποβάλλονται σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών. Μερικές επιπτώσεις από την απόρριψη ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι οι εξής (Λαγούδη, 2012):

✦ **Η αερόβια αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων μειώνει σημαντικά τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στον υδάτινο αποδέκτη και δημιουργεί κίνδυνο για τη διατήρηση της υφιστάμενης βιοποικιλότητας.**

✦ **Τα τελικά προϊόντα της αναερόβιας αποικοδόμησης είναι δύσσομα, τοξικά και εκρηκτικά και επηρεάζουν την υγεία φυτών και ζώων:** Για το λόγο αυτό, είναι επιθυμητό τα υγρά απόβλητα να αποικοδομούνται υπό αερόβιες συνθήκες.

✦ **Ρυπαντές, όπως αιωρούμενα χρωστικά ή αφρίζοντα υλικά, προκαλούν μείωση της διαφάνειας των νερών, αισθητική όχληση, αλλά και ρύπανση.**

✦ **Η απουσία των θρεπτικών συστατικών οδηγεί σε περιορισμό του πληθυσμού των μικροοργανισμών, ενώ η περίσσειά τους σε υπερανάπτυξη του πληθυσμού τους και εμφάνιση προβλημάτων ευτροφισμού στα υδάτινα οικοσυστήματα.**

✦ **Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) είναι τοξική για τα ψάρια.**

✦ **Το βόριο (B), που ανήκει στα βαρέα μέταλλα, δεν συγκρατείται από το έδαφος και μπορεί να μολύνει πολύ εύκολα και ένα υπόγειο υδροφόρο σύστημα.**

✦ **Οι μη βιοαποικοδομήσιμες τοξικές ουσίες συσσωρεύονται στα ιζήματα των λιμνών και των θαλασσών και έχουν μακροχρόνια επιβλαβή δράση.**

✦ **Ειδικά για την Ελλάδα, τα υγρά απόβλητα των ελαιτριβείων θεωρούνται ισχυρά βιομηχανικά απόβλητα και αποτελούν κύρια αιτία ρύπανσης.**

Όσον αφορά στο έδαφος, η απόρριψη ανεπεξέργαστων αποβλήτων σε αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον εμποτισμό του με ανεπιθύμητα συστατικά, καθιστώντας το ακατάλληλο για καλλιέργεια. Επιπλέον, η κατανάλωση αγροτικών προϊόντων που προέρχονται από ρυπασμένα εδάφη μπορεί να αποβεί επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία.

Ο Πίνακας 1.11 παρουσιάζει συνοπτικά τις διαδεδομένες μεθόδους επεξεργασίας του νερού, ενώ ο Πίνακας 1.12 παρουσιάζει την οικονομική αποτίμηση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας του νερού.

**Πίνακας 1.11:** Οι μέθοδοι επεξεργασίας του νερού (OCWP, 2010)

Κριτήριο ποιότητας	Επεξεργασία
Ελάχιστη αποδεκτή ποιότητα των υπόγειων νερών χωρίς την επίδραση των επιφανειακών	Απολύμανση με αέριο χλώριο (Cl) ή υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl)
Υπόγεια νερά που επηρεάζονται από επιφανειακά	Φίλτρα πίεσης ή μικρο-φίλτραση και χλωρίωση ή απολύμανση με χρήση υπεριώδους

	ακτινοβολίας
Βασική απαίτηση επεξεργασίας των επιφανειακών νερών από θολότητα, οργανικά συστατικά, <i>Giardia</i> , βακτήρια και ιούς	Συμβατική μέθοδος: Πήξη, κροκίδωση, διύλιση, διήθηση, απολύμανση
Επιφανειακά νερά υψηλής θολότητας οδηγούν σε σημαντικές φορτίσεις με στερεά	Συμβατική μέθοδος: Πήξη, κροκίδωση, διύλιση, διήθηση, απολύμανση
Επιφανειακά νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά, σίδηρο (Fe) και μαγγάνιο (Mn) οδηγούν σε υψηλή χημική φόρτιση και σκληρό νερό	Προηγμένη πήξη, μείωση του pH, κροκίδωση καθίζηση, διήθηση, απολύμανση, ρύθμιση του pH: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Κροκίδωση/Μέθοδοι διύλισης</li> <li>■ Φίλτραση</li> </ul>
Επιφανειακά νερά με προβλήματα στη γεύση και την οσμή/Υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά που οδηγεί σε υψηλά επίπεδα υποπροϊόντων απολύμανσης/Υψηλές συγκεντρώσεις <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> και τοξίνες των αλγών	Συμβατική μέθοδος με προηγμένη οξείδωση (οζόνωση, υπεριώδης ακτινοβολία)/ Πήξη, κροκίδωσης, διήθηση, απολύμανση με όζον
Επιφανειακά σκληρά νερά	Συμβατική μέθοδος βασισμένη στην άσβεστο
Υπόγεια νερά με οργανικούς ή ανόργανους ρυπαντές	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)/Ενεργός άνθρακας (GAC)/Air stripping/Προηγμένη οξείδωση</li> <li>■ Συνθετικά οργανικά χημικά (SOCs)/Ενεργός άνθρακας (GAC)/Air stripping/Προηγμένη οξείδωση</li> <li>■ Αρσενικό (As)/Υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου (Fe(OH)<sub>3</sub>)</li> <li>■ Νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/Ιοντοανταλλαγή</li> <li>■ Υπερχλωρικά άλατα/Ιοντοανταλλαγή</li> <li>■ Σελήνιο (Se)/Ιοντοανταλλαγή</li> </ul> Ραδιονουκλεΐδια/ Ιοντοανταλλαγή και κατακρήμνιση
Υπόγεια σκληρά νερά	Ιοντοανταλλαγή ή κατακρήμνιση με χρήση ασβέστου
Υπόγεια νερά με αυξημένα οργανικά συστατικά και μη φυσιολογικό χρώμα	Νανοφίλτραση ή ιοντοανταλλαγή
Γεώτρηση υπόγειων νερών με σημαντική περιεκτικότητα σε ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) και νιτρικά άλατα	LPRO/EDR/Ανάμειξη
Σημαντικά υποβαθμισμένα επιφανειακά νερά ή ανακτημένα υγρά απόβλητα	Συμβατική μέθοδος/LPRO/Υπεριώδης ακτινοβολία/Corrosion control/Απολύμανση

**Πίνακας 1.12:** Οικονομικά στοιχεία για τις διάφορες διεργασίες επεξεργασίας του νερού (OCWP, 2010)

Μέθοδος επεξεργασίας	Κατασκευαστικό κόστος σε επίπεδο σχεδιασμού χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η αποθήκευση του επεξεργασμένου νερού και το αντλιοστάσιο (\$/γαλόνια/ημέρα)	Λειτουργικό κόστος χωρίς να συμπεριλαμβάνονται κόστη δικαιωμάτων στο νερό, τα πάγια έξοδα διαχείρισης, η ασφάλιση και το κόστος άντλησης στο σύστημα διανομής (\$/εκατομμύρια γαλόνια που προκύπτουν από την επεξεργασία)
Υπόγειες γεωτρήσεις και απολύμανση	0,20 έως 0,30	60
Υπόγειες γεωτρήσεις και διήθηση με ενεργό άνθρακα	0,40 έως 0,50	170
Υπόγειες γεωτρήσεις και ιοντοανταλλαγή	0,40 έως 0,80	100 έως 600
Υπόγειες γεωτρήσεις και αντίστροφη όσμωση	1,40 έως 3,00	500 έως 1000
Πήξη, φίλτραυση και απολύμανση επιφανειακών νερών	1,50 έως 3,00	100 έως 400
Καθίζηση (επιφανειακά νερά)	2,00 έως 4,00	200 έως 500
Μικροδιήθηση ή υπερδιήθηση (επιφανειακά νερά)	1,50 έως 3,00	300 έως 700
Προηγμένη πήξη (επιφανειακά νερά)	2,00 έως 4,00	400 έως 700
Χρήση ασβέστου (επιφανειακά νερά)	2,00 έως 4,00	400 έως 700
Προηγμένη πήξη και ενεργός οξείδωση (επιφανειακά νερά)	3,00 έως 5,00	600 έως 900
Μικροδιήθηση ή υπερδιήθηση, αντίστροφη όσμωση, προσαρμογή του pH και χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας	5,00 έως 7,00	1500 έως 3000

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ II: Τα χαρακτηριστικά και η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

### Εισαγωγή

Από τις κατηγορίες νερού υποβαθμισμένης ποιότητας που είναι δυνατό να αξιοποιηθούν σε εργασίες T.E. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων-επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, όμβρια νερά και αρδευτικό νερό-τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θεωρούνται τα πιο «συνεπή» χωρικά και χρονικά από άποψη ποσότητας και ποιότητας. Εξαιρέση σε αυτόν το γενικό κανόνα αποτελούν οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει ανάμιξη αστικών υγρών αποβλήτων με όμβρια νερά ή όταν υφίσταται περιοδική τροφοδότησή τους με εκροές βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Σε σχέση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων έχει αναπτυχθεί εκτεταμένη βιβλιογραφία. Ανάμεσα στα επικίνδυνα (για τα φυσικά οικοσυστήματα και τη δημόσια υγεία) συστατικά τους περιλαμβάνονται οργανικές ενώσεις, ενώσεις αζώτου (N) και φωσφόρου (P), παθογόνοι μικροοργανισμοί και αιωρούμενα στερεά (SS). Οι παράμετροι αυτές εξετάζονται όταν διατίθενται υγρά απόβλητα στο γεωπεριβάλλον ή κατά το σχεδιασμό επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκρών ΕΕΛ ως νερού T.E. (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994).

Οι μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων εφαρμόζονται με σκοπό την ασφαλή διάθεση των αποβλήτων στο περιβάλλον ή την επίτευξη συγκεκριμένων προδιαγραφών ποιότητας για τη χρήση των αποβλήτων σε εφαρμογές επαναφόρτισης υπόγειων νερών. Ωστόσο, όταν έχει χρησιμοποιηθεί χλωρίνη ως μέσο απολύμανσης κατά τον καθαρισμό των αποβλήτων, πιθανόν να εμφανίζονται ανεπιθύμητα παραπροϊόντα στο νερό, τα οποία να το καθιστούν ακατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση σε ορισμένες υδατικές καταναλώσεις. Μέχρι σήμερα, στην Ελλάδα, οι επεξεργασμένες εκροές ΕΕΛ διατίθενται κυρίως σε φυσικούς αποδέκτες (θάλασσα 45%, ποταμούς 12%, χειμάρρους 32%, έδαφος 7%, άλλους 4%) (Χαρτζουλάκης και Μπερτάκη, 2009).

Αναφορικά με την απορροή του όμβριου ύδατος που προέρχεται από κατοικημένες περιοχές αξίζει να επισημανθεί ότι είναι καλής ποιότητας, αλλά η ποσότητά του κρίνεται εξαιρετικά ασταθής. Τέλος, το αρδευτικό νερό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις όσον αφορά στην ποιότητα και ποσότητά του συγκρινόμενο με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και τα όμβρια νερά (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994).

### 2.1. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ως εναλλακτική πηγή νερού

Οι πολύ σοβαρές επιπτώσεις της διάθεσης ανεπεξέργαστων αποβλήτων στο γεωπεριβάλλον, οι οποίες περιλαμβάνουν την ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων, τη ρύπανση ακτών και θαλασσών, τις διάφορες μολύνσεις από τη μεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό, την υποβάθμιση των αστικών, κυρίως, περιοχών, τη δημιουργία αισθητικών προβλημάτων κ.α., καθώς και η δημογραφική

έκρηξη, η ανισοκατανομή των υδατικών πόρων και οι περιοδικές λειψυδρίες καθιστούν επιτακτική τη λήψη δραστικών διαχειριστικών μέτρων με σκοπό την προστασία των φυσικών αποδεκτών, των οικοσυστημάτων τους και της δημόσιας υγείας. Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων, λοιπόν, εμπερικλείει την κάθε σκόπιμη ανθρώπινη επέμβαση σε αυτά, από τη στιγμή της παραγωγής τους μέχρι την τελική τους διάθεση σε κάποιον φυσικό αποδέκτη (ή την επαναχρησιμοποίησή τους) θέτοντας ως στόχους (Αγγελάκης, 1989):

✦ **Τον περιορισμό, τον έλεγχο ή την εξάλειψη της επιζήμιας δράσης των αποβλήτων στο περιβάλλον.**

✦ **Τον προσδιορισμό εναλλακτικών πηγών νερού, οι οποίες θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη υδατικών αναγκών.**

✦ **Την επίτευξη ορισμένου οικονομικού οφέλους τροφοδοτώντας με νερό και θρεπτικά στοιχεία φυτά ή δέντρα τα οποία θα ήταν κατάλληλα για αγροτική εκμετάλλευση και ανάπτυξη χώρων πρασίνου.**

Οι εκροές των μονάδων επεξεργασίας που απολήγουν σε υδάτινους ή χερσαίους αποδέκτες μπορεί να είναι μια πηγή αξιοποίησης υδατικού δυναμικού, το οποίο μέχρι σήμερα έχει μείνει πρακτικά ανεκμετάλλευτο. Η πρόοδος της τεχνολογίας, που έχει επιτρέψει να αναπτυχθούν όλα τα απαιτούμενα (φυσικά και τεχνητά) συστήματα μετατροπής νερού με πολύ υποβαθμισμένη ποιότητα σε νερό κατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση (οικιακή, αγροτική, βιομηχανική), καθιστά την άποψη αυτή περισσότερο ρεαλιστική.

Ωστόσο, η έλλειψη μέχρι πρόσφατα σε εθνικό, αλλά και ευρωπαϊκό επίπεδο, ενός θεσμικού πλαισίου στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων δυσχέραινε την ανωτέρω δυνατότητα, αλλά επέβαλλε την ιστορική αναδρομή, επισκόπηση και κριτική παρουσίαση της διεθνούς νομοθεσίας στον τομέα αυτό (Οδηγίες του ΠΟΥ, του FAO, της EPA και της Πολιτείας της Καλιφόρνια, νομοθεσία των χωρών της Νοτίου Μεσογείου, της Μέσης Ανατολής και άλλων χωρών με εμπειρία σε θέματα επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού). Στην Ελλάδα, η ΚΥΑ 145116 με τίτλο «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις» αποτελεί ένα βασικό βήμα για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων.

Μια πρόσθετη τροχοπέδη στην αξιοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ως εναλλακτικής πηγής νερού είναι η πολυπλοκότητα της σχετικής διαδικασίας, στην οποία οφείλουν να συνυπολογίζονται ποικίλλοι παράγοντες όπως:

✦ **Η ποιότητα του πόσιμου νερού και κατ' επέκταση ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία.**

✦ **Η παροχή (όγκος, εκροή) των αποβλήτων.**

✦ **Οι ρύποι που περιλαμβάνονται στα απόβλητα.**

✦ **Οι διαθέσιμες τεχνικές καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.**

## 2.2. Τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Η επεξεργασία ή ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων αποτελεί τη διαδικασία διαχωρισμού της εισροής των μονάδων επεξεργασίας στα συστατικά της στοιχεία με απομάκρυνση των επιβλαβών ουσιών και μικροοργανισμών και διάθεσή τους



στο γεωπεριβάλλον, ώστε να προστατευθούν τα φυσικά οικοσυστήματα και η δημόσια υγεία ή να επαναχρησιμοποιηθούν για πότισμα ορισμένων ειδών φυτών, για συντήρηση χώρων πρασίνου, για ικανοποίηση αναγκών της βιομηχανίας, για προστασία υπόγειων υδροφόρων συστημάτων από το φαινόμενο της υφαλμύρισης κ.α. Τα απόβλητα μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις καθαρισμού μέσω δικτύου υπονόμων ή με ειδικά βυτιοφόρα οχήματα. Η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση των φυσικών και τεχνητών συστημάτων επεξεργασίας εξασφαλίζεται με την κατάλληλη διαμόρφωσή τους, την εγκατάσταση του κατάλληλου εξοπλισμού και το διαρκή έλεγχο των συνθηκών καθαρισμού (λ.χ. πιθανοί αυτοματισμοί). Έτσι, υφίστανται τρία βασικά στάδια καθαρισμού (πρωτοβάθμιος καθαρισμός, δευτεροβάθμιος ή βιολογικός καθαρισμός, τριτοβάθμιος καθαρισμός) με τον υψηλότερο βαθμό επεξεργασίας να επιτυγχάνεται κατά τον τριτοβάθμιο καθαρισμό (Κρομμύδας, 2005, Αλμπανέλλης, 2007).

Ο διαχωρισμός επιβλαβών και μη ενώσεων γίνεται με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Η ΕΕΛ, στην οποία συντελείται απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου από την εισροή με βιοτεχνολογικές μεθόδους, έχει καθιερωθεί να ονομάζεται βιολογικός καθαρισμός. Η βασική αρχή η οποία διέπει τη λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού είναι ο μετασχηματισμός των περιεχόμενων στα υγρά απόβλητα οργανικών και ανόργανων ενώσεων, δηλαδή των ρύπων, με μεταβολικές διαδικασίες και με τα φαινόμενα της προσρόφησης και επιρρόφησης σε κύτταρα και εξωκυτταρικές ουσίες που έχουν την τάση να συσσωματώνονται, οπότε και σχηματίζεται νέα κυτταρική βιομάζα. Κατά συνέπεια το πολυφασικό μείγμα των αποβλήτων (απόνερα) μετατρέπεται σε διφασικό (βιομάζα, εκροή καθαρού νερού) και μέσω τεχνικών διαύγασης επιτρέπεται ο εύκολος διαχωρισμός των δύο φάσεων (Αλμπανέλλης, 2007).

### **2.2.1. Πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία**

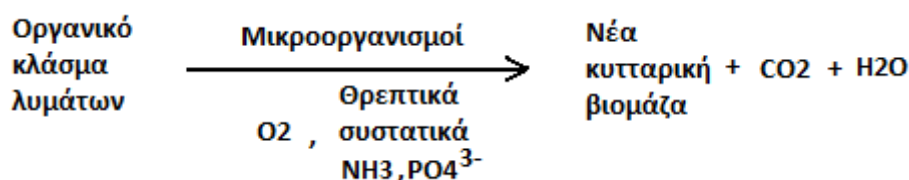
Στο στάδιο της προεπεξεργασίας με τις μεθόδους της εσχάρωσης, της κοσκίνισης, του αμμο-διαχωρισμού και του ελαιο-διαχωρισμού απομακρύνονται τα ογκώδη αντικείμενα που περιέχονται στα υγρά απόβλητα, τα λίπη και τα έλαια. Κατόπιν, λαμβάνει χώρα η κύρια επεξεργασία, κατά την οποία διαχωρίζεται το μεγαλύτερο κλάσμα (2/3) των αιωρούμενων στερεών (SS) και ένα κλάσμα οργανικού υλικού (1/3). Η κύρια επεξεργασία δύναται να είναι χημική (εξουδετέρωση ή προσθήκη χημικών ενώσεων), φυσική (καθίζηση) ή συνδυασμός των ανωτέρω διεργασιών. Ο κύριος καθαρισμός πραγματοποιείται σε ορθογωνικές ή κυλινδρικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), όπου σχηματίζεται η πρωτοβάθμια ιλύς (λάσπη) από τα καθιζάνοντα στερεά που απομακρύνεται με αντλίες και η εκροή που συνήθως υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία. Εάν δεν ακολουθεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, η πρωτοβάθμια εκροή οφείλει να υποστεί χλωρίωση σε ειδικές μονάδες. Η πρωτοβάθμια ιλύς σταθεροποιείται και αδρανοποιείται με αερόβια ή αναερόβια χώνευση σε έναν χωνευτή. Στο στάδιο του πρωτοβάθμιου καθαρισμού επιτυγχάνεται έως και 40% καθαρισμός σε μονάδες βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD).

### **2.2.2. Δευτεροβάθμια ή βιολογική επεξεργασία**

Το στάδιο της δευτεροβάθμιας κατεργασίας ή του βιολογικού καθαρισμού στοχεύει στην αφαίρεση των διαλυμένων στα υγρά απόβλητα οργανικών ενώσεων (βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου, BOD) με αποικοδόμησή τους από μικροοργανισμούς. Κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία απομακρύνονται επίσης τα αιωρούμενα στερεά (κυρίως η παραγόμενη βιομάζα ή αιωρούμενα στερεά (SS)), με την εφαρμογή της δευτεροβάθμιας καθίζησης, καθώς και τα κολοβακτηρίδια και οι ενώσεις αζώτου (N) και φωσφόρου (P) σε ορισμένες εφαρμογές. Στο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας επιτυγχάνεται 95% βαθμός καθαρισμού σε μονάδες βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD).

Ο δευτεροβάθμιος ή βιολογικός καθαρισμός των υγρών αποβλήτων δύναται να είναι:

■ **Αερόβιος:** Η διαδικασία (Σχήμα 2.1) λαμβάνει χώρα σε δοχεία ή επιφάνειες αερισμού, όπου με ανάδευση από τα οργανικά απόβλητα με χρήση ενέργειας και βιομάζας (μικροοργανισμών) παράγονται νέα προϊόντα (κυτταρική βιομάζα, μη βιαδιασπώμενες ενώσεις κ.α.).



**Σχήμα 2.1:** Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων υπό αερόβιες συνθήκες

■ **Αναερόβιος:** Η αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων ονομάζεται και ζύμωση και επιλέγεται συνήθως ως μέθοδος χώνευσης της ιλύος των δεξαμενών καθίζησης και επεξεργασίας πυκνών βιομηχανικών ή άλλων αποβλήτων. Οι μικροοργανισμοί της αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας (Σχήμα 2.2) είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι (λ.χ. αρχαιοβακτήρια, μεθανοβακτήρια) και επιτυγχάνουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης (χρόνος υποδιπλασιασμού από 3 έως 50 ημέρες). Υπάρχουν επίσης μύκητες και πρωτόζωα.

Η αναερόβια αποικοδόμηση πραγματοποιείται σε δύο φάσεις. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια υδρολύουν και διασπούν τις σύνθετες οργανικές ενώσεις παράγοντας οργανικά οξέα. Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης, αναερόβια βακτήρια μετατρέπουν τα οργανικά οξέα σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους βιολογικής επεξεργασίας περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Παραγωγή βιοαερίου (CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>).
- Εξοικονόμηση ενέργειας, διότι τα αναερόβια συστήματα λειτουργούν χωρίς αερισμό.

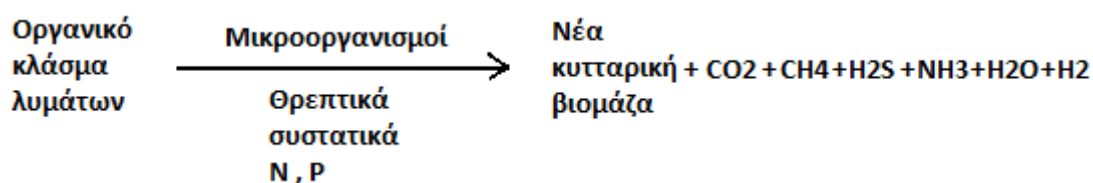
□ Ικανοποιητική απόδοση του συστήματος χωρίς να υφίσταται οποιοσδήποτε περιορισμός όσον αφορά στη συγκέντρωση του οργανικού κλάσματος εντός της δεξαμενής ή μεγάλη απαίτηση σε θρεπτικά συστατικά (N, P).

□ Ανθεκτικότητα των μικροοργανισμών απουσία τροφής για σημαντικό χρονικό διάστημα.

□ Ικανότητα απομάκρυνσης των δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων (λ.χ. κυτταρίνης).

□ Χαμηλή παραγωγή ιλύος εξασφαλίζοντας εξοικονόμηση χρημάτων.

□ Απουσία εμφάνισης οχλήσεων (λ.χ. δυσσομίας, εντόμων, θορύβου), εφόσον η διεργασία λαμβάνει χώρα εντός κλειστών δεξαμενών.



**Σχήμα 2.2:** Η αναερόβια δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

Σε σχέση με τα τρωτά σημεία της μεθόδου μπορούν να επισημανθούν τα εξής:

□ Απαίτηση μεγάλου χρονικού διαστήματος μέχρι την έναρξη της επεξεργασίας (από 8 έως 12 εβδομάδες).

□ Μικρός ρυθμός εξέλιξης της διεργασίας.

□ Υψηλή ευαισθησία της διεργασίας στη μεταβολή του pH, η οποία προκαλείται από πλήθος ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα (μέταλλα, χλωριωμένους υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά με ανιόντα).

□ Υψηλή ευαισθησία των μικροοργανισμών που επιτελούν την παραγωγή μεθανίου σε πολλές τοξικές ενώσεις.

□ Οι μεγάλες κλειστές δεξαμενές επιφέρουν μεγάλους χρόνους παραμονής των υγρών αποβλήτων στο σύστημα.

□ Παραγωγή υδρόθειου (H<sub>2</sub>S) από μικροοργανισμούς οι οποίοι ανάγουν το θείο (S).

□ Παραγωγή θειούχων ανιόντων (S<sub>2</sub><sup>-</sup>), τα οποία ευνοούν μεν τη δημιουργία θειούχων αλάτων (συνεπώς την καθίζησή τους και απομάκρυνσή τους, εφόσον πρόκειται για ενώσεις με μικρής διαλυτότητα), συγχρόνως δε, δρουν αρνητικά στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών, διότι δημιουργούν όξινο περιβάλλον στη δεξαμενή προκαλώντας ελάττωση των τιμών του pH.

✦ **Συνδυασμός αερόβιου-αναερόβιου:** Ο μικτός καθαρισμός των υγρών αποβλήτων με συνδυασμό αερόβιων και αναερόβιων συνθηκών επιτελείται σε δεξαμενές σταθεροποίησης ικανού βάθους, ώστε να εξασφαλίζεται η επικράτηση αερόβιων συνθηκών στο ανώτερο τμήμα τους το οποίο βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια και έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) της ατμόσφαιρας (ή το παραγόμενο από φυτά μέσω της φωτοσυνθετικής αντίδρασης οξυγόνο (O<sub>2</sub>)) και σε μεγάλο βάθος αναερόβιων συνθηκών, καθώς δεν διεισδύει η ηλιακή ακτινοβολία.

Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει τη συγκέντρωση ρύπων στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα και κατόπιν πρωτοβάθμιας καθίζησης.

**Πίνακας 2.1:** Η συγκέντρωση ρύπων στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα ύστερα από την πρωτοβάθμια καθίζηση (Νταρακάς, 2010)

Παράμετρος	Ρυπαντικό φορτίο ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων (gr/K/ημέρα)	Ρυπαντικό φορτίο κατόπιν πρωτοβάθμιας καθίζησης (gr/K/ημέρα)	
		0,5 έως 1hr	1,5 έως 2hr
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5)	60	45	40
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	120	90	80
Συνολικά στερεά (TS)	70	35	25
Αμμωνία (NH <sub>3</sub> ) και ολικό οργανικό άζωτο (TKN)	11	10	10
Σύνολο φωσφόρου (TP)	1,8	1,6	1,6

### **2.2.3. Τριτοβάθμια χημική ή προχωρημένη επεξεργασία**

Το στάδιο του τριτοβάθμιου καθαρισμού επιδιώκει κυρίως την αφαίρεση των ενώσεων αζώτου (N) και φωσφόρου (P), οι οποίες αποτελούν θρεπτικά συστατικά των μικροβίων, ώστε η τριτοβάθμια εκροή να μπορεί να διατεθεί σε ευαίσθητα υγρά οικοσυστήματα χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις ή να επαναχρησιμοποιηθεί. Βασικοί στόχοι του σταδίου είναι επίσης η αξιοποίηση των προϊόντων της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, η τελική διάθεσή τους, αλλά και η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων, των τοξικών συστατικών και των παθογόνων μικροοργανισμών, πραγματοποιώντας χλωρίωση. Λόγω του υψηλού κόστους εξοπλισμού που απαιτείται, η τριτοβάθμια επεξεργασία δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Ένα σύστημα διαύγασης-απολύμανσης υγρών αποβλήτων συνίσταται από τις εξής διαδικασίες:

- ✦ **Κροκίδωση-Συσσωμάτωση με χρήση χημικών (150mg/L θειικού αργιλίου (Al) και 0,2 mg/L πολυμερών).**
- ✦ **Καθίζηση.**
- ✦ **Φίλτραση.**
- ✦ **Χλωρίωση (χρόνος απολύμανσης 2hr και συγκέντρωση υπολειμμάτων χλωρίου (Cl<sub>2</sub>) 1mg/L).**

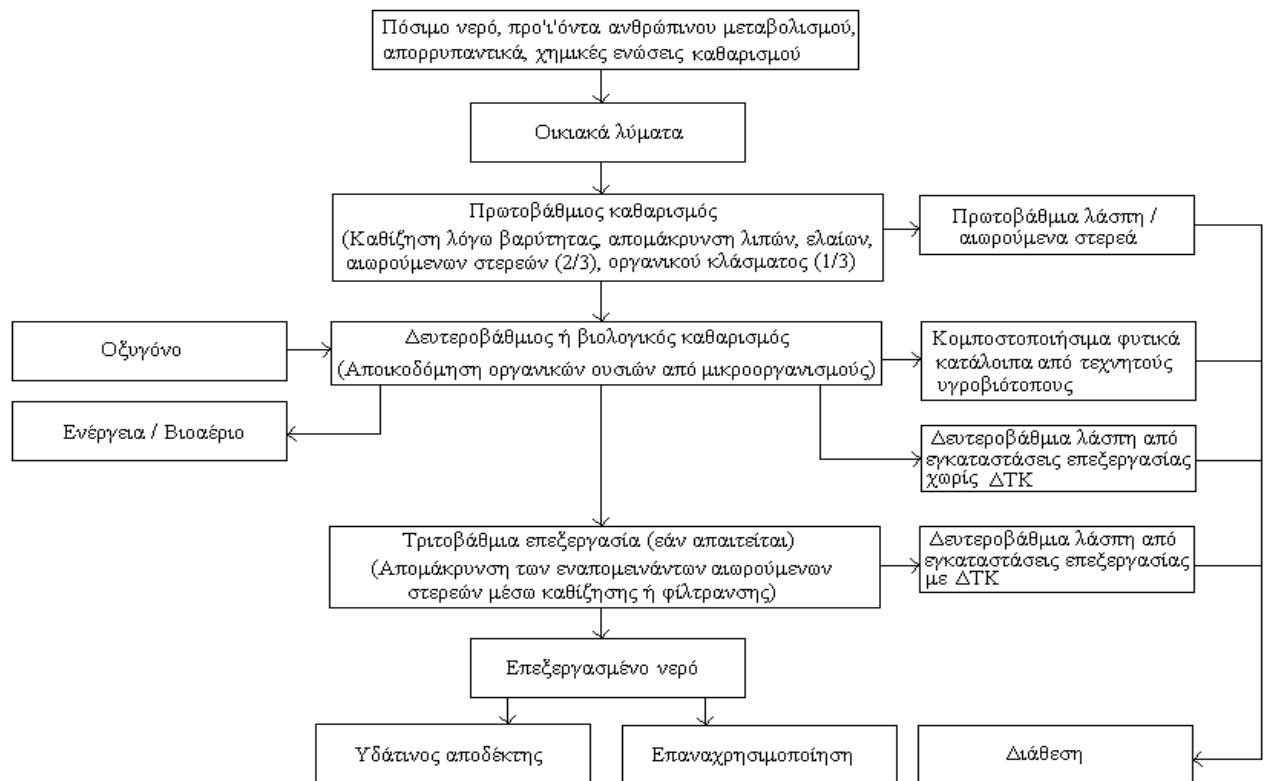
Ο Πίνακας 2.2 που ακολουθεί περιγράφει συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των διάφορων ειδών φίλτρων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

**Πίνακας 2.2:** Τα χαρακτηριστικά των φίλτρων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (EPA, 2012)

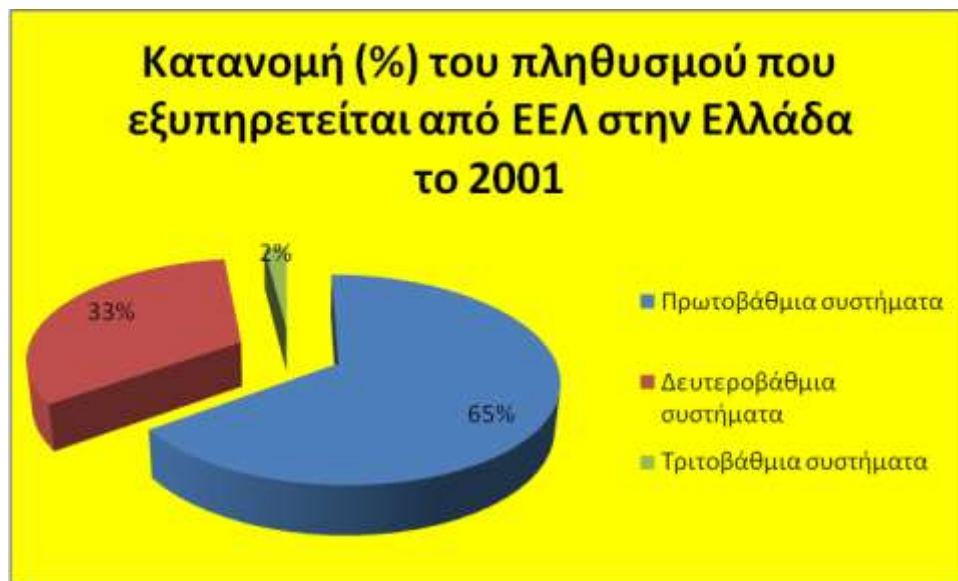
Κατηγορία φίλτρου	Κινητήρια δύναμη της διήθησης	Ονομαστική διάμετρος οπών ( $10^{-6}$ m)	Ρυπαντές-στόχοι της επεξεργασίας
<b>Βάθος</b>			
Ασυμπιεστο μέσο	Βαρύτητα ή διαφορική πίεση	60 έως 300	Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), θολότητα, ορισμένες ωκύστες και κύστες πρωτόζωων
Συμπιεστό μέσο	-	-	-
<b>Επιφανειακή διήθηση</b>			
Επιφανειακή διήθηση	Βαρύτητα	5 έως 20	Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), θολότητα, ορισμένες ωκύστες και κύστες πρωτόζωων
<b>Μεμβράνες</b>			
Μικροδιήθηση	Διαφορική πίεση	0,05	Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), θολότητα, ορισμένες ωκύστες και κύστες πρωτόζωων, ορισμένα βακτήρια, ορισμένοι ιοί
Υπερδιήθηση	Διαφορική πίεση	0,002 έως 0,05	Μακρομόρια, κολλοειδή, τα περισσότερα βακτήρια, ορισμένοι ιοί, πρωτεΐνες
Νανοδιήθηση	Διαφορική πίεση	<0,002	Μικρά μακρομόρια, σκληρότητα, ιοί
Αντίστροφη όσμωση	Διαφορική πίεση	<0,002	Πολύ μικρά μακρομόρια, χρώμα, σκληρότητα, θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ), νιτρικά ιόντα ( $NO_3^-$ ), άλλα ιόντα, νάτριο (Na)

Σε μικρές αποκεντρωμένες ΜΕΛ η εφαρμογή τριτοβάθμιου καθαρισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της εφαρμογής ενός συνδυασμού της μεθόδου προσκολλημένης βιομάζας, των τεχνητών υγρότοπων κατακόρυφης ροής και της υπεδάφιας διάθεσης αποβλήτων. Οι απαιτήσεις μιας τέτοιας διάταξης όσον αφορά την έκταση γης είναι  $0,8m^2$  ανά ισοδύναμο κάτοικο (ΙΚ), ενώ το σύστημα παρουσιάζει ικανοποιητική απόδοση.

Η διαδικασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχήμα 2.3. Το Σχήμα 2.4 παρουσιάζει την κατανομή των ΜΕΛ ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας σε πληθυσμιακή βάση για την Ελλάδα το έτος 2001.



Σχήμα 2.3: Τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Λαγούδη, 2012)



Σχήμα 2.4: Κατανομή του πληθυσμού που εξυπηρετείται από ΕΕΛ ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα το έτος 2001 (<http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ III: Διαδεδομένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

### Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, σε παγκόσμιο επίπεδο, παρατηρείται μια αυξανόμενη ευαισθητοποίηση σε σχέση με τα περιβαλλοντικά ζητήματα, η οποία, τελικά, καταλήγει στη θέσπιση ολοένα και αυστηρότερων διατάξεων περιβαλλοντικής προστασίας (Λαγούδη, 2012). Μέσα σε αυτό το πλαίσιο πολιτικής περιβάλλοντος, τα έργα αποχέτευσης και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατέχουν καίρια θέση, εφόσον θέτουν ως στόχο την αποτελεσματική και οικονομική απομάκρυνση των ακαθάρτων νερών και την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου καθαρισμού τους, ώστε η εκροή των ΕΕΛ να διατίθεται ακίνδυνα στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα (Αραβώσης κ.α., 2003). Η εξέλιξη της επιστήμης και η πρόοδος της τεχνολογίας είναι οι παράγοντες οι οποίοι ουσιαστικά συνετέλεσαν στην ανάπτυξη πλήθους εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αρχικά προς ικανοποίηση των αναγκών της κεντρικής διαχείρισης και σήμερα προς τη στροφή στις μικρές αποκεντρωμένες ΜΕΛ.

Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα, η διαχείριση των υγρών αποβλήτων εξυπηρετείται από εκτεταμένα δίκτυα συλλογής και μεταφοράς ακαθάρτων νερών τα οποία τροφοδοτούν κεντρικές ΜΕΛ. Οι κατεξοχήν μέθοδοι κατεργασίας των απόνερων είναι η ενεργός ιλύς και ο παρατεταμένος αερισμός. Η λογική αυτή σιγά-σιγά εγκαταλείπεται και αρχίζουν να χρησιμοποιούνται τα μικρά αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης σε συνδυασμό με φυσικές μεθόδους κατεργασίας και επαναχρησιμοποίηση των τελικών εκροών. Η αποκεντρωμένη διαχείριση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική σε χώρες του εξωτερικού (Γαλλία, Αυστραλία, Κίνα, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής) και μπορεί να έχει εφαρμογή σε μεμονωμένες κατοικίες, συγκροτήματα κατοικιών, δημόσιες υπηρεσίες, εμπορικές εγκαταστάσεις, βιομηχανικά πάρκα, μικρές κοινότητες ή ομάδες κοινοτήτων.

Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος καθαρισμού σε κάθε περίπτωση οφείλει να λαμβάνει υπόψη διάφορα κριτήρια μεταξύ των οποίων (Νουτσόπουλος, 2012):

- Τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας ή την ποιότητα της εκροής.
- Την ευελιξία στις διακυμάνσεις των παροχών και του ρυπαντικού φορτίου.
- Την απαιτούμενη έκταση γης για την εγκατάσταση των μονάδων.
- Το οικονομικό κόστος (κατασκευαστικό, λειτουργικό και συντήρησης).
- Την πολυπλοκότητα του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, τους απαιτούμενους αυτοματισμούς, τα απαιτούμενα συστήματα παρακολούθησης, τη διαθεσιμότητα της τεχνογνωσίας.
- Τη δημιουργία περιβαλλοντικών οχλήσεων.
- Τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της εκροής ή τον τελικό αποδέκτη.
- Την αναγκαιότητα διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος.
- Το μέγεθος του εξυπηρετούμενου πληθυσμού.
- Τις πιθανές κοινωνικές αντιδράσεις.
- Τη χρήση χημικών.

Στη σύγχρονη εποχή, τα πλέον διαδεδομένα συστήματα καθαρισμού, λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω κριτήρια, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες' τα συστήματα που εφαρμόζονται σε συνδυασμό με αποχετευτικό δίκτυο και τα ιδιωτικά συστήματα.

### 3.1. Συστήματα σε συνδυασμό με δίκτυο αποχέτευσης

Οι ΜΕΛ, οι οποίες εφαρμόζονται από κοινού με αποχετευτικό δίκτυο, περιλαμβάνουν τις ακόλουθες τεχνολογίες:

#### **3.1.1. Σύστημα ενεργού ιλύος (Activated Sludge System)**

##### **3.1.1.1. Αρχές λειτουργίας**

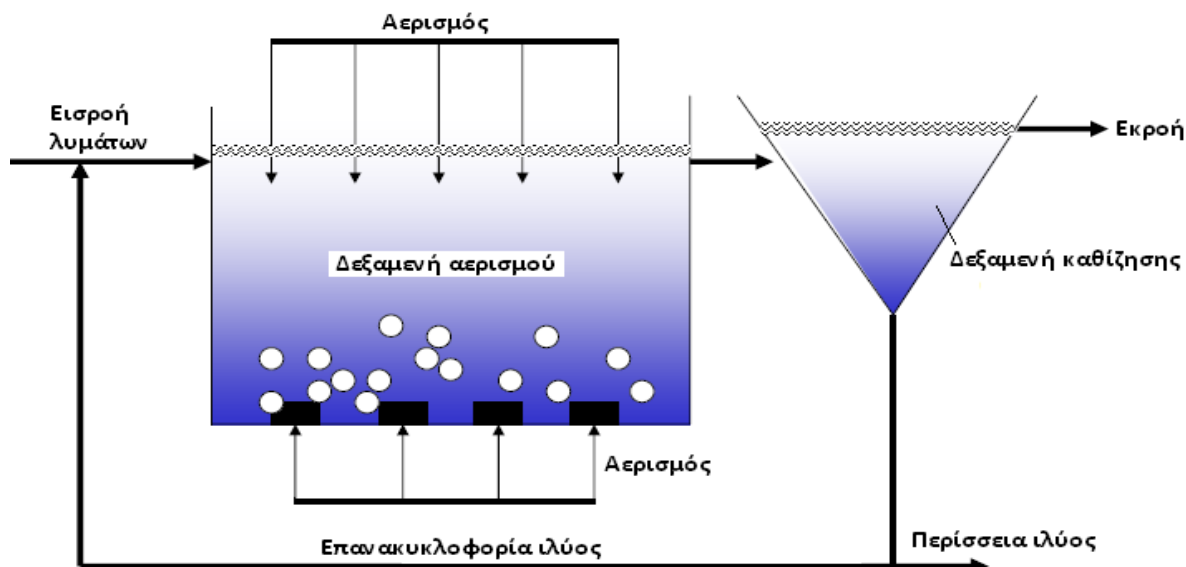
Το σύστημα ενεργού ιλύος αποτελεί το περισσότερο δημοφιλές σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1913 (Κορδούτης, 2006) στην Αγγλία από τους Fowler, Ardern, Mumford και Locketto σε σύστημα συνεχούς ροής και ονομάστηκε έτσι, διότι ο καθαρισμός των αποβλήτων από οργανικές ενώσεις λαμβάνει χώρα μέσω της ενέργειας μιας μάζας αερόβιων μικροοργανισμών, η οποία περιέχεται στα υγρά απόβλητα. Το γεγονός ότι η μέθοδος παρουσιάζει ευελιξία στην εφαρμογή και προσαρμοστικότητα στις εκάστοτε ανάγκες (μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της) και ότι επιτυγχάνει υψηλής ποιότητας εκροή (συγκέντρωση βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>): μείωση κατά 85-95%, αιωρούμενα στερεά (SS): μείωση κατά 80-90%, βακτήρια: μείωση κατά 98-99%) είναι ουσιαστικά οι παράγοντες που τη καθιστούν δελεαστική επιλογή στη διαχείριση των αποβλήτων.

Πρωταρχικοί στόχοι της διεργασίας ενεργού ιλύος είναι η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων και η κατά συνέπεια ελάττωση της παθογένειάς τους. Στηρίζεται στη δράση βακτηρίων και άλλων ζώντων μικροοργανισμών, οι οποίοι βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα. Πιο αναλυτικά, υπό αερόβιες συνθήκες, υπό πλήρη ανάμειξη και με περίσσεια θρεπτικών ενώσεων, οι μικροοργανισμοί αυτοί επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης του πληθυσμού τους μέσα στο βιοαντιδραστήρα (δεξαμενή αερισμού), σχηματίζουν αρνητικά φορτισμένα συσσωματώματα με τη βοήθεια κολλοειδών, οργανικών πολυμερών και κατιόντων μέσω της διεργασίας της βιοκροκίδωσης (Li και Ganczarzyk, 1990) και διασπούν το οργανικό κλάσμα των υγρών αποβλήτων, το οποίο χρησιμοποιούν στην αναπνοή τους και τελικά διασπούν σε οξειδωμένα προϊόντα (οξείδια του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), του αζώτου (NO<sub>3</sub>), του θείου (SO<sub>4</sub>) και του φωσφόρου (PO<sub>4</sub>)), αλλά και για τη σύνθεση νέας κυτταρικής βιομάζας. Κάθε βιοκροκίδα χαρακτηρίζεται από υψηλό πορώδες το οποίο βοηθά στην καθίζηση των συσσωματωμάτων που περιλαμβάνουν τους οργανικούς ρυπαντές των αποβλήτων και στον εν' συνεχεία διαχωρισμό του επεξεργασμένου νερού (διάγυση). Οι συνθήκες, τις οποίες οφείλει μια ΕΕΛ να επιτυγχάνει, ώστε να ευνοείται η δράση των μικροοργανισμών, είναι η εξασφάλιση συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου (DO) μεγαλύτερων από 1-2 mg/L, η διατήρηση του pH κοντά στην ουδέτερη περιοχή

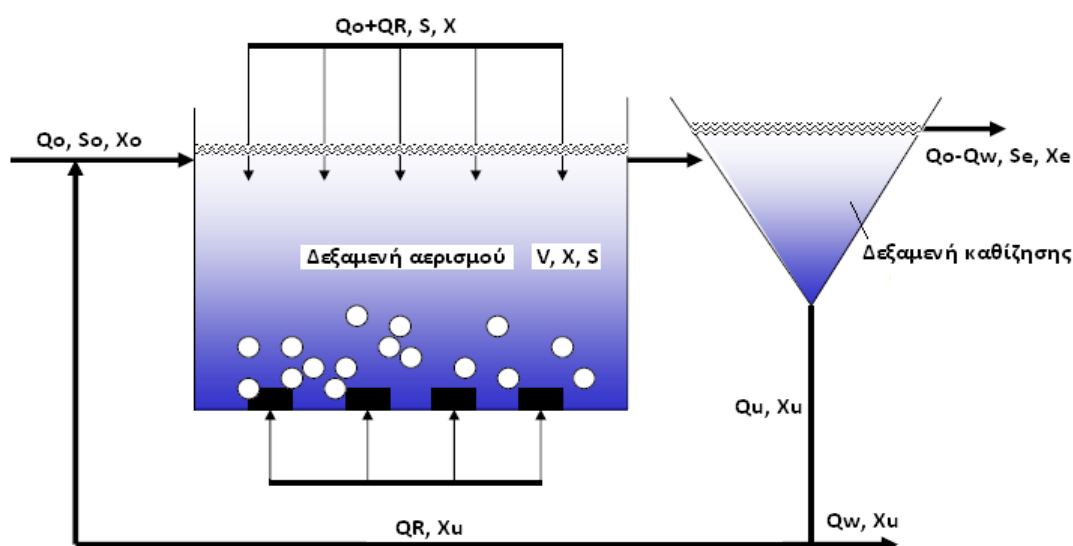


(6,5 έως 8) και η ικανοποίηση της αναλογίας βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD): άζωτο (N): φώσφορος (P)=100:6:1 (Gray, 1990).

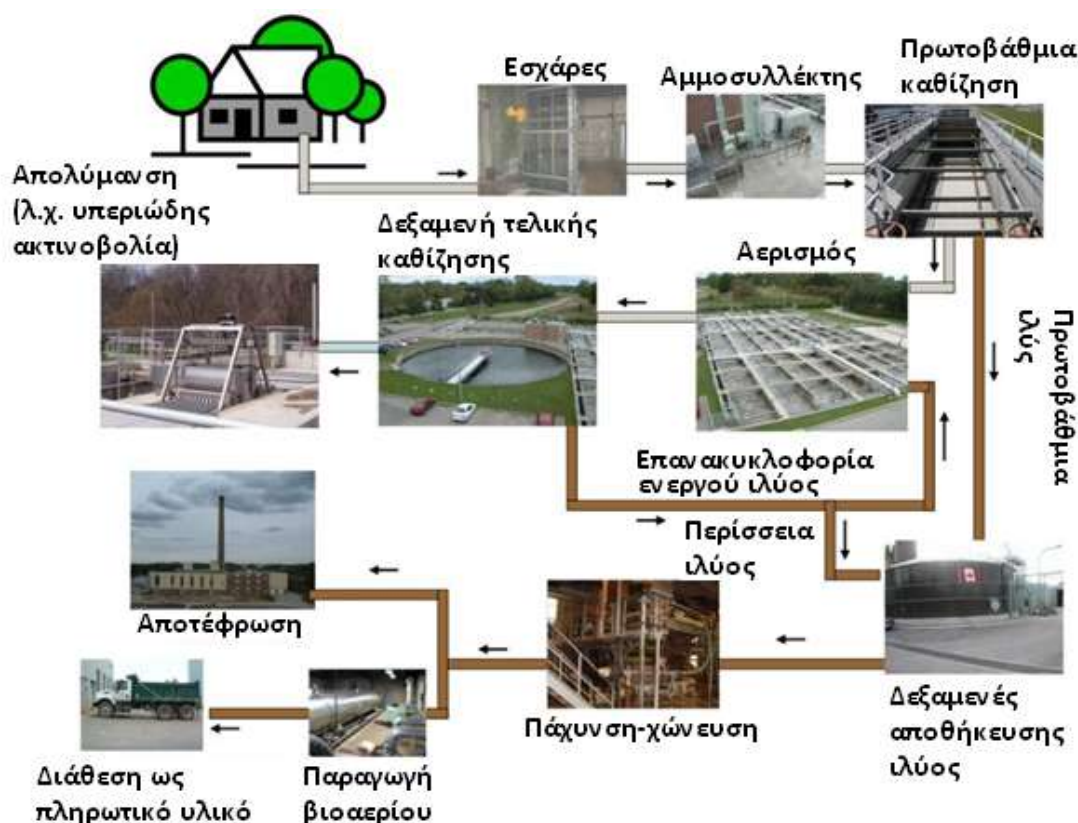
Μια ΕΕΛ συνεχούς ροής, η οποία λειτουργεί με το σύστημα ενεργού ιλύος αποτελείται από δύο δεξαμενές σε σειρά (δεξαμενή αερισμού, δεξαμενή καθίζησης), μονάδες για τη διαχείριση της πλεονασματικής παραγόμενης ιλύος, όπως δεξαμενές πάχυνσης, δεξαμενές χώνευσης, και μονάδες αφυδάτωσης της λάσπης, καθώς επίσης και μονάδες φυσικού διαχωρισμού στην πρωτοβάθμια επεξεργασία, όπως εσχάρες, δεξαμενές εξάμμωσης, λιποσυλλογής και πρωτοβάθμιας καθίζησης (Σχήματα 3.1, 3.2, 3.3).



Σχήμα 3.1: Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός των υγρών αποβλήτων σε μονάδα ενεργού ιλύος με αερισμό ανά διαστήματα (Ujang, 2005)



Σχήμα 3.2: Η κυκλοφορία υλικών κατά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό των υγρών αποβλήτων σε μονάδα ενεργού ιλύος με αερισμό ανά διαστήματα (Ujang, 2005)



Σχήμα 3.3: Η διεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων σε σύστημα ενεργού ιλύος (Νταρακάς, 2012)

Οι εξισώσεις που διέπουν την κυκλοφορία των ποσοτήτων μέσα στο σύστημα ενεργού ιλύος είναι οι εξής:

✦ **Εισροή βιομάζας + Ανάπτυξη βιομάζας = Εκροή βιομάζας:**

$$Q_o \times X_o + V \times [k_o \times X \times S / Y \times (K_s + S) - k_d \times X] = (Q_o - Q_w) \times X_e + Q_w \times X_u$$

✦ **Εισροή τροφής-Κατανάλωση τροφής = Εκροή τροφής:**

$$Q_o \times S_o + V \times [k_o \times X \times S / Y \times (K_s + S)] = (Q_o - Q_w) \times S + Q_w \times S, \text{ όπου}$$

$Q_o, Q_R, Q_w$ : η εισερχόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων στο σύστημα, η ποσότητα μίγματος υγρών αποβλήτων-βιομάζας που επανατροφοδοτεί το σύστημα και η παροχή που απομακρύνεται αντίστοιχα σε  $m^3/\eta\mu\epsilon\rho\alpha$

$X_o, X, X_e, X_u$ : η συγκέντρωση βιομάζας στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα, στο βιοαντιδραστήρα, στην εκροή και στην περίσσεια ποσότητα ιλύος αντίστοιχα σε  $mg/L$

$S_o, S$ : η συγκέντρωση διαλυμένης τροφής στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα και στο βιοαντιδραστήρα σε  $mg/L$

$V$ : ο όγκος του βιοαντιδραστήρα σε  $m^3$

$K_s$ : σταθερά ημικορεσμού σε  $mg/L$  (συγκέντρωση περιοριστικής τροφής στην περίπτωση που  $k = 0,5 \times k_o$ )

$k_o$ : σταθερά που αντιστοιχεί στο μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης σε  $t^{-1}$

$k_d$ : σταθερά του ενδογενούς ρυθμού αποικοδόμησης σε  $t^{-1}$

Υ: το κλάσμα της τροφής το οποίο μετατρέπεται σε βιομάζα.

Στη δεξαμενή αερισμού, τα εισερχόμενα υγρά απόβλητα έρχονται σε επαφή με τις βιοκροκίδες και λαμβάνει χώρα η διάσπαση του οργανικού κλάσματος. Η εκροή από τη δεξαμενή αερισμού (μίγμα επεξεργασμένων αποβλήτων και νέων κυτταρικών προϊόντων) οδηγείται στη δεξαμενή καθίζησης, όπου υπό συνθήκες ηρεμίας οι βιοκροκίδες καθιζάνουν (ιλύς). Στη συνέχεια, ένα τμήμα της ιλύος τροφοδοτεί τη δεξαμενή αερισμού, ώστε να διατηρείται επαρκής συγκέντρωση βιομάζας για τη δράση των μικροοργανισμών στο βιοαντιδραστήρα, η υπόλοιπη ιλύς διατίθεται για περαιτέρω επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση, ενώ το υπερκείμενο βιολογικά επεξεργασμένο υγρό είτε υπόκειται σε τριτοβάθμιο καθαρισμό, είτε καταλήγει στον τελικό αποδέκτη.

Ο διαχωρισμός των στερεών υλικών από το υγρό επεξεργασμένο κλάσμα στη δεξαμενή τελικής καθίζησης καθίσταται πολύπλοκος για δύο κυρίως αιτίες: Πρωτίστως, λόγω της ανεπάρκειας ή της περίσσειας εξωκυτταρικών πολυμερών και δευτερευόντως, εξαιτίας του υπέρμετρου πολλαπλασιασμού των νηματοειδών μικροβίων. Το βασικότερο πρόβλημα το οποίο σχετίζεται με τα νηματοειδή βακτήρια έγκειται στο γεγονός ότι οι μικροοργανισμοί αυτοί παράγουν ιλύ η οποία καθιζάνει αργά και συμπυκνώνεται σε μικρό βαθμό. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως διόγκωση ιλύος και δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία της ΕΕΛ. Ένα ακόμη καίριο πρόβλημα που παρεμποδίζει την υψηλή απόδοση της μεθόδου ενεργού ιλύος είναι η δημιουργία ενός παχέος στρώματος αφρού στην επιφάνεια των δεξαμενών αερισμού, η οποία οφείλεται στα υδροφοβικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης των κυττάρων. Ο αφρός αυτός συγκρατεί τα στερεά, προκαλεί δυσχέρεια στον έλεγχο του χρόνου παραμονής των υγρών αποβλήτων στο σύστημα καθαρισμού, αισθητική όχληση και δυσσομία, καθώς και αυξάνει την πιθανότητα να περιέχονται στερεά στην τελική εκροή λόγω διαφυγής τους από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης (Μίσσα, 2005).

Οι σημαντικότερες παράμετροι, οι οποίες υπεισέρχονται στους υπολογισμούς για τη διαστασιολόγηση μιας ΕΕΛ και εξασφαλίζουν τον έλεγχο της, καθώς και την αυξημένη απόδοση της μεθόδου ενεργού ιλύος, είναι οι εξής (Crites και Tchobanoglous, 1998):

✦ **Συγκέντρωση της βιομάζας στον αντιδραστήρα:** Η συγκέντρωση της βιομάζας στη δεξαμενή αερισμού του συστήματος ενεργού ιλύος κυμαίνεται μεταξύ των 2 έως 5Kg/m<sup>3</sup> και αποτελεί μια από τις βασικότερες λειτουργικές παραμέτρους του συστήματος. Όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο της εργασίας, όταν υφίσταται υψηλή συγκέντρωση βιομάζας στο σύστημα, επιτυγχάνεται γρήγορη αποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος των υγρών αποβλήτων και υψηλής ποιότητας εκροή. Εάν η συγκέντρωση της βιομάζας είναι χαμηλή, απαιτείται μεγαλύτερος όγκος βιοαντιδραστήρα για το ίδιο αποτέλεσμα. Η τροφοδοσία του αντιδραστήρα με ιλύ από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης αυξάνει τη συγκέντρωση της βιομάζας. Επιπροσθέτως, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα της ιλύος στον πυθμένα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της βιομάζας στον αντιδραστήρα, έπειτα από την τροφοδοσία του τελευταίου. Τέλος, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα λάσπης που επανακυκλοφορεί στον αντιδραστήρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της βιομάζας σε αυτόν, αλλά και η υδραυλική επιβάρυνση της δεξαμενής καθίζησης.

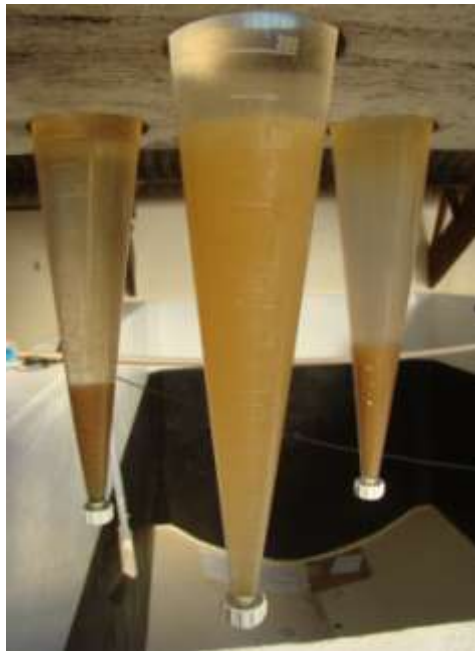
Η μέση τιμή συγκέντρωσης βιομάζας σε βιοαντιδραστήρα plug-flow δίνεται από την εξίσωση:

$$\bar{X} = \theta_c \times Y \times (S_0 - S) / \theta \times (1 + k_d \times \theta_c), \text{ όπου}$$

$\theta_c$ : ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στο βιοαντιδραστήρα και όταν  $\theta_c/\theta \geq 5$ .

✦ **Sludge Volume Index (SVI)**: Ο SVI εισήχθη από το Mohlman το 1934 και εκφράζει τον όγκο που καταλαμβάνει ένα γραμμάριο εναιωρήματος ενεργού ιλύος μετά από καθίζηση 30 λεπτών στον κώνο του Imhoff (Φωτογραφία 3.1). Η τιμή του υπολογίζεται από το λόγο του όγκου ιλύος (ml/L) που καθιζάνει σε 30 λεπτά στον κώνο του Imhoff προς τα αιωρούμενα στερεά (SS) ή τη βιομάζα (mg/L) μετά από ξήρανση στους 105°C. Η εξίσωση, η οποία υπολογίζει την τιμή του δείκτη είναι η ακόλουθη:

$$SVI = \text{Όγκος καθιζάνουσας ιλύος (ml/L)} \times 1000 / \text{Αιωρούμενα στερεά (SS) (ml/L)}$$



**Φωτογραφία 3.1:** Ο κώνος του Imhoff

Ο SVI χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της καταλληλότητας των διαστάσεων των βιολογικών θρόμβων<sup>1</sup>. SVI 100ml/gr σημαίνει βιολογική ιλύ με περιεκτικότητα 99% νερό και 1% ξηρά ουσία. Για κανονικές συνθήκες λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ιλύος οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 80 και 120ml/gr.

✦ **Ηλικία της ιλύος (Ηιλ)**: Η ηλικία της ιλύος εκφράζει το χρόνο κατά τον οποίο οι μικροοργανισμοί ενεργούν στο βιοαντιδραστήρα. Η τιμή της ηλικίας της ιλύος

<sup>1</sup> Πυρήνας ανόργανης σύστασης, ο οποίος περιέχει ενώσεις πυριτίου (Si), αργιλίου (Al), σιδήρου (Fe), ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>), οξειδίου του σιδήρου (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) και περιβάλλεται από την βιολογική ιλύ. Η ιλύ αποτελείται από μικροοργανισμούς, οι οποίοι στην μεν περιφέρειά της είναι αερόβιοι και ανεκτικά αναερόβιοι, ενώ στο δε εσωτερικό της μόνο ανεκτικά αναερόβιοι.

προσεγγίζεται από το λόγο της συνολικής ποσότητας ενεργού βιομάζας στη δεξαμενή αερισμού (σε Kg ξηράς ουσίας) προς την ημερήσια παραγωγή βιομάζας στο βιοαντιδραστήρα (στις ίδιες μονάδες). Δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$H_{il} = B_{tot} \text{ (kg)} / B_{\eta\mu} \text{ (kg/ημέρα)}$$

Ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στον αντιδραστήρα ( $\theta_c$  ή SRT) λαμβάνει τιμές από 3 έως 40 ημέρες και εκφράζει την ηλικία των μικροοργανισμών στο σύστημα (ή ηλικία ιλύος). Η μέση ηλικία ιλύος ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των μικροοργανισμών στον αντιδραστήρα προς την ημερήσια απομάκρυνση μικροοργανισμών από το σύστημα και εκτιμάται από τη σχέση:

$$\theta_c \text{ (ημέρες)} = V \times X / [(Q_w \times X_u) + (Q_e \times X_e)]$$

Όσο υψηλότερος είναι ο απαιτούμενος βαθμός καθαρισμού των υγρών αποβλήτων, τόσο μεγαλύτερη οφείλει να είναι η ηλικία της ιλύος. Επιπροσθέτως, η ηλικία της ιλύος επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιεχομένου του βιοαντιδραστήρα, διότι οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την ταχύτερη παραγωγή μικροοργανισμών. Συγκεκριμένα, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία του περιεχομένου του βιοαντιδραστήρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ηλικία της ιλύος.

✦ **Ημερήσιο εισερχόμενο οργανικό φορτίο στον αντιδραστήρα ( $\Phi_B$  ή  $\Phi$ ):** Το οργανικό φορτίο της δεξαμενής αερισμού ορίζεται ως ο λόγος των οργανικών ουσιών που διοχετεύονται στο βιοαντιδραστήρα προς την ενεργό βιομάζα που αυτός περιέχει. Η τιμή του λόγου, δηλαδή, υπολογίζει τη βιομάζα που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας λειτουργίας της ΕΕΛ. Όταν η ποσότητα του οργανικού κλάσματος μετριέται ως βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>) ανά ημέρα και η βιομάζα σε Kg, τότε το ημερήσιο εισερχόμενο οργανικό φορτίο συμβολίζεται ως  $\Phi_B$ . Όταν ο ίδιος λόγος υπολογίζεται ως η ποσότητα των οργανικών ουσιών μετρούμενη σε μονάδες βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>) ανά ημέρα, η οποία τροφοδοτεί τη μονάδα όγκου της δεξαμενής αερισμού, δηλαδή η τιμή του προκύπτει σε μονάδες Kg/m<sup>3</sup>/ημέρα. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ο συμβολισμός  $\Phi$ . Το οργανικό φορτίο επηρεάζει τη λειτουργία του βιοαντιδραστήρα, την απόδοση της ΕΕΛ, καθώς και τα είδη και τις συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών που αποτελούν την ιλύ. Όταν η οργανική φόρτιση λαμβάνει τιμές άνω των 0,6 Kg/Kg/ημέρα, η ΕΕΛ χαρακτηρίζεται ως «υψηλής φόρτισης», ενώ στην αντίθετη περίπτωση ως «χαμηλής φόρτισης». Εάν ελαττωθεί η οργανική φόρτιση που εισέρχεται στο βιοαντιδραστήρα, απαιτείται μεγαλύτερη ηλικία ιλύος. Εμπειρικά, έχει διαπιστωθεί ότι εάν η τιμή της οργανικής φόρτισης κυμαίνεται μεταξύ των 0,3 έως 2Kg/Kg/ημέρα, ο SVI λαμβάνει τιμές μεταξύ 80 έως 120ml/gr, οι οποίες εξασφαλίζουν κανονικές συνθήκες λειτουργίας της ΕΕΛ. Όταν η οργανική φόρτιση ξεπερνά τα 2Kg/Kg/ημέρα, αναπτύσσονται κλωστοειδή βακτήρια στο βιοαντιδραστήρα, τα οποία επιπλέουν και δεν καθιζάνουν. Εάν η οργανική φόρτιση λάβει τιμές μικρότερες των 0,3Kg/Kg/ημέρα, η ΕΕΛ δεν έχει ικανοποιητική απόδοση, διότι οι βιολογικοί θρόμβοι διασπώνται σε μικρότερους, οι οποίοι καθιζάνουν με αργούς ρυθμούς. Επιπροσθέτως, όταν η τιμή του  $\Phi_B$  δεν ξεπερνά τη μονάδα, η απόδοση της μονάδας καθαρισμού αγγίζει το 85 έως 90%. Ο Πίνακας 3.1

παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ της σύστασης των υγρών αποβλήτων και των διαφόρων τιμών της οργανικής φόρτισης.

**Πίνακας 3.1:** Σχέση της σύστασης των υγρών αποβλήτων και της οργανικής φόρτισης (Νταρακάς, 2010)

Οργανικό κλάσμα	Ουσίες
$\Phi B \geq 1$	Οργανικά υπόλοιπα, αμμωνία ( $NH_3$ ), δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες, βακτήρια
$1 \geq \Phi B \geq 0,2$	Αμμωνία ( $NH_3$ ), δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες, βακτήρια
$0,2 \geq \Phi B \geq 0,1$	Δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες, βακτήρια
$0,1 \geq \Phi B$	Δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες

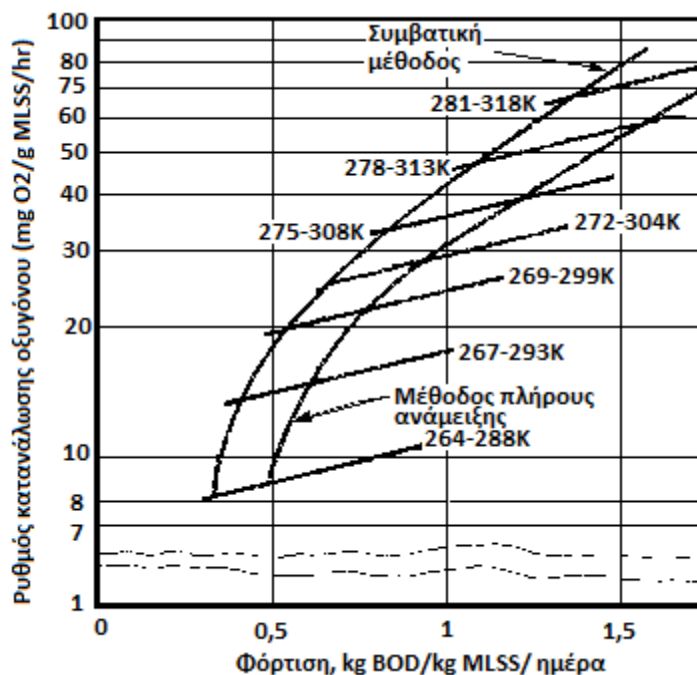
Ο ρυθμός χρησιμοποίησης της τροφής από τους μικροοργανισμούς στο βιοαντιδραστήρα plug-flow δίνεται από την εξίσωση που ακολουθεί και η οποία ισχύει για  $\theta_c/\theta \geq 5$ :

$$r_s = (-k_o / Y) \times (S \times \bar{X}) / (K_s + S)$$

■ **Διάρκεια αερισμού των υγρών αποβλήτων:** Οι διαφορετικές οργανικές ενώσεις που περιέχονται στα υγρά απόβλητα έχουν διαφορετικό ρυθμό βιοαποικοδόμησης και κατά συνέπεια απαιτούν διαφορετικό χρόνο αερισμού. Για παράδειγμα, η βιοαποικοδόμηση ενός σακχάρου απαιτεί μικρότερο χρόνο από την αντίστοιχη μιας πρωτεΐνης. Στην πράξη, κατά τη λειτουργία μιας ΕΕΛ, η αποικοδόμηση των υγρών αποβλήτων γίνεται στην αρχή με αυξημένο ρυθμό και μετά βραδύτερα, γιατί μερικές ουσίες προσροφώνται από τους βιολογικούς θρόμβους και κατά συνέπεια δεν απαιτείται η βιοαποικοδόμησή τους, ώστε να απομακρυνθούν από τα απόβλητα.

■ **Κατανάλωση οξυγόνου ( $O_2$ ):** Η κατανάλωση οξυγόνου ( $O_2$ ) εξαρτάται από το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων, το οποίο υπόκειται σε οξείδωση στο βιοαντιδραστήρα και μετατροπή σε ανόργανες ενώσεις. Το απαιτούμενο οξυγόνο ( $O_2$ ) κυμαίνεται από 1,5 έως 2,5Kg/Kg βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου ( $BOD_5$ ), ανάλογα με τον επιδιωκόμενο βαθμό καθαρισμού των αποβλήτων. Η ημερήσια κατανάλωση οξυγόνου ( $O_2$ ) στη μονάδα όγκου του βιοαντιδραστήρα ( $Kg/m^3/ημέρα$ ) εξαρτάται από την ποσότητα του οξυγόνου ( $O_2$ ), που απαιτείται για την αδρανοποίηση των οργανικών ουσιών και για την αναπνοή των μικροοργανισμών, και από τη ξηρή βιομάζα στη μονάδα όγκου του βιοαντιδραστήρα ( $Kg/m^3$ ). Η κατανάλωση οξυγόνου ( $O_2$ ) σε σχέση με την οργανική φόρτιση των υγρών αποβλήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4.

Το διαλυμένο οξυγόνο ( $DO$ ) των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από το συντελεστή διαλυτότητας οξυγόνου ( $O_2$ ) στο μίγμα υγρών αποβλήτων-ενεργού ιλύος ( $\alpha$ ), από την τιμή κορεσμού του οξυγόνου ( $O_2$ ) στο καθαρό νερό και τους βιοαντιδραστήρες, από την περιεκτικότητα των τελευταίων σε διαλυμένο οξυγόνο ( $DO$ ) και από τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί νιτροποίηση-απονιτροποίηση ή μόνο οξείδωση των οργανικών ενώσεων.



**Σχήμα 3.4:** Κατανάλωση οξυγόνου ( $O_2$ ) συναρτήσει της οργανικής φόρτισης των υγρών αποβλήτων (EPA, 1977)

Η ποσότητα οξυγόνου ( $O_2$ ), που οφείλει να τροφοδοτεί το βιοαντιδραστήρα, πρέπει να υπερβαίνει τη θεωρητική τιμή, διότι η διάλυση οξυγόνου ( $O_2$ ) στο μίγμα υγρών αποβλήτων-ιλύος είναι πολύπλοκη. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων στο βιοαντιδραστήρα ( $\theta$  ή HRT) εκφράζει το μέσο ρυθμό αερισμού των υγρών αποβλήτων και δίνεται από τη σχέση  $\theta=V/Q$ , όπου  $V$  είναι ο όγκος της δεξαμενής αερισμού και  $Q$  η παροχή των υγρών αποβλήτων στο σύστημα. Οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος είναι από 3,5 έως 36hr. Εάν παραχθεί μεγάλη ποσότητα βιομάζας, η αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων δεν απαιτεί πολύ οξυγόνο ( $O_2$ ), διότι ένα μικρό κλάσμα αυτών απαιτεί οξυγόνο ( $O_2$ ), ώστε να οξειδωθεί, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό χρησιμοποιείται για παραγωγή νέας βιομάζας. Οι τιμές του συντελεστή διάλυσης οξυγόνου ( $O_2$ ) ( $\alpha$ ) επηρεάζονται από το ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων (αύξηση του φορτίου οδηγεί σε μείωση του συντελεστή διάλυσης) και από την ένταση ανάδευσης των υγρών αποβλήτων. Το οξυγόνο ( $O_2$ ) μπορεί να διοχετευτεί στο βιοαντιδραστήρα με επιφανειακούς περιστρεφόμενους αεριστήρες σταθερού άξονα (Φωτογραφία 3.2), επιφανειακούς περιστρεφόμενους πλωτούς αεριστήρες (Φωτογραφία 3.3), διαχυτές λεπτής φυσαλίδας (σε όλη την επιφάνεια ή με πλατιά δέσμη, Φωτογραφία 3.4), κυλινδρικούς αεριστήρες τύπου βούρτσας (Mammutrotor, Φωτογραφία 3.5) ή πρόσδοση καθαρού οξυγόνου ( $O_2$ ).



**Φωτογραφία 3.2:** Ο επιφανειακός περιστρεφόμενος αεριστήρας σταθερού άξονα



**Φωτογραφία 3.3:** Ο περιστρεφόμενος πλωτός αεριστήρας



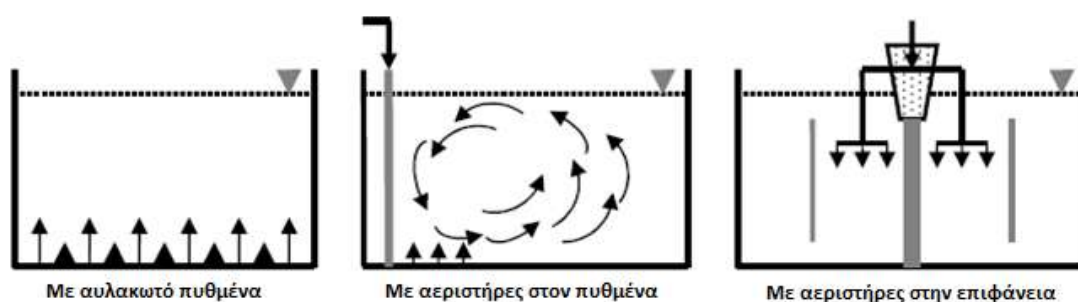
**Φωτογραφία 3.4:** Ο διαχυτής λεπτής φυσαλίδας



**Φωτογραφία 3.5:** Οι αεριστήρες τύπου βούρτσας



Γενικά ισχύει ότι όσο μικρότερες είναι οι φυσαλίδες που δημιουργούνται κατά τον αερισμό των υγρών αποβλήτων και όσο μεγαλύτερο το βάθος στο οποίο εγκαθίστανται οι αεριστήρες, τόσο μικρότερη ποσότητα οξυγόνου ( $O_2$ ) πρέπει να τροφοδοτήσει το βιοαντιδραστήρα, διότι τόσο περισσότερο οξυγόνο ( $O_2$ ) διαχέεται στα υγρά απόβλητα μέσω των φυσαλίδων. Βέβαια, όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος τοποθέτησης των αεριστήρων, τόσο περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται από τις αεραντλίες λόγω αυξημένης συμπίεσης του αέρα. Οι φυσαλίδες διακρίνονται σε εκείνες μικρής διαμέτρου ( $d < 1.5\text{mm}$ ), μεσαίας ( $1.5 < d < 18\text{mm}$ ) και μεγάλης ( $d > 120\text{mm}$ ). Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους φυσαλίδων και του τύπου αεριστήρα συνυπολογίζει τη σύσταση των υγρών αποβλήτων, το μέγεθος της ΕΕΛ και τις δυνατότητες συντήρησής της. Εμπειρικά, συνηθίζεται σε βιοαντιδραστήρες με αεριστήρες κοντά στον πυθμένα να χρησιμοποιούνται φυσαλίδες μικρής ή μεσαίας διαμέτρου, ενώ σε βιοαντιδραστήρες με αεριστήρες στην επιφάνεια φυσαλίδες χρησιμοποιούνται κυρίως αεριστήρες με μεσαία ή μεγάλη διάμετρο. Το σχήμα των βιοαντιδραστήρων εξαρτάται από τους αεριστήρες, οι οποίοι επιλέγονται, και βάσει αυτού του κριτηρίου έχουν αναπτυχθεί τρεις κατηγορίες βιοαντιδραστήρων' Με αυλακωτό πυθμένα, με αεριστήρες στον πυθμένα και με αεριστήρες στην επιφάνεια (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Οι κατηγορίες των δεξαμενών καθίζησης

✦ **Ποσοστό επανακυκλοφορίας της ιλύος:** Το ποσοστό επανακυκλοφορίας της ιλύος εξαρτάται από την παροχή των υγρών αποβλήτων, που εισρέει στο σύστημα επεξεργασίας, αλλά και την ενεργό βιομάζα που περιέχεται στην ιλύ που τροφοδοτεί το βιοαντιδραστήρα. Η επαρκής συμπύκνωση της βιομάζας παίζει ρυθμιστικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία της ΕΕΛ, διότι καθιστά οικονομικότερη και αποτελεσματικότερη την επανακυκλοφορία της πρώτης στο σύστημα επεξεργασίας.

✦ **Φορτίο ιλύος (F/M):** Το φορτίο ιλύος λαμβάνει τιμές από 0,05 έως 1Kg βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου ( $BOD_5$ ) ανά Kg βιομάζας ανά ημέρα και εκφράζει το λόγο της «τροφής» των μικροοργανισμών προς τους μικροοργανισμούς στο βιοαντιδραστήρα. Οι τιμές του φορτίου ιλύος υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$F/M \text{ (ημέρες}^{-1}\text{)} = S_i / \theta \times X, \text{ όπου}$$

$S_i$ : η συγκέντρωση (mg/L) του βιοχημικά και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου ( $BOD$  και  $COD$ ) των αποβλήτων στην εισροή,

$\theta$  (ημέρες): ο χρόνος παραμονής της ιλύος στη δεξαμενή αερισμού.

Ο λόγος του οργανικού υποστρώματος προς τους μικροοργανισμούς συσχετίζεται με την απόδοση της διεργασίας (E) και με την αποδόμηση που επιτυγχάνεται ανά μονάδα βιομάζας μέσω της σχέσης:

$$U = (F/M) \times (E/100) = (S_i - S_e) \times \theta/X, \text{ όπου}$$

$$E = 100 \times \theta \times (S_i - S_e)/X.$$

✚ **Ογκομετρική φόρτιση (q<sub>o</sub>):** Η ογκομετρική φόρτιση λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,4 έως 1,5Kg βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5) ανά μονάδα όγκου βιοαντιδραστήρα ανά ημέρα και εκφράζει την οργανική ύλη που τροφοδοτεί το βιοαντιδραστήρα κάθε 1ημέρα. Οι τιμές της υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$q_o = Q \times S_i / V$$

✚ **Υδραυλικό φορτίο του βιοαντιδραστήρα (G):** Το υδραυλικό φορτίο του βιοαντιδραστήρα λαμβάνει τιμές από 12 έως 41m<sup>3</sup>/ημέρα και εκφράζει τον όγκο των αποβλήτων που τροφοδοτούν ημερησίως τη δεξαμενή καθίζησης. Ο χρόνος παραμονής του υδραυλικού φορτίου στο βιοαντιδραστήρα δίνεται από τη σχέση:

$$HRT = V / Q_o$$

✚ **Φορτίο στερεών της δεξαμενής καθίζησης:** Το φορτίο στερεών της δεξαμενής καθίζησης λαμβάνει τιμές από 100 έως 150Kg/m<sup>2</sup>/ημέρα και εκφράζει τη μάζα των στερεών (Kg) που υπόκεινται σε επεξεργασία ημερησίως στη δεξαμενή καθίζησης. Ο χρόνος παραμονής των στερεών υλικών στο βιοαντιδραστήρα δίνεται από την εξίσωση:

$$SRT \text{ (ημέρες)} = M / R_g, \text{ όπου}$$

R<sub>g</sub> οι νέοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται.

Ο Πίνακας 3.2 που ακολουθεί παραθέτει τις συνήθεις τιμές των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση σε κάθε εναλλαγή της μεθόδου ενεργού ιλύος.

**Πίνακας 3.2:** Οι εναλλαγές της μεθόδου ενεργού ιλύος και οι τιμές των παραμέτρων απόδοσης στην κάθε μέθοδο (Ujang, 2005)

Μέθοδος	θ <sub>c</sub> (ημέρες)	F/M (lb βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5)/ lb MLVSS/ημέρα)	Ογκομετρική φόρτιση (lb βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5)/ 10 <sup>3</sup> ×ft <sup>3</sup> /ημέρα)	$\bar{X}$ (mg/L)	V/Q (hr)	Q <sub>R</sub> /Q
Συμβατική μέθοδος (plug-flow)	3 έως 15	0,2 έως 0,6	20 έως 40	1000 έως 3000	4 έως 8	0,25 έως 0,75
Αντιδραστήρας πλήρους ανάδευσης	0,75 έως 15	0,2 έως 1	50 έως 120	800 έως	3 έως	0,25 έως 1

				6500	5	
Τροφοδοσία ανά διαστήματα	3 έως 15	0,2 έως 0,5	40 έως 60	1500 έως 3500	3 έως 5	0,25 έως 0,75
Νιτροποίηση ενός σταδίου	8 έως 20	0,1 έως 0,2 (0,02 έως 0,15)	5 έως 20	1500 έως 3500	6 έως 15	0,50 έως 1,5
Νιτροποίηση πολλών φάσεων	15 έως 100	0,05 έως 0,2 (0,04 έως 0,15)	3 έως 9	1500 έως 3500	3 έως 6	0,5 έως 2
Λίμνη σταθεροποίησης	5 έως 15	0,2 έως 0,6	60 έως 75	1000 έως 3000 (4000 έως 9000)	0,5 έως 1 (3 έως 6)	0,5 έως 1,5
Παρατεταμένος αερισμός	20 έως 40	0,04 έως 0,1	5 έως 15	2000 έως 8000	18 έως 36	0,5 έως 1,5
Οξειδωτική τάφρος	3 έως 15	0,04 έως 0,1	5 έως 15	2000 έως 8000	8 έως 36	0,5 έως 1,5
Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου	8 έως 20	0,04 έως 0,8	5 έως 15	2000 έως 8000	20 έως 40	N/A
Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας	15 έως 100	0,04 έως 0,1	5 έως 15	2000 έως 8000	12 έως 50	N/A

Η απομάκρυνση των ενώσεων αζώτου (N) από τα απόβλητα σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος επιτυγχάνεται με τις διεργασίες της βιολογικής νιτροποίησης και απονιτροποίησης υπό καθεστώς εναλλαγής ανοξικών και αερόβιων συνθηκών. Οι ενώσεις φωσφόρου (P) απομακρύνονται σε συστήματα που περιλαμβάνουν και αναερόβιες δεξαμενές. Η απουσία χημικών για την απομάκρυνση των αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων σε βιολογικούς αντιδραστήρες υπήρξε σημαντικός σταθμός στην εξέλιξη των συστημάτων καθαρισμού αποβλήτων.

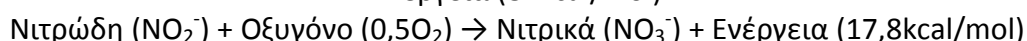
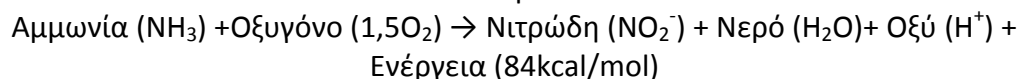
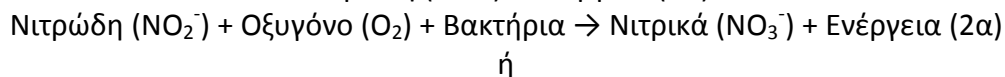
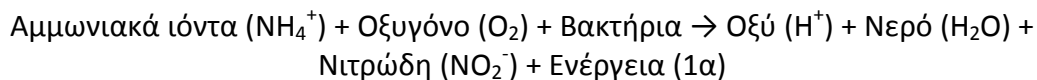
### 3.1.1.2. Η απομάκρυνση του αζώτου (N)

Στο δίκτυο ακαθάρτων το οργανικό άζωτο (N) μετατρέπεται σε ουρία ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ). Η ουρία ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) όταν αναμειχθεί με νερό υφίσταται υδρόλυση και μετατρέπεται σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ). Στο σύστημα ενεργού ιλύος, η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) σε ένα μικρό ποσοστό (15%) χρησιμοποιείται στη σύνθεση των ετερότροφων μικροοργανισμών, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της οξειδώνεται από τα αυτότροφα νιτροβακτήρια μέσω της διεργασίας της νιτροποίησης.

Η «νιτροποίηση» είναι η αερόβια βιολογική διαδικασία δύο φάσεων κατά την οποία αυτότροφα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και κατόπιν σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ). Πιο αναλυτικά, κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, τα βακτήρια *Nitrosomonas* (Φωτογραφία 3.6) μετατρέπουν την αμμωνία

(NH<sub>3</sub>) σε νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και κατά τη δεύτερη φάση, τα βακτήρια *Nitrobacter* (Φωτογραφία 3.7) μετατρέπουν τα νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) σε νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Gray, 1990, Metcalf και Eddy, 2003).

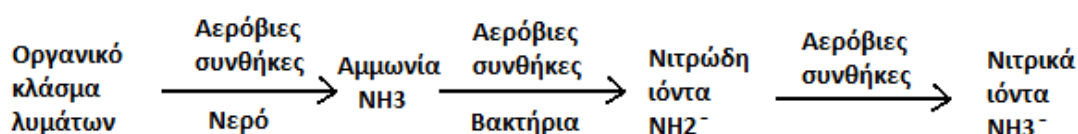
Τα δύο στάδια της νιτροποίησης παρουσιάζονται ακολούθως με τις αντιδράσεις 1 (α, β) και 2 (α, β) και το Σχήμα 3.6 (EPA, 2002).



**Φωτογραφία 3.6:** Το βακτήριο *Nitrosomonas* στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



**Φωτογραφία 3.7:** Το βακτήριο *Nitrobacter* στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

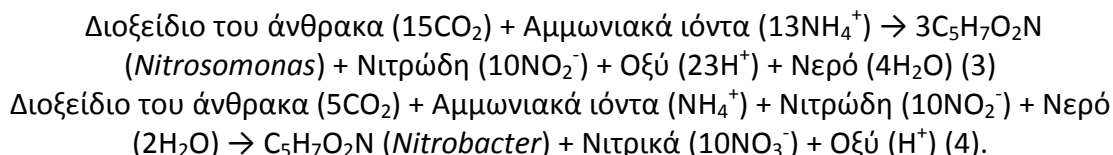


**Σχήμα 3.6:** Η νιτροποίηση

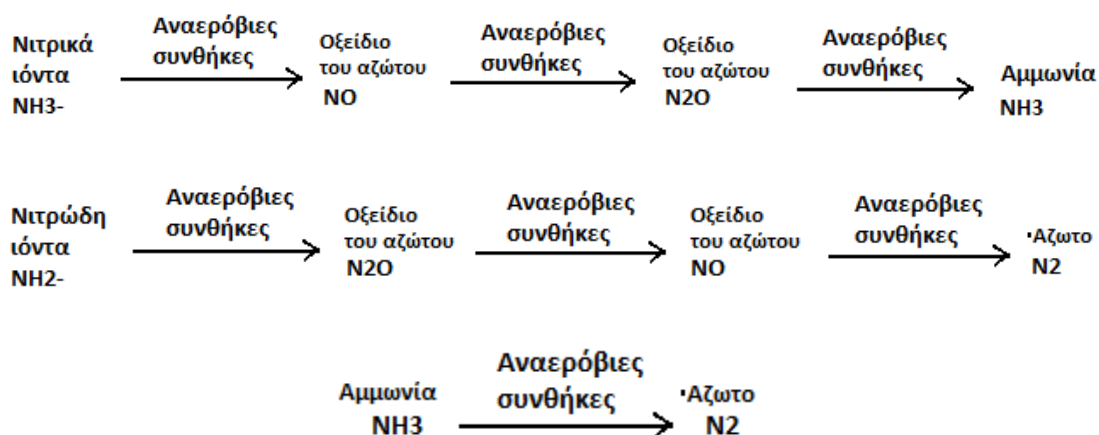
Το οξύ που παράγεται (H<sup>+</sup>) κατά το πρώτο στάδιο της νιτροποίησης εξουδετερώνεται από το αλκαλικό pH των υγρών αποβλήτων. Σε διαφορετική περίπτωση, τα βακτήρια δεν θα επιβίωναν. Επιπροσθέτως, η νιτροποίηση επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό όταν:

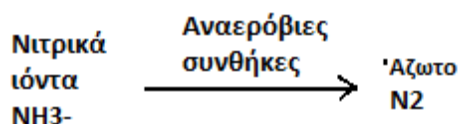
- Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ) δεν ξεπερνά τα 2mg/L.
- Η συγκέντρωση των νιτρικών ( $\text{NO}_2^-$ ) είναι μικρότερη των 0,5mg/L.

Ταυτόχρονα με τα δύο στάδια της νιτροποίησης συντίθεται νέα κυτταρική βιομάζα σύμφωνα με τις αντιδράσεις 3 και 4 που ακολουθούν. Η αντίδραση 3 παρουσιάζει την παραγωγή των βακτηρίων *Nitrosomonas* και η 4 την παραγωγή των *Nitrobacter*:

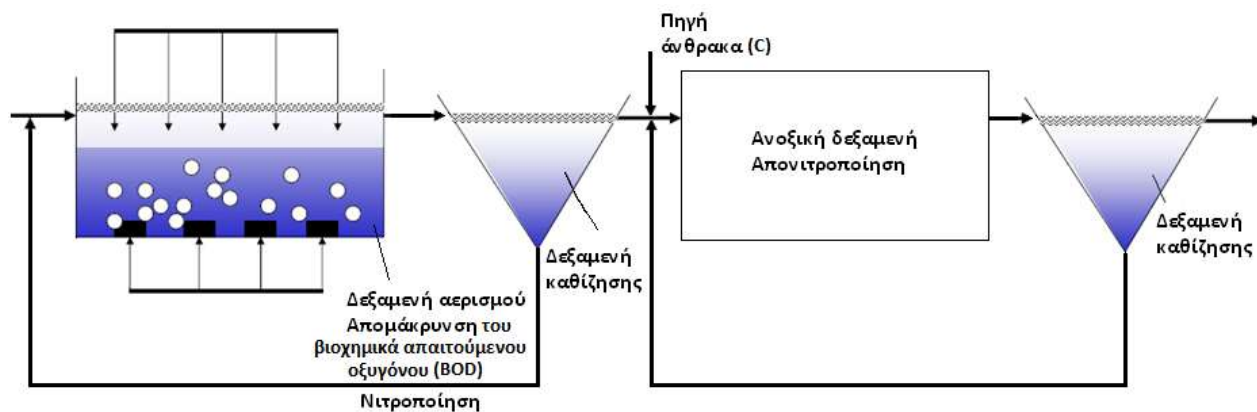


Αφού λάβουν χώρα τα δύο στάδια της νιτροποίησης, η τοξική αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) έχει μεν οξειδωθεί, αλλά άζωτο (N) με τη μορφή των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) υπάρχει ακόμα στα απόβλητα. Η πλήρης απομάκρυνση των παραμενόντων νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) απαιτεί τη συνέχεια της διεργασίας και την αναγωγή των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) σε αέριο άζωτο (N), η οποία καλείται «απονιτροποίηση». Η διεργασία της απονιτροποίησης επιτελείται σε αντιδραστήρες, οι οποίοι εγκαθίστανται στην αρχή του συστήματος ενεργού ιλύος και διαμορφώνονται ανοξικές συνθήκες στο εσωτερικό τους. Εάν ο σχεδιασμός δεν έχει προβλέψει την ύπαρξη των ανοξικών αντιδραστήρων, η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης. Το αέριο άζωτο (N), που παράγεται, απορροφάται από τις βιοκροκίδες, οι οποίες ανέρχονται στην ελεύθερη επιφάνεια των δεξαμενών καθίζησης. Η πιθανότητα να εμφανιστεί επίπλευση της ιλύος εξαρτάται από το ρυθμό της απονιτροποίησης και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής των υγρών αποβλήτων στη δεξαμενή καθίζησης. Η κρίσιμη τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ), μέχρι την οποία δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της ανύψωσης των βιοκροκίδων (συνυπολογίζοντας τους δύο προαναφερθέντες παράγοντες και για θερμοκρασία 20°C), είναι 6 έως 8mg νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ )/L (Henze et al, 1993). Το Σχήμα 3.7 παρουσιάζει τη διεργασία απονιτροποίησης σε έναν βιοαντιδραστήρα, ενώ το Σχήμα 3.8 τα είδη της βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N) σε σύστημα ενεργού ιλύος και τους αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται σε αυτά.

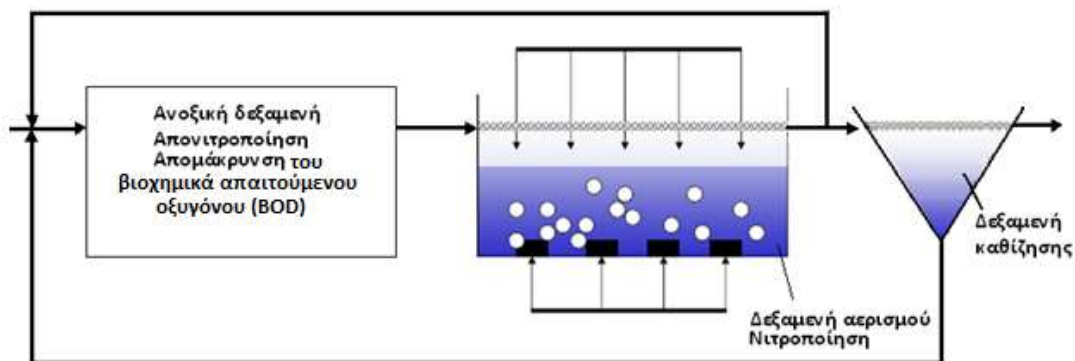




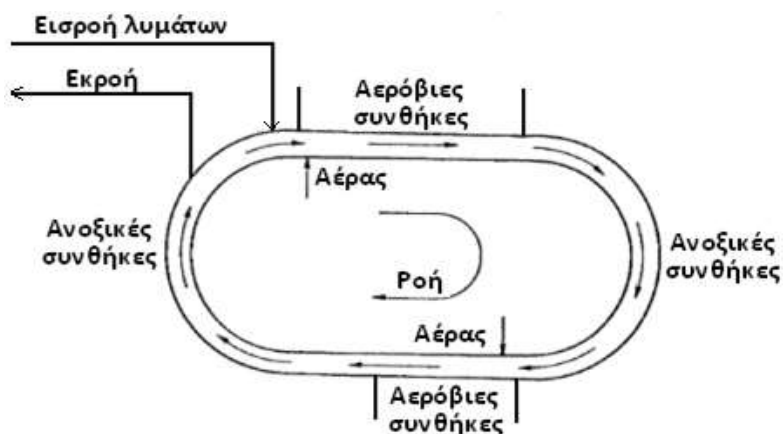
Σχήμα 3.7: Η απονιτροποίηση



α.



β.



γ.

Σχήμα 3.8: Τα είδη της βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N) σε μονάδα ενεργού ιλύος ανά τον κόσμο και οι βιοαντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται: α. παραγωγή ιλύος σε δύο στάδια, β. παραγωγή ιλύος σε ένα στάδιο, γ. οξειδωτική τάφρος (Ujang, 2005)

Οι τυπικές τιμές των κινητικών και λειτουργικών παραμέτρων κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων παρατίθενται στους Πίνακες 3.3 και 3.4.

**Πίνακας 3.3:** Οι κινητικές και λειτουργικές παράμετροι του συστήματος ενεργού λύου (Kayser, 2005)

Κινητικές παράμετροι	Παράμετροι λειτουργίας
$\mu_{\max} = 0,52 \times 1,1^{(T-15)} \text{ημέρα}^{-1}$	-
$k_{D,A} = 0,05 \times 1,072^{(T-15)} \text{ημέρα}^{-1}$	-
$k_{\text{NH}_4} = 1 \text{mg} \times \text{L}^{-1} S_{\text{NH}_4}$	$S_{\text{NH}_4} = 4 \text{mg} \times \text{L}^{-1}$
$k_{\text{O}_2} = 0,5 \text{mg} \times \text{L}^{-1} \text{DO}$	$S_{\text{O}_2} = 2 \text{mg} \times \text{L}^{-1}$
$k_{\text{alk}} = 0,5 \text{mmol} \times \text{L}^{-1}$	$S_{\text{alk}} = 2 \text{mmol} \times \text{L}^{-1}$

**Πίνακας 3.4:** Τυπικές τιμές ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης (Στάμου, 1995)

Μέθοδος απομάκρυνσης του αζώτου (N)	Πηγή άνθρακα	$\mu_d$ (Kg νιτρικού αζώτου (NO <sub>3</sub> -N) / Kg VSS/ημέρα)	Θερμοκρασία (°C)
Προ-απονιτροποίηση	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) υγρών αποβλήτων	0,030 έως 0,110	20
Μετα-απονιτροποίηση	Κύτταρα μικροοργανισμών	0,017 έως 0,048	12 έως 27
Εξωτερική πηγή άνθρακα	Μεθανόλη	0,120 έως 0,900	20

Η διεργασία της νιτροποίησης επηρεάζεται από πολυάριθμους παράγοντες, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται:

✦ **Το pH του μίγματος υγρά απόβλητα-βιομάζα:** Η διαδικασία νιτροποίησης-απονιτροποίησης σε σχέση με το pH, που αναπτύσσεται στο μίγμα υγρά απόβλητα-βιομάζα, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.9. Η τιμή του pH, η οποία πρέπει να επιτευχθεί στο βιοαντιδραστήρα, ώστε να πραγματοποιηθεί νιτροποίηση, κυμαίνεται στο διάστημα 6,5 έως 8 (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997).

Οι μικροοργανισμοί που πραγματοποιούν τη νιτροποίηση έχουν υψηλή ευαισθησία σε αλλαγές της αλκαλικότητας του μίγματος υγρά απόβλητα-βιομάζα. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι το βακτήριο *Nitrosomonas europaea* δεν μπορεί να ρυθμίσει το pH των κυττάρων του, όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντός του δεν είναι σταθερές (Frijlink et al, 1992). Πολλοί επιστήμονες συμφωνούν ότι η μέγιστη τιμή του pH στην οποία η συμπεριφορά των μικροοργανισμών ευνοεί τη νιτροποίηση είναι 7,8 (Παπαβασιλείου, 2007). Ωστόσο, υπάρχουν και έρευνες οι οποίες καταλήγουν σε διαφορετικό συμπέρασμα. Το 1958, οι Engle και Alexander και το 1964, οι Downing et al παρατήρησαν ότι ο ρυθμός νιτροποίησης μεταβαλλόταν στο διάστημα μεταξύ του pH με τιμή 7,2 έως 8 (Φλέσσα, 2006). Για τιμές pH μικρότερες του 7,2, ο ρυθμός ακολουθούσε γραμμική μείωση. Το 1971, οι Wild et al εκτιμούν ότι η ταχύτητα νιτροποίησης για τιμή του pH ίση με 7 είναι η

μισή της αντίστοιχης για τιμή του pH ίση με 8 (Φλέσσια, 2006). Οι ρυθμοί νιτροποίησης που αντιστοιχούσαν στις ενδιάμεσες τιμές αλκαλικότητας ( $7 < \text{pH} < 8$ ) μεταβάλλονταν με περίπου γραμμική συνάρτηση. Το 1974, ο Hall συμπεραίνει ότι στο διάστημα τιμών pH μεταξύ του 7,2 έως 9,4 η νιτροποίηση είναι πλήρης, ενώ για τιμή pH ίση με 6,3 δεν μπορεί να επιτευχθεί νιτροποίηση (Φλέσσια, 2006). Το ίδιο έτος, οι Poduska και Andrews παρατήρησαν ότι όταν το pH μειώθηκε από 7,2 σε 6,4, η απόδοση της νιτροποίησης δεν εμφάνισε σημαντική μεταβολή. Ωστόσο, η μεταβολή του pH από 7,2 σε 5,8 μείωσε αρκετά την ταχύτητα της αντίδρασης. Η επαναφορά του pH στην τιμή 7,2 αύξησε την ταχύτητα της νιτροποίησης και κατά συνέπεια θεωρήθηκε ότι το pH έχει μεν επιρροή στην απόδοση της διαδικασίας, αλλά αυτή δεν είναι τοξική (Φλέσσια, 2006).



**Σχήμα 3.9:** Μεταβολή της οξύτητας με την εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης-απονιτροποίησης

Η επίδραση του pH στο ρυθμό νιτροποίησης περιγράφεται από τη συνάρτηση 5. Η σχέση 5 ισχύει για τιμές pH στο διάστημα 0 έως 7,2.

$$\mu_{n,\text{pH}} = \mu_{n,7,2} \times [1 - 0,833 \times (7,2 - \text{pH})] \quad (5)$$

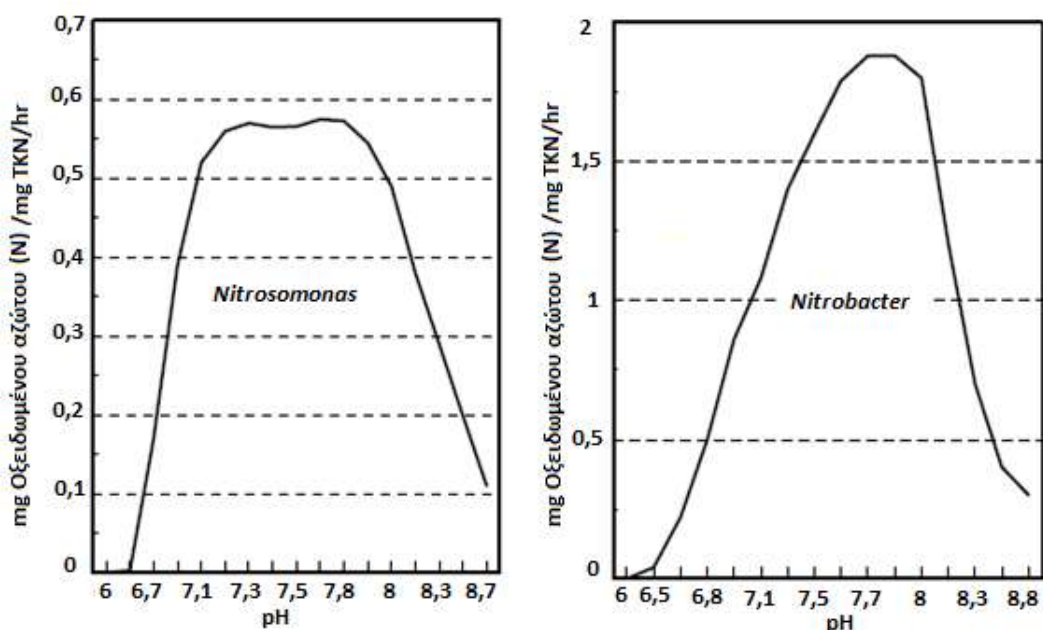
Το 1984, το Πανεπιστήμιο της Cape Town προτείνει την εξίσωση 6 για την περιγραφή του ίδιου φαινομένου.

$$\mu_{n,\text{pH}} = \mu_{n,7,2} \times 2,35^{\text{pH}-7,2} \quad (6)$$

Το 1988, οι Hankinson και Schmidt διατυπώνουν την άποψη ότι οι τιμές του pH, οι οποίες δεν υπερβαίνουν την ουδέτερη τιμή του ( $\text{pH}=7$ ), προκαλούν σημαντική μείωση της ανάπτυξης του πληθυσμού των βακτηρίων, που επιτελούν νιτροποίηση (Φλέσσια, 2006). Το 1990, οι Antoniou et al συνδέουν την ταχύτητα νιτροποίησης με τη θερμοκρασία και το pH, επισημαίνοντας ότι σε θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$  ο ρυθμός νιτροποίησης για τιμή pH ίση με 6,9 είναι κατά ποσοστό 16% μειωμένος σε σχέση με τον αντίστοιχο για pH ίσο με 7,9 (Φλέσσια, 2006). Στους  $15^\circ\text{C}$ , η ταχύτητα νιτροποίησης για τιμή pH ίση με 6,8 είναι κατά ποσοστό 58% μειωμένη σε σχέση με την ταχύτητα που αναλογεί σε pH ίσο με 7,8. Επομένως, η μείωση της



θερμοκρασίας αυξάνει την ευαισθησία του ρυθμού νιτροποίησης στη μεταβολή της αλκαλικότητας. Το Σχήμα 3.10 παρουσιάζει τη μεταβολή του πληθυσμού των νιτροποιητικών βακτηρίων και της εξέλιξης της νιτροποίησης συναρτήσει του pH.



**Σχήμα 3.10:** Συσχέτιση του πληθυσμού των βακτηρίων *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* με το pH (Grady και Lim, 1980, EPA, 2002)

■ **Η θερμοκρασία που επικρατεί στο βιοαντιδραστήρα:** Η θερμοκρασία έχει σπουδαία επίδραση στη διαδικασία της βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N), καθώς επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και τις σταθερές κορεσμού. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης των δύο κατηγοριών βακτηρίων, οι οποίες συμμετέχουν στη νιτροποίηση, κυμαίνεται μεταξύ των 25 έως 35°C. Τα βακτήρια *Nitrosomonas* αδρανοποιούνται μεταξύ 0 έως 5°C και για τιμές θερμοκρασίας που ξεπερνούν τους 35°C, ενώ τα βακτήρια *Nitrobacter* δεν δραστηριοποιούνται μεταξύ των 0 έως 5°C και για τιμές θερμοκρασίας άνω των 40°C. Η θερμοκρασιακή επίδραση στο ρυθμό απονιτροποίησης εκτιμάται μέσω της εξίσωσης του Van't Hoff-Arrhenius (Σχήμα 3.11):

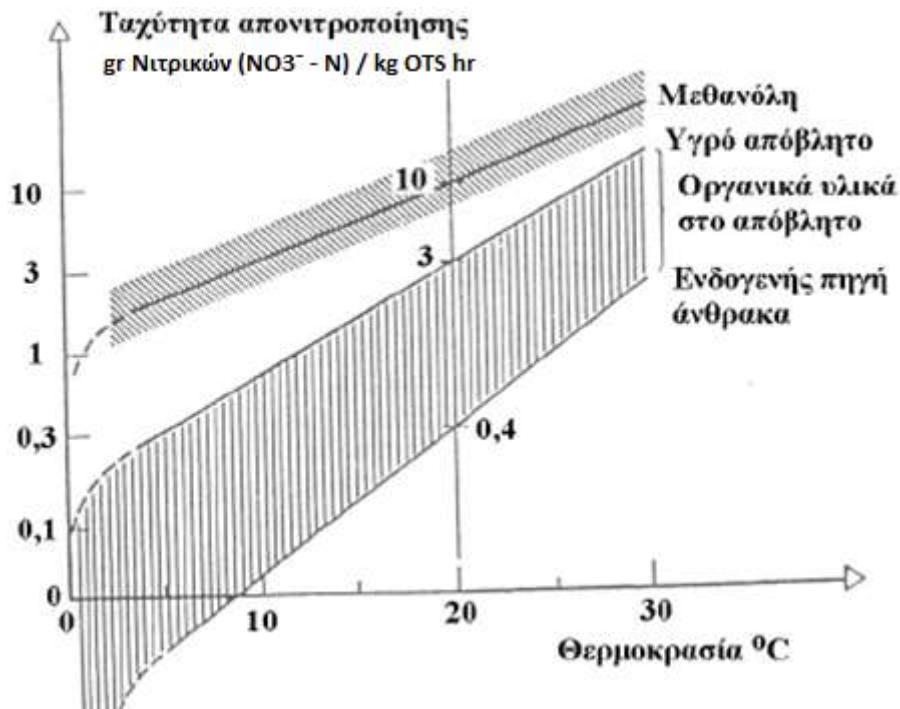
$$v_t = v_{20} \times \theta^{(t-20)}, \text{ όπου}$$

$v_t$ : ο ρυθμός απονιτροποίησης στους  $t^\circ\text{C}$

$v_{20}$  η αντίστοιχη τιμή στους  $20^\circ\text{C}$

$\theta$ : ένας θερμοκρασιακός συντελεστής (Πίνακας 3.5).

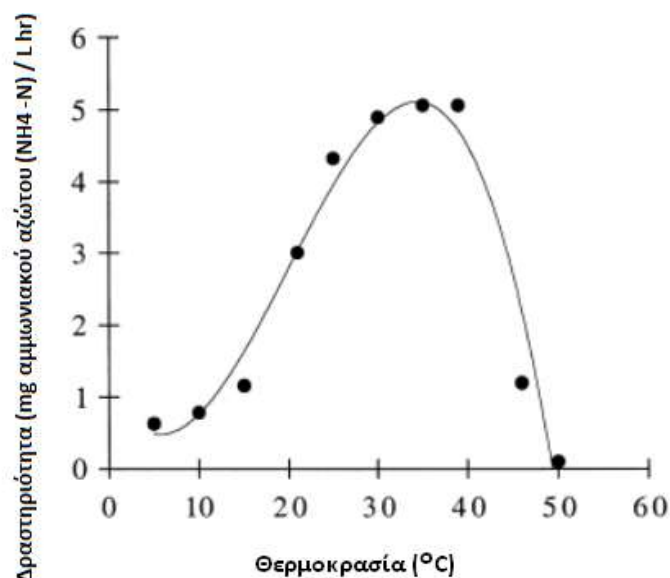
Το Σχήμα 3.12 παρουσιάζει τη μεταβολή του πληθυσμού των βακτηρίων συναρτήσει της θερμοκρασίας. Παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $10^\circ\text{C}$ , διπλασιάζει το ρυθμό ανάπτυξης του πληθυσμού των μικροοργανισμών. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους  $30^\circ\text{C}$ , ο ρυθμός ανάπτυξης ελαττώνεται και πλησίον των  $40^\circ\text{C}$  είναι ίδιος με το ρυθμό ανάπτυξης των  $5^\circ\text{C}$ . Η εξάρτηση αυτή των μικροοργανισμών από τη θερμοκρασία έγκειται στην πρωτεϊνική δομή τους (Παπαβασιλείου, 2007).



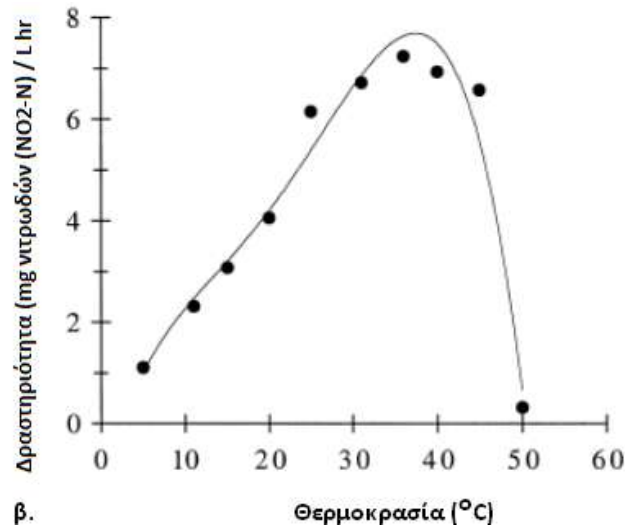
**Σχήμα 3.11:** Η επιρροή της θερμοκρασίας στο ρυθμό βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N)-Εξίσωση Van't Hoff-Arrhenius (Μελίδης, 2011)

**Πίνακας 3.5:** Τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή ( $\theta$ ) σε σύστημα ενεργού ιλύος (Μελίδης, 2011)

Η-Δότης	$\theta$	$v_{20}$	Θερμοκρασιακό εύρος (°C)
Μεθανόλη	1,12	10	10 έως 25
Υγρό απόβλητο	1,15	3	5 έως 20
Ενδογενές υπόστρωμα	1,20	0,4	15 έως 25

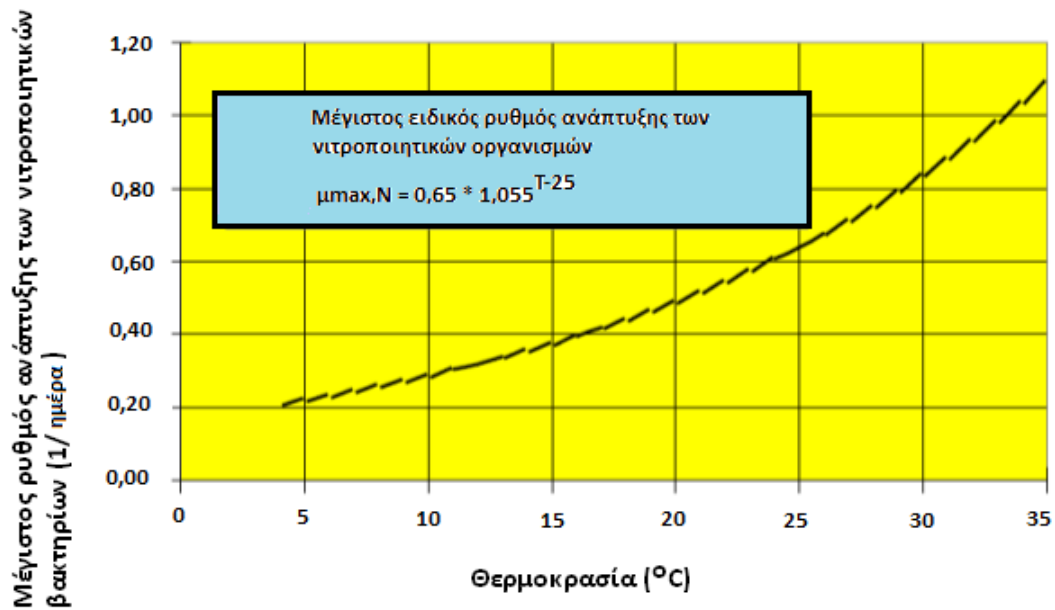


α.

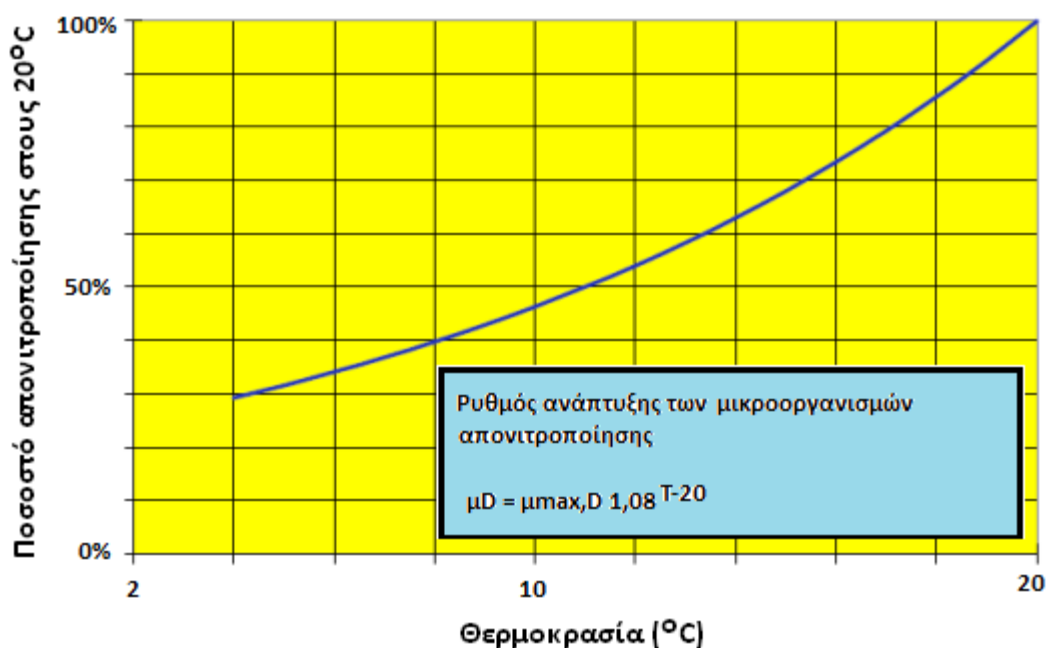


β.  
**Σχήμα 3.12:** Μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των νιτροποιητών και απονιτροποιητών συναρτήσει της θερμοκρασίας: α. *Nitrosomonas*, β. *Nitrobacter* (Grunditz και Dalhammar, 1999)

Τέλος, τα Σχήματα 3.13 και 3.14 παρουσιάζουν αντίστοιχα το μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων συναρτήσει της θερμοκρασίας και την θερμοκρασιακή εξάρτηση του ρυθμού απονιτροποίησης.



**Σχήμα 3.13:** Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών συναρτήσει της θερμοκρασίας (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997)

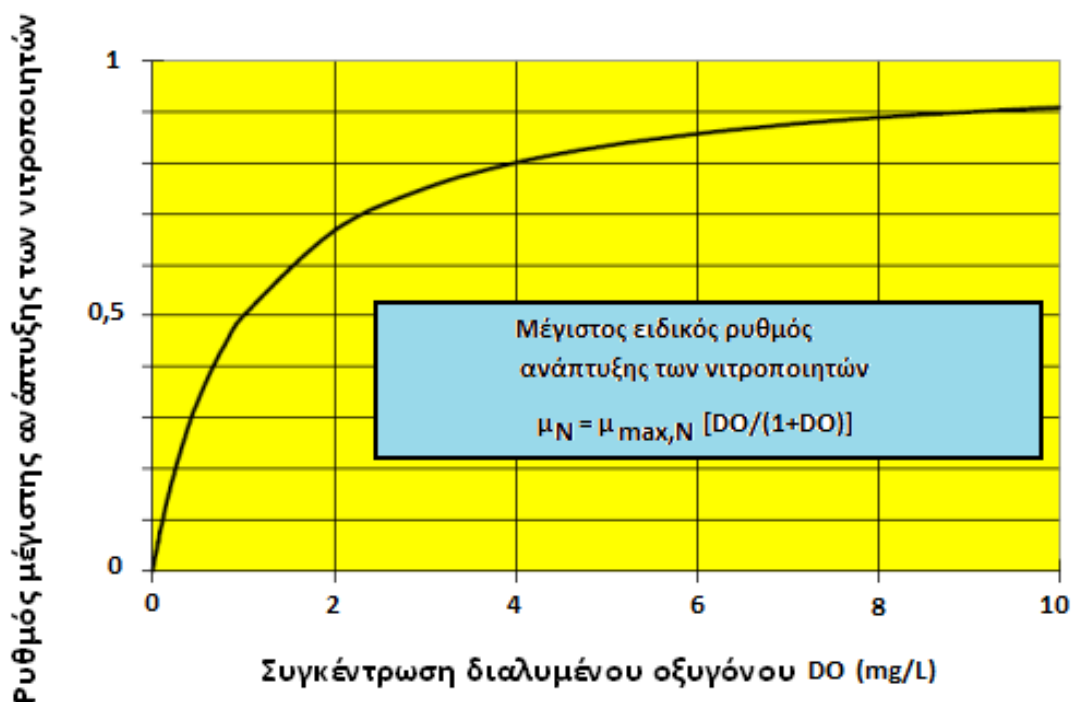


**Σχήμα 3.14:** Ο ρυθμός ανάπτυξης των απονιτροποιητών συναρτήσεως της θερμοκρασίας (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997)

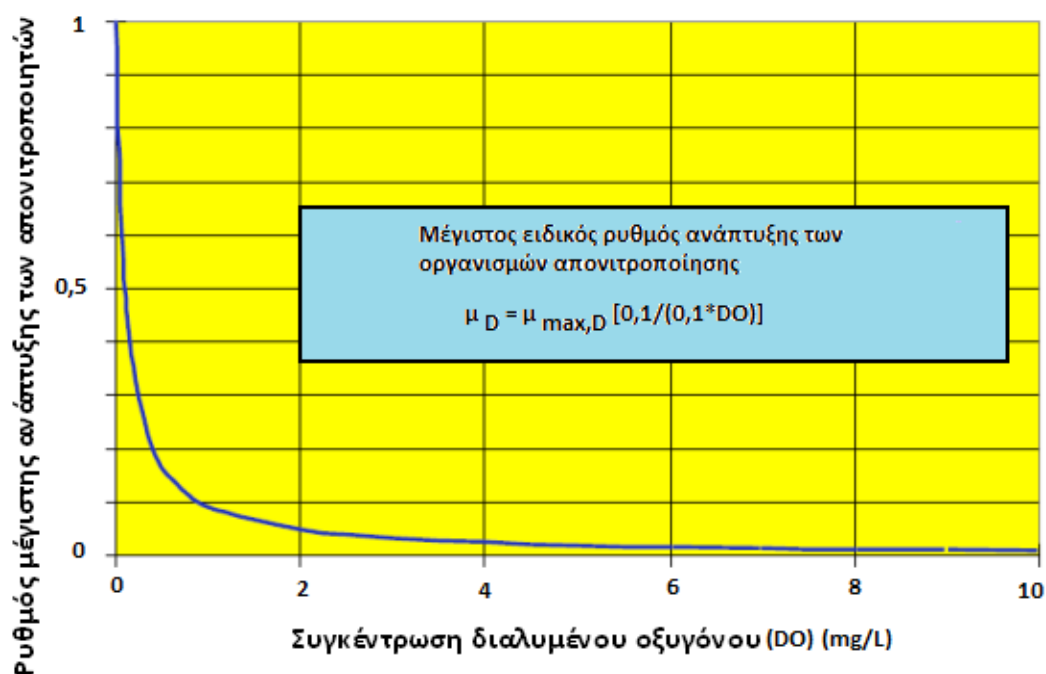
■ **το διαλυμένο οξυγόνο των υγρών αποβλήτων (DO) (Φλέσσα, 2006):** Το 1958, οι Downing και Scragg εκτιμούν ότι η πραγματοποίηση της νιτροποίησης προϋποθέτει την επίτευξη συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου (DO) τουλάχιστον ίσης με 0.3mg/L. Το 1960, οι Butt και Lees κάνοντας χρήση της τεχνικής Warburg αποδεικνύουν ότι χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) προκαλούν παρεμπόδιση της δράσης του βακτηρίου *Nitrobacter winogradskyi*. Δύο χρόνια αργότερα (1962), οι Boon και Laudelout χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνική συμπεραίνουν ότι για θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ των 20 έως 35°C η χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) αναστέλλει την ανάπτυξη του ίδιου βακτηρίου. Το 1964, οι Schobert και Engel διαπιστώνουν ότι η ταχύτητα με την οποία οι νιτροδοποιητικοί οργανισμοί πραγματοποιούν τη νιτροποίηση δεν επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO), όταν η τελευταία ξεπερνά το 1mg/L. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται για τους νιτροποιητικούς οργανισμούς, όταν η συγκέντρωση ξεπερνά τα 2mg/L. Το 1969, οι Nagel και Haworth διατυπώνουν την άποψη ότι η αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) από 1mg/L σε 3mg/L, διπλασιάζει την ταχύτητα της νιτροποίησης. Από τα διαφορετικά αποτελέσματα των ερευνών, που προαναφέρθηκαν, διαπιστώνεται ότι η επιρροή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στη διεργασία της βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N) από τα υγρά απόβλητα κρίνεται πολύπλοκη, διότι η συγκέντρωση του οξυγόνου (O<sub>2</sub>) στο μίγμα υγρά απόβλητα-βιομάζα δεν ταυτίζεται με την αντίστοιχη εντός των βιοκροκίδων. Το Σχήμα 3.15 παρουσιάζει το ρυθμό απομάκρυνσης του αζώτου (N) σε σύστημα ενεργού ιλύος σε σχέση με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στη δεξαμενή αερισμού, ενώ το Σχήμα 3.16 το ρυθμό απονιτροποίησης σε σχέση με το DO.

Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου (O<sub>2</sub>) λαμβάνει χαμηλές τιμές, στο εσωτερικό της ενεργού ιλύος λαμβάνει χώρα απονιτροποίηση, ενώ στο εξωτερικό περιβάλλον λαμβάνει χώρα νιτροποίηση. Επιπροσθέτως, σε δεξαμενές αερισμού, οι οποίες λειτουργούν με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO), αναπτύσσονται

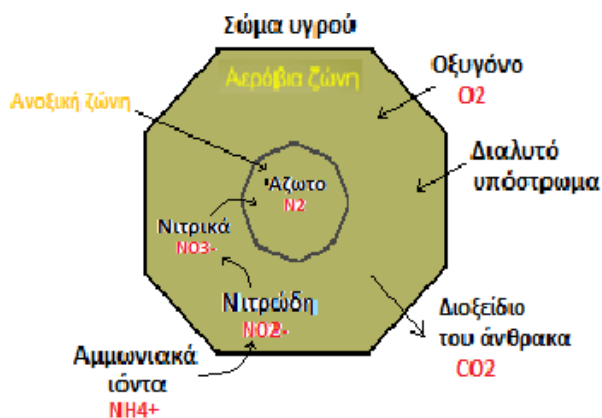
αερόβιες και ανοξικές ζώνες ανάλογα με τις συνθήκες ανάμειξης και το σημείο παροχής του αέρα (Σχήμα 3.17).



**Σχήμα 3.15:** Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών συναρτῆσει του διαλυμένου οξυγόνου (DO) του βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997)



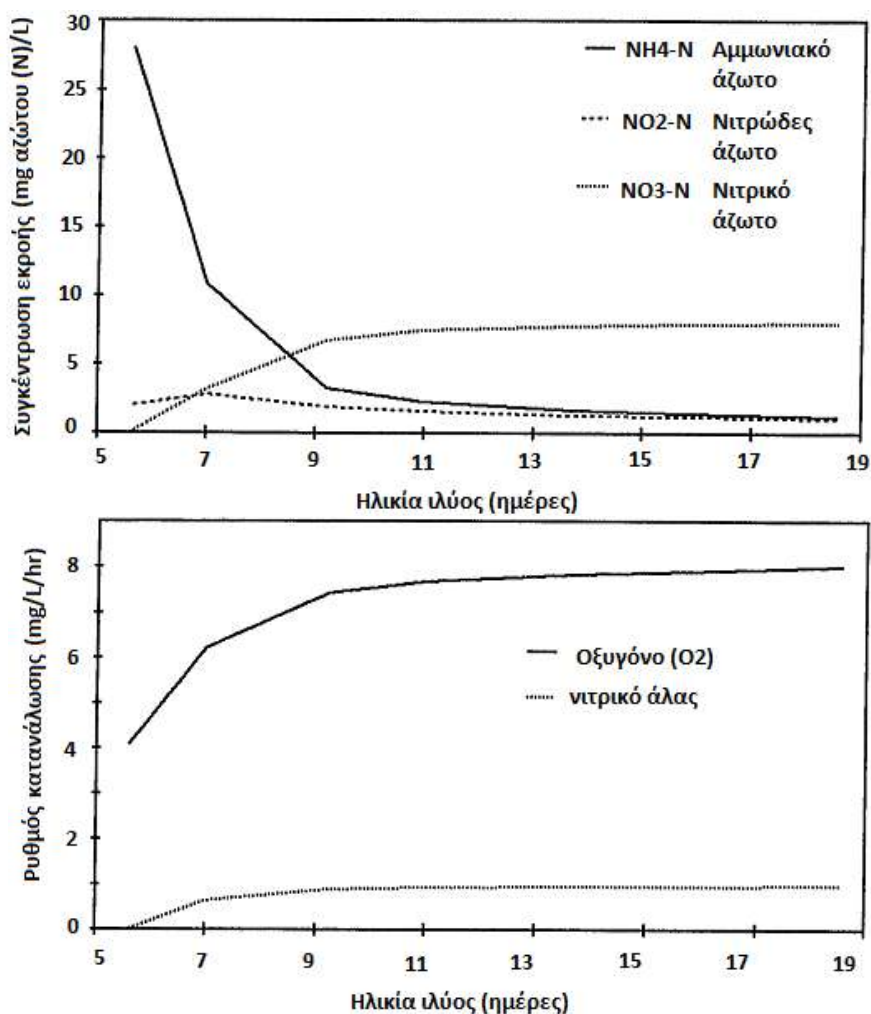
**Σχήμα 3.16:** Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των απονιτροποιητών συναρτῆσει του διαλυμένου οξυγόνου (DO) του βιοαντιδραστήρα σε σύστημα ενεργού ιλύος (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997)

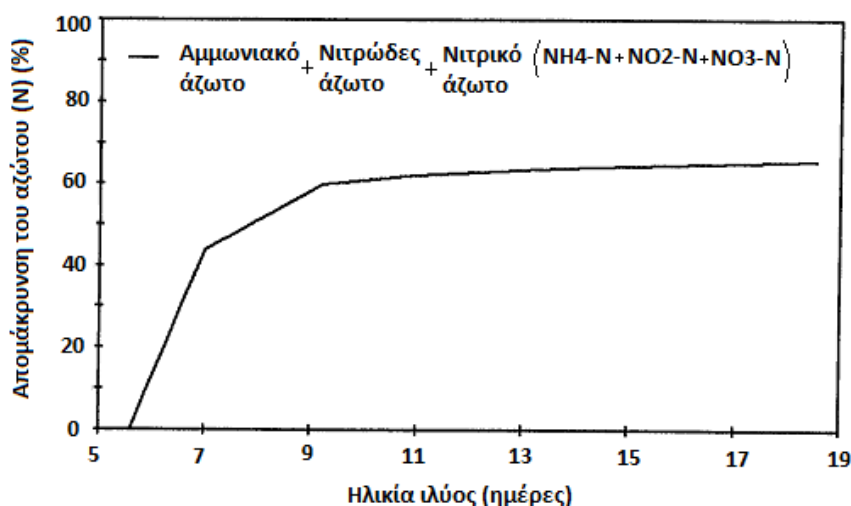


Σχήμα 3.17: Σχηματισμός αερόβιων και ανοξικών ζωνών μέσα στο βιοαντιδραστήρα (Μελίδης, 2011)

✦ **Η ηλικία της ιλύος:** Το Σχήμα 3.18 παρουσιάζει την περιεκτικότητα του διαλύματος υγρά απόβλητα-βιομάζα σε άζωτο (N) συναρτήσει του χρόνου. Και για τα 3 διαγράμματα του Σχήματος 3.18 ισχύει:

- ☐ Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)/ Αμμώνιο ( $NH_4$ ) = 5
- ☐ MLR = 1/4
- ☐ HRT = σταθερά.





**Σχήμα 3.18:** Η απομάκρυνση του αζώτου (N) από τα υγρά απόβλητα συναρτήσει της ηλικίας της υλός (Idury, 1992)

✚ **Το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων:** Ο Πίνακας 3.6 παρουσιάζει την επίδραση της οργανικής φόρτισης των υγρών αποβλήτων στην οξείδωση της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ), ενώ ο Πίνακας 3.7 παρουσιάζει τις οργανικές ενώσεις που προκαλούν αναστολή της νιτροποιητικής διαδικασίας σε συστήματα ενεργού υλός.

**Πίνακας 3.6:** Η επίδραση της οργανικής φόρτισης στην οξείδωση της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) (Sedlak, 1991)

Οργανικό συστατικό	Ποσοστό (%) αναστολής της οξείδωσης στην ένδειξη της συγκέντρωσης (mg/L) που αναφέρεται				Εκτίμηση της συγκέντρωσης η οποία προκαλεί 50% αναστολή της οξείδωσης (mg/L)
	100	50	10	Όπως σημειώνεται	
Dodecylamine	96	95	-	66 <sup>2</sup>	<1
Aniline <sup>1</sup>	86	-	-	76 <sup>3</sup> , 89 <sup>4</sup>	<1
n-Methylaniline	90	83	71	-	<1
1-Naphthylamine	81	81	45	-	15
Ethylenediamine	73	-	41	61 <sup>5</sup>	17
Naphtylethylenediamine diHCl	93	79	29	-	23
2,2-Bipyridine	91	81	23	-	23
p-Nitroaniline	64	52	46	-	31
p-Aminopropiophenone	80	56	22	-	43
Benzidine diHCl	84	56	12	-	45
p-Phenylazoaniline	54	47	0	-	72
Hexamethylene diamine <sup>1</sup>	52	45	27	-	85
p-Nitrobenzaldehyde	76	32	29	-	87
Triethylamine	35	-	-	63 <sup>6</sup>	127

Ninhydrin	30	26	31	-	>100
Benzocaine	30	27	0	-	>100
Dimethylgloxime	30	9	-	56 <sup>6</sup>	140
Benzylamine	26	10	0	-	>100
Tannic acid	20	7	-	22 <sup>6</sup>	>150
Monoethanolamine <sup>1</sup>	16	-	-	20 <sup>7</sup>	>200

1. Σημαντικά βιομηχανικά χημικά
2. 1mg/L
3. 2,5mg/L
4. 5mg/L
5. 30mg/L
6. 150mg/L
7. 200mg/L

**Πίνακας 3.7:** Οι οργανικές ενώσεις που προκαλούν αναστολή της νιτροποίησης σε συστήματα ενεργού υλός (Sedlak, 1991)

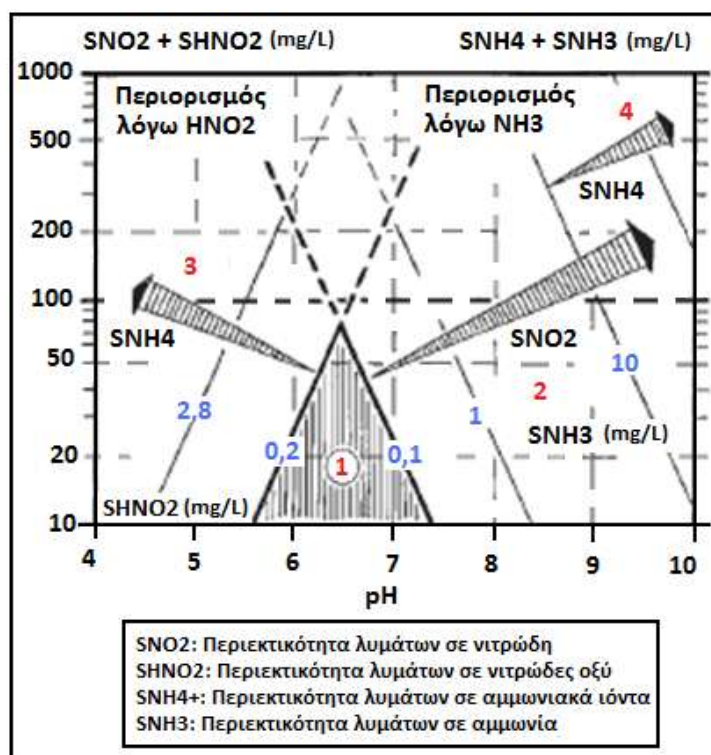
Οργανικό συστατικό	Συγκέντρωση <sup>1</sup> (mg/L)
Acetone <sup>2</sup>	2.000.000
Allyl alcohol	19.500
Allyl chloride	180.000
Allyl isothiocyanate	1.900
Benzothiazole disulfide	38.000
Carbon disulfide <sup>2</sup>	35.000
Chloroform <sup>2</sup>	18.000
o-Cresol	12.800
Diallyl ether	100.000
Dicyandiamide	250.000
Diguanide	50.000
2,4-Dinitrophenol	460.000
Dithiooximide	1.100
Ethanol <sup>2</sup>	2.400.000
Guanidine carbonate	16.500
Hydazine	58.000
8-Hydroxyquinoline	72.500
Mercaptobenzothiazole	3.000
Methylamine hydrochloride	1.550.000
Methyl isothiocyanate	0.800
Methyl thiuronium sulfate	6.500
Phenol <sup>2</sup>	5.600
Potassium thiocyanate	300.000
Skatol	7.000
Sodium dimethyl dithiocarbamate	13.600
Sodium methyl dithiocarbamate	0.900
Tetramethyl thiuram disulfide	30.000
Thioacetamide	0.530



Thiosemicarbazide	0.180
Thiourea	0.076
Trimethylamine	118.000

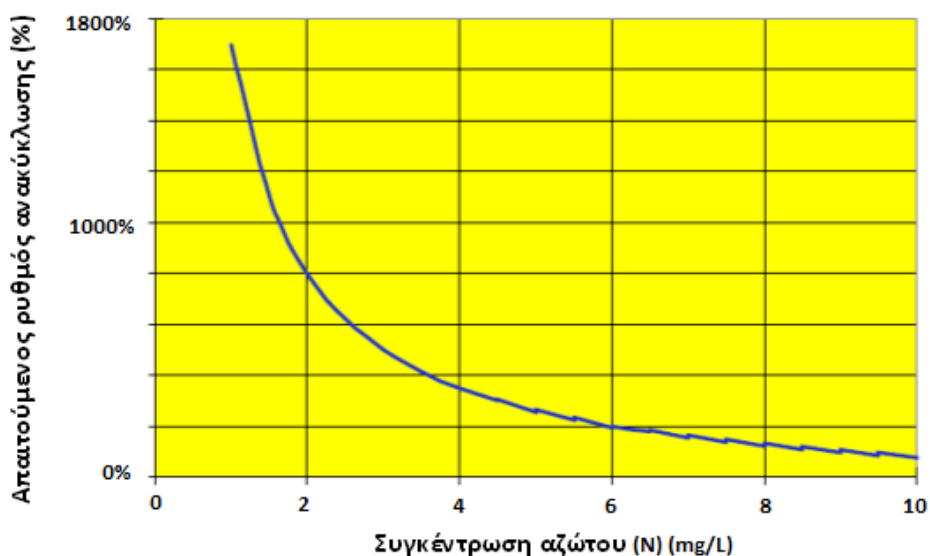
1. Συγκέντρωση η οποία προκαλεί 75% αναστολή της νιτροποιητικής διεργασίας
2. Σημαντικά βιομηχανικά χημικά

✦ **Η περιεχόμενη ποσότητα αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) των υγρών αποβλήτων:** Η νιτροποίηση παρεμποδίζεται από τις χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρώδους οξέος (HNO<sub>2</sub><sup>-</sup>), διότι αναστέλλεται η δραστηριότητα των βακτηρίων *Nitrosomonas*. Οι Anthonisen et al (1976) εκτιμούν ότι η συμπεριφορά αυτή των νιτροποιητών αρχίζει, όταν η συγκέντρωση νιτρώδους οξέος (HNO<sub>2</sub><sup>-</sup>) λάβει τιμή στο διάστημα μεταξύ 0,8 έως 2,8mg/L, ενώ ο Nyhuis (1985) θεωρεί ότι οι απαγορευτικές τιμές για την έναρξη της διεργασίας κυμαίνονται μεταξύ 0,02 έως 0,1mg/L. Από την άλλη πλευρά, η ελεύθερη αμμωνία (NH<sub>3</sub>) αναστέλλει τη δράση του βακτηρίου *Nitrobacter*, όταν η συγκέντρωσή της είναι 0,1 έως 1 ή 1 έως 10mg/L, αλλά και σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (10 έως 150 ή 40 έως 200mg/L κατ' άλλους ερευνητές) καθιστά αδύνατη την ενεργοποίηση του *Nitrosomonas*. Επειδή, όμως, οι συγκεντρώσεις του νιτρώδους οξέος (HNO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και της αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) εξαρτώνται και από το pH, τα νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και τα αμμωνιακά ιόντα (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), οι Anthonisen et al (1976) παρήγαγαν ένα διάγραμμα, όπου συγκεντρώνονται όλες οι περιοριστικές συνθήκες για την έναρξη της νιτροποίησης (Σχήμα 3.19). Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα, οι χαμηλές τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρώδων (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και των αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) και τιμές pH 6 ή 7, επιτρέπουν την πραγματοποίηση νιτροποίησης (γραμμοσκιασμένη περιοχή). Οι συνθήκες αυτές συνηθίζεται να επικρατούν κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

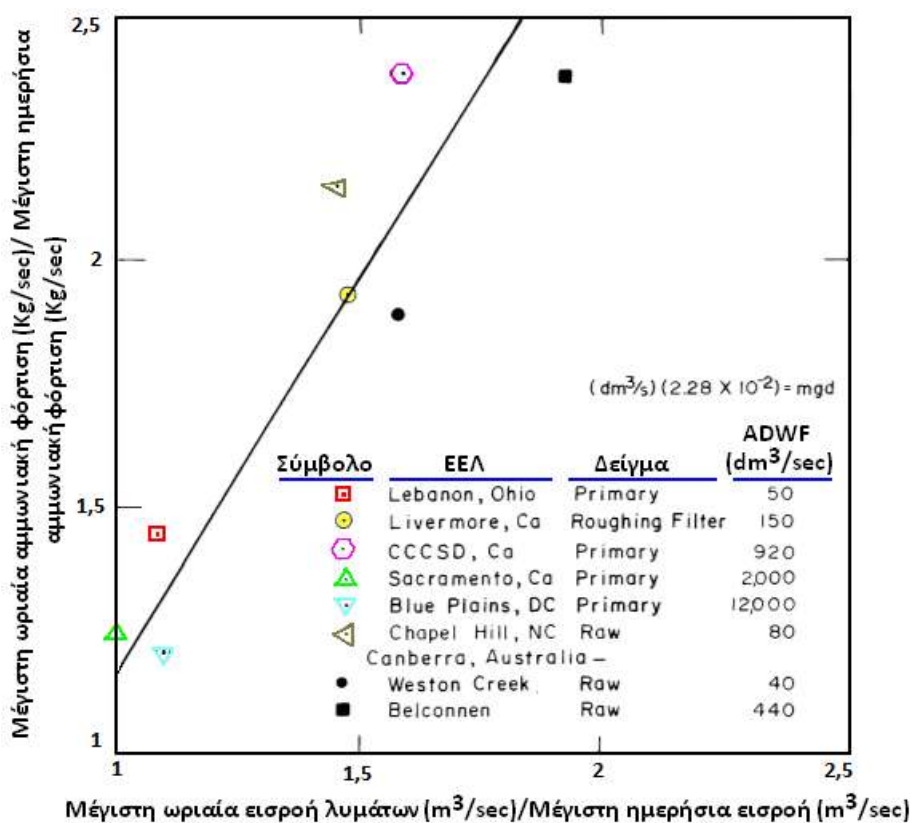


Σχήμα 3.19: Οι περιοριστικοί παράγοντες της νιτροποίησης (Kayser, 2005)

Το Σχήμα 3.20 παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ της επιδιωκόμενης συγκέντρωσης αζώτου (N) των υγρών αποβλήτων, που εκρέουν από την ΕΕΛ, με τον απαιτούμενο ρυθμό ανατροφοδοσίας του βιοαντιδραστήρα μετρούμενο ως ποσοστό επί της εισερχόμενης ποσότητας αποβλήτων. Το Σχήμα 3.21 παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ των λόγων μέγιστη ωριαία ροή υγρών αποβλήτων προς μέγιστη ημερήσια ροή υγρών αποβλήτων και μέγιστο ωριαίο αμμωνιακό φορτίο προς μέγιστο ημερήσιο αμμωνιακό φορτίο.



**Σχήμα 3.20:** Η συγκέντρωση του αζώτου (N) συναρτῆσει του απαιτούμενου ρυθμού ανακύκλωσης (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997)



**Σχήμα 3.21:** Η αμμωνιακή φόρτιση αιχμής συναρτῆσει της υδραυλικής (EPA, 1977)

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός νιτροποίησης ελαττώνεται όταν στον αντιδραστήρα περιέχεται ελεύθερη αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και ελεύθερο νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ). Και οι δύο μη ιοντικές μορφές είναι τοξικές για τους νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς (Metcalf και Eddy, 2003).

### **3.1.1.3. Η απομάκρυνση του φωσφόρου (P)**

Ο φώσφορος (P) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα συνήθως σε ανόργανη μορφή (ως πολυφωσφορικές ρίζες). Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός των αποβλήτων όσον αφορά στο φώσφορο επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη αερόβιων και αναερόβιων συνθηκών στη ΜΕΛ. Η διαδοχή αυτή ευνοεί την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων (πολυφωσφορικών βακτηρίων), τα οποία έχουν την ικανότητα να προσροφούν και στη συνέχεια να συγκρατούν μέσα στα κύτταρά τους το φώσφορο, αλλά και οργανικές ενώσεις. Πιο αναλυτικά, η διαδικασία έχει ως ακολούθως: Οι πολυφωσφορικές ενώσεις υδρολύονται μέσα στα υγρά απόβλητα και μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικές. Η διεργασία αυτή αποδίδει ενέργεια, η οποία υποβοηθά την προσρόφηση και ενδοκυτταρική αποθήκευση του φωσφόρου (P) στα βακτήρια. Υπό αερόβιες συνθήκες, τα βακτήρια οξειδώνουν τις οργανικές ενώσεις, που έχουν αποθηκεύσει, παράγοντας ενέργεια με την οποία συνθέτουν νέο κυτταρικό υλικό (βιομάζα), αλλά και προσροφούν τις ορθοφωσφορικές ενώσεις. Η χημική απομάκρυνση του φωσφόρου (P) επιτυγχάνει συγκέντρωση ορθοφωσφορικών στην εκροή των ΕΕΛ μικρότερη από 0,1mg/L, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου (P) κυμαίνονται από 1 έως 2mg/L (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994).

Το διαθέσιμο υπόστρωμα της ΕΕΛ συμβάλλει θετικά στην ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων και κατ' επέκταση στην απομάκρυνση του φωσφόρου (P) από τα υγρά απόβλητα.

### **3.1.1.4. Η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων**

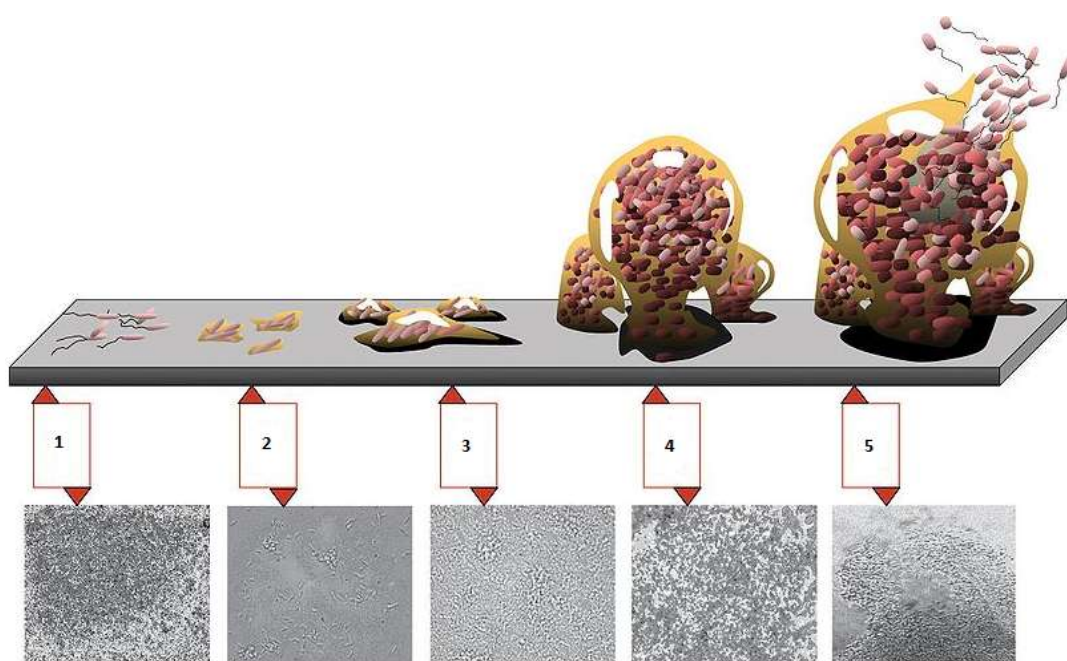
Σε γενικές γραμμές, οι τοξικές ουσίες επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροβίων, που περιέχονται στην ενεργό ιλύ. Το κάθε είδος μικροοργανισμού παρουσιάζει διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης και διαφορετική ανθεκτικότητα στα βαρέα μέταλλα. Υπό δεδομένη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, η αναστολή της δράσης κάποιου συγκεκριμένου μικροβιακού είδους μπορεί να αντικατασταθεί από την ενεργοποίηση άλλης ομάδας μικροοργανισμών με υψηλότερη ανθεκτικότητα στα βαρέα μέταλλα. Κατά τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να μην επηρεαστεί η διαδικασία καθαρισμού. Στην περίπτωση κατά την οποία, όμως, η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων αυξηθεί σημαντικά, μειώνεται ο ρυθμός αναπνοής των μικροοργανισμών και παρουσιάζεται δυσχέρεια στην αποικοδόμηση του υποστρώματος. Περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων επιβραδύνει τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών, αλλοιώνει τη σύνθεση του μικροβιακού πληθυσμού και τελικά εμποδίζει την απόδοση των ΜΕΛ (Lewandowski, 1987).

Οι κύριοι μηχανισμοί με τους οποίους απομακρύνονται οι τοξικές οργανικές ενώσεις σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος είναι η βιοαποδόμηση, η προσρόφηση, η φωτοδιάσπαση και η μετατροπή τους σε πτητική μορφή.

### **3.1.2. Σύστημα προσκολλημένης βιομάζας (Adherent Biomass System)**

Το σύστημα προσκολλημένης βιομάζας επιτελεί αερόβια ή αναερόβια δευτεροβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Η ονομασία της μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι οι μικροοργανισμοί, με σκοπό να αποικοδομήσουν τα απόβλητα, προσκολλώνται σε σταθερές επιφάνειες (αδρανές υλικό πλήρωσης) εντός της δεξαμενής αερισμού και καθώς τα υγρά απόβλητα κινούνται επί του συσσωματώματος απομακρύνονται οι οργανικές ουσίες και τα θρεπτικά τους συστατικά. Η προσκολλημένη βιομάζα χαρακτηρίζεται επίσης ως «βιολογική στοιβάδα» ή «βιολογικός υμένας» (Σχήμα 3.22).

Τα υλικά πλήρωσης των δεξαμενών αερισμού δύνανται να είναι κροκάλες, χάλικες, σκωρίες, άμμος, ξύλα, πλαστικά, διάφορα συνθετικά υλικά κ.α. Στα βιολογικά φίλτρα ή χαλικοδιυλιστήρια (trickling filters), το πληρωτικό υλικό των δεξαμενών είναι κροκάλες ή χαλίκια και στους βιολογικούς πύργους συνθετικό υλικό. Σε συμβατικά συστήματα, το πάχος στρώσης του πληρωτικού υλικού κυμαίνεται μεταξύ των 2 έως 4m, ενώ σε σύγχρονα μπορεί να φτάσει μέχρι τα 10m. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται συνθετικά υλικά πλήρωσης, το 90% έως 95% του όγκου του διυλιστηρίου είναι κενός χώρος. Η διεργασία καθαρισμού ενός τέτοιου συστήματος συνήθως απαιτεί την κατασκευή δεξαμενής προκαθίζησης. Τα απόβλητα εισέρχονται στο σύστημα, κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του φίλτρου με χρήση ειδικών ψεκαστών και ρέουν καθοδικά δια μέσου των κενών χώρων του πληρωτικού υλικού. Η βιομάζα, που έχει αναπτυχθεί, περιβρέχεται με υγρά απόβλητα και στην επιφάνεια επαφής υγρών αποβλήτων-βιομάζας προσροφώνται οι ρύποι που περιέχονται είτε διαλυμένοι είτε σε αιώρηση μέσα στα υγρά απόβλητα.



**Σχήμα 3.22:** Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε σύστημα προσκολλημένης βιομάζας

Η βιοαποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων παράγει ανόργανες ουσίες ως προϊόντα του μεταβολισμού των βακτηρίων και βιομάζα, η οποία αυξάνει το πάχος των βιολογικών υμένων και κατά συνέπεια περιορίζει τα διάκενα του διυλιστηρίου. Ένα ποσοστό της παραγόμενης βιομάζας αποτελεί τροφή για τους μικροοργανισμούς.

Η τροφοδοσία του συστήματος με αέρα, ώστε να οξειδωθούν οι οργανικές ενώσεις, γίνεται μέσω κατάλληλης διαμόρφωσης του πυθμένα του διυλιστηρίου με σύστημα οπών. Οι οπές εξασφαλίζουν από τη μια τη φυσική κυκλοφορία αέρα μέσα στους κενούς χώρους του διυλιστηρίου και από την άλλη την εκροή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση κατά την οποία το πάχος των υμένων μεγαλώσει, οι κενοί χώροι του διυλιστηρίου ελαττώνονται. Κατά συνέπεια, ο αέρας δεν μπορεί να εισέλθει στην εσωτερική περιοχή των υμένων και αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες. Καθώς συνεχίζεται η διεργασία, η βιομάζα αποκολλάται από την επιφάνεια πρόσφυσης και συμπαρασύρεται προς την έξοδο της εγκατάστασης δημιουργώντας κίνδυνο απόφραξης του διυλιστηρίου.

Τα δισκοδιυλιστήρια ή οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι ή οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί επαφείς (Rotating Biological Contactors, RBC) λειτουργούν, όπως και τα χαλικοδιυλιστήρια, με τη μέθοδο της προσκολλημένης βιομάζας (Σωτηράκης, 2005). Η εγκατάσταση ενός δισκοδιυλιστηρίου περιλαμβάνει μια ημικυλινδρική δεξαμενή, στην οποία εισέρχονται τα προς επεξεργασία απόβλητα, και έναν άξονα κατά μήκος της δεξαμενής, ο οποίος έχει ενσωματωμένους κυκλικούς δίσκους σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους και ημιβυθισμένους μέσα στα απόβλητα. Στην επιφάνεια των δίσκων αναπτύσσονται οι βιολογικές στοιβάδες, καθώς ο άξονας που τους φέρει περιστρέφεται. Η περιστροφή του άξονα επιτρέπει στις στοιβάδες να βυθίζονται μέσα στα υγρά απόβλητα ή να έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα ανά διαστήματα. Όταν οι στοιβάδες είναι βυθισμένες στα απόβλητα, προσροφούν οργανικές ενώσεις και τις χρησιμοποιούν ως τροφή, ενώ όταν εξέρχονται από τα υγρά απόβλητα, προσλαμβάνουν οξυγόνο ( $O_2$ ) από τον ατμοσφαιρικό αέρα και τις οξειδώνουν.

Η ταχύτητα περιστροφής του άξονα και οι δυνάμεις τριβής μεταξύ ρευστού και βιολογικής στοιβάδας οδηγούν στην αποκόλληση της βιομάζας από τους δίσκους και τη μεταφορά της από το διυλιστήριο στη δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ), όπου και συγκρατείται.

Συνήθως, τα δισκοδιυλιστήρια δεν αποτελούνται από μια δεξαμενή, αλλά πολυάριθμες σε σειρά με διαφορετική μικροβιακή σύνθεση βιολογικών στοιβάδων σε καθεμιά και διαφορετική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) των υγρών αποβλήτων.

Βασικό πλεονέκτημα των δισκοδιυλιστηρίων (σε σχέση με άλλες τεχνολογίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων) είναι το χαμηλό λειτουργικό κόστος, εφόσον καταναλώνεται ενέργεια μόνο για την κίνηση του άξονα. Επιπροσθέτως, σε σχέση με τα συστήματα ενεργού ιλύος ή τα χαλικοδιυλιστήρια υφίσταται χαμηλότερο κόστος συντήρησης των μονάδων. Συγκεκριμένα και αναφορικά με τα συστήματα ενεργού ιλύος, υφίσταται 70 έως 80% ενεργειακή εξοικονόμηση.

Η Φωτογραφία 3.8 παρουσιάζει ένα χαλικοδιυλιστήριο, ενώ η Φωτογραφία 3.9 ένα δισκοδιυλιστήριο.



**Φωτογραφία 3.8:** Το χαλικοδυλιστήριο



**Φωτογραφία 3.9:** Το δισκοδυλιστήριο

Αναφορικά με τα χαλικοδυλιστήρια, αξίζει να σημειωθεί ότι σε συστήματα υψηλής φόρτισης επιτυγχάνεται απομάκρυνση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5) σε ποσοστό 65 έως 95% και των αιωρούμενων στερεών (SS) κατά 65 έως 92%. Σε συστήματα χαμηλής φόρτισης, η απόδοση εμφανίζεται αυξημένη και τα αντίστοιχα ποσοστά λαμβάνουν τιμές στα διαστήματα 80 έως 95% και 70 έως 92%.

### **3.1.3. Σύστημα παρατεταμένου αερισμού ή οξειδωτική τάφρος (Oxidation Ditch)**

Η οξειδωτική τάφρος αναπτύχθηκε από τον Passveer τη δεκαετία του 1950 και αποτελεί μια εναλλακτική τεχνολογία διαχείρισης υγρών αποβλήτων, η οποία λειτουργεί κάνοντας χρήση της μεθόδου ενεργού ιλύος. Η διαφοροποίηση μιας οξειδωτικής τάφρου από τη συμβατική διεργασία ενεργού ιλύος έγκειται στο γεγονός ότι στην πρώτη τα στερεά παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα μέσα στο σύστημα. Μέχρι τις μέρες μας, αναπτύχθηκαν διάφορες παραλλαγές του συστήματος, οι οποίες περιλαμβάνουν τον απλοποιημένο τύπο Passveer, την οξειδωτική τάφρο Orbal (Orbal circularity ditch, Φωτογραφία 3.10), τον τύπο Carrousel (Carrousel circulation ditch), τη διπλή και τριπλή τάφρο (Double ditch, Triple ditch αντιστοίχως) και τη σύνθετη τάφρο (Combined ditch, Φωτογραφία 3.11) (GAO, 2008).

Η οξειδωτική τάφρος αποτελείται από κυκλικά ή πεταλοειδή κανάλια κατά μήκος των οποίων κυκλοφορούν τα προς επεξεργασία απόβλητα. Στα τοιχώματα των καναλιών, είναι εγκατεστημένοι αεριστήρες σε οριζόντια ή κατακόρυφη

διάταξη, οι οποίοι παρέχουν το απαιτούμενο οξυγόνο ( $O_2$ ) για την πραγματοποίηση του βιολογικού καθαρισμού και εξασφαλίζουν την κυκλοφορία της εισροής στο εσωτερικό των καναλιών, καθώς και την πλήρη ανάμειξή της. Με το πέρας της διεργασίας, η εκροή οδηγείται σε ΔΤΚ για την απομάκρυνση της περίσσειας ιλύος, ενώ ένα ποσοστό λάσπης επανακυκλοφορεί μέσα στην τάφρο, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη συγκέντρωση βιομάζας στο σύστημα.

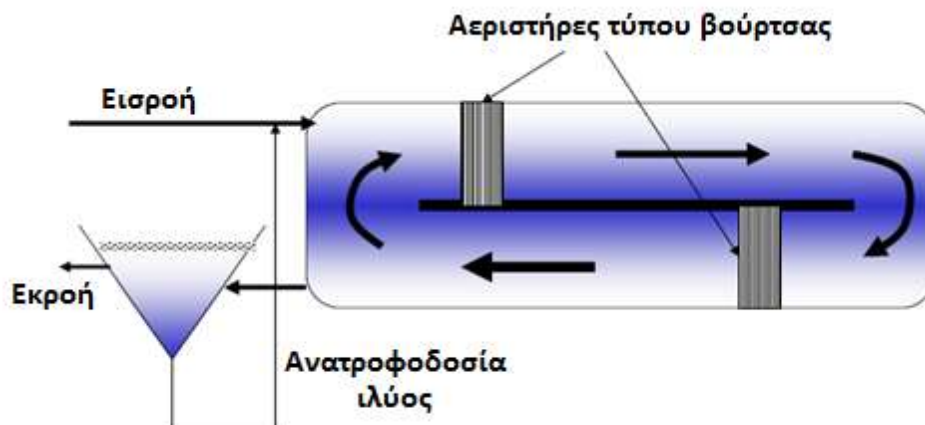


**Φωτογραφία 3.10:** Ο τύπος Orbal οξειδωτικής τάφρου



**Φωτογραφία 3.11:** Η σύνθετη οξειδωτική τάφρος

Η αποτελεσματική απομάκρυνση του αζώτου (N) προϋποθέτει το διαρκή έλεγχο της παροχής του αέρα στο σύστημα, η οποία εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τάφρου (μήκος καναλιού) και το σύστημα αερισμού. Ανάλογα με τους δύο προαναφερθέντες παράγοντες, είναι δυνατό να αναπτυχθούν ανοξικές περιοχές απονιτροποίησης μέσα στα κανάλια. Συγκεκριμένα, κοντά στον αεριστήρα επικρατούν αερόβιες συνθήκες λόγω της υψηλής συγκέντρωσης του παρεχόμενου οξυγόνου ( $O_2$ ), ενώ καθώς τα απόβλητα απομακρύνονται από αυτόν και καταναλώνουν το οξυγόνο ( $O_2$ ) για την παραγωγή βιομάζας, η συγκέντρωση του οξυγόνου ( $O_2$ ) μειώνεται και αναπτύσσεται ανοξική ζώνη. Στις ανοξικές ζώνες πραγματοποιείται απονιτροποίηση με χρήση του αζώτου (N) που παράγεται στην αερόβια ζώνη. Η επανακυκλοφορία του υγρού μέσα στην τάφρο με λόγο που κυμαίνεται μεταξύ 100:1 και 200:1 επιτυγχάνει συγκέντρωση ολικού αζώτου (TN) στην εκροή μικρότερη των 5mg/L. Ο καθαρισμός των αποβλήτων σε μια οξειδωτική τάφρο παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχήμα 3.23.

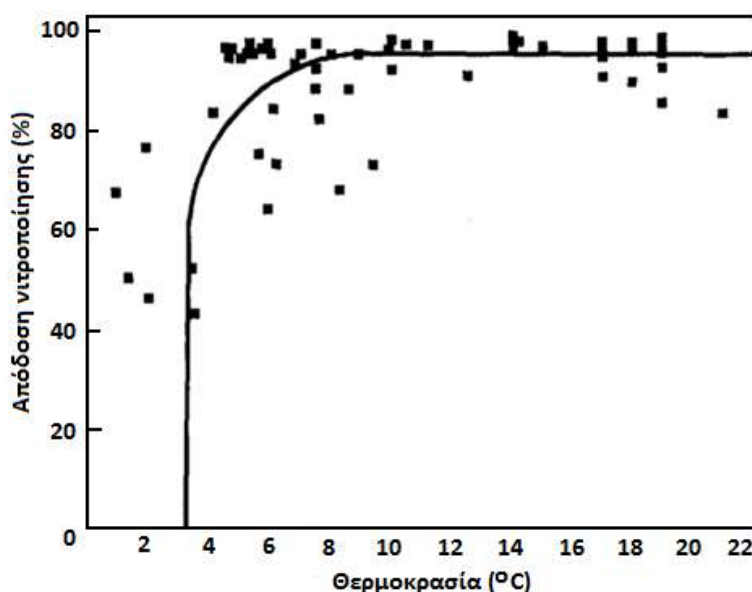


**Σχήμα 3.23:** Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε οξειδωτική τάφρο (Ujang, 2005)

Η τάφρος Carrousel έχει μεγαλύτερο βάθος καναλιού (4 έως 5m) σε σχέση με τις υπόλοιπες και επιτρέπει την εφαρμογή του συστήματος σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα χώρου ή με υψηλό κόστος απόκτησης γης.

Η τάφρος Orbal αναπτύχθηκε στη Νότια Αφρική και διαθέτει πολλά κυκλικά ομόκεντρα κανάλια, τα οποία περιβάλλουν μια ΔΤΚ. Κάθε κανάλι διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα σε σχέση με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) των αποβλήτων που κυκλοφορούν κατά μήκος του. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου (DO) από πολύ χαμηλές μέχρι πολύ υψηλές τιμές ευνοεί την πραγματοποίηση οξείδωσης του οργανικού κλάσματος, νιτροποίησης και απονιτροποίησης ταυτόχρονα.

Αναφορικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου (N) σε σύστημα οξειδωτικής τάφρου παρατηρείται ότι σε θερμοκρασίες οι οποίες υπερβαίνουν τους 4°C ο ρυθμός νιτροποίησης παρουσιάζεται ικανοποιητικός (Σχήμα 3.24).



**Σχήμα 3.24:** Η θερμοκρασιακή επίδραση στη νιτροποίηση σε σύστημα οξειδωτικής τάφρου (Hao et al., 1997)



Όταν η θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους 4°C, η νιτροποίηση διακόπτεται και λαμβάνει χώρα συσσώρευση νιτρωδών (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην ευαισθησία των *nitrite oxidizers* σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τη συμπεριφορά των *ammonia oxidizers* στις ίδιες συνθήκες.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου σε σχέση με το συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ✦ Ευελιξία στις διακυμάνσεις παροχών και φορτίων λόγω του μεγάλου χρόνου υδραυλικής παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα και τις συνθήκες πλήρους μίξης, που εφαρμόζονται.

- ✦ Εξοικονόμηση χρημάτων λόγω της μικρής ποσότητας της ιλύος, που παράγεται και η οποία δεν απαιτεί εκ' νέου διαχείριση.

- ✦ Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση.

Τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας περιλαμβάνουν:

- ✦ Αναποτελεσματική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (SS).

- ✦ Μεγάλη χωρική κάλυψη και κατά συνέπεια υψηλό κόστος εξασφάλισης γης.

Σε αντίθεση με το τελευταίο μειονέκτημα που επισημάνθηκε ανωτέρω, αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη του τύπου Carrousel, το 1968, παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής της τεχνολογίας σε περιορισμένο χώρο.

### **3.1.4. Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου με περιοδική λειτουργία ή τυποποιημένο σύστημα Compact (Sequential Batch Reactor, SBR)**

Το σύστημα Compact αποτελεί παραλλαγή του συστήματος ενεργού ιλύος και χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των οργανικών και θρεπτικών συστατικών από τα δημοτικά και βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Τα διάφορα στάδια καθαρισμού των υγρών αποβλήτων (εισοδή υγρών αποβλήτων, βιολογική επεξεργασία, καθίζηση και εκκένωση), κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος διαχωρίζονται χρονικά και όχι χωρικά (μπορούν να λάβουν χώρα σε έναν αντιδραστήρα).

Ο βαθμός επεξεργασίας που επιτυγχάνεται εξαρτάται από το σχεδιασμό του συστήματος, αλλά συνήθως είναι συγκρίσιμος με τον αντίστοιχο άλλων συστημάτων ενεργού ιλύος. Η απομάκρυνση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>) και των θρεπτικών ενώσεων αζώτου (N) και φωσφόρου (P) κυμαίνεται μεταξύ 85 έως 95%. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην εκροή των συστημάτων Compact, που κυκλοφορούν στο εμπόριο, και οι οποίες αναφέρονται στις εγγυήσεις από τους κατασκευαστές των μονάδων είναι οι ακόλουθες:

- ✦ Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>) ≤ 10mg/L.

- ✦ Συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) ≤ 10mg/L.

- ✦ Ολικό άζωτο (TN) ≤ 5 έως 8mg/L.

- ✦ Ολικός φώσφορος (TP) ≤ 1 έως 2 mg/L.

Η ανάπτυξη αξιόπιστων τεχνολογιών ελέγχου και αερισμού, μετέτρεψε τα συστήματα Compact σε δελεαστική εναλλακτική επιλογή σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος. Ειδικότερα, τα πλεονεκτήματα των συστημάτων Compact περιλαμβάνουν:

✦ **Μικρή χωρική κάλυψη:** Λόγω του μειωμένου όγκου του, το σύστημα βρίσκει εφαρμογή σε μικρές κοινωνίες, οι οποίες είναι ευρέως διαδεδομένες στην Ελλάδα (Κατσογιάννης, 2001).

✦ **Ελάχιστες απαιτήσεις παρακολούθησης της λειτουργίας.**

✦ **Μεγάλη ευελιξία στη διακύμανση των παροχών και των ρυπαντικών φορτίων,** η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από τη χρονική ρύθμιση του συστήματος σε σχέση με τις εκάστοτε ανάγκες καθαρισμού.

✦ **Μικρό απαιτούμενο κεφάλαιο λόγω της μη απαίτησης ορισμένου εξοπλισμού.**

✦ **Εξοικονόμηση χρημάτων λόγω της μη απαίτησης για επανακυκλοφορία της ιλύος.**

✦ **Αποκλεισμό των φαινομένων διόγκωσης ιλύος λόγω της ανάπτυξης νηματοειδών μικροβίων.**

✦ **Καλή ποιότητα παραγόμενης βιομάζας.**

✦ **Υψηλό βαθμό απονιτροποίησης.**

Συνήθως, ο εξοπλισμός των Compact συστημάτων περιλαμβάνει σύστημα αερισμού, συσκευή ανάδευσης των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων, εκκενωτή για τη συλλογή του επεξεργασμένου υγρού και της περίσσειας ιλύος, καθώς και αυτοματισμούς (λ.χ. σύστημα ελέγχου της διεργασίας καθαρισμού). Κάθε κύκλος λειτουργίας διαρκεί από 3 έως 24hr.

Τα μειονεκτήματα των compact συστημάτων σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες ενεργού ιλύος είναι τα εξής:

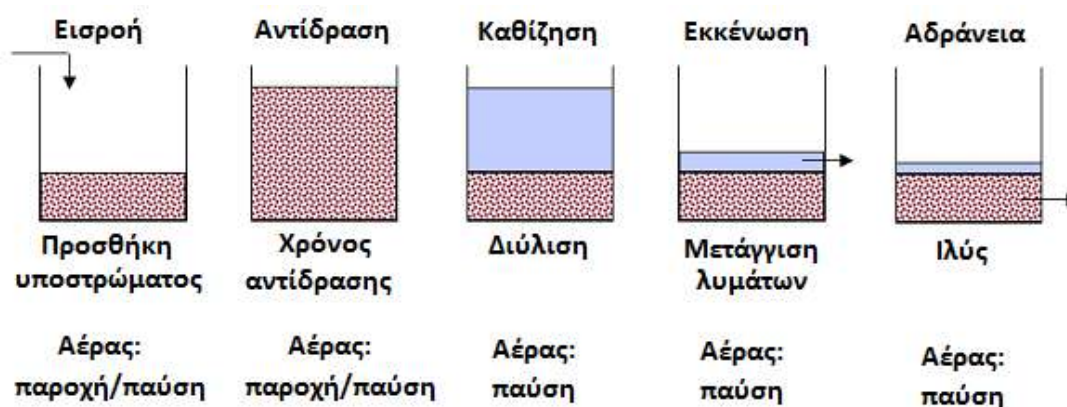
✦ **Αυξημένη πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου.**

✦ **Ανώτερο επίπεδο συντήρησης των εγκαταστάσεων (λ.χ. εξελιγμένοι έλεγχοι, αυτοματοποιημένοι διακόπτες, αυτοματοποιημένες βαλβίδες).**

✦ **Πιθανή διαφυγή ποσότητας ιλύος με την επεξεργασμένη εκροή κατά τη διαδικασία εκκένωσης.**

✦ **Πιθανή απόφραξη των μηχανισμών αερισμού.**

Η διαδικασία επεξεργασίας σε ένα Compact σύστημα παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχήμα 3.25.

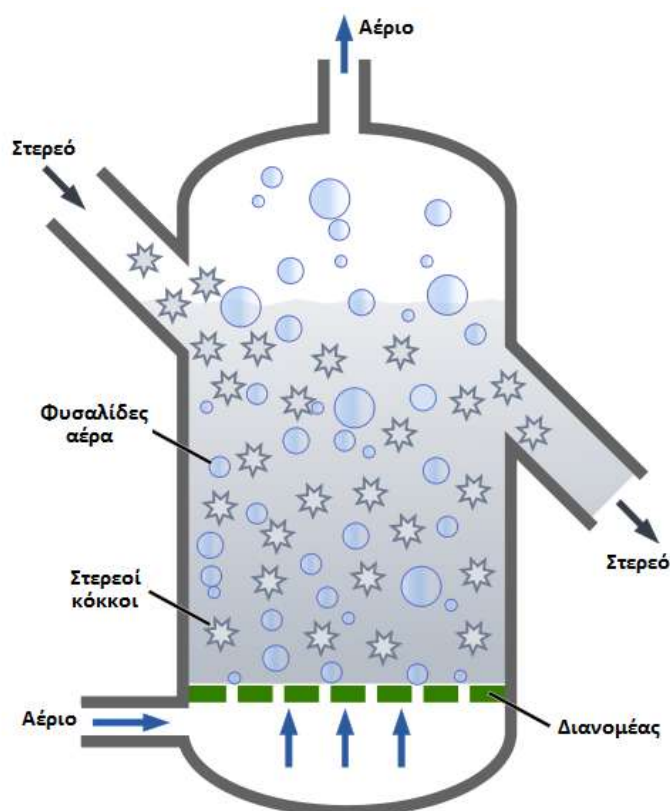


Σχήμα 3.25: Η λειτουργία του Compact συστήματος (Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program, 1997)

### **3.1.5. Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Reactor)**

Ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης βρίσκει χρήση σε εύρος εφαρμογών λόγω του γεγονότος ότι μπορεί να πραγματοποιήσει πλήθος χημικών αντιδράσεων πολλών φάσεων, όπως την παραγωγή βενζίνης, καουτσούκ, χλωριούχου βινυλίου, πολυαιθυλενίου και στυρολίου, την αεριοποίηση του άνθρακα, τη λειτουργία πυρηνικών σταθμών, αλλά και την επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Η λειτουργία του αντιδραστήρα στηρίζεται στη διήθηση με μεγάλη ταχύτητα ενός ρευστού σε αέρια ή υγρή κατάσταση μέσω μιας στρώσης κοκκώδους σταθερού υλικού (κατανομέα ή διανομέα), κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσληφθεί από το στερεό υλικό και να οδηγήσει το τελευταίο να συμπεριφέρεται με τη σειρά του ως ρευστό (Singh, 2008). Συνήθως, το σταθερό υπόστρωμα είναι κάποιος καταλύτης κατακερματισμένος σε μικρές σφαίρες και στη βάση του βρίσκεται μια πλάκα με οπές, ο διανομέας. Η είσοδος του ρευστού γίνεται από το κατώτερο τμήμα του αντιδραστήρα και διαμέσου του διανομέα το ρευστό ωθείται προς το στερεό υπόστρωμα (Σχήμα 3.26).



**Σχήμα 3.26:** Ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (Singh, 2008)

Το ρευστό κινείται ανοδικά μέσω του κατανομέα. Όταν η ταχύτητα του ρευστού είναι χαμηλή, το υπόστρωμα παραμένει σταθερό, καθώς το ρευστό κυκλοφορεί στα διάκενά του (packed reactor). Αυτή η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως σταθερή ή μόνιμη (fixed bed). Όταν η συγκεκριμένη ταχύτητα ξεπεραστεί, σε κάποια χρονική στιγμή, η ώθηση που ασκείται στα στερεά από το ρευστό εξισορροπεί το βάρος του πληρωτικού υλικού (υποστρώματος). Η κατάσταση αυτή είναι γνωστή ως ρευστοαίωρηση ή αρχική ρευστοποίηση και συμβαίνει στην ελάχιστη ταχύτητα

ρευστοποίησης. Από τη στιγμή που ξεπεραστεί η ταχύτητα ρεύσωσης, το πληρωτικό υλικό αρχίζει να διαστέλλεται και στροβιλίζεται (Singh, 2008, Τσιμέκας, 2011).

Στη δεκαετία του 1930, ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης άρχισε να χρησιμοποιείται στη δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα προσκολλώνται στο στερεό υπόστρωμα του αντιδραστήρα και με την πάροδο του χρόνου αναπτύσσεται υψηλή συγκέντρωση βιομάζας στο σύστημα. Η διαδικασία της πρόσληψης των μικροοργανισμών στην επιφάνεια του στερεού υλικού και η ανάπτυξή τους εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες (λ.χ. θερμοκρασία, pH), αλλά και από τις ιδιότητες του υποστρώματος (λ.χ. υδροφοβικά χαρακτηριστικά). Τα απόβλητα αερίζονται πριν εισαχθούν στον αντιδραστήρα και ρευστοποιούν το υπόστρωμα καθώς κυκλοφορούν διαμέσου των σταθερών σφαιριδίων. Κατά τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η αποικοδόμηση των αποβλήτων από τους μικροοργανισμούς. Στο τέλος της δεκαετίας του 1970, αναπτύχθηκαν οι πρώτες εφαρμογές για την επεξεργασία των αποβλήτων με τον αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης, οι οποίες εμφάνιζαν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους καθαρισμού, τα βασικότερα εκ' των οποίων είναι (Singh, 2008, Τσιμέκας, 2011):

- ✦ **Ο χαμηλός υδραυλικός χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα.**
  - ✦ **Το μικρό μέγεθος των εγκαταστάσεων.**
  - ✦ **Η διαθεσιμότητα ικανής ειδικής επιφάνειας για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.**
  - ✦ **Ο περιορισμός του πάχους των βιοφίλμ από την κίνηση των σφαιριδίων και την ταχύτητα του ρευστού.**
  - ✦ **Η ομοιογενής κατανομή του ρευστού-Ομοιόμορφη ανάμιξη σωματιδίων.**
  - ✦ **Η ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας:** Σε αντιδραστήρες άλλου τύπου συχνά παρατηρείται θερμοκρασιακή ανισοκατανομή, η οποία οδηγεί σε εκροή υποβαθμισμένης ποιότητας. Στους αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης το πληρωτικό υλικό παρουσιάζει υψηλούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας λόγω της ρευστοποίησης και της φύσης του. Συνεπώς ένας αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης συνίσταται για εξώθερμες χημικές αντιδράσεις.
  - ✦ **Η δυνατότητα λειτουργίας σε συνεχή κατάσταση:** Ο σχεδιασμός του αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης επιτρέπει την διαρκή απομάκρυνση των προϊόντων και την εισροή νέων αντιδρώντων.
- Τα τρωτά σημεία της μεθόδου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Singh, 2008):
- ✦ **Τον κατάλληλο σχεδιασμό της εισόδου του ρευστού:** Ο σχεδιασμός οφείλει να εξασφαλίζει την ομοιογενή κατανομή του ρευστού στον αντιδραστήρα, ούτως ώστε να εμποδίζεται η διέλευση του ρευστού μέσω διαύλων (Τσέβης, 2001).
  - ✦ **Την επίτευξη υψηλού ρυθμού ροής του ρευστού:** Επειδή τα σφαιρίδια πρέπει να διατηρούνται σε αιώρηση μέσα στο σύστημα, ο ρυθμός ροής του ρευστού πρέπει να είναι σημαντικός.
  - ✦ **Την εξασφάλιση επαρκούς ύψους αντιδραστήρα:** Το ύψος του αντιδραστήρα πρέπει να είναι ικανό, ώστε να επιτευχθεί καλή ρευστοποίηση.
  - ✦ **Την ύπαρξη κόκκων διαφόρων μεγεθών:** Το μέγεθος των κόκκων πρέπει να παρουσιάζει υψηλή διακύμανση προς επίτευξη ρευστοποίησης υψηλής ποιότητας.
  - ✦ **Την εξασφάλιση παρόμοιων σχετικών πυκνοτήτων της αέριας, υγρής και στερεής φάσης.**

Ο πλέον ακριβής τρόπος καθορισμού της διαδικασίας ρευστοποίησης μέσα στον αντιδραστήρα είναι η διεξαγωγή εργαστηριακών πειραμάτων. Ωστόσο, η ανάπτυξη του βιοφίλμ με την πάροδο του χρόνου και η αιώρηση των περιεχόμενων στερεών επηρεάζουν σημαντικά την διαδικασία. Για τους συγκεκριμένους λόγους, οφείλουν να αξιοποιούνται στα πειράματα πραγματικές εκροές ΕΕΛ, καθώς και να ελέγχεται η ρευστοποίηση μέχρι τη χρονική στιγμή επίτευξης δυναμικής σταθερής κατάστασης (Jördening και Buchholz, 2008).

### **3.1.6. Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών (Membrane Bioreactor, MBR)**

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (Φωτογραφία 3.12) αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου ενεργού ιλύος. Η διαφοροποίηση των δύο συστημάτων εστιάζεται στη διαδικασία διαχωρισμού του υγρού κλάσματος από τη βιομάζα. Συγκεκριμένα, ενώ στο σύστημα ενεργού ιλύος, οι δύο φάσεις διαχωρίζονται σε δεξαμενές καθίζησης, σε ένα σύστημα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών, ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται με τη χρήση βιομεμβρανών. Οι βιομεμβράνες επιτρέπουν τη διέλευση της υγρής φάσης και των διαλυμένων σε αυτή υλικών διαμέσου ανοιγμάτων, που διαθέτουν, ενώ συγκρατούν τη βιομάζα, τα αιωρούμενα στερεά (SS) και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα ανοίγματα έχουν εύρος το οποίο δεν ξεπερνά τα 0,4μm (Ανδρεαδάκης, 2012).

Στην Ευρώπη, η επεξεργασία υγρών αποβλήτων με αντιδραστήρες βιομεμβρανών ξεκίνησε το 1998. Αρχικά, εγκαταστάθηκαν αποκεντρωμένα συστήματα μικρής κλίμακας (<100m<sup>3</sup>/hr) στο Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία και την Ιταλία. Η μετάβαση από τις μικρές μονάδες στις μονάδες μεγάλης κλίμακας κρίνεται αργή. Ωστόσο, υπάρχουν ήδη σε λειτουργία αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εφαρμογών μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας και άλλα είναι σε στάδιο κατασκευής, λ.χ. η εφαρμογή Empoli στην Ιταλία για παροχή νερού στο βιομηχανικό παραγωγικό τομέα και η εφαρμογή Villafranche στη Γαλλία για παραγωγή αρδευτικού νερού (Bixio et al., 2006).

Τα πλεονεκτήματα του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος εντοπίζονται στα εξής (Malamis et al., 2005, Ανδρεαδάκης, 2012):

■ **Την υψηλή απόδοση υπό καθεστώς μεγάλης φόρτισης με ανάμικτο υγρό (8000 έως 15000mg/L):** Οι χαμηλοί λόγοι F/M ευνοούν την ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών.

■ **Την απουσία ΔTK και την κατά συνέπεια εξοικονόμηση χώρου:** Η παραγωγή ιλύος εμφανίζεται μειωμένη κατά 20 έως 50% σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστά των συμβατικών συστημάτων, εφόσον οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών λειτουργούν σε υψηλότερους SRT. Η απαιτούμενη εδαφική επιφάνεια για την επίτευξη δευτεροβάθμιου και τριτοβάθμιου καθαρισμού μειώνεται κατά 50 έως 70% σε σχέση με την αντίστοιχη του συμβατικού συστήματος ενεργού ιλύος.

■ **Την επίτευξη εκροής υψηλής ποιότητας σε σύγκριση με το συμβατικό τριτοβάθμιο καθαρισμό (λ.χ. αμμοδιυλιστήρια):** Οι τιμές συγκέντρωσης των μικροοργανισμών στην εκροή συμβαδίζουν με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 76/160 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής των νερών κολύμβησης, χωρίς να λαμβάνει χώρα απολύμανση με χλώριο ή όζον. Ωστόσο, εάν η εκροή σχεδιάζεται να χρησιμοποιηθεί

στη γεωργία, απαιτείται απολύμανση προς ικανοποίηση αυστηρότερων μικροβιολογικών κριτηρίων.

✦ **Την επίτευξη των ποιοτικών κριτηρίων της Οδηγίας 91/271 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής:** Με περιορισμένη απολύμανση, καθίσταται εφικτή η προσαρμογή των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής στα αυστηρά όρια της Οδηγίας 91/271 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για διάθεση σε ευαίσθητους φυσικούς αποδέκτες (Ολικό άζωτο (TN) < 10 mg/L, Ολικός φώσφορος (TP) < 1mg/L) και η επαναχρησιμοποίησή της χωρίς περιορισμούς.

Περιοριστικοί παράγοντες στη διάδοση της επεξεργασίας των αποβλήτων με το βιοαντιδραστήρα μεμβρανών είναι (Malamis et al., 2005, Ανδρεαδάκης, 2012):

✦ **Η έλλειψη εμπειρίας:** Η ανάπτυξη του συστήματος κυρίως τα τελευταία 15 έτη περιορίζει την εφαρμογή της μεθόδου στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Ωστόσο, στις μέρες μας εκδηλώνεται έντονο ενδιαφέρον για τη μέθοδο, η οποία εξελίσσεται σε δελεαστική επιλογή για περιοχές με σπανιότητα υδατικών πόρων, με περιορισμένη διαθεσιμότητα εδαφικών εκτάσεων, με εποχικές διακυμάνσεις του πληθυσμού, για παράκτιες περιοχές υψηλής αισθητικής αξίας και για οικισμούς με πληθυσμό μικρού και μεσαίου μεγέθους.

✦ **Το υψηλό λειτουργικό κόστος:** Προβλήματα, όπως η απόφραξη των μεμβρανών, αυξάνουν τη συχνότητα καθαρισμού του συστήματος και αντικατάστασης του εξοπλισμού. Ως αποτέλεσμα, αυξάνεται το κόστος λειτουργίας του συστήματος. Σημαντικό πρόσθετο λειτουργικό κόστος είναι η απαίτηση για παροχή αέρα, ώστε να καθαριστούν οι μεμβράνες. Οι τυπικές τιμές παροχής αέρα υπό μορφή χοντρής φυσαλίδας κυμαίνονται μεταξύ 0,4 έως 0,7m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> μεμβράνης.



Φωτογραφία 3.12: Ο αντιδραστήρας βιομεμβρανών

### **3.1.7. Εδαφική διάθεση (Territorial Disposition)**

Οι διάφορες μέθοδοι εδαφικής διάθεσης των υγρών αποβλήτων θα αναλυθούν σε ακόλουθο κεφάλαιο (Κεφάλαιο V) της παρούσας εργασίας, διότι συγκεκριμένες εφαρμογές (λ.χ. τα συστήματα SAT) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μέθοδος T.E. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.

## 3.2. Ιδιωτικά συστήματα χωρίς δίκτυο αποχέτευσης

### 3.2.1. Βόθρος (Sink)

#### 3.2.1.1. Στεγανός βόθρος (Sealed Cesspool)

Ο στεγανός βόθρος χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση των υγρών αποβλήτων και όχι την τελική διάθεσή τους. Κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα υγρά απόβλητα, αφού εισαχθούν στο σύστημα από το ένα άκρο, να ρέουν με μικρή ταχύτητα, να λάβει χώρα καθίζηση και κατόπιν να εξέλθουν από το άλλο άκρο και να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία. Η ταμίευση των αποβλήτων σε στεγανό βόθρο προϋποθέτει:

- ✦ **Επαρκή χωρητικότητα:** Για συνήθεις οικοδομές με χρήση κατοικίας, ο όγκος του βόθρου πρέπει να μπορεί να αποθηκεύει τη μέγιστη ημερήσια παροχή υγρών αποβλήτων για 15 ημέρες, ενώ για πολυκατοικίες, ξενοδοχεία κ.ο.κ. πρέπει να έχει ικανή χωρητικότητα, ώστε να αποθηκεύει την αντίστοιχη παροχή για 7 ημέρες.

- ✦ **Κατάλληλο φρεάτιο επίσκεψης.**

- ✦ **Κατάλληλο σύστημα αερισμού.**

- ✦ **Κατάλληλη διάταξη εκκένωσης:** Το σύστημα αυτό είναι απαραίτητο με σκοπό να αποκλείονται τυχούσες οχλήσεις και φαινόμενα δυσσομίας.

- ✦ **Η απόσταση του συστήματος από θεμέλια κτιρίων, πηγές και ακτές κολύμβησης καθορίζεται από την Ελληνική νομοθεσία:** Ο βόθρος πρέπει να απέχει 30m από φρεάτια ύδρευσης, ακτές κολύμβησης και πηγές, 15m από υδραγωγεία και 1,5m σύμφωνα με το Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό (ΓΟΚ) από θεμέλια κτιρίων.

Η εκτίμηση της χωρητικότητας ενός στεγανού βόθρου συνυπολογίζει τα ακόλουθα στοιχεία:

- ✦ **Τη μέγιστη ημερήσια παροχή αποβλήτων.**

- ✦ **Την παράπλευρη βρεχόμενη επιφάνεια.**

- ✦ **Το χρόνο παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα.**

- ✦ **Τη διαπερατότητα του εδάφους:** Σε περίπτωση που το σύστημα διαχείρισης περιλαμβάνει πολλούς βόθρους, θα πρέπει η απόσταση που μεσολαβεί μεταξύ τους (μετρούμενη από την παρειά εκσκαφής) να είναι τριπλάσια ή ανώτερη της διαμέτρου εκσκαφής του μεγαλύτερου βόθρου. Ο Πίνακας 3.8 παραθέτει κατασκευαστικά στοιχεία του βόθρου σε σχέση με την κατηγορία του εδάφους.

**Πίνακας 3.8:** Η απαιτούμενη παράπλευρη επιφάνεια στεγανού βόθρου σε σχέση με το είδος του εδάφους (Αλμπανέλλης, 2007)

Κατηγορία εδάφους	Κατάλληλη παράπλευρη επιφάνεια εκσκαφής (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων/ημέρα)
Χονδρόκοκκος άμμος ή χαλικές	5
Λεπτόκοκκος άμμος	7
Άμμος ή άργιλος	12
Άργιλος με σημαντικό κλάσμα άμμου ή χαλικιών	20
Άργιλος με μικρό κλάσμα	40

άμμου ή χαλικιών	
Συμπαγής άργιλος, υπόστρωμα υψηλής σκληρότητας, βράχος ή αδιαπέρατος σχηματισμός	Δεν συνίσταται

✚ **Τον όγκο της παραγόμενης ιλύος (100L/IK/έτος):** Οι απαιτούμενες διαστάσεις προσδιορίζονται αναφορικά με τη συχνότητα απομάκρυνσης της ιλύος από το σύστημα. Γενικά, ο ελάχιστος όγκος της δεξαμενής, όσον αφορά στη συγκέντρωση της ιλύος, είναι  $2\text{m}^3$ , ενώ στην περίπτωση που ο βόθρος περιλαμβάνει πολλά διαμερίσματα, το πρώτο από αυτά πρέπει να σχεδιάζεται με χωρητικότητα τα  $2/3$  της ολικής ή των  $2\text{m}^3$ .

### 3.2.1.2. Απορροφητικός βόθρος (Absorbent Sink)

Ο απορροφητικός βόθρος υποδέχεται τα απόβλητα του σηπτικού βόθρου. Απαραίτητα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός απορροφητικού βόθρου είναι:

- ✚ Το φρεάτιο επιθεώρησης.
- ✚ Το σύστημα αερισμού.

Η απόσταση των ορίων εκσκαφής του απορροφητικού βόθρου από πηγές και φρεάτια ύδρευσης, υδραγωγεία, ακτές κολύμβησης και θεμέλια οικοδομών ρυθμίζεται από την Ελληνική νομοθεσία και οι τιμές είναι οι ισχύουσες για τους στεγανούς βόθρους.

Η χωροθέτηση απορροφητικού βόθρου αποκλείεται σε εδάφη με υψηλή διαπερατότητα, όπου υφίσταται κίνδυνος ρύπανσης και μόλυνσης εδαφικών και υδάτινων οικοσυστημάτων.

### 3.2.1.3. Συμβατικός βόθρος βαρύτητας (Conventional Gravity Septic Tank)

Η τεχνολογία των συμβατικών βόθρων βαρύτητας στηρίζεται στην εμπειρική παρατήρηση ότι το νερό ακολουθεί καθοδική πορεία κατά την κυκλοφορία του στο έδαφος. Η άποψη αυτή είχε διατυπωθεί από τη Μινωική ακόμα εποχή, περίπου το 3500 π.Χ. (Angelakis και Spyridakis, 1996).

Η εκροή των βόθρων μιας οικοδομής καταλήγει στους συμβατικούς βόθρους βαρύτητας χωρίς να γίνεται απαραίτητα η προεπεξεργασία της. Η ελάχιστη διάμετρος των συμβατικών βόθρων βαρύτητας κυμαίνεται μεταξύ των 150 έως 200mm, γεγονός που διευκολύνει την απομάκρυνση του λίπους και των στερεών σωματιδίων, τα οποία προσκολλώνται στην εσωτερική επιφάνεια των βόθρων. Οι συμβατικοί βόθροι βαρύτητας κατασκευάζονται με μια συνεχή κλίση, ώστε να αποφεύγεται η μετατόπιση των στερεών αυτών. Επιπροσθέτως, συνδέονται με ένα άνοιγμα πρόσβασης (γνωστή ως «ανθρώπινη τρύπα», λόγω του γεγονότος ότι έχει το μέγεθος ενός ανθρώπου), ώστε να προσεγγίζονται και να καθαρίζονται. Τα ανοίγματα έχουν διάκενα με εύρος από 90 έως 150m, ανάλογα με τον εξοπλισμό συντήρησης του συστήματος.



Βασικό μειονέκτημα των συμβατικών βόθρων βαρύτητας είναι η διήθηση της εξωτερικής ροής στο βόθρο, όταν η στάθμη των υπόγειων νερών είναι υψηλή. Σε περιόδους ξηρασίας πραγματοποιείται το αντίστροφο φαινόμενο.

#### **3.2.1.4. Βόθρος βαρύτητας σηπτικών δεξαμενών απορροής ή σύστημα STEG (Gravity Septic Tank)**

Η διάταξη του συστήματος STEG αποτελείται από μια σηπτική δεξαμενή, η οποία είναι εξοπλισμένη με ένα φίλτρο απόνερων και έναν πλαστικό σωλήνα μικρής διαμέτρου (25 έως 50mm), ο οποίος οδηγεί τα απόνερα σε ένα υπόγειο σύστημα συλλογής.

Τα συστήματα μικρής διαμέτρου αναπτύχθηκαν από το 1961 και έπειτα στην Αυστραλία, όπου αναφέρονται ως αυλάκια απόνερων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η πρώτη εφαρμογή του συστήματος έλαβε χώρα το 1977 στο Westboro, Wisconsin (WPCF, 1989).

Πολλές φορές η τοπογραφία και το ανάγλυφο του εδάφους επιβάλλει το συνδυασμό ενός συστήματος STEG με βόθρους άντλησης σηπτικών δεξαμενών απορροής (Υποκεφάλαιο 3.2.1.5.).

Τέλος, το σύστημα STEG δεν εμφανίζει προβλήματα διήθησης νερού και καθίζησης στερεών στο τελικό σύστημα συλλογής.

#### **3.2.1.5. Βόθρος άντλησης σηπτικών δεξαμενών απορροής (Septic Tank Pumping)**

Το σύστημα των βόθρων άντλησης σηπτικών δεξαμενών απορροής προτάθηκε το 1968 από το Fair ως μέθοδος αντιμετώπισης της υπερχειλίσης των συνδυαστικών βόθρων.

Σε συστήματα βόθρων άντλησης σηπτικών δεξαμενών απορροής τα απόνερα αντλούνται από τη σηπτική δεξαμενή με μια μεγάλη αντλία και οδηγούνται με πίεση σε ένα σύστημα συλλογής. Η ελάχιστη διάμετρος του αγωγού είναι 50mm.

Όπως και στο σύστημα STEG, έτσι και στο υπό μελέτη σύστημα, δεν παρουσιάζονται φαινόμενα διήθησης. Επιπροσθέτως, τα συστήματα αυτά δεν τοποθετούνται σε μεγάλο βάθος μέσα στο έδαφος και κατά συνέπεια αποκλείονται προβλήματα που συνδέονται με τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και το βραχώδες έδαφος.

#### **3.2.1.6. Βόθρος πίεσης με αλεστικές αντλίες (Fossa Pressure)**

Η διάταξη των βόθρων πίεσης με αλεστικές αντλίες δεν περιλαμβάνει σηπτικές δεξαμενές, αλλά μια μικρή δεξαμενή εξοπλισμένη με έναν σωλήνα εκκένωσης, ο οποίος τεμαχίζει τα περιεχόμενα στερεά υλικά των υγρών αποβλήτων. Κατά τον τρόπο αυτό, τα στερεά μπορούν να μεταφερθούν σε σωλήνες μικρής διαμέτρου με την άσκηση πίεσης.

Όπως συμβαίνει με τα συστήματα STEG και τους βόθρους άντλησης σηπτικών δεξαμενών απορροής, ο βόθρος πίεσης με αλεστικές αντλίες δεν εμφανίζει προβλήματα υδατικής διήθησης.

Ωστόσο, το σύστημα μειονεκτεί σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατηγορίες βόθρων ως προς τις υψηλές συγκεντρώσεις στερεών, ελαίων και λιπιδίων.

Ο Πίνακας 3.9 παρουσιάζει συγκριτικά στοιχεία των βόθρων πίεσης με αλεστικές αντλίες και των συμβατικών βόθρων βαρύτητας.

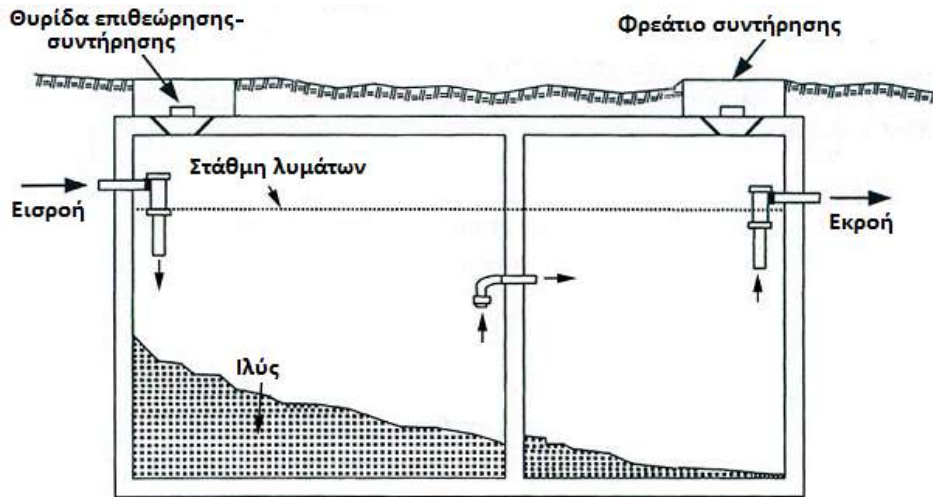
**Πίνακας 3.9:** Συγκριτική αξιολόγηση των βόθρων πίεσης με αλεστικές αντλίες και των συμβατικών βόθρων βαρύτητας (Αλμπανέλλης, 2007)

Κριτήριο	Βόθρος πίεσης με αλεστικές αντλίες	Συμβατικός βόθρος βαρύτητας
Διήθηση και εισροή	Δεν υφίστανται	Συνήθη φαινόμενα
Ελάχιστη ταχύτητα	Δεν απαιτείται	Απαιτούνται για να αποφευχθεί η μετακίνηση των στερεών
Ελάχιστη διάμετρος (mm)	50	150 έως 200
Κλίσεις	Δεν απαιτούνται. Ακολουθείται η τοπογραφία του εδάφους.	Πρέπει να διατηρούνται κατηφορικές πλαγιές ολόκληρο το χρονικό διάστημα λειτουργίας
Δίοδος καθαρισμού	-	Θυρίδες πρόσβασης με απόσταση μεταξύ τους
Βάθος χαρακώματος	Διατήρηση του ελάχιστου βάθους	Ελάχιστο βάθος 6 έως 9m, το οποίο εξαρτάται από την πλαγιά του βόθρου
Σταθμοί σωλήνων	-	Απαραίτητοι σε χαμηλές περιοχές όπου οι κατηφορικές πλαγιές δεν μπορούν να διατηρηθούν
Σύγκρουση με άλλες υπόγειες χρήσεις	Αποκλείονται εύκολα	Μπορεί να απαιτείται επανασχεδιασμός ώστε να αποφευχθούν
Απλότητα εγκατάστασης	Τα στενά, ρηχά χαντάκια διανοίγονται γρήγορα με διακοπή της ροής για μικρό διάστημα	Τα βαθιά και πλατιά χαρακώματα εισάγονται αργά με διακοπή της ροής

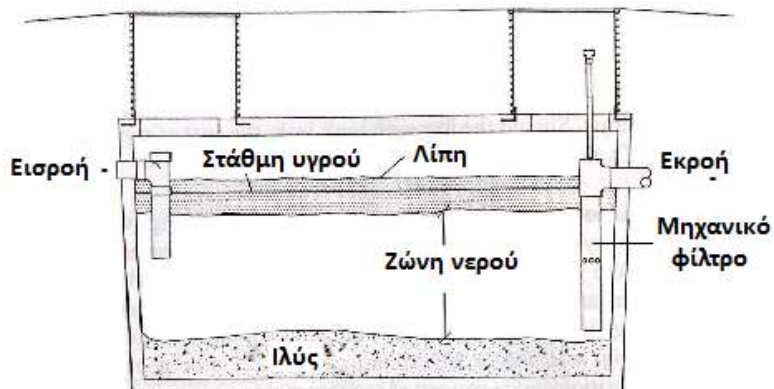
### **3.2.2. Σηπτική δεξαμενή (Septic Tank) με ενσωματωμένο φίλτρο εκροής (Filter Effluent) ή με σύστημα βιολογικής επεξεργασίας**

Οι παλαιές σηπτικές δεξαμενές αποτελούνται από δύο κελιά, το πρώτο εκ' των οποίων είναι διπλάσιο του επόμενου (Σχήμα 3.27). Μια εξέλιξη του συστήματος αποτελεί η προσθήκη δύο κατακόρυφων πλαστικών φρεατίων για τον έλεγχο των λιπών και ιλύος που καθιζάνουν, του επιφανειακού αφρού και της ενδιάμεσης στρώσης των υγρών αποβλήτων, αλλά και για τις εργασίες συντήρησης της δεξαμενής. Σημαντικός σταθμός επίσης ήταν η προσθήκη ενός κατακόρυφου μηχανικού φίλτρου διαμέσου του οποίου (και των οπών του τοιχώματος της δεξαμενής που περιβάλλει το φίλτρο) ρέουν τα απόβλητα και οδηγούνται στην

έξοδο της σηπτικής δεξαμενής (Σχήμα 3.28). Μια εξέλιξη του φίλτρου αποτέλεσε η κατασκευή ενός καινούριου από διάτρητους σωλήνες. Κατά τον τρόπο αυτό, αυξήθηκε η επιφάνεια επεξεργασίας και βελτιώθηκε η μέθοδος καθαρισμού, εφόσον συγκρατούνταν τα στερεά που περιέχονταν στα απόβλητα (Σχήμα 3.29).



Σχήμα 3.27: Η σηπτική δεξαμενή παλαιού τύπου (Καραμούζης, 2006)



Σχήμα 3.28: Η προσθήκη του μηχανικού φίλτρου στη σηπτική δεξαμενή (Καραμούζης, 2006)



Σχήμα 3.29: Η σηπτική δεξαμενή με μηχανικό φίλτρο από διάτρητους σωλήνες (Καραμούζης, 2006)

Στη βελτίωση αυτή του συστήματος, υπήρχε η δυνατότητα να αξιοποιηθούν σωλήνες υπό πίεση με μικρή διάμετρο (έως 25mm) λόγω της απουσίας στερεών. Επίσης ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν φυγόκεντρες αντλίες υψηλού μανομετρικού ανάλογες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στην άντληση καθαρού νερού, γεγονός που βοήθησε τη διάδοση του συστήματος στη διαχείριση αποβλήτων μικρών οικισμών και όχι αποκλειστικά μεμονωμένων κατοικιών. Με τις αντλίες αυτές, τα υγρά απόβλητα μπορούν να οδηγηθούν σε σημαντικά υψόμετρα και να χωροθετηθεί η περιοχή διάθεσής τους σε μεγάλες αποστάσεις. Τα στερεά απομακρύνονται από τη σηπτική δεξαμενή με αντλία μέτριου μανομετρικού και συνεπώς γίνεται ιδιαίτερα περίπλοκο το υδραυλικό καθεστώς, όταν χρησιμοποιούνται αγωγοί υπό πίεση. Για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, σηπτικές δεξαμενές τέτοιου τύπου επιτυγχάνουν προεπεξεργασία των αποβλήτων οικισμών μέχρι 10000IK και κατόπιν αποχετευτικός αγωγός μεταφέρει τα υγρά απόβλητα σε κεντρικό σύστημα, ώστε να υποστούν περαιτέρω καθαρισμό. Το φίλτρο εξάγεται, καθαρίζεται στη δεξαμενή προς παρεμπόδιση της διαφυγής των στερεών και επανατοποθετείται στην αρχική του θέση. Τέτοιου είδους ΜΕΛ επιτυγχάνουν υψηλής ποιότητας εκροή για χρονικό ορίζοντα λειτουργίας περίπου 20 ετών. Τέλος, μια ακόμη πρόοδος στην εξέλιξη του συστήματος αφορούσε στην εγκατάσταση μιας βάνας, η οποία επέτρεπε την απομάκρυνση της εκροής από τη δεξαμενή διαδοχικά διαμέσου 6 εξόδων. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει τη δυνατότητα ανάκτησης ενός τμήματος της εκροής για αρδευτικούς σκοπούς. Το μειονέκτημά της έγκειται στην απαίτηση 6m μανομετρικού φορτίου για τη λειτουργία της.

### 3.3. Συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Περίπου ποσοστό 33% (ή διαφορετικά το 1/3) των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων αξιοποιεί δευτεροβάθμιες εκροές ΕΕΛ. Αυτός ο βαθμός επεξεργασίας θεωρείται επαρκής για την επαναχρησιμοποίηση της εκροής σε εργασίες περιορισμένης άρδευσης-ή με άλλα λόγια για την άρδευση καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα δεν προορίζονται να καταναλωθούν ωμά-καθώς και για τη βιομηχανική ψύξη με εξαίρεση τη βιομηχανία τροφίμων. Σε σύγκριση με την απόδοση άλλων συστημάτων επεξεργασίας, οι αντιδραστήρες βιομεμβράνων (MBR) παράγουν μεν δευτεροβάθμια εκροή, εκείνη ικανοποιεί δε τις αυστηρές προδιαγραφές ανακύκλωσης των υγρών αποβλήτων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αφού λάβει χώρα νανοδιήθηση ή αντίστροφη όσμωση σε έναν αντιδραστήρα βιομεμβράνων, η εκροή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απεριόριστη άρδευση, όπως στο Βέλγιο (ΕΕΛ Schilde). Συγκεκριμένα, η εκροή του αντιδραστήρα βιομεμβράνων ικανοποιεί τα όρια της Οδηγίας του ΠΟΥ όσον αφορά στην επαναχρησιμοποίηση στον αγροτικό παραγωγικό τομέα. Ωστόσο, κρίνεται ανεδαφική η αποτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής των αντιδραστήρων βιομεμβράνων με βάση τα κριτήρια της Πολιτείας της Καλιφόρνια (Title 22 water recycling criteria), διότι διαφέρουν οι μέθοδοι δειγματοληψίας. Οι δευτεροβάθμιες εκροές των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας υπόκεινται σε περαιτέρω καθαρισμό (φίλτραση και απολύμανση), με σκοπό να ικανοποιήσουν τα

κριτήρια της απεριόριστης άρδευσης και άλλων περιβαλλοντικών και βιομηχανικών χρήσεων. Στην Ευρώπη, δεν έχει ακόμη καταρτιστεί νομοθεσία, η οποία να επιβάλλει την εξάλειψη των κολοβακτηρίδιων (0 FC/100ml) μέσω κροκίδωσης, καθίζησης, διήθησης και απολύμανσης, όπως στην Πολιτεία της Καλιφόρνια. Στις Μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Κύπρος, Πορτογαλία), το αντίστοιχο όριο ανέρχεται σε 10FC/100ml. Εξαιρέση του αυστηρού ορίου των 0FC/100ml του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια, αποτελούν εκείνες οι περιπτώσεις στις οποίες η θολότητα της εκροής δεν ξεπερνά τις 5 μονάδες θολότητας (NTU) πριν τη διήθηση. Τότε μόνο μπορεί να παραλειφθεί το στάδιο της κροκίδωσης. Όταν οι μονάδες που βασίζονται στη συμβατική μέθοδο της ενεργού ιλύος σχεδιάζονται και λειτουργούν ορθά, η εκροή επιτυγχάνει αυτό το όριο. Έτσι, η επαναχρησιμοποίηση της εκροής για απεριόριστη άρδευση απαιτεί φίλτρανση και απολύμανση συνήθως με χλωρίωση ή όπως τείνει να επικρατήσει με υπεριώδη ακτινοβολία χωρίς κροκίδωση. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνητοί υδροβιότοποι χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές μικρής κλίμακας. Στο Βέλγιο και την Ολλανδία έχουν εγκατασταθεί όμως και μεσαίες έως μεγάλες μονάδες, οι οποίες γενικά χρησιμοποιούνται για αποκατάσταση φυσικών συστημάτων και T.E. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται σημαντικά οφέλη, όπως η μείωση των περιεχόμενων παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό T.E. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές μεγάλης κλίμακας όπου η απολύμανση γίνεται με όζον ή υπεροξικό οξύ, λ.χ. βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση στο Βέλγιο και έμμεση άρδευση στην Ιταλία (Bixio et al., 2006).

Ορισμένα στοιχεία κόστους κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων επεξεργασίας οφείλουν να παρατεθούν στο παρόν υποκεφάλαιο της εργασίας, καθώς το κόστος απόκτησης της εκροής που επαναχρησιμοποιείται, λ.χ. για T.E., είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το είδος της ΕΕΛ από την οποία παρέχεται. Όσον αφορά στην ενεργειακή κατανάλωση, τα φυσικά συστήματα (λίμνη σταθεροποίησης, τεχνητός υδροβιότοπος) έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε σχέση με εκείνα που κάνουν χρήση της μεθόδου ενεργού ιλύος, την οξειδωτική τάφρο, το βιολογικό δίσκο, το σύστημα compact και το σύστημα βιομεμβράνων. Σε σχέση με έναν τυπικό βιολογικό καθαρισμό, οι τεχνητοί υδροβιότοποι καταναλώνουν το 10% της ενέργειάς του για τη λειτουργία τους. Οι βιοδίσκοι καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα τυπικά συστήματα ενεργού ιλύος. Λόγω της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και της αρμονικής προσαρμογής στο τοπίο, τα φυσικά συστήματα θεωρούνται τα πλέον φιλικά προς το περιβάλλον. Επιπροσθέτως, τα compact συστήματα και ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης δεν δημιουργούν οχλήσεις.

Ο Πίνακας 3.10 παρουσιάζει το λειτουργικό κόστος των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, όπου περιλαμβάνεται το κόστος ενέργειας, οι μισθοί του προσωπικού, τα υλικά των επισκευών, οι απαιτούμενες χημικές ουσίες κ.ο.κ.

**Πίνακας 3.10:** Το λειτουργικό κόστος των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας (ευρώ / I.K.) (Γκράτζιου Μ., 2005)

Μέθοδος επεξεργασίας	I.K.				
	100	1.000	5.000	10.000	20.000
Οξειδωτική τάφρος	419,58	55,90	16,10	10,21	7,03
Βιολογικό φίλτρο	415,04	52,89	13,75	8,19	5,11
Βιολογικός δίσκος	392,95	48,75	12,31	7,79	4,85
Σύστημα compact (SBR)	346,61	48,17	15,81	11,13	8,56
Λίμνη σταθεροποίησης	231,42	31,21	8,41	4,97	2,96
Τεχνητός υγροβιότοπος / Λίμνη	419,58	55,90	16,10	10,21	7,03
Τεχνητός υγροβιότοπος / Χλωρίωση	415,04	52,89	13,75	8,19	5,11

Επιπλέον, η κατασκευή μίας νέας μονάδας επεξεργασίας εκτιμάται μεταξύ 1.500 έως 2.500 ευρώ/I.K. Το αντίστοιχο κόστος μιας εγκατάστασης βιομεμβρανών ανέρχεται στις 9.000 ευρώ/I.K. Το ετήσιο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος για μια μέση οικογένεια κυμαίνεται μεταξύ των 5 ευρώ/I.K. για τα φυσικά συστήματα και έως 30 ευρώ/I.K. για τα τεχνητά. Το κόστος συντήρησης ενσωματώνει το κόστος τακτικού ελέγχου και το κόστος της δειγματοληψίας για την εργαστηριακή ανάλυση του επεξεργασμένου νερού και εκτιμάται για μια μέση οικογένεια στο ποσό των 100 έως 200 ευρώ σε ετήσια βάση. Η επεξεργασία με βιομεμβράνες κοστίζει περίπου το ίδιο με την αντίστοιχη μιας οξειδωτικής τάφρου, όμως, ως προς τη λειτουργία και συντήρηση η πρώτη λύση έχει από 105% έως 110% μεγαλύτερο κόστος της οξειδωτικής τάφρου. Τα συστήματα compact κατέχουν μια ενδιάμεση θέση μεταξύ των φυσικών συστημάτων και των εγκαταστάσεων με βιομεμβράνες. Τα φυσικά συστήματα έχουν το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, καθώς και το χαμηλότερο κόστος συντήρησης, εφόσον δεν απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό και αντικατάσταση μηχανολογικού εξοπλισμού. Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας (εξειδικευμένο προσωπικό) των βιοδίσκων παρουσιάζεται πολύ μειωμένο σε σχέση με αντίστοιχα συστήματα ενεργού ιλύος. Ο Πίνακας 3.11 παρουσιάζει το κατασκευαστικό κόστος (δεξαμενές, κατασκευές σκυροδέματος ή χάλυβα, εξοπλισμός, σωληνώσεις, εγκαταστάσεις επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, κέρδος αναδόχων) σε ευρώ/I.K. των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας, ενώ ο Πίνακας 3.12 την παρούσα αξία του αντίστοιχου συνολικού κόστους (κατασκευαστικό, λειτουργικό και συντήρησης) των συστημάτων για χρονικό ορίζοντα 40 ετών, θεωρώντας αμελητέο πληθωρισμό, την παρούσα αξία διάσωσης της γης ίση με τη σημερινή αξία της γης και επιτόκιο προεξόφλησης 8%.

**Πίνακας 3.11:** Το κατασκευαστικό κόστος των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας (ευρώ / I.K.) (Γκράτζιου Μ., 2005)

Μέθοδος επεξεργασίας	Αριθμός ισοδύναμων κατοίκων				
	100	1.000	5.000	10.000	20.000
Οξειδωτική τάφρος	7.049	1.039	361	248	187
Σύστημα βιομεμβρανών (MBR)	6.939	1.049	379	267	201
Σύστημα compact (SBR)	2.174	403	228	210	202
Λίμνη σταθεροποίησης	1.743	429	217	169	137

Τεχνητός υγροβιότοπος / Λίμνη	1.031	325	250	244	235
Τεχνητός υγροβιότοπος / Χλωρίωση	1.827	463	302	260	246

**Πίνακας 3.12:** Η παρούσα αξία του συνολικού κόστους των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας για χρονικό ορίζοντα 40 ετών (ευρώ / Ι.Κ.) (Γκράτζιου Μ., 2005)

Μέθοδος επεξεργασίας	Αριθμός ισοδύναμων κατοίκων				
	100	1.000	5.000	10.000	20.000
Οξειδωτική τάφρος	14.300	1.950	598	390	281
Σύστημα βιομεμβρανών (MBR)	14.900	2.020	630	409	390
Σύστημα compact (SBR)	6.394	1.024	460	387	350
Λίμνη σταθεροποίησης	6.010	1.010	366	255	187
Τεχνητός υγροβιότοπος / Λίμνη	4.107	729	352	300	267
Τεχνητός υγροβιότοπος / Χλωρίωση	5.905	975	434	335	290

Αναφορικά με την απαιτούμενη έκταση εγκατάστασης των μονάδων επεξεργασίας, η μέθοδος των βιομεμβρανών μπορεί να έχει μονάδες στα όρια ενός κτιρίου, γεγονός που την καθιστά ελκυστική λύση σε περιοχές με υψηλό κόστος γης. Οι βιολογικοί δίσκοι διαθέτουν μικρότερη ζώνη βιολογικής οξείδωσης και μικρότερη δεξαμενή τελικής καθίζησης συγκρινόμενοι με τα συστήματα ενεργού ιλύος. Τα συστήματα compact επίσης πλεονεκτούν σε αυτό το κριτήριο λόγω της μικρής απαιτούμενης έκτασης εδάφους. Τα φυσικά συστήματα των τεχνητών υγροβιοτόπων και λιμνών μειονεκτούν ως προς το συγκεκριμένο κριτήριο, διότι καταλαμβάνουν αναλογικά μεγάλη επιφάνεια.

Σχετικά με τον απαιτούμενο χρόνο για έναρξη του καθαρισμού, στους βιοδίσκους απαιτούνται 7 έως 10 ημέρες, ώστε να σχηματιστεί το βιοφίλτρο και να παρουσιαστεί η μέγιστη απόδοση της βιολογικής επεξεργασίας, ενώ τα τυπικά συστήματα ενεργού ιλύος απαιτούν τον τριπλάσιο χρόνο για να επιτευχθεί σταθερή λειτουργία.

Ο βαθμός επεξεργασίας, που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο των βιομεμβρανών, είναι υψηλότερος από αυτόν της οξειδωτικής τάφρου, διότι στην πρώτη περίπτωση λαμβάνει χώρα πλήρης νιτροποίηση. Μεταξύ όλων των συστημάτων επεξεργασίας, η μέθοδος των τεχνητών υγροβιοτόπων περιλαμβάνει και τριτοβάθμιο καθαρισμό και η εκροή, έχοντας ποσοστό απολαβής 60%, είναι δυνατό να αξιοποιηθεί για άρδευση (Σωτηράκης, 2005). Στα συστήματα compact επιτυγχάνεται απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub>, των αιωρούμενων στερεών, του αζώτου, του φωσφόρου και των παθογόνων μικροοργανισμών. Επιπλέον, τα συστήματα της οξειδωτικής τάφρου, των λιμνών σταθεροποίησης και των τεχνητών υγροτόπων παρουσιάζουν ευελιξία στις διακυμάνσεις του οργανικού φορτίου. Οι βιοδίσκοι επίσης είναι περισσότερο ευέλικτοι στην υδραυλική και οργανική υπερφόρτιση από τη μέθοδο της ενεργού ιλύος.

Ως προς τον απαιτούμενο χρόνο καθαρισμού της εισροής, οι βιοδίσκοι και τα συστήματα κινούμενης κλίνης επιτρέπουν περιορισμένους χρόνους (<1,5hr), λόγω της βιολογικής μεμβράνης που σχηματίζεται και της υψηλής συγκέντρωσης μικροοργανισμών σε αυτή.

Όσον αφορά στη χρήση χημικών ουσιών, αυτή απαιτείται κατά κύριο λόγο στο σύστημα των βιομεμβρανών για τον καθαρισμό των μεμβρανών.

Σχετικά με την ευκολία λειτουργίας και διαχείρισης, τα περισσότερο σύνθετα συστήματα είναι αυτά των βιομεμβρανών και των βιοδίσκων. Μια μέτρια συνθετότητα διαχείρισης έχουν τα συστήματα compact, ενώ τα πλέον απλά στη λειτουργία είναι τα φυσικά συστήματα.

Σχετικά με τη διάρκεια ζωής των μονάδων επεξεργασίας, η αποδοτικότητα των τεχνητών υγροβιοτόπων διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (έως 50 έτη), αναλογικά με τα υπόλοιπα συστήματα καθαρισμού που διαρκούν από 30 έως 40 έτη.

Ο Πίνακας 3.13 παρουσιάζει συγκεντρωτικά την επίδοση των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ως προς διάφορα κριτήρια και ο Πίνακας 3.14 παρουσιάζει το βαθμό απομάκρυνσης διάφορων παθογόνων μικροοργανισμών ανάλογα με την τεχνολογία επεξεργασίας που χρησιμοποιείται.

**Πίνακας 3.13:** Αποτίμηση της επίδοσης των εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ως προς διάφορα κριτήρια (Νουτσόπουλος, 2012)

Κριτήριο	Τεχνολογία επεξεργασίας							
	Σηπτική δεξαμενή	Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor	Λίμνη	Τεχνητός υγροβιότοπος/Εδαφική διάθεση	Αναερόβια επεξεργασία και αμμόφιλτρο	Automated Sludge Press/SBR/ Παρατεταμένος αερισμός	MBR	RBC/ Submerged Aerated Filter/ Moving Bed Biofilm Reactor
Είδος διαδικασίας	Αναερόβια		Αερόβια/Αναερόβια		Αερόβια και αναερόβια/Φυσική	Αερόβια παρατεταμένη ανάπτυξη	Αερόβια παρατεταμένη ανάπτυξη/Φυσική	Αερόβια προσαρμοσμένη ανάπτυξη/ Παρατεταμένη και προσαρμοσμένη ανάπτυξη
Ποιότητα εκροής	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή		Πολύ υψηλή	Υψηλή
Απομάκρυνση BOD	Μέτρια					Υψηλή	Πολύ υψηλή	Υψηλή
Απομάκρυνση αζώτου (N)	Άνευ		Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή			
Απομάκρυνση φωσφόρου (P)	Άνευ			Χαμηλή	Άνευ	Πιθανή		
Βιωσιμότητα	Μέτρια	Υψηλή	Μέτρια	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή		Μέτρια
Ενεργειακή κατανάλωση	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή		Πολύ χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή	Μέτρια έως υψηλή
Παραγωγή βιοαερίου	Ναι, αλλά συνήθως δεν συγκρατείται	Ναι	Άνευ		Ναι	Άνευ		
Χρήση χημικών	Άνευ					Άνευ, με εξαίρεση την απομάκρυνση του φωσφόρου (P)	Ναι, για τον καθαρισμό των μεμβρανών	Άνευ, με εξαίρεση την απομάκρυνση του φωσφόρου (P)
Παραγωγή ιλύος	Χαμηλή			Άνευ	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια έως χαμηλή
Απαίτηση εδαφικής έκτασης	Μέτρια έως υψηλή		Υψηλή		Μέτρια	Μέτρια έως χαμηλή	Πολύ χαμηλή	Μέτρια έως χαμηλή



Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

Ευκολία διαχείρισης (λειτουργίας και συντήρησης)	Πολύ απλή	Απλή	Πολύ απλή	Απλή	Μέτρια έως απλή	Φυσιολογική	Υψηλή συνθετότητα	Φυσιολογική
Σταθερότητα διαδικασίας	Αρκετά αυστηρή	Αυστηρή	Πολύ αυστηρή	Αυστηρή	Αυστηρή	Πιθανόν ασταθής	Φυσιολογικά αυστηρή	
Κόστος κεφαλαίου	Χαμηλό		Μέτριο		Υψηλό		Πολύ υψηλό	Υψηλό
Κόστος διαχείρισης (λειτουργίας και συντήρησης)	Χαμηλό				Χαμηλό έως μέτριο	Υψηλό	Πολύ υψηλό	Μέτριο

**Πίνακας 3.14:** Τυπική απομάκρυνση διάφορων παθογόνων μικροοργανισμών κατ' αναλογία με τη μέθοδο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Παρανουχιανάκης κ.α., 2009)

Σύστημα επεξεργασίας	Escherichia coli	Βακτήρια	Ιοί	Giardia	Έλμινθες
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	0 έως 0,5	0 έως 0,5	0 έως 0,1	0,5 έως 1,0	0 έως 2,0
Δευτεροβάθμια επεξεργασία	1,0 έως 3,0	1,0 έως 3,0	0,5 έως 2,0	0,5 έως 1,5	0 έως 2,0
Dual media φίλτρανση με κροκίδωση	0 έως 1,0	0 έως 1,0	0,5 έως 3,0	1,0 έως 3,0	2,0 έως 3,0
MBR	3,5 έως 6,0	3,5 έως 6,0	2,5 έως 6,0	>6,0	>6,0
Αντίστροφη όσμωση	>6,0	>6,0	>6,0	>6,0	>6,0
Λίμνη	1,0 έως 5,0	1,0 έως 5,0	1,0 έως 4,0	3,0 έως 4,0	1,5 έως 3,0
Τεχνητός υγροβιότοπος επιφανειακής ροής	1,5 έως 2,5	1,0	-	0,5 έως 1,5	0 έως 2,0
Τεχνητός υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής	0,5 έως 3,0	1,0 έως 3,0	-	1,5 έως 2,0	-
Χλωρίωση	2,0 έως 6,0	2,0 έως 6,0	1,0 έως 3,0	0,5 έως 1,5	0 έως 1,0
Οζόνωση	2,0 έως 6,0	2,0 έως 6,0	3,0 έως 6,0	-	-
Υπεριώδης ακτινοβολία	2,0 έως 4,0	2,0 έως 4,0	>1,0 ή >3,0	>3,0	-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV: Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

### Εισαγωγή

Σήμερα, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για νερό καθιστά προστακτική την ανάγκη επαναχρησιμοποίησης νερού υποβαθμισμένης ποιότητας, λ.χ. για άρδευση γεωργικών εκτάσεων ή για Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Εξετάζοντας την πρόωση της επαναχρησιμοποίησης καθαρά από νομική σκοπιά διαπιστώνεται ότι η βασική αδυναμία έγκειται στην απουσία ενός ενιαίου νομοθετικού πλαισίου το οποίο να θωρακίζει τη δημόσια υγεία, το περιβάλλον στο σύνολό του και το δημόσιο συμφέρον δίχως την επιβολή επαχθών ελέγχων των εργασιών επαναχρησιμοποίησης-ανακύκλωσης (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994).

Εν απουσία κεντρικού σχεδιασμού, όλες οι χώρες ανά τον κόσμο καλούνται να αναπτύξουν τα πρότυπα, τις οδηγίες ή (και) τους ρυθμιστικούς κώδικες μόνες τους. Ο κεντρικός σχεδιασμός αποθαρρύνεται από την ανομοιομορφία της οικονομίας, των αναπτυξιακών δυνατοτήτων και των αναγκών κάθε κράτους. Για παράδειγμα, πολλά εξ' αυτών δε διαθέτουν τους απαραίτητους οικονομικούς πόρους για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων που απαιτούνται. Από την άλλη πλευρά, η κεντρική διοίκηση είναι δυνατό να παρέχει την τεχνική καθοδήγηση, να αναπτύξει καταστατικά μοντέλα και γενικότερα να διαμορφώσει εκείνες τις κατευθυντήριες γραμμές στις οποίες θα στηριχθούν τα κράτη για να καθορίσουν τους επιμέρους κανόνες που απαιτούνται σε κάθε ένα από αυτά (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994).

Τέλος, παράλληλα με την αυξανόμενη νομική εμπειρία, που θα αποκτάται από τις διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης, θα πρέπει να επανεξετάζεται και το ζήτημα των αρμοδιοτήτων μεταξύ της κεντρικής διοίκησης και των επιμέρους αρχών (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994).

### 4.1. Εναλλακτικοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα/ΚΥΑ 145116/2011

Τα τελευταία χρόνια, η σπανιότητα των υδατικών πόρων, η εντεινόμενη ευαισθητοποίηση αναφορικά με την περιβαλλοντική προστασία και η πρόοδος της τεχνολογίας εστίασαν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων. Η άποψη αυτή τεκμηριώνεται πρακτικά με την ανάπτυξη σημαντικών πιλοτικών ή πλήρους κλίμακας εφαρμογών σε ολόκληρο τον κόσμο (λ.χ. Water Factory 21 στην Καλιφόρνια, Dan Region στο Τελ Αβίβ, ελληνική εφαρμογή Τ.Ε. στο Δήμο Θέρμης της Θεσσαλονίκης).

Οι εναλλακτικοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού διακρίνονται σε δύο κυρίως κατηγορίες (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας κ.α., 2004):

✦ **Χρήσεις για σκοπούς πλην πόσης:** Το νερό δύναται να αξιοποιηθεί για αστική, βιομηχανική και γεωργική χρήση, για τη δημιουργία και διατήρηση χώρων αναψυχής και για τον Τ.Ε. υπόγειων νερών.

✦ **Χρήσεις ως πόσιμο νερό με άμεσο ή έμμεσο τρόπο.**

Η ΚΥΑ 145116/2011 με τίτλο «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις» επιδιώκει να θέσει ένα ολοκληρωμένο και σαφές νομοθετικό πλαίσιο για την ανακύκλωση των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων ρυθμίζοντας τις επιτρεπόμενες χρήσεις των εκροών ΕΕΛ, καθορίζοντας τους ειδικούς όρους (όρια μικροβιολογικών και χημικών παραμέτρων, ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία) για κάθε περίπτωση, ορίζοντας τα εμπλεκόμενα μέρη (πάροχοι, επεξεργασμένου νερού, χρήστες, διαχειριστές) και τις αντίστοιχες ευθύνες τους και περιγράφοντας με σαφήνεια τις απαιτούμενες διαδικασίες αδειοδότησης.

Ως βασικοί στόχοι του νομοθετήματος ορίζονται (Επίσημος δικτυακός τόπος του ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.):

✦ **Η προώθηση της χρήσης των εκροών ΕΕΛ και η κατά συνέπεια εξοικονόμηση υδατικών πόρων:** Η αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την ενδεχόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής.

✦ **Η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων:** Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορούν να αξιοποιηθούν στην αντιμετώπιση της έντονης ταπείνωσης της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων ορισμένων περιοχών της Ελλάδας και της υφαλμύρισης παράκτιων υδροφόρων οριζόντων.

Η διασφάλιση της δημόσιας υγείας, η εξοικονόμηση υδατικών πόρων, η περιβαλλοντική προστασία και τα προκύπτοντα οικονομικά οφέλη αποτελούν πρωταρχικό μέλημα της απόφασης.

Οι εκροές των ΕΕΛ, οι οποίες υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ, περιλαμβάνουν τα εξής (<http://ypeka.plexscape.com/>, <http://www.ecotec.gr/article.php?!D=262>):

✦ **Την προγραμματισμένη επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία για αρδευτικούς σκοπούς, στην επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, σε αστική, περιαστική και βιομηχανική χρήση και σε υδατικά συστήματα του Άρθρου 7 του Προεδρικού Διατάγματος (Π.Δ.) 51/2007.**

✦ **Την επαναχρησιμοποίηση των μη επικίνδυνων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων ή όσων βιομηχανικών αποβλήτων έχουν καταστεί μη επικίνδυνα κατόπιν επεξεργασίας άλλων βιομηχανικών δραστηριοτήτων και ανεξαρτήτου μεγέθους εγκαταστάσεων:** Εξαιρέση αποτελούν οι εγκαταστάσεις που υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της Υπ' Αριθμόν 5673/400/1997 ΚΥΑ.

Η απόφαση δεν έχει ισχύ για την ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων, την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων ως νερό πόσης με εξαίρεση τις περιπτώσεις που αναφέρονται στο Άρθρο 8, την επαναχρησιμοποίηση σε εγκαταστάσεις κολύμβησης (πισίνες) και σε άλλες οικιακές χρήσεις, καθώς και τη διάθεση αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες.

Η Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης σε συνεργασία με τις αρμόδιες υπηρεσίες πραγματοποιεί τακτικούς και έκτακτους ελέγχους, προκειμένου να διασφαλιστεί η τήρηση των όρων της παρούσας απόφασης.

Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις ανεκτές κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή παραγωγής των υγρών αποβλήτων.

**Πίνακας 4.1:** Οι εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε σχέση με την πηγή παραγωγής τους σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

Πηγή παραγωγής υγρών αποβλήτων	Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης
Οικιακά ή αστικά υγρά απόβλητα ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Άρδευση</li> <li>✚ Τροφοδότηση υπόγειων υδροφόρων συστημάτων</li> <li>✚ Αστική και περιαστική χρήση</li> <li>✚ Βιομηχανική χρήση</li> </ul>
Υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Βιομηχανική χρήση</li> <li>✚ Περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης</li> <li>✚ Τροφοδότηση υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του Άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007 και μόνο μέσω διήθησης</li> </ul>

Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τις μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων που ορίζει η ΚΥΑ.

**Πίνακας 4.2:** Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

Μέταλλο ή χημικό στοιχείο	Συγκέντρωση (mg/L)
Αργίλιο (Al)	5
Αρσενικό (As)	0,1
Βηρύλλιο (Be)	0,1
Κάδμιο (Cd)	0,01
Κοβάλτιο (Co)	0,05
Χρώμιο (Cr)	0,1
Χαλκός (Cu)	0,2
Φθόριο (F)	1
Σίδηρος (Fe)	3
Λίθιο (Li)	2,5
Μαγγάνιο (Mn)	0,2
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,01
Νικέλιο (Ni)	0,2
Μόλυβδος (Pb)	0,1
Σελήνιο (Se)	0,02
Βανάδιο (V)	0,1

Ψευδάργυρος (Zn)	2
Υδράργυρος (Hg)	0,002
Βόριο (B)	2

Ο Πίνακας 4.3 παρουσιάζει τα αγρονομικά κριτήρια που πρέπει να πληρούν τα υγρά απόβλητα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως αρδευτικό νερό, ενώ ο Πίνακας 4.4 τα ανώτερα όρια των συγκεντρώσεων ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας στο ανακτημένο νερό.

**Πίνακας 4.3:** Τα επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

Παράμετρος	Περιορισμοί κατά την άρδευση		
	Μηδαμινός	Μέτριος	Μεγάλος
<b>Αλατότητα</b>			
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw) (dS/m)	<0,7	0,7 έως 3	>3
Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) (mg/L)	<450	450 έως 2000	>2000
<b>Διαπερατότητα</b>			
SAR=0 έως 3	>0,7	0,7 έως 0,2	<0,2
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw)= 3 έως 6	>1,2	1,2 έως 0,3	<0,3
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw)= 6 έως 12	>1,9	1,9 έως 0,5	<0,5
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw)= =12 έως 20	>2,9	2,9 έως 1,3	<1,3
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw)= =20 έως 40	>5	5 έως 2,9	<2,9
<b>Ειδική τοξικότητα νατρίου (Na)</b>			
Προσρόφηση δια του ριζικού συστήματος των φυτών κατά την επιφανειακή άρδευση (SAR)	<3	3 έως 9	>9
Προσρόφηση από τα φύλλα των φυτών κατά την άρδευση με καταιονισμό (mg/L)	≤70	>70	
<b>Ειδική τοξικότητα χλωριόντων (Cl)</b>			
Προσρόφηση δια του ριζικού συστήματος	<140	140 έως 350	>350

των φυτών κατά την επιφανειακή άρδευση (mg/L)			
Προσρόφηση από τα φύλλα των φυτών κατά την άρδευση με καταιονισμό (mg/L)	≤100	>100	
Νιτρικό άζωτο (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L)	<5	5 έως 30	>30
Ανθρακικό οξύ (HCO <sub>3</sub> ) (mg/L)	<90	90 έως 500	>500
PH	6,5 έως 8,5		

**Πίνακας 4.4:** Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

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

Isoproturon	34123-59-6	1
Ναφθαλένιο	91-20-3	2,4
Εννεϋλοφαινόλη (4-Εννεϋλοφαινόλη)	104-40-5	2
Οκτυλοφαινόλη [4-(1, 1', 3, 3'-τετραμεθυλβουτυλική)-φαινόλη]	140-66-9	1
Πενταχλωροβενζόλιο	608-93-5	0,1
Πενταχλωροφαινόλη	87-86-5	1
Βενζο(α)πυρένιο	50-32-8	0,1
Βενζο(β)φλουορανθένιο, Βενζο(κ)φλουορανθένιο	205-99-2, 207-08-9	Αθροιστικά 0,03
Βενζο(ζ, η, θ)-περιλένιο, Ινδενο(1, 2, 3-γ, δ)πυρένιο	191-24-2, 193-39-5	Αθροιστικά 0,02
Σιμαζίνη	122-34-9	1
Τετραχλωροαιθυλένιο	127-18-4	10
Τριχλωροαιθυλένιο	79-01-6	10
Ενώσεις τριβουτυλτίνης (κατιόν)	36643-28-4	0,003
Τριχλωροβενζόλια (όλα ισομερή)	12002-48-1	0,4
Τριχλωρομεθάνιο	67-66-3	2,5
Τριφθοραλίνη	1582-09-8	0,03
Οξεία τοξικότητα στον οργανισμό δείκτη <i>Daphnia Magna</i> (πριν από την απολύμανση)		1 Μονάδα τοξικότητας (TU 50 ≤1)

Σύμφωνα με τους Παρανυχιανάκης κ.α. (2009), τα προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα οφείλουν να διαμορφωθούν λαμβάνοντας υπόψη τα νέα σχετικά όρια της Οδηγίας του ΠΟΥ και τη νομοθεσία της Αυστραλίας (Πίνακας 4.5). Στο πλαίσιο του Πίνακα 4.5 ως δευτεροβάθμια επεξεργασία μπορούν να ληφθούν τα συστήματα ενεργούς λύου, τα σταλαγματικά φίλτρα ή τα φυσικά συστήματα (τεχνητοί υγροβιότοποι, λίμνες οξείδωσης), τα οποία διασφαλίζουν εκροές με συγκεντρώσεις BOD5 και ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) μικρότερες των 30mg/L. Με τον όρο «διήθηση» περιγράφεται η διέλευση των υγρών αποβλήτων από φυσικά μέσα όπως είναι μη διαταραγμένα εδάφη, η άμμος, ο ανθρακίτης και ειδικά υφάσματα ή η μικροφίλτραση. Κατά τη διήθηση, ο ρυθμός εφαρμογής πρέπει να διατηρείται μικρότερος από 20cm/min, ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική φίλτραση. Η απολύμανση αναφέρεται στην απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών μέσω φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Η χρήση του χλωρίου (Cl<sub>2</sub>) ως απολυμαντικού μέσου δεν αποκλείει τη χρήση άλλων απολυμαντών. Η παρακολούθηση της ποιότητας της χρησιμοποιούμενης εκροής οφείλει να γίνεται ανά εβδομάδα στην έξοδο της ΕΕΛ. Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και η τιμή θολότητας, που ορίζονται στον Πίνακα 4.5, θα πρέπει να επιτυγχάνεται πριν την απολύμανση της εκροής. Η παρακολούθηση της θολότητας, όπου απαιτείται (οικιακές χρήσεις, αστικές χρήσεις και άρδευση χωρίς περιορισμούς), πρέπει να πραγματοποιείται σε συνεχή βάση. Επιπροσθέτως, τα

προτεινόμενα κριτήρια ποιότητας θα πρέπει να ικανοποιούνται για το 90% των δειγμάτων που ελέγχονται. Αναφορικά με τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC), σε κανένα δείγμα η συγκέντρωσή τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100CFU/100ml για τις χρήσεις υψηλού κινδύνου (οικιακές χρήσεις, αστικές χρήσεις και απεριόριστη άρδευση χωρίς). Για όλες τις υπόλοιπες χρήσεις, η ίδια τιμή οφείλει να μην ξεπεραστεί στο 75% των δειγμάτων. Τέλος, απαιτείται η κατάρτιση ορίων για τις θρεπτικές ενώσεις (άζωτο (N) και φώσφορος (P)).

**Πίνακας 4.5:** Προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα (Παρανυχανακης κ.α., 2009)

Κατηγορία Ανακύκλωσης	Διεργασίες επεξεργασίας	Επιτόπια μέτρα μείωσης κινδύνων	Ποιοτικές παράμετροι ελέγχου
<b>Αστικές και Οικιακές χρήσεις</b>			
Οικιακές Χρήσεις: άρδευση κήπων, πλύσιμο αυτοκινήτων, διπλοί αγωγοί μεταφοράς	Πρωθιμμένη επεξεργασία: Δευτεροβάθμια, μεμβράνες, απολύμανση	Δεν απαιτούνται	BOD <sub>5</sub> : <10mg/ml FC: <1efu/100ml Θολότητα: < 0,2NTU Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): 1mg/L Χρώμα
Αστικές χρήσεις χωρίς περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης: άρδευση χώρων πρασίνου, όπως αθλητικών εγκαταστάσεων, πάρκων, γηπέδων γκολφ, πλύσιμο δρόμων, πυρόσβεση	Πρωθιμμένη επεξεργασία: ■ Δευτεροβάθμια, διήθηση, απολύμανση ■ Δευτεροβάθμια, μεμβράνες, απολύμανση	Δεν απαιτούνται	BOD <sub>5</sub> : <10mg/L FC: <1efu/100ml Θολότητα: <2 NTU Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): 1mg/L
Αστικές χρήσεις με περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης: άρδευση περιοχών, όπου η πρόσβαση κοινού είναι περιορισμένη ή ελεγχόμενη (λ.χ. νησίδων εθνικών οδών, γηπέδων γκολφ, κοιμητηρίων)	Δευτεροβάθμια και απολύμανση	■ Αυστηρός έλεγχος πρόσβασης ■ Ελάχιστη απόσταση από σημεία διέλευσης κοινού	BOD <sub>5</sub> : <20mg/L TSS:< 20mg/L FC: <100efu/100ml Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): 1mg/L
<b>Άρδευση Καλλιερχειών</b>			
Άρδευση καλλιερχειών χωρίς περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης	Πρωθιμμένη επεξεργασία: ■ Δευτεροβάθμια, διήθηση, απολύμανση ■ Δευτεροβάθμια, μεμβράνες, απολύμανση	■ Δεν απαιτούνται ■ Όλες οι καλλιέρχειες και όλες οι μέθοδοι εφαρμογής	BOD <sub>5</sub> : <10mg/L FC: <1efu/100ml Θολότητα: < 2NTU Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): 1mg/L
Άρδευση με περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση και απολύμανση	■ Κηπευτικές καλλιέρχειες που το υπέργειο μέρος τους καταναλώνεται νωπό και δεν βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος (τομάτες, μελιτζάνες και πιπεριές). Εφαρμογή με στάγδην ή υποεπιφανειακή άρδευση και μη συγκομιδή υγρής παραγωγής ή από το έδαφος. ■ Κηπευτικές καλλιέρχειες με επαφή με το έδαφος, που φέρουν	BOD <sub>5</sub> : <10mg/L TSS:< 10mg/L FC: <100efu/100ml Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): 1mg/L



ωστόσο φλοιό που αφαιρείται πριν την κατανάλωση. Σε περίπτωση άρδευσης με καταιονισμό, η συγκομιδή οφείλει να γίνεται, όταν η παραγωγή είναι απολύτως στεγνή (2-3 ημέρες). Απαιτείται επίσης έλεγχος της πρόσβασης και διακοπή της άρδευσης όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Ως ελάχιστη απόσταση ορίζονται τα 30m από πηγές νερού, σημεία διέλευσης κοινού και γειτονικές καλλιέργειες που η παραγωγή τους καταναλώνεται νωπή.

✦ Άρδευση με καταιονισμό καλλιεργειών που υπόκεινται σε διεργασία ή μαγείρεμα πριν την κατανάλωσή τους (όπως τα λαχανικά που μαγειρεύονται ή υφίστανται διεργασία, τα σπυροφόρα δέντρα για κομπόστα ή χυμό, οι αμπελώνες για παρασκευή κρασιού και σταφίδας, οι ελιές, τα δημητριακά) και λειβαδικών εκτάσεων για βοσκή ζώων. Ως ελάχιστη απόσταση ορίζονται τα 50m από πηγές νερού, σημεία διέλευσης κοινού και γειτονικές καλλιέργειες που η παραγωγή τους καταναλώνεται νωπή. Προβλέπεται έλεγχος της πρόσβασης και διακοπή της άρδευσης όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Η συλλογή της παραγωγής γίνεται όταν η κόμη των καλλιεργειών είναι απολύτως στεγνή.

✦ Άρδευση καλλιεργειών με επιφανειακές μεθόδους που τα προϊόντα τους καταναλώνονται νωπά και βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση με το έδαφος (σπυροφόρα δέντρα και αμπελώνες). Απαιτείται έλεγχος της πρόσβασης και μη συλλογή από το έδαφος.

		<p>Η συγκομιδή οφείλει να πραγματοποιείται σε διάστημα μεγαλύτερο από μια εβδομάδα από την εφαρμογή άρδευσης.</p>	
Άρδευση με περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης	Δευτεροβάθμια επεξεργασία απολύμανση και	<p>✚ Άρδευση καλλιεργειών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται νωπά και βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση με το έδαφος (οπωροφόρα δένδρα και αμπελώνες) με τοπικές μεθόδους. Απαιτείται έλεγχος της πρόσβασης, κατά τη διάρκεια της άρδευσης. Δεν επιτρέπεται η συλλογή παραγωγής από το έδαφος.</p> <p>✚ Άρδευση με επιφανειακές μεθόδους καλλιεργειών που υφίστανται διεργασία ή μαγείρεμα πριν την κατανάλωσή τους (οπωροφόρα δένδρα για κομπόστα ή χυμό, αμπελώνες για κρασί ή σταφίδες, ελιές και δημητριακά). Απαιτείται έλεγχος της πρόσβασης, κατά τη διάρκεια της άρδευσης, και έλεγχος της απορροής.</p>	<p>BOD<sub>5</sub>: &lt;20mg/L TSS:&lt; 20mg/L FC: &lt;1000CFU/100ml Υπολειμματικό χλώριο (Cl<sub>2</sub>): 1mg/L</p>
Άρδευση με περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση τουλάχιστον 10 ημέρες	<p>✚ Άρδευση καλλιεργειών που δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο (παραγωγή βιομάζας και ξυλείας, χορτολιβαδικές καλλιέργειες και σποροπαραγωγή) με επιφανειακές μεθόδους. Απαιτείται αυστηρός έλεγχος της πρόσβασης, κατά τη διάρκεια της άρδευσης και μέτρα προστασίας για τους εργαζομένους. Επίσης, απαιτείται έλεγχος της απορροής. Δεν επιτρέπεται η βόσκηση ζώων γαλακτοπαραγωγής για 2 εβδομάδες από την εφαρμογή της άρδευσης. Σε περίπτωση ύπαρξης</p>	<p>BOD<sub>5</sub>: &lt;30mg/L TSS:&lt; 30mg/L FC: -</p>

		υπόγειου υδροφόρου συστήματος, ο ορίζοντάς του πρέπει να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 4m.	
Βιομηχανική χρήση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία απολύμανση και	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Δεν επιτρέπεται η χρήση ανακυκλωμένου νερού σε βιομηχανίες μεταποίησης τροφίμων</li> <li>■ Όπου η χρήση των εκροών συνεπάγεται τη δημιουργία σταγονιδίων ή αερολυμάτων απαιτείται προωθημένη επεξεργασία, όπως δευτεροβάθμια, διήθηση και απολύμανση, ή λήψη μέτρων προστασίας του προσωπικού από την έκθεση σε σταγονίδια (λ.χ. κατάλληλος ρουχισμός, γάντια, μάσκες).</li> </ul>	Ορίζονται κατά περίπτωση
Περιβαλλοντικές χρήσεις, όπως συντήρηση ροής σε ποτάμια, λίμνες και υγροβιότοπους	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών και απολύμανση	Απαιτείται κατά περίπτωση αξιολόγηση λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό πρόσβασης του κοινού, τη χρήση, τις πιθανές επιπτώσεις στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα, τις πιθανές επιδράσεις του υπολειμματικού χλωρίου (Cl) στους υδρόβιους οργανισμούς και τις πιθανές επιπτώσεις στις φυσικοχημικές ιδιότητες του υδάτινου σώματος.	BOD <sub>5</sub> : <20mg/L TSS:< 20mg/L FC: <250efu/100ml Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): κατά περίπτωση
T.E. υδροφόρων συστημάτων που δεν προορίζονται για ύδρευση μέσω λεκανών διήθησης	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών και απολύμανση	Το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας, καθώς και τα όρια των ποιοτικών παραμέτρων θα πρέπει να καθορίζονται ανά περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το δυναμικό, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τη χρήση του υδροφόρου συστήματος και το χρόνο παραμονής.	Ορίζονται κατά περίπτωση

#### **4.1.1. Η αστική και περιαιστική χρήση του ανακτημένου νερού**

Η συγκεκριμένη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων της ΚΥΑ λαμβάνει χώρα κατόπιν μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής, όπου συμμετέχουν η Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης, η αρμόδια Διεύθυνση Υγείας




της αρμόδιας Περιφέρειας και, στις περιπτώσεις δασικών εκτάσεων, η αρμόδια Διεύθυνση Δασών της Αποκεντρωμένης Διοίκησης.

Η αστική και περιαστική χρήση της εκροής ΕΕΛ αφορά στο πότισμα χώρων πρασίνου, όπως δασών, αλσών, κοιμητηρίων, πρανών, νησίδων αυτοκινητοδρόμων, γηπέδων γκολφ, δημοσίων πάρκων, αυλών, ελεύθερων χώρων ξενοδοχειακών συγκροτημάτων, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων, όπως συμπύκνωση εδαφών, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, τη συντήρηση διακοσμητικών συντριβανιών, τεχνητών λιμνών και υδροβιότοπων και την ενίσχυση της παροχής των επιφανειακών ρευμάτων. Απαγορεύεται η αξιοποίηση των αποβλήτων ως νερό πόσης, στην κολύμβηση και σε οικιακές δραστηριότητες.

Ο Πίνακας 4.6 παρουσιάζει τα μικροβιολογικά όρια, τις επιτρεπόμενες τιμές των συμβατικών παραμέτρων, την ελάχιστη αποδεκτή απαιτούμενη επεξεργασία και τη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και Τ.Ε. υπόγειων νερών μέσω γεωτρήσεων έγχυσης.

**Πίνακας 4.6:** Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων, η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για αστική και περιαστική χρήση και Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με γεωτρήσεις έγχυσης σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

Μορφή επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/100ml)	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) (mg/L)	Αιωρούμενα στερεά (SS) (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων του ανακτημένου νερού
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Αστική χρήση: Κοιμητήρια, πρηνή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, εγκαταστάσεις αναψυχής, πυρόσβεση, συμπύκνωση εδάφους, καθαρισμός οδών και πεζοδρομίων, διακοσμητικά συντριβάνια</li> <li>■ Περιαστικό πράσινο: Άλση, δάση</li> <li>■ Τ.Ε. υπόγειων νερών που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του Άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2-3-2007 (ΦΕΚ 54<sup>Α</sup>/8-3-2007) με γεωτρήσεις</li> </ul>	<p>≤2 για το 80% των δειγμάτων και ≤20 για το 95% των δειγμάτων</p>	<p>≤10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤2 (διάμεση τιμή)</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5), Αιωρούμενα στερεά (SS), Άζωτο (N), Φώσφορος (P): Σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ 5673/400/5-3-1997</li> <li>■ Θολότητα και διαπερατότητα: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Για ανακτημένο νερό ΕΕΛ με ΙΚ &gt;50000, 4/εβδομάδα</li> <li>■ Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις, 2/εβδομάδα</li> </ul> </li> <li>■ Ολικά κολοβακτηρίδια (TC): <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Για ανακτημένο νερό ΕΕΛ με ΙΚ &gt;50000,</li> </ul> </li> </ul>

						7/εβδομάδα  Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις, 3/εβδομάδα  Για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη υποδομών, 2/εβδομάδα  Χλώριο (Cl <sub>2</sub> ): Συνεχώς, εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση
--	--	--	--	--	--	--

#### **4.1.2. Η βιομηχανική χρήση του ανακτημένου νερού**

Σύμφωνα με την ΚΥΑ, η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού διακρίνεται περαιτέρω σε:








- **Επαναχρησιμοποίηση ως νερό ψύξης μιας χρήσης.**
- **Άλλες βιομηχανικές χρήσεις, όπως επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, αναπλήρωση νερού για λέβητες, νερό για διάφορες βιομηχανικές διεργασίες κ.α.**

Τα υγρά απόβλητα αξιοποιούνται σε βιομηχανικές δραστηριότητες κατόπιν εκπόνησης μελέτης εφαρμογής, ενώ απαγορεύεται η χρήση τους σε βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων τα οποία προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Ο Πίνακας 4.7 αποτελεί τον αντίστοιχο του Πίνακα 4.6 για αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε απεριόριστη άρδευση και σε βιομηχανικές εφαρμογές με εξαίρεση το νερό ψύξης μιας χρήσης.

**Πίνακας 4.7:** Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων, η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011


Μορφή επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού	<i>Escherichia coli</i> (EC/100ml)	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) (mg/L)	Αιωρούμενα στερεά (SS) (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων του ανακτημένου νερού
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Απεριόριστη άρδευση: Οπωροφόρα δέντρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια</li> <li>■ Βιομηχανική χρήση πλην νερού</li> </ul>	≤5 για το 80% των δειγμάτων και ≤50 για το 95% των δειγμάτων	≤10 για το 80% των δειγμάτων	≤10 για το 80% των δειγμάτων	≤2 (διάμεση τιμή)	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5), Αιωρούμενα στερεά (SS), Άζωτο (N), Φώσφορος (P): Σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ 5673/400/5-3-1997</li> <li>■ Θολότητα</li> </ul>

<p>Ψύξης μιας χρήσης: Επανακυκλοφορούμενο νερό λεβήτων, νερό διεργασιών</p>						<p>και διαπερατότητα:   Για                      ανακτημένο νερό                      ΕΕΛ με ΙΚ &gt;50000,                      4/εβδομάδα   Για τις                      υπόλοιπες                      περιπτώσεις,                      2/εβδομάδα   <i>Escherichia                      coli</i> (EC):   Για                      ανακτημένο νερό                      ΕΕΛ με ΙΚ &gt;50000,                      4/εβδομάδα   Για τις                      υπόλοιπες                      περιπτώσεις,                      2/εβδομάδα   Για                      περιοχές με                      τεκμηριωμένη                      έλλειψη υποδομών,                      1/εβδομάδα   Χλώριο                      (Cl<sub>2</sub>): Συνεχώς,                      εφόσον                      εφαρμόζεται                      χλωρίωση</p>
---	--	--	--	--	--	---

#### **4.1.3. Η γεωργική χρήση του ανακτημένου νερού**

Η αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία αφορά κατά κόρων στην άρδευση άνυδρων και ημιάνυδρων περιοχών. Οι αυξανόμενες υδατικές καταναλώσεις για αρδευτικούς σκοπούς και ο περιορισμός των διαθέσιμων υδατικών πόρων συνεπάγονται την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων σε ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό. Συγκεκριμένα, στην Ευρώπη, η συνολική ετήσια απόληψη νερού από το περιβάλλον, η οποία προορίζεται για ικανοποίηση των αναγκών της αγροτικής παραγωγής είναι περίπου 105068hm<sup>3</sup> (Καραβίτης, 2005) και συμπερασματικά η επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων δεσπάζει ως βασική μέθοδος εξοικονόμησης νερού.

Στην ΚΥΑ διακρίνονται δύο τύποι άρδευσης ανάλογα με το είδος των καλλιεργειών, το σύστημα άρδευσης και την προσβασιμότητα του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή:

 **Περιορισμένη άρδευση** (Πίνακας 4.8): Ο τύπος αυτός αφορά αποκλειστικά καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται κατόπιν θερμικής ή άλλου είδους επεξεργασίας ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος, όπως οι καλλιέργειες ζωοτροφών και σπόρων, οι βιομηχανικές καλλιέργειες, τα λιβάδια, τα δέντρα (με εξαίρεση τα οπωροφόρα και με την προϋπόθεση ότι κατά τη συγκομιδή τους οι καρποί δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος). Η απόφαση απαγορεύει την άρδευση με καταιονισμό και την πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση, εκτός εάν πρόκειται για τους χρήστες του αρδευτικού συστήματος. Όταν είναι πιθανή η πρόσβαση ανθρώπων ή

ζώων στον χώρο όπου λαμβάνει χώρα άρδευση με ανακτημένα απόβλητα ΕΕΛ, πρέπει να υπάρχει περίφραξη, να ορίζεται συγκεκριμένη ζώνη ασφαλείας πέρα από τα όρια της αρδευόμενης έκτασης, όπου θα απαγορεύονται ορισμένες χρήσεις γης, και να απαγορεύεται η βόσκηση ζώων για ορισμένο χρονικό διάστημα ύστερα από την άρδευση.

■ **Απεριορίστη άρδευση:** Αφορά σε όλα τα είδη των καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ανεπεξέργαστα (ωμά). Σε αυτόν τον αρδευτικό τύπο, επιτρέπονται όλα τα αρδευτικά συστήματα (καταιονισμός και στάγδην άρδευση), καθώς και η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση.

Η πραγματοποίηση και των δύο κατηγοριών άρδευσης προϋποθέτει την εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του αρδευτικού συστήματος λαμβάνοντας υπόψη το είδος της καλλιέργειας και τις συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή εφαρμογής.

Τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης νερού υποβαθμισμένης ποιότητας στη γεωργία περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας κ.α., 2004):

■ **Ύπαρξη διαρκούς πηγής τροφοδοσίας:** Τα ανακτημένα απόβλητα που εκρέουν από τις ΜΕΛ μπορούν να αποτελέσουν μια σταθερή πηγή υδατικών πόρων και θρεπτικών συστατικών, εφόσον και η παραγωγή των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων είναι διαρκής.

■ **Θρεπτική αξία:** Τα απόβλητα περιέχουν κάλιο (K), φώσφορο (P), άζωτο (N) και ιχνοστοιχεία, όπως ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το νικέλιο (Ni) και το μολυβδαίνιο (Mo), τα οποία χρησιμοποιούν και τα φυτά στην ανάπτυξή τους. Οι ποσότητες βέβαια των περιεχόμενων στοιχείων μπορεί να μην είναι οι κατάλληλες για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, αλλά μπορούν να αντικαταστήσουν τα λιπάσματα, που κυκλοφορούν στο εμπόριο, αποτελώντας οικονομικότερη λύση.

■ **Συμβατότητα με το σχετικό με την επεξεργασία υγρών αποβλήτων θεσμικό πλαίσιο:** Η νομοθεσία επιτρέπει την εδαφική διάθεση των υγρών αποβλήτων εκτός από την τροφοδοσία υδάτινων αποδεκτών και κρίνεται ιδιαίτερα αυστηρή. Ταυτόχρονα, η εδαφική δομή λειτουργεί σαν φίλτρο και συμβάλλει στον καθαρισμό των αποβλήτων.

■ **Διατήρηση των υδατικών αποθεμάτων:** Η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς επιφέρει θετικά αποτελέσματα στη διατήρηση του υδατικού ισοζυγίου.

Παρά τις θετικές πτυχές της επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων, η εφαρμογή της δεν θα πρέπει να γίνεται χωρίς περιορισμούς, αλλά να συνοπολογίζονται όλες οι παράμετροι οι οποίες μπορούν να επιφέρουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η προστασία της δημόσιας υγείας των καλλιεργητών και των καταναλωτών προϋποθέτει ότι η εκροή των εγκαταστάσεων καθαρισμού πληροί τα όρια που θέτει η νομοθεσία κυρίως όσον αφορά στις συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών. Σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες, η διάθεση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ή εκροής κακής ποιότητας αυξάνει τον κίνδυνο μόλυνσης.

Εκτός, όμως, από τους κινδύνους που εγκυμονεί η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για τη δημόσια υγεία, παρουσιάζονται και αρνητικές επιπτώσεις για τις καλλιέργειες και τα φυσικά οικοσυστήματα, οι κυριότερες εκ' των οποίων σχετίζονται με:

■ **Το υδατικό ισοζύγιο:** Η εφαρμογή των επεξεργασμένων αποβλήτων στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα οφείλει να γίνεται με κατάλληλο ρυθμό ώστε να αποτρέπεται η επιφανειακή απορροή τους. Πρακτικά, πρέπει να ικανοποιείται η εξίσωση:

$$q = E + D - K, \text{ όπου}$$

q: ο μέγιστος ρυθμός εφαρμογής των αποβλήτων (δηλαδή η μέγιστη τιμή του λόγου ροή/επιφάνεια),

E: ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής,

D: ο ρυθμός διήθησης και

K: ο ρυθμός κατακρήμνισης.

Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από το κλίμα και το είδος των καλλιεργειών, ενώ η διήθηση από την εδαφική διαπερατότητα και τη μέθοδο άρδευσης. Ωστόσο, η επιφανειακή απορροή των αποβλήτων δεν είναι το μοναδικό πρόβλημα, που μπορεί να εμφανιστεί. Εάν το έδαφος υπερφορτιστεί υδραυλικά, αναπτύσσονται μικροοργανισμοί, οι οποίοι αξιοποιούν το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων ως τροφή και παράγουν νέα οργανική ύλη, η οποία συσσωρεύεται στο έδαφος. Η συσσώρευση οργανικών ενώσεων προκαλεί δυσοσμία και απόφραξη των εδαφικών πόρων (φαινόμενο clogging, Παράρτημα Α).

■ **Παρουσία αλάτων:** Τα απόβλητα περιέχουν άλατα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από εκείνες του φυσικού νερού. Όταν τα άλατα συγκεντρώνονται πλησίον του ριζικού συστήματος των φυτών, περιορίζουν την πρόσληψη νερού και εμποδίζουν την ανάπτυξή τους. Επιπροσθέτως, στην περίπτωση κατά την οποία το έδαφος έχει μικρή ικανότητα κυκλοφορίας του νερού και η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη, επηρεάζεται δυσμενώς η άρδευση. Η εκτίμηση των ανεκτών συγκεντρώσεων αλάτων για την προστασία των καλλιεργειών συνυπολογίζει το είδος των φυτών και του εδάφους, το κλίμα και την ποσότητα του αρδευόμενου νερού. Η οριακή συγκέντρωση υπό όρους ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι 3mmho/cm, ενώ σε μονάδες ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) 2000mg/L. Τα οπωροφόρα δέντρα είναι περισσότερο ευαίσθητα στην αλατότητα σε σύγκριση με τους βοσκοτόπους και τους λειμώνες. Η αυξημένη αλατότητα αντιμετωπίζεται με δίκτυα αποστράγγισης για να διευκολυνθεί η διοχέτευση του νερού διαμέσου του εδάφους και η αύξηση της συχνότητας άρδευσης για την απομάκρυνση των αλάτων.

■ **Διαπερατότητα:** Οι υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου (Na) προκαλούν απόφραξη των πόρων κυρίως στα λεπτόκκοκκα και με σημαντική παρουσία αργιλίου (Al) εδάφη και ελαττώνουν τη διαπερατότητά τους. Ο κίνδυνος εμφράξεως εκτιμάται μέσω του δείκτη SAR, ο οποίος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$SAR = [Na^+]/[(Ca^{2+}+Mg^{2+})/2]^{1/2}, \text{ όπου}$$

Na, Ca και Mg: οι συγκεντρώσεις (meq/L) νατρίου (Na), ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg) στα απόβλητα.

Ένας διορθωμένος δείκτης SAR υπολογίζεται με στόχο να ληφθεί υπόψη η επίδραση του διαλυμένου ασβεστίου (Ca) στην επιφανειακή εδαφική στρώση και του ασβεστίου (Ca) που έχει αποπλυθεί από την επιφανειακή εδαφική στρώση. Με τον τρόπο αυτό, συνεκτιμάται και η συγκέντρωση του ασβεστίου στο περιεχόμενο



νερό του εδάφους, αφού λάβει χώρα η άρδευση. Η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ότι τιμές SAR κατώτερες του 9, δεν οδηγούν σε μείωση της διαπερατότητας, αν και το περιοριστικό ανώτερο όριο του δείκτη πρέπει να συσχετίζεται με τη συγκέντρωση των αλάτων στα χρησιμοποιούμενα απόβλητα, διότι αυξημένες συγκεντρώσεις αλάτων σε αυτά, καταλήγουν σε αύξηση των τιμών του. Επειδή οι συγκεντρώσεις του νατρίου (Na) στα απόβλητα έχουν συνήθως χαμηλή τιμή και ταυτόχρονα οι συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου είναι ανεκτές, ο δείκτης συνήθως δεν λαμβάνει μη αποδεκτές τιμές. Όταν, όμως, υφάλμυρο νερό εισέρχεται στο αποχετευτικό δίκτυο ή η συγκέντρωση του νατρίου (Na) είναι αυξημένη (απόβλητα γεωργίας και βιομηχανίας), τότε ο δείκτης ξεπερνά το επιτρεπόμενο όριο.

✦ **Απόφραξη αρδευτικού συστήματος:** Το φαινόμενο της απόφραξης των αρδευτικών δικτύων εμφανίζεται σε όλες τις κατηγορίες συστημάτων άρδευσης, δηλαδή στα συστήματα με καταιονισμό και στάγδην. Συνήθως, τα τελευταία είναι τα περισσότερο επιρρεπή. Μολονότι η εκροή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας περιέχει συνήθως στερεά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 200μm (οριακή τιμή για να εμφανιστεί απόφραξη), έχουν παρουσιαστεί περιπτώσεις όπου συσσωματώματα σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου προκαλούν πρόβλημα στην άρδευση. Το φαινόμενο αντιμετωπίζεται μέσω διύλισης των αποβλήτων (παραμονή επαρκών υπολειμμάτων χλωρίου στο αρδευτικό δίκτυο) και με την αποφυγή της δημιουργίας φυτοπλαγκτόν ή ζωοπλαγκτόν σε ανοιχτούς χώρους ταμίευσης νερού, που χρησιμοποιούνται στα αρδευτικά έργα (ικανοποιητική αφαίρεση των θρεπτικών συστατικών κατά τον καθαρισμό των υγρών αποβλήτων, περιορισμένος χρόνος παραμονής του αρδευτικού νερού σε δεξαμενές ή λίμνες).

✦ **Πολιτικά, οικονομικά κριτήρια και κοινωνικές αντιδράσεις:** Ο σχεδιασμός της επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων στην αγροτική παραγωγή προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς κεφαλαίου, την ικανοποίηση των κριτηρίων που τίθενται από τη νομοθεσία, ώστε να εξασφαλίζεται εκροή υψηλής ποιότητας από τις ΜΕΛ, αλλά και διαβούλευση μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων (επιστήμονες, αγρότες, καταναλωτές).

✦ **Η συντήρηση του μέγιστου αποδεκτού οργανικού φορτίου:** Καθώς τα απόβλητα διηθούνται διαμέσου των εδαφικών πόρων, οι κόκκοι του εδάφους συγκρατούν τις περιεχόμενες οργανικές ουσίες των αποβλήτων και τις βιοαποικοδομούν με ταχείς ρυθμούς. Στην περίπτωση που ο ρυθμός εφαρμογής αποβλήτων είναι τόσο γρήγορος, ώστε να υπερβληθεί το οργανικό φορτίο που μπορεί να διασπαστεί βιολογικά, δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες και εμφανίζονται προβλήματα παρόμοια με εκείνα που προκαλούνται από την υδραυλική υπερφόρτιση.

✦ **Η ικανοποιητική απομάκρυνση του αζώτου (N):** Στην περίπτωση κατά την οποία η επεξεργασία των αποβλήτων δεν έχει συντελεστεί σε ικανοποιητικό βαθμό, το περιεχόμενο άζωτο (N) μπορεί να εισχωρήσει σε υπόγεια υδροφόρα συστήματα και να προκαλέσει μόλυνση. Οι βασικοί τρόποι απομάκρυνσης του αζώτου (N) είναι η απορρόφησή του από τις καλλιέργειες και η μετατροπή του σε αέρια μορφή (αμμωνία (NH<sub>3</sub>)) ή ύστερα από απονιτροποίηση σε αέριο άζωτο (N<sub>2</sub>). Η συγκράτηση αζώτου (N) από τα φυτά εξαρτάται από τον τύπο των καλλιεργειών. Η ετήσια αφομοιωτική ικανότητα συνήθως εκτιμάται σε μερικές εκατοντάδες kg αζώτου (N)

ανά εκτάριο και εάν ξεπεραστεί, εμφανίζονται προβλήματα στην ανάπτυξη και την ποιότητα των φυτών.

✦ **Η κατάλληλη συγκέντρωση του φωσφόρου (P):** Σε γενικές γραμμές, ο φώσφορος (P) δεν καθιστά ανέφικτη την επαναχρησιμοποίηση. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ο περιεχόμενος φώσφορος (P) των αποβλήτων δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών. Στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση φωσφόρου (P) στο ανακτημένο νερό, δεν έχουν σημειωθεί ανεπιθύμητες παρενέργειες για την ανάπτυξη των φυτών, όμως, είναι δυνατό με την επιφανειακή απορροή να εμφανιστούν προβλήματα στην ποιότητα των επιφανειακών νερών. Η συγκράτηση του φωσφόρου (P) στο έδαφος γίνεται μέσω της δημιουργίας αδιάλυτων ενώσεων αργιλίου (Al), σιδήρου (Fe) και ασβεστίου (Ca) κατά τη διήθηση του ανακτημένου νερού. Όταν η συγκέντρωση του φωσφόρου (P) ξεπερνά την τιμή εκείνη συγκέντρωσης η οποία μπορεί να αφομοιωθεί από τα φυτά, τότε συσσωρεύεται φώσφορος (P) και καταλήγει στα υπόγεια νερά.


✦ **Η ικανοποιητική απομάκρυνση των μετάλλων:** Τα μέταλλα (κυρίως ο ψευδάργυρος (Zn), ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni) και το κάδμιο (Cd)) είναι απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Ωστόσο, η παρουσία τους στην εκροή των ΕΕΛ δυνητικά προκαλεί τη συσσώρευσή τους στο έδαφος και σε αυξημένες συγκεντρώσεις είναι τοξική για τους καταναλωτικούς οργανισμούς. Όταν το pH των αποβλήτων είναι μικρότερο από 6,5, τα μέταλλα βρίσκονται σε διαλυτή μορφή και απορροφούνται εύκολα από τα φυτά στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης. Για μεγαλύτερες τιμές pH, τα μέταλλα περιέχονται στα απόβλητα με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων. Το νομοθετικό πλαίσιο περί επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων προσδιορίζει τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των μετάλλων στα επεξεργασμένα απόβλητα με στόχο την ασφαλή εδαφική διάθεσή τους, η οποία σχετίζεται με την κατιο-ανταλλακτική ικανότητα (CEC) του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η κατιο-ανταλλακτική ικανότητα (CEC), τόσο αυξημένη εμφανίζεται η συγκέντρωση των κατιόντων μετάλλων στο έδαφος. Ο όρος «ισοδύναμος ψευδάργυρος» (ZE) έχει προταθεί για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων (και κατ' επέκταση της τοξικότητας) του ψευδαργύρου (Zn), του χαλκού (Cu) και του νικελίου (Ni) και η τιμή του υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης:


$$ZE (\mu\text{g}/\text{gr}) = \text{Zn}^{+2} (\mu\text{g}/\text{gr}) + 2\text{Cu}^{+2} (\mu\text{g}/\text{gr}) + 8\text{Ni}^{+2} (\mu\text{g}/\text{gr})$$


Όσον αφορά στο κάδμιο (Cd), ο σχεδιασμός της επαναχρησιμοποίησης πρέπει να εξασφαλίζει τη διατήρηση χαμηλών συγκεντρώσεων του στοιχείου στο έδαφος, διότι προσλαμβάνεται από τις καλλιέργειες και μπορεί να γίνει τοξικό για τα ζώα και τον άνθρωπο.

✦ **Η τοξικότητα των ιόντων:** Συγκεκριμένα ιόντα και κυρίως αυτά του χλωρίου (Cl), του βορίου (B) και του νατρίου (Na) έχουν τοξική δράση για τα φυτά. Τα ιόντα χλωρίου (Cl) περιέχονται συχνά μέσα στο νερό, δεν αποτελούν ρυθμιστική παράμετρο στην ανάπτυξη των φυτών, αλλά όταν η συγκέντρωσή τους είναι υψηλή προκαλούν προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών και καταστροφή των φύλλων. Ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης τα όρια για τη συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου







(Cl), νατρίου (Na) και βορίου (B), ώστε να μην παρουσιάζονται προβλήματα φυτοτοξικότητας, έχουν ως ακολούθως:

 Στην άρδευση με καταιονισμό, συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου (Cl) ανώτερες των 100mg/L κρίνονται απαγορευτικές: Για το νάτριο (Na) το αντίστοιχο όριο είναι 70mg/L.

 Κατά την επιφανειακή άρδευση, συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου (Cl) έως 300mg/L θεωρούνται επιτρεπτές: Το νάτριο (Na) σε οποιαδήποτε συγκέντρωση δεν επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, αλλά τη διαπερατότητα του εδάφους.

 Γενικά, η συγκέντρωση του βορίου (B) οφείλει να είναι μικρότερη από 0,7mg/L: Σε ορισμένες περιπτώσεις, επιτρέπονται συγκεντρώσεις έως 3mg/L.

**Πίνακας 4.8:** Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων, η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και Τ.Ε. υπόγειου υδροφόρου συστήματος, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011

Μορφή επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού	<i>Escherichia coli</i> (EC/100ml)	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) (mg/L)	Αιωρούμενα στερεά (SS) (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων του ανακτημένου νερού
<p> Περιορισμένη άρδευση: Καλλιέργειες ζωοτροφών και σπόρων, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα με εξαίρεση τα οπωροφόρα και με την προϋπόθεση ότι κατά τη συγκομιδή τους οι καρποί δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος (απαγορεύεται η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή)</p> <p> Βιομηχανική χρήση: Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p> Τ.Ε. υπόγειων νερών που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του Άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2-3-2007 (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του Άρθρου 5 της παρούσας απόφασης) με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος επαρκούς πάχους και</p>	≤200 (διάμεση τιμή)	Σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με απολύμανση	<p> Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5), Αιωρούμενα στερεά (SS), Άζωτο (N), Φώσφορος (P): Σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ 5673/400/5-3-1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-1997)</p> <p> <i>Escherichia coli</i> (EC): 1/εβδομάδα</p> <p> Χλώριο (Cl<sub>2</sub>): Συνεχώς, εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση</p>

κατάλληλων  
χαρακτηριστικών

Ο Πίνακας 4.9 παρουσιάζει τις αρδευόμενες εκτάσεις με ανακτημένα υγρά απόβλητα σε διάφορες χώρες του κόσμου.

**Πίνακας 4.9:** Αρδευόμενες εκτάσεις με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ανά τον κόσμο (Τασούλα, 2007)

Περιοχή	Αρδευόμενη έκταση (στρέμματα)
Αργεντινή, Μεντόζα	57.000
Αυστραλία, Μελβούρνη	100.000
Γερμανία	280.000
Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	134.750
Ινδία	855.000
Ισραήλ	88.000
Κίνα	13.330.000
Κουβέιτ	120.000
Μαρόκο	60.000
Μεξικό	3.400.000
Νότια Αφρική, Γιοχάνεσμπουργκ	18.000
Περού, Λίμα	68.000
Σαουδική Αραβία, Ριάντ	28.500
Σουδάν, Χαρτούμ	28.000
Τυνησία	73.500
Χιλή, Σαντιάγκο	160.000

#### **4.1.4. Ο Τ.Ε. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με χρήση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας**

Λαμβάνοντας υπόψη το Άρθρο 8 της ΚΥΑ, επιτρέπεται ο Τ.Ε. των υπόγειων νερών με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα νερά δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του Άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2-3-2007 και τηρούνται οι διατάξεις της Υπ' Αριθμόν 39626/2208/2009 ΚΥΑ.

Ο Τ.Ε. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θα αναλυθεί διεξοδικά σε επόμενα κεφάλαια (V, VI) της παρούσας εργασίας.

## 4.2. Το διεθνές νομοθετικό πλαίσιο

Με δεδομένη την ανησυχία της επιστημονικής κοινότητας για την προσβολή των υδατικών αποθεμάτων από ανεπιθύμητα συστατικά και την ελάττωσή τους, αυξάνουν οι εφαρμογές της επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων ανά τον κόσμο. Μέσα στο γενικότερο αυτό πλαίσιο, αρκετά κράτη ανέπτυξαν νομοθεσία, η

οποία προβλέπει την αξιοποίηση του ανακτημένου νερού από ΜΕΛ για αρδευτικούς σκοπούς και τα τελευταία χρόνια και για την επαναφόρτιση υπόγειων νερών. Διεθνείς οργανισμοί, όπως η Διεθνής Τράπεζα, ο FAO και ο ΠΟΥ, εκτιμούν ότι η μέση ετήσια αύξηση του όγκου επαναχρησιμοποίησης νερών υποβαθμισμένης ποιότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, την Κίνα, την Ιαπωνία, την Ισπανία, το Ισραήλ και την Αυστραλία κυμαίνεται από 25 έως 65%. Οι αναθεωρημένες οδηγίες του ΠΟΥ και της Αυστραλίας (NRMMCEPHC) το 2006 παρέχουν νέα μεθοδολογία εκτίμησης των κινδύνων για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, καθώς και προβλέπουν τον καθορισμό ορίων. Η νέα μεθοδολογία είναι παρόμοια με αυτή που εφαρμόζεται για το πόσιμο νερό. Οι αναθεωρημένες Οδηγίες της EPA (USEPA, 2004) και της Καλιφόρνια (State of California, 2004) δίνουν κυρίως έμφαση σε χρήσεις όπως, η άρδευση, ο T.E. υπόγειων νερών και η έμμεση πόση. Σε σχετικές εφαρμογές, η Ευρώπη δεν μπορεί να ακολουθήσει τις ταχύτατες εξελίξεις. Αισιόδοξο μήνυμα αποτελεί το γεγονός ότι τα δυο τελευταία έτη οι Διευθυντές Νερού της Μάλτας, της Κύπρου και άλλων Μεσογειακών χωρών προτείνουν με εισηγήσεις τους σε αρμόδια συμβούλια να αντιμετωπίζονται οι μη συμβατικοί υδατικοί πόροι ως εναλλακτική λύση αντιμετώπισης της ξηρασίας κυρίως στις αστικές περιοχές. Επίσης, αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιταλία, η Γαλλία, η Κύπρος και πιο πρόσφατα η Ισπανία και η Πορτογαλία, θέσπισαν νομοθετικά πλαίσια χρήσης τέτοιων πόρων. Παράλληλα γίνεται προσπάθεια για την υιοθέτηση ενός κοινού θεσμικού πλαισίου χρήσης ανακυκλωμένου νερού στην περιοχή της Μεσογείου (Παρανυχιανάκης κ.α., 2009).

Μολονότι ο σχεδιασμός της επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για την τροφοδοσία των υπόγειων νερών καθίσταται περισσότερο περίπλοκη διαδικασία σε σχέση με την άρδευση γεωργικών εκτάσεων, διότι δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη αποκλειστικά η ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών και στερεών, αλλά και οι συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων, οι οποίες πιθανόν να μεταβάλλουν την ποιότητα του υπόγειου υδροφόρου συστήματος, πλήθος διεθνών κανονισμών παραβλέπει την κατάρτιση ορίων για τις οργανικές ουσίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, προβλέπονται έμμεσα ποιοτικά κριτήρια, τα οποία σχετίζονται με το οργανικό κλάσμα των υγρών αποβλήτων και με τα οποία είναι εφικτό να εκτιμηθούν δυνητικά δυσμενείς επιπτώσεις για τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα.

#### **4.2.1. Η Οδηγία του ΠΟΥ**

Στις ανεπτυγμένες χώρες, η χρήση ανακτημένου νερού από ΜΕΛ προς ικανοποίηση των απαιτήσεων της αγροτικής παραγωγής υπήρξε ο κινητήριος μοχλός για την έκδοση της σχετικής Οδηγίας του ΠΟΥ. Το 1971, έλαβε χώρα η πρώτη έκδοση της οδηγίας και αφορούσε σε ένα εκτεταμένο εύρος εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων, όπως αστικές χρήσεις πλην πόσης και ανάγκες αναψυχής.

Η οδηγία βασίζεται σε πορίσματα επιδημιολογικών ερευνών και δεν θέτει ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια ποιότητας για το ανακτημένο νερό. Η αυστηρότητα της οδηγίας τίθεται υπό διαρκή αμφισβήτηση από την επιστημονική κοινότητα και κατά συνέπεια τα μικροβιολογικά όρια που θέτει μετατρέπονται σε ένα προσωρινό ποιοτικό κριτήριο. Το περιεχόμενο της οδηγίας αφορά μεν στην ύπαρξη παθογόνων μικροβίων σε νερό, που προορίζεται για απευθείας άρδευση καλλιεργήσιμων

εκτάσεων, αποκλείει δε κριτήρια σχετικά με έμμεση χρήση αποβλήτων για άρδευση στην περίπτωση που το νερό παρακάμπτεται από μολυσμένους ποταμούς, οι οποίοι είναι αποδέκτες μερικώς επεξεργασμένων ή ακόμη και ανεπεξέργαστων αποβλήτων. Επιπροσθέτως, οι περιορισμοί που έχουν καταρτιστεί και σχετίζονται με την παρουσία των εντερικών μικροβίων αρμόζουν περισσότερο στο σχεδιασμό των ΜΕΛ και όχι τόσο στον έλεγχο της ποιότητας της εκροής τους. Η μη δυνατότητα ελέγχου της ύπαρξης αυγών εντερικών μικροβίων στο αρδευόμενο νερό καθιστά δυσχερή την αξιοποίηση αυτής της παραμέτρου στην αποδοτικότητα της επαναχρησιμοποίησης και τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) ως το μοναδικό μικροβιολογικό κριτήριο.

Το 1989, ο ΠΟΥ σε συνεργασία με την Παγκόσμια Τράπεζα και άλλους διεθνείς οργανισμούς διερευνά μεθόδους εξάλειψης (ή ελάττωσης) του κινδύνου ανάπτυξης και διάδοσης παθογόνων μικροβίων κατά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και συγκεκριμένα:

- Το βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων.
- Τον περιορισμό των ειδών των αρδευόμενων εκτάσεων.
- Την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου άρδευσης ανά περίπτωση.
- Τον αποκλεισμό της επαφής του κοινού με τους παθογόνους μικροοργανισμούς των αποβλήτων, του εδάφους και των φυτών.

Το 1995, η αναθεωρημένη έκδοση της οδηγίας έλαβε υπόψη τις συγκεντρώσεις των μετάλλων και των οργανικών ενώσεων στη διαδικασία της επαναχρησιμοποίησης. Σημαντική έλλειψη των κεφαλαίων της οδηγίας είναι η μη αναφορά τους σε κριτήρια επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων για τον Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Βέβαια, η οδηγία βρίσκεται και στις μέρες μας υπό διαμόρφωση, χωρίς όμως να δημοσιεύεται το περιεχόμενό της.

Η Οδηγία του ΠΟΥ σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων για σκοπούς άρδευσης (Πίνακας 4.10) ορίζει κριτήρια τόσο για την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, όσο μετάλλων και οργανικών ενώσεων.

**Πίνακας 4.10:** Τα μικροβιολογικά όρια της Οδηγίας του ΠΟΥ (1989)

Τύπος άρδευσης	Εκτιθέμενη πληθυσμιακή ομάδα σε παθογόνους μικροοργανισμούς	Εντερικοί νηματώδεις μικροοργανισμοί (γεωμετρικός μέσος όρος αυγών/L)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (γεωμετρικός μέσος όρος αυγών/100ml)	Απαιτούμενη επεξεργασία
Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα, που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων, αθλοπαιδιών, δημοσίων πάρκων κ.ο.κ. (γ)	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	<1	<1000	Σειρά λιμνών οξείδωσης, που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα, ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών	Εργάτες	<1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης

καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων (δ)				για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση περιττωματικών κολοβακτηρίδιων (FC)
Όπως η κατηγορία Β με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από τη τεχνολογία του συστήματος άρδευσης και όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια επεξεργασία

Σύμφωνα με την οδηγία, η άρδευση διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες' την περιορισμένη, όπου οι αρδευόμενες εκτάσεις περιλαμβάνουν τις καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα διατίθενται προς κατανάλωση κατόπιν επεξεργασίας και την απεριόριστη, η οποία εφαρμόζεται σε όλα τα είδη καλλιεργειών, καθώς και σε γήπεδα, πάρκα κ.ο.κ. Για την πρώτη κατηγορία καλλιεργειών είναι ανεκτή η πρωτοβάθμια επεξεργασία των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων ή η επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρονικό διάστημα παραμονής από 8 έως 10 ημέρες.

Η επιτυχία της περιορισμένης άρδευσης έγκειται στον αποκλεισμό της άμεσης επαφής της παραγωγής με παθογόνους μικροοργανισμούς, δηλαδή επιφανειακή άρδευση, συλλογή των καρπών που βρίσκονται στο σώμα των φυτών και όχι όσων έχουν πέσει στο έδαφος και διακοπή της άρδευσης περίπου δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή των καρπών.

Από την άλλη πλευρά, η επιτυχία της απεριόριστης άρδευσης συντελείται μέσω της τήρησης εξειδικευμένων μικροβιολογικών ορίων για τους εντερικούς νηματώδεις μικροοργανισμούς (< 1αυγό/L) και τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (< 1000FC / 100ml ή < 200FC / 100ml).

Αν και ο ΠΟΥ κατέληξε στα συγκεκριμένα μικροβιολογικά κριτήρια επί τη βάση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων των ανεπτυγμένων χωρών, η επιστημονική κοινότητα στις χώρες αυτές ασκεί έντονη κριτική στην οδηγία λόγω της έλλειψης αυστηρότητας στην κατάρτιση των ορίων.


Σχετικά με την ύπαρξη τοξικών ενώσεων στα ανακτημένα απόβλητα, ο ΠΟΥ αναθεώρησε παρελθοντικές επιεικείς διατάξεις λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:


✦ **Απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια επεξεργασία και ικανοποιούν τα αγρονομικά κριτήρια που θέτει ο κανονισμός εφαρμόζονται χωρίς περιορισμούς, όταν εφαρμόζεται αποτελεσματικά ένα πρόγραμμα ελέγχου βιομηχανικών αποβλήτων.**


✦ **Η εδαφική διάθεση αποβλήτων πρέπει να συνυπολογίζει τις ανώτατες συγκεντρώσεις ρυπαντικών ουσιών στο έδαφος, δεδομένου ότι τα ανεπεξέργαστα ή χαμηλής ποιότητας απόβλητα δυνητικά περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις ρύπων.**

✦ **Το νιτρικό άζωτο (NO<sub>3</sub>-N) και τα ιόντα νατρίου (Na) ευθύνονται για αιματολογικές και καρδιοαγγειακές παθήσεις, όταν περιέχονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό: Για το λόγο αυτό ο κανονισμός επιβάλλει:**

 Συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου (NO<sub>3</sub>-N) χαμηλότερες από 5mg/L, επιτρέπουν οποιαδήποτε χρήση του ανακτημένου νερού.

 Εάν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχουν συγκέντρωση νιτρικού αζώτου (NO<sub>3</sub>-N) από 5 έως 30mg/L, υφίστανται μικροί περιορισμοί στη χρήση τους.

 Συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου (NO<sub>3</sub>-N) ανώτερες από 30mg/L, επιφέρουν σημαντικούς περιορισμούς στον τρόπο αξιοποίησης των αποβλήτων.

 Η συγκέντρωση του νατρίου (Na) στα επεξεργασμένα απόβλητα οφείλει να είναι χαμηλότερη από 200mg/lit: Ο περιορισμός αυτός καταρτίστηκε, διότι εάν ξεπεραστεί η τιμή αυτή, το νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο λόγω γεύσης. Ωστόσο, δεν καθίσταται επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Η απορρόφηση των ρύπων από τις καλλιέργειες εξαρτάται από τη συγκέντρωση που αυτοί έχουν στο έδαφος. Ο Πίνακας 4.11 παρουσιάζει τα ανώτερα όρια της Οδηγίας του ΠΟΥ για τη συγκέντρωση των μετάλλων στο έδαφος, ενώ ο Πίνακας 4.12 τους αντίστοιχους περιορισμούς για τις οργανικές ουσίες. Σε κάθε περίπτωση, έχουν συνεκτιμηθεί η φυσική ύπαρξη των ουσιών στο περιβάλλον, η πρόληψη της συσσώρευσης τοξικών ουσιών στο εδαφικό προφίλ, αλλά και η αφομοιωτική ικανότητα του εδάφους (μείωση ή εξάλειψη της ρυπαντικής δράσης), όταν απόβλητα διατίθενται σε φυσικά οικοσυστήματα.

**Πίνακας 4.11:** Η Οδηγία του ΠΟΥ (1989) για τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο έδαφος

Μέταλλο	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg DW)
Αρσενικό (As)	9
Βάριο (Ba)	2900
Βηρύλλιο (Be)	20
Κάδμιο (Cd)	7
Χλώριο (Cl)	3200
Φθόριο (F)	2600
Μόλυβδος (Pb)	150
Υδράργυρος (Hg)	5
Νικέλιο (Ni)	850
Σελήνιο (Se)	140
Σίδηρος (Fe)	3

**Πίνακας 4.12:** Η Οδηγία του ΠΟΥ (1989) για τις συγκεντρώσεις των οργανικών ουσιών στο έδαφος

Οργανική ουσία	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg DW)
Aldrin	0,2
Benzene	0,03
Benzopyrene	3
Chlorodane	0,3
Chlorobenzene	Ανεπαρκή στοιχεία



Chloroform	2
Dichlorophenols	Ανεπαρκή στοιχεία
2,4-D	10
Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane (DDT)	Ανεπαρκή στοιχεία
Dieldrin	0,03
Heptachlor	1
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	Ανεπαρκή στοιχεία
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD)	30

Τα αναθεωρημένα κριτήρια της Οδηγίας του ΠΟΥ (2006) παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.13 και 4.14. Οι κίνδυνοι που εκτιμήθηκαν για παθογόνα των γενών *Campylobacter* και *Cryptosporidium* είναι μικρότεροι. Οι στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας από το ροταϊό μπορεί να επιτευχθούν για άρδευση χωρίς περιορισμούς. Η μείωση του πληθυσμού των παθογόνων μικροοργανισμών είναι 6 έως 7log. Στην περίπτωση της περιορισμένης άρδευσης η αντίστοιχη τιμή είναι 2 έως 3log. Όταν υπάρχει έκθεση παιδιών ηλικίας μικρότερης των 15 ετών, θα πρέπει να εφαρμόζονται πρόσθετα μέτρα προστασίας (παθογόνοι μικροοργανισμοί < 0,1 αυγά/L, προστατευτικός εξοπλισμός, εμβολιασμός). Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου, θα πρέπει να προκαθορίζεται ένα επιτρεπόμενο όριο για τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η συνιστώμενη τιμή είναι το 1 αυγό/L και θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστον στο 90% των δειγμάτων. Τέλος, αποκλείεται η συλλογή καρπών από το έδαφος.

**Πίνακας 4.13:** Ποσοτική ανάλυση κινδύνου για μόλυνση από ροταϊό για διαφορετικά σενάρια έκθεσης σύμφωνα με τον ΠΟΥ το 2006

Σενάριο έκθεσης	Ποιοτικά κριτήρια ( <i>Escherichia coli</i> /100 ml εκροής ή 100g εδάφους	Διάμεση τιμή μόλυνσης ανά άτομο ανά έτος	Παρατηρήσεις
Άρδευση χωρίς περιορισμούς (καταναλωτές)			
Μαρούλι	10 <sup>3</sup> έως 10 <sup>4</sup>	10 <sup>-3</sup>	100gr ανά άτομο κάθε 2 ημέρες 10-15 ml αποβλήτου παραμένουν στην καλλιέργεια

Κρεμμύδι	$10^3$ έως $10^4$	$5 \times 10^{-2}$	100gr ανά άτομο κάθε εβδομάδα για 5 μήνες 1-5 ml αποβλήτου παραμένουν στην καλλιέργεια
Άρδευση με περιορισμούς (καλλιεργητές ή άλλες ομάδες με υψηλή έκθεση)			
Χρήση μηχανημάτων	$10^5$	$10^{-3}$	100 ημέρες έκθεσης ανά έτος 1-10mg εδάφους ανά έκθεση
Χειρωνακτικά	$10^3$ έως $10^4$	$10^{-3}$	150-300 ημέρες έκθεσης ανά έτος 10-100mg εδάφους ανά έκθεση

**Πίνακας 4.14:** Στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας κατά την επαναχρησιμοποίηση εκροών ΕΕΛ στη γεωργία σύμφωνα με τον ΠΟΥ το 2006

Σενάριο έκθεσης	Στόχοι προστασίας (DALY/άτομο×έτος)	Απαιτούμενη μείωση (log)	Αριθμός αυγών ελμίνθων (αυγά/L)
Άρδευση χωρίς περιορισμούς	$10^{-6}$	-	-
Μαρούλι	-	6	<1
Κρεμμύδι	-	7	<1
Άρδευση με περιορισμούς	$10^{-6}$	-	-
Χρήση μηχανημάτων	-	3	<1
Χειρωνακτικά	-	4	<1
Τοπική άρδευση	$10^{-6}$	-	-
Καλλιέργειες χωρίς επαφή με το έδαφος	-	2	-
Καλλιέργειες σε επαφή με το έδαφος	-	4	<1

#### **4.2.2. Οι προτάσεις του FAO**

Η προστασία της ανθρώπινης υγείας από την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων αποτέλεσε πρωταρχικό εγχείρημα για τα Ηνωμένα Έθνη. Ο αρμόδιος οργανισμός (FAO) υιοθετεί τα μικροβιολογικά κριτήρια του ΠΟΥ στις προτάσεις του αναφορικά με την αξιοποίηση ανακτημένου νερού ΕΕΛ σε διάφορες χρήσεις. Βέβαια, εφόσον ο κανονισμός του ΠΟΥ δεν τυγχάνει της πλήρους αποδοχής από τους επιστήμονες των ανεπτυγμένων χωρών, το ίδιο συμβαίνει και με τις προτάσεις του FAO. Ωστόσο, τα κριτήρια του οργανισμού δεν επικεντρώνονται αποκλειστικά στον περιορισμό των κινδύνων για τη δημόσια υγεία, τα οποία πηγάζουν από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, αλλά επιδιώκουν και την προστασία της αγροτικής παραγωγής μέσω αγρονομικών μέτρων. Η ποιότητα του αρδευόμενου νερού κατηγοριοποιείται με βάση την παρουσία αλάτων, την τοξικότητα, τη διαπερατότητα του εδάφους κ.α. (Πίνακας 4.15). Η διάκριση αυτή είναι

εφαρμοσμένη στην άρδευση με νερό από συμβατικές πηγές, αλλά και με νερό υποβαθμισμένης ποιότητας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, μπορούν να μετρηθούν οι περιεκτικότητες των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS), του νατρίου (Na) και τοξικών ιόντων, ώστε να ελεγχθεί εάν ικανοποιούνται τα όρια που έχουν καταρτιστεί από το FAO (Pescod, 1992).

**Πίνακας 4.15:** Οι προτάσεις του FAO για την εκτίμηση της ποιότητας του αρδευόμενου νερού το 1985 (EPA, 2012)

Πρόβλημα κατά την άρδευση	Περιορισμός εφαρμογής		
	Άνευ	Μικρός	Σημαντικός
<b>Αλατότητα</b>			
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC <sub>w</sub> ) (dS/m)	< 0,7	0,7 έως 3	> 3
Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) (mg/L)	< 450	450 έως 2000	> 2000
<b>Διαπερατότητα</b>			
SAR = 0 έως 3 και Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC <sub>w</sub> )	> 0,7	0, 2 έως 0,7	< 0,2
από 3 έως 6 (dS/m)	> 1,2	0,3 έως 1,2	< 0,3
από 6 έως 12 (dS/m)	> 1,9	0,5 έως 1,9	< 0,5
από 12 έως 20 (dS/m)	> 2,9	1,3 έως 2,9	< 1,3
από 20 έως 40 (dS/m)	> 5	2,9 έως 5	< 2,9
<b>Ειδική τοξικότητα ιόντων νατρίου (Na)</b>			
Επιφανειακή άρδευση (SAR)	< 3	3 έως 9	> 9
Άρδευση με καταιονισμό (meq/L)	< 3	> 3	-
<b>Ειδική τοξικότητα ιόντων χλωρίου (Cl)</b>			
Επιφανειακή άρδευση (meq/L)	< 4	4 έως 10	> 10
Άρδευση με καταιονισμό (meq/L)	< 3	> 3	-
Υπολειμματικό χλώριο (Cl) (mg/L)	< 1	1 έως 5	> 5
<b>Ειδική τοξικότητα ιόντων βορίου (B)</b>			
Βόριο (B) (mg/L)	< 0,7	0,7 έως 3	> 3
<b>Άλλο</b>			
Νιτρικό άζωτο (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L)	< 5	5 έως 30	> 30
Ανθρακικό οξύ (HCO <sub>3</sub> ) (meq/L)	< 1,5	1,5 έως 8,5	> 8,5

pH

6,5 έως 8

Ο Πίνακας 4.16 συγκεντρώνει τα προτεινόμενα όρια του FAO αναφορικά με τη συγκέντρωση ορισμένων ιχνοστοιχείων με στόχο η δράση των ιχνοστοιχείων αυτών να μην καθίσταται τοξική για την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Τα κριτήρια, που περιλαμβάνει ο Πίνακας 4.16, συνάδουν με τις προτάσεις της EPA. Το αργίλιο (Al) μπορεί να αναστείλει την παραγωγή των καλλιεργειών σε όξινα εδάφη (pH < 5.5), αλλά σε πιο αλκαλικά εδάφη με pH > 7.0 το ιόν υπόκειται σε κατακρήμνιση και χάνει την τοξική του δράση. Η τοξικότητα του αρσενικού (As) έχει μεγάλο εύρος τιμών και κυμαίνεται μεταξύ των 12mg/L για γρασίδι του είδους Sudan έως 0,05mg/L για ρύζι. Ομοίως, ποικίλλει και η τοξικότητα του βηρυλλίου (Be) λαμβάνοντας τιμές από 5mg/L στο λάχανο έως 0,5mg/L στα φασόλια. Από την άλλη πλευρά, το κάδμιο (Cd) έχει επιβλαβή δράση στα φασόλια, τα παντζάρια και τα ραπανάκια σε χαμηλές συγκεντρώσεις έως 0,1mg/L. Λόγω της συσσώρευσής του στις καλλιέργειες και το έδαφος μπορεί να καταστεί επικίνδυνο και για τη δημόσια υγεία. Επιπροσθέτως, το κοβάλτιο (Co) είναι τοξικό για τη ντομάτα σε συγκεντρώσεις 0,1mg/L, ενώ δεν έχει επίπτωση σε εδάφη με ουδέτερο ή αλκαλικό pH. Η έλλειψη γνώσης για τη φυτοτοξικότητα του χρωμίου (Cr) έχει επιβάλλει την κατάρτιση από τον FAO αυστηρών ορίων περιεκτικότητας. Γενικά, δεν κρίνεται απαραίτητο συστατικό στην ανάπτυξη των φυτών. Ο χαλκός (Cu) είναι επικίνδυνος για την παραγωγικότητα πολλών φυτών σε συγκεντρώσεις από 0,1 έως 1mg/L, το φθόριο (F) δεν έχει τοξική δράση σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη, ενώ ο σίδηρος (Fe) προκαλεί απώλεια φωσφόρου (P) και μολυβδαινίου (Mo), αλλά δεν έχει τοξική δράση σε εδάφη υπό την παρουσία οξυγόνου (O<sub>2</sub>). Το λίθιο (Li) δεν κρίνεται επικίνδυνο για τα φυτά σε συγκεντρώσεις μέχρι 5mg/L, αλλά είναι επικίνδυνο για τα εσπεριδοειδή σε συγκεντρώσεις που δεν υπερβαίνουν τα 0,075mg/L. Το μαγγάνιο (Mn) εμφανίζεται τοξικό για διάφορα είδη φυτών σε όξινα εδάφη και σε μικρές συγκεντρώσεις (από μερικά δέκατα έως μερικά mg/L). Το μολυβδαίνιο (Mo) δεν είναι επιβλαβές για τα φυτά σε φυσιολογικές τιμές συγκέντρωσης. Ωστόσο, είναι πιθανό να έχει βλαπτική δράση σε ζώα (όπως και το σελήνιο (Se)), στην περίπτωση που οι ζωοτροφές έχουν παραχθεί σε εδάφη με υψηλή συγκέντρωση του στοιχείου. Το νικέλιο (Ni) είναι επικίνδυνο για αρκετά φυτά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ των 0,5 έως 1mg/L, αν και παρουσιάζει χαμηλή τοξικότητα σε εδάφη με ουδέτερο και αλκαλικό pH. Ο μόλυβδος (Pb) μπορεί να καταστείλει την ανάπτυξη των καλλιεργειών σε υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ το σελήνιο (Se) σε χαμηλές συγκεντρώσεις έως 0,025mg/L. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι υψηλή και η τοξικότητα του βαναδίου (V). Τέλος, ο ψευδάργυρος (Zn) δεν καθίσταται επικίνδυνος σε περιβάλλον με pH > 6.0, σε οργανικά εδάφη και σε εδάφη με λεπτή δομή.

**Πίνακας 4.16:** Τα ανώτερα αποδεκτά όρια των συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων για την πρόληψη του κινδύνου φυτοτοξικότητας σύμφωνα με το FAO το 1985 (EPA, 2012)

Στοιχείο	Ανώτερο όριο συγκέντρωσης (mg/L)	
	Μακροπρόθεσμη χρήση	Βραχυπρόθεσμη χρήση
Αργίλιο (Al)	5,0	20
Αρσενικό (As)	0,10	2,0
Βηρύλλιο (Be)	0,10	0,5
Κάδμιο (Cd)	0,01	0,05
Κοβάλτιο (Co)	0,05	5,0
Χρώμιο (Cr)	0,10	1,0
Χαλκός (Cu)	0,20	5,0
Φθόριο (F)	1,0	15,0
Σίδηρος (Fe)	5,0	20,0
Λίθιο (Li)	2,5	2,5
Μαγγάνιο (Mn)	0,20	10,0
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,01	0,05
Νικέλιο (Ni)	0,20	2,0
Μόλυβδος (Pb)	5,0	10,0
Σελήνιο (Se)	0,02	0,02
Κασσίτερος (Sn)	-	-
Τιτάνιο (Ti)	-	-
Βολφράμιο (W)	-	-
Βανάδιο (V)	0,10	1,0
Ψευδάργυρος (Zn)	2,0	10,0

#### **4.2.3. Η νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής**

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής δεν έχει καταρτιστεί ενιαίο νομοθετικό πλαίσιο το οποίο να ρυθμίζει τις δυνατότητες της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων. Ωστόσο, από τα 32 δισεκατομμύρια γαλόνια των αστικών υγρών αποβλήτων που παράγονται ανά ημέρα επαναχρησιμοποιείται ποσοστό 7 έως 8% με βάση τη νομοθεσία που έχει εκδοθεί από την EPA και διάφορες άλλες πολιτείες (EPA, 2012). Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους όχι μόνο ως προς τον τρόπο αντιμετώπισης του νερού (και κατ' επέκταση της αναγκαιότητας ύπαρξης επαναχρησιμοποίησης των εκροών ΕΕΛ), αλλά και ως προς την αυστηρότητα των προτεινόμενων κριτηρίων ελέγχου ποιότητας του ανακτημένου νερού.

Σε ορισμένες πολιτείες, όπως η Αριζόνα, η Καλιφόρνια, η Φλόριδα και το Τέξας, τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αντιμετωπίζονται ως σημαντικός υδατικός πόρος, ο οποίος πρέπει να αξιοποιείται στο πλαίσιο ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού προστασίας των υδατικών αποθεμάτων. Στις περιοχές αυτές, τα διάφορα νομοθετήματα ουσιαστικά καθιστούν υποχρεωτική την

επαναχρησιμοποίηση στοχεύοντας στην επίτευξη του μέγιστου δυνατού οφέλους από την ορθολογική διαχείριση των υγρών αποβλήτων και λαμβάνοντας υπόψη την προστασία της ανθρώπινης υγείας και των φυσικών οικοσυστημάτων. Για παράδειγμα, στη Φλόριδα, η ισχύουσα νομοθεσία προβλέπει τη διάκριση των γεωγραφικών περιοχών σε εκείνες που είτε αντιμετωπίζουν ήδη είτε προβλέπεται να αντιμετωπίσουν υδατικό έλλειμμα και διερευνά τη βιωσιμότητα των εργασιών εφαρμογής ανακτημένου νερού σε αυτές. Εάν το πόρισμα των ερευνών, που λαμβάνουν χώρα, κρίνει ότι η επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων από ΜΕΛ των υπό μελέτη περιοχών είναι ασύμφορη από οικονομικής, περιβαλλοντικής ή τεχνικής πλευράς, τότε αποκλείεται η εφαρμογή της. Η δυνατότητα της επαναχρησιμοποίησης εξετάζεται επίσης σε περιοχές οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα έλλειψης νερού, εάν υφίσταται άμεσα διαθεσιμότητα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, κεφαλαίου και εξοπλισμού και χαμηλή επικινδυνότητα για τα φυσικά οικοσυστήματα.

Στην αντίθετη περίπτωση, το ανακτημένο νερό αντιμετωπίζεται απλά ως μια εναλλακτική λύση για την ασφαλή διάθεση των αποβλήτων στο περιβάλλον. Η νομοθεσία σε αυτές τις πολιτείες προσανατολίζεται κυρίως στην εδαφική διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και όχι σε εφαρμογές, όπως ο Τ.Ε. υπόγειων νερών ή η άρδευση, οι οποίες δυνητικά αποδίδουν μεγαλύτερο όφελος.

Το Σχήμα 4.1 παρουσιάζει την κατανομή του ανακτημένου νερού ανά παραγωγικό τομέα στην Καλιφόρνια και τη Φλόριντα.

Η Φωτογραφία 4.1 παρουσιάζει καλλιέργειες που αρδεύονται με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην Αμερική.



α.



β.

**Σχήμα 4.1:** Η ποσοστιαία κατανομή του ανακτημένου νερού ανά παραγωγικό τομέα: α. στην Καλιφόρνια, β. στη Φλόριντα (EPA, 2012)



**Φωτογραφία 4.1:** Εκτάσεις λαχανικών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό το οποίο έχει απολυμανθεί μέσω εδαφικής διάθεσης στο Monterey County

#### 4.2.3.1. Ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια

Η πολιτεία της Καλιφόρνια έχει αναπτύξει νομοθεσία περί επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε ένα πλαίσιο ορθολογικής διαχείρισης του νερού. Τα ανακτημένα απόβλητα επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς άρδευσης, T.E. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων (κυρίως αυτών που αποτελούν πηγές ύδρευσης) και ακόμη ως νερό άμεσης πόσης, εφόσον ικανοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια, όπως:

- ✦ Το ανακτημένο νερό να έχει υψηλή ποιότητα και η διάθεσή του για χρήση να γίνεται με λογικό κόστος.
- ✦ Να αποκλείεται ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία, τη χλωρίδα και την πανίδα.
- ✦ Να μην επηρεάζονται οι κατάντη χρήσεις του νερού.

Ο πρώτος κανονισμός εκδόθηκε το 1918 και μέχρι σήμερα έχει υποστεί αρκετές τροποποιήσεις. Το 2003, έλαβε τη μορφή με την οποία ισχύει και σήμερα στην Καλιφόρνια, σε άλλες πολιτείες της Αμερικής, αλλά και σε άλλες χώρες ανά τον κόσμο.

Η νομοθεσία, που πλαισιώνει τις εργασίες της επαναχρησιμοποίησης για σκοπούς άρδευσης, έχει καταρτιστεί για την πρόληψη των δυνητικών επιπτώσεων της χρήσης αποβλήτων και όχι λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα ειδικών επιδημιολογικών μελετών. Βασική συνιστώσα των επιλεγόμενων ορίων όσον αφορά στη συγκέντρωση των παθογόνων μικροβίων αποτελεί η ανθρώπινη έκθεση στα ανακτημένα απόβλητα και η αυξημένη επικινδυνότητα που αυτή προκαλεί.

Ο Πίνακας 4.17 συγκεντρώνει τα προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια του συγκεκριμένου νομοθετήματος (1978).

**Πίνακας 4.17:** Τα μικροβιολογικά όρια του κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978)

Χρήση ανακτημένου νερού	Μέγιστη τιμή της διαμέσου των συνολικών κολοβακτηρίδιων (TC)(6) (ml)	Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωροκηπευτικών φυτών και αμπελώνων (1)	-	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι γαλακτοπαραγωγικών ζώων, τεχνητές λίμνες τουριστικού ενδιαφέροντος (2), συντήρηση γηπέδων γκολφ, κοιμητηρίων κ.ο.κ.	23/100	Οξείδωση και απολύμανση (συνήθως με χλώριο (Cl))
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών (3), τεχνητές λίμνες τουριστικού ενδιαφέροντος (4)	2,2/100	Οξείδωση και απολύμανση (συνήθως με χλώριο (Cl))
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, συντήρηση πάρκων, παιδικών χαρών κ.ο.κ., τεχνητές λίμνες τουριστικού ενδιαφέροντος (5)	2,2/100 (διάμεσος) 23/100 (μέγιστη τιμή) (7)	Πλήρης τριτοβάθμια επεξεργασία: οξείδωση, κροκίδωση καθίζηση (8), διύλιση, απολύμανση (συνήθως με χλώριο (Cl))

(1) Οι καρποί των οπωροκηπευτικών φυτών και των αμπελώνων δεν πρέπει να έρθουν σε επαφή με το χρησιμοποιούμενο νερό ή το χώμα.

(2) Προορισμοί αισθητικής απόλαυσης, όπου ο άνθρωπος δεν πρέπει να έρθει σε επαφή με το νερό.

(3) Ο κανονισμός προβλέπει διαφοροποιήσεις για εκείνες τις καλλιέργειες των οποίων η παραγωγή υφίσταται επεξεργασία πριν από την κατανάλωση.

(4) Προορισμοί για ψυχαγωγία (λ.χ. αλιεία, ιστιοπλοία), όπου ο άνθρωπος δεν πρέπει να έρθει σε επαφή με το νερό.

(5) Είναι ανεκτή η επαφή του ανθρώπου με το νερό.

(6) Συλλέγονται δείγματα και υπόκεινται σε αναλύσεις. Η τιμή της διαμέσου υπολογίζεται από τα αποτελέσματα των πλέον πρόσφατων δειγμάτων 7 ημερών.

(7) Το όριο δεν πρέπει να υπερβληθεί σε περισσότερα του ενός δείγματα σε χρονικό διάστημα 30 ημερών.



(8) Η θολότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει μια μέση τιμή 2NTU κατά τη διάρκεια 24 ωρών. Η έννοια της θολότητας έχει εισαχθεί στην εκτίμηση των ανεκτών ορίων παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών, διότι τα περιεχόμενα ολικά στερεά (TS) των αποβλήτων προσδίδουν ανθεκτικότητα σε ιούς και βακτήρια, όταν λαμβάνει χώρα απολύμανση.

Η αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για τον Τ.Ε. υδροφόρων συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως πηγή πόσιμου νερού, δεν είναι ακόμη πλήρως αποδεκτή καθώς εγείρει ερωτηματικά, που σχετίζονται με την προστασία της δημόσιας υγείας. Σε αυτή την περίπτωση, ο κανονισμός θέτει περιορισμούς κυρίως για τη συγκέντρωση των μετάλλων και των οργανικών ενώσεων (Πίνακας 4.16). Όταν τα υπόγεια νερά χρησιμοποιούνται για σκοπούς ύδρευσης, οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία αφορούν κυρίως στα ιχνοστοιχεία και σε διάφορες άλλες τοξικές ενώσεις. Το έδαφος και τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου συστήματος είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Για το λόγο αυτό, η εκλογή της θέσης εφαρμογής ενός συστήματος Τ.Ε. με επιφανειακή διήθηση (Κεφάλαιο V) θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του υδροφόρου συστήματος.

Οι τέσσερις (I, II, III, IV) κατηγορίες παρέμβασης του Πίνακα 4.18 αντικατοπτρίζουν ισάριθμες κατηγορίες έργων Τ.Ε., οι οποίες είναι ισοδύναμα αποδεκτές, όταν εφαρμόζονται όλα τα κριτήρια του ίδιου πίνακα. Οι τρεις πρώτες (I, II, III) ισχύουν για τη μέθοδο Τ.Ε. με επιφανειακή διήθηση (Κεφάλαιο V), ενώ η κατηγορία IV για τον Τ.Ε. με χρήση γεωτρήσεων έγχυσης (Κεφάλαιο V). Στις κατηγορίες παρέμβασης I και IV, ο κανονισμός συνδέει την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων με την ικανότητα κάθε σταδίου επεξεργασίας (ή συνδυασμού σταδίων) να απομακρύνει τους μικροοργανισμούς (Πίνακας 4.19) και προσδιορίζει όρια για τη συγκέντρωση των παθογόνων μικροβίων.

**Πίνακας 4.18:** Τα κριτήρια του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978) για τον Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας	Κατηγορία έργου			
	I	II	III	IV
Δευτεροβάθμια επεξεργασία	X	x	X	x
Διύλιση	X	x		x
Απολύμανση	X	x	X	x
Απομάκρυνση οργανικών ενώσεων	X			x
Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στα σημεία απόληψης (%)	50	20	20	50
Βάθος έως τον υδροφόρο ορίζοντα (m)				

Ρυθμός διάθεσης < 0,5cm/min (0,2in/min)	3	3	6	Μη εφαρμόσιμο
Ρυθμός διάθεσης < 0,8cm/min (0,3in/min)	6	6	15	Μη εφαρμόσιμο
Ελάχιστος χρόνος παραμονής στα υπόγεια νερά (μήνες)	6	6	12	12
Οριζόντιος διαχωρισμός από τα όρια της περιοχής Τ.Ε. έως τη πλησιέστερη θέση απόληψης (m)	150	150	300	600

**Πίνακας 4.19:** Ο εκτιμώμενος βαθμός απομάκρυνσης των παθογόνων μικροοργανισμών συναρτήσει της κατηγορίας έργων Τ.Ε. σύμφωνα με τον Κανονισμό της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978)

Κατηγορία παρέμβασης	Βαθμός επεξεργασίας	Ικανότητα απομάκρυνσης των παθογόνων μικροοργανισμών (log)
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Πρωτοβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Δευτεροβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Διύλιση</li> <li>■ Απομάκρυνση οργανικών ενώσεων</li> <li>■ Απολύμανση</li> </ul>	7
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Πρωτοβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Δευτεροβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Διύλιση</li> <li>■ Απολύμανση</li> </ul>	6
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Πρωτοβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Δευτεροβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Απολύμανση</li> </ul>	3
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Πρωτοβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Δευτεροβάθμια επεξεργασία</li> <li>■ Διύλιση</li> <li>■ Απομάκρυνση οργανικών ενώσεων</li> <li>■ Απολύμανση</li> </ul>	6

Όσον αφορά στην παρουσία χημικών ενώσεων ο κανονισμός γίνεται ιδιαίτερα αυστηρός. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των ανόργανων ενώσεων (με εξαίρεση τις ενώσεις αζώτου (N)), αλλά και των οργανικών ενώσεων (Πίνακας 4.20) των υγρών αποβλήτων, που αξιοποιούνται κατά τον Τ.Ε., θα πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς οι οποίοι έχουν καθιερωθεί για το πόσιμο νερό. Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου (TN) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10mg/L. Επιπροσθέτως, προβλέπεται η αραίωση των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων με ποσότητα υπόγειων νερών.

Τα αναθεωρημένα κριτήρια του κανονισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21.

**Πίνακας 4.20:** Η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, ώστε το ίδιο μέγεθος στις θέσεις απόληξης να μην υπερβαίνει το 1mg/L σύμφωνα με τον Κανονισμό της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978)

Ποσοστό επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο αντλούμενο νερό (%)	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στο νερό Τ.Ε. (mg/L)	
	Διήθηση (Κατηγορία Ι)	Άμεση έγχυση (Κατηγορία ΙV)
0 έως 20	20	5
21 έως 25	16	4
26 έως 30	12	3
31 έως 35	10	3
36 έως 45	8	2
46 έως 50	6	2

**Πίνακας 4.21:** Τα αναθεωρημένα κριτήρια του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια το 2000

Κατηγορία επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC)	Απαιτούμενη επεξεργασία
Άρδευση χορτονομής, ινωδών και κτηνοτροφικών φυτών, οπωρώνων και αμπελώνων, φυτωρίων και βολβωδών, βρεφικών σταθμών, αγροκτημάτων, γρασιδιού και καθαρισμού W.C.	-	Δευτεροβάθμια
Άρδευση βοσκοτόπων, βρεφονηπιακών σταθμών και γρασιδιού, όπου η δημόσια πρόσβαση δεν είναι περιορισμένη, βιομηχανική χρήση, πυρόσβεση, βιομηχανική τροφοδοσία λεβήτων, εδαφική συμπίεση, έλεγχος σκόνης, καθαρισμός δρόμων, πεζοδρόμων και	≤23/100ml ≤240/100 ml σε περισσότερα από ένα δείγμα σε μηνιαία περίοδο	Δευτεροβάθμια Απολύμανση

άλλων υπαίθριων χώρων		
Άρδευση λαχανικών και άλλων εδώδιμων φυτών, χρήση για αναψυχή και εκκολαπτήρια ψαριών	≤2,2/100ml ≤23/100 ml σε περισσότερα από ένα δείγματα σε μηνιαία περίοδο	Δευτεροβάθμια Απολύμανση
Άρδευση λαχανικών και άλλων εδώδιμων φυτών και των ανοικτών περιοχών τοπίων, καθαρισμός WC, βιομηχανική χρήση, εμπορικά πλυντήρια, πλύσιμο αυτοκινήτων, παραγωγή χιονιού, πυρόσβεση και βιομηχανική ή εμπορική ψύξη	≤2,2/100ml ≤23/100 ml σε περισσότερα από ένα δείγματα σε μηνιαία περίοδο 240/100 ml (μέγιστο)	Δευτεροβάθμια Απολύμανση Κροκίδωση Διήθηση Απολύμανση
Ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις χωρίς περιορισμό	≤2,2/100ml ≤23/100 ml σε περισσότερα από ένα δείγμα σε μηνιαία περίοδο 240/100 ml (μέγιστο)	Δευτεροβάθμια Απολύμανση Κροκίδωση Διήθηση Διαύγαση Απολύμανση

Η εξασφάλιση της δημόσιας υγείας και της περιβαλλοντικής προστασίας βέβαια προϋποθέτουν την κατάρτιση προδιαγραφών για την επίτευξη υψηλής ποιότητας ανακτημένου νερού (εκτός από την ύπαρξη των ποιοτικών κριτηρίων και τις συστάσεις όσον αφορά στο βαθμό καθαρισμού). Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν σε εφεδρικά ενεργειακά συστήματα, εφεδρικές ΜΕΛ, μηχανισμούς ασφαλείας και παρακολούθησης, αποθηκευτικούς χώρους μερικώς επεξεργασμένων αποβλήτων για χρήση τους (εάν απαιτείται), αυτοματισμούς κ.ο.κ. Επιπλέον, ο κανονισμός δίνει βαρύνουσα σημασία σε μια σειρά από άλλες παραμέτρους, όπως ο έλεγχος της πηγής τροφοδοσίας του νερού Τ.Ε., η διαδικασία επεξεργασίας και οι προδιαγραφές της μεθόδου επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, η μέθοδος και η περιοχή του Τ.Ε., η απόσταση διάνοιξης των γεωτρήσεων και η θέση των γεωτρήσεων ελέγχου της ποιότητας των υπόγειων νερών. Οι προβλεπόμενες ελάχιστες απαιτούμενες αποστάσεις ασφαλείας της περιοχής εφαρμογής της επαναχρησιμοποίησης από διάφορες υποδομές έχουν ως ακολούθως:

✦ **50m από γεώτρηση πόσιμου νερού, όταν η άρδευση γίνεται με ανακτημένα υγρά απόβλητα τα οποία δεν έχουν απολυμανθεί.**

✦ **30m από γεώτρηση πόσιμου νερού, όταν η άρδευση γίνεται με ανακτημένα υγρά απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση.**

✦ **15m από γεώτρηση πόσιμου νερού, όταν η άρδευση γίνεται με ανακτημένα υγρά απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία (δευτεροβάθμιος καθαρισμός, διύλιση, απολύμανση).**

✦ **Οι αποθηκευτικοί χώροι των τριτοβάθμιων εκρών ΕΕΛ δεν πρέπει να εγκαθίστανται σε απόσταση μικρότερη των 30m από κατοικίες ή περιοχές με αυξημένη επικινδυνότητα έκθεσης του κοινού στα απόβλητα.**

Τέλος, προβλέπεται ο περιορισμός της απορροής του ανακτημένου νερού, ο αποκλεισμός της ανθρώπινης επαφής με νερό που χρησιμοποιείται σε συντριβάνια ή άλλους χώρους αισθητικής αξίας (λ.χ. τοποθέτηση προειδοποιητικών πινακίδων)

και η απαγόρευση της σύνδεσης δικτύων ανακτημένου νερού με δίκτυα διανομής πόσιμου νερού. Σε γενικές γραμμές, ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια θέτει αυστηρότερα κριτήρια σε σύγκριση με την Οδηγία του ΠΟΥ, αλλά δεν είναι ο αυστηρότερος από τους ισχύοντες.

#### 4.2.3.2. Η Οδηγία της EPA

Το 1992, η EPA σε συνεργασία με την Υπηρεσία Διεθνούς Ανάπτυξης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής δημοσίευσαν οδηγίες επαναχρησιμοποίησης εκροών ΕΕΛ για όλες τις σημαντικές χρήσεις. Για κάθε κατηγορία επαναχρησιμοποίησης προβλέπονται ο ελάχιστος βαθμός καθαρισμού, τα όρια των παραμέτρων ποιότητας, η συχνότητα παρακολούθησης των εργασιών επαναχρησιμοποίησης, οι ελάχιστες απαιτούμενες αποστάσεις ασφαλείας και άλλα μέτρα περιβαλλοντικού ελέγχου.

Το 2004 δημοσιεύτηκαν οι αναθεωρητικές οδηγίες της EPA, οι οποίες περιέχουν ενημερωμένες πληροφορίες αναφορικά με τη χρήση νερού στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και τις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης.

Η Οδηγία της EPA (Πίνακας 4.22) διαχωρίζει τον προτεινόμενο βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση, και τα επιτρεπόμενα όρια των παθογόνων μικροοργανισμών και θολότητας σε δύο επίπεδα για χρήσεις πλην πόσης, αλλά και για έμμεση πόση με επανατροφοδότηση υπόγειων νερών ή επιφανειακών υδροφόρων συστημάτων' Σε εφαρμογές όπου η επαφή του κοινού με το ανακτημένο νερό είναι ελεγχόμενη και άλλες όπου η επαφή του κοινού με τα χρησιμοποιούμενα απόβλητα είναι πιθανή.

**Πίνακας 4.22:** Τα μικροβιολογικά όρια για την επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία της EPA το 2004

Χρήση ανακτημένου νερού	Απαιτούμενη επεξεργασία	Προτεινόμενη χρήση
Απεριόριστη αστική χρήση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, διύλιση, απολύμανση Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) < 10mg/L Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC): (ND)/100ml Θολότητα < 2NTU Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ) 1mg/L pH 6 έως 9	Άρδευση τοπίων (πάρκων, αυλών), αντιτυρική προστασία κατασκευαστικές εργασίες, σιντριβάνια, τουαλέτες, κλιματισμός
Περιορισμένη αστική χρήση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) < 30mg/L Συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) < 30mg/L Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC): (ND) < 200/100ml Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> ) 1mg/L pH 6 έως 9	Άρδευση περιοχών, όπου η διέλευση κοινού είναι αραιή και ελεγχόμενη, νησίδες εθνικών οδών, γήπεδα γκόλφ, κοιμητήρια, οικιστικές ζώνες πρασίνου
Βρώσιμες καλλιέργειες	Δευτεροβάθμια επεξεργασία,	Καλλιέργειες των οποίων η

	<p>δύλιση, απολύμανση                  Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) &lt; 10mg/L                  Θολότητα &lt; 2NTU                  Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC): (ND)/100ml                  Υπολειμματικό χλώριο (Cl<sub>2</sub>) 1mg/L                  pH 6 έως 9</p>	<p>παραγωγή καταναλώνεται χωρίς επεξεργασία</p>
<p>Μη βρώσιμες καλλιέργειες η παραγωγή των οποίων υπόκειται σε επεξεργασία πριν την κατανάλωση</p>	<p>Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση                  Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) &lt; 30mg/L                  Συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) &lt; 30mg/L                  Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC): &lt; 200/100ml                  Υπολειμματικό χλώριο (Cl<sub>2</sub>) 1mg/L                  pH 6 έως 9</p>	<p>Ζωοτροφές, καλλιέργειες για σπόρο, ανθοκομικές καλλιέργειες, λειβάδια</p>
<p>Απεριόριστη χρήση για ανάγκες αναψυχής</p>	<p>Δευτεροβάθμια επεξεργασία, δύλιση, απολύμανση                  Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) &lt; 10mg/L                  Θολότητα &lt; 2NTU                  Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC): (ND)/100ml                  Υπολειμματικό χλώριο (Cl<sub>2</sub>) 1mg/L                  pH 6 έως 9</p>	<p>Χρήσεις χωρίς περιορισμό ως προς την ανθρώπινη επαφή με το νερό, λίμνες που χρησιμοποιούνται για κολύμβηση, παρασκευή τεχνητού χιονιού</p>
<p>Περιορισμένη χρήση για ανάγκες αναψυχής</p>	<p>Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση                  Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) &lt; 30mg/L                  Συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) &lt; 30mg/L                  Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC): &lt; 200/100ml                  Υπολειμματικό χλώριο (Cl<sub>2</sub>) 1mg/L                  pH 6 έως 9</p>	<p>Ψάρεμα, βαρκάδα και άλλες χρήσεις αναψυχής, που δεν περιλαμβάνουν επαφή του κοινού με το νερό</p>
<p>Περιβαλλοντική αξιοποίηση</p>	<p>Όρια ανά περίπτωση</p>	<p>Χρήση ανακτημένων υγρών αποβλήτων σε υγροβιότοπους, αύξηση της ροής ρεμάτων</p>
<p>Υπόγεια νερά</p>	<p>Όρια ανά περίπτωση</p>	<p>Τροφοδοσία υπόγειων νερών, έλεγχος διείσδυσης υφάλμυρου νερού</p>
<p>Βιομηχανία</p>	<p>Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση                  Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) &lt; 30mg/L                  Συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) &lt; 30mg/L                  Περιττωματικά κολοβακτηρίδια</p>	<p>Συστήματα ψύξης, νερό τροφοδοσίας λεβήτων, κατασκευαστικές χρήσεις</p>

	(FC) < 200/100ml	
Πόση	Κριτήρια πόσιμου νερού	Ανάμιξη με αποθέματα πόσιμου νερού

Όπως ορίζει και ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια, η EPA προτείνει μεν κριτήρια για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής ΕΕΛ, που αξιοποιείται για την επαναφόρτιση υδροφόρων οριζόντων (ή επιφανειακών νερών) που χρησιμοποιούνται για πόση, συστήνει δε την αξιολόγηση όλων των υπολοίπων εμπλεκόμενων παραμέτρων, σε κάθε επιμέρους περίπτωση. Σύμφωνα με τα κριτήρια ποσιμότητας, το νερό Τ.Ε. θα πρέπει να έχει υποστεί επεξεργασία ανώτερη της δευτεροβάθμιας και δεν θα πρέπει να περιέχει περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC). Ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στα υπόγεια νερά ανέρχεται στο ένα έτος, η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση ασφαλείας από την πλησιέστερη θέση απόληψης ορίζεται στα 600m και προβλέπεται ο έλεγχος της ποιότητας των υπόγειων νερών μέσω προγράμματος παρακολούθησης.

#### **4.2.4. Η νομοθεσία στην Ευρώπη**

Ο σημαντικότερος παράγοντας που δυσχεραίνει την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο είναι η απουσία ενός ενιαίου νομοθετικού πλαισίου λόγω της ανισοκατανομής των υδατικών πόρων. Η Οδηγία 91/271 της ΕΟΚ, όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία 98/15 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «για την επεξεργασία και διάθεση αστικών υγρών αποβλήτων» αποτελεί ουσιαστικά το μοναδικό ευρωπαϊκό κανονισμό στον οποίο γίνεται αναφορά περί επαναχρησιμοποίησης (Άρθρο 12, § 1).

Σε χώρες της Βόρειας Ευρώπης, η αφθονία των υδατικών αποθεμάτων έχει περιορίσει τις επενδύσεις σε εργασίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, ενώ στη Νότια Ευρώπη (λ.χ. Ιταλία, Ισπανία, Κύπρος), αλλά και τη Γαλλία και τη Μεγάλη Βρετανία, η επαναχρησιμοποίηση χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση και εξυπηρετεί ανάγκες της αγροτικής παραγωγής. Έτσι, σε ολόκληρη την Ευρώπη οι χρήσεις επαναχρησιμοποίησης ρυθμίζονται σύμφωνα με συγκεκριμένες εθνικές ή ακόμη και περιφερειακές νομοθεσίες κρατών.

Το EUREAU προσανατολίζεται προς την κατεύθυνση της προώθησης και της ασφαλούς εφαρμογής προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης. Η ένωση αυτή προέκυψε από το συνασπισμό των εθνικών οργανώσεων των προμηθευτών νερού και των υπηρεσιών υγρών αποβλήτων των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Βασικός στόχος του EUREAU αποτελεί η προστασία των κοινών συμφερόντων των μελών του μέσω των κοινοτικών οργανώσεων και σε σχέση με την επάρκεια και παροχή νερού, καθώς και τα υγρά απόβλητα.

##### **4.2.4.1. Γαλλία**

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στη Γαλλία για αρδευτικούς σκοπούς άρχισε να εφαρμόζεται από τον περασμένο αιώνα. Το 1991, εκδόθηκαν οι «Οδηγίες Υγείας» από το Εθνικό Συμβούλιο Δημόσιας Υγείας της χώρας (CSHPF), οι οποίες συνάδουν σε γενικές γραμμές με τα ποιοτικά κριτήρια του ΠΟΥ για το ανακτημένο

νερό. Μια εξέλιξη της γαλλικής νομοθεσίας σε σχέση με την Οδηγία του ΠΟΥ είναι ορισμένοι νέοι κανονισμοί που τίθενται, λ.χ. αναφορικά με το δίκτυο μεταφοράς των υγρών αποβλήτων, τον έλεγχο της εφαρμογής υγειονομικών κριτηρίων κατά τον καθαρισμό τους, τις χημικές ιδιότητες του ανακτημένου νερού, τις εγκαταστάσεις και την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής άρδευσης, τις ελάχιστες αποστάσεις από κατοικημένες περιοχές, την προστασία επιφανειακών και υπόγειων νερών, την εκπαίδευση του προσωπικού, που απασχολείται σε εργασίες επαναχρησιμοποίησης κ.α. Η παλαιότερη έκδοση των γαλλικών κανονισμών βασίζεται στις Οδηγίες του ΠΟΥ το 1989 και ορίζει τις εξής κατηγορίες ποιότητας ανακτημένου νερού:

✦ **A: αυγά ελμίνθων < 1/L και περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) < 1000CFU/100ml.**

✦ **B: αυγά ελμίνθων < 1/L και δεν έχουν καταρτιστεί όρια για τα βακτήρια.**

✦ **C: δεν ορίζονται μικροβιολογικά κριτήρια.**

Οι γαλλικοί κανονισμοί προβλέπουν επίσης τη διερεύνηση δυνατοτήτων και ικανοποίηση απαραίτητων προδιαγραφών επαναχρησιμοποίησης για κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Ωστόσο, δεν περιλαμβάνουν όρια για τις συγκεντρώσεις των μετάλλων και των οργανικών ουσιών. Η παράλειψη αυτή αντιμετωπίζεται με τη γνωμοδότηση ειδικών για την καταλληλότητα ή μη των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων σε κάθε περίπτωση.

Το 2000, εκδόθηκαν οι αναθεωρημένες γαλλικές οδηγίες για την προώθηση των έργων επαναχρησιμοποίησης νερού υποβαθμισμένης ποιότητας, όπως των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Αν και δεν έχουν εκδηλωθεί δυσμενείς επιπτώσεις για τη δημόσια υγεία από την εφαρμογή των ποιοτικών ορίων του 1991, οι νεώτεροι κανονισμοί είναι αυστηρότεροι. Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην άρδευση προϋποθέτει την πρότερη δευτεροβάθμια επεξεργασία τους, ενώ διακρίνεται μια επιπλέον κατηγορία ανάκτησης του νερού σε σχέση με τις 3 που περιγράφονται στην Οδηγία του ΠΟΥ (1989):

✦ **A (*Escherichia coli* < 10<sup>3</sup>CFU/100ml, μη ανιχνεύσιμα επίπεδα *Salmonella* spp και *Taenia* spp eggs):** Τα υγρά απόβλητα μπορούν να αξιοποιηθούν στην άρδευση λαχανικών και φρούτων που καταναλώνονται ωμά και την άρδευση λειμώνων. Επιτρέπεται η άρδευση με διαβροχή ή καταιονισμό οπωροφόρων δένδρων, δημοσίων πάρκων, χώρων άθλησης και εγκαταστάσεων γκολφ.

✦ **B (*Escherichia coli* < 10<sup>3</sup>CFU/100ml):** Οι ανακτημένες εκροές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην άρδευση λαχανικών και φρούτων που μαγειρεύονται ή παστεριώνονται πριν την κατανάλωση, καλλωπιστικών φυτών, φυτωρίων, δημητριακών και σανοδοτικών καλλιεργειών.

✦ **C (*Escherichia coli* < 10<sup>3</sup>CFU/100ml):** Καθίσταται αποδεκτή η άρδευση καλλωπιστικών φυτών, φυτωρίων, δημητριακών και σανοδοτικών καλλιεργειών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Εξαίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις άρδευσης με διαβροχή ή καταιονισμό.

✦ **D (άνευ μικροβιολογικών κριτηρίων):** Επιτρέπεται η άρδευση δασωδών εκτάσεων όπου υπάρχει πρόσβαση του κοινού, ενώ εξαίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις άρδευσης με διαβροχή ή καταιονισμό.



#### 4.2.4.2. Ελλάδα

Η επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα δεν είναι ευρέως διαδεδομένη. Ωστόσο, το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις αυξημένες υδατικές καταναλώσεις στη γεωργία και τον τουρισμό, καθώς και την κλιματική μεταβολή, η οποία έχει επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τις βροχοπτώσεις (Κεφάλαιο Ι).

Μέχρι σήμερα, στη χώρα μας, το ανακτημένο νερό από ΜΕΛ αξιοποιήθηκε κυρίως σε προγράμματα πιλοτικού χαρακτήρα. Για παράδειγμα, στην Κω επεξεργασμένα υγρά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν για την απευθείας άρδευση δενδροκαλλιεργειών, στο Ηράκλειο της Κρήτης πραγματοποιήθηκε πιλοτική εφαρμογή για τον Τ.Ε. των υποβαθμισμένων υπόγειων νερών στην περιοχή Φοινικιά, ενώ στη Θεσσαλονίκη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της τοπικής ΕΕΛ αξιοποιήθηκαν στην άρδευση πειραματικών καλλιεργειών ανθοκομικών, βαμβακιού, ζαχαρότευτλων, καλαμποκιού και ρυζιού, κατόπιν ολοκληρωμένης αδειοδότησης (Κεφάλαιο V). Το τελευταίο πρόγραμμα (Κεφάλαιο V) προβλέπει επίσης τη διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο αρδευτικό δίκτυο Καλοχωρίου-Χαλάστρας με αναλογία ανακτημένου και «φυσικού» νερού 1:5.

#### 4.2.4.3. Ισπανία

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

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

Ο πλέον πρόσφατος νόμος που διέπει την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων ψηφίστηκε το 2007 και φέρει τον τίτλο «Reuse of Reclaimed Water: Quality Criteria» (Royal Decree 1620/2007 της 7<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου) (Iglesias, 2009). Σύμφωνα με αυτόν, επιτρέπονται αρκετές χρήσεις εκροών ΕΕΛ, όπως η άρδευση κήπων και χώρων πρασίνου και γεωργικών καλλιεργειών, η συντήρηση σιντριβανιών, ο καθαρισμός οδών, οι περιβαλλοντικές χρήσεις, οι βιομηχανικές χρήσεις και οι χρήσεις για χώρους αναψυχής όπου δεν υπάρχει επαφή με το κοινό, ενώ απαγορεύονται άλλες, όπως η πόσιμη χρήση (εκτός από περιπτώσεις καταστροφών), η χρήση σε νοσοκομεία, υδατοκαλλιέργειες μαλακίων, νερά κολύμβησης και υδάτινους όγκους με πρόσβαση του κοινού. Επιπροσθέτως, το Ισπανικό Υπουργείο Υγείας διατηρεί το δικαίωμα να απαγορεύει τη λειτουργία οποιoδήποτε συστήματος επαναχρησιμοποίησης. Για κάθε χρήση, έχουν καταρτιστεί όρια μικροβιολογικών και χημικών παραμέτρων, ανόργανων και

οργανικών ουσιών. Ο Τ.Ε. υπόγειων νερών αποτελεί μεν μια εναλλακτική δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης, περιορίζεται δε από αρκετές παραμέτρους, όπως οι οργανικοί ρυπαντές των εκροών. Τα χαρακτηριστικά των εκροών οφείλουν να παρακολουθούνται σε τακτική βάση από 1 έλεγχο ανά μήνα έως 3 φορές ανά εβδομάδα.

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

Τα ποιοτικά όρια για το ανακτημένο νερό, που ισχύουν σε εθνικό επίπεδο στην Ισπανία συγκεντρώνονται στον Πίνακα 4.23, που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.23:** Η Οδηγία 1620/2007 της Ισπανίας: α. Οι εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων, β. Τα όρια των ποιοτικών παραμέτρων για κάθε εναλλακτική χρήση, γ. Η απαιτούμενη επεξεργασία σε σχέση με την πιθανή χρήση του ανακτημένου νερού, δ. Το κόστος κάθε χρήσης (Iglesias, 2009)

**α.**

Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης				
Αστικές (1)	Αγροτικές (2)	Βιομηχανικές (3)	Ψυχαγωγικές (4)	Περιβαλλοντικές (5)
<p>1.1 Ιδιωτικές:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Πότισμα κήπων</li> <li>➤ Χρήση ειδών υγιεινής</li> </ul> <p>1.2 Δημόσιες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Πότισμα χώρων πρασίνου (πάρκα, αθλητικές εγκαταστάσεις, κ.α.)</li> <li>➤ Πλύσιμο οδών</li> <li>➤ Πυρόσβεση</li> <li>➤ Πλυντήρια αυτοκινήτων</li> </ul>	<p>2.1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Άρδευση καλλιεργειών στις οποίες υπάρχει άμεση επαφή του ανακτημένου νερού με το βρώσιμο μέρος</li> </ul> <p>2.2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Συστήματα στα οποία δεν αποτρέπεται η επαφή του ανακτημένου νερού με το βρώσιμο μέρος</li> <li>➤ Άρδευση βοσκότοπων γαλακτοπαραγωγικών ή κρεατοπαραγωγικών ζώων</li> <li>➤ Υδατοκαλλιέργειες</li> </ul> <p>2.3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Τοπική άρδευση δέντρων</li> <li>➤ Άρδευση καλλωπιστικών φυτών</li> </ul>	<p>3.1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Νερό επεξεργασίας και καθαρισμού (εξαιρούνται οι βιομηχανίες τροφίμων)</li> <li>➤ Λοιπές βιομηχανικές χρήσεις</li> </ul> <p>3.2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Πύργοι ψύξης και συμπυκνωτές εξάτμισης</li> </ul>	<p>4.1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Άρδευση εγκαταστάσεων γκολφ</li> </ul> <p>4.2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Λίμνες και άλλα υδατικά συστήματα χωρίς δημόσια πρόσβαση.</li> </ul>	<p>5.1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Τ.Ε. με επιφανειακή διήθηση</li> </ul> <p>5.2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Τ.Ε. με απευθείας έγχυση</li> </ul> <p>5.3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Άρδευση δασών, ζωνών πρασίνου και παρόμοιων εκτάσεων χωρίς δημόσια πρόσβαση</li> <li>➤ Δασοκομία</li> </ul> <p>5.4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Άλλες περιβαλλοντικές χρήσεις (διατήρηση υγρότοπων, ελαχίστων ροών και παρόμοιες χρήσεις)</li> </ul>

β.

Εφαρμογές		Ποιότητα	<i>Escherichia coli</i> (CFU/100ml)	Νηματοειδείς μικροοργανισμοί (αυγά/10L)	<i>Legionella spp</i> (100CFU/L)
Βιομηχανικές 3.2 α)	Πύργοι ψύξης και συμπυκνωτές εξατμίσσης	A	Απουσία	Απουσία	Απουσία
Ιδιωτικές 1.1 α) ή β)	Πότισμα κήπων, χρήση ειδών υγιεινής (μπάνιο, τουαλέτα κτλ)	A	Απουσία	1	100
Άμεσος Τ.Ε. 5.2 α)	Τ.Ε. με απευθείας έγχυση	A	Απουσία	1	Ακαθόριστο όριο
Αστικές 1.2 α), β), γ), δ) Αγροτικές 2.1 α) Ψυχαγωγικές 4.1 α)	Πότισμα χώρων πρασίνου, πυρόσβεση, πλυντήρια αυτοκινήτων, άρδευση με επαφή του κοινού, συντήρηση γηπέδων γκολφ	B	<100-200	<1	<100
Αγροτικές 2.2 α), β) ή γ) Βιομηχανικές 3.1 γ)	Άρδευση καλλιεργειών που προορίζονται για κατανάλωση και στις οποίες υπάρχει επαφή του ανακτημένου νερού με τα βρώσιμα μέρη, άρδευση εκτάσεων βόσκησης γαλακτοπαραγωγικών και κρεατοπαραγωγικών ζώων, υδατοκαλλιέργειες, νερό που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων	Γ	<1000	<1	Ακαθόριστο όριο
Περιβαλλοντικές 5.1 α)	Τ.Ε. με επιφανειακή διήθηση	Γ	<1000	Ακαθόριστο όριο	
Αγροτικές 2.3 α), β), ή γ) Βιομηχανικές 3.1 α) ή β)	Άρδευση καλλιεργειών χωρίς επαφή του ανακτημένου νερού με το βρώσιμο προϊόν (δενδροκαλλιέργειες), άρδευση καλλωπιστικών φυτών, θερμοκηπίων, φυτωρίων χωρίς επαφή του ανακτημένου νερού με τον καρπό, νερό επεξεργασίας και καθαρισμού που χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες (εκτός της βιομηχανίας τροφίμων)	Δ	<10000	<1	<100
Ψυχαγωγικές 4.2 α)	Λίμνες και άλλα	Δ	<10000	<1	<100

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

	υδατικά συστήματα χωρίς δημόσια πρόσβαση			
Περιβαλλοντικές 5.3 α) ή β)	Άρδευση δασών, ζωνών πρασίνου και άλλων παρόμοιων εκτάσεων στις οποίες δεν υπάρχει δημόσια πρόσβαση	Ε	Ακαθόριστο όριο	
Περιβαλλοντικές 5.4 α)	Διατήρηση υγρότοπων, ελαχίστων ροών και συναφείς χρήσεις	ΣΤ	Η ελάχιστη απαιτούμενη ποιότητα καθορίζεται για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά	

Υ.

Ποιότητα	Τύπος	Ακολουθία επεξεργασίας χωρίς αφαλάτωση
A	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Χημική καθίζηση, διήθηση με τη βοήθεια μεμβρανών και απολύμανση (η χρήση υπολειμματικού χλωρίου (Cl) μπορεί να απαιτηθεί στο σύστημα διανομής).</li> <li>✚ Ο δεύτερος τύπος μπορεί να εξασφαλίσει A ποιότητα για την <i>Escherichia coli</i>, την <i>Legionella spp</i> και τους εντερικούς νηματώδεις μικροοργανισμούς, αλλά είναι δύσκολη η επίτευξη ορίου θολότητας που αντιστοιχεί σε 1-2 NTU.</li> <li>✚ Ο Τ.Ε. με απευθείας έγχυση πραγματοποιείται κατά την κατηγορία επεξεργασίας 5α</li> </ul>
B	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Χημική καθίζηση, διήθηση σε κάποιο βάθος και απολύμανση (υπεριώδης ακτινοβολία σε συνδυασμό με χλωρίωση)</li> <li>✚ Η χρήση υπολειμματικού χλωρίου (Cl) μπορεί να απαιτηθεί στο σύστημα διανομής</li> </ul>
Γ	3	Διήθηση και απολύμανση (συνήθως χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας και υπολειμματικού χλωρίου)
Δ		
Ε	4	Διήθηση
ΣΤ	-	Ανάλογα με την περίπτωση
A-ΣΤ	5α	Χημική καθίζηση, διήθηση με τη βοήθεια μεμβρανών,

		αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση, χρήση υπολειμματικού χλωρίου (Cl)
B, Γ, Δ, E	5β	Χημική καθίζηση, διήθηση, αφαλάτωση με ηλεκτροδιάλυση και απολύμανση (συνήθως εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία συνοδεύεται από τη χρήση υπολειμματικού χλωρίου (Cl))

δ.

Μέθοδος επεξεργασίας	Κόστος	
	Κατασκευαστικό (ευρώ/m <sup>3</sup> κατασκευής × ημέρα)	Λειτουργικό (ευρώ/m <sup>3</sup> εκροής)
1	164-351	0,14-0,20
2 (1)	27-47	0,06-0,09
3	9-22	0,04-0,07 (2)
4	5-11	0,04-0,07
5α	259-458	0,35-0,45 (3)
5β	248-405	0,35-0,45 (4)

(1) Η συγκεκριμένη επεξεργασία χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές για την απομάκρυνση του βακτηρίου *Escherichia coli* και της μείωσης της θολότητας.

(2) Το κόστος της απολύμανσης ως μεμονωμένης διαδικασίας είναι 0,005 ευρώ ανά m<sup>3</sup> εκροής. Η συγκεκριμένη τιμή δεν αποτυπώνεται στον Πίνακα 4.23.

(3) Όταν μπορούν να παραλειφθούν φυσικοχημικές διεργασίες, το κόστος μπορεί να κυμαίνεται από 0,3 έως 0,4 ευρώ ανά m<sup>3</sup> εκροής.

(4) Όμοια με (3).

#### 4.2.4.4. Ιταλία

Η ιταλική νομοθεσία (Νόμος 319/1976 «περί προστασίας των νερών», Αναθεωρημένη έκδοση μέσω του Διατάγματος του Υπουργείου Δημοσίων Έργων «Κριτήρια, Μεθοδολογία και Γενικά Τεχνικά Κριτήρια» του 1997) προβλέπει την αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση. Τα μικροβιολογικά όρια χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη αυστηρότητα και ορίζουν κατά την απεριόριστη άρδευση καλλιεργειών, που καταναλώνονται ωμές, τη χρήση δευτεροβάθμιων εκροών ΕΕΛ που έχουν υποστεί απολύμανση και την παρουσία έως 2 ολικών κολοβακτηρίδιων (TC)/100ml. Από την άλλη πλευρά, κατά την περιορισμένη άρδευση (άρδευση βοσκοτόπων) γίνεται αποδεκτό το όριο των 20 ολικών κολοβακτηρίδιων (TC)/100ml.

Επιπροσθέτως, η νομοθεσία προστατεύει την αγροτική παραγωγή μέσω αγρονομικών κριτηρίων, τα οποία θέτουν ως ανώτερο όριο του SAR τις 15 μονάδες. Σε ορισμένες περιοχές (λ.χ. Sicilia, Emilia Romagna), οι τοπικές ανάγκες διαφοροποιούν τα όρια, που ορίζει η εθνική νομοθεσία.

Τέλος, επιβάλλεται η εγκατάσταση προειδοποιητικών πινακίδων στα όρια περιοχών που αρδεύονται με ανακτημένα απόβλητα και ο προσδιορισμός ζωνών

προστασίας σε κάθε περίπτωση ανεξάρτητα από το βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων ή τη μέθοδο άρδευσης.

Ο Νόμος-Διάταγμα υπ' αριθμόν 152 της 11<sup>ης</sup> Μαΐου του 1999 περί επαναχρησιμοποίησης του Ιταλικού Υπουργείου Περιβάλλοντος στην ουσία ακυρώνει τα κριτήρια που θεσμοθετήθηκαν το 1976. Με το νέο νόμο, η εδαφική διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων καθίσταται αποδεκτή μόνο στην περίπτωση που οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής. Η ανώτερη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη SAR παραμένει στις 15 μονάδες. Όσον αφορά στα ολικά κολοβακτηρίδια (TC) και την άρδευση καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, οφείλουν να ικανοποιούνται τα ελάχιστα όρια, που σημειώνονται στον Πίνακα 4.24. Τέλος, σε ετήσια βάση οφείλει να διενεργείται ένας έλεγχος του όγκου των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων σε σχέση με το έδαφος και την αρδευόμενη έκταση, ο οποίος υποκαθιστά την έλλειψη ορίων για τοξικές ενώσεις.

**Πίνακας 4.24:** Μικροβιολογικά κριτήρια στην Ιταλία για άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και σύγκρισή τους με τις οδηγίες του ΠΟΥ και κριτηρίων άλλων περιφερειών

Οργανισμός ή Περιοχή	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC) (MPN/100ml), δηλαδή μέσες τιμές 7 συνεχόμενων ημερήσιων δειγματοληψιών	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (MPN/100ml)	<i>Escherichia coli</i> (CFU/100ml)	Νηματώδεις μικροοργανισμοί (αυγά/L)
ΠΟΥ	Δεν ορίζεται	Απεριόριστη άρδευση: 1000	Δεν ορίζεται	1
Ιταλία (παλαιά)	Απεριόριστη άρδευση: 2 Περιορισμένη άρδευση: 20	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται
Ιταλία (νέα)	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Απεριόριστη άρδευση: 10	Δεν ορίζεται
Σικελία	Απεριόριστη άρδευση: 3000	Απεριόριστη άρδευση: 1000	Δεν ορίζεται	1
Emilia Romagna	Απεριόριστη άρδευση: 2 Περιορισμένη άρδευση: 20	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται
Puglia	Απεριόριστη άρδευση: 2 Περιορισμένη άρδευση: 20	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται

Η πλέον πρόσφατη εκδοχή της ιταλικής νομοθεσίας περί επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι ο Νόμος-Διάταγμα της 12<sup>ης</sup> Ιουνίου του 2003 (Άρθρο

185/03), ο οποίος επιβάλλει τη διερεύνηση 54 συνολικά παραμέτρων στις σχετικές εργασίες. Ορισμένες τιμές είναι όμοιες με τις αντίστοιχες που έχουν θεσμοθετηθεί για το πόσιμο νερό, ενώ άλλες δεν έχουν εφαρμογή για το πόσιμο νερό. Κατά τον τρόπο αυτό, η αποτελεσματική εφαρμογή των αναθεωρημένων κριτηρίων κρίνεται προβληματική.

#### 4.2.4.5. Κύπρος

Η κυπριακή νομοθεσία περί επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποτελεί συνονθύλευμα της Οδηγίας του ΠΟΥ και του Κανονισμού της Πολιτείας της Καλιφόρνια. Παράλληλα, γίνονται ανεκτές φθηνές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκεί όπου οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες το επιτρέπουν.

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία στην Κύπρο επιτελείται κυρίως σε μονάδες περιστρεφόμενων βιολογικών επαφών. Στην περίπτωση που απαιτείται εκροή υψηλής ποιότητας (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) < 20mg/L, αιωρούμενα στερεά (SS) < 30mg/L), συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος της ενεργού ιλύος με απολύμανση. Όταν οι απαιτήσεις καθαρισμού αυξάνουν (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) < 10mg/L) και επιχειρείται να παραχθεί εκροή σταθερής ποιότητας, τότε αρμόζει η τριτοβάθμια επεξεργασία, δηλαδή δευτεροβάθμιος καθαρισμός με κροκίδωση, διύλιση και απολύμανση.

Η απευθείας διάθεση ακόμη και των τριτοβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε παράκτια υδροφόρα συστήματα, εκβολές ποταμών ή επιφανειακά και υπόγεια νερά που χρησιμοποιούνται για ύδρευση απαγορεύεται από την κυπριακή νομοθεσία. Τον Ιούνιο του 2005, θεσμοθετήθηκε ο Κυπριακός Κώδικας Εφαρμογής (ΠΔ 296/3-6-05), ο οποίος αφορά στη διάθεση εκρών ΕΕΛ σε επιφανειακά νερά και επιτρέπει τη διάθεση τριτοβάθμιων εκρών σε νερά ποταμών αποκλειστικά όταν η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων δεν υπερβαίνει το 10% της βασικής ροής του ποταμού. Οι κυπριακές προδιαγραφές διάθεσης εκρών σε επιφανειακά νερά συνοψίζονται ακολούθως:

- ✦ Οι εκροές οφείλουν να πληρούν τις απαιτήσεις που ορίζονται για επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση όλων των γεωργικών καλλιεργειών.

- ✦ Η συγκέντρωση του αζώτου (N) θα πρέπει να είναι μικρότερη από 10mg/L και η αντίστοιχη του φωσφόρου (P) μικρότερη από 1 έως 2mg/L, ώστε να ικανοποιείται η Οδηγία 91/271 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

- ✦ Απαιτείται η διενέργεια ελέγχων εκτίμησης της τοξικότητας των αποβλήτων σε περιπτώσεις διάθεσής τους σε υδατορεύματα, λίμνες ή φράγματα.

- ✦ Απαγορεύεται η τροφοδότηση υδατικών πόρων που αξιοποιούνται για πόση με εκροές οποιασδήποτε ποιότητας.

Επίσης, ο Κυπριακός Κώδικας Εφαρμογής θεωρεί ως αποδεκτές μεθόδους τριτοβάθμιας επεξεργασίας τις:

- ✦ Καθίζηση/συσσωμάτωση ακολουθούμενη από διήθηση υψηλής φόρτισης μέσω άμμου.

- ✦ Διήθηση χαμηλής φόρτισης μέσω άμμου.

- ✦ Οποιαδήποτε άλλη μέθοδο που διασφαλίζει απομάκρυνση ιών, ελμίνθων και περιττωματικών κολοβακτηρίδιων (FC) στα επιτρεπόμενα όρια.

Ως τριτοβάθμια επεξεργασία θεωρείται η απολύμανση και η αποθήκευση για διάστημα μεγαλύτερο των 7 ημερών ή η αποθήκευση για διάστημα μεγαλύτερο των 30 ημερών, όταν η επεξεργασία των αποβλήτων λαμβάνει χώρα σε λίμνες σταθεροποίησης.

Όσον αφορά στην απολύμανση, ο Κυπριακός Κώδικας Εφαρμογής προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής της καταλληλότερης μεθόδου ανά περίπτωση από τις διαθέσιμες τεχνολογίες, όπως οζόνωση και χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, ωστόσο, στην πράξη εφαρμόζεται κυρίως χλωρίωση των επαναχρησιμοποιούμενων εκροών, διότι είναι οικονομική λύση και αποτελεσματική στην απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Ως μέγιστο επιτρεπόμενο όριο ελεύθερου χλωρίου (Cl) στην εκροή έχει οριστεί η τιμή των 2mg/L, ενώ ελάχιστο τα 0,5mg/L μετά από την πάροδο 1hr χρόνου επαφής στην ΕΕΛ.

Η κυπριακή νομοθεσία ορίζει όρια για τις ποιοτικές παραμέτρους ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας που πρόκειται να αρδευτεί. Πρωταρχικό μέλημα θεωρείται η προστασία της δημόσιας υγείας και για το λόγο αυτό περιγράφονται τα απαιτούμενα επίπεδα επεξεργασίας και απολύμανσης των χρησιμοποιούμενων εκροών. Τα μικροβιολογικά κριτήρια περιλαμβάνουν τιμές για τον πληθυσμό των κολοβακτηρίδιων εντερικής προέλευσης ανά 100 ml και τον αριθμό εντεροϊών ανά L. Τα καταρτισμένα όρια δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 80% των δειγμάτων σε μηνιαία βάση. Επιπλέον, η θωράκιση της δημόσιας υγείας επιδιώκεται μέσω μέτρων που αφορούν στις μεθόδους άρδευσης και στις πρακτικές συλλογής της αγροτικής παραγωγής. Για παράδειγμα, η επιλογή της καταλληλότερης αρδευτικής τεχνικής βασίζεται στο είδος της αρδευόμενης καλλιέργειας, ενώ επιδιώκεται η ελάχιστη επαφή του αρδευτικού νερού με τους καρπούς και τους παραγωγούς. Η άρδευση με καταιονισμό καλλιεργειών βιομηχανικών και κτηνοτροφικών φυτών επιτρέπεται μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τέλος, προβλέπονται:

✦ **Ο καθορισμός προστατευτικής ζώνης πλάτους 300m περιμετρικά των αρδευόμενων εκτάσεων κατά τη συγκομιδή των αγροτικών προϊόντων και ειδικότερα στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται αρδευτικά συστήματα υψηλής πίεσης.**

✦ **Η διακοπή της άρδευσης μια εβδομάδα πριν τη συγκομιδή.**

✦ **Ο αποκλεισμός της βόσκησης γαλακτοπαραγωγικών ζώων.**

Τα προτεινόμενα ποιοτικά κριτήρια της Κύπρου για άρδευση παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.25, ενώ ο Πίνακας 4.26 συγκεντρώνει τις ανώτερες αποδεκτές συγκεντρώσεις μετάλλων στο ανακτημένο νερό σύμφωνα με την κυπριακή νομοθεσία.

**Πίνακας 4.25:** Τα μικροβιολογικά όρια της Κύπρου για άρδευση

Χρήση	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) (mg/L)	Αιωρούμενα στερεά (SS) (mg/L)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) / 100 ml	Εντερικοί σκώλικες / L	Απαιτούμενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση (εξαιρούνται φυλλώδη λαχανικά που τρώγονται ωμά)					
Μηχανικές μέθοδοι επεξεργασίας (λ.χ. ενεργός	< 10 για το 80% των δειγμάτων	< 10 για το 80% των δειγμάτων	< 5 για το 80% των δειγμάτων	Απουσία	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία



Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

λύς)	ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 15 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)		και απολύμανση
<b>Χώροι αναψυχής ελεύθερης πρόσβασης-Άρδευση καλλιέργειών που τρώγονται μαγειρεμένες ή μετά από επεξεργασία (λ.χ. πατάτες, ζαχαρότευτλα)</b>					
Μηχανικές μέθοδοι επεξεργασίας (λ.χ. ενεργός λύς)	< 10 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 15 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	< 10 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 15 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	< 50 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 100 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	Απουσία	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση
<b>Περιορισμένη άρδευση-Χώροι αναψυχής περιορισμένης πρόσβασης</b>					
Μηχανικές μέθοδοι επεξεργασίας (λ.χ. ενεργός λύς)	< 20 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 30 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	< 30 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 45 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	< 200 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 1000 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	Απουσία	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, αποθήκευση (> 7 ημέρες) και απολύμανση, ή Τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση.
Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης	-	-	< 200 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα. (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5) 1000 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)		Συνολικός χρόνος παραμονής > 30 ημέρες ή Δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση (> 30 ημέρες)
<b>Καλλιέργειες για ζωοτροφές</b>					
Μηχανικές μέθοδοι επεξεργασίας (λ.χ. ενεργός λύς)	< 20 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	< 30 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	< 1000 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	Απουσία	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση (>7 ημέρες) ή

	αριθμός δειγμάτων 5)	αριθμός δειγμάτων 5)	αριθμός δειγμάτων 5)		Τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση
	30 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	45 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)	5000 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)		
Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης	-	-	< 5000 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)		Συνολικός χρόνος παραμονής > 30ημέρεςή Δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση (> 30 ημέρες)
<b>Βιομηχανικές καλλιέργειες</b>					
Μηχανικές μέθοδοι επεξεργασίας (λ.χ. ενεργός ιλύς)	< 50 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	-	< 3000 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)	-	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση
	70 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)		10000 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)		
Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης	-		< 3000 για το 80% των δειγμάτων ανά μήνα (Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5)		Συνολικός χρόνος παραμονής > 30ημέρεςή Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση (>30 ημέρες)
			10000 (Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή)		

**Πίνακας 4.26:** Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων για άρδευση στην Κύπρο

Στοιχείο	Συγκέντρωση (mg/L)
Αργίλιο (Al)	5,0
Αρσενικό (As)	0,1
Βηρύλλιο (Be)	0,1
Βόριο (Bo)	0,75
Κάδμιο (Cd)	0,01

Χρώμιο (Cr)	0,1
Κοβάλτιο (Co)	0,05
Χαλκός (Cu)	0,2
Σίδηρος (Fe)	5,6
Μόλυβδος (Pb)	5,0
Λίθιο (Li)	2,5
Μαγγάνιο (Mn)	0,2
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,01
Νικέλιο (Ni)	0,2
Σελήνιο (Se)	0,02
Βανάδιο (W)	0,1
Ψευδάργυρος (Zn)	2,0
Υδράργυρος (Hg)	0,005

#### 4.2.4.6. Πορτογαλία

Σύμφωνα με την Marecos do Monte (2010), 500 εκατομμύρια m<sup>3</sup> επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων μένουν αναξιοποίητα τη στιγμή που θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ως μη συμβατικοί υδατικοί πόροι και να αποτελέσουν λύση αντιμετώπισης του υδατικού ελλείμματος, το οποίο ανέρχεται σε 3100m<sup>3</sup> ανά έτος. Από το 2010 έως τις μέρες μας, η επαναχρησιμοποίηση του 10% των εκροών ΕΕΛ αποτελεί εθνικό στρατηγικό στόχο. Ωστόσο, η προώθηση της επαναχρησιμοποίησης ευνοείται κυρίως στις νοτιότερες περιοχές της Πορτογαλίας εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης και των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών τους.

Ο πλέον πρόσφατος νόμος που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση μη συμβατικών υδατικών πόρων, όπως τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, είναι ο Νόμος-Διάταγμα 226-A/2007. Η συνήθης μορφή επαναχρησιμοποίησης είναι η άρδευση. Η πορτογαλική νομοθεσία ορίζει ότι τα θρεπτικά συστατικά που μεταφέρονται στο έδαφος όταν εφαρμοστούν υγρά απόβλητα δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν την ανάγκη των καλλιεργειών και επίσης οι τιμές των βαρέων μετάλλων δεν πρέπει να ξεπερνούν τα καταρτισμένα όρια της πορτογαλικής νόρμας (NP 4434).

Ο Πίνακας 4.27 που ακολουθεί περιγράφει εν συντομία τις προδιαγραφές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Πορτογαλία. Η συνήθης χρήση των εκροών είναι η άρδευση.

**Πίνακας 4.27:** Οδηγίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Πορτογαλία

Κατηγορία επαναχρησιμοποίησης	Τύπος καλλιέργειας	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (MPN/100ml)	Εντερικοί νηματώδεις μικροοργανισμοί (αυγά/L)	Απαιτούμενη επεξεργασία	Σχόλιο
A	Λαχανικά που	100	1	Δευτεροβάθμια	Η απολύμανση με

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

	αναλώνονται ωμά			επεξεργασία Διήθηση- Απολύμανση ή Τριτοβάθμια επεξεργασία Διήθηση- Απολύμανση	υπεριώδη ακτινοβολία (αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή η οζόνωση προτιμώνται από τη χλωρίωση
B	Δημόσια πάρκα και κήποι, αθλητικές εγκαταστάσεις, δάση με δημόσια πρόσβαση	200	1	Δευτεροβάθμια επεξεργασία Διήθηση- Απολύμανση ή Τριτοβάθμια επεξεργασία Διήθηση- Απολύμανση	Η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή η οζόνωση προτιμώνται από τη χλωρίωση. Πρέπει να αποφεύγεται η επαφή κοινού κατά την άρδευση.
Γ	Λαχανικά που μαγειρεύονται, βοσκές, αμπελώνες, οπωρώνες	1000	1	Δευτεροβάθμια επεξεργασία Διήθηση- Απολύμανση ή Τριτοβάθμια επεξεργασία Διήθηση- Απολύμανση ή Λίμνες σταθεροποίησης (τουλάχιστον 3 λίμνες και χρόνος παραμονής>25 ημέρες)	Η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (αυτοκαθαριζόμενοι λαμπτήρες) ή η οζόνωση προτιμώνται από τη χλωρίωση. Κατά την άρδευση αμπελώνων ή οπωρώνων πρέπει να αποφεύγεται η επαφή με τους καρπούς. Η συλλογή καρπών από το έδαφος δεν επιτρέπεται.
Δ	Δημητριακά με εξαίρεση το ρύζι, λαχανικά και φυτικά προϊόντα τα οποία χρησιμοποιούνται ωμά στη βιομηχανία, όπως στην κλωστοϋφαντουργία, εξόρυξη ελαίων και φυτικών αποσταγμάτων, καλλιέργειες δέντρων, γκαζόν που δεν είναι εύκολα προσβάσιμο από το κοινό ή υπάρχει ελεγχόμενη πρόσβαση	-	-	-	-

#### **4.2.5. Η Νομοθεσία στη Νότιο Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή**

##### **4.2.5.1. Αίγυπτος**

Στην Αίγυπτο, τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ανακτώνται σε ένα πλαίσιο ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων και επαναχρησιμοποιούνται στην άρδευση καλλιεργειών με στόχο να μειωθεί η κατανάλωση του γλυκού νερού. Η επεξεργασία των οικιακών υγρών αποβλήτων είναι είτε πρωτοβάθμια είτε δευτεροβάθμια. Από τα 5,5 έως 6,5 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων που παράγονται σε ετήσια βάση, τα 2,97 (περίπου ποσοστό 24%) υπόκεινται σε επεξεργασία ορισμένου βαθμού. Επίσης, από το συνολικό όγκο των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που παράγονται ετησίως, μόνο τα 0,7 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup> επαναχρησιμοποιούνται στον αγροτικό παραγωγικό τομέα ανά έτος με ποσοστό 37% εξ' αυτών να έχουν υποβληθεί σε δευτεροβάθμια επεξεργασία και το υπόλοιπο ποσοστό σε πρωτοβάθμια (Abdel Wahhab και El-Din Omar, 2011). Στις ξηρές περιοχές (ερήμους), τα ανακτημένα απόβλητα επαναχρησιμοποιούνται με άμεσες μεθόδους, ενώ σε άλλες περιπτώσεις αναμιγνύονται με το νερό που αποστραγγίζεται από αγροτικές δραστηριότητες.

Οι νόμοι και τα διατάγματα που αφορούν στη διάθεση των υγρών αποβλήτων στην Αίγυπτο έχουν ως ακολούθως:

- **Νόμος 93/1962:** Ο συγκεκριμένος νόμος ρυθμίζει τη διάθεση λυμάτων στο περιβάλλον και ορίζει αρμόδιο φορέα για την κατασκευή δημόσιων συστημάτων μεταφοράς υγρών αποβλήτων το Υπουργείο Οικισμού. Το συγκεκριμένο Υπουργείο ευθύνεται επίσης για την έκδοση των αδειών σχετικά με την απόρριψη των αποβλήτων σε δημόσια δίκτυα αποχέτευσης ή σε φυσικά συστήματα. Το Υπουργείο Υγείας διαμορφώνει τα ρυθμιστικά πρότυπα.

- **Διατάγματα 649/1962 και 9/1989:** Το Υπουργείο Οικισμού με το Διάταγμα 649/1962 εκδίδει τις διοικητικές ρυθμίσεις του Νόμου 93/1962. Το Διάταγμα 9/1989 αποτελεί την αναθεωρημένη έκδοση του Διατάγματος του 1962 στην οποία διαφοροποιείται η διάθεση υγρών αποβλήτων σε αμμώδη εδάφη από την αντίστοιχη σε αργιλικά-ιλυώδη. Επίσης, ορίζεται ότι οι ΕΕΛ θα πρέπει να χωροθετούνται σε αποστάσεις άνω των 3km από κατοικημένες περιοχές και ότι τα απόβλητα οφείλουν να υπόκεινται τουλάχιστον σε πρωτοβάθμια επεξεργασία πριν την τελική τους διάθεση, καθώς και αποκλείεται η άρδευση με υγρά απόβλητα προϊόντων που καταναλώνονται ωμά (λ.χ. φρούτων, λαχανικών και άλλων καλλιεργειών) και εκτάσεων βόσκησης ζώων ή γαλακτοπαραγωγικών βοοειδών. Το 1995, τα Υπουργεία Γεωργίας και Άρδευσης, με τροποποίηση που εισάγουν και η οποία τυγχάνει αποδοχής από το Υπουργείο Υγείας, εισηγούνται ότι απόβλητα που υπόκεινται σε εδαφική επεξεργασία οφείλουν να αντιμετωπίζονται ως τα πλέον κατάλληλα για την απεριόριστη άρδευση καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται χωρίς να μαγειρευτούν, ενώ τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα απόβλητα μπορούν να αξιοποιούνται στην άρδευση δέντρων, βαμβακιού, γιούτας, σιτηρών, κτηνοτροφικών φυτών, φυτωρίων και θερμικά επεξεργασμένων λαχανικών και φρούτων. Ωστόσο, το Υπουργείο Οικισμού δε συνυπέγραψε τις συγκεκριμένες προτάσεις.

- **Νόμος 48/1982:** Ο νόμος αυτός εφαρμόστηκε για την προστασία του ποταμού Νείλου και άλλων υδατορευμάτων από τη ρύπανση.


✦ **Διάταγμα 8/1983:** Το Διάταγμα 8/1983 του Υπουργείου Άρδευσης αποτελεί τον εκτελεστικό κανονισμό του Νόμου 48/1982. Σύμφωνα με το διάταγμα αυτό, η απόρριψη εκρών υγρών αποβλήτων στο Νείλο και σε κανάλια, αποχετευτικά δίκτυα και υπόγεια υδροφόρα συστήματα οφείλουν να έχουν λάβει πρότερη αδειοδότηση από τα Υπουργεία Δημοσίων Έργων και Υδατικών Πόρων. Για όσους παραβιάζουν τα νόμο και οι απορρίψεις τους δεν ικανοποιούν τα ποιοτικά όρια που έχουν καταρτιστεί στο πλαίσιο του νομοθετήματος, προβλέπεται μια περίοδος χάριτος διάρκειας 3 μηνών. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει συμμόρφωση, αποσύρεται η άδεια διάθεσης των εκρών.


✦ **Νόμος 12/1984:** Υπό το πρίσμα του συγκεκριμένου νόμου ο Υπουργός Δημοσίων Έργων και Υδατικών Πόρων θεωρείται υπεύθυνος για την προστασία των υδατικών πόρων.


✦ **Νόμος 4/1994 «Νόμος-Πλαίσιο για το Περιβάλλον του Υπουργείου Κρατικών Περιβαλλοντικών Υποθέσεων»:** Στο συγκεκριμένο νόμο, αναφέρεται ότι όλες οι εγκαταστάσεις που πραγματοποιούν απορρίψεις σε επιφανειακούς αποδέκτες απαιτείται να έχουν άδεια και επίσης να τηρούν μητρώο στο οποίο να περιγράφεται η επίδραση των δραστηριοτήτων τους στο περιβάλλον (λ.χ. εκπομπές, αποτελεσματικότητα, ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής των ΜΕΛ και περιοδικές μετρήσεις).

✦ **Διάταγμα 603/2002 «Απόφαση του Αντιπροέδρου της Κυβέρνησης και του Υπουργού Γεωργίας και Εγγείων Βελτιώσεων για τον περιορισμό της χρήσης των υγρών αποβλήτων στον αγροτικό τομέα»:** Απαγορεύεται η χρήση ανεπεξέργαστων αλλά και επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση παραδοσιακών καλλιεργειών. Η περιορισμένη άρδευση με υγρά απόβλητα χρησιμοποιείται μόνο στην καλλιέργεια δέντρων για ξυλεία και καλλωπιστικών δέντρων, ύστερα από εφαρμογή όλων των απαραίτητων μέτρων για την προστασία της υγείας των απασχολούμενων στον αγροτικό παραγωγικό τομέα.

✦ **Αιγυπτιακός Κώδικας Επαναχρησιμοποίησης Υγρών Αποβλήτων στη Γεωργία (501/2005):** Ο κώδικας προτάθηκε από το Υπουργείο Στέγασης, Υποδομών και Οικιστικής Ανάπτυξης, αφορά αποκλειστικά την άμεση επαναχρησιμοποίηση των εκρών και περιγράφει τις ακριβείς απαιτήσεις σχεδιασμού και έγκρισης της διαδικασίας επαναχρησιμοποίησης, τους υπεύθυνους φορείς των προγραμμάτων, τις επιτρεπόμενες χρήσεις των ανακτημένων αποβλήτων ανάλογα με την ποιότητά τους και τις μεθόδους παρακολούθησης και ελέγχου των σχετικών εργασιών. Η άρδευση λαχανικών τα οποία καταναλώνονται ωμά ή κατόπιν επεξεργασίας με υγρά απόβλητα οποιασδήποτε ποιότητας απαγορεύεται. Τα φυτά και οι καλλιέργειες, που αρδεύονται με υγρά απόβλητα, οργανώνονται σε 3 κατηγορίες (Α, Β, C) η καθεμιά εκ' των οποίων αντιστοιχεί σε απόβλητα διαφορετικής ποιότητας:

 **Κατηγορία Α:** Περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί προηγμένη ή εδαφική επεξεργασία και μπορούν να επανακτηθούν εάν εξελιχθούν (λ.χ. προσθήκη διεργασιών φίλτρανσης μέσω άμμου, απολύμανσης κ.α.) οι ΕΕΛ δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (Κατηγορία Β).

 **Κατηγορία Β:** Αντιπροσωπεύει την επαναχρησιμοποίηση δευτεροβάθμιων εκρών (λ.χ. εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος, οξειδωτικών τάφρων, λιμνών σταθεροποίησης, χαλικοδιυλιστήριων) που αποτελούν τη συνήθη ποιότητα επεξεργασμένων αποβλήτων στην Αίγυπτο.

 **Κατηγορία C:** Περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση των πρωτοβάθμιων εκροών υγρών αποβλήτων απαλλαγμένων από έλαια και άμμο και των δεξαμενών καθίζησης.

Ο Πίνακας 4.28 παρουσιάζει τα ποιοτικά όρια των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίησή τους στη γεωργία για τις 3 κατηγορίες επεξεργασίας. Ο Πίνακας 4.29 παρουσιάζει τις κατηγορίες των καλλιεργειών που αρδεύονται με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η ομαδοποίησή τους διαμορφώνεται με βάση την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων.

**Πίνακας 4.28:** Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στη γεωργία (mg/L) ανάλογα με την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων εκροών σύμφωνα με τον Αιγυπτιακό Κώδικα Επαναχρησιμοποίησης Υγρών Αποβλήτων στην Άρδευση το Φεβρουάριο του 2005 (Abdel Wahaab και El-Din Omar, 2011)

Απαιτήσεις επεξεργασίας	A	B	C
BOD5	<20	<60	<400
SS	<20	<50	<250
Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) / 100cm <sup>3</sup>	<1000	<5000	Ακαθόριστο όριο

**Πίνακας 4.29:** Κατηγοριοποίηση των φυτών και καλλιεργειών που αρδεύονται με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην Αίγυπτο σύμφωνα με τον Αιγυπτιακό Κώδικα Επαναχρησιμοποίησης Υγρών Αποβλήτων στην Άρδευση το Φεβρουάριο του 2005 (Abdel Wahaab και El-Din Omar, 2011)

Κατηγορία υγρών αποβλήτων	Κατηγορία καλλιεργειών	Σχόλιο
A	G1-1: Φυτά και δέντρα για χώρους πρασίνου σε χωριά που αποτελούν τουριστικούς προορισμούς και ξενοδοχεία	Palm, γρασίδι Saint Augustine, κάκτοι, διακοσμητικοί φοίνικες, αναρριχώμενα φυτά, θάμνοι και δέντρα περίφραξης, ξυλώδη φυτά και σκιάφυλλα δέντρα
	G1-2: Φυτά και δέντρα για χώρους πρασίνου σε περιοχές κατοικίας σε νέες πόλεις	
B	G2-1: Καλλιεργείες ζωτροφών	Ζαχαρόχορτο (Sorghum sp)
	G2-2: Δέντρα που παράγουν καρπούς με επικάρπιο	Υπό την προϋπόθεση ότι υπόκεινται σε επεξεργασία, όπως τα λεμόνια, τα μάνγκο, οι καρποί χουρμαδιάς και τα αμύγδαλα
	G2-3: Δέντρα που χρησιμοποιούνται για τις πράσινες ζώνες γύρω από τις πόλεις και την αναδάσωση πλησίον αυτοκινητόδρομων και δρόμων	Casuarina, καμφορά, Athel Tamarix, πικροδάφνες, οπωροφόρα δέντρα, χουρμαδιές και ελαιόδεντρα
	G2-4: Φυτά για φυτώρια	Ξυλώδη φυτά φυτωρίων, καλλωπιστικά φυτά και οπωροφόρα δέντρα
	G2-5: Τριαντάφυλλα και κομμένοι καρποί	Τριανταφυλλιές και κρεμμύδια

	G2-6: Ινώδη φυτά	Λινάρι, γιούτα, ιβίσκο, σιζάλ
	G2-7: Μουριές για παραγωγή μεταξιού	Ιαπωνικές μουριές
C	G3-1: Βιομηχανικές ελαιοπαραγωγικές καλλιέργειες	Jojoba και Jatropha
	G3-2: Ξυλώδη φυτά	Caia, καμφορά και άλλα ξυλώδη φυτά

Επίσης, η νομοθεσία περιλαμβάνει μικροβιολογικά όρια και όρια χημικών παραμέτρων για καθεμιά από τις 3 κατηγορίες, καθώς και προτάσεις για τις καταλληλότερες αρδευτικές μεθόδους ανά περίπτωση και μέτρα ασφάλειας για τους παραγωγούς, τις οικογένειές τους και τους κατοίκους περιοχών που γειτνιάζουν με τις αρδευόμενες εκτάσεις.

✦ **Διάταγμα 1038/2009 «Απόφαση του Υπουργού Γεωργίας και Εγγείων Βελτιώσεων για την απαγόρευση της χρήσης ανεπεξέργαστων ή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών που προορίζονται για κατανάλωση».**

#### 4.2.5.2. Ιορδανία

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην Ιορδανία πλαισιώνεται από την Οδηγία JS/893/1995 (Πίνακας 4.30), η οποία ορίζει ως τον ελάχιστο βαθμό επεξεργασίας το δευτεροβάθμιο καθαρισμό για την αξιοποίηση του ανακτημένου νερού στη γεωργία ή τη διάθεσή του σε υδάτινους αποδέκτες. Οι «Πρότυπες Συνθήκες Επεξεργασμένων Υγρών αποβλήτων», όπως ονομάζεται η οδηγία αυτή, εφαρμόζονται υπό την επίβλεψη της Αρχής Ύδατος και του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Υγείας της Ιορδανίας. Σε γενικές γραμμές τα μικροβιολογικά όρια για την άρδευση, που προβλέπει η νομοθεσία της Ιορδανίας, συγκλίνουν με τα αντίστοιχα της Οδηγίας του ΠΟΥ.

**Πίνακας 4.30:** Τα μικροβιολογικά όρια της Ιορδανίας για αρδευτική χρήση και διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες

Παράμετρος	Δένδρα και βιομηχανικά προϊόντα	Τ.Ε. υδροφόρου συστήματος	Άρδευση πάρκων
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5)	150	50	50
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	500	200	200
Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	> 2	> 2	> 2
Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)	2000	1500	2000
Αιωρούμενα στερεά (SS)	200	50	50
PH	6,0 έως 9,0	6,0 έως 9,0	6,0 έως 9,0



Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

Color (PCU)	-	75	75
FOG	8	-	8
Phenol	0,002	0,002	0,002
MBAS	50	15	15
Νιτρικό άζωτο (NO <sub>3</sub> -N)	50	25	25
Αμμωνιακό άζωτο (NH <sub>4</sub> -N)	-	15	50
T-N	100	50	100
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> -P)	-	15	15
Χλωρίοντα (Cl <sup>-</sup> )	350	350	350
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	1000	1000	1000
Ανθρακικά (CO <sub>3</sub> )	6	6	6
Ανθρακικό οξύ (HCO <sub>3</sub> )	520	520	520
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	230	230	230
Μαγνήσιο (Mg <sup>++</sup> )	60	60	60
Ασβέστιο (Ca <sup>++</sup> )	400	400	400
SAR	9	9	12
Υπολειμματικό χλώριο (Cl <sub>2</sub> )	-	-	0,5
Αργίλιο (Al)	5	1	5
Αρσενικό (As)	0,1	0,05	0,1
Βηρύλλιο (Be)	0,1	0,1	0,1
Χαλκός (Cu)	0,2	0,2	0,2
Φώσφορος (P)	5,0	1,0	5,0
Σίδηρος (Fe)	5,0	1,0	3,0
Λίθιο (Li)	0,2	0,2	0,2
Μαγγάνιο (Mn)	0,2	0,2	0,2
Μόλυβδος (Pb)	5,0	0,1	0,1
Σελήνιο (Se)	0,02	0,02	0,02
Κάδμιο (Cd)	0,01	0,01	0,01
Ψευδάργυρος (Zn)	2,0	15	2,0
Κυάνιο (CN)	0,1	0,1	0,1
Χρώμιο (Cr)	0,1	0,05	0,1
Υδράργυρος (Hg)	0,001	0,001	0,001
Βανάδιο (V)	0,1	0,1	0,1
Κοβάλτιο (Co)	0,05	0,05	0,05
Βόριο (B)	1,0	1,0	3,0
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,01	0,01	0,01
TFCC	-	1000	200
Σαλμονέλα	-	-	0
Αμοεβα & Ganba (αυγά/L)	-	-	0
Νηματοειδή (αυγά/L)	-	-	< 1

Τα μικροβιολογικά κριτήρια για το ανακτημένο νερό που προορίζεται για άρδευση καλλιεργειών παραγωγής ζωοτροφών είναι τα πλέον επιεική, ενώ όσα αφορούν στη διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε υδάτινους επιφανειακούς ή υπόγειους αποδέκτες είναι τα πιο αυστηρά. Οι ρυθμίσεις αυτές στοχεύουν στην προώθηση της επαναχρησιμοποίησης με αποθάρρυνση των ΜΕΛ να διαθέτουν την εκροή σε υδάτινα οικοσυστήματα.

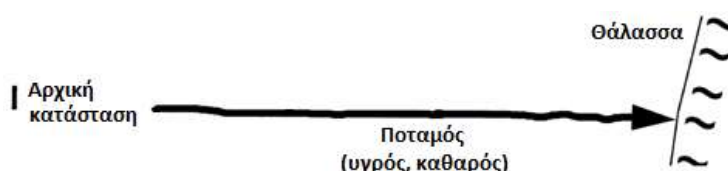
Η Φωτογραφία 4.2 παρουσιάζει έκταση που αρδεύεται με δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην περιοχή Wadi Mousa της Ιορδανίας.

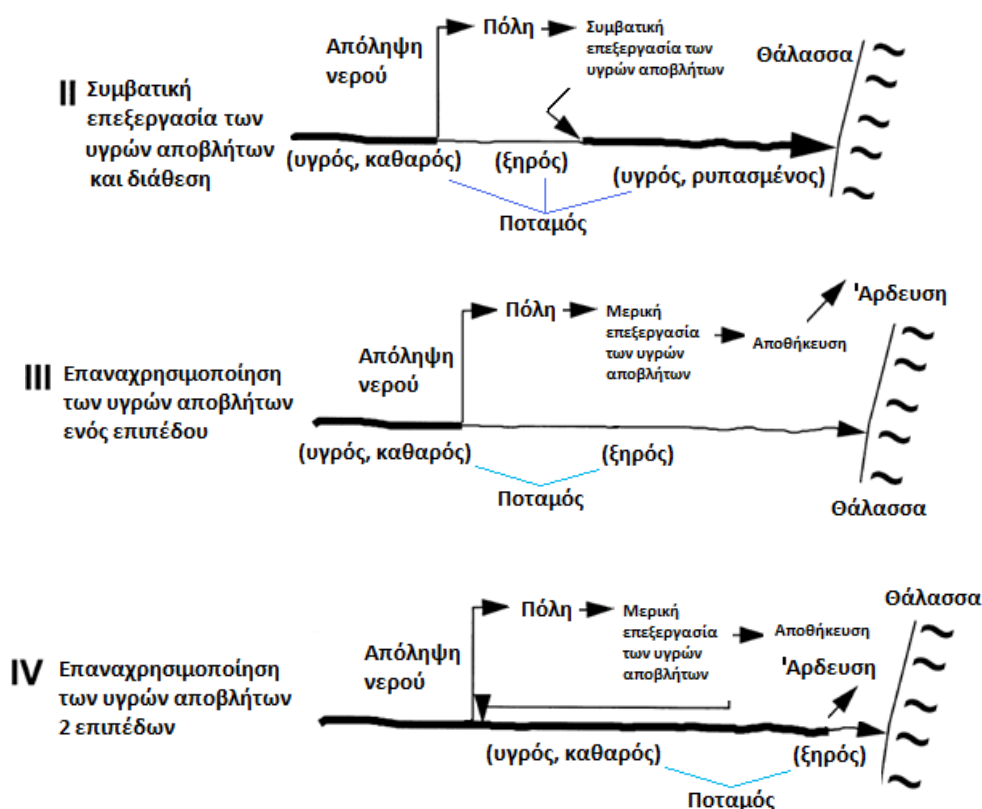


**Φωτογραφία 4.2:** Τριφύλλι που αρδεύεται με δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην περιοχή Wadi Mousa της Ιορδανίας

#### 4.2.5.3. Ισραήλ

Το 2000, η επαναχρησιμοποίηση της εγχώριας παραγωγής αστικών υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ έφτανε σε ποσοστό 65% και αναμενόταν να αγγίξει το 90% την ερχόμενη δεκαετία (Friedler, 2001). Οι εργασίες επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των συμβατικών υδατικών πόρων υπό δύο έννοιες: Αρχικά, μειώνοντας την ζήτηση για συμβατικούς υδατικούς πόρους και επιπροσθέτως μειώνοντας τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα που καταλήγουν σε υδάτινα οικοσυστήματα. Το Σχήμα 4.2 παρουσιάζει την εξελικτική διαδικασία των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ, ο Πίνακας 4.30 παρουσιάζει την υδατική παροχή και κατανάλωση ανά παραγωγικό τομέα, ενώ ο Πίνακας 4.31 τα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης πολλαπλού σκοπού που έχουν υλοποιηθεί. Τέλος, ο Πίνακας 4.32 περιγράφει τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ.





**Σχήμα 4.2:** Η εξελικτική διαδικασία των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ

**Πίνακας 4.30:** Η υδατική παροχή και κατανάλωση ανά παραγωγικό τομέα στο Ισραήλ (Friedler, 2001)

Υδατική πηγή	1995	Υδατική απαίτηση	1995	2010
Γλυκό νερό	1600	Αστική και βιομηχανική χρήση για άρδευση	700	900
Υφάλμυρο νερό	180	Άρδευση	900	650
Υγρά απόβλητα	220	Άρδευση	400	600
<b>Σύνολο</b>	<b>2000</b>	-	<b>2000</b>	<b>2150</b>

**Πίνακας 4.31:** Τα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων πολλαπλού σκοπού στο Ισραήλ (Friedler, 2001)

Περιοχή	Ετήσια δυναμικότητα ( $10^6 \times \text{Hm}^3$ )	Σκοπός
Getaot Kibbutz	0,14	Τοπικής εμβέλειας
Gedera Council	1,5	Τοπικής εμβέλειας
Jeezrael Valley	8	Περιφερειακής εμβέλειας
Greater Haifa City	25	Διαπεριφερειακής εμβέλειας
Greater Tel Aviv City	130	Διαπεριφερειακής εμβέλειας

**Πίνακας 4.32:** Κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ (Παρανυχιανάκης κ.α., 2009)

Παράμετροι	Ομάδα φυτικών καλλιεργειών	Ομάδα φυτικών καλλιεργειών	Ομάδα φυτικών καλλιεργειών
	A	B	Γ (Για το 80% των δειγμάτων που εξετάζονται)
BOD <sub>5</sub> ( mg/L)	<60	<35	<15
Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (MPN/100ml)	<250	<12	-
Δείκτης βαθμού επεξεργασίας (Τιμή δείκτη ίση με 0 αντιστοιχεί σε ανεπεξέργαστο δείγμα)	1	2	3
Είδη αρδευόμενων φυτών	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Βαμβάκι</li> <li>■ Σακχαρότευτλα</li> <li>■ Σανοδοτικά</li> <li>■ Σιτηρά</li> <li>■ Φυτά για ενσίρωση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Κτηνοτροφικά φυτά</li> <li>■ Φιστικιές</li> <li>■ Ελιές, Χουρμαδιές</li> <li>■ Αμυγδαλιές</li> <li>■ Εσπεριδοειδή</li> <li>■ Ρεσπν</li> <li>■ Φυτά που καταναλώνονται αποφλοιωμένα</li> <li>■ Δενδρώδη φυτά που αρδεύονται κάτω από την κόμη</li> <li>■ Διάφορα άλλα φυτά και λαχανικά που καταναλώνονται μετά από συντήρηση</li> </ul>	Ανεξέλεγκτη άρδευση

#### 4.2.5.4. Τυνησία

Στην Τυνησία τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα προορίζονται προς ικανοποίηση των αναγκών της περιοριστικής άρδευσης (σε αντίθεση με την Οδηγία του ΠΟΥ, η οποία επιτρέπει την απεριόριστη αρδευτική χρήση) και της ασφαλούς διάθεσης σε υδάτινους αποδέκτες. Εξάιρεση αποτελεί η άρδευση λαχανικών τα οποία καταναλώνονται ωμά και για την οποία η νομοθεσία απογορεύει τη χρήση ανακτημένου νερού. Τα όρια, που προβλέπουν οι τυνησιακοί κανονισμοί (Πίνακας 4.33) για την άρδευση και τον Τ.Ε. υδροφόρων συστημάτων, καταρτίζονται από τα Υπουργεία Γεωργίας, Υγείας και Περιβάλλοντος της Τυνησίας και θέτουν ως πρωταρχικό μέλημά τους την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας.

**Πίνακας 4.33:** Τα μικροβιολογικά όρια της Τυνησίας για αρδευτική χρήση και διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες

Παράμετρος	Γεωργική χρήση	Διάθεση στη θάλασσα	Διάθεση σε υδάτινους αποδέκτες	Διάθεση σε υπόνομους
pH	6,5 έως 8,5	6,5 έως 8,5	6,5 έως 8,5	6,5 έως 9
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw)	7000	-	-	-

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

( $\mu\text{S/cm}$ )				
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	90 (24ώρο σύνθετο δείγμα χωρίς ειδική άδεια)	90	90	1000
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5)	30 (24ώρο σύνθετο δείγμα χωρίς ειδική άδεια)	30	30	400
Αιωρούμενα στερεά (SS)	30 (24ώρο σύνθετο δείγμα χωρίς ειδική άδεια)	30	30	400
Ιόντα χλωρίου (Cl)	2000	-	600	700
Ιόντα φθορίου (F)	3	5	3	3
Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )	-	50	50	90
Νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ )	-	5	0,5	10
Οργανικό άζωτο (N) και αμμωνία ( $\text{NH}_3$ )	-	30	1	100
Ολικός φώσφορος (TP) ή ορθοφωσφορικά	-	0,1	0,05	10
Αλογονομένοι υδρογονάνθρακες	0,001	0,005	0,001	0,01
Αρσενικό (As)	0,1	0,1	0,05	0,1
Βόριο (Bo)	3	20	2	2
Κάδμιο (Cd)	0,01	0,005	0,005	0,1
Κοβάλτιο (Co)	0,1	0,5	0,1	0,5
Χρώμιο (Cr)	0,1	0,5	0,01	0,5
Χαλκός (Cu)	0,5	1,5	0,5	1
Σίδηρος (Fe)	5	1	1	5
Μαγνήσιο (Mg)	0,5	1	0,5	1
Υδράργυρος (Hg)	0,001	0,001	0,001	0,01
Νικέλιο (Ni)	0,02	2	0,2	1
Μόλυβδος (Pb)	1	0,5	0,1	1
Σελήνιο (Se)	0,05	0,5	0,05	1
Ψευδάργυρος (Zn)	5	10	5	5
Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC)/100ml	-	2000	2000	-
Περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι/100ml	-	1000	1000	-
Σαλμονέλα και χολέρα/500 ml	-	Άνευ	Άνευ	-
Εντερικά νηματοειδή (αριθμητικός μέσος, αυγά/L)	$\leq 1$	-	-	-

Επιπροσθέτως, σε περιοχές όπου εφαρμόζεται η άρδευση με καταιονισμό, οριοθετείται μια ουδέτερη ζώνη, ώστε να περιορίζεται η μεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών μέσω σταγονιδίων. Η τυνησιακή νομοθεσία επίσης αποκλείει τη βόσκηση σε εκτάσεις οι οποίες αρδεύονται με εκροή ΕΕΛ και επιβάλλει την εφαρμογή εξειδικευμένων ελέγχων, όπως ανάλυση φυσικοχημικών παραμέτρων ανά μήνα, ανάλυση βαρέων μετάλλων ανά εξάμηνο και ανάλυση αυγών σκωλήκων ανά δύο εβδομάδες σε σύνθετα εικοσιτετράωρα δείγματα. Τέλος, προβλέπονται μικροβιολογικά όρια και για την περιβαλλοντική προστασία.

#### **4.2.6. Η Νομοθεσία στην Αυστραλία**

Η πρώτη έκδοση των εθνικών οδηγιών περί επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων της Αυστραλίας δημοσιεύτηκε το 2000. Το περιεχόμενο των οδηγιών αφορούσε στα απαιτούμενα κριτήρια ποιότητας και το βαθμό της επεξεργασίας των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων, καθώς και τα συστήματα ελέγχου που οφείλουν να εγκαθίσταται κατά τη διαχείριση έργων επαναχρησιμοποίησης. Η μικροβιολογική ποιότητα των αποβλήτων ελέγχεται μέσω του πληθυσμού κολοβακτηρίδιων, τα οποία παραμένουν ανεπηρέαστα στις θερμοκρασιακές μεταβολές και οφείλουν να μην ξεπερνούν τα 10CFU/100ml για χρήσεις με σημαντική πιθανότητα επαφής του κοινού με τα απόβλητα.

Το 2006, δημοσιεύτηκαν τα αναθεωρημένα κριτήρια της Αυστραλίας, στα οποία διαφαίνεται μια προσπάθεια άμβλυσης των ασυμφωνιών, που είχαν σημειωθεί στην πρότερη έκδοση των οδηγιών μεταξύ των διαφόρων πολιτειών και επικρατειών, και επίσης συμπεριλαμβάνονται και άλλες πηγές νερού, όπως οι αστικές απορροές και τα απόνερα, οι οποίες μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Η διασφάλιση της δημόσιας υγείας και της περιβαλλοντικής προστασίας αποτελεί πρωταρχικό μέλημα των οδηγιών. Η διαχείριση της επικινδυνότητας, που πηγάζει από την επαναχρησιμοποίηση των εναλλακτικών ειδών νερού αναλόγως την πηγή προέλευσής τους, συντελείται μέσω της ίδιας μεθοδολογίας, δηλαδή μέσω εφαρμογής συστημάτων ανάλυσης κινδύνου και ελέγχου κρίσιμων σημείων (όπως στις βιομηχανίες τροφίμων), κριτηρίων ποσιμότητας, αλλά και επίτευξη της κατάλληλης ποιότητας νερού αναλόγως τη χρήση για την οποία προορίζεται. Όσον αφορά στην υγεία του κοινού, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην κατάρτιση ορίων για τους παθογόνους μικροοργανισμούς και χημικές συνθήκες, ειδικότερα όταν υφίσταται πιθανότητα μεγάλων περιόδων έκθεσης σε αυτές. Όσον αφορά στην προστασία από την περιβαλλοντική υποβάθμιση, εξετάζονται χημικοί παράγοντες, όπως η αλατότητα, τα θρεπτικά συστατικά, περιεχόμενα ιχνοστοιχεία στις εκροές των ΕΕΛ, και διερευνάται η δυνατότητα ανάπτυξης και εξάπλωσης ανθεκτικών στελεχών βακτηρίων στη δράση αντιβιοτικών ουσιών.

Μια ακόμη διαφοροποίηση των οδηγιών του 2006 σε σχέση με τις αρχικές οδηγίες, είναι η κατάργηση του συστήματος κατάταξης των υγρών αποβλήτων, ώστε να υπάρχει ελαστικότητα στη χρήση τους. Για παράδειγμα, χρήσεις όπως οι διπλές σωληνώσεις μεταφοράς νερού, η απεριόριστη άρδευση και η άρδευση καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά συμπεριλαμβάνονται συνήθως στην κατηγορία χρήσεων υψηλού κινδύνου και δεν αποτελούν ξεχωριστές

ομάδες. Ωστόσο, η εκτίμηση των κινδύνων διαφέρει μεταξύ των ανωτέρω εφαρμογών.

Η μετατροπή της πιθανότητας μόλυνσης και εκδήλωσης ασθενειών σε επιπτώσεις γίνεται με τα DALYs, όπως και στην Οδηγία του ΠΟΥ. Ως ανώτερο αποδεκτό ετήσιο όριο ορίζεται αυτό των  $10^{-6}$  DALYs ανά άτομο. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται και άλλα κριτήρια προσδιορισμού της επικινδυνότητας από τη χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων, όπως:

- ✦ Το ανεκτό επίπεδο κινδύνου, ώστε να προσδιοριστεί η περίπτωση κατά την οποία οι κίνδυνοι υπερβαίνουν τα αποδεκτά επίπεδα.

- ✦ Ο πληθυσμός αναφοράς των παθογόνων μικροοργανισμών.

- ✦ Τα αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών ή πειραμάτων έκθεσης, ώστε να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο η έκθεση σε μια συγκεκριμένη δόση παθογόνων μικροοργανισμών συνδέεται με την εκδήλωση ανεπιθύμητων συμπτωμάτων στο κοινό.

- ✦ Την υιοθέτηση επιτόπιων μέτρων ελέγχου της έκθεσης.

- ✦ Ο περιορισμός των δυνατών χρήσεων των αποβλήτων.

- ✦ Ο συνδυασμός του βαθμού επεξεργασίας των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων και επιτόπιων μέτρων προστασίας ανάλογα με τη χρήση των υγρών αποβλήτων (Πίνακας 4.34): Στον Πίνακα 4.34, οι στόχοι της μείωσης στην πρώτη στήλη αφορούν στις ελάχιστες μειώσεις που απαιτούνται από ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα με πιθανότητα 95%. Επίσης, τα ποιοτικά όρια αντιπροσωπεύουν διάμεσες τιμές του πληθυσμού της *Escherichia coli* και μέσες τιμές για όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους.

**Πίνακας 4.34:** Συνεκτίμηση της ποιότητας των υγρών αποβλήτων και επιτόπιων μέτρων προστασίας για συγκεκριμένες δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης εκροών ΕΕΛ στην Αυστραλία

Μείωση (Log) Στόχοι (Εντεροϊοί (V), εντερικά πρωτόζωα (P), εντερικά βακτήρια (B))	Ενδεικτικές διεργασίες επεξεργασίας	Μείωση με επεξεργασία (Log) Στόχοι (Εντεροϊοί (V), εντερικά πρωτόζωα (P), εντερικά βακτήρια (B))	Επιτόπια μέτρα προστασίας	Μείωση έκθεσης σε μικροβιακούς κινδύνους που επιτυγχάνεται με τα επιτόπια μέτρα	Θέματα ποιότητας εκροών
Αστική χρήση: χώροι πρασίνου, αθλητικές εγκαταστάσεις, γήπεδα γκολφ, διασπορά σκόνης ή απεριόριστη πρόσβαση και εφαρμογή					
5,00 3,50 4,00	<b>Πρωθήμενη επεξεργασία:</b> δευτεροβάθμια, κροκίδωση, διήθηση και απολύμανση ή δευτεροβάθμια, μεμβράνες, υπεριώδης ακτινοβολία	5,00 3,50 4,00	Δεν απαιτούνται ειδικά μέτρα		<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Ανά περίπτωση και με βάση τις τεχνολογίες επεξεργασίας μπορεί να περιλαμβάνονται η θολότητα, οδηγίες για τη διήθηση, το Ct (όπου Ct = συγκέντρωση απολυμαντή * χρόνος) ή η δόση (υπεριώδης ακτινοβολία)</li> <li>✦ <i>Escherichia coli</i> &lt;1/100ml</li> </ul>
Καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά ή ανεπεξέργαστα					
6,00 5,00	Πρωθήμενη επεξεργασία για την	6,00 5,00	Δεν απαιτούνται μέτρα, παρόλο που η μείωση των	0,5 για Εντεροϊούς (V)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Ανά περίπτωση και με βάση</li> </ul>

## Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

5,00	επίτευξη πλήρους απομάκρυνσης παθογόνων (δευτεροβάθμια, κροκίδωση, διήθηση και απολύμανση)	5,00	παθογόνων θα λάβει χώρα μεταξύ συγκομιδής και κατανάλωσης. Οι εκροές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλες τις καλλιέργειες συμπεριλαμβανομένης της άρδευσης με καταιονισμό καλλιτεργιών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά.	και εντερικά βακτήρια (B)	τις τεχνολογίες επεξεργασίας. <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Μπορεί να περιλαμβάνονται η θολότητα, οδηγίες για τη διήθηση, το Ct (όπου Ct = συγκέντρωση απολυμαντή * χρόνος) ή η δόση (υπεριώδης ακτινοβολία)</li> <li>✦ <i>Escherichia coli</i> &lt;1/100ml</li> </ul>
<b>Εμπορικές καλλιέργειες</b>					
6,00 5,00 5,00	Δευτεροβάθμια επεξεργασία με ημέρες παραμονής >25 σε λίμνες οξειδωσης και απολύμανση	3,0-4,0 2,0-4,0 >6,0	<p><b>Καταναλωτές:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Καλλιέργειες με περιορισμένη ή μη επαφή με το έδαφος που αναλώνονται ωμές (τομάτες, πιπεριές)-στάγδην άρδευση και μη συγκομιδή υγρής και πεσμένης στο έδαφος παραγωγής</li> <li>✦ Καλλιέργειες σε επαφή με το έδαφος με φλοιό ο οποίος απομακρύνεται πριν από την κατανάλωση (πεπόνια, καρπούζι). Εάν εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό, απαιτείται ελάχιστο χρονικό διάστημα 2 ημερών από την τελευταία άρδευση για τη συγκομιδή</li> <li>✦ Λαμβάνει χώρα μείωση του πληθυσμού των παθογόνων από τη συγκομιδή ως την πώληση</li> </ul> <p><b>Κοινό που βρίσκεται πλησίον της αρδευόμενης έκτασης:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Η μείωση (Log) για το κοινό που διαμένει πλησίον περιοχών που εφαρμόζεται άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων θα πρέπει να συμμορφώνεται με τη συνολική μείωση που απαιτείται για αστικές χρήσεις</li> <li>✦ Μη πρόσβαση και εφαρμογή στάγδην ή υποεπιφανειακής άρδευσης</li> <li>✦ Μη πρόσβαση κατά τη διάρκεια της άρδευσης (σε περίπτωση καταιονισμού απαιτείται ελάχιστη απόσταση 25-30m από κατοικημένες περιοχές)</li> </ul>		Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)<20mg/L Αιωρούμενα στερεά (SS)<30mg/L Υπολειμματικός απολυμαντής (π.χ. ελάχιστη συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου (Cl <sub>2</sub> ) ή δόση υπεριώδους ακτινοβολίας <i>Escherichia coli</i> <100CFU/100ml
<b>Εμπορικές καλλιέργειες</b>					
6,00 5,00 5,00	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	2,0-3,0 1,0 >6,0	<p><b>Καταναλωτές:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Υποεπιφανειακή άρδευση για καλλιέργειες που αναλώνεται το υπέργειο μέρος τους</li> <li>✦ Καλλιέργειες χωρίς επαφή με το έδαφος και αφαίρεση του φλοιού πριν την κατανάλωση (εσπεριδοειδή)</li> <li>✦ Μη συγκομιδή παραγωγής από το έδαφος</li> <li>✦ Για καταιονισμό απαιτείται ελάχιστο χρονικό διάστημα 2 ημερών από την</li> </ul>		Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)<20mg/L Αιωρούμενα στερεά (SS)<30mg/L Υπολειμματικός απολυμαντής (π.χ. ελάχιστη συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου (Cl <sub>2</sub> ) ή δόση υπεριώδους ακτινοβολίας <i>Escherichia coli</i> <100CFU/100ml



## Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

			<p>τελευταία άρδευση για τη συγκομιδή</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Λαμβάνει χώρα μείωση παθογόνων από τη συγκομιδή ως την πώληση</li> </ul> <p><b>Κοινό που βρίσκεται πλησίον της αρδευόμενης έκτασης:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Μη πρόσβαση και εφαρμογή στάγδην ή υποεπιφανειακής άρδευσης</li> <li>✦ Μη πρόσβαση κατά τη διάρκεια της άρδευσης (σε περίπτωση καταιονισμού απαιτείται ελάχιστη απόσταση 25-30m από κατοικημένες περιοχές)</li> </ul>		
<b>Μη εδώδιμες καλλιέργειες: Δενδρώδεις, δασικές εκτάσεις και καλωπιστικά φυτά</b>					
5,00 3,50 4,00	Δευτεροβάθμια ή πρωτοβάθμια επεξεργασία συνοδευόμενη από λίμνες σταθεροποίησης	0,5-1,0 0,5-2,0 1,0-3,0	<p><b>Κοινό που βρίσκεται πλησίον της αρδευόμενης έκτασης:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Μη πρόσβαση και στάγδην άρδευση</li> <li>✦ Μη πρόσβαση κατά τη διάρκεια της άρδευσης (σε περίπτωση καταιονισμού απαιτείται ελάχιστη απόσταση 25-30m από κατοικημένες περιοχές και έλεγχος σταγονιδίων)</li> <li>✦ Εκτεταμένες προστατευτικές ζώνες (&gt;50m)</li> </ul>	6,0 5,0 5,0	<i>Escherichia coli</i> <10000CFU/100ml

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ V: Οι μέθοδοι του T.E. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων και οι περιοριστικοί παράγοντες για την εφαρμογή του

### Εισαγωγή

Το νερό των κατακρημνισμάτων διοχετεύεται κατά ένα σημαντικό ποσοστό στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες μιας υδρολογικής λεκάνης μέσω της διήθησης από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου, της κατείσδυσης του νερού των κατακρημνισμάτων προς το υπέδαφος, των διαφυγών από λίμνες και δεξαμενές και (ή) της υποεπιφανειακής ροής (Διαμαντής και Πλιάκας, 2012). Όταν η φόρτιση αυτή των υδροφόρων συστημάτων συντελείται δίχως την ανθρώπινη παρέμβαση, ονομάζεται «φυσικός εμπλουτισμός» (Διαμαντής και Πλιάκας, 2013). Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, το ύψος και η ετήσια κατανομή της βροχόπτωσης επηρεάζουν το ύψος του φυσικού εμπλουτισμού σε κάθε υδρολογικό έτος. Ο άνθρωπος είναι δυνατό να τονώσει το υδατικό δυναμικό ενός υδροφόρου συστήματος χρησιμοποιώντας τα επιφανειακά νερά ή τα νερά από γειτονικά υδροφόρα συστήματα προκαλώντας τη λεγόμενη «διαχείριση του εμπλουτισμού των υδροφόρων συστημάτων» (MAR, management of aquifer recharge) ή τον «T.E.» (Gale et al., 2002). Με άλλα λόγια, λοιπόν, ως T.E. μπορεί να οριστεί η είσοδος πρόσθετων ποσοτήτων νερού σε υδροφόρα συστήματα μέσω της κατασκευής τεχνικών έργων, της επιφανειακής κατάκλυσης με νερό και της μεταβολής των φυσικών συνθηκών της λεκάνης (Todd και Mays, 2005).

Κατά το Bouwer (1989), ως νερό T.E. μπορεί να αξιοποιηθεί το πλεονάζον νερό υδατορευμάτων, υδραγωγείων ή εγκαταστάσεων μεταφοράς νερού, η απορροή καταιγίδων, η τήξη του πάγου, επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα ή άλλου είδους υγρά απόβλητα.

Συνήθως, ο T.E. εξυπηρετεί έναν ή συνδυασμό από τους ακόλουθους στόχους (Aronovici et al, 1972, Franson, 1989, Harpaz, 1971, Lihola, 1989, Καλλέργης, 1986, Todd και Mays, 2005, Walton, 1970, Wilson, 1985):

- Την αύξηση των αξιοποιήσιμων ποσοτήτων υπόγειων νερών ή την προσωρινή ταμίευση νερού για μελλοντική χρήση ή κάλυψη περιοδικών αναγκών, λ.χ. των αρδευτικών.
- Την αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας υδροφόρων συστημάτων, η οποία έχει διαταραχθεί λόγω υπεράντλησης ή την πρόληψη πιθανής διατάραξης του υδρολογικού ισοζυγίου.
- Την άνοδο της στάθμης παράκτιων υδροφόρων συστημάτων, ώστε να λειτουργήσει ως υδραυλικό «εμπόδιο» στην εισχώρηση υφάλμυρου νερού.
- Τη διατήρηση της στάθμης των υδροφόρων συστημάτων σε ικανοποιητικό επίπεδο προς αποφυγή καθιζήσεων της εδαφικής επιφάνειας.
- Τη μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών.
- Τον καθαρισμό των επιφανειακών νερών μέσω της διήθησής τους από κατάλληλες εδαφικές στρώσεις, ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές.

- ✦ Τη συντήρηση της ελαττωμένης παροχής ή την επαναφόρτιση παροχής, η οποία έχει στερέψει λόγω άντλησης σε γεώτρηση ή υδρομαστευτικό έργο.
- ✦ Την προώθηση της ενεργειακής χρήσης του νερού σε περιοχές γεωθερμικού πεδίου μέσω της εισόδου κρύου νερού και της άντλησης ζεστού.
- ✦ Την υποστήριξη της λειτουργίας της ψύξης σε εργοστασιακές εγκαταστάσεις μέσω της εισαγωγής θερμού νερού και της άντλησης κρύου.
- ✦ Την αντιμετώπιση των πλημμυρών μέσω της διοχέτευσης τμήματος των πλημμυρικών παροχών σε περιοχές, όπου εφαρμόζεται Τ.Ε.
- ✦ Την αποκατάσταση της στάθμης των υπόγειων νερών, όταν έχει υποστεί σημαντική ταπείνωση από διάφορα αίτια: Για παράδειγμα, ο Τ.Ε. μπορεί να αποτελέσει λύση, όταν ο ρυθμός της φυσικής ανανέωσης του υδατικού δυναμικού είναι χαμηλός.
- ✦ Την άντληση πετρελαίου υπό περισσότερο συμφέροντες από οικονομικής άποψης όρους.

Η εφαρμογή του Τ.Ε. προϋποθέτει αρχικά την ύπαρξη επιφανειακών νερών σε επαρκή ποσότητα, με κατάλληλη ποιότητα και χημική συμβατότητα με τα υπόγεια, όπου θα διοχετευτούν. Επιπροσθέτως, η περιοχή όπου λαμβάνει χώρα επαναφόρτιση των υπόγειων νερών πρέπει να περιλαμβάνει εδαφικούς σχηματισμούς με μεγάλη περατότητα, κατάλληλη γεωμορφολογία και υδροφόρα συστήματα σε αλληλουχία και με υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Τέλος, το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος της εφαρμογής, τα οποία έχουν εκτιμηθεί κατά το σχεδιασμό, πρέπει να κρίνονται ως βιώσιμα.

Μεταξύ των θετικών επιπτώσεων των εφαρμογών Τ.Ε. περιλαμβάνονται η ποιοτική αναβάθμιση των υπόγειων νερών, η συντήρηση των πηγών, των υγρότοπων και της ποσότητας των υδροφόρων συστημάτων, η αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρισης, η προστασία υπαρχουσών γεωτρήσεων από υπεράντληση και η μείωση των υδατικών απωλειών λόγω της απουσίας εξάτμισης στα υπόγεια νερά.

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα του Τ.Ε. επισκιάζονται από σημαντικά μειονεκτήματα (Oaksford, 1985, Buchan, 1958), όπως:

- ✦ Το απαγορευτικό οικονομικό κόστος, που δημιουργείται από τις φυσικές συνθήκες για την υποστήριξη εργασιών επαναφόρτισης των υπόγειων νερών.
- ✦ Τη μεγάλη απαιτούμενη έκταση γης για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση ενός συστήματος διάθεσης υπόγειων νερών σε αναλογία με την αντίστοιχη που αξιοποιείται κατά τη χρήση επιφανειακών νερών.
- ✦ Τις απαιτήσεις για διαρκή παρακολούθηση των τεχνικών έργων, που υποστηρίζουν τις εφαρμογές Τ.Ε., καθώς και της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται.
- ✦ Τη δυσκολία απομάκρυνσης των αλάτων ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg), σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn) και άλλων στοιχείων, που περιέχονται στο νερό Τ.Ε.
- ✦ Την εμφάνιση του φαινομένου απόφραξης των εδαφικών πόρων.
- ✦ Τη δυσχερή αποστράγγιση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων σε περιπτώσεις απρόβλεπτων υδατικών απαιτήσεων.
- ✦ Τη πιθανή αδυναμία επαναφόρτισης των υπόγειων νερών με νερό Τ.Ε.

Τα δημοτικά υγρά απόβλητα, στα οποία καταλήγει περίπου το 80% της υδατικής κατανάλωσης, αποτελούν μια αξιοποιήσιμη πρόταση για τον Τ.Ε. και κατ' επέκταση για τη διαχείριση της υποβάθμισης των υδατικών πόρων. Είναι κοινώς παραδεχτό

ότι τα υγρά απόβλητα αποτελούν το μοναδικό πόρο που αυξάνει με την αύξηση του πληθυσμού και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου. Μέσω ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού, το ανακτημένο νερό εξασφαλίζει ευελιξία σε περιόδους βραχυχρόνιου υδατικού ελλείμματος, καθώς και αυξάνει τη δυνατότητα τροφοδοσίας μακροπρόθεσμα (Abdel-Jawad et al., 1999).

Στην Ελλάδα, ειδικά προβλήματα υδατικών πόρων εμφανίζονται στις παράκτιες ανατολικές περιοχές και στα Αιγαίοπελαγίτικα νησιά (Angelakis et al., 1999). Επιπροσθέτως, η υπεράντληση των υπόγειων νερών για γεωργική χρήση επιτρέπει την είσοδο υφάλμυρου νερού στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα και την άνοδο της στάθμης τους. Η υφαλμύριση του νερού οδηγεί στην ερημοποίηση και εμφανίζεται, εκτός από την Ελλάδα, και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, την Αυστραλία, την Ιαπωνία και το Ισραήλ. Η αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού αποτελεί πρωταρχικό στόχο της επιστημονικής κοινότητας με οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αντιμετωπίζονται ως πιθανή λύση για το φαινόμενο αυτό, κυρίως σε χώρες του εξωτερικού, όμως η επαναχρησιμοποίησή τους στην Ελλάδα δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένη. Με τον τρόπο αυτό, τεράστιες ποσότητες αποβλήτων, οι οποίες είναι δυνητικά πολύτιμοι φυσικοί πόροι, παραμένουν αναξιοποίητες.

Οι θεμελιώδεις περιορισμοί για την εφαρμογή του Τ.Ε. ως εναλλακτικής επιλογής «ανακύκλωσης» των υγρών αποβλήτων αφορούν κυρίως στην έλλειψη (μέχρι πρόσφατα, διότι με την ΚΥΑ 145116/2011 επιδιώκεται η προώθηση της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων) ενός ολοκληρωμένου νομοθετικού πλαισίου και την εξασφάλιση ότι τα υπόγεια νερά δεν θα χρησιμοποιηθούν ως νερό πόσης. Παράμετροι, όπως τα βαρέα μέταλλα, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι διαλυμένοι ανόργανοι ρύποι και οι οργανικές ενώσεις, επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις και πρέπει να ελέγχονται διαρκώς κατά τη διάρκεια της επαναφόρτισης υδροφόρων οριζόντων. Πειράματα σε ζώα έχουν αποδείξει ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των ανωτέρω ρυπαντών είναι πιθανό να προκαλέσουν καρκινογένεση και δημιουργία όγκων.

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι ο Τ.Ε. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με ανακτημένο νερό από ΕΕΛ αποτελεί μεν μια πρόκληση για το μέλλον τόσο σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής, όσο και σε ζητήματα προστασίας του κοινού, θα πρέπει να αξιολογείται και να εφαρμόζεται δε ιδιαιτέρως προσεκτικά. Η κατάρτιση συγκεκριμένων ποιοτικών κριτηρίων καθίσταται ιδιαιτέρως δυσχερής, εφόσον κάθε επιμέρους περίπτωση περιλαμβάνει ειδικές απαιτήσεις για την ποιότητα του ανακτημένου νερού και διαφορετικά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Το WPCF (1989) ορίζει ότι κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος Τ.Ε. πρέπει να συνεκτιμώνται οι ακόλουθες παράμετροι (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας κ.α., 2004, Kumar et al., 2008):

✦ **Ο ρυθμός επαναφόρτισης του υδροφόρου συστήματος με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, ο οποίος επηρεάζει το βαθμό ανάμιξης με το φυσικό νερό, την αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα, το ρυθμό ροής των υπόγειων νερών, την περιοχή του Τ.Ε. και την απόσταση από το πλησιέστερο πηγάδι.**

✦ **Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο υπέδαφος, ο οποίος απαιτείται ώστε να αδρανοποιηθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και να βιοαποικοδομηθούν οι επιβλαβείς χημικές ενώσεις.**

- ✦ Το πάχος της ακόρεστης εδαφικής ζώνης, το οποίο πρέπει να ξεπερνά τα 3m, ώστε να επιτυγχάνεται η περαιτέρω επεξεργασία των αποβλήτων.
  - ✦ Οι γεωλογικές συνθήκες, οι οποίες επιδρούν στο εύρος της διήθησης και της προσρόφησης.
  - ✦ Η ποιότητα των υπόγειων νερών, η οποία οφείλει να ελέγχεται μέσω δειγματοληψιών ανάντη και κατόντη από το σημείο όπου λαμβάνει χώρα ο Τ.Ε.
  - ✦ Η μέθοδος Τ.Ε., η οποία περιλαμβάνει τη μελέτη του υδρογεωλογικού καθεστώτος του ταμιευτήρα, το δίκτυο ροής και τις γεωτρήσεις έγχυσης.
- Όλες οι προαναφερθείσες παράμετροι θα αναλυθούν στα ακόλουθα υποκεφάλαια της εργασίας.

## 5.1. Το ύβωμα του Τ.Ε.

Το νερό Τ.Ε. επιφέρει τις εξής επιπτώσεις στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα (Διαμαντής και Πλιάκας, 2013):

- ✦ Την ανύψωση της στάθμης των υπόγειων νερών στα ελεύθερα υδροφόρα συστήματα.
- ✦ Την άνοδο της πιεζομετρικής επιφάνειας στα αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα.
- ✦ Την αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας των υδροφόρων συστημάτων.

Η τροφοδότηση του υδροφόρου συστήματος με το νερό Τ.Ε., προκαλεί το σχηματισμό ενός υβώματος Τ.Ε. στην επιφάνεια του πρώτου. Η γεωμετρία του υβώματος Τ.Ε. κάτω από μια επιφάνεια κατάκλυσης προκύπτει ως συνάρτηση των υδραυλικών παραμέτρων και των οριακών συνθηκών του υδροφόρου συστήματος, καθώς και επηρεάζεται από την υδραυλική διάχυση, την ποσότητα του νερού Τ.Ε. και τη διάρκεια εφαρμογής της φόρτισης (Baumann, 1965, Bittinger και Tzeleas, 1965, Hantush, 1967, Haskell και Bianchi, 1965). Κατά τη διάρκεια του Τ.Ε., το ύβωμα Τ.Ε. ανυψώνεται, ενώ κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης, η οποία λαμβάνει χώρα για λόγους συντήρησης του έργου, το ύβωμα Τ.Ε. υποχωρεί. Από την άλλη πλευρά, η αποθηκευτικότητα του υδροφόρου συστήματος εξαρτάται από το συντελεστή υδροχωρητικότητας ή εναποθήκευσης (S), τη μεταβιβαστικότητα (T), την ποσότητα του νερού Τ.Ε. και τις οριακές συνθήκες του υδροφόρου συστήματος (Roscoe Moss Company, 1990).

Η εξέλιξη του υβώματος Τ.Ε. και η επιρροή του νερού Τ.Ε. στη στάθμη των υπόγειων νερών σε διάφορες αποστάσεις από τις επιφάνειες κατάκλυσης έχουν αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημόνων (Baumann, 1965, Bittinger και Tzeleas, 1965, Hantush, 1967). Η μαθηματική εξίσωση του Hantush (Bouwer, 1978) περιγράφει ένα απλό σύστημα κατείσδυσης του νερού Τ.Ε. σε ένα υδροφόρο σύστημα. Στην περίπτωση κατά την οποία το σύστημα περιλαμβάνει περισσότερες παραμέτρους, όπως η κλίση των φυσικών υπόγειων νερών, οι μηχανισμοί ανανέωσης του νερού (χειμαρροί, πηγάδια, πηγές), οι μηχανισμοί χρησιμοποίησης του νερού (άρδευση κ.α.), οι οποίες το καθιστούν περισσότερο πολύπλοκο, η απόκρισή του στον Τ.Ε. περιγράφεται με μοντέλα που βασίζονται στις πεπερασμένες διαφορές ή τα πεπερασμένα στοιχεία και προκύπτουν από τις γενικές διαφορικές εξισώσεις της μη μόνιμης δισδιάστατης ροής των υπόγειων νερών:

- ✦ Για αρτεσιανό (ή υπό πίεση) υδροφόρο σύστημα:

$$\frac{\theta}{\theta_x} \left( T_x \frac{\theta h}{\theta_x} \right) + \frac{\theta}{\theta_y} \left( T_y \frac{\theta h}{\theta_y} \right) = S \frac{\theta h}{\theta t}$$

- ✦ Για φρεάτιο υδροφόρο σύστημα:

$$\frac{\theta}{\theta_x} \left( K_{xh} \frac{\theta h}{\theta_x} \right) + \frac{\theta}{\theta_y} \left( K_{yh} \frac{\theta h}{\theta_y} \right) = S_y \frac{\theta h}{\theta t}$$

Οι γενικές εξισώσεις τις δισδιάστατης ροής όταν λαμβάνει χώρα η άντληση μιας γεώτρησης είναι:

- ✦ Για ομοιογενές και ισότροπο αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα (Σχήμα 5.1):

$$\frac{\theta^2 h}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 h}{\theta y^2} = \frac{S}{T} \frac{\theta h}{\theta t}$$

$$\frac{\theta^2 h}{\theta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\theta h}{\theta r} = \frac{S}{T} \frac{\theta h}{\theta t}$$

$$\frac{\theta^2 h}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 h}{\theta y^2} = 0 \quad , \text{ (εξίσωση Laplace σταθερής ροής)}$$

$$\frac{\theta^2 s}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 s}{\theta y^2} = \frac{S}{T} \frac{\theta s}{\theta t}$$

$$\frac{\theta^2 s}{\theta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\theta s}{\theta r} = \frac{S}{T} \frac{\theta s}{\theta t}$$



Σχήμα 5.1: Ακτινωτή ροή κατά την άντληση γεώτρησης σε αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα (Todd και Mays, 2005)

- ✦ Για ομοιογενές και ισότροπο φρεάτιο υδροφόρο σύστημα (Σχήμα 5.2):

$$\frac{\theta}{\theta x} \left( h \frac{\theta h}{\theta x} \right) + \frac{\theta}{\theta y} \left( h \frac{\theta h}{\theta y} \right) = \frac{S_y \theta h}{K \theta t}$$

Η εξίσωση Boussinesq μετατρέπεται στην:

$$\frac{\theta^2 h}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 h}{\theta y^2} = \frac{S_y \theta h}{K b \theta t}, \text{ όταν } h \ll h_0 \text{ και } h \approx b.$$

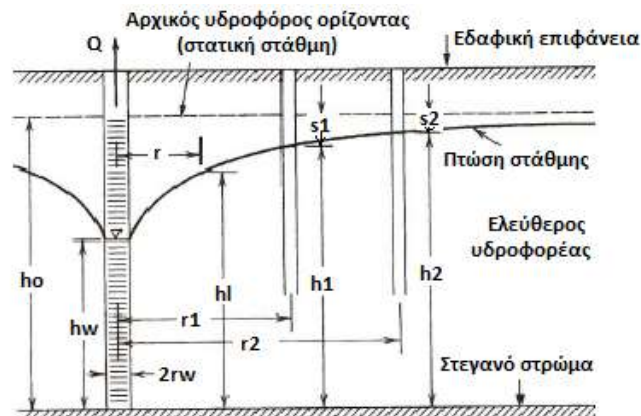
$$\frac{\theta^2 h}{\theta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\theta^2 h}{\theta r} = \frac{2 S_y \theta h}{K \theta t}$$

$$\frac{\theta}{\theta x} \left[ (h_0 - s) \frac{\theta s}{\theta x} \right] + \frac{\theta}{\theta y} \left[ (h_0 - s) \frac{\theta s}{\theta y} \right] = \frac{S_y \theta s}{K \theta t}$$

$$\frac{\theta^2 s}{\theta r^2} - \frac{1}{h_0 - s} \left( \frac{\theta s}{\theta r} \right)^2 + \frac{1}{r} \frac{\theta s}{\theta r} = \frac{S_y \theta s}{K (h_0 - s) \theta t}$$

Η τελευταία εξίσωση μετατρέπεται στην:

$$\frac{\theta^2 s}{\theta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\theta s}{\theta r} = \frac{S_y \theta s}{K h_0 \theta t}, \text{ όταν } s \ll 0,02 h_0.$$



Σχήμα 5.2: Ακτινωτή ροή κατά την άντληση γεώτρησης σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα (Todd και Mays, 2005)

- ✦ Για ομοιογενές και ισότροπο υδροφόρο σύστημα με διαρροές (Σχήμα 5.3):

$$\frac{\theta^2 h}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 h}{\theta y^2} + \frac{h_0 - h}{\lambda^2} = \frac{S \theta h}{T \theta t}$$

$$\frac{\theta^2 h}{\theta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\theta h}{\theta r} + \frac{h_0 - h}{\lambda^2} = \frac{S \theta h}{T \theta t}$$

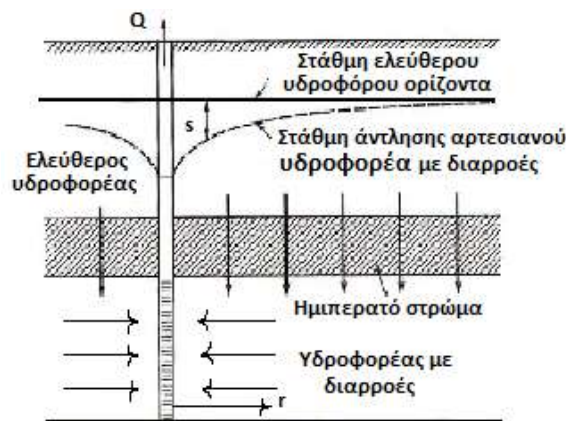
$$\frac{\theta^2 s}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 s}{\theta y^2} - \frac{s}{\lambda^2} = \frac{S \theta s}{T \theta t}$$

$$\frac{\theta^2 s}{\theta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\theta s}{\theta r} - \frac{s}{\lambda^2} = \frac{S \theta s}{T \theta t}$$

Ισχύει:  $\lambda = (Kbc)^{1/2}$ , όπου  $c = b'/K'$ : η υδραυλική αντίσταση,  $K'$ : η υδραυλική αγωγιμότητα του ημιπερατού στρώματος,  $b'$ : το πάχος του ημιπερατού στρώματος.

Ο προσδιορισμός των λύσεων των ανωτέρω διαφορικών εξισώσεων έλαβε χώρα κατόπιν ορισμένων παραδοχών (Haskell και Bianchi, 1965):

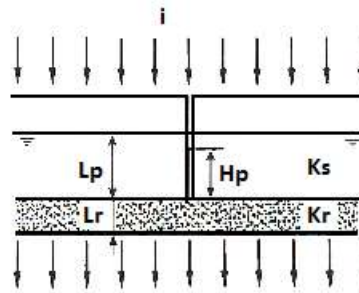
- ✦ Το υδροφόρο σύστημα θεωρείται ομοιογενές και ισότροπο.
- ✦ Ο Τ.Ε. συντελείται με ομοιόμορφο ρυθμό.
- ✦ Η διεύθυνση ροής του νερού Τ.Ε. είναι η κατακόρυφος.
- ✦ Η κορυφή του υβώματος Τ.Ε. δεν ενώνεται με τον πυθμένα της επιφάνειας κατάκλυσης.
- ✦ Το ύψος του υβώματος Τ.Ε. είναι μικρότερο από το αρχικό πάχος της κορεσμένης ζώνης του υδροφόρου συστήματος.



**Σχήμα 5.3:** Ακτινωτή ροή κατά την άντληση γεώτρησης σε υδροφόρο σύστημα με διαρροές (Todd και Mays, 2005)

Το ύβωμα Τ.Ε. μπορεί να είναι κρεμαστό (perched mounding) ή να δημιουργηθεί στο υδροφόρο σύστημα (aquifer mounding). Η πρώτη περίπτωση εμφανίζεται, όταν οι εδαφικοί σχηματισμοί της ακόρεστης ζώνης έχουν μικρότερη υδραυλική αγωγιμότητα από το ρυθμό διήθησης του νερού Τ.Ε. Το νερό συγκεντρώνεται επάνω από τους σχηματισμούς αυτούς (κρεμαστή στρώση) και δημιουργούνται τα κρεμαστά υπόγεια νερά (perched groundwater). Το ύψος του κρεμαστού υβώματος Τ.Ε. αυξάνει μέχρις ότου η ροή του νερού διαμέσου της κρεμαστής στρώσης να εξισωθεί με την ταχύτητα με την οποία το νερό διηθείται από τον πυθμένα της επιφάνειας κατάκλυσης. Σε αυτή την περίπτωση επιτυγχάνεται η κατάσταση ισορροπίας. Η ροή του νερού σε εφαρμογές Τ.Ε., που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση γης, αντιμετωπίζεται ως μονοδιάστατη (κατά την κατακόρυφο) (Σχήμα 5.4).





**Σχήμα 5.4:** Σύστημα διήθησης με κρεμαστά υπόγεια νερά επάνω από παρεμβαλλόμενη εδαφική στρώση (Bouwer, 2002)

Ο υπολογισμός της στάθμης ισορροπίας του κρεμαστού νερού επιτυγχάνεται, εάν εφαρμοστεί δύο φορές (ροή επάνω από την κρεμαστή στρώση, ροή διαμέσου της κρεμαστής στρώσης) ο νόμος του Darcy (Bouwer, 1999).

Η εξίσωση υπολογισμού του ύψους του υβώματος T.E. είναι η ακόλουθη:

$$L_p = L_r \frac{V_i/K_r - 1}{1 - V_i/K_s}, \text{ όπου}$$

$L_p$ : το ύψος ισορροπίας του κρεμαστού υβώματος T.E. επάνω από την κρεμαστή στρώση,

$L_r$ : το πάχος της στρώσης,

$V_i$ : ο ρυθμός διήθησης της κατακόρυφης ροής διαμέσου του εδάφους και διαμέσου της στρώσης,

$K_r$ : η υδραυλική αγωγιμότητα της στρώσης και

$K_s$ : η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους επάνω από τη στρώση.

Όταν  $V_i \ll K_s$  και  $V_i \gg K_r$ , η προαναφερθείσα εξίσωση λαμβάνει την πλέον απλή μορφή:

$$L_p = V_i \frac{L_r}{K_r}$$

Ο ρυθμός διήθησης ( $V_i$ ) είναι μικρότερος από την υδραυλική αγωγιμότητα επάνω από την κρεμαστή στρώση ( $K_s$ ) διότι οι επιφανειακοί εδαφικοί σχηματισμοί απαρτίζονται από κόκκους μικρότερου μεγέθους σε σχέση με τους σχηματισμούς σε μεγαλύτερο βάθος. Επίσης μπορεί να έχει λάβει χώρα απόφραξη των εδαφικών πόρων του πυθμένα του συστήματος T.E. και να δυσχεραίνεται η διήθηση του νερού.

Η αύξηση του ύψους ισορροπίας του υβώματος T.E. κατά τη διήθηση από σύστημα T.E. και η μείωσή του ύστερα από το πέρας της διήθησης αποτέλεσε αντικείμενο ενδελεχούς έρευνας πολλών μελών της επιστημονικής κοινότητας (Glover, 1964, Hantush, 1967, Marino, 1975a και 1975b, Warner et al., 1989). Όταν το εδαφικό προφίλ διαμορφώνεται σε στρώσεις, τα κρεμαστά στρώματα σχηματίζονται ως φακοί και προκαλούν παράπλευρη ροή του νερού, γεγονός που μειώνει το ύψος ισορροπίας του κρεμαστού υβώματος T.E.. Άλλη μια περίπτωση, όπου μειώνεται η στάθμη ισορροπίας (και δεν έχουν πλέον ισχύ οι δύο ανωτέρω εξισώσεις), είναι εκείνη των επιμήκων λεκανών T.E. Τότε, το κρεμαστό ύβωμα T.E. επεκτείνεται πλευρικά επάνω από την κρεμαστή στρώση, το νερό διηθείται

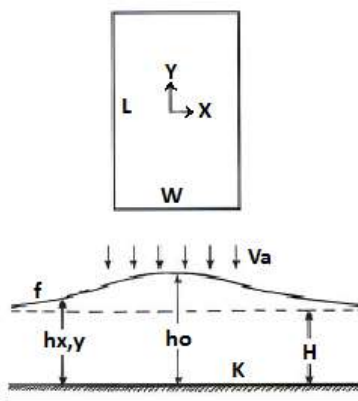
διαμέσου μιας μεγαλύτερης έκτασης, από αυτή που προβλεπόταν με το σύστημα διήθησης, και ελαττώνεται το ύψος του υβώματος T.E. (Bouwer, 1962).

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις παραπάνω εξισώσεις έγκειται στην ορθή εκτίμηση της μεταβιβαστικότητας του υδροφόρου συστήματος. Οι πλέον ορθές τιμές μεταβιβαστικότητας προέρχονται από ρυθμισμένα μοντέλα, έπονται σε αξιοπιστία εκείνες οι οποίες προέρχονται από δοκιμές άντλησης, ενώ οι λιγότερο αξιόπιστες τιμές προκύπτουν από δοκιμές στιγμιαίας φόρτισης (slug tests) (Butler, 1997). Στην τελευταία περίπτωση, εμφανίζεται έντονα το πρόβλημα της κλίμακας, δηλαδή οι μετρήσεις που λαμβάνονται σε συγκεκριμένα σημεία δεν μπορούν να αντιπροσωπεύουν επαρκώς τη μεταβιβαστικότητα για το σύνολο της έκτασης του υδροφόρου συστήματος. Επίσης όταν το υδροφόρο σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη έκταση, οι τιμές μεταβιβαστικότητας παρουσιάζονται υποτιμημένες, εάν η εξαγωγή τους γίνεται από τους μέσους όρους πολλών δοκιμών (Bouwer, 1996). Η πιθανή συγκράτηση ιλύος στο φίλτρο της γεώτρησης μειώνει τις τιμές μεταβιβαστικότητας στις δοκιμές στιγμιαίας φόρτισης. Όταν το πάχος του υδροφόρου συστήματος είναι σημαντικό, οι γραμμές ροής του νερού T.E. συγκεντρώνονται στην ανώτερη περιοχή του υδροφόρου συστήματος, ενώ στην κατώτερη η ροή παραμένει στάσιμη. Σε αυτή την περίπτωση, εάν χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς η τιμή της μεταβιβαστικότητας ανάμεσα στη στάθμη των υπόγειων νερών και στο κατώτερο στεγανό όριο, η στάθμη ισορροπίας προκύπτει μικρότερη από την πραγματική. Τέλος, εάν το ύψωμα T.E. έχει μεγάλη διάρκεια (όπως στην περίπτωση ταμίευσης του νερού μιας κοίτης σε περιοχές όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μεγάλο βάθος), υποτιμάται η μεταβιβαστικότητα, όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η άνοδος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και υπερεκτιμάται η στάθμη ισορροπίας του υβώματος T.E..

Η καλύτερη λύση, ώστε να προκύψουν ορθές τιμές μεταβιβαστικότητας σε εφαρμογές T.E., είναι να εκτελεστεί μια δοκιμή διήθησης σε μια σημαντική εδαφική έκταση ή ένα πιλοτικό πρόγραμμα επαναφόρτισης. Η μεταβιβαστικότητα υπολογίζεται από το ύψος του υβώματος T.E., λ.χ. από την εξίσωση του Hantush. Το πορώδες (fillable porosity), που θα χρησιμοποιηθεί στις μαθηματικές εξισώσεις, πρέπει να λαμβάνεται ως η διαφορά του υπάρχοντος περιεχόμενου νερού και του νερού της κορεσμένης ζώνης, που υπόκειται του συστήματος διήθησης.

Η εξίσωση του Hantush έχει τη μορφή (Σχήμα 5.5):

$$h_{xyt} - H = \frac{V_a t}{4f} \begin{cases} F\left[\left(\frac{W}{2} + \chi\right)n, \left(\frac{L}{2} + y\right)n\right] \\ + F\left[\left(\frac{W}{2} + \chi\right)n, \left(\frac{L}{2} - y\right)n\right] \\ + F\left[\left(\frac{W}{2} - \chi\right)n, \left(\frac{L}{2} + y\right)n\right] \\ + F\left[\left(\frac{W}{2} - \chi\right)n, \left(\frac{L}{2} - y\right)n\right] \end{cases}$$



Σχήμα 5.5: Τα μεγέθη της εξίσωσης Hantush (Bouwer, 2002)

Στην ανωτέρω εξίσωση το μέγεθος  $h_{x,y,t}$  είναι το ύψος των υπόγειων νερών επάνω από το στεγανό όριο κατά τους άξονες  $x$  και  $y$ ,  $t$  είναι ο χρόνος δημιουργίας του υβώματος Τ.Ε. από την έναρξη του Τ.Ε. και έπειτα,  $H$  η αρχική στάθμη των υπόγειων νερών μετρημένη από το κατώτερο στεγανό όριο,  $V_a$  ο ρυθμός τροφοδοσίας των υπόγειων νερών με το νερό Τ.Ε. από την επιφάνεια διήθησης,  $f$  το ακόρεστο πορώδες,  $L$  το μήκος της περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε. (λ.χ. της λεκάνης Τ.Ε.) κατά τη διεύθυνση  $y$ ,  $W$  το πλάτος της περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε. κατά τη

διεύθυνση  $x$ ,  $n=(4tT/f)^{-1/2}$  και  $F(\alpha, \beta) = \int_0^1 \text{erf}(\alpha\tau^{-0.5})\text{erf}(\beta\tau^{-0.5})d\tau$  (Παράρτημα Β).

Το μέγεθος  $\alpha$  προκύπτει από την εξίσωση:

$$\alpha=(W/2+x)n \text{ ή } \alpha=(W/2-x)n$$

Το μέγεθος  $\beta$  δίνεται από τη σχέση:

$$\beta=(L/2+y)n \text{ ή } \beta=(L/2-y)n$$

Το 1962, ο Bouwer απέδειξε ότι για επιμήκεις επιφάνειες Τ.Ε. και για μεγάλο πάχος υδροφόρου συστήματος, το πάχος της ανώτερης περιοχής (ενεργού τμήματος) του υδροφόρου συστήματος ισούται με το πλάτος της περιοχής Τ.Ε. Σε αυτή την περίπτωση, η ενεργή μεταβιβασιμότητα προκύπτει ως το γινόμενο του πλάτους της περιοχής Τ.Ε. επί την υδραυλική αγωγιμότητα της ενεργής περιοχής. Το 1974, ο ίδιος επιστήμονας εφήρμοσε ένα προσομοιωμένο μοντέλο σε υδροφόρο σύστημα, το οποίο είχε εμπλουτιστεί, και συγκέντρωσε μετρήσεις από πιεζόμετρα σε διαφορετικά βάθη στο κέντρο του υβώματος Τ.Ε., που είχε σχηματιστεί, ώστε να προσδιορίσει υδραυλική αγωγιμότητα στις δύο διευθύνσεις (κάθετη και οριζόντια).

Εάν στην ακόρεστη ζώνη δημιουργηθεί σημαντική κρεμαστή και πλευρική ροή, ο ρυθμός τροφοδοσίας των υπόγειων νερών με το νερό Τ.Ε. από την επιφάνεια διήθησης ( $V_a$ ) είναι μικρότερος από το μέσο ρυθμό της περιοχής Τ.Ε. και οι διαστάσεις του συστήματος Τ.Ε. ( $L$  και  $W$ ) προκύπτουν μεγαλύτερες από τις πραγματικές διαστάσεις του συστήματος διήθησης. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, το  $V_a$  αντιπροσωπεύει το ρυθμό διήθησης της συνολικής περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε. (όπως και οι διαστάσεις  $L$  και  $W$ ), ακόμη και των περιοχών που βρίσκονται ανάμεσα από τις επιφάνειες Τ.Ε. και δεν έχουν καταβρεχθεί.

Η επίπτωση του Τ.Ε. στη στάθμη των υπόγειων νερών σε μεγάλη απόσταση από το σημείο εφαρμογής του εκτιμάται από την εξίσωση Theis. Ορισμένα υπολογιστικά προγράμματα (λ.χ. το Modflow, McDonald και Harbaugh, 1988) χρησιμοποιούνται για την περιγραφή πολύπλοκων συστημάτων Τ.Ε., τα οποία περιλαμβάνουν πρόσθετες εισροές Τ.Ε. και θέσεις άντλησης νερού. Εμπειρικά αποδεικνύεται ότι όσο πιο μακριά βρίσκονται τα υπόγεια νερά από τη θέση Τ.Ε., τόσο πιο αργά ανυψώνεται η στάθμη τους και συνεπώς η επιφάνειά τους μπορεί να θεωρείται σταθερή.

Τα συστήματα Τ.Ε. που αποτελούνται από πολυάριθμες επιφάνειες Τ.Ε. και η συμπεριφορά τους μπορεί να περιγραφεί από εξισώσεις μόνιμης ή σταθερής ροής (steady state equations). Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το σχήμα τους:

✦ **Επιμήκεις λεκάνες:** Το μήκος (L) των επιφανειών Τ.Ε. είναι τουλάχιστον πέντε φορές το πλάτος τους (W) (Σχήμα 5.6). Γίνονται οι παραδοχές ότι κάτω από την επιφάνεια διήθησης η πλευρική ροή αυξάνει γραμμικά με την απόσταση από το κέντρο και μακριά από την επιμήκη επιφάνεια τα υπόγεια νερά ακολουθούν γραμμική οριζόντια ροή (Dupuit Forchheimer flow). Ανάμεσα στο άκρο του συστήματος και σε απόσταση από το κέντρο ίση με το μισό πλάτος (W/2) η πλευρική ροή θεωρείται σταθερή (ύψος υπόγειων νερών  $h_e$ ). Επίσης θεωρείται σταθερή στη στάθμη σταθερού ελέγχου σε απόσταση  $L_n$  από το άκρο.

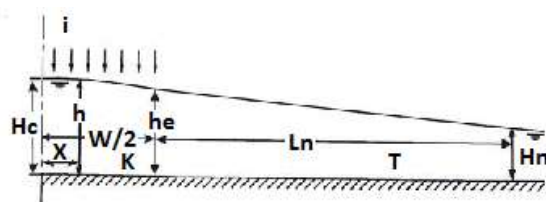
Η μαθηματική σχέση που περιγράφει καλύτερα το σύστημα διήθησης είναι:

$$H_c - H_n = \frac{iW}{2T} \left( \frac{W}{4} + L_n \right), \text{ όπου}$$

$H_c$ : το ύψος του υβώματος Τ.Ε. κάτω από το κέντρο της επιφάνειας Τ.Ε., όταν υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στην τροφοδοσία των υπόγειων νερών και την άντλησή τους (Bouwer, 1999)

$H_n$ : το ύψος των υπόγειων νερών στην περιοχή ελέγχου

$i$ : ο μέσος ρυθμός διήθησης στην περιοχή Τ.Ε. (δηλαδή το πηλίκο του συνολικού Τ.Ε. προς το συνολικό εμβαδό της περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε.).



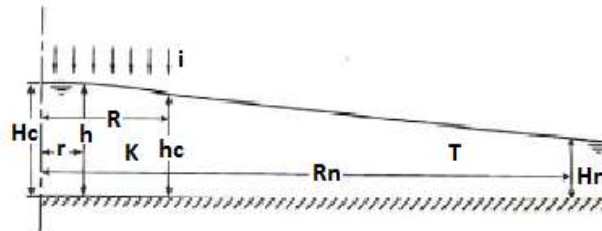
**Σχήμα 5.6:** Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υβώματος Τ.Ε. κάτω από επιμήκη λεκάνη Τ.Ε. (Glover, 1964, Bouwer, 2002)

✦ **Στρογγυλές, τετράγωνες ή ακονόνιστες λεκάνες:** Σε αυτή την περίπτωση, οι επιφάνειες Τ.Ε. προσομοιώνονται με μια ισοδύναμη κυκλική περιοχή (Σχήμα 5.7). Η ροή των υπόγειων νερών προσομοιώνεται με την κυκλική ροή (Bouwer, 1999) γύρω από την επιφάνεια. Το ύψος ισορροπίας του υβώματος Τ.Ε. πάνω από τη στάθμη των υπόγειων νερών και σε απόσταση  $R_n$  από το κέντρο της επιφάνειας δίνεται από τη σχέση:

$$H_c - H_n = \frac{iR^2}{4T} \left( 1 + \frac{2 \ln R_n}{R} \right), \text{ όπου}$$

R: η ισοδύναμη ακτίνα της περιοχής Τ.Ε.

Rn: η απόσταση από το κέντρο της επιφάνειας Τ.Ε. μέχρι το σημείο που εξετάζεται.



**Σχήμα 5.7:** Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υβώματος Τ.Ε. κάτω από κυκλική λεκάνη Τ.Ε. (Bouwer, 1999 και 2002)

Η στάθμη ισορροπίας του υβώματος Τ.Ε. που υπόκειται μιας κυκλικής επιφάνειας εκτιμάται επίσης με τις εξισώσεις του Hantush (1967):

📖 Στην περίπτωση όπου  $t \geq r^2 S_y / 2P_h m_\alpha$  και  $r \leq R$ , η στάθμη ισορροπίας δίνεται από την εξίσωση:

$$h_m = \left\{ \frac{WR^2}{2P_h} \left\{ W(u_0) - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \exp(-u_0) + \frac{1}{u_0} [1 - \exp(-u_0)] \right\} + h_i^2 \right\}^{0,5i}$$

📖 Στην περίπτωση όπου  $t \geq r^2 S_y / 2P_h m_\alpha$  και  $r \geq R$ , η στάθμη ισορροπίας δίνεται από την εξίσωση:

$$h_m = \left\{ \frac{WR^2}{2P_h} \{ W(u) + 0,5u_0 \exp(-u) \} + h_i^2 \right\}^{0,5}$$

Γενικά ισχύει:

$$u = \frac{R^2 S_y}{4R_h m_\alpha t}$$

$$u_0 = \frac{r^2 S_y}{4R_h m_\alpha t}$$

$$m_\alpha = 0,5(h_i + h_m), \text{ όπου}$$

hm: το ύψος του υβώματος Τ.Ε.

hi: η αρχική στάθμη των υπόγειων νερών με αφετηρία των μετρήσεων τη βάση του υδροφόρου συστήματος

W: η παροχή του νερού Τ.Ε.

R: η ακτίνα της κυκλικής επιφάνειας Τ.Ε.

Ph: η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου συστήματος στην οριζόντια διεύθυνση

r: η ενεργός ακτίνα της γεώτρησης

t: ο χρόνος μετά την άντληση

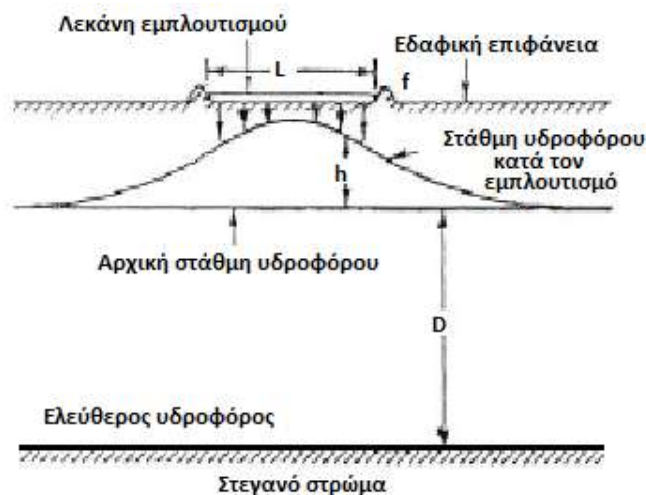
Sy: η ειδική απόδοση

W(u), W(u<sub>o</sub>): οι συναρτήσεις της γεώτρησης παρακολούθησης ή χαρακτηριστικές συναρτήσεις και για τις οποίες ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

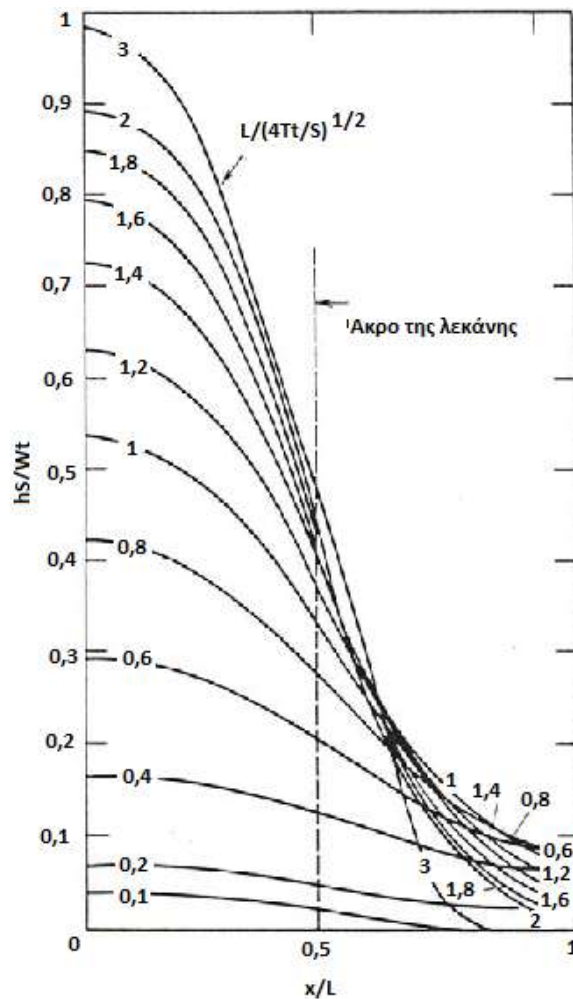
$$W(u) = -0,577216 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

■ s: η πτώση της στάθμης του υδροφόρου συστήματος μετά από την πάροδο χρόνου t στη γεώτρηση παρακολούθησης ( $s = QW(u)/4\pi T$ , όπου Q: η παροχή άντλησης, W(u): συνάρτηση η οποία έχει υπολογιστεί από το Wenzel (Παράρτημα Γ)).

Στην περίπτωση των τετράγωνων επιφανειών T.E., τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υβώματος T.E. μπορούν να εκτιμηθούν και από διάγραμμα (Σχήματα 5.8, 5.9). Το σύμβολο h αντιπροσωπεύει το ύψος του υβώματος T.E., το S το συντελεστή εναποθήκευσης του φρεατίου υδροφόρου συστήματος, το W την παροχή του νερού T.E., το t το χρόνο μετά την έναρξη του T.E., το L διάσταση της επιφάνειας T.E., το T τη μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου συστήματος, το x στην απόσταση από το κέντρο της επιφάνειας T.E. και το D το πάχος του υδροφόρου συστήματος.



**Σχήμα 5.8:** Το ύβωμα T.E. κάτω από μια τετράγωνη λεκάνη T.E. (Todd, 1980, Καλλέργης, 1986 και 2001, Bouwer, 1989)



**Σχήμα 5.9:** Γραφική εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του υβώματος Τ.Ε. κάτω από μια τετράγωνη λεκάνη Τ.Ε. (Bianchi και Muckel, 1970)

## 5.2. Οι μέθοδοι του Τ.Ε.

Ο Τ.Ε. των υπόγειων νερών μπορεί να συντελεστεί με πολυάριθμες μεθόδους (Meinzer, 1946, Muckel και Schiff, 1955, Buchan, 1958, Muckel, 1958 και 1959, Committee on Ground Water, 1961, Nightingale και Bianchi, 1977, Bianchi, 1978, Todd, 1980, Pettyjohn, 1981, Oaksford, 1985, Καλλέργης, 1986, Διαμαντής κ.α., 1994 και 1999, Bouwer, 1995, Πλιάκας και Διαμαντής, 1995 και 1999, Πλιάκας, 1998 και 2012, Pliakas et al., 2001, Todd και Mays, 2005, Bouwer, 2002, Gale et al., 2002, Διαμαντής και Πλιάκας, 2012 και 2013):

- ✦ Την επιφανειακή φόρτιση με τις ακόλουθες περιπτώσεις:
  - 📄 Μέθοδος λεκάνης κατάκλυσης (Basin Method).
  - 📄 Μέθοδος τάφρων και αυλακιών (Ditch and Furrow method).
  - 📄 Μέθοδος πλημμύρας (Flooding Method).
  - 📄 Μέθοδος διευθέτησης υδατορεύματος (Stream Channel Modification).
  - 📄 Επανεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδατορεύματος (Stream Flow Reactivation or Augmentation).
  - 📄 Μέθοδος άρδευσης (Irrigation Method).

- ✦ Την άμεση έγχυση στο υπέδαφος με τις εξής υποκατηγορίες:
  - 📄 Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (Natural Openings Method).
  - 📄 Μέθοδος ορυγμάτων (Pit Method).
  - 📄 Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (Reverse Drainage Method).
  - 📄 Μέθοδος με γεωτρήσεις Τ.Ε. (Recharge Well Method).
  - 📄 Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης και άντλησης (Aquifer Storage and Recovery, ASR Wells).
  - 📄 Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (Vadose Zone Wells).
- ✦ Συνδυασμός επιφανειακού και υπεδάφιου Τ.Ε. με τις υποκατηγορίες:
  - 📄 Συνδυασμός λεκάνης Τ.Ε. και αποστραγγιστικού δικτύου (Basins with Subsurface Drainage Collectors and Wells).
  - 📄 Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (Basins with Pits, Shafts or Wells).
- ✦ Μέθοδοι έμμεσου Τ.Ε. οι οποίες διακρίνονται περαιτέρω στις εξής:
  - 📄 Επαγωγικός Τ.Ε. (Induce Recharge).
  - 📄 Συμπωματικός Τ.Ε. (Incidental Recharge).
  - 📄 Διευθέτηση υδροφόρων συστημάτων (Aquifer Modification).
- ✦ Μέθοδοι Τ.Ε. με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα οι οποίες διαχωρίζονται στις ακόλουθες:
  - 📄 Συστήματα SAT.
  - 📄 Γεωτρήσεις μετά από προηγμένες διαδικασίες καθαρισμού (Advanced Wastewater Treatment, AWT).

Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή της πλέον κατάλληλης μεθόδου απαιτεί να συνυπολογιστούν οι ακόλουθες παράμετροι (Pettyjohn, 1981, Καλλέργης, 1986): η γεωλογία-υδρογεωλογία και η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής όπου θα εφαρμοστεί ο Τ.Ε., η διαθεσιμότητα εδαφικών εκτάσεων για την εγκατάσταση του συστήματος Τ.Ε., η προέλευση, η διαθεσιμότητα και οι κατάλληλες φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού Τ.Ε., η ύπαρξη ή η δυνατότητα κατασκευής των βασικών απαραίτητων έργων υποδομής, το απαιτούμενο κεφάλαιο για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρησή τους και η νομική κατοχύρωση των κριτηρίων Τ.Ε., που συνάδουν στην κάθε εφαρμογή.

### **5.2.1. Επιφανειακή φόρτιση**

Η παροχέτευση νερού Τ.Ε. στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί μια από τις πλέον απλές, παλαιές, φθηνές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους επαναφόρτισης των υπόγειων ελεύθερων υδροφόρων οριζόντων (Muckel, 1959). Ο Τ.Ε. λαμβάνει χώρα σε ειδικά προετοιμασμένες επιφάνειες ανά χρονικά διαστήματα διάρκειας από 10 έως 20 ημερών. Οι βασικότερες παράμετροι που επηρεάζουν την ποσότητα ύδατος που κατεισδύει στο υποκείμενο υδροφόρο σύστημα (και κατά συνέπεια τη συχνότητα των κύκλων φόρτισης) περιλαμβάνουν την έκταση και την υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής Τ.Ε., το χρόνο παραμονής του νερού Τ.Ε. στο έδαφος (Todd, 1980), καθώς και την ποιότητα των αποβλήτων, όταν χρησιμοποιείται ως νερό Τ.Ε. η εκροή μιας ΕΕΛ. Μέτρο της επιτυχίας (ή αποτελεσματικότητας ή απόδοσης) του Τ.Ε. με επιφανειακή φόρτιση είναι η ταχύτητα διήθησης, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία το νερό κινείται προς το υπέδαφος.



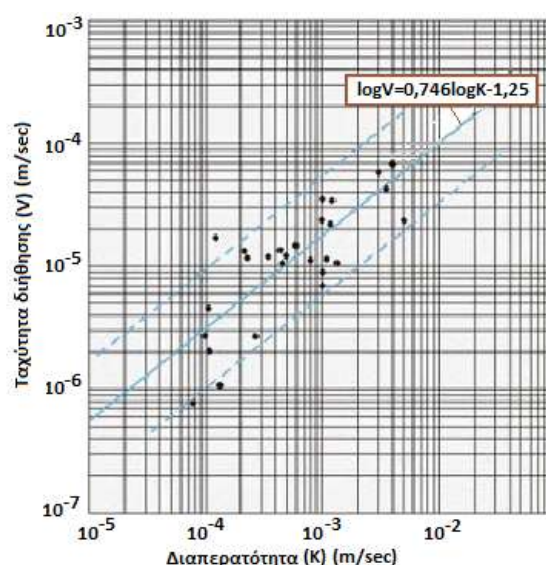
Οι κύριοι εδαφικοί τύποι οι οποίοι μπορούν να υποδεχθούν εφαρμογές Τ.Ε. με επιφανειακή διάχυση είναι τα εδάφη μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας, δηλαδή τα αμμώδη εδάφη ή τα εδάφη με μίγμα αργίλου-άμμου. Ο ρυθμός διήθησης στα λεπτόκοκκα εδάφη κυμαίνεται μεταξύ των 50 έως 150m/έτος, ενώ οι αντίστοιχες τιμές σε ετήσια βάση σε εφαρμογές για άρδευση από 1 έως 2m. Τα λεπτόκοκκα εδάφη αφενός μπορούν να υποστηρίξουν τον περαιτέρω καθαρισμό των αποβλήτων από επιβλαβείς ουσίες και μικροοργανισμούς και αφετέρου στην πλειονότητα των περιπτώσεων διαθέτουν κατάλληλο ποσοστό χονδρόκοκκων υλικών, ώστε να επιτυγχάνουν ικανοποιητική διαπερατότητα.

Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας σε διάφορες κατηγορίες εδαφών.

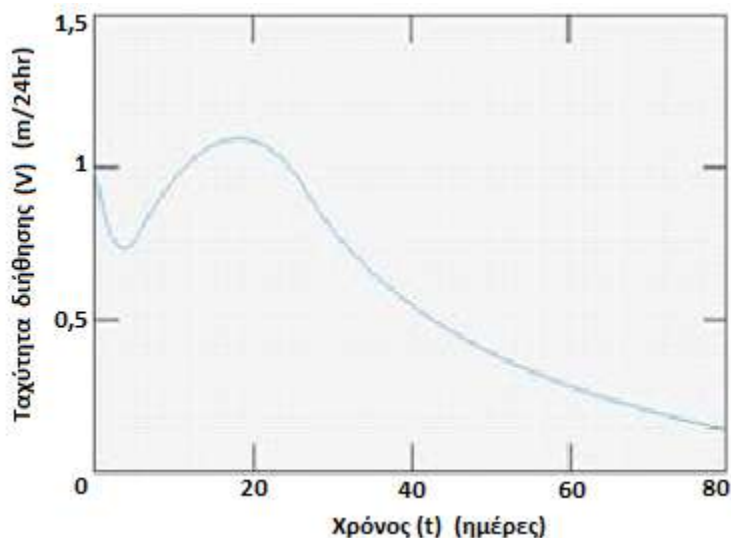
Το Σχήμα 5.10 παρουσιάζει τη συσχέτιση της ταχύτητας διήθησης (V) με τη διαπερατότητα του εδάφους (K), ενώ το Σχήμα 5.11 τη συσχέτιση της ταχύτητας διήθησης (V) με το χρόνο (t).

**Πίνακας 5.1:** Η υδραυλική αγωγιμότητα σε διάφορες κατηγορίες εδάφους (Μπαντής κ.α., 2012)

Είδος εδάφους	Υδραυλική αγωγιμότητα (K) (m/ημέρα)
Άργιλος	$10^{-8}$ έως $10^{-2}$
Ιλύς	$10^{-3}$ έως 1
Λεπτόκοκκη άμμος	1 έως 5
Μεσόκοκκη άμμος	5 έως 20
Ανδρόκοκκη άμμος	20 έως 100
Χάλικες	100 έως 1000
Αργιλικός σχιστόλιθος	$5 \times 10^{-8}$ έως $5 \times 10^{-6}$
Ψαμμίτης	$10^{-3}$ έως 1
Ασβεστόλιθος	$10^{-5}$ έως 1
Βασάλτης	0,0003 έως 3
Γρανίτης	0,0003 έως 0,03



**Σχήμα 5.10:** Νομόγραμμα της ταχύτητας Τ.Ε. ενός υδροφόρου συστήματος συναρτήσει της διαπερατότητας του εδάφους (Bize et al., 1972)



**Σχήμα 5.11:** Νομόγραμμα της ταχύτητας διήθησης συναρτήσει του χρόνου (Καλλέργης, 2001)

#### 5.2.1.1. Μέθοδος λεκάνης κατάκλυσης (Basin Method)

Οι λεκάνες κατάκλυσης ανήκουν στις ευρέως διαδεδομένες μεθόδους επιφανειακής φόρτισης, διότι επιτυγχάνουν ικανοποιητική (από 75 έως 90%, Καλλέργης, 1986) αξιοποίηση του εδάφους, που διατίθεται για τον Τ.Ε., χωρίς να απαιτούν πολύπλοκη μετέπειτα διαχείριση του συστήματος Τ.Ε. (έλεγχο, συντήρηση). Οι λεκάνες σχηματίζονται με την κατασκευή αναχωμάτων και τάφρων ή με εκσκαφές και τροφοδοτούνται με το νερό Τ.Ε.. Καθώς το νερό διηθείται από τον πυθμένα της λεκάνης διαμέσου των εδαφικών πόρων, επαναφορτίζει το υδροφόρο σύστημα. Η επιφάνεια των υπόγειων νερών σχηματίζει το ύψωμα Τ.Ε., το οποίο κινείται κυρίως πλευρικά προς το υδροφόρο σύστημα.

Σύμφωνα με το Bouwer (1989), η ταχύτητα διήθησης του νερού Τ.Ε. σε λεκάνες κατάκλυσης επηρεάζεται κυρίως από το βάθος (ή φορτίο) του νερού. Όταν το βάθος του νερού είναι μεγάλο, η ιλύς και τα άγλη, που έχουν συγκεντρωθεί στον πυθμένα της λεκάνης, συμπυκνώνονται και παρεμποδίζουν τη διήθηση. Σε ακόμη μεγαλύτερο βάθος, το νερό είναι περισσότερο διαυγές και η ροή του λιγότερο τυρβώδης, γεγονός που επιτρέπει τη μεγαλύτερη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μεγαλύτερη ανάπτυξη αλγών και τη μείωση της ταχύτητας διήθησης. Τα άγλη, που αναπτύσσονται μέσα στο νερό, απορροφούν το περιεχόμενο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και παράγουν ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) σε μορφή ιζήματος, το οποίο αυξάνει την τιμή του pH (9 έως 10) και καθώς επικάθεται στον πυθμένα, δυσχεραίνει τη διήθηση. Ο σωστός σχεδιασμός προϋποθέτει την εκτέλεση επί τόπου δοκιμών για τον προσδιορισμό του βέλτιστου βάθους νερού. Εμπειρικά, αποδεικνύεται ότι η βέλτιστη τιμή του κυμαίνεται μεταξύ των 10 έως 20cm και ότι μεγαλύτερο βάθος δε συνεπάγεται πάντοτε μεγαλύτερες ταχύτητες διήθησης.

Σύμφωνα με το νόμο του Darcy, στην περίπτωση κατά την οποία η στάθμη του υδροφόρου συστήματος ξεπερνά τον πυθμένα της λεκάνης, η αύξηση του υδραυλικού φορτίου αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα διήθησης. Εάν η στάθμη των

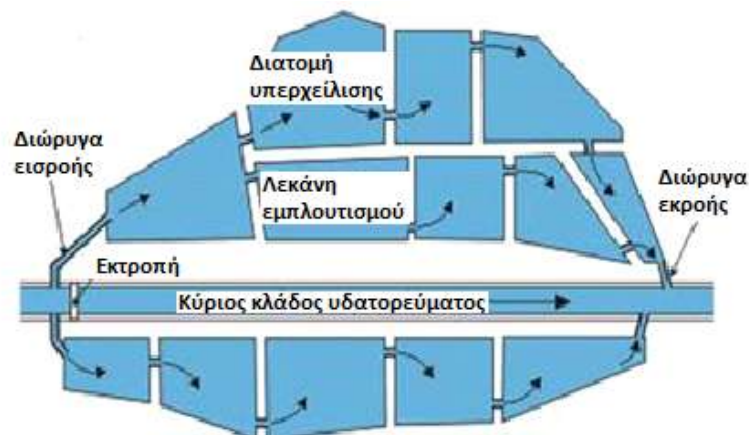
υπόγειων νερών βρίσκεται χαμηλότερα από τον πυθμένα της λεκάνης και οι εδαφικοί πόροι είναι ανοιχτοί, η αύξηση του φορτίου παράγει μια μικρή αύξηση του ρυθμού διήθησης. Εφόσον έχει λάβει χώρα απόφραξη των πόρων, το βάθος του νερού στη λεκάνη αναγκάζει το υδραυλικό φορτίο να συντηρείται κατά μήκος της πυθμενικής στρώσης ιζημάτων και το νερό Τ.Ε. να μετακινείται ως ακόρεστη ροή στα υποκείμενα υπόγεια νερά. Εάν εφαρμοστεί ο νόμος του Darcy για τη ροή του νερού Τ.Ε. διαμέσου της στρώσης αποφρακτικού υλικού, διαπιστώνεται ότι η σχέση μεταξύ του ρυθμού διήθησης και του βάθους του νερού στη λεκάνη είναι περίπου γραμμική, δηλαδή τα δύο μεγέθη είναι σχεδόν ανάλογα.

Η μορφολογία του εδάφους και η υδρογεωλογία της περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε. επηρεάζουν το μέγεθος, το σχήμα και την κατασκευή των λεκανών. Συγκεκριμένα, η αύξηση της κλίσης μειώνει το μέγεθος της λεκάνης. Όταν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και η κοκκομετρική σύσταση των εδαφικών στρώσεων δεν περιλαμβάνει ούτε πολύ λεπτόκοκκο ούτε πολύ χονδρόκοκκο υλικό, τα πρανή των σκαμμένων λεκανών κατασκευάζονται με κλίση 1:2 ή ελαφρά πιο απότομη (Σχήμα 5.12).



**Σχήμα 5.12:** Η σκαμμένη λεκάνη κατάκλυσης (Huisman και Olsthoorn, 1983)

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι παρουσιάζει ευελιξία, καθώς μπορούν να κατασκευαστούν είτε μεμονωμένες λεκάνες, λ.χ. προς εξυπηρέτηση της αποστράγγισης των όμβριων νερών σε μικρές εκτάσεις, είτε διαδοχικές λεκάνες, οι οποίες τροφοδοτούνται από το νερό υδατορευμάτων (Σχήμα 5.13).



**Σχήμα 5.13:** Διάταξη λεκανών κατάκλυσης σε κάτοψη (Καλλέργης, 2001)

Η τελευταία περίπτωση παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα και καθίσταται περισσότερο δημοφιλής (Oaksford, 1985). Για παράδειγμα, ο χρόνος Τ.Ε. αυξάνεται, διότι υπάρχει δυνατότητα ταμίευσης νερού, παρέχεται η δυνατότητα ταμίευσης περιοδικών πλημμυρών για μελλοντική αξιοποίηση σε εφαρμογές Τ.Ε., οι

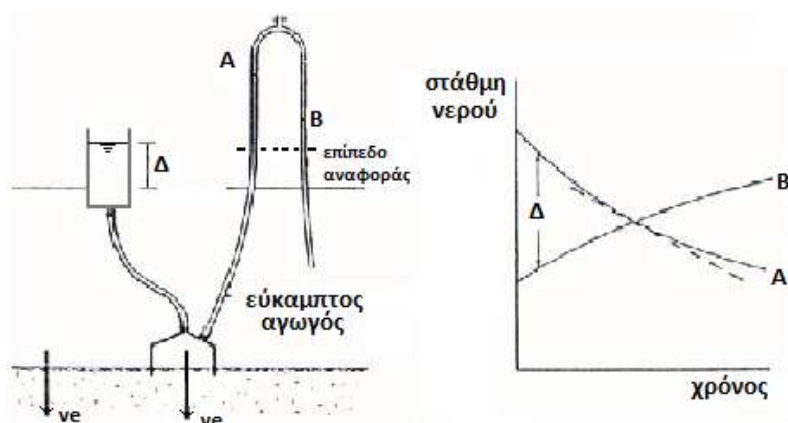
πρώτες λεκάνες της διάταξης συμβάλλουν στην επεξεργασία του νερού Τ.Ε., καθώς αυτό οδηγείται στις κατάντη λεκάνες, και υφίσταται η δυνατότητα να τίθενται εκτός λειτουργίας όσες λεκάνες απαιτούν συντήρηση (ξύσιμο, σκάψιμο). Ανά τακτά διαστήματα οι λεκάνες τίθενται διαδοχικά εκτός λειτουργίας για να καθαριστούν. Συνήθως, δημιουργούνται δύο ή περισσότερες λεκάνες κοντά σε υδατορεύματα, οι οποίες καταλαμβάνουν έκταση από λίγες εκατοντάδες  $m^2$  έως μερικές δεκάδες στρέμματα (Bouwer, 1989). Αρχικά αφαιρείται ένα επιφανειακό στρώμα εδάφους. Η εμπειρία αποδεικνύει ότι μια στενή λεκάνη Τ.Ε. με μεγάλο μήκος ή μια σειρά από διαδοχικές λεκάνες παράγουν χαμηλότερα υβώματα από εκείνα των τετράγωνων ή κυκλικών λεκανών με το ίδιο εμβαδόν και την εφαρμογή ίδιων υδραυλικών φορτίων. Τέλος, όταν ο Τ.Ε. συντελείται με αξιοποίηση επιφανειακών νερών, οι λεκάνες κατάκλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ψυχαγωγία (Bouwer, 1989). Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να εξασφαλίζεται η ύπαρξη νερού στις λεκάνες για μεγαλύτερη χρονική περίοδο, δηλαδή οι κύκλοι κατάκλυσης-αποξήρανσης γίνονται αραιότεροι και διατηρείται μεγαλύτερο βάθος νερού (Bouwer, 1989).

Η διήθηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους επιδρά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού είτε θετικά είτε αρνητικά (Bouwer, 1989). Θετική επιρροή της διήθησης θεωρείται η απομάκρυνση των υπολειπόμενων αιωρούμενων στερεών (SS), των μικροβίων (βακτηριδίων, ιών κ.α.), του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD), των αλάτων αζώτου (N) και φωσφόρου (P) και των συνθετικών οργανικών ενώσεων (λ.χ. των μη αλογονομένων υδρογονανθράκων), καθώς και η ύπαρξη αμελητέας ανταλλαγής ιόντων λόγω της απουσίας σημαντικής ποσότητας αργίλου. Ανεπιθύμητο αποτέλεσμα της διήθησης είναι η απόπλυση ιχνοστοιχείων (λ.χ. του σεληνίου (Se), του αρσενικού (As), του βορίου (B), του καδμίου (Cd), του μολύβδου (Pb), του υδραργύρου (Hg)) και η παρουσία σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn), οργανικών οξέων, συσσωματωμάτων αλγών και υλικών μεταβολισμού, που μπορεί να περιέχονται στο νερό. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του San Joaquin της Καλιφόρνια, το νερό Τ.Ε. παρέσυρε σελήνιο (Se) κατά τη διήθησή του, το οποίο εντοπίστηκε στο αρδευτικό νερό (Bouwer, 1989). Τα εδάφη που κινδυνεύουν περισσότερο από το φαινόμενο της απόπλυσης των ιχνοστοιχείων είναι οι θαλάσσιες αποθέσεις και τα λεπτόκοκκα εδάφη με ιζήματα λεκανών και κοιλάδων, ενώ εκείνα με την χαμηλότερη επικινδυνότητα είναι οι αλλουβιακές αποθέσεις, τα κανάλια χειμάρρων και τα πλημμυρικά πεδία.

Τα πλέον βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού Τ.Ε. είναι τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) και ο συντελεστής SAR, ο οποίος έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη SAR και οι υψηλές ποσότητες ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) ενισχύουν τη συσσωμάτωση της αργίλου του εδάφους, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, ευνοείται η διασπορά (Bouwer, 1978).

Οι λεκάνες κατάκλυσης κατασκευάζονται σε υδροπερατούς εδαφικούς σχηματισμούς. Ο εντοπισμός τέτοιου είδους εδαφών συντελείται με τα περατόμετρα (λ.χ. μικρά κυλινδρικά διαπερατόμετρα με διπλό δακτύλιο, περατόμετρα με μονό δακτύλιο κ.α.). Τα όργανα αυτά, βέβαια, υπερεκτιμούν την ταχύτητα διήθησης σε μεγάλες παροχές νερού Τ.Ε. και δεν χρησιμεύουν στον προσδιορισμό του ρυθμού υδραυλικής φόρτισης στις λεκάνες κατάκλυσης (Bouwer, 1996). Σε τέτοιες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται δοκιμαστικές λεκάνες μεγάλου μεγέθους, όπου εκτελούνται δοκιμές διήθησης και μετρήσεις της υδραυλικής

αγωγιμότητας στην ακόρεστη ζώνη. Σε λεκάνες, όπου δεν έχει εμφανιστεί απόφραξη των πόρων και τα υπόγεια νερά βρίσκονται σε μεγάλο βάθος, η ταχύτητα διήθησης έχει την ίδια περίπου τιμή με την υδραυλική αγωγιμότητα της ακόρεστης ζώνης (Bouwer, 1978). Γενικά, οι ταχύτητες διήθησης κυμαίνονται μεταξύ των 0,3m/ημέρα έως 3m/ημέρα. Σύμφωνα με το Bouwer (1989), η υδραυλική αγωγιμότητα των περατών σχηματισμών κυμαίνεται από 1m/ημέρα σε λεπτή αργιλώδη άμμο έως 10m/ημέρα σε αμμώδη και αμμοχαλικώδη εδάφη ή από 30 έως 300m/έτος συμπεριλαμβανομένου του χρονικού διαστήματος παύσης της λειτουργίας των λεκανών για τον καθαρισμό τους. Με την έναρξη του Τ.Ε., η ταχύτητα εισόδου του νερού στο έδαφος είναι μεγαλύτερη στις πλευρές και μικρότερη στο κέντρο της λεκάνης. Καθώς η απόφραξη αναλογεί στην ποσότητα του νερού που διηθείται στο έδαφος, εμφανίζεται εντονότερη στα πλευρικά τοιχώματα της λεκάνης. Κατά συνέπεια, με την πάροδο του χρόνου, η ταχύτητα του Τ.Ε. μειώνεται στα τοιχώματα της λεκάνης και το υδραυλικό φορτίο μεταφέρεται προς το κέντρο της. Η συσκευή του Bouwer για τη μέτρηση της ταχύτητας διήθησης στον πυθμένα της λεκάνης διήθησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.14.



**Σχήμα 5.14:** Η συσκευή του Bouwer για τη μέτρηση της ταχύτητας διήθησης στον πυθμένα λεκάνης κατάκλυσης (Huisman και Olsthoorn, 1983)

Ο μετρητής αποτελείται από έναν χαλύβδινο κύλινδρο με διάμετρο 25cm, ο οποίος είναι κλειστός στην ανώτερη βάση του και ανοιχτός στην κατώτερη. Η συσκευή βυθίζεται από 2 έως 3cm στον πυθμένα της λεκάνης. Το δοχείο τροφοδοτείται με νερό από μια δεξαμενή, ώστε η επιφάνεια του νερού στο δοχείο να φτάνει το ύψος  $\Delta$  επάνω από την αντίστοιχη στάθμη του νερού της λεκάνης. Κατά την περίοδο όπου το  $\Delta$  λαμβάνει θετικές τιμές, η ταχύτητα με την οποία το νερό εισάγεται στο δοχείο ( $v_e'$ ), έχει υψηλότερη τιμή από την ταχύτητα Τ.Ε. ( $v_e$ ). Όταν η τιμή του  $\Delta$  μηδενιστεί, οι δύο ταχύτητες είναι ίσες. Η μεταβολή της τιμής του  $\Delta$  σε σχέση με το χρόνο προσδιορίζει την τιμή της ταχύτητας  $v_e'$ . Επιπροσθέτως, για τον προσδιορισμό της ταχύτητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ανεστραμμένος εύκαμπτος σωλήνας με σχήμα U ο οποίος μετρά το πιεζομετρικό φορτίο στο δοχείο (A) και στη λεκάνη (B) σε σχέση με ένα τυχαίο επίπεδο αναφοράς. Η μεταβολή των δύο φορτίων συναρτηθεί του χρόνου, παρουσιάζει την κλίση της καμπύλης A (ή ταχύτητα  $v_e'$ ). Στο σημείο τομής των καμπυλών A και B, η ταχύτητα  $v_e'$  ισούται με τη  $v_e$ .

Η απόδοση του Τ.Ε. επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού Τ.Ε., το κλίμα της περιοχής εφαρμογής, το έδαφος και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως π.χ. τα έντομα, την υδρόβια βλάστηση, τη δυσσομία. Μερικές φορές οι περίοδοι αποξήρανσης και τροφοδοσίας των λεκανών με νερό εξαρτώνται από τον κύκλο ζωής των εντόμων. Συχνά, οι περίοδοι κατάκλυσης νερού περιορίζονται σε λίγες ημέρες για να αποφευχθεί η εκκόλαψη των αυγών των εντόμων. Σε κάθε περίπτωση οφείλει να λαμβάνει χώρα επιτόπια έρευνα με στόχο να επιτευχθούν (Bouwer, 1989) ο βέλτιστος σχεδιασμός των εργασιών πλήρωσης, αποξήρανσης και συντήρησης των λεκανών, η βέλτιστη ποιότητα του νερού Τ.Ε., το βέλτιστο βάθος του νερού στη λεκάνη, η βέλτιστη ταχύτητα του νερού σε λεκάνες με στάσιμα νερά όταν ακόμη και τα πλέον μικρά στερεά μπορούν να υποστούν καθίζηση ή κανάλια με νερά εν κινήσει όπου δημιουργείται ικανός στροβιλισμός ο οποίος συντηρεί τα στερεά σε αιώρηση.

Ο Τ.Ε. είναι προτιμότερο να εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Όταν το νερό Τ.Ε. είναι θερμότερο και εμφανίζει μεγαλύτερο ιζώδες από το νερό του υδροφόρου συστήματος, τότε ενισχύεται η διήθησή του διαμέσου των εδαφικών πόρων.

Τέλος, όσον αφορά στα μέτρα ασφαλείας που οφείλουν να λαμβάνονται κατά το σχεδιασμό εφαρμογών Τ.Ε., αρχικά πρέπει να εξασφαλίζεται η περίφραξη και η επιθεώρηση από κατάλληλο προσωπικό της περιοχής εφαρμογής. Επιπροσθέτως, εάν οι εργασίες λαμβάνουν χώρα σε κατοικημένη περιοχή, πρέπει να αντιμετωπίζονται οι περιβαλλοντικές οχλήσεις (ανάπτυξη εντόμων, τρωκτικών, δυσσομίας).

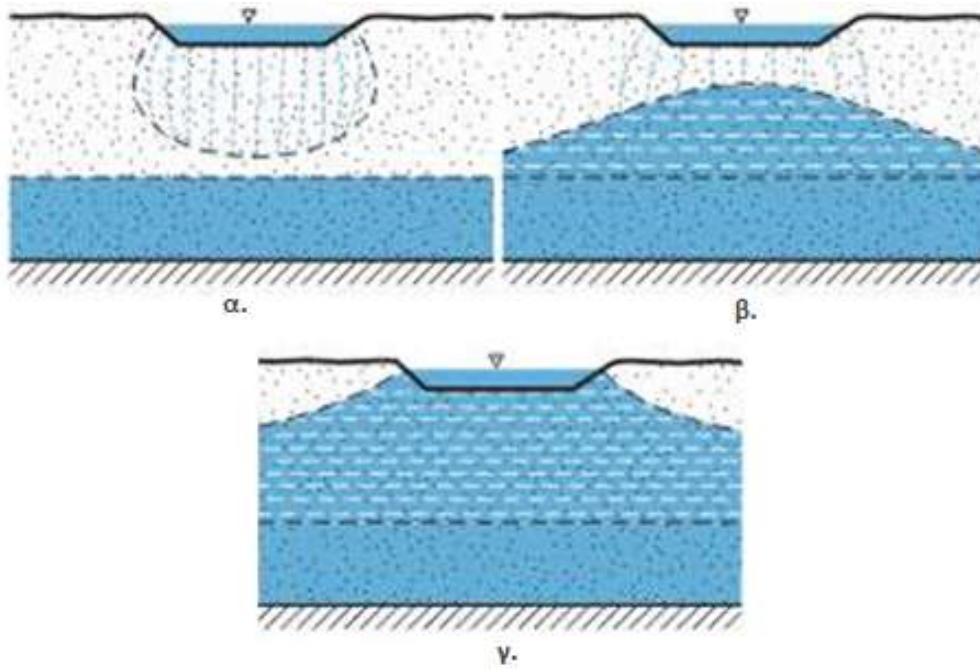
#### **5.2.1.2. Μέθοδος τάφρων και αυλακιών (Ditch and Furrow Method)**

Η μέθοδος τάφρων και αυλακιών βασίζεται στην παροχέτευση μιας διάταξης τάφρων ή αυλακιών με το νερό Τ.Ε. και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου το νερό περιέχει σημαντικό ποσοστό αιωρούμενων στερεών (SS) ή σε ανώμαλο ανάγλυφο. Τα αυλάκια έχουν μικρό βάθος, πλάτος από 0,3 έως 1,8m, επίπεδο πυθμένα και οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι πολύ μικρές.

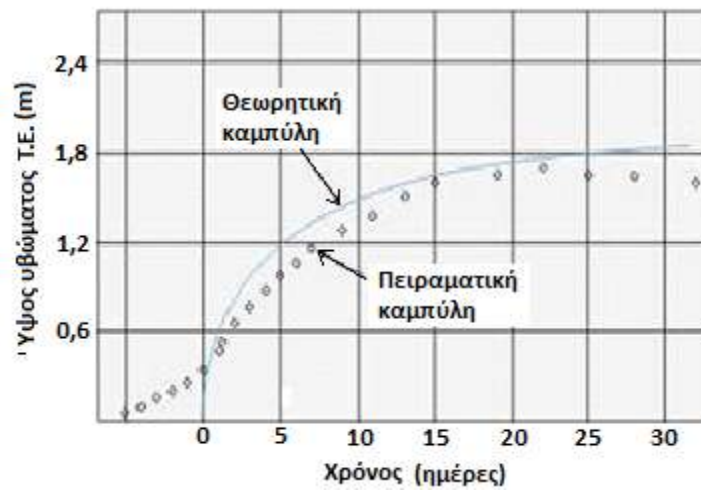
Σύμφωνα με τους Καλλέργη (1986) και Muckel (1959), τα κανάλια κατασκευάζονται είτε ακολουθώντας τις ισοϋψείς του εδάφους (μαιανδρική διάταξη) είτε θεωρώντας ένα κανάλι ως κεντρικό και τα υπόλοιπα διακλαδώσεις του (δενδροειδής διάταξη) είτε αναπτύσσοντας μικρά κανάλια πλευρικά προς ένα κύριο (πλευρική διάταξη). Το Σχήμα 5.15 παρουσιάζει την εξέλιξη του υβώματος Τ.Ε. κάτω από μια τάφρο.

Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αξιοποίηση ενός πολύ μικρού τμήματος της επιφάνειας, όπου λαμβάνει χώρα ο Τ.Ε. Πιο συγκεκριμένα, η διεπιφάνεια χρησιμοποιούμενου νερού και εδάφους δεν ξεπερνά το 10% όλης της επιφάνειας εφαρμογής του Τ.Ε.

Το Σχήμα 5.16 παρουσιάζει τη μεταβολή της στάθμης των υπόγειων νερών, αφού λάβει χώρα Τ.Ε. μέσω μιας τάφρου, ενώ το Σχήμα 5.17 τις διάφορες εναλλακτικές μορφές των καναλιών.

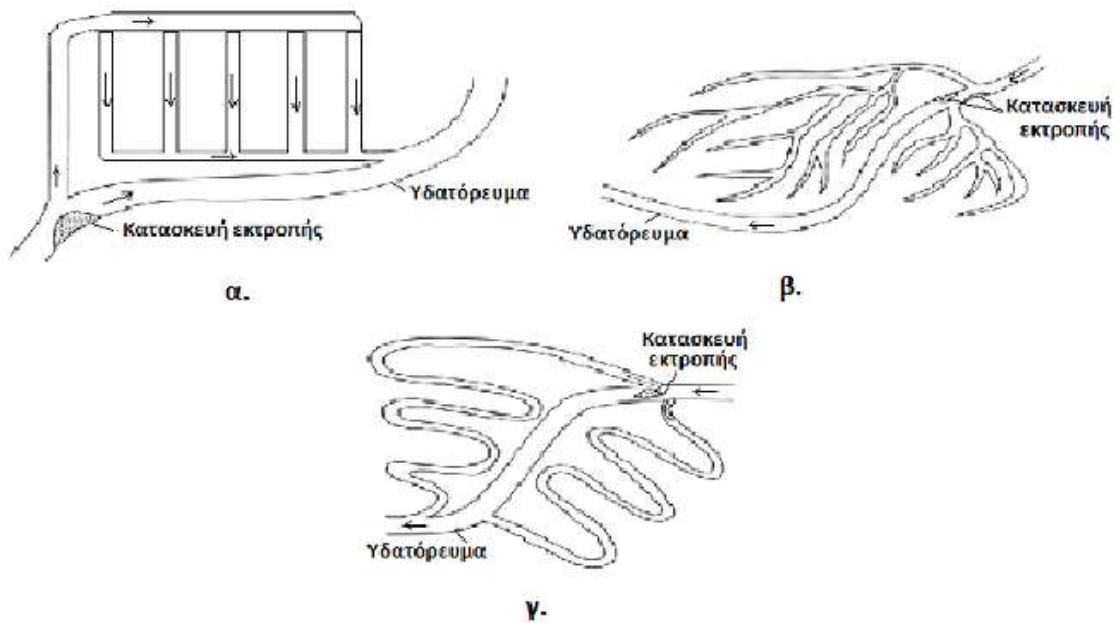


Σχήμα 5.15: Η εξέλιξη του T.E. κάτω από μια τάφρο (Bize et al., 1972, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)



Σχήμα 5.16: Η θεωρητική και η πειραματική καμπύλη ανόδου του υβώματος T.E.

(Bize et al., 1972, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

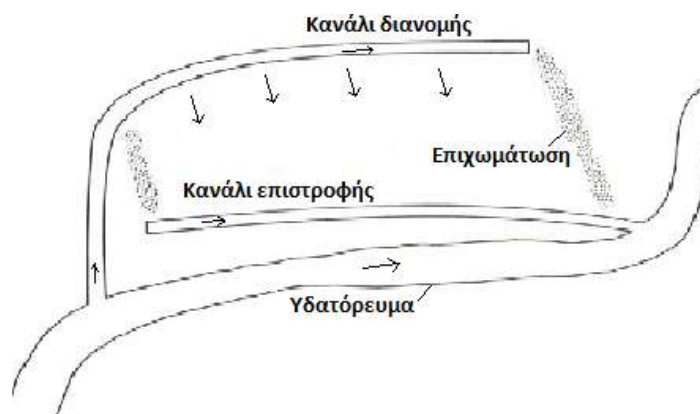


**Σχήμα 5.17:** Τυπικό σύστημα Τ.Ε. τάφρων και αυλακιών:  
 α. πλευρική διάταξη β. δενδροειδής διάταξη γ. μαιανδρική διάταξη  
 (Asano, 1985, Καλλέργης 1986)

### 5.2.1.3. Μέθοδος πλημμύρας (Flooding Method)

Η μέθοδος πλημμύρας βρίσκει εφαρμογή σε επίπεδη εδαφική επιφάνεια (κλίσης 1 έως 3%). Το νερό Τ.Ε. κινούμενο αργά και σε στρώμα μικρού πάχους κατακλύζει μια σημαντική έκταση γης, στην οποία έχουν διαμορφωθεί κανάλια μεταφοράς και αυλάκια (Σχήμα 5.18).

Το βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος (κατασκευαστικό και συντήρησης). Επίσης όταν το φυσικό ανάγλυφο δεν έχει υποστεί κάποιου είδους παρέμβαση, η μέθοδος επιτυγχάνει υψηλές ταχύτητες διήθησης.



**Σχήμα 5.18:** Το σύστημα Τ.Ε. με πλημμύρα (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

Ωστόσο, η μέθοδος παρουσιάζει και ορισμένα καίρια μειονεκτήματα, τα οποία συνοψίζονται στα εξής (Oaksford, 1985, Καλλέργης, 1986):

- ✦ Μεγάλη εδαφική επιφάνεια εφαρμογής.
- ✦ Υψηλές απώλειες νερού Τ.Ε. λόγω εξάτμισης.



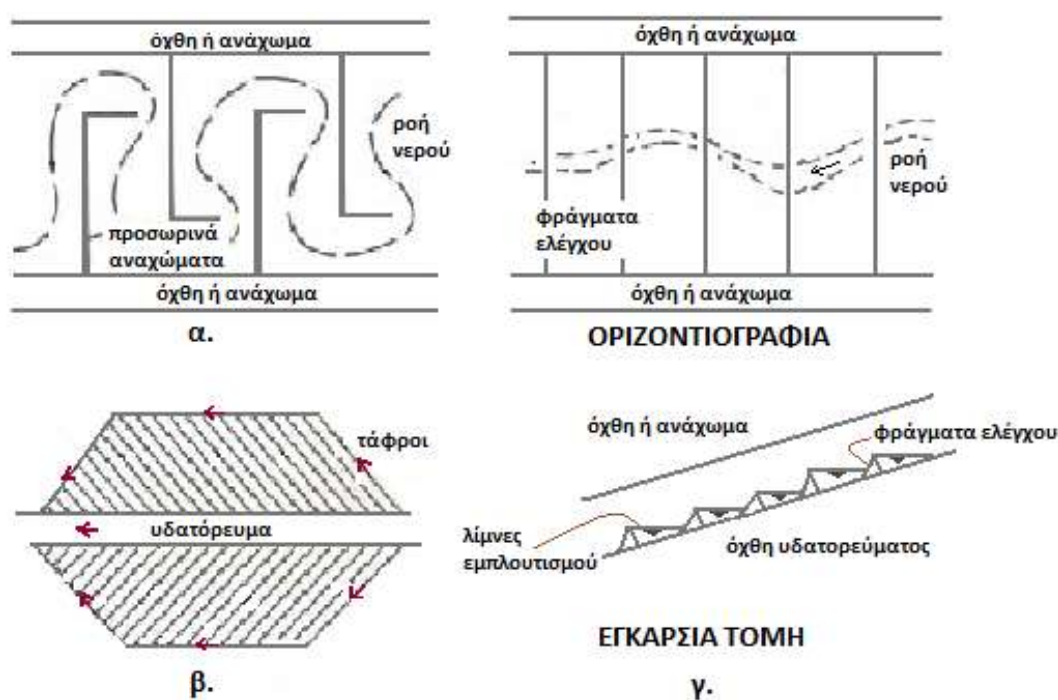
■ Σημαντική πιθανότητα πλημμυρών με μικρή δυνατότητα αντιμετώπισης.

**5.2.1.4. Μέθοδος διευθέτησης υδατορεύματος (Stream Channel Modification)**

Κατά τη μέθοδο διευθέτησης υδρορεύματος, η κοίτη ενός υδατορεύματος διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να αυξηθεί η διήθηση του νερού Τ.Ε.. Η επίτευξη του στόχου αυτού γίνεται μέσω της ελάττωσης της ταχύτητας ροής και την κατά συνέπεια αύξηση της διεπιφάνειας νερού Τ.Ε.-κοίτης (Σχήμα 5.19).

Οι παρεμβάσεις για τη διευθέτηση της κοίτης μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω της κατασκευής χαμηλών διαφραγμάτων είτε σε κλιμακωτή διάταξη είτε κάθετα στη ροή, της διαπλάτυνσης, της επιπέδωσης, της εκσκαφής, της κατασκευής τάφρων δίπλα στο υδατόρευμα ή αναχωμάτων εγκάρσια προς τη ροή. Συνήθως, τα έργα έχουν προσωρινή λειτουργία, κατασκευάζονται με υλικά τα οποία προέρχονται από τον πυθμένα του υδατορεύματος, αλλά καταστρέφονται εύκολα σε περιπτώσεις πλημμύρας.

Η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου απαιτείται εποχιακή αύξηση του νερού Τ.Ε.. Οι εργασίες της απαιτούν χαμηλό κατασκευαστικό κόστος και κόστος συντήρησης και δεν επηρεάζουν άλλες χρήσεις γης.



**Σχήμα 5.19:** Τ.Ε. με διευθέτηση της κοίτης υδατορεύματος: α. με εκτροπή, β. με τάφρους, γ. με φράγματα και λεκάνες ελέγχου (Asano 1985, Καλλέργης, 1986)

**5.2.1.5. Επανεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδατορεύματος (Stream Flow Reactivation or Augmentation)**

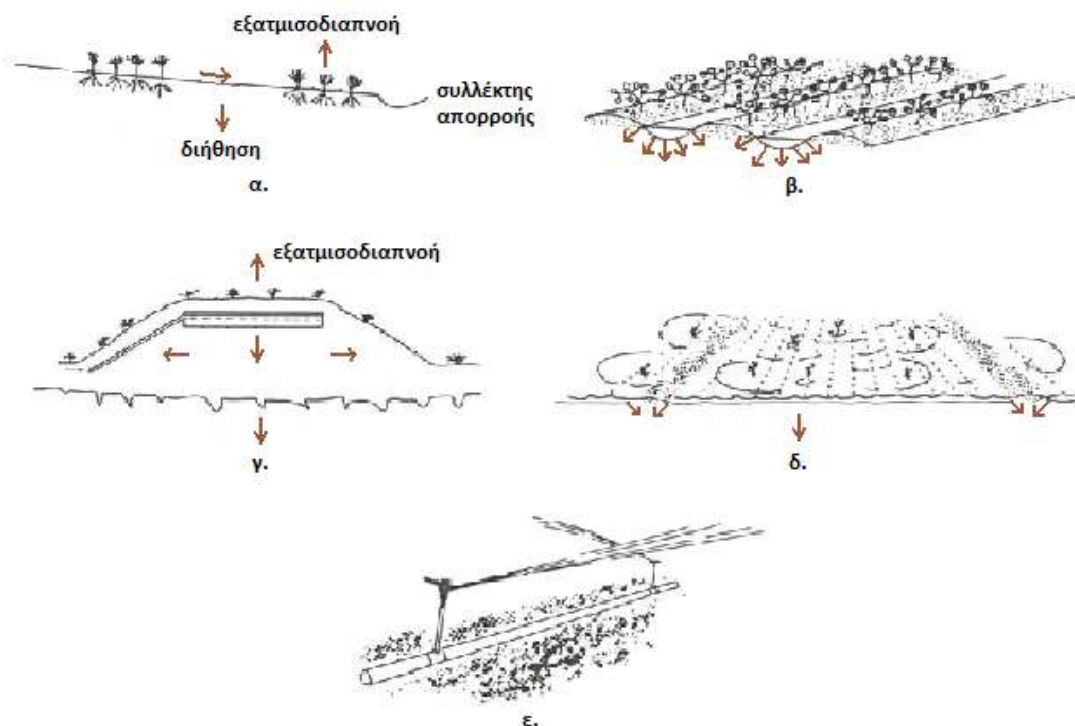
Κατά τη μέθοδο αυτή, το νερό Τ.Ε. διατίθεται σε πηγή, η οποία τροφοδοτεί ένα υδατόρευμα. Στόχος της μεθόδου είναι η ενεργοποίηση της διηθητικής ικανότητας του υδροφόρου συστήματος, όταν έχει καταστεί ανενεργή ή η αύξησή της, όταν έχει ελαττωθεί. Συνήθως, εφαρμόζεται σε περιοχές εγκαταλελειμμένων κοιτών και σε κοίτες των οποίων η έκταση έχει περιοριστεί εξαιτίας της μεγάλης πτώσης του

υποκείμενου υδροφόρου ορίζοντα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εγκαταλελειμμένης κοίτης αποτελεί η περιοχή Πολυσίτου Ξάνθης (Διαμαντής κ.α., 1994, Πλιάκας και Διαμαντής, 1995, Πλιάκας κ.α., 1999, Πλιάκας, 1998), ενώ αντιπροσωπευτικό παράδειγμα χαμηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα είναι το Long Island της Νέας Υόρκης (Prince, 1982).

Η εφαρμογή της μεθόδου παρουσιάζει ευεργετικές επιπτώσεις όχι μόνο για την υδρογεωλογία της περιοχής της κοίτης, αλλά και για τα διαταραγμένα φυσικά οικοσυστήματα της ευρύτερης περιοχής. Ωστόσο, το απαιτούμενο κεφάλαιο και η χαμηλή απόδοση της μεθόδου σε σχέση με άλλες μεθόδους Τ.Ε. θεωρούνται αποτρεπτικοί παράγοντες για την επιλογή της ως εναλλακτικής λύσης επαναφόρτισης των υπόγειων νερών. Η ταχύτητα ροής συνήθως υπερβαίνει την ταχύτητα διήθησης και ο Τ.Ε. δεν είναι αποτελεσματικός.

### 5.2.1.6. Μέθοδος άρδευσης (Irrigation Method)

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου άρδευσης (Σχήμα 5.20), αξιοποιείται το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού σε περιόδους παύσης της άρδευσης, δηλαδή στην αγρανάπαυση και τους χειμερινούς μήνες.



**Σχήμα 5.20:** Οι εναλλακτικές αρδευτικές τεχνικές: α. η επιφανειακή ροή, β. το σύστημα τάφρων και αυλακιών, γ. η υπόγεια άρδευση, δ. ο Τ.Ε. με πλημμύρα, ε. το σύστημα καταιονισμού (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

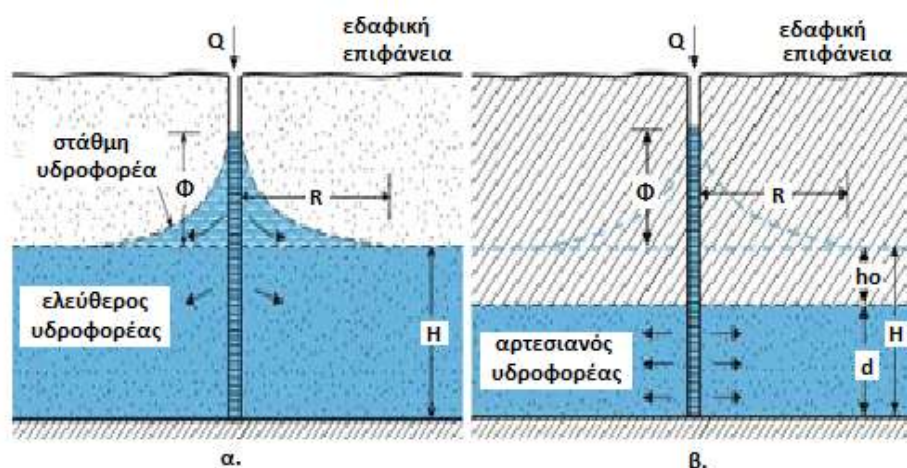
Η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε αγροτικές περιοχές. Για τον Τ.Ε. χρησιμοποιούνται οι συμβατικές αρδευτικές τεχνικές, λ.χ. η επιφανειακή ροή του νερού, το σύστημα τάφρων και αυλακιών, το σύστημα καταιονισμού, η υπόγεια άρδευση, ο Τ.Ε. με πλημμύρα (Israelson, 1950). Η αξιοποίηση της υφιστάμενης υποδομής για άρδευση καθιστά το κατασκευαστικό κόστος της μεθόδου

δελεαστικό. Όμως, η απόπλυση λιπασμάτων και αλάτων του ριζικού συστήματος των φυτών προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή και βασικό μειονέκτημα για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου (Καλλέργης, 1986).

### **5.2.2. Άμεση έγχυση (Injection Wells)**

Η μέθοδος της άμεσης έγχυσης αξιοποιείται, όταν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μεγάλο βάθος και οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, όπου εφαρμόζεται ο Τ.Ε., δεν επιτρέπουν την αξιοποίηση άλλων εναλλακτικών μεθόδων Τ.Ε. Κατά την άμεση έγχυση, το νερό Τ.Ε. οδηγείται απευθείας στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα μέσω γεωτρήσεων έγχυσης (Σχήμα 5.21).

Συνήθως, τέτοιου είδους εφαρμογές λαμβάνουν χώρα, όταν τα εδάφη έχουν μικρή διαπερατότητα, το ανάγλυφο είναι ανώμαλο, πρόκειται για παράκτιο υδροφόρο σύστημα με αυξημένη επικινδυνότητα υφαλμύρισης, στην περίπτωση όπου ένα ημιπερατό αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα μεσολαβεί μεταξύ της πηγής τροφοδοσίας του νερού Τ.Ε. και του υδροφόρου συστήματος, που επαναφορτίζεται, ή στην περίπτωση όπου επιδιώκεται η επαναφόρτιση υφάλμυρων υδροφόρων συστημάτων με βιομηχανικά απόβλητα, αλμυρά ρευστά ή γενικά αλατούχα ρευστά (Καλλέργης, 2001).



**Σχήμα 5.21:** Τ.Ε. από γεώτρηση: α. σε φρεάτιο υδροφόρο σύστημα, β. σε αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα (Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

Η απαιτούμενη έκταση Τ.Ε. είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των επιφανειακών εφαρμογών. Όπως και στις γεωτρήσεις άντλησης, παρατηρούνται απώλειες φορτίου, οι οποίες περιγράφονται από την εξίσωση (Roscoe Moss Company, 1990):

$$P = BQ + B'Q + CQ^2, \text{ όπου}$$

P: το φορτίο έγχυσης

Q: η παροχή νερού Τ.Ε.

B: ο συντελεστής απωλειών του φορτίου σχηματισμού

B': ο συντελεστής απωλειών φορτίου, οι οποίες σχετίζονται με αστοχίες της διάτρησης ή άλλες παραμέτρους ελάττωσης της διαπερατότητας της περιοχής πλησίον του γεωτρητικού φίλτρου

C: ο συντελεστής απωλειών φορτίου της γεώτρησης.

Ο λόγος Q/P αντιπροσωπεύει την ειδική ικανότητα έγχυσης (specific injection capacity) ή την ειδική έγχυση (specific injection).

Η απόδοση των γεωτρήσεων έγχυσης περιγράφεται από τη σχέση:

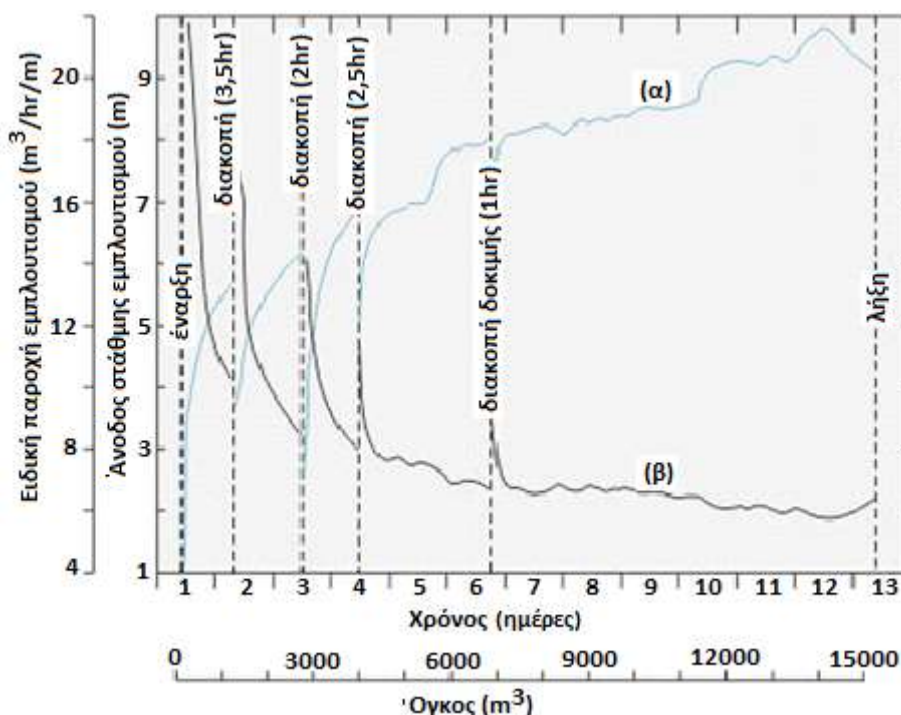
$$E = \frac{Q/P\alpha}{Q/Pt} \times 100 = \frac{100}{1 + CQ/B}, \text{ όπου}$$

Q: η παροχή έγχυσης

Ρα: το φορτίο έγχυσης που μετρείται στο πεδίο

Pt: το θεωρητικό φορτίο έγχυσης.

Το Σχήμα 5.22 παρουσιάζει την εξέλιξη της στάθμης και της ειδικής παροχής συναρτήσεως του χρόνου σε εφαρμογή Τ.Ε. με άμεση έγχυση.



**Σχήμα 5.22:** Τ.Ε. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης: α. η καμπύλη στάθμης συναρτήσεως του χρόνου, β. η καμπύλη ειδικής παροχής συναρτήσεως του χρόνου (Βαφειάδης και Πανώρας, 1996, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

Περιοριστικό παράγοντα για την επιλογή των τεχνικών άμεσης έγχυσης ως εναλλακτικού τρόπου Τ.Ε. αποτελεί το γεγονός ότι απαιτείται νερό υψηλότερης ποιότητας, από αυτό που δύναται να χρησιμοποιηθεί κατά την επιφανειακή διήθηση, διότι δεν υφίσταται πλέον η «φίλτρασή» του μέσω της ακόρεστης ζώνης. Επίσης η εφαρμογή της έγχυσης προϋποθέτει την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (SS), των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS), των παθογόνων μικροοργανισμών και των οργανικών ενώσεων από το νερό Τ.Ε. και την αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) σε αυτό.

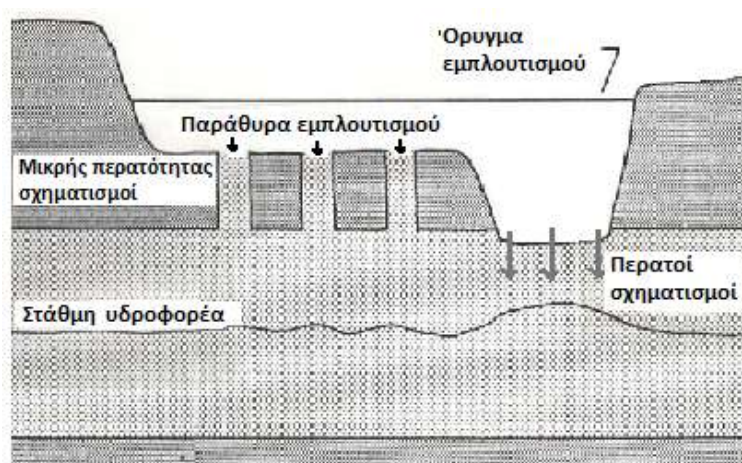
### 5.2.2.1. Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (Natural Openings Method)

Η μέθοδος αξιοποιεί υφιστάμενα φυσικά ανοίγματα, που έχουν προέλθει από τεμαχισμό ή διάλυση διάφορων ευδιάλυτων πετρωμάτων, λ.χ. ασβεστόλιθων, ώστε να διοχετευτεί το νερό Τ.Ε. σε υπόγεια υδροφόρα συστήματα.

Η μέθοδος εφαρμόζεται με σχετικά χαμηλό κόστος, όμως οι γεωλογικές συνθήκες και οι εδαφικές ιδιότητες σε πολλές περιπτώσεις κρίνονται αποθαρρυντικές για την επιτυχία της.

### 5.2.2.2. Μέθοδος ορυγμάτων (Pit Method)

Η μέθοδος ορυγμάτων χρησιμοποιεί βαθιά ορύγματα ή φρέατα, ώστε να τροφοδοτηθεί υπόγειο υδροφόρο σύστημα, που βρίσκεται κάτω από εδαφικές στρώσεις με μικρή υδραυλική αγωγιμότητα, με το νερό Τ.Ε. (Σχήμα 5.23).



**Σχήμα 5.23:** Τ.Ε. με ορύγματα και κανάλια (Kelly, 1967, McWhorter και Brookman, 1972, Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

Η αυξημένη απόδοση του Τ.Ε. με τη μέθοδο ορυγμάτων εξαρτάται από τη γεωμετρία των ορυγμάτων (Dvoracek και Scott, 1963, Scott και Aron, 1967). Πιο συγκεκριμένα, τα ορύγματα πρέπει να κατασκευάζονται με μεγάλη κλίση πρανών, ώστε να μην συγκρατούν την λύη, που περιέχεται στο νερό Τ.Ε. (Bianchi και Muckel, 1970).

Σε σχέση με τις μεθόδους του επιφανειακού Τ.Ε., η μέθοδος διαθέτει αρκετά υψηλό κόστος διάνοιξης και συντήρησης των ορυγμάτων. Στην περίπτωση, όμως, που υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης εγκαταλελειμμένων ορυγμάτων ή ορυγμάτων κατασκευασμένων από χάλικες, μετατρέπεται σε ικανοποιητική εναλλακτική λύση.

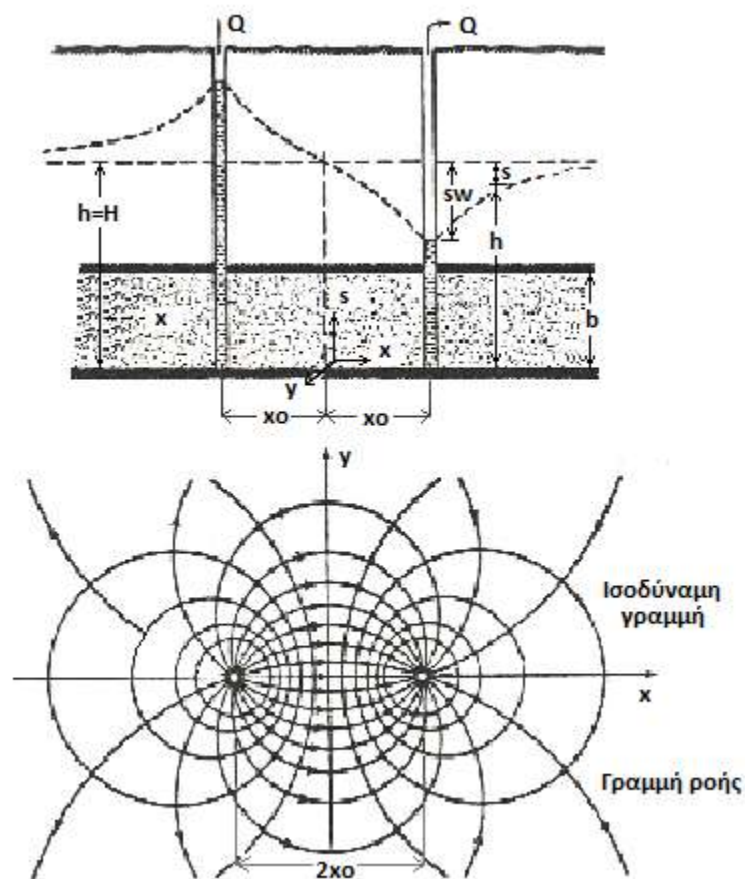
### 5.2.2.3. Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (Reverse Drainage Method)

Κατά τη μέθοδο της αντίστροφης αποστράγγισης, το νερό Τ.Ε. διατίθεται σε ένα υπόγειο δίκτυο αγωγών και στη συνέχεια διηθείται στο έδαφος. Η μέθοδος παρουσιάζει αρκετά κοινά στοιχεία με εκείνη της υπόγειας άρδευσης, αν και στη συγκεκριμένη περίπτωση το νερό δεν απομακρύνεται από την κορεσμένη ζώνη.

Το χαρακτηριστικό της μεθόδου, που την καθιστά δελεαστική μέθοδο Τ.Ε., είναι η δυνατότητα εφαρμογής της σε μικρή εδαφική επιφάνεια. Η αντίστροφη αποστράγγιση έχει εφαρμοστεί στην πράξη στην Κύπρο (Whetstone, 1956) και την Ιαπωνία (Public Works Research Institute, 1980).

#### 5.2.2.4. Μέθοδος με γεωτρήσεις Τ.Ε. (Recharge Well Method)

Το νερό μέσα στις γεωτρήσεις Τ.Ε. ακολουθεί αντίστροφη πορεία από την αντίστοιχη των γεωτρήσεων άντλησης. Σύμφωνα με τον Todd (1980), οι γεωτρήσεις Τ.Ε. τροφοδοτούνται με το νερό Τ.Ε., το οποίο δεν προέρχεται πάντοτε από επιφανειακή πηγή, και το μεταφέρουν στον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα (Σχήμα 5.24).



**Σχήμα 5.24:** Η μέθοδος των γεωτρήσεων έγχυσης:

- α. γεώτρηση άντλησης και Τ.Ε. σε αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα,
- β. το δίκτυο ροής του συστήματος των δύο γεωτρήσεων (Καλλέργης, 1986)

Η μέθοδος εφαρμόζεται περισσότερο σε καρστικά πετρώματα και λάβες (Καλλέργης, 1986) και προσφέρεται για τον Τ.Ε. βαθιών αρτεσιανών υδροφόρων συστημάτων, που υπόκεινται άλλων εδαφικών στρώσεων με χαμηλή περατότητα. Πρωταρχική χρήση των υδροφόρων συστημάτων που εμπλουτίζονται είναι η πόση, όμως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για ψύξη και για προστασία των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφόρων συστημάτων, όταν οι τελευταίοι αντιμετωπίζουν πρόβλημα υφαλμύρισης. Όπως και η μέθοδος της αντίστροφης αποστράγγισης,

μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές με αυξημένο κόστος απόκτησης γης, διότι χρησιμοποιεί μικρή έκταση. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι επιτυγχάνει την ταυτόχρονη επαναφόρτιση περισσότερων του ενός υδροφόρων οριζόντων και την υδραυλική επικοινωνία απομονωμένων μεταξύ τους υδροφόρων συστημάτων.

Η απόδοση της μεθόδου των γεωτρήσεων T.E. περιορίζεται εξαιτίας των ακόλουθων παραμέτρων:

- ✦ Της συγκράτησης αιωρούμενων στερεών (SS) στα φίλτρα των γεωτρήσεων και στο υδροφόρο σύστημα και της συνεπακόλουθης ελάττωσης της διαπερατότητας.

- ✦ Της μεταφοράς σημαντικών ποσοτήτων αέρα στο υδροφόρο σύστημα, ο οποίος βρίσκεται σε διάλυση στο νερό T.E..

- ✦ Της ανάπτυξης πληθυσμών παθογόνων βακτηρίων στο σύστημα των αγωγών των γεωτρήσεων.

- ✦ Της αποσύνθεσης (αποκροκίδωσης) του εδάφους λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου (Na).

- ✦ Της θερμοκρασίας του νερού T.E. και του υδροφόρου συστήματος (United States Department of Agriculture, 1967).

Επισημαίνεται, λοιπόν, το γεγονός ότι παρόλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου, η εφαρμογή της οφείλει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και ειδικότερα σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει η ευχέρεια διορθωτικών παρεμβάσεων στις γεωτρήσεις (Valliant, 1964, Hauser και Lotspeich, 1967).

Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής εξελίσσουν με ταχύτατους ρυθμούς τη μέθοδο των γεωτρήσεων τα τελευταία χρόνια (David και Ryne, 1994). Σε πολλές περιπτώσεις παράκτιων υδροφόρων συστημάτων, τα οποία εμφανίζουν υφαλμύριση και δεν προσφέρονται για την κατασκευή ταμειυτήρων, χρησιμοποιούνται γεωτρήσεις, όπου έχει λάβει χώρα T.E., για την προσωρινή ταμείωση και τη μετέπειτα άντληση νερού. Εμπειρικά, έχει διαπιστωθεί ότι η απόδοση της μεθόδου βελτιώνεται σε κάθε επόμενο κύκλο T.E., αποθήκευσης και άντλησης (Esmail και Kimbler, 1967, Kumar και Kimbler, 1970, Brown και Silvey, 1977). Μολονότι υπάρχει η τάση για αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ως νερού T.E., η χρήση τους σε γεωτρήσεις T.E. παρουσιάζει περιορισμένη αποδοχή και λαμβάνει χώρα μόνο σε περιπτώσεις υφαλμύρισης και εδαφικής καθίζησης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ώστε η ποιότητά τους να καθίσταται επιτρεπτή και το νερό του υδροφόρου συστήματος να μπορεί να ικανοποιήσει διάφορες υδατικές ανάγκες μετά τον T.E. (Baier και Wesner, 1971, Schicht, 1971).

#### **5.2.2.5. Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης και άντλησης (Aquifer Storage and Recover Wells, ASR wells)**

Οι γεωτρήσεις αποθήκευσης-άντλησης αποτελούν, όπως φανερώνει η ονομασία τους, συνδυασμό γεωτρήσεων αποθήκευσης και γεωτρήσεων άντλησης και χρησιμοποιούνται με στόχο να διατηρείται υπόγεια το εποχιακό πλεόνασμα του νερού (λ.χ. τους χειμερινούς μήνες, όταν τα κατακρημνίσματα είναι συχνά) και να αντλείται νερό σε περιόδους αυξημένων υδατικών απαιτήσεων.

Η μέθοδος τυγχάνει όλο και μεγαλύτερης αποδοχής διεθνώς, εφόσον συντελεί στην αύξηση των ποσοτήτων του πόσιμου νερού και στη μείωση του κόστους λειτουργίας του συστήματος άντλησης-αποθήκευσης, διότι το νερό υπόκειται αποκλειστικά σε απολύμανση με χλώριο (Cl), αφού αντληθεί (Bouwer, 1995).

#### **5.2.2.6. Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη (Vadose Zone Wells)**

Οι γεωτρήσεις της ακόρεστης ζώνης αποτελούν πηγάδια, τα οποία διαπερνούν τις ακόρεστες εδαφικές στρώσεις (με εξαίρεση εκείνες οι οποίες έχουν μολυνθεί, Bouwer, 1995), μέχρι το βάθος των 10 έως 50m. Διανοίγονται κατά βάσει σε περατούς σχηματισμούς, ώστε να επιτυγχάνεται διήθηση με υψηλές ταχύτητες. Οι γεωτρήσεις έχουν διάμετρο 1 έως 2m και χρησιμοποιούνται για τον Τ.Ε. περιοχών με χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων και άνευ αγωγών μεταφοράς των όμβριων νερών.

Σε περιπτώσεις όπου το υπόγειο υδροφόρο σύστημα βρίσκεται σε μεγάλο βάθος (100 έως 300m), η μέθοδος προτιμάται σε σύγκριση με εκείνη των γεωτρήσεων Τ.Ε. λόγω του χαμηλού της κόστους. Ωστόσο, η εμφάνιση του φαινομένου της απόφραξης των πόρων στα τοιχώματα των πηγαδιών (χωρίς να υφίσταται η δυνατότητα αντιμετώπισης του προβλήματος) αποτελεί τροχοπέδη για την εφαρμογή της. Επιπροσθέτως, σε σύγκριση με τις μεθόδους επιφανειακής επαναφόρτισης η μέθοδος των πηγαδιών της ακόρεστης ζώνης εμφανίζεται περισσότερο αντικοινομική.

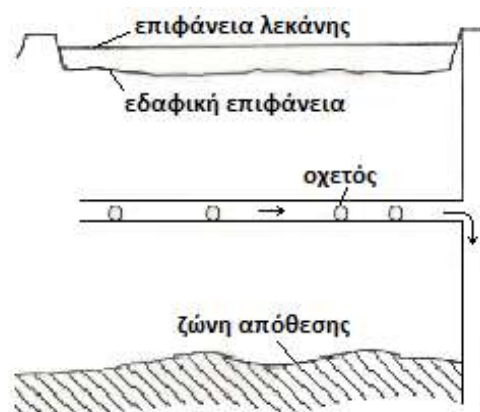
#### **5.2.3. Συνδυασμός επιφανειακού και υπεδάφιου Τ.Ε.**

Η κάλυψη των μεγάλων υδατικών αναγκών σε ειδικές περιπτώσεις προϋποθέτει την εφαρμογή μεθόδων επιφανειακού Τ.Ε. σε συνδυασμό με μεθόδους άμεσου υπεδάφιου Τ.Ε.. Με τον τρόπο αυτό, αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα και των δύο εφαρμογών: απλότητα εργασιών συντήρησης στον επιφανειακό Τ.Ε. και προστασία πολύ βαθιών υδροφόρων οριζόντων στην άμεση έγχυση.

#### **5.2.3.1. Συνδυασμός λεκάνης Τ.Ε. και αποστραγγιστικού δικτύου (Basins with Subsurface Drainage Collectors and Wells)**

Οι λεκάνες κατάκλυσης που έχουν κατασκευαστεί επάνω σε στρώσεις μεγάλου πάχους και χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας μπορούν να αυξήσουν την ποσότητα του νερού Τ.Ε. που θα μεταφέρουν υπόγεια μέσω ενός συστήματος αγωγών συλλογής ύδατος. Οι αγωγοί εγκαθίστανται στις υποκείμενες εδαφικές στρώσεις των λεκανών Τ.Ε. και μεταφέρουν το νερό σε γεωτρήσεις οι οποίες τροφοδοτούν βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες (Σχήμα 5.25).

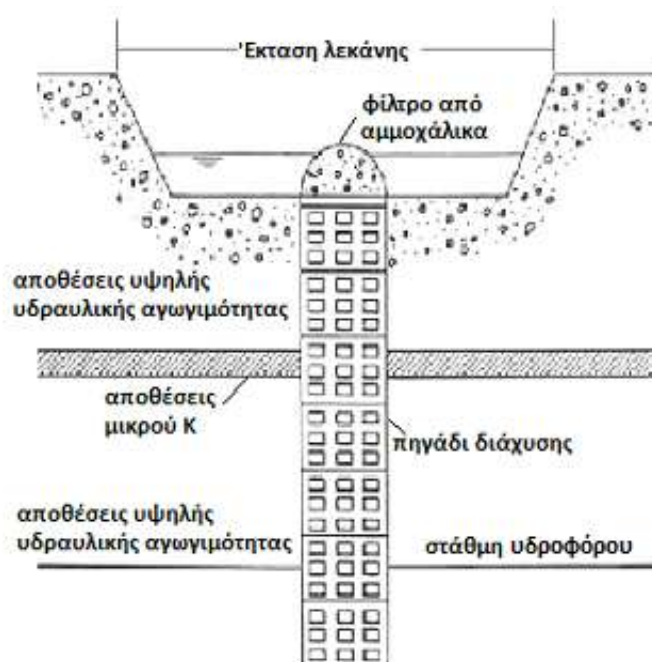




**Σχήμα 5.25:** Λεκάνη κατάκλυσης συνδεδεμένη με σύστημα συλλογής και μεταφοράς νερού Τ.Ε. (Bianchi et al., 1978, Καλλέργης 1986)

### 5.2.3.2. Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (Basins with Pits, Shafts or Wells)

Η παρούσα μέθοδος εμφανίζεται παρόμοια με την αμέσως προηγούμενη μόνο που, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ρόλο των αποστραγγιστικών αγωγών τον παίζουν ορύγματα, εκσκαφές και γεωτρήσεις. Το νερό Τ.Ε. οδηγείται μέσω αυτών σε περισσότερο διαπερατούς σχηματισμούς, που βρίσκονται κάτω από τις λεκάνες κατάκλυσης (Pettyjohn, 1968, Aronson και Seaburn, 1974) (Σχήμα 5.26).



**Σχήμα 5.26:** Συνδυασμός λεκάνης κατάκλυσης και γεώτρησης Τ.Ε. (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

### 5.2.4. Μέθοδοι έμμεσου Τ.Ε. (Indirect Recharge)

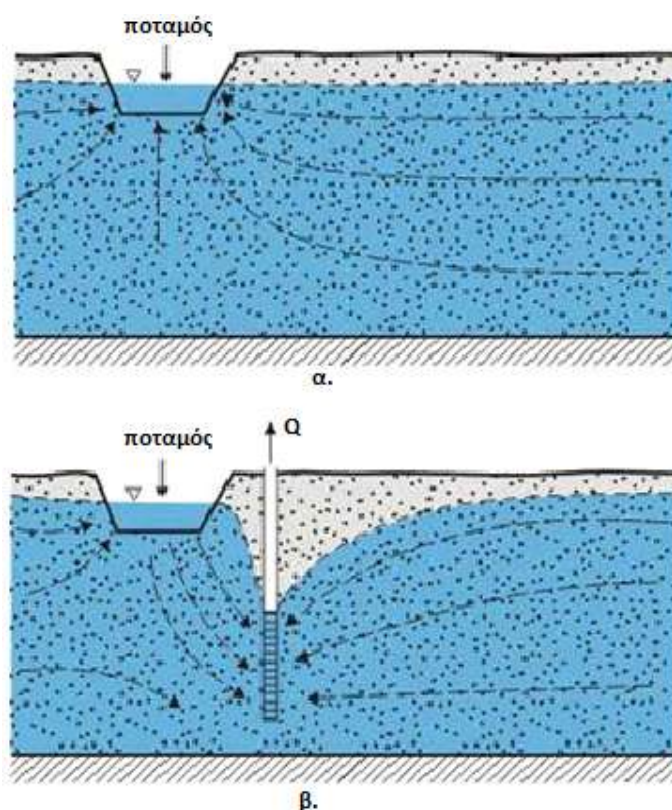
Ο έμμεσος Τ.Ε. στοχεύει στην άντληση υδροφόρων οριζόντων, ώστε να επαναφορτιστούν από γειτονικά επιφανειακά νερά με τα οποία υπάρχει απευθείας

υδραυλική διασύνδεση, αλλά και στη δημιουργία νέων υδροφόρων συστημάτων ή διευθέτηση υπαρχόντων για ταμίευση ή ανανέωση του υπόγειου δυναμικού.

#### 5.2.4.1. Επαγωγικός Τ.Ε. (Induced Surface Water Recharge)

Ο επαγωγικός Τ.Ε. επιτυγχάνεται με την άντληση υπόγειων νερών από μια παρακείμενη περιοχή ενός υδατορεύματος ή μιας λίμνης και την επακόλουθη τροφοδοσία του υδροφόρου συστήματος με νερό εξαιτίας της μεγάλης υδραυλικής κλίσης, που προκαλεί η πτώση της στάθμης λόγω της άντλησης (Σχήμα 5.27).

Η αποτελεσματικότητα του επαγωγικού Τ.Ε. και η ποσότητα του νερού Τ.Ε., που τροφοδοτεί το υδροφόρο σύστημα, συσχετίζεται με την ποσότητα των επιφανειακών νερών, την απόσταση από την επιφανειακή πηγή τροφοδοσίας και την υδραυλική αγωγιμότητα του συστήματος, την έκταση και τους σχηματισμούς της κοίτης του υδατορεύματος (ή της λίμνης) και την υδραυλική κλίση που δημιουργείται κατά την άντληση (Reed et al., 1966).



**Σχήμα 5.27:** Επαγωγικός Τ.Ε.: α. πριν την άντληση, β. μετά την άντληση (Καλλέργης, 2001, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

Αν και η μέθοδος δεν θεωρείται αμιγής τεχνική επαναφόρτισης υπόγειων νερών, συγκεντρώνει αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία την καθιστούν δελεαστική. Στην περίπτωση κατά την οποία υφίσταται συνεχής ροή στο υδατόρευμα ή η λίμνη, εξασφαλίζεται ένας διαρκής Τ.Ε. των υπόγειων νερών, ακόμη και αν ο ρυθμός άντλησης στην ευρύτερη περιοχή υπερβαίνει το ρυθμό φυσικής ανανέωσης του υδροφόρου συστήματος (Καλλέργης, 1986). Επιπροσθέτως, το κόστος εφαρμογής της μεθόδου είναι σχετικά χαμηλό και το νερό Τ.Ε. απαλλαγμένο από οργανικές ενώσεις και παθογόνους μικροοργανισμούς (Kazmann, 1948, Klaer, 1953). Τέλος,

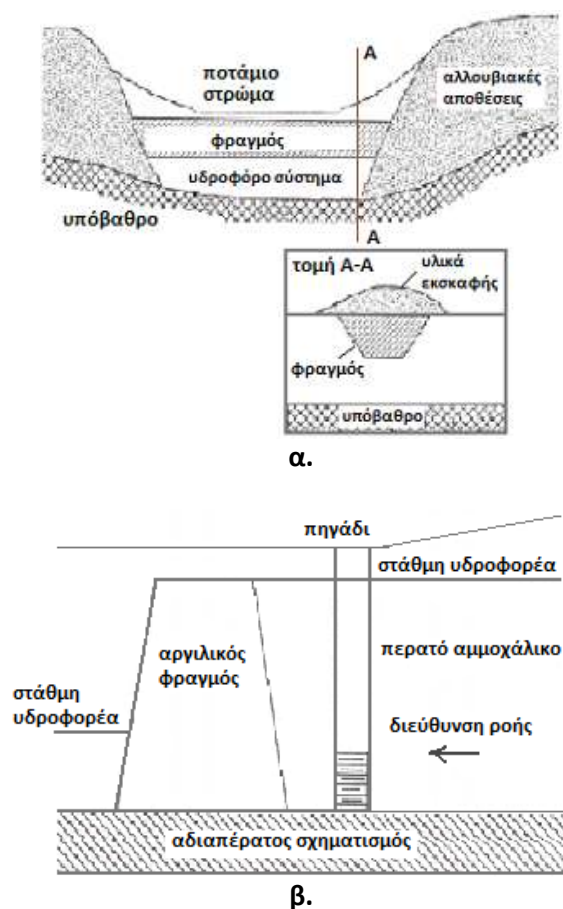
εάν η ταχύτητα ροής του υδατορεύματος είναι σημαντική, αποφεύγεται η καθίζηση της περιεχόμενης λύσης και η απόφραξη των πόρων της κοίτης (Καλλέργης, 1986).

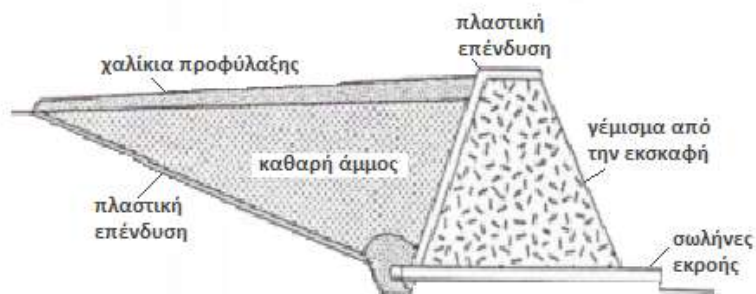
#### 5.2.4.2. Συμπτωματικός Τ.Ε. (Incidental Recharge)

Ο συμπτωματικός Τ.Ε. συντελείται ως τυχαία απόρροια ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και συχνά συνδέεται με προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης (ρύπανση-μόλυνση) των υδροφόρων συστημάτων (Καλλέργης, 1986). Για παράδειγμα, το αρδευτικό νερό, το νερό από τις καταβόθρες, τις σηπτικές δεξαμενές, τους υπόνομους, τα κανάλια κ.ο.κ. είναι πιθανόν να τροφοδοτήσει τα υπόγεια νερά. Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι ποσοστό 30% του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση καταλήγει στα ελεύθερα υδροφόρα συστήματα.

#### 5.2.4.3. Διευθέτηση υδροφόρων συστημάτων (Aquifer Modification)

Η επαναφόρτιση του υπόγειου υδατικού δυναμικού μπορεί να επιτευχθεί και μέσω τεχνικών κατασκευών διευθέτησης υδροφόρων συστημάτων. Τέτοια έργα μπορεί να περιλαμβάνουν υπόγεια διαφράγματα, τα οποία παρεμποδίζουν τη διαρροή των νερών (Keller, 1933, Ratnaparkhi, 1978, Pettyjohn, 1981), ή τεχνητά υδροφόρα συστήματα μικρής κλίμακας, που αυξάνουν την αποθηκευτική δυνατότητα (Σχήμα 5.28).





γ.

**Σχήμα 5.28:** Παραδείγματα διευθέτησης υδροφόρων συστημάτων: α. με παρεμπόδιση της εξόδου ροής, β. με αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας (υπόγειο διάφραγμα), γ. με κατασκευή τεχνητού υδροφόρου συστήματος (Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

### **5.2.5. Μέθοδοι Τ.Ε. με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα**

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/2011, της οποίας οι προδιαγραφές έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο IV της παρούσας εργασίας, διακρίνονται δύο κατηγορίες Τ.Ε. του υπόγειου υδατικού δυναμικού στην Ελλάδα:

- **Η άμεση τροφοδότηση μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή βαρύτητας.**
- **Η διήθηση του νερού Τ.Ε. διαμέσου εδαφικών στρώσεων επαρκούς πάχους και κατάλληλων χαρακτηριστικών.**

Κυρίως σε ξηρές και ημίξερές περιοχές, μερικώς επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα ή αστικά υγρά απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί προηγμένο καθαρισμό επιτρέπεται να διατεθούν αντιστοίχως επιφανειακά ή υπεδάφια, ώστε να αυξήσουν την ποσότητα του νερού του υδροφόρου συστήματος, να βελτιώσουν την ποιότητά του ή να δημιουργήσουν φυσικό φραγμό στη διείσδυση υφάλμυρου νερού. Ο επιφανειακός Τ.Ε., που επιλέγεται και στην περίπτωση υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας, της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, συντελείται με την κατασκευή λεκανών διήθησης, ενώ η υπεδάφια διάθεση πραγματοποιείται μέσω γεωτρήσεων τροφοδοσίας.

Η χρήση του εδάφους ως συστήματος καθαρισμού των υγρών αποβλήτων στηρίζεται στην ικανότητα της ακόρεστης εδαφικής ζώνης (vadose) του υδροφόρου συστήματος να λειτουργεί ως φίλτρο και να ελαττώνει το ρυπαντικό φορτίο, καθώς τα απόβλητα κινούνται προς τα υδρομαστευτικά έργα (Bouwer, 1993). Πιο αναλυτικά, υγρά απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία ορισμένου βαθμού αρχικά διατίθενται στο έδαφος, στη συνέχεια διηθούνται διαμέσου των πόρων του, καθαρίζονται, καθώς μετακινούνται (λόγω της βαρύτητας) προς τον υδροφόρο ορίζοντα και τέλος αντλούνται ως καθαρά νερά για αξιοποίησή τους σε διάφορες χρήσεις πλην πόσης ή αποθηκεύονται στο υδροφόρο σύστημα για μακροχρόνια ή βραχυπρόθεσμα χρονικά διαστήματα. Στην περίπτωση που υφίσταται αναγκαιότητα αξιοποίησης των υπόγειων νερών, αυτά ανακτώνται μέσα από κατάλληλα διανοιγμένες γεωτρήσεις (βαθιά υδροφόρα συστήματα), κατάλληλα τοποθετημένους αγωγούς αποστράγγισης ή υπόγεια στραγγιστήρια (ρηχά υδροφόρα συστήματα, Bouwer, 1993) ή από γεινιάζοντα υδατορεύματα.

Στις περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτό να εφαρμοστεί η μέθοδος της επιφανειακής διάθεσης των αποβλήτων λόγω ακαταλληλότητας των επιφανειακών

εδαφικών σχηματισμών ή ανασταλτικών παραμέτρων στην ακόρεστη ζώνη ή το υδροφόρο σύστημα, επιλέγεται η απευθείας εισαγωγή τους στα υπόγεια νερά μέσω γεωτρήσεων έγχυσης. Η επιτυχία της μεθόδου των γεωτρήσεων έχει άμεση συνάφεια με την ποιότητα των υγρών αποβλήτων, που χρησιμοποιούνται. Η πρόληψη του φαινομένου της απόφραξης των εδαφικών πόρων γύρω από τις γεωτρήσεις προϋποθέτει τη χρήση εκροής υψηλής ποιότητας και απαλλαγμένη από το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS), του οργανικού άνθρακα ©, των θρεπτικών συστατικών (N, P) και των παθογόνων μικροοργανισμών. Επιτρέπεται η ύπαρξη μιας στοιχειώδους περιεκτικότητας χλωρίου (Cl), η οποία θα παρεμποδίσει τη βιολογική απόφραξη των γεωτρήσεων. Με άλλα λόγια, το ανακτημένο νερό που θα χρησιμοποιηθεί οφείλει να ικανοποιεί τα στοιχειώδη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού και στη συνέχεια να υποστεί προηγμένο καθαρισμό (Advanced Wastewater Treatment, AWT) (Bouwer, 1995). Επιπροσθέτως, οι γεωτρήσεις πρέπει να υπόκεινται ανά διαστήματα σε άντληση, γεγονός που δημιουργεί μια πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση στη μέθοδο εκτός από το υψηλό οικονομικό κόστος που επισύρει ο απαιτούμενος υψηλός βαθμός καθαρισμού της χρησιμοποιούμενης εκροής σε σχέση πάντα με την επιφανειακή διήθηση (Baier και Wesner, 1971, Schicht, 1971, Bouwer, 1993).

Η τροφοδότηση υδροφόρων συστημάτων με υγρά απόβλητα μέσω γεωτρήσεων, επιλέγεται αποκλειστικά σε ειδικές περιπτώσεις, όπως η αυξημένη επικινδυνότητα καθιζήσεων του εδάφους, η υφαλμύριση κ.α. Ωστόσο, εάν το υδροφόρο σύστημα αποτελείται από χονδρόκοκκους σχηματισμούς, η απόδοση της μεθόδου των γεωτρήσεων παρουσιάζεται και πάλι ελαττωμένη σε σχέση με τη μέθοδο των λεκανών διήθησης.

Η αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επαναφόρτιση των υπόγειων νερών αποφέρει τα ακόλουθα οφέλη:

- **Βελτίωση και προστασία της ποιότητας του νερού από ρύπανση και μόλυνση.**

- **Ενίσχυση της ποσότητας του υπόγειου υδατικού δυναμικού, ώστε να μην υφίσταται κίνδυνος εξάντλησής του λόγω μη ορθολογικής άντλησης.**

- **Προστασία των επιφανειακών νερών, λ.χ. των ποταμών, των υδατορευμάτων, των λιμνών, της θάλασσας, εφόσον τα αστικά υγρά απόβλητα θα τροφοδοτούν υπόγεια υδροφόρα συστήματα και δεν θα καταλήγουν σε αυτά (Bouwer, 1985).**

#### 5.2.5.1. Συστήματα εδαφικής διάθεσης

Η διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην εδαφική επιφάνεια αποτελεί φυσική μέθοδο επεξεργασίας τους, αλλά και μέθοδο φόρτισης των υπόγειων νερών. Βασικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στην εφαρμογή της μεθόδου είναι η υδρογεωλογία της περιοχής, η υδροπερατότητα του εδάφους, το πάχος της ακόρεστης ζώνης, η κοκκομετρία των εδαφικών σχηματισμών κ.α.

Τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα διαθέτουν φυσικές παραμέτρους καθαρισμού, ταμίευσης και διακίνησης των αποβλήτων, οι σημαντικότερες εκ των οποίων περιλαμβάνουν:

✦ **Το έδαφος:** Με τις διαδικασίες της προσρόφησης, της ανταλλαγής ιόντων, της κατακρήμνισης κ.ο.κ. μειώνεται η συγκέντρωση των ρυπαντικών ουσιών των υγρών αποβλήτων.

✦ **Τη βλάστηση:** Τα φυτά καταναλώνουν ανόργανες ουσίες και θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται μέσα στα υγρά απόβλητα.

✦ **Τους μικροοργανισμούς:** Μικρόβια και βακτήρια επιταχύνουν διάφορες αντιδράσεις.

Αφού προσδιοριστούν οι απαιτήσεις της επεξεργασίας και η ικανότητα του συστήματος SAT, επιλέγεται το επίπεδο της προεπεξεργασίας των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων. Η διαδικασία επηρεάζεται από το σκοπό, τη μέθοδο και την περιοχή εφαρμογής του T.E., καθώς επίσης και την προβλεπόμενη χρήση των αποβλήτων. Όσον αφορά στα αστικά υγρά πόβλητα, η προεπεξεργασία συντελείται σε δεξαμενές καθίζησης με ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg), ώστε να απομακρυνθούν τα περιεχόμενα ολικά στερεά (TS). Συνήθως, δεν συνίσταται παραμονή των αποβλήτων σε δεξαμενές οξείδωσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα, διότι τα άλγη, που παράγονται, μειώνουν τη διηθητικότητα του νερού T.E. από τη βάση του συστήματος τροφοδοσίας στο έδαφος. Σε δεξαμενές διαύγασης, αφαιρείται η αμμωνία (NH<sub>3</sub>), ελαττώνεται το pH των αποβλήτων και στη συνέχεια αυτά οδηγούνται σε μια σειρά από λεκάνες T.E..

Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο έδαφος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του υδροφόρου συστήματος. Εμπειρικά, αναφέρεται ότι ένας μέσος χρόνος παραμονής είναι 30 ημέρες και η διανυόμενη απόσταση 100m.

Τα συστήματα εδαφικής εφαρμογής υγρών αποβλήτων διαχωρίζονται στους εξής τύπους (Βουδούρης, 2012):

✦ **Κατείδυση-Βραδεία διήθηση (Slow rate infiltration):** Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει δύο επιμέρους κατηγορίες διήθησης' την Κατηγορία I και την Κατηγορία II (Surface irrigation). Η Κατηγορία I χρησιμοποιείται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, ενώ η Κατηγορία II για αρδευτικούς σκοπούς. Η τελευταία εφαρμόζεται ως καταιονισμός ή στάγδην άρδευση και περιλαμβάνει τη φύτευση ως απαραίτητη λειτουργική προϋπόθεση. Η εκτίμηση της απαιτούμενης έκτασης γης για τις δραστηριότητες της πρώτης κατηγορίας συνυπολογίζει τη διαπερατότητα του εδάφους, το οργανικό φορτίο και το φορτίο αζώτου (N) της εισροής. Οι συνήθεις τιμές κυμαίνονται μεταξύ 60 έως 150 στρέμματα ανά 1000m<sup>3</sup>. Η απαιτούμενη επιφάνεια εδάφους για τη δεύτερη κατηγορία προσδιορίζεται από τις υδατικές ανάγκες της βλάστησης και συνήθως είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της Κατηγορίας I. Τυπικές τιμές εκτάσεων γης για τις δραστηριότητες της άρδευσης κυμαίνονται μεταξύ 200 έως 500 στρεμμάτων ανά 1000m<sup>3</sup>. Ο ρυθμός διήθησης αγγίζει τα μερικά δέκατα του m ανά ημέρα κατά τη διάρκεια της φόρτισης, ενώ μια μέση τιμή του κυμαίνεται μεταξύ των 50 έως 100m<sup>3</sup> /έτος.

Ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα κριτήρια εκτίμησης της καταλληλότητας ενός εδάφους να στηρίξει ένα σύστημα βραδείας διήθησης και την επίδοση των διαφόρων τύπων εδάφους ως προς αυτά.

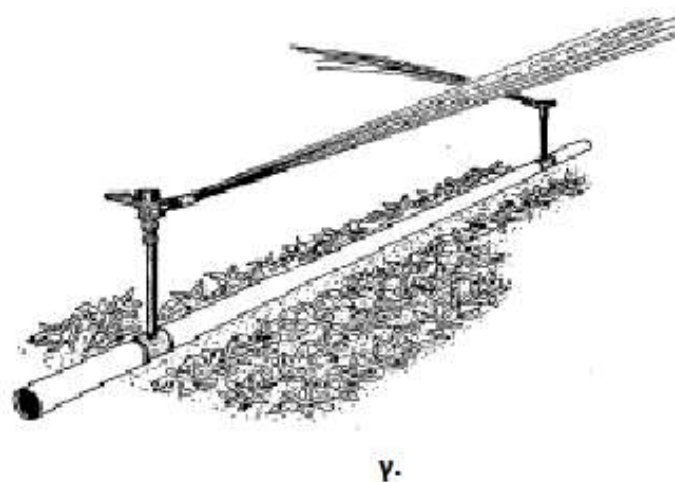
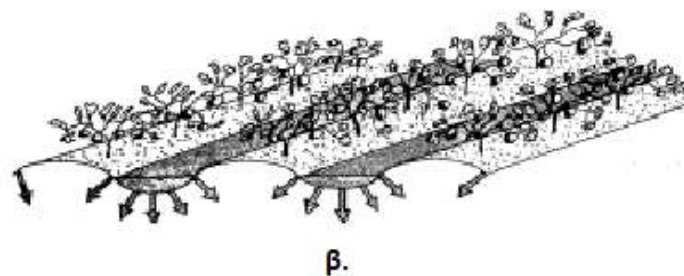
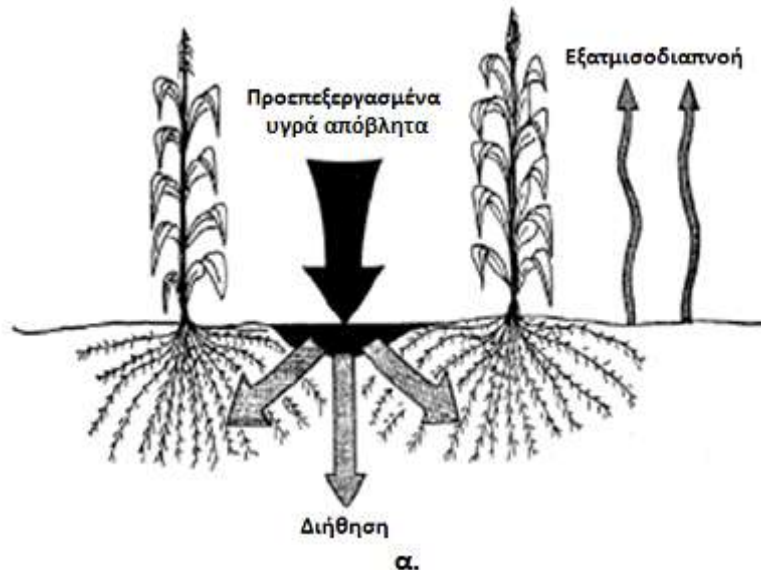
**Πίνακας 5.2:** Τα κριτήρια εκτίμησης της καταλληλότητας ενός εδάφους για την εφαρμογή εδαφικού συστήματος βραδείας διήθησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (EPA, 1981)

Κριτήριο	Αγροτική περιοχή	Δάσος
<b>Βάθος εδάφους (m)</b>		
0,3 έως 0,6	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται
0,6 έως 1,5	3	3
1,5 έως 3	8	8
>3	9	9
<b>Βάθος υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (m)</b>		
< 1,2	0	0
1,2 έως 3	4	4
> 3	6	6
<b>Διαπερατότητα εδάφους (mm/hr)</b>		
< 1,5	1	1
1,5 έως 5	3	3
5 έως 15	5	5
15 έως 50	8	8
50 έως 500	8	8
> 500	1	1
<b>Κλίση εδάφους (%)</b>		
0 έως 5	8	8
5 έως 10	6	8
10 έως 15	4	6
15 έως 20	1	5
20 έως 30	0	4
30 έως 35	Απορρίπτεται	2
> 35	Απορρίπτεται	0
<b>Χρήσεις γης</b>		
Βιομηχανία / Εμπόριο	0	0
Πυκνή οικιστική δόμηση	0	0
Αραιή οικιστική δόμηση	1	1
Δάσος	1	4
Γεωργία / Ανοιχτός χώρος	4	3
<b>Επίδοση Τ.Ε.</b>		
Κακή	<15	<15
Μέτρια	15 έως 25	15 έως 25
Καλή	25 έως 35	25 έως 35

Τα συστήματα βραδείας διήθησης περιλαμβάνουν την υδραυλική ροή, την κατάκλιση και την τεχνητή βροχή (Σχήμα 5.29) και επιτυγχάνουν απομάκρυνση της οργανικής φόρτισης κατά ποσοστό άνω του 98% και του αζώτου (N) από 70 έως 80%. Η μέθοδος απαιτεί προεπεξεργασία της εισροής και συνήθως με βιολογική επεξεργασία.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος βραδείας διήθησης περιλαμβάνει διαδοχικά τις εξής εργασίες:

- Επιλογή της βλάστησης.
- Εκτίμηση του βαθμού προεπεξεργασίας της εισροής.
- Επιλογή της μεθόδου διανομής.
- Προσδιορισμό της υδραυλικής φόρτισης.
- Υπολογισμό της απαιτούμενης έκτασης γης.



**Σχήμα 5.29:** Τα συστήματα βραδείας διήθησης: α. η υδραυλική ροή, β. η κατάκλυση, γ. η τεχνητή βροχή (Νουτσόπουλος, 2012)



■ **Ταχεία διήθηση (Rapid infiltration):** Ο τύπος αυτός διακρίνεται επιμέρους στη διήθηση μέσω υδραυλικής ροής σε υπόγειο υδροφόρο σύστημα και σε επιφανειακά νερά. Η ανάκτηση υγρών αποβλήτων για επανακυκλοφορία γίνεται με αποστράγγιση και με πηγάδια, ενώ εφαρμόζεται επιφανειακά και σπανίως απαιτεί φύτευση. Το βάθος του εδάφους, όπου εφαρμόζεται, συνήθως ξεπερνά τα 1,5m, έχει υψηλή διαπερατότητα (>50mm/hr), μέτρια κλίση (<10%) και μεγάλο βάθος υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (3m). Η απομάκρυνση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5) επιτυγχάνεται σε ποσοστά από 86 έως 100%. Το άζωτο (N) απομακρύνεται κατά ποσοστά από 10 έως 93% και εξαρτάται από την υδραυλική φόρτιση, καθώς και τον κύκλο εφαρμογής. Ο φώσφορος (P) υπόκειται σε απομείωση κατά ποσοστά από 30 έως 99%, ενώ τα αιωρούμενα στερεά (SS) σε πλήρη απομείωση (100%). Απαιτείται προεπεξεργασία της εισροής με πρωτοβάθμια καθίζηση. Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους διήθησης, η ταχεία διήθηση απαιτεί τη μικρότερη έκταση εδάφους για την εφαρμογή της (12 στρέμματα/1000m<sup>3</sup>/ημέρα). Η επιφάνεια γης που καταλαμβάνουν οι λεκάνες διήθησης σε μικρά συστήματα εδαφικής διάθεσης υγρών αποβλήτων κυμαίνεται μεταξύ 0,2 έως 0,8ha. Το ύψος των αναχωμάτων είναι 1 έως 1,3m και ο λόγος μήκος προς πλάτος λαμβάνει τιμές στο διάστημα μεταξύ 2:1 έως 3:1. Οι κύκλοι λειτουργίας (Πίνακας 5.3) διακρίνονται κατ' αναλογία με τον απαιτούμενο βαθμό καθαρισμού των υγρών αποβλήτων και την εποχή εφαρμογής της διήθησης. Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει τις απαιτούμενες λεκάνες Τ.Ε. για την εφαρμογή συστήματος ταχείας διήθησης σε σχέση με τους κύκλους διήθησης.

**Πίνακας 5.3:** Οι κύκλοι λειτουργίας της ταχείας διήθησης (EPA, 1981)

Επιδιωκόμενο αποτέλεσμα	Εποχή	Εφαρμογή (ημέρες)	Αναστολή εφαρμογής (ημέρες)
Μεγιστοποίηση υδραυλικής φόρτισης	Καλοκαίρι	1 έως 3	4 έως 5
	Χειμώνας	1 έως 3	5 έως 10
Μεγιστοποίηση νιτροποίησης	Καλοκαίρι	2 έως 3	5 έως 6
	Χειμώνας	1 έως 3	6 έως 10
Μεγιστοποίηση απονιτροποίησης	Καλοκαίρι	7 έως 9	10 έως 15
	Χειμώνας	9 έως 12	12 έως 16

**Πίνακας 5.4:** Ο αριθμός των απαιτούμενων λεκανών Τ.Ε. σε σύστημα ταχείας διήθησης συναρτήσσει των κύκλων διήθησης (EPA, 1981)

Εφαρμογή (ημέρες)	Αναστολή εφαρμογής (ημέρες)	Λεκάνες διήθησης	Εφαρμογή (ημέρες)	Αναστολή εφαρμογής (ημέρες)	Λεκάνες διήθησης
1	5 έως 7	6 έως 8	1	10 έως 14	11 έως 15
2	5 έως 7	4 έως 5	2	10 έως 14	6 έως 8
1	7 έως 12	8 έως 13	1	12 έως 16	13 έως 17
2	7 έως 12	5 έως 7	2	12 έως 16	7 έως 9
1	4 έως 5	5 έως 6	7	10 έως 15	3 έως 4
2	4 έως 5	3 έως 4	8	10 έως 15	3

3	4 έως 5	3	9	10 έως 15	3
1	5 έως 10	6 έως 11	7	12 έως 16	3 έως 4
2	5 έως 10	4 έως 6	8	12 έως 16	3
3	5 έως 10	3 έως 5	9	12 έως 15	3

✦ **Επιφανειακή απορροή (Overland flow):** Η επιφανειακή απορροή απαιτεί προεπεξεργασία της εισροής, όπως και οι δύο μέθοδοι διήθησης που προαναφέρθηκαν, εφαρμόζεται επιφανειακά και καλύπτει έκταση 40 στρεμμάτων/1000m<sup>3</sup>/ημέρα. Η φύτευση είναι απαραίτητη παράμετρος για την εφαρμογή της. Το βάθος του εδάφους, όπου εφαρμόζεται, ξεπερνά τα 0,15m, έχει χαμηλή διαπερατότητα (<5mm/hr) και μέτρια κλίση (2 έως 8%). Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά στοιχεία της μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

**Πίνακας 5.5:** Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της εδαφικής διάθεσης των υγρών αποβλήτων με επιφανειακή απορροή (EPA, 1981)

Παράμετρος Συστήματος	Βαθμός προεπεξεργασίας			
	Εσχάρωση	Πρωτοβάθμια επεξεργασία / Αεριζόμενες λίμνες	Λίμνες οξείδωσης	Δευτεροβάθμια επεξεργασία
Ταχύτητα εφαρμογής (L/m/min)	3 έως 7,5	3 έως 7,5	<2	4 έως 10
Μήκος κεκλιμένης επιφάνειας (m)	30 έως 45	30 έως 45	45	30 έως 45
Χρονικό διάστημα εφαρμογής (hr)	8 έως 12	8 έως 12	8 έως 12	8 έως 12
Χρονικό διάστημα αναστολής της εφαρμογής (hr)	16 έως 12	16 έως 12	16 έως 12	16 έως 12

✦ **Τεχνητός υγροβιότοπος (Artificial wetland) (Σωτηράκης, 2005, Νουτσόπουλος, 2012):** Οι τεχνητοί υγροβιότοποι ανήκουν με τη σειρά τους στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και μπορούν να κατασκευαστούν και για ανάγκες τροφοδότησης υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Η συνήθης εφαρμογή τους είναι ο καθαρισμός αστικών υγρών αποβλήτων μικρών οικισμών, βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, υγρών αποβλήτων ορυχείων, επιφανειακής απορροής αγροτικών περιοχών ή αυτοκινητοδρόμων και στραγγιδίων Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Η επίτευξη τριτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και πλημμυρικών απορροών, το χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος, η χρήση υλικών από

την τοποθεσία όπου χωροθετείται το έργο, η αυξημένη απόδοση σε μεγάλες διακυμάνσεις παροχών και ρυπαντικού φορτίου και η ομαλή ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον και τοπίο καθιστούν τα συστήματα των υδροβιότοπων δελεαστική επιλογή στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων.

Η βλάστηση των υδροβιότοπων επιτελεί πληθώρα φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, μεταξύ των άλλων η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (SS), η μείωση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>), η νιτροποίηση, η συμμετοχή στον κύκλο του φωσφόρου (P), η πρόσληψη των μετάλλων και η εξασθένιση της δράσης των παθογόνων μικροοργανισμών.

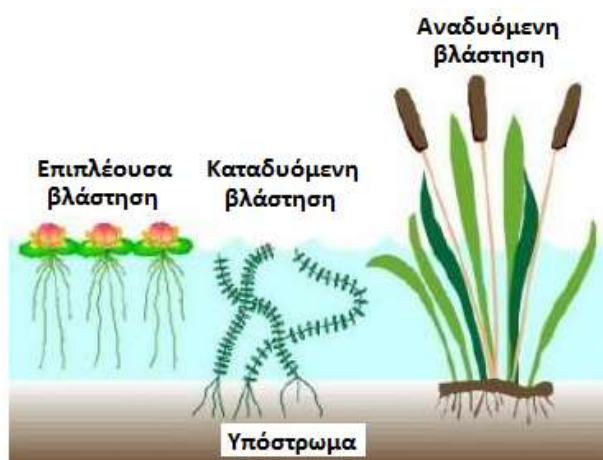
Οι τεχνητοί υδροβιότοποι διαχωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες' τους υδροβιότοπους επιφανειακής (Free Water Surface Treatment Wetlands, FWS) και υποεπιφανειακής ροής (Subsurface Flow Treatment Wetlands, SSF) και τους υδροβιότοπους με επιπλέοντα φυτά (Floating Aquatic Plant Treatment Systems, FAP) (EPA, 1999).

Οι υδροβιότοποι επιφανειακής ροής λειτουργικά συμπεριφέρονται ως φυσικά οικοσυστήματα και αναπτύχθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, στις αρχές της δεκαετίας του 1970 (EPA, 1999). Η διάταξή τους περιλαμβάνει την κατασκευή μιας δεξαμενής μικρού βάθους από εδαφικό υλικό ή υλικό που ευνοεί την ανάπτυξη βλάστησης με αναλογία μήκους προς πλάτους 2:1 έως 10:1. Η δεξαμενή είναι πληρωμένη με έναν υδάτινο όγκο. Κύρια μειονεκτήματα αυτού του τύπου υδροβιότοπων αποτελούν η απαίτηση μεγάλων καλύψεων γης και διεξαγωγής ελέγχων για την ανάπτυξη εστιών κουνουπιών, το μεγάλο χρονικό διάστημα, ώστε να λειτουργήσει το σύστημα υπό πλήρη φόρτιση, ο εξειδικευμένος σχεδιασμός, καθώς και η μικρή ανθεκτικότητα σε ψυχρά κλίματα. Ωστόσο, είναι περισσότερο οικονομική λύση, εφόσον τα υλικά κατασκευής και εργασιών επιδιόρθωσης βρίσκονται στο χώρο όπου λαμβάνει χώρα η εγκατάσταση του έργου, δεν απαιτεί τη χρήση χημικών και επιτυγχάνεται ικανοποιητική απομάκρυνση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>) και των αιωρούμενων στερεών (SS) και μέτρια των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής της εισροής είναι 5 έως 14 ημέρες, το βάθος του νερού κυμαίνεται μεταξύ των 0,1 έως 0,5m, το οργανικό φορτίο προς επεξεργασία είναι περίπου 8Kg βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>)/στρέμμα/ημέρα, το αντίστοιχο υδραυλικό φορτίο αγγίζει τα 0,01 έως 0,06m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ημέρα, ενώ η απαιτούμενη επιφάνεια γης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,02 έως 0,14στρέμματα/m<sup>3</sup>/ημέρα. Η συγκομιδή της βλάστησης λαμβάνει χώρα ανά 3 έως 5 έτη. Τέλος, οι απαιτήσεις προεπεξεργασίας της εισροής είναι ίδιες με αυτές των υπόλοιπων βιολογικών μεθόδων καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.

Από την άλλη πλευρά, ο υδροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής κατακόρυφης (VF) ή οριζόντιας (HF) κυκλοφορίας κατασκευάζεται με μεγαλύτερο βάθος νερού, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,3 έως 0,8m, επιτυγχάνει παρόμοιους (με το σύστημα επιφανειακής ροής) χρόνους παραμονής (5 έως 14 ημέρες), μπορεί να επεξεργαστεί παρόμοια ποσότητα οργανικού και υδραυλικού φορτίου (8Kg βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>)/στρέμμα/ημέρα και 0,01 έως 0,06m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ημέρα αντίστοιχως) και απαιτεί την ίδια έκταση γης (0,02 έως 0,14στρέμματα/m<sup>3</sup>/ημέρα). Σε σύγκριση με τους υδροβιότοπους επιφανειακής ροής, πλεονέκτημά του εμφανίζεται ο αποκλεισμός της ανάπτυξης κουνουπιών. Ωστόσο, υφίσταται αυξημένη συχνότητα συγκομιδής της βλάστησης, η οποία

κυμαίνεται μεταξύ του ενός και των δύο ετών, γεγονός που αυξάνει το κόστος συντήρησης του συστήματος.

Το Σχήμα 5.30 παρουσιάζει τα φυτά των υδροβιότοπων επιφανειακής ροής.



**Σχήμα 5.30:** Τα φυτά των τεχνητών υδροβιότοπων επιφανειακής ροής

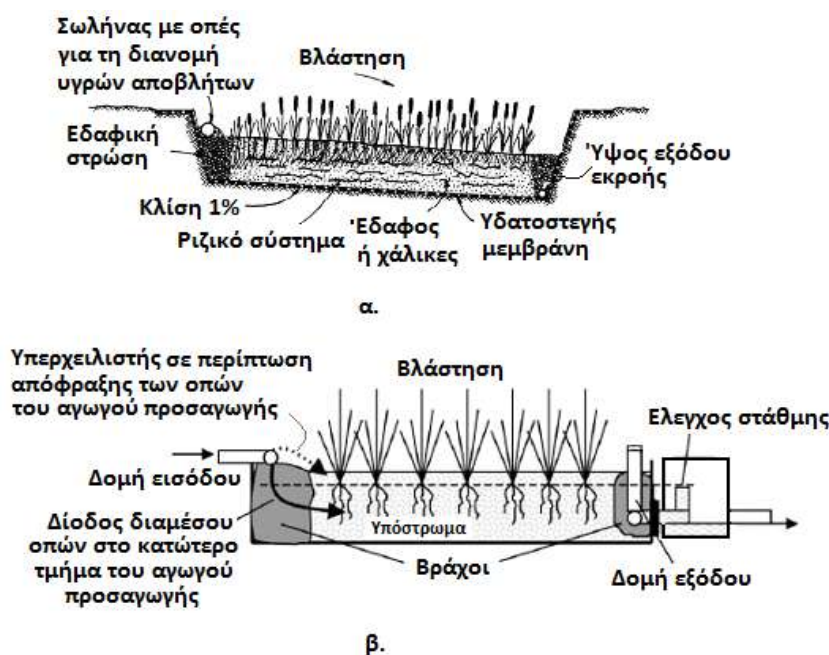
Η ικανότητα των υδροβιότοπων να βελτιώνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού έχει αναγνωριστεί εδώ και 30 περίπου χρόνια (EPA, 1999). Η εδαφική διάθεση των αποβλήτων επιτυγχάνει καθαρισμό ανώτερου του δευτεροβάθμιου, εφόσον απομακρύνει τελείως τα αιωρούμενα στερεά (SS) και τους παθογόνους μικροοργανισμούς, καθώς και το μεγαλύτερο κλάσμα των θρεπτικών συστατικών (N, P), των οργανικών ενώσεων (βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5)) και των βαρέων μετάλλων. Πιο αναλυτικά, σε συστήματα υποεπιφανειακής ροής τα αιωρούμενα στερεά (SS) παγιδεύονται και βιοαποικοδομούνται, καθώς τα απόβλητα διηθούνται στο έδαφος, ενώ σε συστήματα επιφανειακής ροής, καθιζάνουν και βιοαποικοδομούνται. Το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων με τη σειρά του υπόκειται σε αερόβια ή αναερόβια αποικοδόμηση. Οι ενώσεις αζώτου (N) καθιζάνουν, υπόκεινται σε φίλτραση, αμμωνιοποίηση (οργανικό άζωτο (N)), προσρόφηση, νιτροποίηση, πτητικοποίηση (αμμωνιακό άζωτο (NH<sub>4</sub>-N)), απορρόφηση από τη βλάστηση και απονιτροποίηση (νιτρικό άζωτο (NO<sub>3</sub>-N)). Η αφαίρεση του φωσφόρου (P) επιτυγχάνεται μέσω της προσρόφησης από τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους, της χημικής κατακρήμνισης ή της πρόσληψης από τα φυτά, κατά τη βραδεία διήθηση, ενώ των μετάλλων μέσω προσρόφησης, ανταλλαγής ιόντων, κατακρήμνισης και πρόσφυσης. Τέλος, η απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών απαιτεί τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) παρουσιάζουν μικρή αύξηση στο ανακτημένο νερό, ενώ ο δείκτης SAR μείωση λόγω της ανταλλαγής κατιόντων. Η διάρκεια των φυσικοχημικών διεργασιών εμφανίζεται μικρή όσον αφορά στην απομάκρυνση του νατρίου (Na) και βορίου (B) και μεγάλη, όταν σχετίζεται με την αφαίρεση ιχνοστοιχείων.

Ο Πίνακας 5.6 παρουσιάζει το ποσοστό απομάκρυνσης χημικών οργανικών συστατικών των υγρών αποβλήτων σε ένα σύστημα SAT.

**Πίνακας 5.6:** Η απομάκρυνση χημικών οργανικών συστατικών κατά την επιφανειακή διάθεση υγρών αποβλήτων σε σύστημα SAT (EPA, 2012)

Είδος συστατικού	Περιεχόμενο συστατικό	Απομάκρυνση (%)
Benz(a)pyrene		Απουσία δεδομένων
Αντιβιοτικές ουσίες	Erythromycin, sulfamethoxazole, triclosan, trimethoprim	Απουσία δεδομένων
Φαρμακευτικές ουσίες	Diazepam	Απουσία δεδομένων
	Carbamazepine	25-50
	Diclofenac	>90
	Ibuprofen	>90
	Paracetamol	>90
Ορμόνες	Στεροειδή: Ethynylestradiol, estrone, estradiol, estriol	>90
	Αναβολικές ουσίες: Progesterone, testosterone	Απουσία δεδομένων
Δυσσομία		>90
N-nitrosodimethylamine		>90

Το Σχήμα 5.31 παρουσιάζει τις διατάξεις τεχνητών υγροβιότοπων επιφανειακής και υποεπιφανειακής ροής.



**Σχήμα 5.31:** Τεχνητοί υγροβιότοποι: α. επιφανειακής ροής, β. υποεπιφανειακής ροής

Βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων SAT θεωρούνται η απλή υλοποίησή τους, η έλλειψη πολυπλοκότητας στη λειτουργία και το χαμηλό οικονομικό κόστος κατασκευής-λειτουργίας-συντήρησης κυρίως λόγω της απουσίας ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο, το οικονομικό κόστος μπορεί να παρουσιαστεί αυξημένο στην περίπτωση κατά την οποία η απόσταση μεταξύ της πηγής τροφοδοσίας των

υγρών αποβλήτων και του σημείου διάθεσής τους είναι σημαντική. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων SAT είναι η ανθεκτικότητά τους στο πέρασμα του χρόνου και η κατά συνέπεια μεγάλη διάρκεια ζωής τους (Bouwer, 1991). Επειδή τα μέταλλα και τα φωσφορικά συγκεντρώνονται με αργό ρυθμό (η διαδικασία διαρκεί δεκαετίες ή ακόμη και αιώνες) στην ακόρεστη ζώνη του υδροφόρου συστήματος, μειώνουν την ικανότητα διήθησης του εδάφους. Τέλος, τα συστήματα SAT κατασκευάζονται κατά τέτοιον τρόπο ώστε ολόκληρη η ποσότητα των υγρών αποβλήτων, που διηθείται στο υδροφόρο σύστημα, να ανακτάται μέσω γεωτρήσεων, αποστράγγισης ή διείδυσης σε επιφανειακά νερά. Το γεγονός αυτό εμποδίζει την εκδήλωση κοινωνικών αντιδράσεων, διότι όταν το νερό αντλείται μέσω μιας γεώτρησης, θεωρείται υπόγειος υδατικός πόρος και δεν αντιμετωπίζεται ως εκροή μιας ΕΕΛ. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Ελλάδας προσφέρονται για την ανάκτηση των οικιακών υγρών αποβλήτων. Τα εδάφη παρουσιάζουν αυξημένη ικανότητα αυτοκαθαρισμού και χαμηλή τρωτότητα (λεπτομερής φάση νεογενών, φλύσχης, φυλλίτες, σχιστογενέσιοι, λεπτόκκοκα τεταρτογενή ιζήματα).

Ο Πίνακας 5.7 παρουσιάζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού κατόπιν της εφαρμογής συστήματος SAT στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για ανάγκες Τ.Ε. του υπόγειου υδροφόρου συστήματος, ενώ ο Πίνακας 5.8 τις αντίστοιχες τιμές από σύστημα SAT στο Dan Region, Τελ Αβίβ.

**Πίνακας 5.7:** Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών, ύστερα από εφαρμογή συστήματος SAT στο Salt River Floodplain West of Phoenix, Arizona (Bouwer, 1993)

Παράμετρος	Ποιότητα υγρών αποβλήτων κατόπιν δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (mg/L)	Ποιότητα αντλούμενου νερού κατόπιν εφαρμογής συστήματος SAT (mg/L)
Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)	750	790
Αιωρούμενα στερεά (SS)	11	1
Αμμωνιακό άζωτο (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)	16	0,1
Νιτρικό άζωτο (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	0,5	5,3
Οργανικό άζωτο (N)	1,5	0,1
Φώσφορος (P)	5,5	0,4
Φθόριο (F)	1,2	0,7
Βόριο (B)	0,6	0,6
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5)	12	0
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	12	1,9
Ψευδάργυρος (Zn)	0,19	0,03
Χαλκός (Cu)	0,12	0,016
Κάδμιο (Cd)	0,008	0,007
Μόλυβδος (Pb)	0,082	0,066
Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) / 100ml	3500	0,3
Ιοί (PFU) / 100L	2118	0

**Πίνακας 5.8:** Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών, ύστερα από εφαρμογή συστήματος SAT στο Τελ Αβίβ (Bouwer, 1993)

Παράμετρος	Ποιότητα υγρών αποβλήτων κατόπιν δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (mg/L)	Ποιότητα αντλούμενου νερού κατόπιν εφαρμογής συστήματος SAT (mg/L)
Αιωρούμενα στερεά (SS)	8	0
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD <sub>5</sub> )	6	< 5
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	53	6
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD filtered)	42	6
Αμμωνία (NH <sub>3</sub> )	7,3	0,07
Ολικό άζωτο (TN)	10,8	3,19
Φώσφορος (P)	2,7	0,02
Ολικά βακτήρια (no/ml)	290300	4430
Κολοβακτηρίδια /100ml	220300	0
Κολοβακτηριοειδή (log concentration)	19500	0
Χλώριο (Cl)	289	266
Χρώμιο (Cr)	7	< 3
Βόριο (B)	0,55	0,54

Η Φωτογραφία 5.1 παρουσιάζει μια εφαρμογή εδαφικής διάθεσης υγρών αποβλήτων.

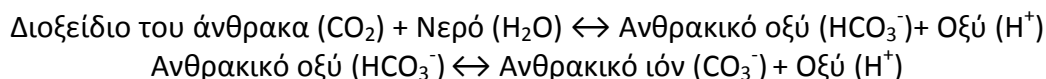



**Φωτογραφία 5.1:** Εδαφική διάθεση υγρών αποβλήτων


✚ **Τεχνητή λίμνη (Lagoon):** Οι τεχνητές λίμνες ανήκουν στα συστήματα εδαφικής διάθεσης των υγρών αποβλήτων. Διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες αναφορικά με την παρουσία οξυγόνου (O<sub>2</sub>), οι οποίες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:


📄 **Αερόβια λίμνη:** Σε ολόκληρο τον υδάτινο όγκο διατηρούνται αερόβιες συνθήκες λόγω του μικρού βάθους της λίμνης (0,3 έως 0,6m), ενώ το απαιτούμενο οξυγόνο (O<sub>2</sub>) για την αποικοδόμηση των ρυπαντικών φορτίων παρέχεται μέσω της

φωτοσυνθετικής διαδικασίας. Ο χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων σε μια τεχνητή λίμνη κυμαίνεται μεταξύ των 3 έως 5 ημερών. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και το pH αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και μειώνονται τη νύχτα σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



 **Επαμφοτερίζουσα λίμνη:** Στη λίμνη αναπτύσσονται τρεις ζώνες. Στην ανώτερη ζώνη, που βρίσκεται πλησίον της ελεύθερης επιφάνειας, επικρατούν αερόβιες συνθήκες λόγω της ανταλλαγής με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (O<sub>2</sub>) ή της παραγωγής οξυγόνου (O<sub>2</sub>) από τα άλγη και αναπτύσσονται αναερόβια βακτήρια. Στην υποκείμενη ζώνη, επικρατούν ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες και λαμβάνει χώρα η αποικοδόμηση οργανικού υλικού από επαμφοτερίζοντα βακτήρια. Στην κατώτερη ζώνη ιλύος, αναερόβια βακτήρια αποικοδομούν την ιλύ, που καθιζάνει. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη λίμνη τροφοδοτούνται με το απαραίτητο οξυγόνο (O<sub>2</sub>) με τη φωτοσύνθεση. Το βάθος των επαμφοτερίζουσών λιμνών κυμαίνεται από 1,5 έως 2,5m και οι χρόνοι παραμονής των υγρών αποβλήτων διαρκούν από 25 έως 180 ημέρες.

 **Αεριζόμενη λίμνη:** Στην επιφανειακή ζώνη της λίμνης ή σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη, διατηρούνται αερόβιες συνθήκες και συνθήκες μίξης με χρήση επιφανειακών σταθερών ή επιπλεόντων αεριστήρων ή συστημάτων διάχυσης αέρα. Το βάθος των αεριζόμενων λιμνών κυμαίνεται από 2 έως 6m και ο χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων είναι 7 έως 20 ημέρες. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας λιμνών σε σχέση με τις άλλες τρεις είναι ότι μπορούν να υποδεχθούν πολύ υψηλά οργανικά φορτία προς επεξεργασία, να επιτύχουν υψηλό βαθμό καθαρισμού και μικρό βαθμό ανάπτυξης φυτοπλαγκτόν. Ανάλογα με το επίπεδο της ενέργειας που παρέχεται υπάρχουν λίμνες μερικής ή πλήρους μίξης.

 **Αναερόβια λίμνη:** Σε ολόκληρο τον υδάτινο όγκο διατηρούνται αναερόβιες συνθήκες. Το βάθος τους κυμαίνεται από 5 έως 10m και η κύρια χρήση τους είναι η επεξεργασία των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων των αγροτικών περιοχών ή ισχυρών υγρών αποβλήτων. Η αναερόβια αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων παράγει οξέα και μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), ενώ επιτυγχάνονται χρόνοι παραμονής από 20 έως 50 ημέρες. Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου δεν κρίνεται ικανοποιητική, ενώ οι προϋποθέσεις επιτυχούς απομάκρυνσης του 50% του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>) είναι:

- **Βάθος υδάτινης στήλης: 2,5 έως 5m.**
- **Χρόνος παραμονής: 5 ημέρες.**
- **Οργανικό φορτίο: ≤ 0,3Kg/m<sup>3</sup>/ημέρα.**

Η απομάκρυνση των ρύπων από τα υγρά απόβλητα με τη μέθοδο των τεχνητών λιμνών περιλαμβάνει τις ακόλουθες διεργασίες:

• **Το διαλυμένο βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>) αποικοδομείται από βακτήρια υπό αερόβιες συνθήκες.**

• **Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>) σε σωματιδιακή μορφή είτε καθιζάνει είτε αποικοδομείται με αναερόβια διαδικασία.**

• **Τα αιωρούμενα στερεά (SS) δεν έχουν σταθερή συγκέντρωση και η απομάκρυνσή τους δεν είναι δυνατό να ελεγχθεί.**



✦ Το άζωτο (N) αφαιρείται με τις διαδικασίες νιτροποίησης και απονιτροποίησης, καθώς επίσης καταναλώνεται από το φυτοπλαγκτόν: Οι λίμνες επιτυγχάνουν απομάκρυνση του αζώτου (N) κατά ποσοστά 45 έως 80%.

✦ Ο φώσφορος (P) απομακρύνεται με χρήση χημικών (θειικού αργιλίου ( $Al_2(SO_4)_3$ ), τριχλωριούχου σιδήρου ( $FeCl_3$ )) και μικρή ποσότητά του προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτόν.

Ο Πίνακας 5.9 παρουσιάζει τη σύγκριση μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών τεχνητών λιμνών ως προς βασικές λειτουργικές παραμέτρους και τον επιδιωκόμενο βαθμό καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.

Η Φωτογραφία 5.2 παρουσιάζει μια διάταξη αεριζόμενων τεχνητών λιμνών, που έχουν κατασκευαστεί για ανάγκες διαχείρισης υγρών αποβλήτων.

**Πίνακας 5.9:** Αξιολόγηση των κατηγοριών τεχνητών λιμνών αναφορικά με βασικές παραμέτρους λειτουργίας και το βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Νουτσόπουλος, 2012)

Παράμετρος	Κατηγορία λίμνης		
	Αερόβια	Επαμφοτερίζουσα	Αεριζόμενη
	Βαθμός επεξεργασίας		
	Δευτεροβάθμια	Δευτεροβάθμια πριν από βραδεία διήθηση	Δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια πριν από βραδεία διήθηση
Κλίμα	Εύκρατο	-	-
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	3 έως 5	25 έως 180	5 έως 20
Βάθος (m)	0,5	1,5 έως 2,5	3 έως 6
Οργανικό φορτίο (Kg/ha/ημέρα)	40 έως 120	25 έως 65	45 έως 400
Συγκέντρωση βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5) στην εκροή (mg/L)	20 έως 40	30 έως 40	20 έως 40
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (SS) στην εκροή (mg/L)	80 έως 140	40 έως 100	30 έως 60



Φωτογραφία 5.2: Τεχνητή λίμνη

Αναφορικά με ορισμένα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των τεχνητών λιμνών αξίζει να επισημανθούν τα εξής:

✦ Τα αναχώματα στην περιφέρεια της λίμνης οφείλουν να κατασκευάζονται με σταθερά πρανή και εσωτερική λιθορριπή (girgar), η οποία να εκτείνεται περίπου 0,3m άνω και κάτω από την ανώτερη στάθμη των αποβλήτων για την προστασία των πρανών από κυματισμό: Ο άνεμος συνήθως δημιουργεί κυκλική ροή στη λίμνη. Τα πρανή κατασκευάζονται με τα χώματα εκσκαφής του πυθμένα της λίμνης. Κάθε  $m^3$  υλικού εκσκαφής αναλογεί σε 0,7 έως 0,8 $m^3$  υλικού επίχωσης.

✦ Η επένδυση του πυθμένα και των πλευρικών τοιχωμάτων της λίμνης γίνεται με εδαφικά φίλτρα ή γεωμεμβράνες, ώστε να αποφεύγονται τυχούσες διαφυγές προς τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης των λιμνών ως μεθόδου διαχείρισης αποβλήτων περιλαμβάνουν:

✦ Το χαμηλό κόστος της επένδυσης: Για παράδειγμα η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο των τεχνητών λιμνών είτε δεν απαιτεί καμία προεπεξεργασία είτε αυτή περιορίζεται μόνο στην πρωτοβάθμια καθίζηση, ώστε να αφαιρεθούν τα επιπλέοντα αντικείμενα.

✦ Το χαμηλό λειτουργικό κόστος.

✦ Η απλή διαχείριση.

✦ Η συλλογή της ιλύος με αραιή συχνότητα ανά 10 έως 20 έτη και η κατά συνέπεια η εξοικονόμηση χρημάτων.

✦ Η συμβατότητα της μεθόδου με την εδαφική διάθεση των υγρών αποβλήτων: Οι επαμφοτερίζουσες λίμνες μπορούν να αξιοποιηθούν ως λίμνες ταμείωσης σε συνδυασμό με συστήματα βραδείας διήθησης, ως λίμνες ολικής κατακράτησης και ελεγχόμενης διάθεσης υγρών αποβλήτων. Ωστόσο, διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία περιορίζουν την εφαρμογή τους. Αυτά είναι:

✦ Η απαίτηση μεγάλων εκτάσεων γης.

✦ Η αναποτελεσματική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στις μη αεριζόμενες λίμνες: Στις αναερόβιες λίμνες η εκροή συνήθως χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να διατεθεί στον τελικό φυσικό αποδέκτη.

✦ Ο κίνδυνος μόλυνσης των υπόγειων νερών από πυθμενικές διαφυγές και διαφυγές από τα τοιχώματα των λιμνών: Η επικινδυνότητα αυξάνεται όταν ο σχεδιασμός δεν προβλέπει την επένδυσή τους.

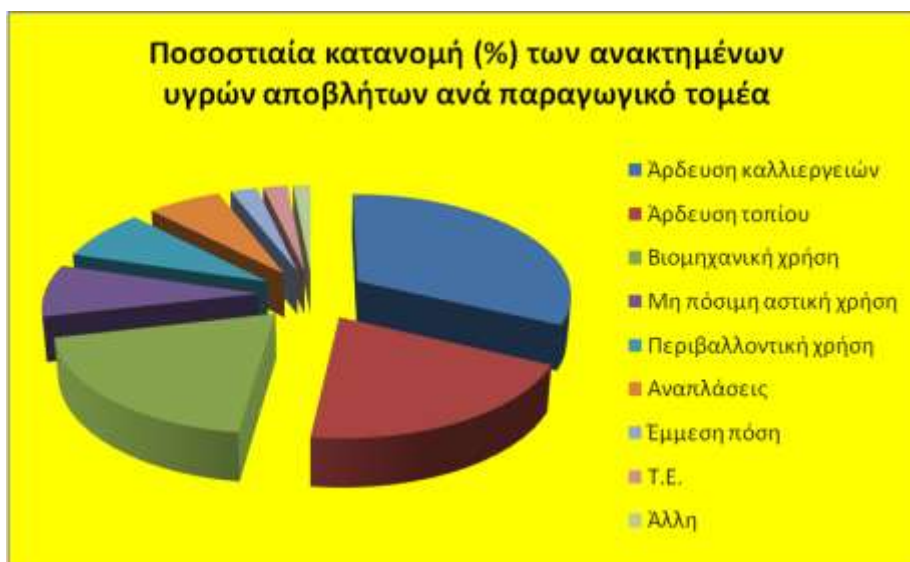
✦ Η παραγωγή φυτοπλαγκτόν, η οποία δύναται να δυσχεράνει τη διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά νερά (Φωτογραφία 5.3).



**Φωτογραφία 5.3:** Η διαδικασία απομάκρυνσης του φυτοπλαγκτόν από τεχνητή λίμνη

✦ **Η πιθανή δημιουργία περιβαλλοντικών οχλήσεων, όπως λ.χ. εστίες κουνουπιών, δυσοσμία κ.ο.κ.:** Στις αναερόβιες λίμνες το πρόβλημα κακοσμίας είναι πιο έντονο και υφίσταται η ανάγκη χωροθέτησής τους μακριά από κατοικημένες περιοχές. Στις επαμφοτερίζουσες λίμνες και κυρίως κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών η αποσύνθεση των αλγών στην επιφάνεια της λίμνης λόγω της υπέρμετρης ανάπτυξης κυανόφυκων και η παραγωγή υδρόθειου ( $H_2S$ ) προκαλούν δυσοσμία.

Το Σχήμα 5.32 παρουσιάζει την παγκόσμια κατανομή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε διάφορες χρήσεις αφού υποστούν προηγμένη εδαφική επεξεργασία. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ανακτημένων αποβλήτων χρησιμοποιείται στην άρδευση καλλιεργειών (32,01%) και έπονται η άρδευση τοπίου (20,01%) και οι βιομηχανικές εφαρμογές (19,32%). Οι εφαρμογές Τ.Ε. με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα συγκεντρώνουν αρκετά χαμηλό ποσοστό (μόλις 2,1%), αλλά το γεγονός αυτό δεν συνδέεται μόνο με την αποδοτικότητα της εφαρμογής, αλλά και με κοινωνικούς (λ.χ. έλλειψη κοινωνικής αποδοχής), περιβαλλοντικούς (λ.χ. απότομες κλίσεις εδαφικής επιφάνειας όταν πρόκειται για ορεινή περιοχή), οικονομικούς παράγοντες (λ.χ. μεγάλο κόστος απαιτούμενων απαλλοτριώσεων), τη διαθεσιμότητα κατάλληλου τεχνολογικού εξοπλισμού (λ.χ. ύπαρξη κατάλληλων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τουλάχιστον δευτεροβάθμιας) και την εμφάνιση εξειδικευμένων προβλημάτων που απαιτείται να αντιμετωπιστούν (λ.χ. το πρόβλημα της υφαλμύρισης το οποίο αντιμετωπίζεται μέσω των εφαρμογών Τ.Ε. συνδέεται κυρίως με τις παράκτιες περιοχές).



**Σχήμα 5.32:** Παγκόσμια κατανομή των επεξεργασμένων μέσω προηγμένης εδαφικής διάθεσης υγρών αποβλήτων ανά χρήση (EPA, 2012)

#### 5.2.5.2. Προϋποθέσεις εγκατάστασης συστημάτων SAT: Οι κατάλληλοι εδαφικοί σχηματισμοί

Ο T.E. με τη μέθοδο της επιφανειακής κατάκλυσης εφαρμόζεται κυρίως σε εδάφη υψηλής διαπερατότητας, δηλαδή πρόσφατες λεπτοκλαστικές αποθέσεις με μεγάλη ικανότητα διήθησης και σε περιπτώσεις όπου το υδροφόρο σύστημα είναι φρεάτιο χωρίς περιοριστικές στρώσεις στην ακόρεστη ζώνη και νερό υψηλής ποιότητας στην ανώτερη στάθμη του. Η αυξημένη απόδοση της μεθόδου εξαρτάται επίσης από την απουσία ειδικών δυσχερειών, λ.χ. ρυπασμένο έδαφος, σχηματισμοί με επιβλαβείς χημικές ενώσεις επιρρεπείς στην έκπλυση κ.α.

Η κατάλληλη εδαφική δομή περιλαμβάνει χονδρόκοκκο υλικό το οποίο διευκολύνει τη μετακίνηση του νερού T.E. προς το υδροφόρο σύστημα (ταχύτητα διήθησης > 25mm/hr), αλλά και λεπτόκοκκα συστατικά, τα οποία προσφέρουν επαρκή φίλτραση του χρησιμοποιούμενου νερού. Τα πλέον συνηθισμένα εδάφη σε εφαρμογές επιφανειακής διήθησης είναι ο αμμώδης πηλός, ο πηλός ή η λεπτόκοκκη άμμος με χάλικες. Επιπροσθέτως, η κλίση πρέπει να μην ξεπερνά το 5% δεδομένου του γεγονότος ότι οι εργασίες εκσκαφών και επίχωσης είναι δυνατό να ελαττώσουν τη διηθητικότητα.

Ο υδροφόρος ορίζοντας πρέπει να βρίσκεται σε βάθος τουλάχιστον 3m (Reed et al., 1995), ώστε τα χρησιμοποιούμενα υγρά απόβλητα να καθαρίζονται και να αποκτούν ικανή ποιότητα πριν αναμιχθούν με τα υπόγεια νερά. Σύμφωνα με τους Paranychanakis et al. (2006), το ελάχιστο αποδεκτό πάχος της ακόρεστης ζώνης οφείλει να κυμαίνεται από 5 έως 6m (Βουδούρης, 2012).

Με σκοπό να ικανοποιηθεί η απαίτηση για την αποφυγή του κορεσμού του εδάφους και της αδυναμίας περαιτέρω προσρόφησης μεταλλικών ιόντων, η Ευρωπαϊκή Οδηγία 86/278/EEC επιβάλλει περιορισμούς ως προς το ρυθμό εφαρμογής στο έδαφος επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, τα οποία περιέχουν μεταλλικά ιόντα. Ως μέγιστη διάρκεια εφαρμογής ορίζεται η δεκαετία.

Ο Πίνακας 5.10 παρουσιάζει το μέγιστο ετήσιο ρυθμό εφαρμογής μεταλλικών ιόντων στο έδαφος σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/EEC.

**Πίνακας 5.10:** Ο μέγιστος ρυθμός εφαρμογής μεταλλικών ιόντων στο έδαφος ανά έτος σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/EEC (Καββαδάς και Πανταζίδου, 2007)

Μέταλλο	Μέγιστος ετήσιος ρυθμός εφαρμογής (gr/στρέμμα)
Κάδμιο (Cd)	15
Χαλκός (Cu)	1200
Νικέλιο (Ni)	300
Μόλυβδος (Pb)	1500
Ψευδάργυρος (Zn)	3000
Υδράργυρος (Hg)	10

### 5.3. Δημοφιλείς εφαρμογές Τ.Ε. ανά τον κόσμο

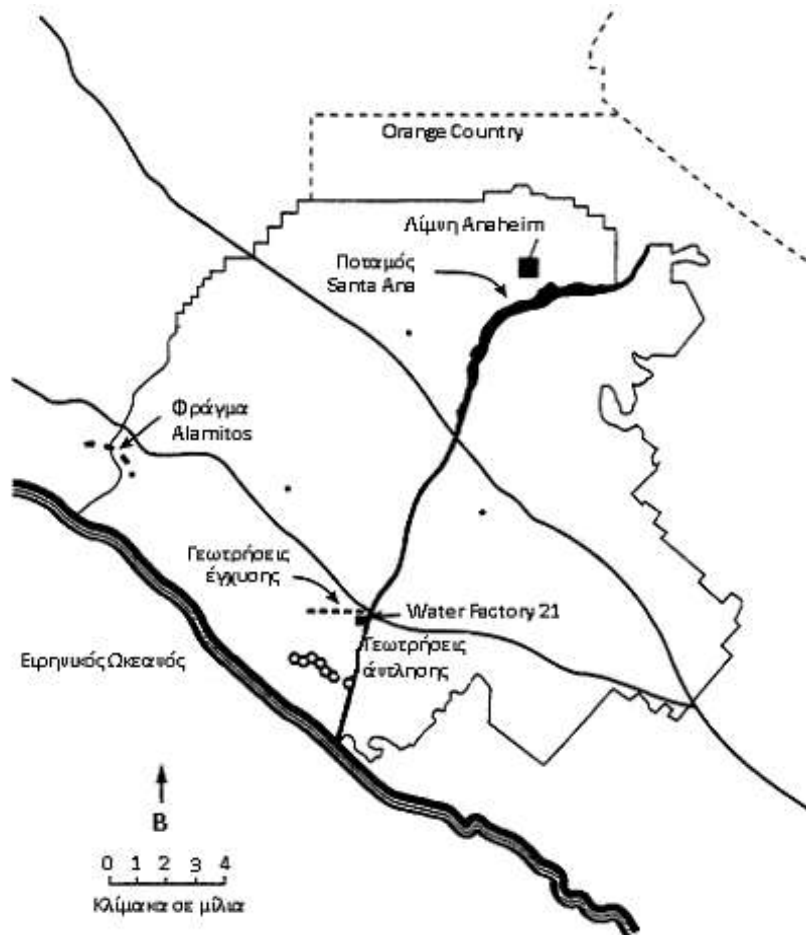
Οι πρώτες γνωστές εφαρμογές Τ.Ε. εντοπίζονται κατά τη Ρωμαϊκή εποχή στην Τυνησία και σε άλλες περιοχές γύρω από τη μεσογειακή λεκάνη. Στην Αθήνα των πρώτων χριστιανικών χρόνων, χρησιμοποιήθηκαν υγρά απόβλητα σε εφαρμογές Τ.Ε., ενώ στη Γερμανία, κατά το 16<sup>ο</sup> αιώνα, εφαρμόστηκε Τ.Ε. με άρδευση, όπου χρησιμοποιήθηκαν υγρά απόβλητα (Pettyjohn, 1981). Η χρήση των υγρών αποβλήτων για σκοπούς τροφοδότησης του υδατικού δυναμικού διαδόθηκε σε όλη την Ευρώπη και συνεχίστηκε στη Νότια Αφρική, την Αυστραλία, το Μεξικό, όπου πολλές από τις μεγάλες φάρμες εφήρμοσαν υπόγεια στραγγιστήρια για να μεταφέρουν το πλεόνασμα του νερού Τ.Ε. σε παρακείμενα υδατορεύματα. Στα τέλη του 18<sup>ου</sup> με αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, αναπτύχθηκαν δύο σημαντικές εφαρμογές επαγωγικού Τ.Ε. στη Γλασκώβη της Σκωτίας (1810) και τη Γαλλική πόλη Toulouse (1820) (Huisman και Olsthoorn, 1983, Πλιάκας και Διαμαντής, 1998). Και τα δύο έργα πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την ύδρευση των δύο πόλεων. Από το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα και έπειτα κάνουν την εμφάνισή τους νέα έργα επαναφόρτισης νερών, τα οποία υπόκεινται σε περαιτέρω αναβαθμίσεις, κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Στο Denver των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, κατασκευάζονται λεκάνες εμπλουτισμού, ενώ στην Καλιφόρνια, ο Τ.Ε. επιτυγχάνεται με άρδευση (Pettyjohn, 1981). Κατά τη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση και μετά το 1950, η υποχώρηση της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων λόγω της υπερεκμετάλλευσής τους (κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς) και η ολοένα αυξανόμενη ρύπανση των υδροφόρων συστημάτων προκαλούν τη διάδοση της μεθόδου ανά την υφήλιο (Huisman και Olsthoorn, 1983). Συγκεκριμένα, το 1965, κατασκευάζεται έργο Τ.Ε. για την ύδρευση της Γαλλικής πόλης Grenoble των Δυτικών Άλπεων. Το έργο αυτό εξασφαλίζει μέχρι σήμερα το πόσιμο νερό της πόλης. Το 1968, στο Ισραήλ αξιοποιούνταν ετησίως 104,106m<sup>3</sup> νερού σε εφαρμογές Τ.Ε. Σήμερα, ο όγκος αυτός είναι πολύ μεγαλύτερος. Μέχρι το 1978, στην Καλιφόρνια και σε άλλες Πολιτείες της Αμερικής, ο ετήσιος όγκος νερού Τ.Ε. ανερχόταν στα 770,106m<sup>3</sup>, το 1978 άγγιξε τις 4.000,106m<sup>3</sup>, ενώ σήμερα, έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή. Επιπροσθέτως, στην Καλιφόρνια, την Αριζόνα, τη Φλόριδα και σε άλλες Πολιτείες της Αμερικής, καθώς και στο Ισραήλ (Τελ Αβίβ) εφαρμόζεται αποτελεσματικά Τ.Ε. κυρίως για κάλυψη των αναγκών της γεωργίας με τη φυσική μέθοδο των συστημάτων SAT. Μέχρι το 1982, στη Γερμανία, είχαν κατασκευαστεί 51 έργα Τ.Ε., στα οποία αξιοποιούνταν σε ετήσια βάση 474,106m<sup>3</sup> νερού, ενώ μέχρι το 1990, στην Ολλανδία η αντίστοιχη ποσότητα έφτανε τα 156,106m<sup>3</sup>. Από το 1982,

η Κύπρος έχει αναπτύξει λεκάνες Τ.Ε. (λιμνοδεξαμενές σε αλλουβιακές αποθέσεις) πλησίον μεγάλων υδροφόρων συστημάτων (Γερμασόγειας, Ακρωτηρίου, Ξεροποτάμου και Μαρωνίου) με στόχο την κάλυψη υδατικών αναγκών (ύδρευσης, άρδευσης), αλλά και την αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρισης. Αυτά τα υδροφόρα συστήματα παρουσίαζαν μικρό ρυθμό φυσικής ανανέωσης λόγω της κατασκευής ανάντη ταμιευτήρων (Γεωργίου, 1991). Οι πειραματικές γεωτρήσεις Τ.Ε., που διανοίχθηκαν, δεν επέφεραν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το 1993, στην Κύπρο, άρχισε να λειτουργεί ένα σύστημα Τ.Ε. (17 γεωτρήσεων και 103 πηγαδιών) του υδροφόρου συστήματος των Κοκκινοχωριών με όμβρια νερά (Κωνσταντίνου, 1995).

Στη σύγχρονη εποχή, όλες σχεδόν οι Ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Τσεχία, Ρωσία, Βέλγιο, Σουηδία, Αγγλία, Ιταλία) έχουν κατασκευάσει και συντηρούν σημαντικά έργα Τ.Ε. του υπόγειου υδατικού δυναμικού, όπως και η Ιαπωνία, το Μεξικό και περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Αυστραλίας. Η Γερμανία, η Σουηδία, το Ισραήλ, η Αίγυπτος, η Αλγερία, το Ιράν, η Λιθουανία, το Τουρκμενιστάν, το Ουζμπεκιστάν και η Ουκρανία αναπτύσσουν προηγμένες μεθόδους Τ.Ε. Παράκτιοι οικισμοί της Αυστραλίας, των Κάτω Χωρών, του Ισραήλ, του Μαρόκο, της Σενεγάλης, των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και της Ιαπωνίας εφαρμόζουν τον Τ.Ε. για να ελέγχουν την υφαλμύριση των γλυκών υπόγειων νερών. Συγκεκριμένα στην Ιαπωνία, ο Τ.Ε. στοχεύει και στην αντιμετώπιση των καθιζήσεων της εδαφικής επιφάνειας λόγω της υπέρμετρης άντλησης υπόγειων νερών. Στη Ρουμανία, τη Βουλγαρία και τη Γαλλία, ο Τ.Ε. στοχεύει στην επαναπλήρωση του νερού που αξιοποιήθηκε στην αγροτική παραγωγή (Pettyjohn, 1981). Η ανάπτυξη της Σουηδίας και των Κάτω Χωρών βασίζεται σημαντικά σε εφαρμογές Τ.Ε., ο οποίος συμμετέχει κατά ποσοστό 15-20% στο συνολικό όγκο των υδατικών πόρων. Το αντίστοιχο ποσοστό για τη Γερμανία ανέρχεται στο 10%. Η εικόνα αυτή ανατρέπεται στο Βέλγιο, τη Δανία, τη Γαλλία, την Ελλάδα, την Αγγλία, την Ισπανία, την Ελβετία, όπου ο Τ.Ε. αντιπροσωπεύει ελάχιστο ποσοστό του νερού, που διατίθεται από εθνικές ή δημοτικές εταιρείες. Στην Ιρλανδία, την Ιταλία, το Λουξεμβούργο και την Πορτογαλία, ο Τ.Ε. δεν έχει ακόμη πρακτική εφαρμογή, αν και έχουν καταρτιστεί διάφορα πλάνα εφαρμογής του στο άμεσο μέλλον.

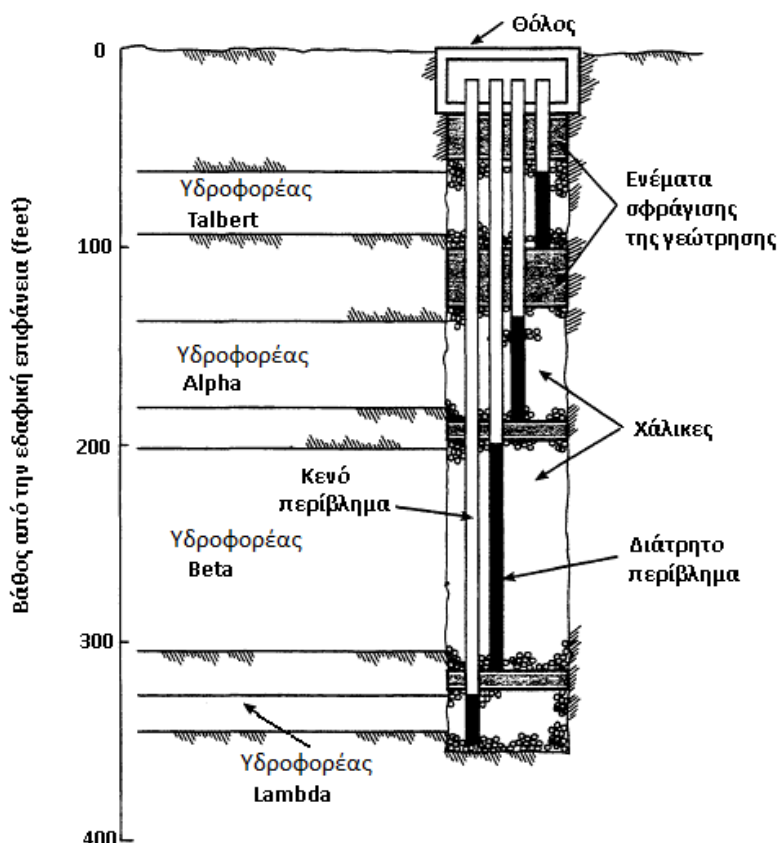
Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διεθνών εφαρμογών Τ.Ε. αποτελούν τα ακόλουθα προγράμματα (Committee on Ground Water Recharge και United States National Research Council, 1994):

■ **Water Factory 21, Orange County, Καλιφόρνια (Σχήμα 5.33):** Το πρόγραμμα βρίσκεται σε λειτουργία από το 1976 και αποτελεί την πρώτη εφαρμογή Τ.Ε. μέσω γεωτρήσεων έγχυσης με χρήση υψηλής ποιότητας επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμια επεξεργασμένη εκροή εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος). Η εφαρμογή του παρέχει σημαντικά στοιχεία για τη δυνατότητα των συστημάτων επεξεργασίας να απομακρύνουν τους παθογόνους μικροοργανισμούς και χημικές ενώσεις με ρυπαντική δράση. Το έργο παρέχει επίσης σημαντικές πληροφορίες για την ποιότητα των υπόγειων νερών, αφού λάβει χώρα Τ.Ε., αλλά και τις πρακτικές διαχείρισης συστημάτων Τ.Ε.



**Σχήμα 5.33:** Τα έργα Τ.Ε. του προγράμματος Water Factory 21

Το υπόγειο υδροφόρο σύστημα του Orange County αποτελείται από τις αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού Santa Ana και παρουσιάζει χαμηλή ικανότητα αποστράγγισης. Στο ανώτερο τμήμα (45 έως 60m) των πλέον πρόσφατων αλλουβιακών επιχώσεων, παρατηρείται υδραυλική επικοινωνία του υπόγειου και του υφάλμυρου νερού (Argo και Cline, 1985). Το εδαφικό προφίλ αποτελείται από μέση έως χονδρόκοκκη άμμο με ιλυώδη και αργιλικά υλικά. Η ημερήσια χωρητικότητα σχεδιασμού του Water Factory 21 ανέρχεται στα 15 εκατομμύρια γαλόνια. Συνολικά έχουν κατασκευαστεί 23 γεωτρήσεις σε έκταση 5,6km και η μέση απόσταση μεταξύ τους ανέρχεται στα 183m. Μεταξύ των γεωτρήσεων εισαγωγής και των ακτών του Ειρηνικού Ωκεανού, βρίσκονται 7 γεωτρήσεις άντλησης. Οι γεωτρήσεις (Σχήμα 5.34) έχουν χωρητικότητα 450 γαλόνια/min η καθεμία και το βάθος τους κυμαίνεται από 27 έως 130m.

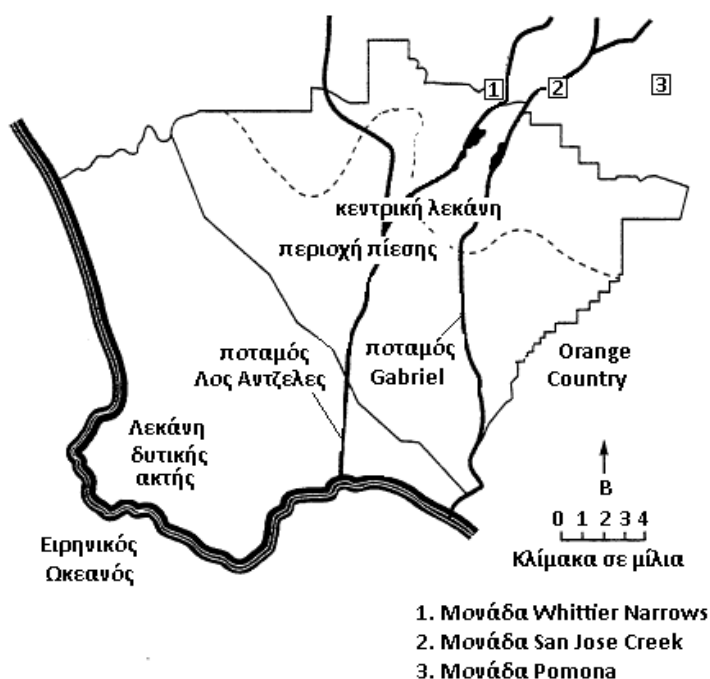


Σχήμα 5.34: Σκαρίφημα μιας γεώτρησης T.E. του προγράμματος Water Factory 21

✦ **Montebello Forebay, Καλιφόρνια (Σχήμα 5.35):** Στην Καλιφόρνια, η επαναπλήρωση του υπόγειου υδατικού δυναμικού συντελείται με τη μέθοδο των λεκανών διήθησης και ως νερό T.E. χρησιμοποιείται η απορροή της βροχόπτωσης (Colorado River), η επιφανειακή ροή υδατορευμάτων (State Project) ή επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (Montebello Forebay). Η εφαρμογή του τελευταίου προγράμματος ξεκίνησε το 1962 και παρέχει σημαντικά στοιχεία, που σχετίζονται με τις επιπτώσεις του T.E. στη δημόσια υγεία. Η χρησιμοποιούμενη εκροή προέρχεται από τις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος του Λος Άντζελες. Τη δεκαετία του 1970, εγκαταστάθηκαν τρεις μονάδες ανάκτησης νερού στην ευρύτερη περιοχή: η εγκατάσταση Whittier Narrows στην περιοχή του κεντρικού υπόγειου υδροφόρου συστήματος, το οποίο αποτελεί το βασικό υπόγειο ταμιευτήρα του Montebello Forebay με χωρητικότητα 780000acre-feet και τις εγκαταστάσεις San Jose Creek και Pomona. Αρχικά, και οι τρεις ΜΕΛ κατασκευάστηκαν με σκοπό την παραγωγή δευτεροβάθμιας εκροής όμως στα τέλη της ίδιας δεκαετίας, αναβαθμίστηκαν με σκοπό να παρέχουν εκροή υψηλότερης ποιότητας μέσω διεργασιών ενεργού άνθρακα (μονάδα Pomona), διήθησης (μονάδες Whittier Narrows και San Jose Creek) και χλωρίωσης (Nellor et al., 1984). Το Montebello Forebay αποτελεί συνεργατικό πρόγραμμα των τριών προαναφερθέντων μονάδων ανακύκλωσης και η διαχείρισή του ανήκει στη Διεύθυνση Δημοσίων Έργων του Λος Άντζελες. Η Διεύθυνση Ανακύκλωσης Νερού της Περιφέρειας Βόρειας Καλιφόρνια διαχειρίζεται μέσω 6 ρηχών γεωτρήσεων παρακολούθησης και 20 γεωτρήσεων παραγωγής ανακτημένου νερού τον υπόγειο ταμιευτήρα στο σύνολό του. Οι λεκάνες διήθησης, που κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος, έχουν έκταση 2635



στρέμματα, μέσο βάθος 1,2m και υποδέχονται ετησίως 35 έως 40Mm<sup>3</sup>. Η περίοδος λειτουργίας τους περιλαμβάνει 7 ημέρες κατάκλυσης, 7 ημέρες αποστράγγισης και 7 ημέρες αποξήρανσης.



Σχήμα 5.35: Τα έργα Τ.Ε. του προγράμματος Montebello Forebay

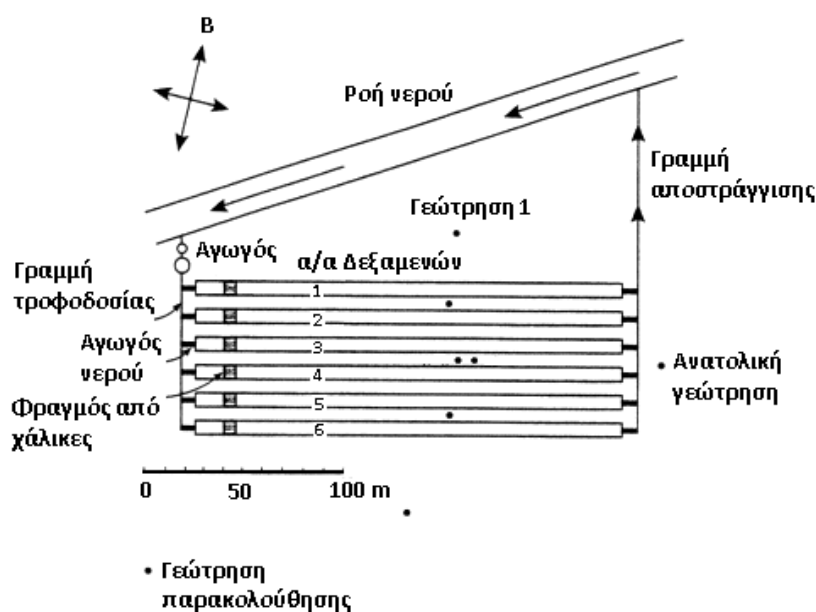
Το 1978, ξεκίνησε η εκπόνηση μιας μελέτης πενταετούς διάρκειας με στόχο τον προσδιορισμό των επιπτώσεων του έργου στη δημόσια υγεία (Nellor et al., 1984). Η μελέτη κόστισε 1,4 εκατομμύρια δολάρια και συνυπολόγιζε:

- ✦ τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (микροβιολογία, ανόργανες χημικές ενώσεις) των υπόγειων νερών, του ανακτημένου και άλλων πηγών νερού
- ✦ τα αποτελέσματα τοξικολογικών και χημικών μελετών, οι οποίες προσδιόριζαν τις οργανικές παραμέτρους που επηρέαζαν την υγεία
- ✦ τα αποτελέσματα μελετών διήθησης, οι οποίες εκτιμούσαν την ικανότητα του εδάφους να απομακρύνει ανόργανες και οργανικές χημικές ενώσεις
- ✦ τα αποτελέσματα υδρογεωλογικών μελετών, που καθόριζαν το καθεστώς ροής του ανακτημένου νερού στο υπέδαφος και τη συνεισφορά του στην ικανοποίηση της αστικής υδατικής κατανάλωσης
- ✦ τα αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών πληθυσμών, που κατανάλωναν το ανακτημένο νερό, ώστε να αποσαφηνιστεί η πιθανότητα τα χαρακτηριστικά της υγείας τους να διαφέρουν από τα αντίστοιχα ενός πληθυσμού-ελέγχου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης επισήμαιναν ότι η επικινδυνότητα που σχετίζονταν με τρεις πηγές νερού Τ.Ε. (βροχοπτώσεων, μεταφερόμενου, προϊόντος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων) δεν παρουσίαζε σημαντικές διακυμάνσεις και τα επεξεργασμένα απόβλητα δεν επηρεάζουν την ποιότητα των υπόγειων νερών ή τη δημόσια υγεία των καταναλωτών του ανακτημένου νερού, όταν χρησιμοποιηθούν για σκοπούς τροφοδότησης υπόγειων υδροφόρων συστημάτων (Nellor et al., 1984). Τα κριτήρια που προτείνει ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια σχετικά με τον Τ.Ε. υδροφόρων συστημάτων βασίζονται σε αυτά τα αποτελέσματα με βάση τις

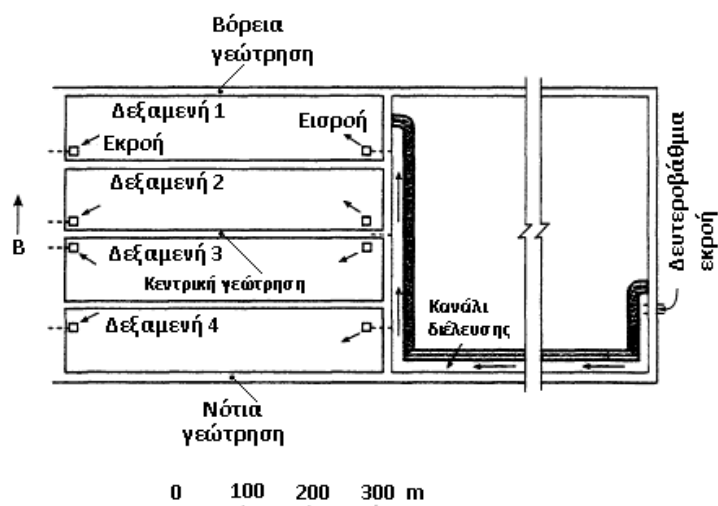
μακροχρόνιες και βραχυχρόνιες επιπτώσεις του Τ.Ε. στη δημόσια υγεία (Αγγελάκης και Τσομπάνογλου, 1996).

■ **Phoenix, Αριζόνα (Σχήμα 5.36):** Το πρόγραμμα εφαρμόστηκε με σκοπό να μελετήσει την ικανότητα των συστημάτων SAT να διαχειρίζονται απόβλητα χαμηλής ποιότητας και να παρέχουν ανακτημένο νερό, το οποίο να πληροί τις προϋποθέσεις για αξιοποίησή του σε χρήσεις πλην πόσης (απεριόριστη άρδευση) ή ταμίευσή του σε υπόγειο υδροφόρο σύστημα για πιθανή χρήση του ως πόσιμου. Συνοπτικά, οι λεκάνες διήθησης, που κατασκευάστηκαν, έχουν έκταση 10,6 στρέμματα και ετήσια δυναμικότητα 1Mm<sup>3</sup>. Το ετήσιο υδραυλικό φορτίο είναι 100m. Σε έκταση λεκανών 167,6 στρεμμάτων, μπορούν να εφαρμοσθούν σε ετήσια βάση περίπου 15Mm<sup>3</sup>. Πιο αναλυτικά, η περιοχή του Phoenix περιλαμβάνει δύο εκτεταμένες ΕΕΛ: τη μονάδα 91st Avenue, η οποία λειτουργεί με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος και περιλαμβάνει και διεργασία χλωρίωσης και τη μονάδα 23rd Avenue (ημερήσιας χωρητικότητας 40 εκατομμυρίων γαλονιών), η οποία ομοίως λειτουργεί με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος και περιλαμβάνει χλωρίωση. Η απόδοση του συστήματος SAT μελετήθηκε σε δύο πειραματικές εγκαταστάσεις, μια για κάθε ΜΕΛ. Η πρώτη εγκατάσταση εφαρμόστηκε το 1967 για τη μονάδα 91st Avenue. Περιλάμβανε 6 παράλληλες, επιμήκεις δεξαμενές διήθησης με έκταση 0,32 στρέμματα η καθεμιά.



Σχήμα 5.36: Τα έργα Τ.Ε. για τη μονάδα 91st Avenue

Το εδαφικό προφίλ περιλάμβανε άμμο και χάλικες και ένα υποκείμενο στρώμα αργιλώδους άμμου πάχους 1m. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρισκόταν σε βάθος 3m. Σε διάφορα σημεία στην ευρύτερη περιοχή, όπου κατασκευάστηκαν οι δεξαμενές, διανοίχτηκαν γεωτρήσεις παρακολούθησης με βάθος από 2 έως 9m. Η δεύτερη πειραματική εγκατάσταση κατασκευάστηκε το 1975 για τη ΜΕΛ 23rd Avenue (Bouwer και Rice, 1984). Αποτελούνταν από 4 λεκάνες διήθησης έκτασης 9,9 στρεμμάτων η καθεμιά (Σχήμα 5.37).



Σχήμα 5.37: Τα έργα Τ.Ε. για τη μονάδα 23rd Avenue

Σε αυτή την περίπτωση, το εδαφικό προφίλ απαρτιζόταν από άμμο και χάλικες, ενώ ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπιζόταν σε βάθος από 5 έως 25m. Στο κέντρο του συστήματος, οι γεωτρήσεις παρακολούθησης διανοίχτηκαν σε βάθος 18, 24 και 30m και στις βόρειες και νότιες περιοχές, στα 222m. Επιπροσθέτως, διανοίχθηκε μια μεγάλη γεώτρηση ανακτημένου νερού στο κέντρο του έργου με το διάτρητο περίβλημα να φτάνει σε βάθος από 30 έως 54m.

✦ **El Paso, Τέξας:** Το πρόγραμμα αποτελεί την πρώτη εφαρμογή Τ.Ε. με ανακτημένα αστικά υγρά απόβλητα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής υδροφόρου συστήματος, που χρησιμοποιείται για πόση. Έχει μικρή ηλικία και θεωρείται ότι θα παρέχει πολύ σημαντικά δεδομένα στην περίοδο της λειτουργίας του. Τα έργα Τ.Ε. περιλαμβάνουν 10 γεωτρήσεις, οι οποίες τροφοδοτούν ετησίως τα υπόγεια νερά με  $13,815\text{Mm}^3$ . Το οικονομικό κόστος του προγράμματος είναι 0,5 δολάρια για κάθε  $1\text{m}^3$  εκροής.

✦ **Long Island, Νέα Υόρκη:** Το πρόγραμμα αυτό διαφέρει από τα προηγούμενα δεδομένου του γεγονότος ότι εφαρμόζεται σε μια αστική ανατολική περιοχή, όπου η κλιματολογία και η διαθεσιμότητα νερού διαφοροποιούνται από τα δυτικά πρότυπα. Η απορροή της βροχόπτωσης συγκεντρώνεται σε 2.124 δεξαμενές διήθησης, οι οποίες καταλαμβάνουν έκταση 12893 στρεμμάτων (4 έως 8 στρέμματα η καθεμιά και βάθους από 3,1 έως 4,6m), τροφοδοτεί τα υπόγεια νερά που αποτελούν τη βασική πηγή πόσιμου νερού και λειτουργούν ως φραγμός στην αντιμετώπιση της υφαλμύρισης. Το ετήσιο υδραυλικό φορτίο, που εφαρμόζεται, ανέρχεται στα  $84\text{Mm}^3$ .

✦ **Δίκτυο αποστραγγιστικών φρεατίων στο Ορλάντο, Φλόριδα:** Το πρόγραμμα έχει ως στόχο του να αξιοποιήσει το πλεόνασμα της απορροής της βροχόπτωσης (και όχι εκροή ΕΕΛ) για την αντιμετώπιση του υδατικού ελλείμματος. Έχουν διανοιχθεί 310 αποστραγγιστικές γεωτρήσεις διαμέτρου 10 έως 16m και βάθους 37 έως 320m, οι οποίες καταλαμβάνουν έκταση  $320\text{km}^2$ . Το 50% του υδραυλικού φορτίου προέρχεται από πλημμυρικά νερά, το 45% από λίμνες ή βιότοπους και το υπόλοιπο 5% ( $35\text{Mm}^3$  ετησίως) από δευτεροβάθμια εκροή ΕΕΛ.

✦ **Dan Region, Τελ Αβίβ, Ισραήλ:** Το πρόγραμμα αποτελεί διεθνώς μια καινοτόμα εφαρμογή Τ.Ε. ευρείας κλίμακας. Ένα σύστημα SAT έχει εφαρμοστεί αρχικά για την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων, κατόπιν άντληση του

ανακτημένου νερού και εν συνεχεία αξιοποίησή του για αρδευτικούς σκοπούς (απεριόριστη άρδευση). Η εδαφική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων συντελείται σε δύο θέσεις: η πρώτη θέση περιλαμβάνει 4 δεξαμενές διήθησης, οι οποίες καταλαμβάνουν έκταση 390 στρεμμάτων και η δεύτερη 3 δεξαμενές έκτασης 180 στρεμμάτων. Το εδαφικό προφίλ συνίσταται από ομοιόμορφη λεπτή άμμο θινών, η οποία διακόπτεται από ψαμμίτες, και ακόρεστη ζώνη πάχους 15 έως 43m. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του έργου ανέρχεται στα 0,03 δολάρια/m<sup>3</sup> εκροής. Οι λεκάνες κατακλύζονται με απόβλητα βιολογικής επεξεργασίας σε διάστημα 1 ημέρας και αποξηραίνονται ανά διαστήματα 2 έως 4 ημερών. Ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει διεργασίες αργού φιλτραρίσματος από άμμο, χημικής κατακρήμνισης, προσρόφησης, ιοντοανταλλαγής, βιολογικής αποικοδόμησης, νιτροποίησης και απονιτροποίησης, καθώς αυτά κινούνται στο έδαφος και το υδροφόρο σύστημα. Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο υπέδαφος από τη στιγμή που διηθούνται μέσω του πυθμένα των λεκανών μέχρι την άντλησή τους ως ανακτημένο νερό κυμαίνεται από 100 έως 300 ημέρες. Το ανακτημένο νερό αντλείται από 100 περιφερειακές γεωτρήσεις βάθους 100 έως 120m, που έχουν διανοιχθεί σε ακτίνα 300 έως 1500m από τις λεκάνες. Στη συνέχεια, το νερό μεταφέρεται στα νότια με αγωγό 87km. Σε ακτίνα 30 έως 800m από τις δεξαμενές, έχουν διανοιχθεί γεωτρήσεις παρακολούθησης για τον έλεγχο της ποιότητας και του καθεστώτος ροής των υπόγειων νερών. Μέχρι τις μέρες μας, η απόδοση του προγράμματος κρίνεται ικανοποιητική και υπολογίζεται ότι από το έτος 1977 (έτος έναρξης λειτουργίας του έργου), έχουν εισαχθεί στα υπόγεια νερά 851×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> νερού.

✦ **Οι ελληνικές εφαρμογές (Samaras et al., 2002, Επίσημος δικτυακός τόπος της Εταιρείας Ανατολική Α.Ε.):** Το Σχήμα 5.38 και ο Πίνακας 5.11 παρουσιάζουν αντίστοιχα τις θέσεις, όπου πραγματοποιήθηκαν εφαρμογές Τ.Ε. και τα έργα Τ.Ε. στην Ελλάδα.



**Σχήμα 5.38:** Οι θέσεις Τ.Ε. στην Ελλάδα (Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

**Πίνακας 5.11:** Σημαντικά έργα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα (Παρανυχιανάκης, 2009)

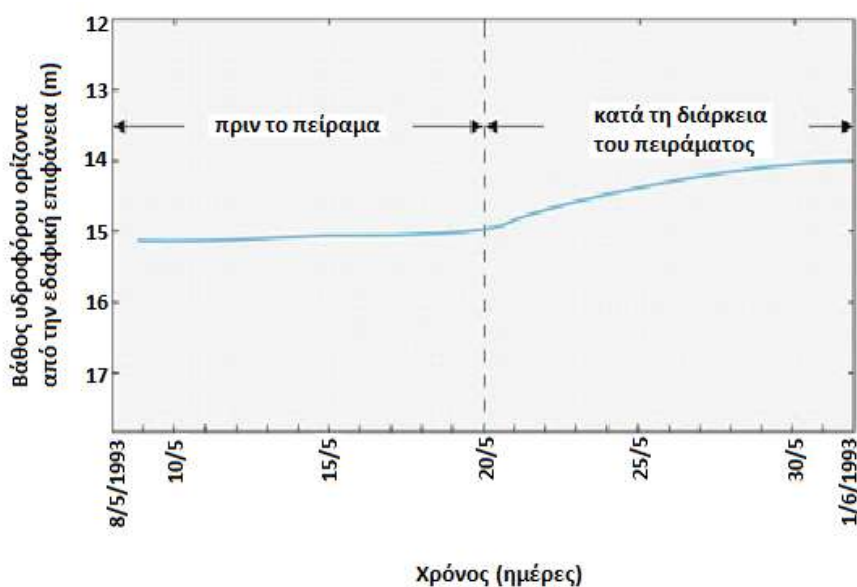
Έργο	Περιφέρεια	Δυναμικότητα (m <sup>3</sup> /ημέρα)	Έκταση (στρέμματα)	Αρδευόμενες καλλιέργειες
<b>Άρδευση γεωργικών εκτάσεων</b>				
Θεσσαλονίκη	Κ. Μακεδονία	175000	25000	Αραβώσιτος, τεύτλα, ρύζι κ.α.
Λιβαδειά	Στ. Ελλάδα	3500	-	Ελιές, αραβώσιτος
Άμφισσα	Στ. Ελλάδα	400	-	Ελιές, βαμβάκι κ.α.
Νέα Καλλικράτεια	Κ. Μακεδονία	800	1500	Αραβώσιτος, ελιές κ.α.
Χερσόνησος	Κρήτη	4500	1000	Ελιές κ.α.
Αρχάνες	Κρήτη	550	14500	Ελιές, αμπέλια κ.α.
Κως	Β. Αιγαίο	3500	5000	Εσπεριδοειδή, ελιές κ.α.
Αλλού	-	10000	-	-
<b>Άρδευση άλλων εκτάσεων</b>				
Χαλκίδα	Στ. Ελλάδα	4000	500	-
Χερσόνησος	Κρήτη	500	80	-
Άγιος Κωνσταντίνος	Β. Αιγαίο	200	100	-
Κένταρχος	Β. Αιγαίο	100	50	-
Κως	Β. Αιγαίο	500	100	-
Κάρυστος	Ν. Αιγαίο	1450	300	-
Ιερισσός	Ν. Αιγαίο	1500	250	-
Αλλού	-	2000	-	-
<b>Έμμεση επαναχρησιμοποίηση</b>				
Λάρισα	Θεσσαλία	25000	-	Αραβώσιτος, βαμβάκι κ.α.
Καρδίτσα	Θεσσαλία	15000	-	Αραβώσιτος, βαμβάκι κ.α.
Λαμία	Στ. Ελλάδα	15000	-	Ελιές, αραβώσιτος, βαμβάκι κ.α.
Τρίπολη	Πελοπόννησος	18000	-	Μηλοειδή, πατάτες κ.α.
Αλλού	-	35000	-	-
<b>Σύνολο</b>	-	<b>316500</b>	-	-

Το Σχήμα 5.39 απεικονίζει τη μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου συστήματος σε γεώτρηση ελέγχου κατά τη διάρκεια Τ.Ε. στην Πέλλα. Επίσης, τα Σχήματα 5.40 και 5.41 αφορούν στην εφαρμογή Τ.Ε. στο Αργολικό πεδίο και αντιστοίχως τη μεταβολή της απορροφητικής ικανότητας σε φρέαρ με χρήση

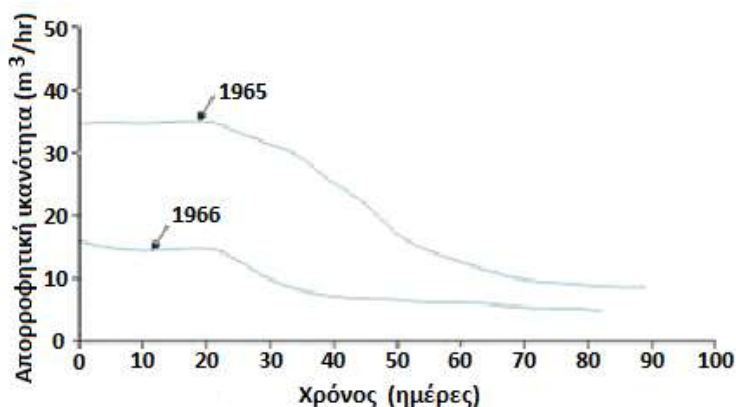
καθαρού νερού ως νερού Τ.Ε. και τη μεταβολή της απορροφητικής ικανότητας σε φρέαρ, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται νερό επιφανειακής ροής ως νερό Τ.Ε.

Μια σημαντική εφαρμογή Τ.Ε. αποτελεί το αναπτυξιακό πρόγραμμα Life 99/ENV/GR/000590 με τίτλο «Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων-Διαμόρφωση Προδιαγραφών. Πιλοτικός Εμπλουτισμός Υδροφόρων με Απευθείας Υπόγεια Διάθεση και Άρδευση, για την Αντιμετώπιση της Υφαλμύρισης στα Πλαίσια Ολοκληρωμένης Αειφόρας Διαχείρισης των Υδάτινων Πόρων». Το έργο χρησιμοποιεί δευτεροβάθμια εκροή από ΕΕΛ στη Θέρμη της Θεσσαλονίκης για την αποκατάσταση του υδατικού ισοζυγίου της παράκτιας λεκάνης Ανθεμούντα-Ανατολικής Θεσσαλονίκης, την προστασία του υπόγειου υδροφόρου συστήματος από υφαλμύριση και την άρδευση καλλιεργειών. Κινητήριο έναυσμα για την έναρξη του προγράμματος αποτέλεσε η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στην υδρολογική λεκάνη, η οποία προκάλεσε εισροή υφάλμυρου νερού στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα.

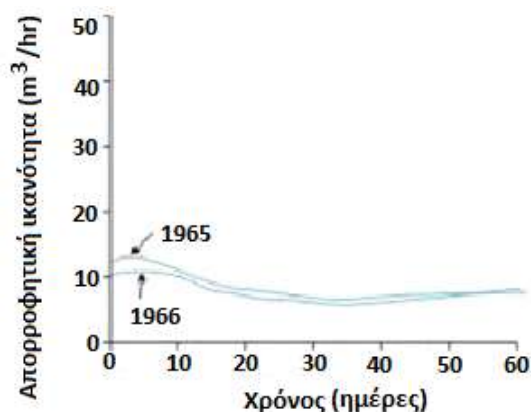
Το έργο πραγματοποιήθηκε από την 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου του 1999 έως τις 28 Φεβρουαρίου του 2003 και ο προϋπολογισμός του ανερχόταν στα 1.534.248,54 ευρώ. Δικαιούχος του έργου είναι η Αναπτυξιακή Εταιρεία Ανατολικής Θεσσαλονίκης Α.Ε., Εθνικοί Εταίροι το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠ.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.), το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Ινστιτούτο Τεχνικών και Χημικών Διεργασιών (Ε.ΚΕ.Τ.Α/Ι.Τ.ΧΗ.Δ.), ο Δήμος Θέρμης, η Δημοτική Επιχείρηση Δομημένου Περιβάλλοντος και Ποιότητας Ζωής του Δήμου Θέρμης (ΔΟ.Π.ΠΟΙ.ΖΩ.), η Εταιρεία Ύδρευσης-Αποχέτευσης της Θεσσαλονίκης Α.Ε. (Ε.Υ.Α.Θ Α.Ε.), η Χωροτεχνική Α.Ε., ενώ Διακρατικός Εταίρος η Ιταλική Eutec S.R.L.



**Σχήμα 5.39:** Η μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα σε μια γεώτρηση παρακολούθησης κατά τον Τ.Ε. στην Πέλλα (Βαφειάδης και Πανώρας, 1996, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)



**Σχήμα 5.40:** Η μεταβολή της απορροφητικής ικανότητας συναρτήσει του χρόνου σε φρέαρ στο Αργολικό πεδίο, όταν ο Τ.Ε. γίνεται με χρήση καθαρού νερού ως νερού Τ.Ε. (Θάνος, 1994, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)



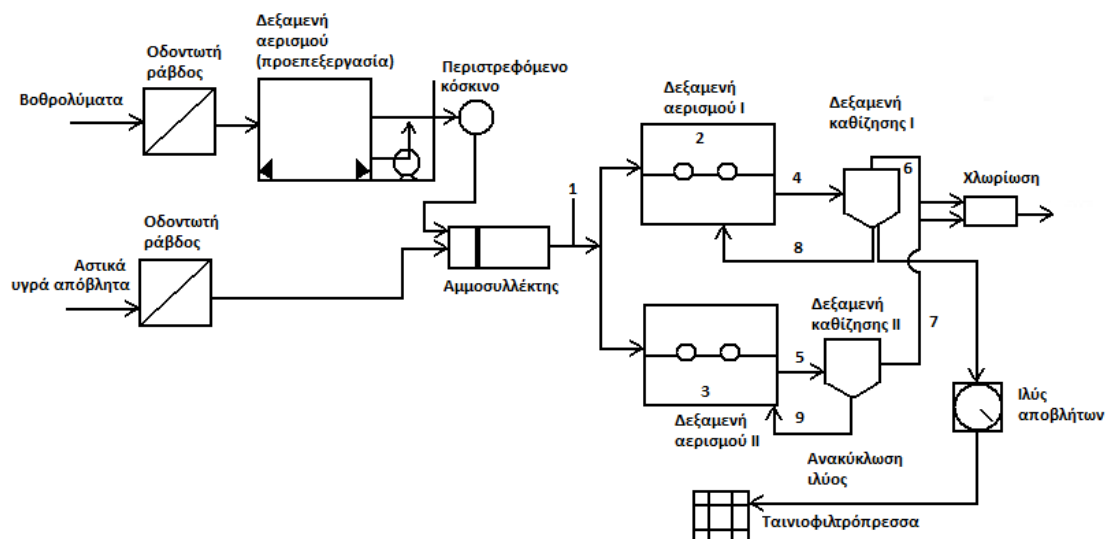
**Σχήμα 5.41:** Η μεταβολή της απορροφητικής ικανότητας συναρτήσει του χρόνου σε φρέαρ στο Αργολικό πεδίο, όταν ο Τ.Ε. γίνεται με χρήση νερού επιφανειακής ροής ως νερού Τ.Ε. (Θάνος, 1994, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

Το έργο διαχωρίζεται στις εξής φάσεις:

**Δράση 1:** Η εργασία στοχεύει αρχικά στη διαμόρφωση ποιοτικών κριτηρίων για τις εκροές των ελληνικών ΕΕΛ, ώστε αυτές να επαναχρησιμοποιηθούν προς ικανοποίηση διαφόρων υδατικών καταναλώσεων, κατόπιν τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της υφιστάμενης ΜΕΛ Θέρμης, τον προσδιορισμό της ποιότητας της εκροής της και τέλος το σχεδιασμό μιας νέας προηγμένης ΜΕΛ, η οποία να επιτυγχάνει πλήρη καθαρισμό των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων. Η επίτευξη των ανωτέρω στόχων προϋποθέτει την αποτίμηση των μεθόδων επαναχρησιμοποίησης και διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τους στα ελληνικά δεδομένα, την αξιολόγηση του διεθνούς θεσμικού πλαισίου και προσαρμογή του στις ελληνικές συνθήκες, καθώς και τον καθορισμό των χημικών, μικροβιολογικών και αγρονομικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων που απαιτούνται για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης.

Από το 1994, η ΜΕΛ Θέρμης (Σχήμα 5.42) υποδέχεται αστικά υγρά απόβλητα και βοθρολύματα, εξυπηρετεί 12000 ΙΚ. (Samaras et al., 2002) και αποτελείται από μια δεξαμενή αποθήκευσης βοθρολυμάτων με δύο περιστρεφόμενα φίλτρα (κόσκινα), ένα χαλικοδιυλιστήριο, δύο δεξαμενές αερισμού χωρητικότητας 1200m<sup>3</sup>, οι οποίες λειτουργούσαν σε συνέργεια με δύο δεξαμενές καθίζησης, μονάδα

χλωρίωσης και μονάδα κατεργασίας της ιλύος. Το σύστημα κατεργασίας της λάσπης περιλαμβάνει τον παχυντή, την ταινιοφιλτρόπρεσσα και μια κλίνη αποξήρασης.



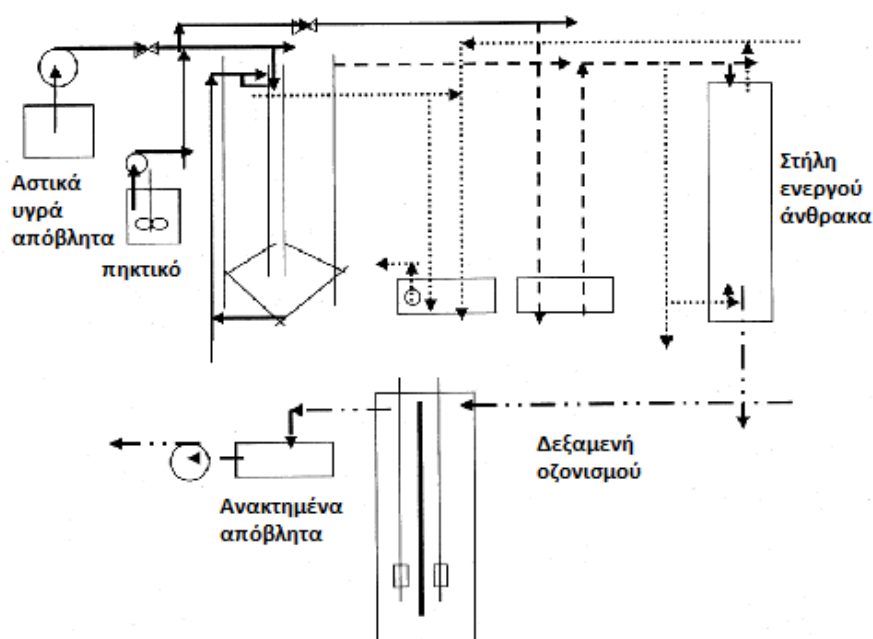
Σχήμα 5.42: Η υφιστάμενη ΕΕΛ της Θέρμης

Από το Νοέμβριο του 1999, εφαρμόστηκε πρόγραμμα βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος, το οποίο εφάρμοσε έλεγχο ποιότητας της εισροής και της εκροής, διατήρηση σταθερού ρυθμού τροφοδοσίας βοθρολυμάτων και αστικών υγρών αποβλήτων, αερισμού και ανακύκλωσης της ιλύος, εγκατάσταση νέου περιστρεφόμενου φίλτρου για την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών (SS) από την εισερχόμενη ποσότητα βοθρολυμάτων, εγκατάσταση διαρκούς μέτρησης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στις δεξαμενές αερισμού, καθαρισμό των δεξαμενών βοθρολυμάτων, αερισμού και καθίζησης, αλλά και των περιφερειακών καναλιών από φερτά υλικά, κατασκευή συστήματος ρευστοποιημένης κλίνης και εξοικονόμηση ενέργειας. Το πρόγραμμα βελτιστοποίησης πέτυχε εκροή υψηλής ποιότητας (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) < 40mg/L, Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) < 100mg/L και Αιωρούμενα στερεά (SS) < 45mg/L). Εκτός, όμως, από την επιδίωξη βελτιστοποίησης της λειτουργίας της υπάρχουσας ΜΕΛ (Σχήμα 5.43) στο πλαίσιο της Δράσης 1 σχεδιάστηκε μια νέα προηγμένη ΕΕΛ ημερήσιας δυναμικότητας 800m<sup>3</sup>. Ο Πίνακας 5.12 παρουσιάζει βασικές σχεδιαστικές παραμέτρους του συστήματος.

Η υψηλή επεξεργασία των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων υλοποιείται μέσω διεργασιών κροκίδωσης, διήθησης σε αυτοκαθαριζόμενο αμμόφιλτρο (Σχήμα 5.44), απορρόφησης σε στήλη ενεργού άνθρακα και απολύμανσης με όζον. Τα απόβλητα οδηγούνται από έναν επιφανειακό αγωγό στη βάση του φίλτρου άμμου κατόπιν προσθήκης κατάλληλου κροκιδωτικού μέσου. Ο σωλήνας έχει μήκος 4m και λειτουργεί με παροχή 45m<sup>3</sup>/hr, πίεση 2bar και ισχύ 25HP. Η εγκατάσταση κροκίδωσης αποτελείται από μια πλαστική δεξαμενή με αναδευτήρα χωρητικότητας 500L, ισχύος 1HP και συχνότητας περιστροφών 200rpm για την ανάδευση και αποθήκευση της εισροής και μια διαφραγματική αντλία ενεργειακής κατανάλωσης 0,25kW για την προσθήκη του κροκιδωτικού μέσου. Οι λειτουργικές παράμετροι του αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου άμμου παρέχονται στον Πίνακα 5.13.



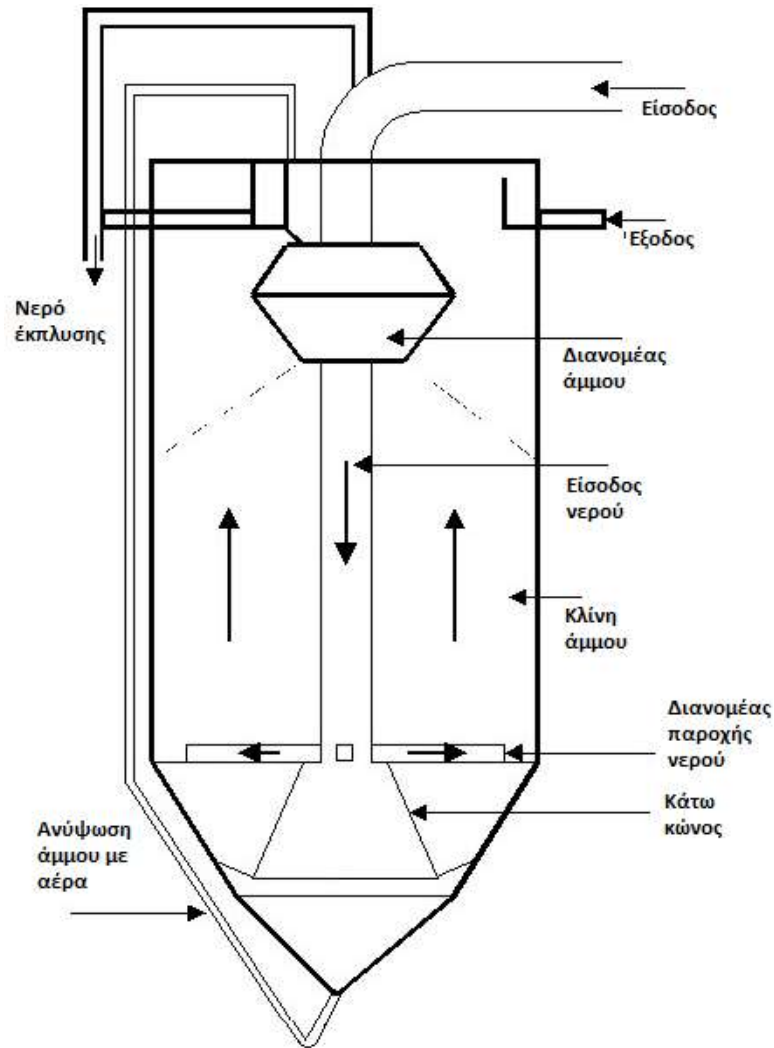
Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία της φίλτρανσης, τα υγρά απόβλητα οδηγούνται αρχικά σε φρεάτιο και στη συνέχεια στη στήλη ενεργού άνθρακα μέσω επιφανειακού αγωγού. Ο σωλήνας αυτός μπορεί να υποδεχτεί παροχή  $45\text{m}^3/\text{hr}$  και λειτουργεί με πίεση 6bar και ισχύ 25HP. Η διάταξη ενεργού άνθρακα έχει διάμετρο 2100mm και ύψος στήλης ενεργού άνθρακα 4900mm. Κατόπιν, τα απόβλητα υπόκεινται σε απολύμανση με όζον στην ομώνυμη μονάδα, η οποία περιλαμβάνει δύο γεννήτριες παραγωγής όζοντος από υγρό οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ) δυναμικότητας 450gr/hr η καθεμιά, μια τσιμεντένια δεξαμενή  $15\text{m}^3$  δύο κελιών, ώστε στο πρώτο να λαμβάνει χώρα επαφή αποβλήτων και όζοντος και στο δεύτερο οξείδωση των ανεπιθύμητων συστατικών και μικροοργανισμών, δύο κεραμικούς διαχυτές φυσαλίδων για τη διανομή του όζοντος και εγκαταστημένους στον πυθμένα του πρώτου τμήματος της δεξαμενής, έναν θερμικό καταστροφέα της περίσσειας όζοντος στην έξοδο της δεξαμενής και αποθηκευτικό χώρο για το υγρό οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ).



**Σχήμα 5.43:** Η νέα προηγμένη ΜΕΛ που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Πίνακας 5.12:** Οι σχεδιαστικές παράμετροι της προηγμένης ΕΕΛ Θέρμης στο πλαίσιο του προγράμματος Life (Επίσημος δικτυακός τόπος της Εταιρείας Ανατολική Α.Ε.)

Σύστημα	Σχεδιαστική παράμετρος
Κροκίδωσης / Φίλτρανσης	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Υδραυλικό φορτίο: <math>10\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ hr}</math></li> <li>✚ Διάμετρος: 1,5m</li> <li>✚ Ύψος: 2,6m</li> </ul>
Προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Υδραυλικό φορτίο: <math>10\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ hr}</math></li> <li>✚ Empty bed contact time: 10min</li> <li>✚ Διάμετρος: 2,1m</li> <li>✚ Ύψος: 5m</li> </ul>
Απολύμανσης με όζον	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Δόση όζοντος: 15mg/L</li> <li>✚ Χρόνος επαφής: 15min</li> <li>✚ Όγκος δεξαμενής: <math>9\text{m}^3</math></li> </ul>



**Σχήμα 5.44:** Το αυτοκαθαριζόμενο αμμόφιλτρο της νέας ΜΕΛ στο πλαίσιο του προγράμματος Life


**Πίνακας 5.13:** Οι τιμές των λειτουργικών παραμέτρων του φίλτρου άμμου της νέας προηγμένης ΕΕΛ Θέρμης στο πλαίσιο του προγράμματος Life (Επίσημος δικτυακός τόπος της Εταιρείας Ανατολική Α.Ε.)

Παράμετρος	Τιμή
Ύψος στήλης άμμου (mm)	2000
Ύψος φίλτρου (mm)	6335
Συνολικό ύψος μονάδας (mm)	7865
Διάμετρος (mm)	2543
Επιφάνεια διήθησης (m <sup>2</sup> )	5,1
Πτώση πίεσης (mm)	300 έως 500
Μέγεθος κόκκων άμμου (mm)	0,9
Ροή αέρα (Nm <sup>3</sup> /hr)	13
Reject flow (%)	2 έως 12

**Δράση 2:** Οι εργασίες της δεύτερης δράσης περιλαμβάνουν την κατασκευή και την έναρξη της λειτουργίας της προηγμένης πιλοτικής ΜΕΛ σε συνεργασία με

την ΕΕΛ Θέρμης. Βασικό στόχο της δράσης αυτής αποτελεί επίσης η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της νέας μονάδας. Το εγχείρημα επιδιώκεται μέσω του ελέγχου της ποιότητας της εκροής, της πίεσης και της ροής των αποβλήτων σε κάθε επιμέρους τμήμα της μονάδας, καθώς και εγκατεστημένες συσκευές ελέγχου (λ.χ. βάνες, ροόμετρο, φλοτέρ, alarms). Σε κάθε στάδιο της εφαρμογής, λαμβάνουν χώρα εργαστηριακές αναλύσεις και μέτρηση του ρυπαντικού φορτίου και των μικροβίων των αποβλήτων.

Η πλήρως επεξεργασμένη εκροή των ΜΕΛ διατίθεται σε 6 κλίνες και ένα φρεάτιο επιφανειακής διήθησης μέσω των οποίων τροφοδοτεί τα υπόγεια νερά της υδρολογικής λεκάνης και αντλείται προς ικανοποίηση άλλων αναγκών (κυρίως αρδευτικών). Οι λεκάνες διήθησης έχουν διαστάσεις 16,6 × 26,6m και πυθμενική επίστρωση από χαλίκια πάχους 0,15cm για αερισμό του υποστρώματος. Η σχεδιαστική ταχύτητα διήθησης των λεκανών είναι 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ημέρα και η στάθμη των αποβλήτων σε αυτές 0,5m. Το φρεάτιο έχει σχεδιαστεί με χωρητικότητα 800m<sup>3</sup>, έχει πληρωθεί με χαλίκια σε βάθος 8m και έχει εγκατεστημένο αγωγό υπερχειλίσης σε περίπτωση βλάβης του αγωγού εξόδου της μονάδας. Σε έκτακτες ανάγκες ο αγωγός υπερχειλίσης οδηγεί τα επεξεργασμένα απόβλητα σε παρακείμενο υδατόρευμα.

 **Δράση 3:** Η τρίτη δράση του προγράμματος περιλαμβάνει:

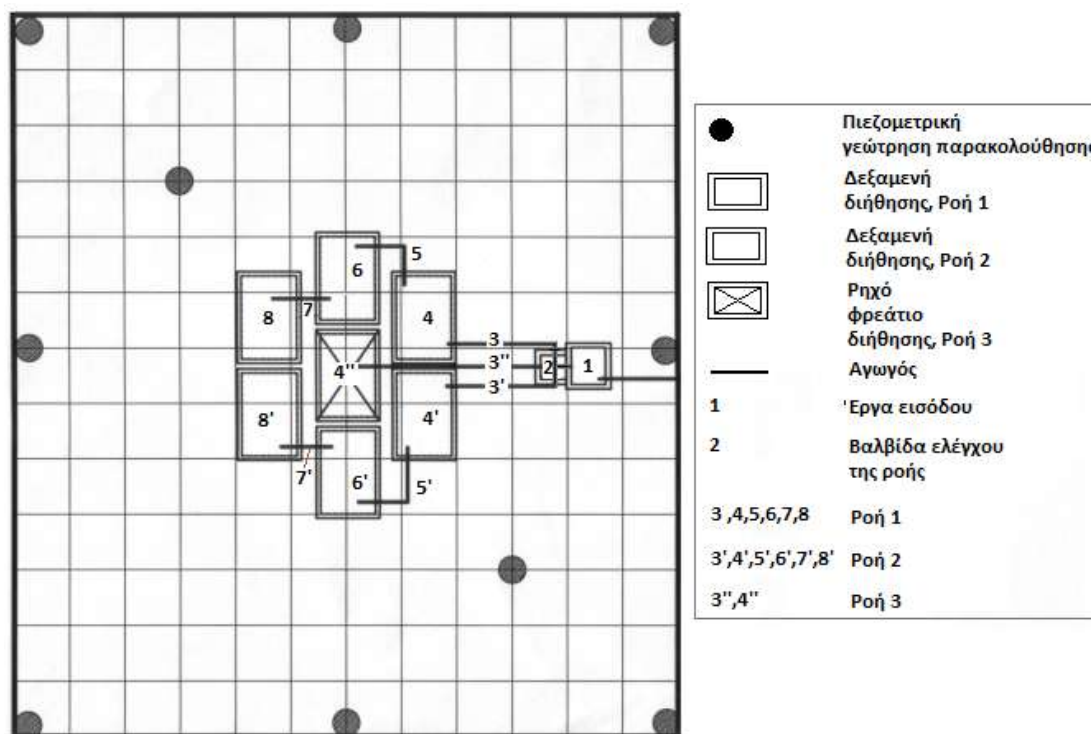
- **Τη διάνοιξη πιεζομετρικών και παραγωγικών γεωτρήσεων για την εκπόνηση υδρογεωλογικής μελέτης με σκοπό τον προσδιορισμό του υπόγειου καθεστώτος ροής, των χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών, τα πλέον κατάλληλα σημεία για την εφαρμογή Τ.Ε. και της υδατικής κατανάλωσης:** Περιμετρικά των κλινών επιφανειακής διήθησης έχουν διανοιχθεί 10 πιεζομετρικές γεωτρήσεις παρακολούθησης των υπόγειων νερών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, από ένα συνολικό ετήσιο απόθεμα 23 εκατομμυρίων m<sup>3</sup> νερού, που υφίσταται στη λεκάνη, περίπου 18 εκατομμύρια m<sup>3</sup> χρησιμοποιούνται ως νερό άρδευσης και τα υπόλοιπα για βιομηχανική χρήση ή πόση. Στη συνέχεια, συλλέχθηκαν δείγματα από 16 γεωτρήσεις ελέγχου της περιοχής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δειγμάτων, ένα συγκεκριμένο δείγμα εμφάνισε τη χειρίστη ποιότητα, έχοντας πολύ υψηλή αγωγιμότητα (4000μS) και υψηλή περιεκτικότητα ανιόντων και κατιόντων, 4 δείγματα εμφάνισαν υψηλή περιεκτικότητα νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (10mg/L), ενώ ισάριθμα δείγματα είχαν υψηλή περιεκτικότητα ψευδάργυρου (Zn) (0,1mg/L).

- **Τον Τ.Ε. των υπόγειων νερών με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και παρακολούθηση των επιπτώσεων του στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του νερού, αλλά και στο φαινόμενο της υφαλμύρισης:** Στην έξοδο της πιλοτικής ΜΕΛ έχει εγκατασταθεί online αισθητήρας για τη μέτρηση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) της εκροής.

- **Τη χρήση μιας ποσότητας ανακτημένων υγρών αποβλήτων για άρδευση:** Η αξιολόγηση των επιπτώσεων των αρδευόμενων αποβλήτων επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας πειραματικών εκτάσεων καλαμποκιού, τριφυλλιού, σιταριού και βαμβακιού, καθώς και τη διεξαγωγή προγράμματος φυσικοχημικών αναλύσεων των καλλιεργειών, που θα αρδευτούν με τα ανακτημένα απόβλητα.

- **Την αποτίμηση των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων για τις δύο χρήσεις (Τ.Ε. και άρδευση).**

Η διάταξη των δεξαμενών Τ.Ε. και η θέση των γεωτρήσεων ελέγχου στην ευρύτερη περιοχή παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.45.




**Σχήμα 5.45:** Τα έργα επιφανειακής διήθησης και οι γεωτρήσεις παρακολούθησης των υπόγειων νερών στο πλαίσιο του προγράμματος Life

**Δράση 4:** Η δράση αυτή περιλαμβάνει τη διερεύνηση της σκοπιμότητας επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε όλη την Ελλάδα, τη μελέτη σκοπιμότητας εφαρμογής της αναπτυχθείσας (στο πλαίσιο του πιλοτικού προγράμματος) τεχνολογίας σε υπάρχουσες ΕΕΛ στην ευρύτερη περιοχή του έργου (Αγγελωχώρι, Νέα Καλλικράτεια, Θεσσαλονίκη), την εφαρμογή των αποτελεσμάτων του προγράμματος σε περιοχές με παρόμοια προβλήματα υδατικών πόρων, αλλά και ενσωμάτωσή τους στις προδιαγραφές κατασκευής ΕΕΛ.

Η επίτευξη των ανωτέρω στόχων επιδιώκεται μέσω:

• **Αξιολόγησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εκροών ΕΕΛ σε όλη την Ελλάδα, ώστε να γίνεται εφικτό να προσδιοριστούν η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων και ο απαιτούμενος βαθμός καθαρισμού και απολύμανσής τους:** Το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου διεξήγαγε δειγματοληψίες από 15 ΕΕΛ σε ολόκληρη την Ελλάδα για να μελετήσει τη δυνατότητα που έχουν οι εκροές τους να επαναχρησιμοποιηθούν. Οι αναλύσεις που έλαβαν χώρα αφορούσαν στη θολότητα, τα συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), τη διαπερατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, το pH, την αλκαλικότητα, τα χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>), το αμμωνιακό, νιτρικό και νιτρώδες άζωτο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N), τα φωσφορικά, το ολικό και διαλυτό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), το ολικό βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5) και τέλος τα ολικά και περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC).

• **Διεξαγωγή εργαστηριακών πειραμάτων σε εναλλακτικά συστήματα επεξεργασίας και απολύμανσης, ώστε να καταρτιστούν γενικοί κανόνες επαναχρησιμοποίησης.**

 **Δημοσιοποίηση:** Τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μοντέλου καθίστανται γνωστά στην Ελλάδα, αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, οι οποίες αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα σε σχέση με τους υδατικούς πόρους. Οι εργασίες δημοσιοποίησης αναμένεται να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση όλων των εταίρων σε θέματα διαχείρισης περιβαλλοντικών προβλημάτων, αιεφόρου ανάπτυξης και εξοικονόμησης νερού για αστικές, βιομηχανικές και αγροτικές χρήσεις.

Συγκεκριμένες δράσεις δημοσιοποίησης, που έχουν ήδη λάβει χώρα, είναι οι ακόλουθες:

- **Διεξαγωγή 5 συναντήσεων εργασίας.**
- **Συμμετοχή σε δύο Διεθνή Συμπόσια του Διεθνούς Οργανισμού για το Νερό (International Water Association, IWA):** Τα δύο συμπόσια έλαβαν χώρα στο Παρίσι, τον Ιούλιο του 2000 και στο Βερολίνο τον Οκτώβριο του 2001.
- **Δημοσιεύσεις σε διεθνή τεχνικά περιοδικά και διεθνείς εφημερίδες.**
- **Συμμετοχή στο Διεθνές Συνέδριο με τίτλο «Η ανακύκλωση υγρών αποβλήτων στην περιοχή της Μεσογείου»:** Το συνέδριο έλαβε χώρα στο Ηράκλειο από τις 26 έως τις 29 Σεπτεμβρίου του 2002.
- **Συμμετοχή σε σεμινάριο στην Ιταλία με τη συνεργασία του διακρατικού εταίρου Eutec S.R.L. με τίτλο «Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων: Προδιαγραφές-Εφαρμογές»:** Το σεμινάριο έλαβε χώρα στις 22 Οκτωβρίου του 2002.
- **Συγκέντρωση δεδομένων για την κατανάλωση νερού και τις μεθόδους ανακύκλωσης και εξοικονόμησής του από τις βιομηχανίες της περιοχής εφαρμογής του προγράμματος Life.**
- **Καμπάνια της ΕΥΑΘ Α.Ε. για την εξοικονόμηση νερού στο Πολεοδομικό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.**
- **Συμμετοχή στο Διεθνές Συνέδριο της HELECO στην Αθήνα:** Το συνέδριο έλαβε χώρα από τις 30 Ιανουαρίου έως την 1<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 2003.
- **Οργάνωση επιστημονικού διήμερου με τίτλο «Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων»:** Η δράση αυτή έλαβε χώρα από τις 13 έως τις 14 Φεβρουαρίου του 2003 στη Θεσσαλονίκη.
- **Συμμετοχή στο 9<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης:** Το συνέδριο έλαβε χώρα τον Απρίλιο του 2003 στη Θεσσαλονίκη.

Εμπειρικά, διαπιστώνεται ότι η δημοφιλέστερη μέθοδος Τ.Ε. (ποσοστό άνω του 90%) είναι εκείνη των λεκανών κατάκλυσης, οι οποίες κατασκευάζονται κοντά σε μεγάλους ποταμούς, οι οποίοι αποτελούν την πηγή τροφοδοσίας του νερού Τ.Ε. Σε μικρότερη συχνότητα, χρησιμοποιούνται τα κανάλια, οι λίμνες και οι λιμνοδεξαμενές. Οι μέθοδοι που βασίζονται στο ανακτημένο νερό των ΕΕΛ βρίσκουν μεγαλύτερη απήχηση στη Δανία, ενώ υπάρχουν βλέψεις για ανάλογη εφαρμογή στην Ελλάδα (Ηράκλειο Κρήτης).

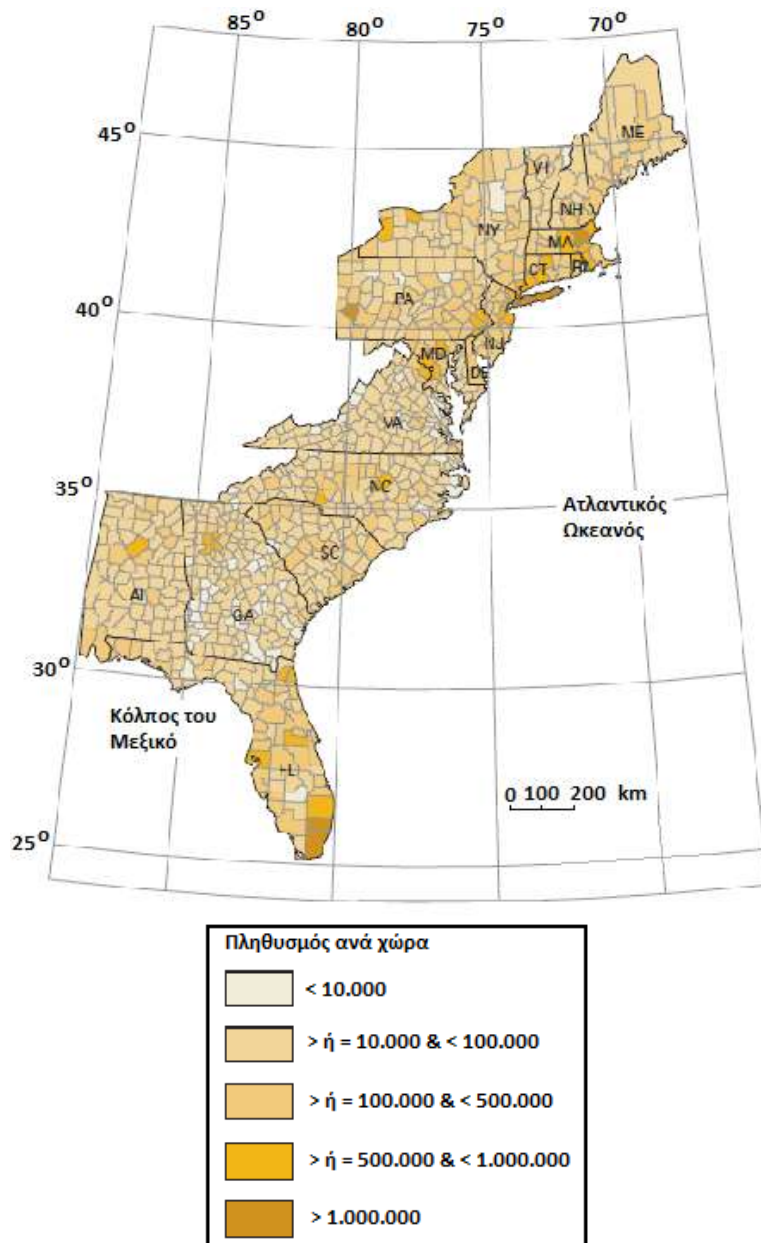
## 5.4. Η αντιμετώπιση της υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων μέσω εφαρμογών Τ.Ε.

Η αυξανόμενη συνειδητοποίηση του καίριου ρόλου των υπόγειων νερών για τη διατήρηση των πληθυσμών, οι οποίοι ζουν σε παράκτιες περιοχές, καθώς και των οικοσυστημάτων και της οικονομίας τους οδηγεί στην αναγκαιότητα διερεύνησης όλων εκείνων των παραμέτρων που σχετίζονται με τη διαχείριση των υπόγειων αποθεμάτων και τα επηρεάζουν ποιοτικά και ποσοτικά. Η υφαλμύριση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων αποτελεί την παράμετρο που θα αναλυθεί στο παρόν υποκεφάλαιο της εργασίας. Τα Σχήματα 5.46 και 5.47 παρουσιάζουν αντιστοίχως τον πληθυσμό και τις αντλήσεις υπόγειων νερών ανά χώρα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στις ακτές του Ατλαντικού Ωκεανού το 1995.

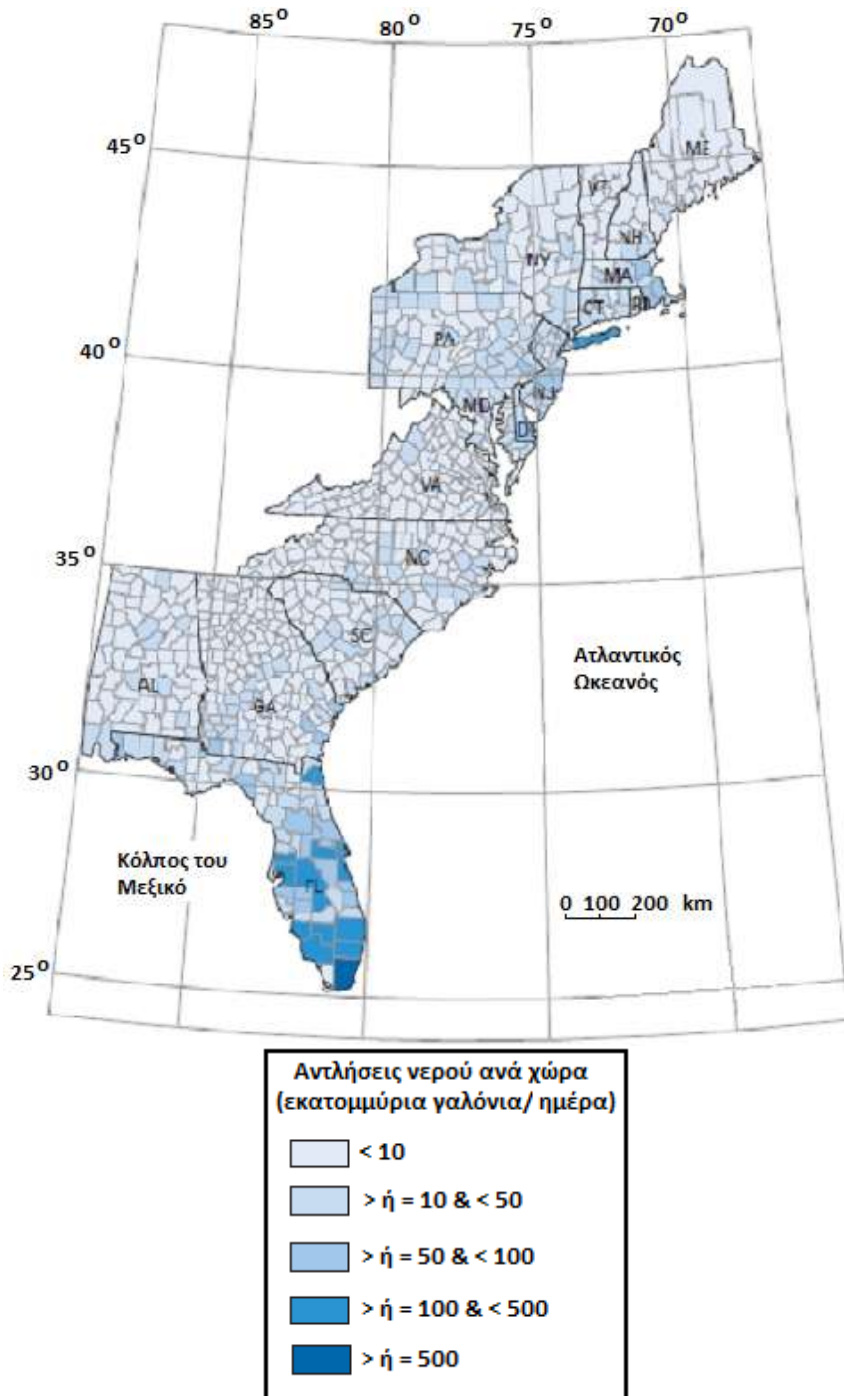
Από τις δύο εικόνες προκύπτει συμπερασματικά ότι τα 2/3 του πληθυσμού διαμένουν σε παράκτιες περιοχές, στις οποίες τα υπόγεια νερά αντλούνται σε μεγάλο βαθμό. Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (United States National Oceanic and Atmospheric Administration, 1998) λαμβάνει ως παράκτιες χώρες εκείνες οι οποίες έχουν το 15% του εδάφους τους σε παράκτια λεκάνη απορροής.

Με τον όρο «υφαλμύριση» περιγράφεται το φαινόμενο κατά το οποίο υφάλμυρο νερό εισάγεται στα γλυκά υπόγεια νερά. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η υφαλμύριση προκαλείται από την υπέρμετρη άντληση παράκτιων υδροφόρων συστημάτων μέσω γεωτρήσεων, όπως έχει προαναφερθεί και σε διάφορα σημεία της διατριβής. Λόγω του γεγονότος ότι το υφάλμυρο νερό περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) και ανόργανων συστατικών κρίνεται ακατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο ως νερό πόσης, αλλά και για άλλες χρήσεις. Το πρόβλημα εντοπίστηκε για πρώτη φορά το 1854 στο Long Island της Νέας Υόρκης (Back και Freeze, 1983).

Στις μέρες μας, η επιστημονική κοινότητα, διαχειριστές παράκτιων περιοχών και λήπτες αποφάσεων αποδίδουν πληθώρα σημαντικών προβλημάτων των παράκτιων οικοσυστημάτων, όπως η κόκκινη παλίρροια, νεκροί πληθυσμοί ψαριών, η καταστροφή κοραλλιογενών υφάλων κ.α., στην ύπαρξη μεγάλης ποσότητας θρεπτικών συστατικών (αζώτου (N), φωσφόρου (P)) εξαιτίας της υποβάθμισης του γλυκού νερού (United States National Research Council, 2000). Τα υπόγεια νερά αποτελούν βασική πηγή γλυκού νερού με σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών στα παράκτια οικοσυστήματα λόγω της ολοένα και αυξανόμενης ρύπανσης των ρηχών υπόγειων νερών με θρεπτικά (United States Geological Survey, 1999). Επιπροσθέτως, τα υπόγεια νερά αποτελούν δίοδο μεταφοράς υλικών από τη ξηρά, στις παράκτιες περιοχές και τελικά στη θάλασσα (Johannes, 1980, Simmons, 1992, Church, 1996, Moore, 1996 και 1999, Basu et al., 2001, Burnett et al., 2002).



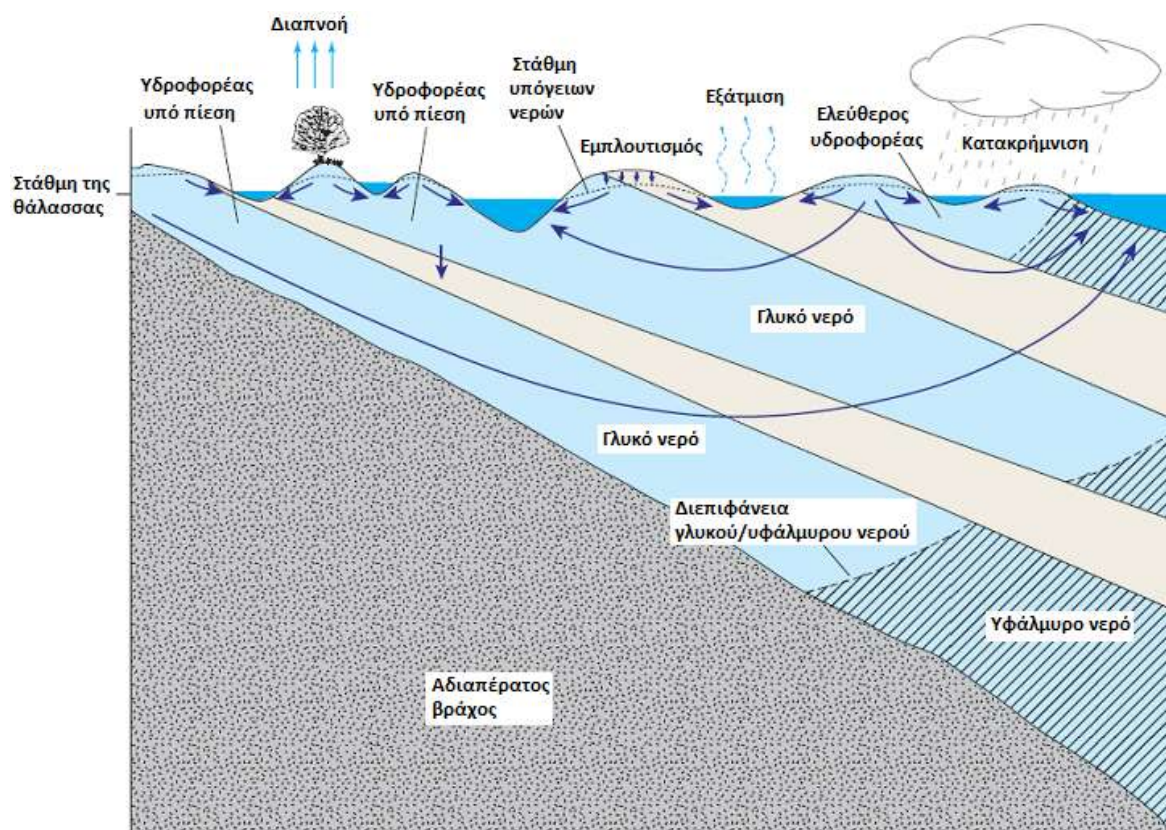
**Σχήμα 5.46:** Ο πληθυσμός ανά χώρα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στις παράκτιες περιοχές του Ατλαντικού Ωκεανού (Βάση ψηφιακών δεδομένων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, Γραφείο Απογραφών, κωνική προβολή, παράλληλοι 29°30' και 45°30', κεντρικός μεσημβρινός-77°00', 1996) (Barlow, 2003)



**Σχήμα 5.47:** Οι αντλήσεις νερού ανά χώρα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στις παράκτιες περιοχές του Ατλαντικού Ωκεανού (Βάση ψηφιακών δεδομένων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, κωνική προβολή, παράλληλοι 29°30' και 45°30', κεντρικός μεσημβρινός-77°00', 2000) (Barlow, 2003)

Το Σχήμα 5.48 παρουσιάζει τη ροή των υπόγειων νερών σε ένα πολυστρωματικό υδροφόρο σύστημα. Ο Πίνακας 5.14 παρουσιάζει τις μέσες συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο υφάλμυρο νερό.





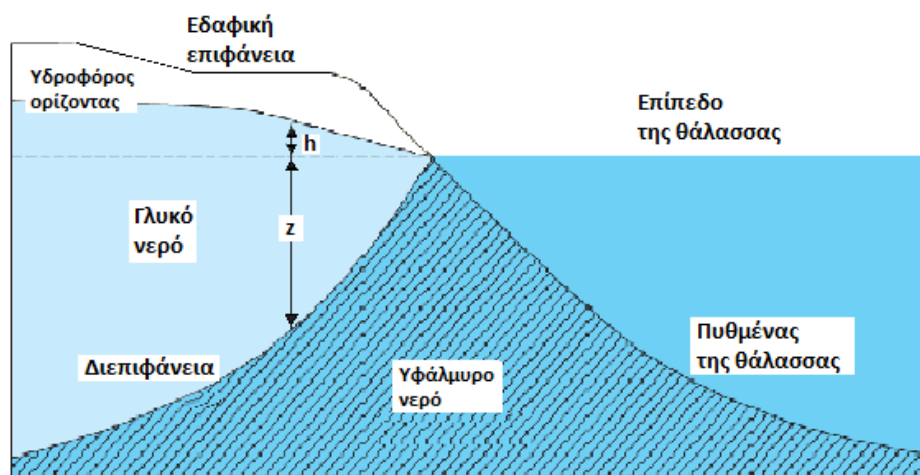
**Σχήμα 5.48:** Η ροή των υπόγειων νερών σε ένα σύνθετο, πολυστρωματικό υδροφόρο σύστημα (Leahy και Martin, 1993)

**Πίνακας 5.14:** Οι μέσες συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο υφάλμυρο νερό (Goldberg et al., 1971)

Συστατικό	Συγκέντρωση (mg/L)
Χλώριο (Cl)	19000
Νάτριο (Na)	10500
Θειικό άλας	2700
Μαγνήσιο (Mg)	1350
Ασβέστιο (Ca)	410
Κάλιο (K)	390
Διττανθρακικό	142
Βρώμιο (Br)	67
Στρόντιο (Sr)	8
Πυρίτιο (Si)	6,4
Βόριο (B)	4,5
Φθόριο (F)	1,3

Η απουσία δεδομένων ποιότητας νερού δυσχεραίνει την εκτίμηση του πάχους της ζώνης γλυκού νερού. Ωστόσο, σε περιπτώσεις ελεύθερων υδροφόρων συστημάτων, έχει εφαρμοστεί αρκετά ικανοποιητικά μια απλή εξίσωση προσδιορισμού του πάχους της στρώσης του γλυκού νερού και του βάθους των

υπόγειων νερών. Η εξίσωση αυτή συσχετίζει την ανύψωση του υδροφόρου οριζοντα με την ανύψωση της διεπιφάνειας γλυκού νερού-υποκείμενων ζωνών υφάλμυρου νερού (Σχήμα 5.49) και στηρίζεται στην κατάσταση ισορροπίας δύο στηλών υγρών διαφορετικής πυκνότητας.



Σχήμα 5.49: Η απλοποιημένη διεπιφάνεια γλυκού-υφάλμυρου νερού σε παράκτιο υδροφόρο σύστημα (Reilly και Goodman, 1985)

Η μαθηματική έκφραση της εξίσωσης Ghyben-Herzberg, όπως ονομάστηκε από τους δύο Ευρωπαίους επιστήμονες που την εξήγαγαν ξεχωριστά ο ένας από τον άλλο, στα τέλη του 1800, είναι (Διαμαντής κ.α., 2013):

$$z = \rho_f \times h / (\rho_s - \rho_f), \text{ όπου}$$

z: το πάχος της ζώνης γλυκού νερού κάτω από το επίπεδο της θάλασσας (m)

h: το πάχος της ζώνης γλυκού νερού πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (m)

$\rho_f$ : η πυκνότητα του γλυκού νερού ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\rho_s$ : η πυκνότητα του υφάλμυρου νερού ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

Η προστασία των υπόγειων νερών από την υφαλμύριση αποσκοπεί σε τρεις κυρίως στόχους (Bear, 1979):

- ✦ Στην παρεμπόδιση της διαφυγής του γλυκού νερού προς τη θάλασσα.
- ✦ Στην αύξηση του υδραυλικού φορτίου και την επακόλουθη αύξηση του ρυθμού τροφοδότησης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.
- ✦ Στην ίδρυση τέτοιου πλαισίου διαχείρισης σε συγκεκριμένες περιοχές, ώστε να μην παρατηρείται ανορθολογική άντληση των γλυκών υπόγειων νερών και κρίσιμη ανύψωση του υφάλμυρου νερού.

Ο βαθμός της υφαλμύρισης των υπόγειων νερών διαπιστώνεται με τη βοήθεια δεικτών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους την παρουσία ιόντων-κυρίως χλωρίου (Cl) και νατρίου (Na)-στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα. Ο συντελεστής Revelle αποτελεί το πλέον διαδεδομένο δείκτη των ποιοτικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών σχετικά με το φαινόμενο της υφαλμύρισης. Η τιμή του εκτιμάται από τη σχέση (Αβραμίδου, 2007):

$$r\text{Cl} / (r\text{CO}_3^{2-} + r\text{HCO}_3^-), \text{ όπου}$$

r: συμβολισμός ο οποίος δηλώνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε mg/L

Cl<sup>-</sup>: ιόντα χλωρίου

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>: ανθρακικά ιόντα

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: ανθρακικό οξύ.

Ο Πίνακας 5.15 παρουσιάζει το χαρακτηρισμό της ποιότητας των υπόγειων νερών αναφορικά με την υφαλμύρισή τους.

**Πίνακας 5.15:** Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας των υπόγειων νερών αναφορικά με την υφαλμύρισή τους (Αβραμίδου, 2007)

Συντελεστής Revelle	Όριο Simpson	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών
<1	0,5	Καλά υπόγεια νερά χωρίς ρύπανση
1-2	1,3	Ελαφρώς ρυπασμένα υπόγεια νερά
2-6	2,8	Μετρίως ρυπασμένα υπόγεια νερά
6-10	6,6	Σοβαρά ρυπασμένα υπόγεια νερά
10-150	15,5	Επικίνδυνα ρυπασμένα υπόγεια νερά
>150	200	Υφάλμυρα νερά/Θαλασσινά νερά

Εκτός από το συντελεστή Revelle, η ποιότητα των υπόγειων νερών προσδιορίζεται και από διάφορους άλλους ιοντικούς λόγους, όπως (Αβραμίδου, 2007):

✦ **r νατρίου (Na)/r καλίου (K):** Όταν ο λόγος λάβει τιμές >47, τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα (θαλασσινά), ενώ όταν λάβει τιμές στο διάστημα 50-70, τα νερά έχουν απορροφήσει νάτριο (Na).

✦ **r χλωρίου (Cl)/r θεικών ιόντων (SO<sub>4</sub>):** Όταν ο λόγος ισούται με 10, ισοδυναμεί με θαλασσινά νερά. Για τιμές στο διάστημα 5-10, τα υπόγεια νερά έχουν υποστεί υφαλμύριση.

✦ **r χλωρίου (Cl)/r βρωμίου (Br):** Η τιμή 300 του λόγου αντιστοιχεί στα θαλασσινά νερά, ενώ τιμές στο διάστημα 300-4000, αναλογούν σε νερά εβαποριτών.

✦ **r ασβεστίου (Ca)/r μαγνησίου (Mg):** Τιμές του λόγου στο διάστημα 0,2-0,3 αφορούν σε θαλασσινά νερά και οι αντίστοιχες στο διάστημα 1-7 σε γλυκά καρστικά υπόγεια νερά. Τιμές που δεν ξεπερνούν τη μονάδα αναφέρονται σε νερά που προέρχονται από οφειόλιθους ή δολομίτες.

✦ **r νατρίου (Na)/r χλωρίου (Cl):** Ο λόγος λαμβάνει τη τιμή 0,8, όταν εξετάζονται θαλασσινά νερά.

Επιπροσθέτως, μετράται η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Τα νερά χαρακτηρίζονται ως γλυκά όταν η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) δεν ξεπερνά τα 1000mg/L, ελαφρώς υφάλμυρα όταν 1000<συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)<3000mg/L και μέτρια

υφάλμυρα όταν  $3000\text{mg/L} < \text{συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)} < 10000\text{mg/L}$ . Σύμφωνα με τον Alley (2003), νερό με συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) άνω των  $1000\text{mg/L}$  θεωρείται υφάλμυρο. Η Εθνική Ένωση Υπογείων Υδάτων της Οκλαχόμα (2005) χαρακτηρίζει υφάλμυρα τα υπόγεια νερά με συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) μεταξύ των  $1000$  έως  $10000\text{mg/L}$  και θαλασσινά τα νερά που περιέχουν ολικά διαλυμένα στερεά σε συγκεντρώσεις άνω των  $35000\text{mg/L}$ . Τέλος, σύμφωνα με το Αμερικάνικο BOR (2003), τα νερά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το κριτήριο των ολικών διαλυμένων στερεών στις εξής ομάδες:

- **Ήπια υφάλμυρα όταν:  $1,000 < \text{Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)} < 5,000 \text{ mg/L}$**
- **Μετρίως υφάλμυρα όταν:  $5,000 < \text{Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)} < 15,000 \text{ mg/L}$**
- **Σημαντικά υφάλμυρα όταν:  $15,000 < \text{Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)} < 35,000 \text{ mg/L}$**
- **Θαλασσινά όταν:  $\text{Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)} > 35,000 \text{ mg/L}$ .**

Ταυτόχρονα με το κριτήριο των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) ή σε αντικατάσταση αυτού μπορεί να αξιοποιηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw) (Αβραμίδου, 2007).

Άλλο ένα μέτρο της υφαλμύρισης αποτελεί η ιοντική ισχύς I, η οποία εκτιμάται από την εξίσωση (Αβραμίδου, 2007):

$$I = 0,5 \times \Sigma (M_i \times Z_i^2), \text{ όπου}$$

$M_i$ : Μοριακή συγκέντρωση του i-οστού ιόντος (mol/L)

$Z_i$ : Φορτίο i-οστού ιόντος.

Στις μέρες μας, για τη μελέτη του φαινομένου αξιοποιούνται και μετρήσεις αντίστασης των γεωλογικών σχηματισμών ή ο λόγος αντίσταση γεωλογικού σχηματισμού / ειδική αγωγιμότητα νερών (Αβραμίδου, 2007).

Οι κύριες μέθοδοι αντιμετώπισης της υφαλμύρισης περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Σχήμα 5.50) (EPA και Office of Groundwater and Drinking Water (4601), 1999, Abd-Elhami και Javadi, 2008, Διαμαντής και Πλιάκας, 2012, Διαμαντής κ.α., 2013):

■ **Τροποποίηση του σχεδίου άντλησης των υπόγειων νερών με στόχο τη διατήρηση της στάθμης τους επάνω από το επίπεδο της θάλασσας (ASCE, 1987):**

Οι αντλήσεις επηρεάζουν την υδραυλική κλίση στην περιοχή όπου πραγματοποιούνται και προκαλούν μετανάστευση του υφάλμυρου νερού σε χερσαίες εκτάσεις. Συνεπώς, μια πιθανή λύση στο φαινόμενο αυτό θα ήταν να αλλάξει η θέση των γεωτρήσεων άντλησης (μετακίνησή τους σε πιο μεγάλες αποστάσεις από τις ακτές), να ελαττωθούν οι αντλούμενες ποσότητες υπόγειων νερών, αλλά και να χρησιμοποιηθούν άλλες πηγές υδροδότησης. Κατά αυτόν τον τρόπο, η υδραυλική κλίση θα αναστραφεί προς τη θάλασσα.

■ **Εφαρμογή Τ.Ε. με τη μέθοδο της επιφανειακής διήθησης (ASCE, 1987):** Μέσω λεκανών κατάκλυσης εισάγεται νερό Τ.Ε. στο υδροφόρο σύστημα, ώστε να αναστραφεί η υδραυλική κλίση προς την κατεύθυνση της θάλασσας.

■ **Κατασκευή υδραυλικού φράγματος (ASCE, 1987):** Σε αβαθή υδροφόρα συστήματα κατασκευάζεται υπόγειος, μη διαπερατός φυσικός φραγμός, ο οποίος διακόπτει την υδραυλική επικοινωνία τους με τη θάλασσα. Η μέθοδος αυτή όμως

εμπεριέχει τον κίνδυνο αύξησης της αλατότητας και καθίζησης του εδάφους, σύνθετη κατασκευή και οικονομικές δυσχέρειες.

✦ **Εγκατάσταση μιας διάταξης γεωτρήσεων ελεγχόμενης άντλησης του υφάλμυρου νερού κατά μήκος της ακτογραμμής και μεταξύ των παραγωγικών γεωτρήσεων και της ροής του υφάλμυρου νερού (California Department of Water Resources, 1970, ASCE, 1987):** Ο ρυθμός άντλησης πρέπει να ξεπερνά ελάχιστα το ρυθμό με τον οποίο το υφάλμυρο νερό αρχικά διηθούνταν στο υδροφόρο σύστημα. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αύξηση της αλατότητας του γλυκού νερού όμως σε σχέση με την προηγούμενη πρόταση μειώνεται ο όγκος του υφάλμυρου νερού, αυξάνεται ο όγκος του γλυκού νερού, το έδαφος δεν κινδυνεύει από πλημμύρα και αστοχία, τα υδατικά αποθέματα δεν περιορίζονται και η μέθοδος κρίνεται αποδοτική, όταν το κοίλωμα των γεωτρήσεων άντλησης συνδυάζεται με γεωτρήσεις T.E. (Bruington και Seares, 1965). Η στάθμη του κοιλώματος των γεωτρήσεων άντλησης είναι η πλέον χαμηλή σε ολόκληρη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης.

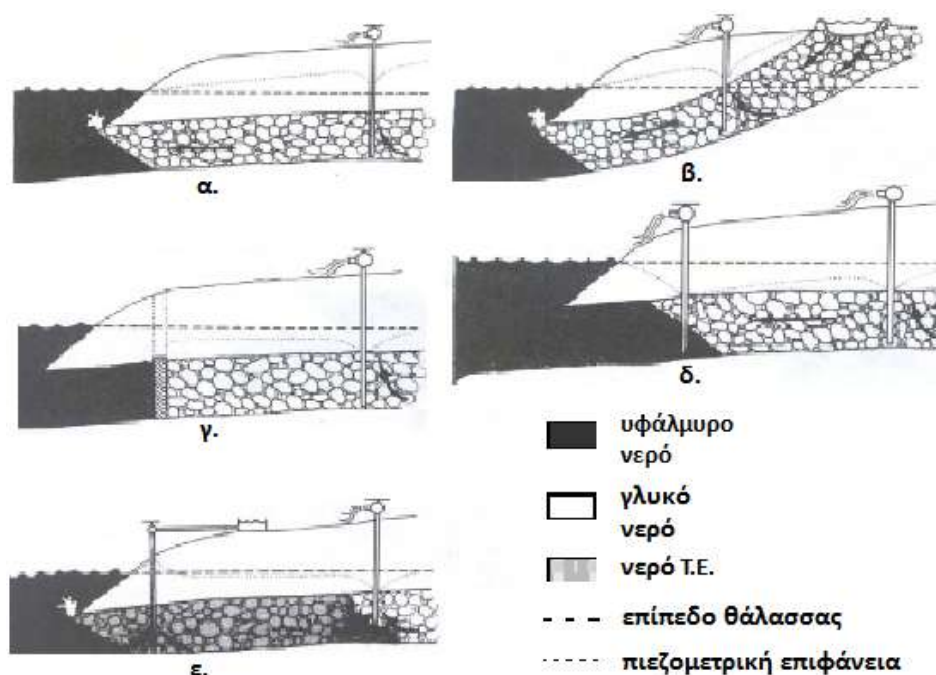
✦ **T.E. των υπόγειων νερών με δεξαμενές κατάκλυσης, γεωτρήσεις εισαγωγής ή συνδυασμό των δύο τεχνικών ανάλογα με το ποια μέθοδος κρίνεται καταλληλότερη σε σχέση με τις επικρατούσες συνθήκες της περιοχής εφαρμογής (ASCE, 1987):** Στόχος του T.E. είναι η ανύψωση της υδροστατικής ή πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου συστήματος. Συνήθως, σε ελεύθερα υδροφόρα συστήματα χρησιμοποιείται η μέθοδος της επιφανειακής διήθησης, ενώ σε αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα η μέθοδος των γεωτρήσεων T.E. Ως νερό T.E. μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιφανειακό ή αφαλατωμένο νερό, υπόγεια νερά ή επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

✦ **Φυσικός εμπλουτισμός υπόγειων νερών με επιφανειακό νερό (Todd, 1974, Ru et al., 2001).**

✦ **Εξαγωγή υφάλμυρου νερού, αφαλάτωσή του και στη συνέχεια χρήση του ως νερό T.E. (μέθοδος ADR) (Abd-Elhamid και Javadi, 2008):** Η μέθοδος διεξάγεται σε τρία στάδια. Αρχικά εξάγεται υφάλμυρο νερό από τη ζώνη υφάλμυρου νερού του υδροφόρου συστήματος, στη συνέχεια αφαλατώνεται με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης και τέλος εισάγεται ως νερό T.E. στο υδροφόρο σύστημα. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου ADR είναι η αποκατάσταση της αρχικής κατάστασης ισορροπίας γλυκού και υφάλμυρου νερού και η μετατόπιση της διεπιφάνειας των δύο φάσεων στην κατεύθυνση της θάλασσας. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τις τις προβλέψεις ενός μοντέλου προσομοίωσης σχετικά με την άνοδο της στάθμης των ωκεανών. Η Μη Κυβερνητική Οργάνωση «Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή» (IPCC, 2001) προβλέπει ότι η ετήσια άνοδος του επιπέδου της θάλασσας θα κυμαίνεται από 20 έως 88mm.

Παρά την εκτεταμένη έρευνα αναφορικά με την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφόρων συστημάτων, έχουν αναπτυχθεί ελάχιστα μοντέλα, που χρησιμοποιούν μια ή περισσότερες από τις προαναφερθείσες μεθόδους αντιμετώπισης, για τη μελέτη της. Η έλλειψη αυτή αποδίδεται στο υψηλό οικονομικό κόστος και την αδυναμία εφαρμογής των μοντέλων σε ορισμένες περιοχές. Επιπλέον, η πληθυσμιακή έκρηξη και η συνεπαγόμενη αύξηση της υδατικής κατανάλωσης καθιστά τις ανωτέρω μεθόδους μόνο προσωρινές λύσεις αντιμετώπισης της υφαλμύρισης. Τέλος, τα περισσότερα μοντέλα αγνοούν την παράμετρο της κλιματικής αλλαγής, η οποία ναι μεν αμφισβητείται από τμήμα της επιστημονικής

κοινότητας, πιθανόν δε να προκαλέσει άνοδο της στάθμης των ωκεανών και επιδείνωση του προβλήματος.



**Σχήμα 5.50:** Οι μέθοδοι αντιμετώπισης της υφαλμύρισης σε αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα: α. οι ελεγχόμενες αντλήσεις, β. ο Τ.Ε. με επιφανειακή διήθηση, γ. ο υπόγειος φυσικός φραγμός, δ. το κοίλωμα γεωτρήσεων άντλησης, ε. ο συνδυασμός ελεγχόμενων αντλήσεων και γεωτρήσεων Τ.Ε. (ASCE, 1987)

## 5.5. Οι περιοριστικοί παράγοντες στην εφαρμογή του Τ.Ε.

### 5.5.1. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί), οι οποίοι περιέχονται στο ανακτημένο νερό, είναι πιθανόν να συγκρατηθούν από τους εδαφικούς κόκκους, καθώς το νερό διηθείται από την επιφάνεια του εδάφους προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Διαμαντής και Πλιάκας, 2012 και 2013). Κατά τη διάρκεια της διήθησης του νερού Τ.Ε., τα βακτήρια καθιζάνουν στο πορώδες μέσο και απομακρύνονται, ενώ οι ιοί προσροφώνται. Το κλίμα, το είδος του εδάφους, το pH, η παρουσία κατιόντων, η υγρασία, ο ανταγωνισμός με διάφορους μικροοργανισμούς του εδάφους και ο ρυθμός του Τ.Ε. αποτελούν τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των ιών. Για παράδειγμα και σύμφωνα με τους Gerba et al. (1975), θερμοκρασίες οι οποίες δεν υπερβαίνουν τους 4°C, η ύπαρξη υγρασίας στο έδαφος, τα αλκαλικά εδάφη και τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ενώσεις ευνοούν την ανάπτυξη ορισμένων μικροοργανισμών (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας κ.α., 2004). Επιπροσθέτως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των κατιόντων και μειώνεται το pH, τα διαλυμένα οργανικά συστατικά ευνοούν την προσρόφηση των ιών. Η πιθανότητα θνησιμότητας, η οποία σχετίζεται με το ακατάλληλα απολυμασμένο πόσιμο νερό, υπερβαίνει κατά 1000 φορές τον κίνδυνο

πρόκλησης καρκίνου, ο οποίος προκαλείται από υποπροϊόντα απολύμανσης με χλώριο (Bull et al., 1990).

Ο Πίνακας 5.16 παρουσιάζει συγκεντρωτικά στοιχεία αναφορικά με τους κινδύνους για την δημόσια υγεία που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση.

**Πίνακας 5.16:** Οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία της επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς (Carr, 2005)

Κατηγορία έκθεσης	Κίνδυνοι δημόσιας υγείας		
	Μόλυνση από νηματοειδείς μικροοργανισμούς	Μόλυνση από ιούς και βακτήρια	Μόλυνση από πρωτόζωα
Καταναλωτές	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Σημαντικοί κίνδυνοι μόλυνσης ενηλίκων και ανηλίκων από <i>Ascaris</i>, όταν χρησιμοποιούνται ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα.</li> <li>✦ Η επικινδυνότητα δεν είναι αυξημένη, όταν τα υγρά απόβλητα έχουν υποστεί επεξεργασία, τέτοια ώστε οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί να μην ξεπερνούν το 1αυγό/L. Ωστόσο, μπορεί να υπάρξουν συνθήκες που να ευνοούν την ανάπτυξη των αυγών.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Η χολέρα, ο τυφοειδής πυρετός και η δυσεντερία απορρέουν από τη χρήση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων.</li> <li>✦ Σημειώνεται οροθετική απόκριση όσον αφορά στο Ελικοβακτήριο του πυλωρού (χωρίς θεραπεία).</li> <li>✦ Αυξάνονται τα κρούσματα διάρροιας, όταν τα υγρά απόβλητα περιέχουν άνω των 10<sup>4</sup> περιττωματικών κολοβακτηρίδιων (FC) ανά 100ml</li> </ul>	<p>Υπάρχουν ενδείξεις ανάπτυξης παρασιτικών πρωτόζωων στην επιφάνεια λαχανικών που αρδεύονται με υγρά απόβλητα, αλλά δεν υπάρχουν σαφείς αποδείξεις μετάδοσης ασθενειών</p>
Καλλιεργητές και οικογένειές τους	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Σημαντικοί κίνδυνοι μόλυνσης ενηλίκων και ανηλίκων από <i>Ascaris</i>, όταν χρησιμοποιούνται ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα. Ο κίνδυνος παραμένει για τα παιδιά, ακόμη και όταν τα υγρά απόβλητα έχουν υποστεί επεξεργασία, τέτοια ώστε οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί να μην ξεπερνούν το 1αυγό/L.</li> <li>✦ Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος μόλυνσης των</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Αύξηση της πιθανότητας εκδήλωσης διάρροιας σε μικρά παιδιά που έρχονται σε επαφή με υγρά απόβλητα, όταν ο αριθμός των περιττωματικών κολοβακτηρίδιων (FC) υπερβαίνει τα 10<sup>4</sup> ανά 100ml.</li> <li>✦ Αυξημένος κίνδυνος μόλυνσης παιδιών με σαλμονέλλα, όταν υπάρχει έκθεση σε ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα.</li> <li>✦ Αυξημένη οροθετική απόκριση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Χαμηλή επικινδυνότητα αναφορικά με τη μόλυνση από <i>Giardia intestinalis</i>, σε περίπτωση επαφής με ανεπεξέργαστα και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.</li> <li>✦ Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος από <i>Amoebiasis</i>, όταν υπάρχει επαφή με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα.</li> </ul>

	αγροτών από εντερικά παράσιτα.	των ενηλίκων σε νοροϊό, όταν υπάρχει έκθεση σε μερικώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.	
Κοιότητες που γειτνιάζουν	Δεν έχει μελετηθεί η μετάδοση των <i>Ascaris</i> για το ράντισμα. Ο κίνδυνος παραμένει υψηλός, όπως στις προαναφερθείσες ομάδες, για τις υπόλοιπες μεθόδους άρδευσης, όταν υπάρχει στενή επαφή.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Το ράντισμα με νερό κακής ποιότητας (<math>10^5</math> έως <math>10^8</math> περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) ανά 100ml) και η υψηλή έκθεση σε αεροζόλ συνδέονται με αυξημένη επικινδυνότητα μόλυνσης.</li> <li>✚ Η χρήση μερικώς επεξεργασμένου νερού (<math>10^4</math> έως <math>10^5</math> περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) ανά 100ml και λιγότερων κατά το ράντισμα) δε συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο μόλυνσης.</li> </ul>	Δεν υπάρχουν δεδομένα που να αποδεικνύουν τη μετάδοση ασθενειών από πρωτόζωα κατά το ράντισμα με υγρά απόβλητα.

Στο πλαίσιο του έργου «Montebello Forebay», το οποίο έχει περιγραφεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, για τον Τ.Ε. των υπόγειων νερών συντάχθησαν 5 μελέτες οι οποίες συμπλήρωσαν το αρχικό εγχείρημα που ξεκίνησε το 1962. Αυτές ήταν:

- ✚ **Pomona Virus Study, 1977.**
- ✚ **Health Effects Study, 1984.**
- ✚ **An Investigation of Soil Aquifer Treatment for Sustainable Water Reuse, 2006.**
- ✚ **Rand Study, 1996.**
- ✚ **Rand Study, 1999 [US-CA-Los Angeles County].**

Οι προαναφερθείσες μελέτες αφορούσαν στην μοντελοποίηση της ροής των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων μέσα στο υδροφόρο σύστημα, την παρακολούθηση των ιών, τοξικολογικά δεδομένα, καθώς και επιδημιολογικές έρευνες περιορισμένης κλίμακας. Τα πορίσματα των μελετών αυτών υπογράμμιζαν τη δυνατότητα των συστημάτων SAT να απομειώσουν την πλειονότητα των CECs σε διάφορα υδροφόρα συστήματα.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, στην επαρχία King County, έχουν διεξαχθεί επιτόπου δοκιμές, καθώς και μελέτη θερμοκηπίου από το Πανεπιστήμιο της Washington και τους αρμόδιους φορείς της επαρχίας με σκοπό να διερευνηθεί η πιθανότητα μεταφοράς παθογόνων μικροοργανισμών από το ανακτημένο νερό στα λαχανικά και πρόσληψης μετάλλων. Υπό το πρίσμα αυτής της προσπάθειας, συλλέχθηκαν δείγματα από το έδαφος, το νερό, τα πλυμμένα και άπλυτα βρώσιμα



μέρη των φυτών και αναλύθηκαν ως προς διάφορους βακτηριακούς δείκτες (λ.χ. ολικά κολοβακτηρίδια (TC), περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) και *Escherichia coli*) και ως προς την συγκέντρωση βαρέων μετάλλων. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων μετρήθηκαν τουλάχιστον δύο τάξεις μεγέθους χαμηλότερες από τις αντίστοιχες για το πόσιμο νερό της Οδηγίας της ΕΡΑ, ενώ οι βακτηριολογικές αναλύσεις ήταν είτε αρνητικές είτε τα αποτελέσματά τους ικανοποιούσαν το κριτήριο των 2CFU/100 ml.

### **5.5.2. Οι διαλυμένοι ανόργανοι ρύποι**

Σύμφωνα με το George (1985), το έδαφος δεν έχει τη δυνατότητα να εξουδετερώνει τη δράση των ανόργανων ρυπαντών, καθώς το νερό κινείται από τον πυθμένα των δεξαμενών κατάκλισης στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα κατά τη διάρκεια του Τ.Ε. (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας κ.α., 2004). Ωστόσο, αποτελέσματα πειραμάτων αποδεικνύουν ότι τα εδάφη μπορούν να συγκρατήσουν σημαντικές ποσότητες μετάλλων. Η ικανότητα του εδάφους να αντιδρά με τα μέταλλα ενισχύεται σε μεγαλύτερο βαθμό με φυσικές και χημικές μεθόδους και σε μικρότερο με βιολογικές.

### **5.5.3. Οι οργανικές ενώσεις**

Οι οργανικές ενώσεις εμφανίζονται ως οι πλέον επικίνδυνοι ρυπαντές, κατά τη διάρκεια εφαρμογών Τ.Ε. Επομένως οι οργανικές ενώσεις είναι αυτές οι οποίες καθορίζουν σε σημαντικό ποσοστό τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε προγράμματα Τ.Ε. (Διαμαντής και Πλιάκας, 2012 και 2013).

Η απομάκρυνση των περιεχόμενων στο ανακτημένο νερό οργανικών ουσιών επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της βιοαποικοδόμησης και της προσρόφησης. Όταν το οργανικό υλικό βιοαποικοδομείται, μετατρέπεται σε παράγωγα χαμηλής επικινδυνότητας. Τα τελικά προϊόντα της πλήρους βιοαποικοδόμησης υπό αερόβιες συνθήκες είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το νερό, ενώ υπό αναερόβιες το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το άζωτο (N), το θείο (S) και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Η διαδικασία λαμβάνει χώρα στην περιοχή που γειτνιάζει άμεσα με την περιοχή του Τ.Ε. και η ταχύτητα με την οποία συντελείται επηρεάζεται από την ύπαρξη δεκτών ηλεκτρονίων στο έδαφος (διαλυμένο οξυγόνο (DO), νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)), αλλά και από το είδος της οργανικής ένωσης.

Κάποιοι μηχανισμοί οι οποίοι επηρεάζουν επίσης τη συμπεριφορά των οργανικών ρύπων στο υπέδαφος είναι η ρόφηση, η ανταλλαγή ιόντων, η οξείδωση, η αναγωγή, η χημική κατακρήμνιση και η διάλυση.

### **5.5.4. Το υπολειμματικό χλώριο (Cl)**

Το υπολειμματικό χλώριο (Cl) συνδέεται με την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης και την ανάπτυξη και συγκέντρωση πληθυσμών μικροοργανισμών στους αγωγούς μεταφοράς των επεξεργασμένων εκροών των ΕΕΛ. Η δράση του υπολειμματικού χλωρίου (Cl) είναι τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς και για το λόγο αυτό το στοιχείο πρέπει να απομακρύνεται πριν τη διάθεση των αποβλήτων σε υδάτινα οικοσυστήματα. Επίσης, το υπολειμματικό χλώριο (Cl) μπορεί να

αντιδράσει με οργανικές ενώσεις και να παραχθούν τοξικά οργανικά προϊόντα. Στην περίπτωση που τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αξιοποιούνται ως αρδευτικό νερό, η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου (Cl) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1mg/L, διότι υψηλότερες τιμές είναι επιζήμιες για διάφορες καλλιέργειες. Ωστόσο, συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου (Cl) κοντά στην τιμή των 0,5mg/L (ή ελαφρώς υψηλότερη) είναι αποδεκτή στα δίκτυα μεταφοράς των υγρών αποβλήτων, διότι παρεμποδίζεται η δημιουργία δυσσομίας και ανάπτυξης μικροοργανισμών.

### **5.5.5. Η αλατότητα**

Η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο ανακτημένο νερό συσχετίζεται με την αντίστοιχη συγκέντρωσή τους στο φυσικό νερό. Ωστόσο, η συγκέντρωσή τους επηρεάζεται σημαντικά από την οικιακή χρήση με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αυξημένες τιμές από 150 έως 500 mg/L στις εκροές υγρών αποβλήτων. Όταν χρησιμοποιούνται ανακτημένα υγρά απόβλητα στην άρδευση, τα αυξημένα επίπεδα των διαλυτών αλάτων συχνά έχουν αρνητική επίπτωση στις αρδευόμενες καλλιέργειες.

Το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια έχει δημοσιεύσει διάφορες οδηγίες ταξινόμησης και χρήσης του αρδευτικού νερού βάσει της ποιότητάς του. Οι οδηγίες αυτές αξιοποιούνται παγκοσμίως για την κατάταξη του αρδευτικού νερού διαφόρων πηγών και συνεπώς τυγχάνουν αποδοχής και στην περίπτωση άρδευσης με υγρά απόβλητα. Στις οδηγίες αυτές, διερευνάται η επίδραση διάφορων ποιοτικών παραμέτρων στις καλλιέργειες, τις ιδιότητες του εδάφους και σε διαχειριστικά ζητήματα των εκμεταλλεύσεων για σημαντικούς χρονικούς ορίζοντες της ανάλυσης.

Όσον αφορά στην αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων από τη συσσώρευση διαλυμένων αλάτων στις καλλιέργειες, επισημαίνεται ότι θα πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλες γεωργικές πρακτικές (λ.χ. ανθεκτικές καλλιέργειες όσον αφορά στην αλατότητα) και να επιλέγονται κατάλληλες αρδευτικές μέθοδοι.

### **5.5.6. Οι οικονομοτεχνικές απαιτήσεις**

Η ταχεία διάδοση των εφαρμογών του Τ.Ε. (ιδιαίτερα μετά το 1950) και η ανάπτυξη των πολυάριθμων τεχνικών με τις οποίες αυτός επιτυγχάνεται συνέβαλαν στην ύπαρξη εκτεταμένης έρευνας και βιβλιογραφίας σχετικά με το κόστος και διάφορες άλλες τεχνικές απαιτήσεις, που υπεισέρχονται στη χρήση των υπόγειων νερών (Burt, 1970, Cummings, 1970, 1971 και 1974, Brown και Deacon, 1972(Διαμαντής και Πλιάκας, 2012 και 2013). Μολονότι οι περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές σχετίζονται με εξειδικευμένα προβλήματα των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, λ.χ. την υφαλμύριση, όταν αυτά βρίσκονται κοντά σε παράκτιες περιοχές, διακρίνονται ορισμένες κοινές αρχές στην οικονομική αποτίμηση των εφαρμογών επαναφόρτισής τους. Σύμφωνα με το Vaux (1985), η βέλτιστη διαχείριση των υπόγειων νερών επιτυγχάνεται, όταν η άντλησή τους γίνεται με κατάλληλο ρυθμό, ώστε τα καθαρά οφέλη από τη χρήση τους να αυξάνονται συναρτησί του χρόνου, δηλαδή η διαφορά συνολικά οφέλη μείον συνολικό κόστος να έχει θετικό πρόσημο.

Το συνολικό κόστος μιας εφαρμογής Τ.Ε. συντίθεται από το κόστος αγοράς ή χρήσης της απαιτούμενης έκτασης γης, το κόστος κατασκευής βοηθητικών έργων, το κόστος απόληψης της ζητούμενης ποσότητας νερού και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης όλων των εγκαταστάσεων. Το λειτουργικό κόστος της εφαρμογής επηρεάζεται από την αξία της γης, την αξία και το κόστος επεξεργασίας του νερού Τ.Ε. και το κόστος των διάφορων σχετικών τεχνικών κατασκευών, λ.χ. των εργασιών εκτροπής. Κατά συνέπεια, το συνολικό κόστος διαφοροποιείται, σύμφωνα με (United Nations Department of Economics and Social Affairs, 1975):

✦ **Την ανάγκη που εξυπηρετεί η εφαρμογή:** Για παράδειγμα, ποιες θα είναι οι επιπτώσεις του έργου στις συμφωνίες μεταξύ των εμπλεκόμενων Δήμων ή Κοινοτήτων, που αφορούν στη διάθεση του νερού και τον έλεγχο πιθανών πλημμυρών; Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις στις χρήσεις γης, τον πληθυσμό και την τοπική οικονομία των περιοχών Τ.Ε.;

✦ **Την τεχνική Τ.Ε., που επιλέγεται ως η πλέον κατάλληλη ανά περίπτωση.**

✦ **Την ποσότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού Τ.Ε..**

✦ **Το καθεστώς ροής του νερού.**

✦ **Το είδος του επιφανειακού εδάφους και του υπεδάφους.**

✦ **Τις συνθήκες του φυσικού περιβάλλοντος (λ.χ. γεωλογία, υδρογεωλογία, κλίμα, ανάγλυφο, χρήσεις γης) της περιοχής, όπου λαμβάνει χώρα η εφαρμογή.**

✦ **Τις δυνατότητες και τις απαιτήσεις των εμπλεκόμενων φορέων στη διαδικασία υλοποίησης της εφαρμογής.**

Η εξάρτηση των εφαρμογών του Τ.Ε. από το κλίμα, την υδρολογία, τη γεωλογία κ.τ.λ. της περιοχής εφαρμογής του καθιστά επιτακτική την ανάγκη σε περιοχές όπου δεν έχει προϋπάρξει, για παράδειγμα ένα σύστημα SAT, να εγκατασταθεί μια πιλοτική ή πειραματική μονάδα πριν από την εφαρμογή συστήματος ευρείας κλίμακας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα αξιολογηθεί η απόδοση του Τ.Ε. και θα σχεδιαστεί το σύστημα SAT για βέλτιστη λειτουργία. Το γεγονός αυτό αυξάνει κατά πολύ το κόστος του έργου.

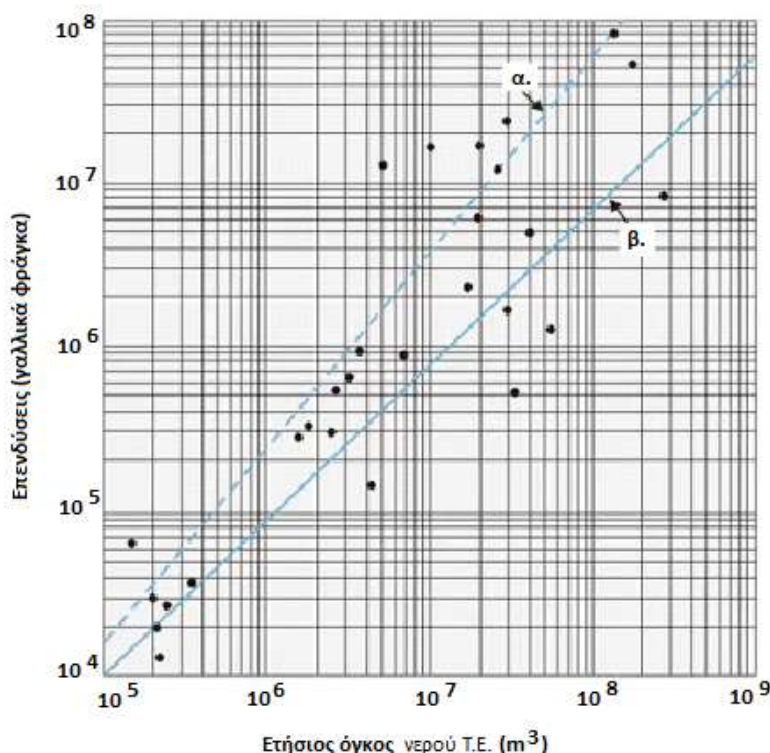
Οι διάφορες μέθοδοι Τ.Ε. παρουσιάζουν διαφορετικά κόστη εφαρμογής. Όταν χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ως νερό Τ.Ε., το κόστος παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση, διότι εξαρτάται από την απαιτούμενη ποιότητα των αποβλήτων και το κόστος μεταφοράς τους από την ΕΕΛ στην περιοχή εφαρμογής του Τ.Ε. (Asano, 1985, Vauk, 1985). Πιο συγκεκριμένα, εάν απαιτείται απλή δευτεροβάθμια επεξεργασία, το κόστος είναι χαμηλό, ενώ εάν ο Τ.Ε. γίνεται μέσω πηγαδιών Τ.Ε., όπου τα απόβλητα πρέπει να έχουν υποστεί προηγμένη επεξεργασία, το κόστος αυξάνεται. Το κόστος του Τ.Ε. με λεκάνες κατάκλισης εξαρτάται από το πόσο μεγαλύτερη ταχύτητα διήθησης επιτυγχάνεται, όταν το νερό διατίθεται στην μικρότερη δυνατή επιφάνεια εδάφους. Η μέθοδος της επιφανειακής φόρτισης και διήθησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους έχει χαμηλότερο κόστος σε σχέση με την απευθείας απόληψη νερού από μια πηγή τροφοδοσίας, όπως ένα ποτάμι (Karanth, 1987). Συνήθως, η επιφανειακή φόρτιση έχει χαμηλότερο κόστος και από τη χρήση γεωτρήσεων Τ.Ε. (Bouwer, 1989). Το κόστος της μεθόδου των γεωτρήσεων έγχυσης αποτελείται από την κατηγορία των έργων τροφοδοσίας του νερού, τον τύπο των πηγαδιών, που θα χρησιμοποιηθούν, το είδος του εξοπλισμού και τη λειτουργία και συντήρηση του έργου. Οι αντίστοιχες οικονομικές απαιτήσεις στη μέθοδο των λεκανών Τ.Ε. εκτιμώνται με συνυπολογισμό του κόστους εκτροπής του νερού από γειτονικά επιφανειακά υδατορεύματα, τη

μεταφορά, ποσότητα και ρύθμιση της ροής του νερού Τ.Ε. στην ευρύτερη περιοχή της εφαρμογής και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του έργου.

Σε γενικές γραμμές, το κόστος του νερού Τ.Ε. ανά  $1000\text{m}^3$  κυμαίνεται από 1 έως 3 δολάρια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Από την άλλη πλευρά, το ετήσιο κατά κεφαλήν κόστος οικιακής χρήσης εμπλουτισμένων υπόγειων νερών κυμαίνεται από 0,05 έως 0,15 δολάρια. Συνήθως, το κόστος της αρχικής επένδυσης μαζί με το λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων Τ.Ε. δεν υπερβαίνει το αντίστοιχο για παροχή πόσιμου νερού. Το Σχήμα 5.51 παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ του όγκου νερού Τ.Ε. ( $\text{m}^3$ ) με το κόστος της επένδυσης (γαλλικά φράγκα), ενώ ο Πίνακας 5.17 την οικονομική αποτίμηση διαφόρων μεθόδων Τ.Ε. Τέλος, ο Πίνακας 5.18 παρουσιάζει το ρυθμό πώλησης επεξεργασμένων μέσω εδαφικών συστημάτων εκροών σε διάφορες χρήσεις.

Στην Ευρώπη, οι εφαρμογές Τ.Ε. υποστηρίζονται από τις εθνικές οικονομίες με δύο κυρίως τρόπους (Connorton και McIntosh, 1995):

- Με άμεση οικονομική ενθάρρυνση (λ.χ. Δανία, Γαλλία).
- Με έμμεση υποστήριξη, μειώνοντας το κόστος χρέωσης για απόληψη νερού (λ.χ. Κάτω Χώρες, Αγγλία).



**Σχήμα 5.51:** Συσχέτιση του όγκου νερού Τ.Ε. και του κόστους της εφαρμογής: α. με προεπεξεργασία του νερού Τ.Ε., β. άνευ προεπεξεργασίας του νερού Τ.Ε. (Bize et al., 1972, Βουδούρης και Σμπόρας, 2012)

**Πίνακας 5.17:** Οικονομικά στοιχεία για τις εναλλακτικές μεθόδους Τ.Ε. (Sakthivadivel, 2007)

Τύπος κατασκευής για Τ.Ε.	Αρχικό κεφάλαιο σε δολάρια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής/1000m <sup>3</sup> της κατασκευής Τ.Ε.	Ετήσιο λειτουργικό κόστος/1000m <sup>3</sup>
Γεωτρήσεις έγχυσης σε αλλουβιακό υδροφόρο σύστημα	551	21
Γεωτρήσεις έγχυσης σε σκληρό βράχο	2	5
Spreading channel (αλλουβιακό υδροφόρο σύστημα)	8	20
Μέθοδος ορυγμάτων σε αλλουβιακό υδροφόρο σύστημα	515	2
Percolation pond (αλλουβιακό υδροφόρο σύστημα)	1	1
Percolation tank (σκληρός βράχος)	5	1
Φράγμα ελέγχου	1	1

**Πίνακας 5.18:** Ρυθμός διάθεσης των επεξεργασμένων εκρών εδαφικών συστημάτων σε διάφορες χρήσεις (EPA, 2012)

Χρήση	Υφιστάμενος ρυθμός πώλησης των επεξεργασμένων μέσω εδαφικού συστήματος εκρών (Euro cent/m <sup>3</sup> )	Προτεινόμενος ρυθμός πώλησης του γλυκού νερού άνευ διήθησης από δημόσια έργα που αφορούν στο νερό (Euro cent/m <sup>3</sup> )
Άρδευση καλλιεργειών	5	15
Απασχολούμενοι στον αγροτικό παραγωγικό τομέα	7	17
Για αθλήματα	15	34
Άρδευση ξενοδοχείων, περιοχών πρασίνου και κήπων	15	34
Άρδευση γηπέδων γκολφ	21	34
Άντληση υπόγειων νερών που έχουν τροφοδοτηθεί με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα	8	-
Σε περίπτωση υπερκατανάλωσης κατά τις εργασίες των προηγούμενων κατηγοριών	Αύξηση έως 50%	56
Για αστικές περιοχές (λ.χ. για πάρκα, περιοχές πρασίνου κ.α.), όταν υφίσταται ΕΕΛ εντός των ορίων τους και η	-	-

ποσότητα δεν υπερβαίνει την εγκριθείσα σε ποσοστό ανώτερο του 10%

### 5.5.7. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες

Η επιλογή της κατάλληλης θέσης για την εφαρμογή ενός συστήματος Τ.Ε. επηρεάζεται από διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως το κλίμα, την υδρογεωλογία, την τοπογραφία, τη λιθολογική δομή του εδάφους, τη διαθέσιμη ποσότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού Τ.Ε. κ.α. Οι προαναφερθέντες παράγοντες σε συνδυασμό με διαχειριστικά ζητήματα (έλεγχος και συντήρηση των συστημάτων Τ.Ε.), καθώς και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, που επικρατούν στην κάθε περίπτωση, καθορίζουν την αποτελεσματικότητα του Τ.Ε. Ο Πίνακας 5.19 συγκεντρώνει τους βασικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που σχετίζονται με την τεχνική αποτελεσματικότητα των εφαρμογών του Τ.Ε., κατατάσσοντάς τους χρησιμοποιώντας υδρογεωλογική ταξινόμηση. Ο Πίνακας 5.20 παρουσιάζει τα καταλληλότερα συστήματα Τ.Ε. αναλόγως τη λιθολογία και την τοπογραφία της περιοχής μελέτης.

**Πίνακας 5.19:** Η τεχνική αποτελεσματικότητα του Τ.Ε. σε σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους (British Geological Survey, 2002)

Παράμετρος	Αλλουβιακά υδροφόρα συστήματα	Αλλουβιακά στρώματα υπερκείμενα υδροφόρων συστημάτων μέσα σε σκληρούς, ρωγματωμένους σχηματισμούς	Ρωγματωμένοι, βραχώδεις σχηματισμοί με λεπτή εδαφική ζώνη αποσαθρωμένου υλικού	Συγκεκριμένα, ψαμμιτικά υδροφόρα συστήματα	Ανθρακικά υδροφόρα συστήματα
Εφαρμογές Τ.Ε. ανά τον κόσμο	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Terai, Nepal και ευρύτερη περιοχή Uttar, Pradesh, Ινδία</li> <li>✦ Phoenix, Arizona, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής</li> <li>✦ Atlantis, Β. Αφρική</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Alwar, Rajasthan, Ινδία</li> <li>✦ Meshana District, Gujarat, Ινδία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Saurashtra, Gujarat, Coimbatore, Tamil Nadu Andhra Pradesh, Ινδία</li> <li>✦ Karnataka, Ινδία</li> <li>✦ Maharashtra, Ινδία</li> </ul>	Loftsome Bridge, Yorkshire, Ηνωμένο Βασίλειο	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Lytchett Minster, Αγγλία</li> <li>✦ Ισραήλ</li> </ul>
Γενικά χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Ποτάμιες, θαλάσσιες και λιμναίες αποθέσεις κλιμακούμενες σε πάχος στρώσεων από μερικές δεκάδες m έως km</li> <li>✦ Αλληλουχία στρώσεων αργίλου, άμμου, χαλικιών και ασβεστούχων στρωμάτων</li> <li>✦ Χαμηλότερες απολήξεις ποταμών, που διαμορφώνουν πλημμυρικά πεδία αρκετά χαμηλής μορφολογίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Ποτάμιες και διλυβιακές αποθέσεις σε ανάντη τμήματα ποταμών</li> <li>✦ Αμμώδεις έως χονδρόκοκκες αποθέσεις, οι οποίες σχηματίζουν υδροφόρα συστήματα πάχους μερικών δεκάδων m</li> <li>✦ Τα υποκείμενα υδροφόρα συστήματα εμφανίζονται σε ρωγματωμένα, εκρηξιγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα συνήθως σε υδραυλική επικοινωνία με τους υπερκείμενους αλλουβιακούς σχηματισμούς</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Το υδροφόρο σύστημα βρίσκεται σε ρωγματωμένο υπόβαθρο, που αποτελείται από εκρηξιγενή, μεταμορφωμένα ή ηφαιστειακά πετρώματα</li> <li>✦ Η αποσαθρωμένη εδαφική ζώνη δεν είναι ικανή σε πάχος για να αποθηκεύσει νερό παρά μόνο λίγο και τοπικά</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Το εδαφικό υλικό των υδροφόρων συστημάτων αποτελείται από μείγμα κόκκων άμμου, που συγκρατούνται μεταξύ τους με κάποιο υλικό (λ.χ. πυρίτιο του ασβεστίου) ή έχουν σχηματιστεί μέσω μεταμορφωσιγενούς διαδικασίας</li> <li>✦ Υφίσταται ευρύ φάσμα των αναλογιών πορώδους-σπασίματος και δημιουργούνται υδραυλικές ιδιότητες</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Οι υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων συστημάτων ελέγχονται από τη διαλυτότητα του πετρώματος</li> <li>✦ Φαινόμενα έντονης διάλυσης μπορεί να δημιουργήσουν καρστική ροή</li> </ul>
Φρεάτιο ή αρτεσιανό	✦ Εάν υπάρχει	Τα χονδρόκοκκα	Φρεάτια υδροφόρα	Όταν δεν υπάρχει	Όταν δεν υπάρχει

## Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

υδροφόρο σύστημα	περατή στρώση στην επιφάνεια, το υδροφόρο σύστημα είναι φρεάτιο <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Το αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βάθος</li> <li>✦ Υδροφα συστήματα σε υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους και στρωματωμένα</li> </ul>	αλλούβια δημιουργούν φρεατικές συνθήκες με το βραχώδες υδροφόρο σύστημα σε υδραυλική επικοινωνία	συστήματα σε σκληρά πετρώματα με εξάρτηση από την αλληλοσύνδεση των ασυνεχειών	αργλική στρώση ή αλλουβιακή επικάλυψη, το υδροφόρο σύστημα είναι φρεάτιο	αργλική στρώση ή αλλουβιακή επικάλυψη, το υδροφόρο σύστημα είναι φρεάτιο
Πορώδες/αποθηκευτική ικανότητα	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Υψηλό πορώδες</li> <li>✦ Περιορισμένη αποθήκευση σε στρώσεις άμμου και χονδρόκοκκων υλικών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Υψηλό πορώδες</li> <li>✦ Αποθήκευση σε αλλούβια, που περιορίζεται από το πάχος των υλικών</li> <li>✦ Χαμηλή αποθηκευτικότητα στις ασυνέχειες των σκληρών πετρωμάτων, αλλά η αποστράγγιση των αλλουβίων μπορεί να τις διατηρήσει ικανοποιητικές</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Χαμηλή αποθήκευση στις ασυνέχειες</li> <li>✦ Εάν εξαντληθεί η αποθήκευση λόγω υπεράντλησης, τότε μπορεί να δημιουργηθεί επιπλέον αποθήκευση, που να πληρώσει το υδροφόρο σύστημα, σε επόμενη περίοδο</li> </ul>	Το πορώδες, ο βαθμός συνεκτικότητας και η ρωγμάτωση καθορίζουν την αποθηκευτικότητα στο εδαφικό υλικό των υδροφόρων συστημάτων	Το πορώδες, ο βαθμός συνεκτικότητας και η διάλυση καθορίζουν την αποθηκευτικότητα στο εδαφικό υλικό των υδροφόρων συστημάτων
Διαπερατότητα/ μεταβιβαστικότητα	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Ροή σε χονδρόκοκκες στρώσεις</li> <li>✦ Η αλληλοσύνδεση και η σύνδεση με τη ζώνη Τ.Ε. καθορίζει την πορεία της ροής</li> <li>✦ Χαμηλές υδραυλικές κλίσεις οδηγούν σε αργή ροή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Η ροή στα αλλούβια αποστραγγίζεται γρήγορα προς τα ρεύματα και εξαντλεί τα αποθέματα</li> <li>✦ Χαμηλή διαπερατότητα ρωγμών με εξαίρεση τα σημεία των μεγάλων ασυνεχειών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Η ροή στις γεωτρήσεις των σκληρών πετρωμάτων συντελείται μέσω των ασυνεχειών</li> <li>✦ Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των ασυνεχειών, τόσο γρηγορότερα γίνεται η επαναπλήρωση των γεωτρήσεων και τόσο αυξάνει η απόδοση</li> </ul>	Το πορώδες, ο βαθμός συνεκτικότητας και η ρωγμάτωση καθορίζουν τη διαπερατότητα και την αποθήκευση	Το πορώδες, ο βαθμός συνεκτικότητας, η ρωγμάτωση και η διάλυση καθορίζουν τη διαπερατότητα και την αποθήκευση
Διακύμανση της στάθμης των υπόγειων νερών	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Μικρή διακύμανση (μερικά m) λόγω της υψηλής αποθήκευσης</li> <li>✦ Εάν η στάθμη είναι κοντά στην εδαφική επιφάνεια, υπάρχει περιορισμένο περιθώριο Τ.Ε.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Εάν η υπόγεια στάθμη είναι στο υδροφόρο σύστημα του σκληρού πετρώματος, τότε αυτή θα αποκριθεί γρήγορα στην άντληση και τον Τ.Ε., αλλά σε περιορισμένη ακτίνα λόγω της χαμηλής διαπερατότητας</li> <li>✦ Όταν η υπόγεια στάθμη είναι στα αλλούβια, τότε ισχύει ό,τι και για τα αλλουβιακά υδροφόρα συστήματα</li> </ul>	Η υπόγεια στάθμη αυξάνει και μειώνεται γρήγορα στον Τ.Ε. και την άντληση αντιστοίχως	Το υψηλό πορώδες προκαλεί ήπιες διακυμάνσεις στην άντληση και τον Τ.Ε.	Όταν το πορώδες αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από ασυνέχειες, επέρχονται γρήγορες μεταβολές στην υπόγεια στάθμη
Διηθητικότητα	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Εάν η επιφανειακή στρώση είναι αμμώδης, δημιουργεί υψηλή διηθητικότητα</li> <li>✦ Εάν η επιφανειακή στρώση έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο, δημιουργείται χαμηλή διηθητικότητα</li> <li>✦ Η πλήρωση της ζώνης Τ.Ε. απαιτεί χονδρόκοκκα υλικά</li> <li>✦ Η άργιλος ή άλλη στρώση χαμηλής διαπερατότητας σε μικρό βάθος περιορίζουν τον Τ.Ε.</li> </ul>	Οι αμμώδεις, αλλουβιακοί σχηματισμοί έχουν ικανοποιητική διηθητικότητα και αποθηκεύουν νερό, ώστε να ευνοείται η διήθηση προς το υποκείμενο, ρωγματωμένο πέτρωμα	Ο αριθμός των ανοιχτών διακλάσεων περιορίζει τη διήθηση και αυξάνει την απορροή	Όταν δεν υπάρχει επικάλυψη και το εδαφικό υλικό αποτελείται από ψαμμίτη, η διηθητικότητα είναι πολύ υψηλή	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Όταν δεν υπάρχει επικάλυψη, η διηθητικότητα είναι πολύ υψηλή</li> <li>✦ Λεπτή ανάπτυξη εδάφους</li> <li>✦ Ελάχιστη απορροή</li> </ul>

Ζητήματα ποιότητας των υπόγειων νερών	<ul style="list-style-type: none"> <li>Οι ζώνες ενεργούς ροής έχουν πολύ καλή ποιότητα</li> <li>Η ποιότητα υποβαθμίζεται, όταν η ροή είναι αργή ή λόγω υφαλμύρισης</li> <li>Όταν τα φυσικά υπόγεια νερά κινούνται αργά, οι περιεκτικότητες σε διάφορα στοιχεία πιθανόν να υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια και συνίσταται Τ.Ε., ώστε να βελτιωθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μέσω διαδικασιών αραίωσης ή απομάκρυνσης</li> <li>Η διαπερατότητα των επιφανειακών στρωμάτων επηρεάζει την επικινδυνότητα για ρύπανση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Οι ζώνες ενεργούς ροής έχουν πολύ καλή ποιότητα</li> <li>Τα διαπερατά αλλοβια είναι ευάλωτα σε ρύπανση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Οι ζώνες ενεργούς ροής έχουν πολύ καλή ποιότητα, αλλά ευάλωτη σε ραγδαία ρύπανση από τη ροή διαμέσου ρωγμών</li> <li>Η λεπτή εδαφική επικάλυψη περιορίζει την προστασία του νερού</li> </ul>	Όταν υπάρχει έντονος Τ.Ε., η ποιότητα είναι πολύ καλή, αλλά ευάλωτη σε μόλυνση ειδικά εκεί όπου υπάρχει πολύ λεπτή εδαφική επικάλυψη	Όταν υπάρχει έντονος Τ.Ε., η ποιότητα είναι πολύ καλή, αλλά ευάλωτη σε μόλυνση
Ένταση βροχόπτωσης	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εάν το έδαφος είναι κορεσμένο ή ξεπεραστεί ο ρυθμός διήθησης, εμφανίζεται επιφανειακή ροή</li> <li>Εκτεταμένη πλημμύρα σε πεδία πλημμυρικών αποθέσεων</li> </ul>	Η έντονη βροχόπτωση μπορεί να προκαλέσει ραγδαία απορροή, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε διάβρωση των αλλοβιακών και εδαφικών σχηματισμών	Η έντονη βροχόπτωση μπορεί να προκαλέσει ραγδαία απορροή που με τη σειρά της οδηγεί σε διάβρωση του εδάφους	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εάν η διηθητικότητα είναι υψηλή, ο Τ.Ε. είναι υψηλός</li> <li>Τα ακραία φαινόμενα μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση του εδάφους και να προσδώσουν νερό Τ.Ε.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Όλες οι διεργασίες (εκτός των ακραίων φαινομένων) μπορεί να προκαλέσουν διήθηση</li> <li>Τα λεπτά εδαφικά στρώματα διαβρώνονται εύκολα</li> </ul>
Εξατμισοδιαπνοή	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η βροχόπτωση και η εξάτμιση μεταβάλλονται στο χώρο και το χρόνο</li> <li>Οι μέσες τιμές της βροχόπτωσης πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα, εφόσον η μεταβλητότητα είναι σημαντική</li> </ul>				

**Πίνακας 5.20:** Η καταλληλότητα των εναλλακτικών συστημάτων Τ.Ε. σε σχέση με τη λιθολογία και την τοπογραφία (Sakthivadivel, 2007)

Λιθολογία	Τοπογραφία	Είδος κατασκευής Τ.Ε.
Αλλοβιακός σχηματισμός ή σκληρός βράχος	Πεδινή ή ήπιας κλίσης περιοχή	Δεξαμενή διήθησης ή σύστημα καναλιών, υπόγειο ανάχωμα, μικρή δεξαμενή άρδευσης, φράγμα ελέγχου
Σκληρός βράχος σε βάθος μικρότερο των 40m	Πλαγιά κοιλάδας	Προστατευτικό ανάχωμα
Σκληρός βράχος	Οροπέδιο ή πρόποδες λόφου	Λίμνη Τ.Ε.
Αλλοβιακός σχηματισμός ή σκληρός βράχος με αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα σε βάθος 40m	Πεδινή ή ήπιας κλίσης περιοχή σε πλημμυρικό πεδίο	Γεωτρήσεις έγχυσης
Σκληρός βράχος ή πρόσχωση	Δασικές εκτάσεις	Υπόγειο ανάχωμα



### **5.5.8. Οι κοινωνικές συνθήκες**

Κάθε εφαρμογή Τ.Ε. πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τα κοινωνικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού, τον οποίο θα εξυπηρετεί, και τα κίνητρα που υφίστανται εντός αυτού για κάθε είδους διαχείριση. Οι κοινωνικές παράμετροι, που γενικά λαμβάνονται υπόψη σε εργασίες Τ.Ε. σε ξηρές περιοχές, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

✦ **Σταθερή κοινωνία:** Η κατάρτιση ενός διαχειριστικού πλαισίου προϋποθέτει την ύπαρξη μιας κοινότητας με σταθερές διοικητικές δομές, της οποίας τα μέλη έχουν ισχυρά κίνητρα για την επιδίωξη ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Σε κάθε περίπτωση, τα κίνητρα αποτελούν θεμέλιο της ποιότητας ζωής και στηρίζουν τα οικονομικά συστήματα. Ωστόσο, η θεώρηση της σταθερής κοινωνίας, επισκιάζεται από τη δημογραφική και την οικονομική μεταβολή, καθώς και την οικονομική παγκοσμιοποίηση.

✦ **Απτά οφέλη για τους επενδυτές σε έργα Τ.Ε.:** Συνήθως, τα οφέλη από τον Τ.Ε. καρπώνονται μακροπρόθεσμα οι διαχειριστές των υδροφόρων συστημάτων. Αντιθέτως, οι μικρότερες κοινωνικές ομάδες, που συνεισφέρουν στην πραγματοποίηση έργων Τ.Ε., δεν έχουν άμεσα οφέλη. Για παράδειγμα, η αύξηση της στάθμης του υδροφόρου συστήματος θα μειώσει μεν το κόστος άντλησης των υπόγειων νερών, δεν θα μεταβάλλει δε την οικονομική κατάσταση των απασχολούμενων στον αγροτικό τομέα παραγωγής. Επιπροσθέτως, αρκετά οφέλη πιθανόν να είναι επουσιώδη για το υδροφόρο σύστημα, όπως η αύξηση της βασικής ροής κατάντη του φυσικού περιβάλλοντος της άγριας φύσης.

✦ **Ασυμφωνία κλιμάκων:** Το κέντρο διαχείρισης των συστημάτων Τ.Ε. είναι η κοινότητα, αλλά οι θετικές επιπτώσεις προκύπτουν σε διαφορετική κλίμακα, που αφορά στο υδροφόρο σύστημα ή την ευρύτερη περιοχή του Τ.Ε. Η κοινωνία ενός χωριού επίσης μπορεί να συστήσει μια ομάδα μικρότερης κλίμακας και να αναλάβει την κατασκευή συστημάτων τροφοδότησης ενός υδροφόρου συστήματος. Γενικά, ισχύει ο κανόνας ότι στα περιβάλλοντα χαμηλής διαπερατότητας δεν εμφανίζεται με ιδιαίτερη ένταση το φαινόμενο της ασυμφωνίας κλιμάκων, διότι ο Τ.Ε. επηρεάζει άμεσα την υπόγεια στάθμη και κατ'επέκταση τη διαθεσιμότητα νερού στις γεωτρήσεις, ενώ όταν η μεταβιβασιμότητα του υδροφόρου συστήματος είναι υψηλή, το νερό Τ.Ε. διαφεύγει πλευρικά, η υπόγεια στάθμη δεν μεταβάλλεται άμεσα και η ασυμφωνία κλιμάκων είναι περισσότερο αισθητή.

Οι ανωτέρω υποθέσεις μπορούν να παραλειφθούν, όταν ο Τ.Ε. λαμβάνει χώρα σε αγροτικές περιοχές για την αντιμετώπιση της αποδεδειγμένης υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων νερών. Στις αγροτικές κοινωνίες, όπου η κύρια απασχόληση είναι η γεωργία, η δομή είναι σταθερή και αναπτύσσονται ισχυρά κίνητρα για κατασκευή συστημάτων Τ.Ε. Οι αστικές κοινωνίες έχουν επίσης σταθερές διοικητικές δομές όμως οι ανάγκες, η διαχείριση και οι στόχοι της διαχείρισης διαφοροποιούνται σε σχέση με αυτή των αγροτικών περιοχών. Συνήθως, οι εταιρείες και οι δημοτικές αρχές υπερισχύουν έναντι των αγροτών, η αξιοποίηση των υδατικών πόρων δεν στοχεύει αποκλειστικά στην παροχή νερού, αλλά και στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού ή τον έλεγχο των καθιζήσεων και το θεσμικό πλαίσιο της διαχείρισης χρειάζεται περαιτέρω ανάπτυξη. Επιπλέον, η επιρροή μιας αστικής περιοχής, η οποία παρουσιάζεται άμεσα όσον αφορά στην παροχή νερού ή σχετίζεται έμμεσα με οικονομικά κίνητρα και ευκαιρίες

απασχόλησης, εξαπλώνεται σε εκατοντάδες km και σε περιοχές με φυσιολογική αγροτικών. Σε περιοχές όπου οι κοινωνικές διεργασίες τείνουν να μεταβάλλουν τον τρόπο ζωής σε περισσότερο αστικό χρειάζονται θεσμικοί κανόνες άλλου είδους. Οι περιοριστικοί παράγοντες για τη διαχείριση σε τέτοιου είδους περιοχές περιλαμβάνουν:

- ✦ **Τη δημιουργία απολαβών σε σύντομο χρονικό διάστημα:** Οι θετικές επιπτώσεις του Τ.Ε. εμφανίζονται συνήθως σε μεγαλύτερη κλίμακα από την περιορισμένη χωρικά περιοχή όπου έχουν εγκατασταθεί τα συστήματα Τ.Ε. Η αποθηκευτικότητα πιθανόν να είναι υψηλή, αλλά η μεταβολή της στάθμης των υπόγειων νερών να μην γίνεται αισθητή στους φορείς που πραγματοποιούν τον Τ.Ε. Τέλος, η κοινωνία μπορεί να επιθυμεί τη στήριξη μιας τέτοιας επένδυσης, μολονότι οι ωφέλειες θα προκύψουν σε μεγάλες χρονικές περιόδους και σταδιακά.

- ✦ **Τη σύνδεση των οφελών με την κοινωνική ομάδα που επενδύει στον Τ.Ε.:** Σε πολλές περιπτώσεις, τα υδροφόρα συστήματα είναι διαχειρίσιμα από πολλές διαφορετικές κοινότητες. Με τον τρόπο αυτό, οι επιπτώσεις των εργασιών Τ.Ε. προκύπτουν για πολλούς περισσότερους χρήστες από τα άτομα που εγκαθιστούν τα συστήματα Τ.Ε. Μέσω διαβούλευσης πρέπει να αξιοποιηθούν τα κίνητρα και τα οφέλη, που θα παραχθούν από την τοπική συμμετοχή, ώστε να προκαλέσουν τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων κοινοτήτων. Για παράδειγμα, στην Tossa de Mar (Costa Brava) της Ισπανίας, το σύστημα επαναχρησιμοποίησης κατανέμει το ανακτημένο νερό σε διάφορες χρήσεις, όπως άρδευση τοπίου, πυρόσβεση και συντήρηση καταφύγιων σκύλων, και περιλαμβάνει μια εκτεταμένη αξιολόγηση του συνολικού κινδύνου για τη δημόσια υγεία και σύστημα συνεχούς ελέγχου. Η υψηλή ποιότητα του αναγεννημένου νερού σε συνδυασμό με τις συστηματικές μελέτες που ακολούθησαν (μελέτες παρακολούθησης) και τα εκπαιδευτικά προγράμματα που υλοποιήθηκαν συνεισέφεραν στην εμπέδωση ενός ιδιαίτερως θετικού δημόσιου αντίκτυπου.

- ✦ **Οικονομικές παράμετροι:** Τα συστήματα του Τ.Ε. δεν επιφέρουν οικονομικά οφέλη για τους επενδυτές στην εφαρμογή τους. Για παράδειγμα, η άνοδος της υπόγειας στάθμης θα μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση για σκοπούς άντλησης, όμως οι γεωργοί δεν επιβαρύνονται οικονομικά για την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν. Εάν η ενέργεια χρεωνόταν, θα επέκτεινε και τις εφαρμογές Τ.Ε.

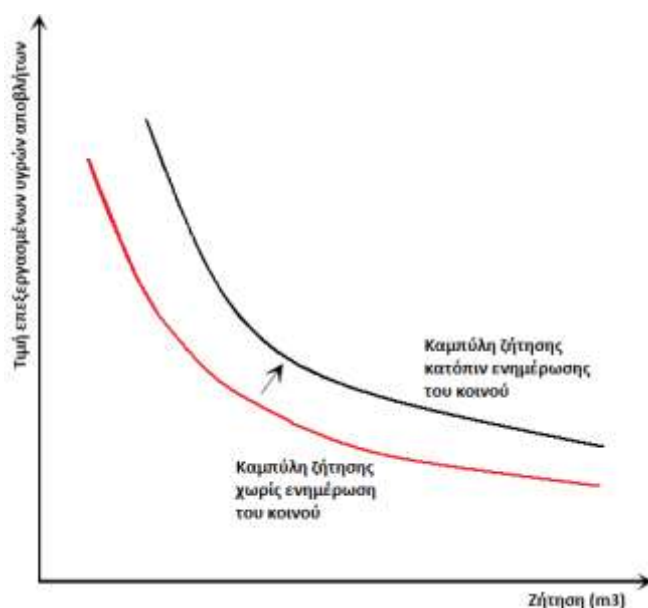
- ✦ **Σχέδια ιδιοκτησίας γης και νερού:** Συχνά, οι μικρές, διάσπαρτες ιδιοκτησίες περιορίζουν τη διαθεσιμότητα ικανής, ιδιωτικής έκτασης για εγκατάσταση ενός συστήματος Τ.Ε. Συνήθως, επιδιώκεται η εξασφάλιση ιδιωτικής έκτασης, διότι η δημόσια ιδιοκτησία πιθανόν να ελέγχεται από πολλές περιοχές και η χορήγηση άδειας για εργασίες Τ.Ε. σε αυτή να καθίσταται περισσότερο πολύπλοκη.

- ✦ **Κίνητρα:** Όταν η κοινότητα στοχεύει στην ανάδειξη ευκαιριών σε μη αγροτικές ή αστικές οικονομίες, δεν ενδιαφέρει η βιωσιμότητα των σχεδίων χρήσης των φυσικών πόρων, αλλά η αύξηση των οικονομικών απολαβών μέσω επενδύσεων στην ανάπτυξη μη αγροτικών δραστηριοτήτων.

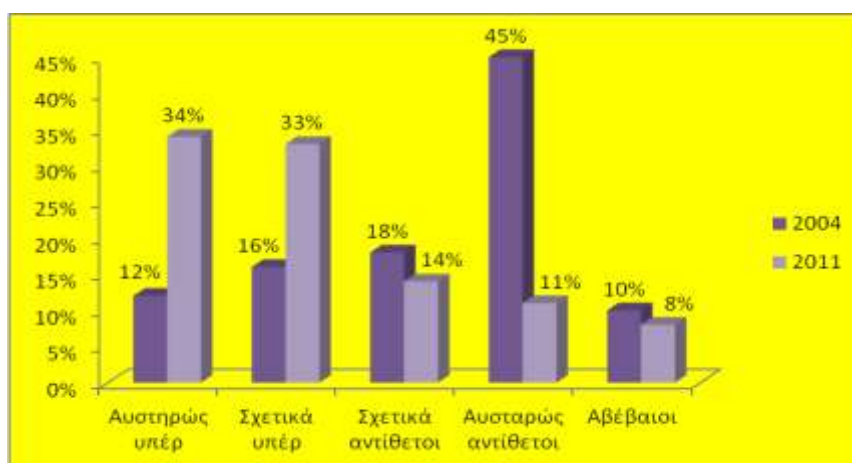
- ✦ **Έλεγχος των αντλήσεων:** Η παράμετρος αυτή αφορά στις περιπτώσεις όπου ο Τ.Ε. είναι τεχνοοικονομικά και κοινωνικά αποδεκτός, ωστόσο η αδυναμία ελέγχου των αντλήσεων για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς πιθανόν να επιδεινώσει το πρόβλημα της πτώσης της υπόγειας στάθμης παρά να το επιλύσει.

Το Σχήμα 5.52 παρουσιάζει διαγραμματικά το νόμο της προσφοράς και της ζήτησης πριν και κατόπιν ενημέρωσης (ή εκπαίδευσης) του κοινού σε σχέση με

ζητήματα διαχείρισης των υγρών αποβλήτων. Οι όποιες πολιτικές επιχορηγήσεων, κοστολόγησης και ενημέρωσης οφείλουν να στοχεύουν στη μετατόπιση της καμπύλης της ζήτησης προς τα δεξιά. Το Σχήμα 5.53 παρουσιάζει αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο San Diego το 2004 και το 2011 όσον αφορά στην προθυμία του κοινού να αντικαταστήσουν το πόσιμο νερό με νερό που ανακτάται από προηγμένη μονάδα επεξεργασίας. Από το σχήμα προκύπτει ότι με την πάροδο του χρόνου οι πολίτες είναι περισσότεροι δεκτικοί στη χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εξέλιξη των συστημάτων επεξεργασίας του νερού, τη διάθεση περισσότερων δεδομένων ποιότητας αναγεννημένου νερού μέσω εφαρμογών ανα τον κόσμο, τη περισσότερο ολοκληρωμένη ενημέρωση του κοινού για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού.



**Σχήμα 5.52:** Ο νόμος της προσφοράς και της ζήτησης αναφορικά με τα υγρά απόβλητα (Παρανουχιανάκης, 2009)



**Σχήμα 5.53:** Αποτελέσματα έρευνας στο San Diego το 2004 και το 2011 στην ερώτηση «Είστε πρόθυμοι να χρησιμοποιήσετε ανακτημένο νερό από προηγμένο σύστημα επεξεργασίας στη θέση του πόσιμου γλυκού νερού;» (EPA, 2012)

### **5.5.9. Το θεσμικό πλαίσιο**

Η ευθύνη για την πραγματοποίηση δραστηριοτήτων σχετικών με τη διαχείριση του περιβάλλοντος, όπως είναι η εφαρμογή συστημάτων Τ.Ε., ανήκει βάσει της νομοθεσίας στην πολιτεία, την τοπική αυτοδιοίκηση, σε αναπτυξιακές εταιρείες ή ακόμη και σε ιδιώτες. Τα τελευταία χρόνια, επιδιώκεται η προώθηση της αποκεντρωμένης διαχείρισης των φυσικών πόρων, καθώς και η λήψη αποφάσεων με συμμετοχικές διαδικασίες από τη βάση προς την κορυφή (bottom-up) (Carney και Farrington, 1998). Τα επίπεδα συμμετοχής με διαφάνεια περιλαμβάνουν την ενημέρωση, τη διαβούλευση, την από κοινού διαμόρφωση και τη συλλογική απόφαση από τον τοπικό πληθυσμό της περιοχής όπου προτείνεται η επέμβαση, τους φορείς των ιδεών και των σχεδίων, τα σωματεία, τις ομάδες οικονομικών και κοινωνικών συμφερόντων και τους αντιπροσωπευτικούς δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς. Τα βασικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τη συμμετοχική διαδικασία από την κλασική προσέγγιση συνοψίζονται στα ακόλουθα στοιχεία (Fischler, 2001):

- ✦ **Συμμετοχή των δικαιούχων στην κατάρτιση των κριτηρίων.**
- ✦ **Θέσπιση διαφοροποιημένων κριτηρίων για τους υποψήφιους.**
- ✦ **Ελαστικά κριτήρια, που ενθαρρύνουν τον προβληματισμό.**
- ✦ **Ενθάρρυνση της δράσης.**
- ✦ **Απλουστευμένη διαδικασία παρουσίασης φακέλων.**
- ✦ **Συμμετοχή των πιθανών δικαιούχων στην επιλογή των σχεδίων.**

Η ανάπτυξη της αποκεντρωμένης διαχείρισης θα ανακουφίσει τους οικονομικά ασθενέστερους, οι οποίοι εξαρτώνται από κοινούς, μικρούς πόρους. Τέτοιου είδους βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν μέσω τριών διαφορετικών προσεγγίσεων (Farrington et al., 1999):

- ✦ **Παραδοσιακοί χρήστες, που έχουν δικαίωμα πρόσβασης αποκλειστικά:** Σε ορισμένες περιοχές, τοπικές κοινότητες ή ιδιώτες έχουν αποκτήσει δικαίωμα πρόσβασης στους φυσικούς πόρους βάσει εθίμων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η προσπάθεια να θεσμοθετηθεί ένα κοινό πλαίσιο διαχείρισης (παρά τη δυσκολία εφαρμογής και τους οικονομικούς περιορισμούς) έχει σημειώσει αξιοσημείωτη πρόοδο. Για τη συντήρηση ενός μόνιμου πλαισίου διαλόγου θα πρέπει να επιτρέπεται στους χρήστες η συμμετοχή στη λήψη των αποφάσεων και στην κατάρτιση των κανονισμών στα διάφορα στάδια της διαδικασίας. Η συμβατότητα των κανονισμών στη ζήτηση αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποδοχή τους από το κοινό.

- ✦ **Συνεργασία της δημόσιας διοίκησης με τις τοπικές κοινότητες και εταιρείες δημόσιου και ιδιωτικού τομέα:** Σε πολλές περιπτώσεις ο δημόσιος τομέας συστήνει συνεταιρισμούς με κοινότητες ή ομάδες χρηστών για τη διαχείριση κάποιων φυσικών πόρων στους τομείς της τεχνολογίας, της ανάδρασης, της χρηματοδότησης και της εξασφαλισμένης προόδου των δράσεων. Η συνήθης μορφή συμμετοχής των εταιρειών είναι μέσω των συμβάσεων. Η σύναψη σύμβασης για την ευθύνη της κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του έργου οφείλει να στηρίζεται στην αποδοτικότητα των επιχειρήσεων, την κοινωνική ανάπτυξη, την περιβαλλοντική προστασία, τον υγιή και διαφανή ανταγωνισμό στην επιλογή των αναδόχων και την εφαρμογή συστημάτων εποπτείας (μέτρησης και ελέγχου). Οι συνεταιρισμοί λόγω του γεγονότος ότι στηρίζονται σε αρχές και αξίες ταυτότητας

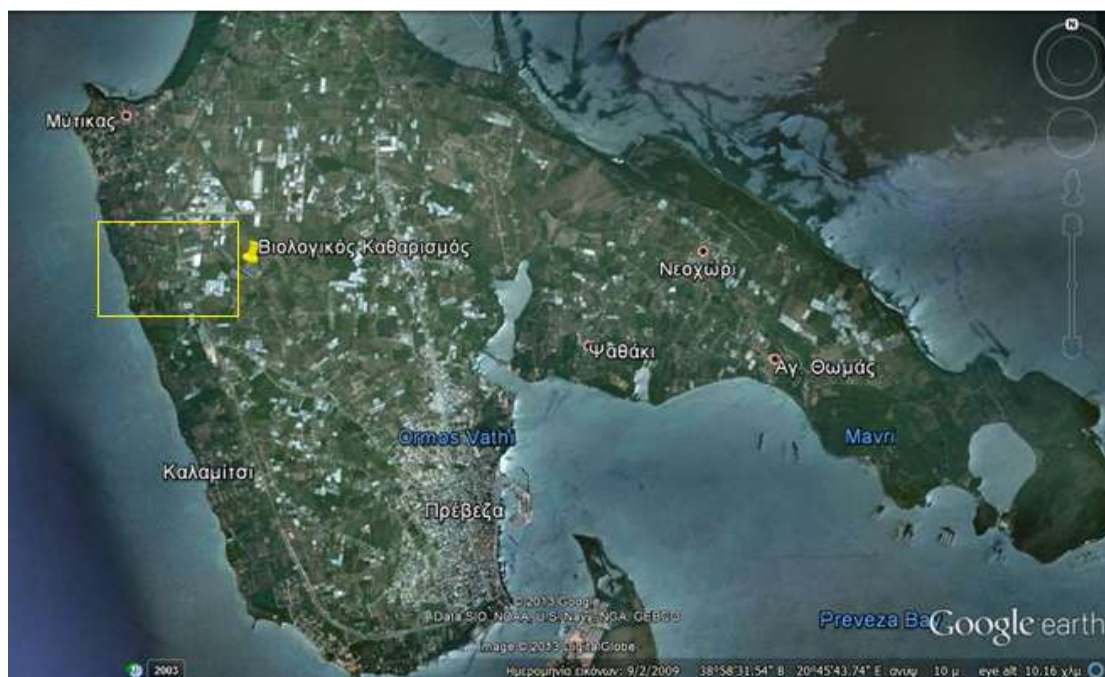
διαμορφώνουν ισότιμες και αλληλέγγυες εμπορικές σχέσεις, οι οποίες συμβάλλουν στην ισορροπία της αξίας των διατιθέμενων προϊόντων, μεγιστοποιούν το γενικό συμφέρον και καθιερώνουν περισσότερο βιώσιμους τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης (Pintó, 2012). Τα τελευταία χρόνια, στις ανεπτυγμένες χώρες, η ιδιωτική συμμετοχή σε έργα που αφορούν στο νερό και τα υγρά απόβλητα αυξάνει με ραγδαίο ρυθμό. Για παράδειγμα, το 1996, στη Γάζα, η Παγκόσμια Τράπεζα προώθησε συμβόλαια διαχείρισης των υδατικών πόρων, τα οποία βασίζονταν στην απόδοση και αύξησαν την προσφορά σε πόσιμο νερό και κατασκευή αποχετευτικών συστημάτων. Επιπροσθέτως, τέτοιου είδους συμβόλαια υπογράφηκαν το 1999 στο Αμάν και τη Χεβρόνα της Βηθλεέμ (<http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>).

✦ **Ανεξάρτητη τοπική αυτοδιοίκηση, αλλά σε συνεργασία με την κυβέρνηση:**

Η αποκέντρωση και η συμμετοχική θεώρηση συνδέονται στενά μεταξύ τους. Η συμμετοχική διαχείριση ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία όσοι έχουν νόμιμο ενδιαφέρον για ένα έργο μπορούν να εκφράσουν άποψη για αυτό, να απολαύσουν μέρος του οφέλους, που θα προκύψει από την υλοποίησή του, αλλά και να φέρουν μέρος της ευθύνης σε περίπτωση που απαιτηθεί αποκατάσταση (ODA, 1995). Συνήθως, η πολιτεία προτιμάται να αναλαμβάνει έναν ρόλο «μεσολαβητή» για να διευκολύνει τη διαχείριση, παρά να κατέχει έναν ηγετικό ρόλο. Για παράδειγμα, σε πολλές χώρες της Αφρικής, η τοπική αυτοδιοίκηση δρώντας ως μεσάζων και όχι ως χορηγός έχει αναλάβει την παροχή νερού, καθώς και την εξασφάλιση της υγιεινής. Η συμμετοχική αυτή διαδικασία στηρίχθηκε στη ζήτηση.

Παρά τα θετικά χαρακτηριστικά της συμμετοχικής προσέγγισης, υφίστανται και ορισμένες αρνητικές πτυχές, οι οποίες επισκιάζουν την έμπρακτη υιοθέτησή της: επιβραδύνεται η διαδικασία από τη συμμετοχή όλων των δικαιούχων, διαμορφώνονται λιγότερο ενδιαφέροντα σχέδια όσον αφορά στις βραχυπρόθεσμα οικονομικές επιπτώσεις λόγω των διαφοροποιημένων κριτηρίων, διακυβεύονται κεκτημένα ενδιαφέροντα και σχέσης ισχύος λόγω της διασποράς των χρηματοδοτήσεων σε πολλούς δικαιούχους και αμφισβητούνται νέοι τρόποι δράσης εξαιτίας της πιθανής έλλειψης διαφάνειας για τους μη δικαιούχους.





β.

**Σχήμα 6.1:** Η περιοχή ενδιαφέροντος: α. θέση σε σχέση με το Νομό Πρέβεζας, β. θέση σε σχέση με τη χερσόνησο της Πρέβεζας

Τα δεδομένα, που παρατίθενται και αξιοποιούνται για την επίτευξη του στόχου, προέρχονται από τη Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Ηπείρου, το ΙΓΜΕ, τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης-Αποχέτευσης της Πρέβεζας (ΔΕΥΑΠ) και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και περιλαμβάνουν:

- ✦ Τοπογραφικό χάρτη της Πρέβεζας.
- ✦ Γεωλογικό χάρτη της Πρέβεζας (Φύλλο Βόνιτσα).
- ✦ Χάρτη υδρογραφικού δικτύου της χερσονήσου.
- ✦ Χάρτη δικτύου γεωτρήσεων της ΒΙΠΕ.
- ✦ Πινακοποιημένες τις στάθμες του φρεατίου και του αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος στα σημεία των γεωτρήσεων.
- ✦ Πινακοποιημένα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών.
- ✦ Τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της εκροής του βιολογικού καθαρισμού.
- ✦ Πρωτογενή δεδομένα βροχόπτωσης από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου και τον βροχομετρικό σταθμό στη ΒΙΠΕ.

Ο Νομός Πρέβεζας καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Ηπείρου, ενώ το νοτιότερο τμήμα του, όπου βρίσκεται και η πόλη της Πρέβεζας, προεκτείνεται ως χερσόνησος ανάμεσα στο Ιόνιο Πέλαγος από τα δυτικά και τον Αμβρακικό Κόλπο από τα ανατολικά. Η χερσόνησος της Πρέβεζας καλύπτει έκταση 45km<sup>2</sup> και διακρίνεται από την Αιτωλοακαρνανία μέσω του διαύλου Πρέβεζας-Ακτίου.

Το ανάγλυφο του νομού συστήνεται από (Επίσημος δικτυακός τόπος Περιφερειακής Ενότητας Πρέβεζας-Περιφέρειας Ηπείρου):

- ✦ **Ασβεστολιθικές οροσειρές:** Οι οροσειρές είναι γενικά άγονες με μικρό κάλυμμα γης, παρουσιάζουν δυσκολία προσπέλασης και εκεί απαντώνται ποικίλα είδη ασβεστόλιθου.

✦ **Ζώνη φλύσχη με κατεύθυνση από βορρά προς νότο:** Στην έκταση αυτή υπάρχουν ποικιλίες από αμμόπετρα, άργιλο και συμπέτρωμα. Γενικά, η ζώνη είναι πλούσια σε νερό και κατάλληλη για ψηλή βλάστηση και βόσκηση.

✦ **Παραθαλάσσιες και μεσογειακές πεδιάδες:** Οι πεδιάδες αυτές διαμορφώνονται επάνω σε ασβεστόλιθο ή φλύσχη, είναι προσχωσιγενείς και εξαιρετικά εύφορες.

Ο Νομός Πρέβεζας διαθέτει πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο. Διασχίζεται από τους ποταμούς Λούρο και Αχέροντα, περιλαμβάνει τις λίμνες Ζηρού και φράγματος Λούρου, καθώς και βάλτους και λιμνοθάλασσες, που καταλαμβάνουν την έκταση από τον ποταμό Λούρο έως τον Αμβρακικό Κόλπο. Ο ποταμός Λούρος με μήκος 66km πηγάζει από την ανατολική πλευρά του Τόμαρου, συνεχίζει μεταξύ των Θεσπρωτικών Ορέων και του Ξεροβουνίου με κατεύθυνση προς το νότο, διαπερνά την πεδιάδα της Φιλιπιάδας, τροφοδοτείται από το υπόγειο υδροφόρο σύστημα, το οποίο διασχίζει (παρόχθιες πηγές ή αναβλύσεις στην κοίτη του), και από τις πηγές βάσης του συστήματος Καμπής και Χανόπουλου στην ανατολική πλευρά και τις πηγές Πριάλας και Σκάλας στη δυτική. Ο ποταμός εκβάλλει στον Αμβρακικό Κόλπο στα δυτικά της προσχωσιγενούς πεδιάδας της Άρτας και δημιουργεί λεκάνη απορροής με έκταση 961km<sup>2</sup>. Ο Αχέρωντας με μήκος 52km πηγάζει από το Νομό Ιωαννίνων, από το νότιο τμήμα του όρους Τόμαρου και δυτικό του όρους Σουλίου, διέρχεται από την πεδιάδα του Φαναρίου στα βορειοδυτικά του νομού, εκβάλλει στο Ιόνιο Πέλαγος στο ύψος του Δημοτικού Διαμερίσματος Αμμουδιάς και διαμορφώνει λεκάνη απορροής 850km<sup>2</sup>, η οποία ανήκει κατά ποσοστό 40% στο Νομό Πρέβεζας.

Το παράκτιο τμήμα του νομού καταλαμβάνει την έκταση από τον όρμο της Πάργας μέχρι το ακρωτήριο Μύτικας και περιλαμβάνει πετρώδη / αμμώδη βυθό. Η προσχωσιγενής χερσόνησος της Πρέβεζας αρχίζει μετά το ακρωτήριο.

Το υπέδαφος του νομού συντίθεται από μάρμαρο, αργίλιο (Al) στον Άγιο Γεώργιο Φιλιπιάδας, προσχωματικό χρωμίτη στο Αλωνάκι, φωσφοροβιτουμενιούχα-ουρανιούχα κοιτάσματα στον Παντοκράτορα Πρέβεζας, τύρφη στην Κορώνη Φαναρίου και εξαλλοιωμένα φωσφορικά κοιτάσματα στο Δρυμώνα.

Το κλίμα του νομού παρουσιάζει έντονη διακύμανση λόγω της ποικιλομορφίας του αναγλύφου. Στις παράκτιες περιοχές, επικρατεί περισσότερο ήπιο κλίμα λόγω της ευεργετικής επίδρασης της θάλασσας, στις ορεινές περιοχές, καθαρά ορεινό, ενώ στο εσωτερικό του νομού, εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του ηπειρωτικού. Οι βροχοπτώσεις είναι αρκετά έντονες κυρίως για το χρονικό διάστημα από το μήνα Οκτώβριο έως το μήνα Απρίλιο. Η υγρασία παρουσιάζει υψηλές τιμές και σχετική ομοιομορφία κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ επικρατούν οι νότιοι και οι νοτιοδυτικοί άνεμοι.

Τέλος, η υδροδότηση του νομού συντελείται από δύο μεγάλου μήκους, παράλληλα υδραγωγεία, τα οποία κατασκευάστηκαν προς το τέλος της δεκαετίας 1970-1980. Τα υδραγωγεία υδροδοτούν τη Φιλιπιάδα, την Άρτα, την Πρέβεζα, άλλους δήμους του νομού, καθώς και ένα τμήμα της νήσου Λευκάδας. Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών και κυρίως στις παραθαλάσσιες περιοχές του νομού, παρουσιάζεται υδατικό έλλειμμα λόγω των αυξανόμενων υδατικών απαιτήσεων για την κάλυψη των αναγκών τουρισμού, των υδατικών απωλειών εξαιτίας της παλαιότητας των χαλυβδοσωλήνων του υδρευτικού δικτύου και των απολήψεων



νερού για κάλυψη των αναγκών του αγροτικού παραγωγικού τομέα (Καραβοκύρης κ.α., 2011).

## 6.1. Μεθοδολογία

Τα στάδια σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός συστήματος Τ.Ε. οφείλουν να συνυπολογίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (μορφολογία, γεωλογία, υδρογραφικό δίκτυο) της περιοχής όπου εφαρμόζεται το έργο, τις ανάγκες των τοπικών κοινοτήτων, οι οποίες θα επηρεάζονται από αυτό, τη διαθεσιμότητα οικονομικών πόρων και τεχνικού εξοπλισμού για την εφαρμογή και διαχείρισή του, καθώς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίοι πιθανόν να έχουν ανασταλτική δράση. Ένα σύστημα τροφοδότησης των υπόγειων νερών μπορεί να έχει τη μορφή μιας πολύπλοκης, άρτια σχεδιασμένης και εφαρμόσιμης μελέτη έως μιας απλής, υπαίθριας εφαρμογής. Σε θεωρητική βάση, τα πολύπλοκα συστήματα συλλογής, μεταβίβασης και Τ.Ε. μέσω πηγαδιών προτιμώνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, ενώ τα λιγότερο πολύπλοκα συστήματα είναι καταλληλότερα για αγροτικές περιοχές ή αστικές, υπανάπτυκτες περιοχές.

Στην πλειονότητα των μεθόδων Τ.Ε., ο υπολογισμός της απαιτούμενης έκτασης γης για την εγκατάσταση του συστήματος συνεκτιμά την ικανότητα διήθησης (infiltration capacity) και το ρυθμό κατείδυσης του νερού Τ.Ε. προς το υπόγειο υδροφόρο σύστημα, καθώς επίσης και την παροχέτευση του νερού Τ.Ε. προς την περιοχή εφαρμογής. Ωστόσο, σε ορισμένες μεθόδους, όπως η μέθοδος των ορυγμάτων, η διαστασιολόγηση του έργου εξαρτάται από την έκταση της εκσκαφής. Στην τελευταία περίπτωση, βρίσκει ισχύ η απλή μαθηματική σχέση (Διαμαντής και Πλιάκας, 2012 και 2013):

$$A = Q / I, \text{ όπου}$$

A: η έκταση όπου εφαρμόζεται το νερό Τ.Ε. (m<sup>2</sup>)

Q: η παροχή του νερού Τ.Ε. (m<sup>3</sup>/ημέρα)

I: η ικανότητα διήθησης στην περιοχή εφαρμογής του συστήματος, κατόπιν 2 έως 4 εβδομάδων κατάκλυσης (long-time infiltration capacity) (m/ημέρα).

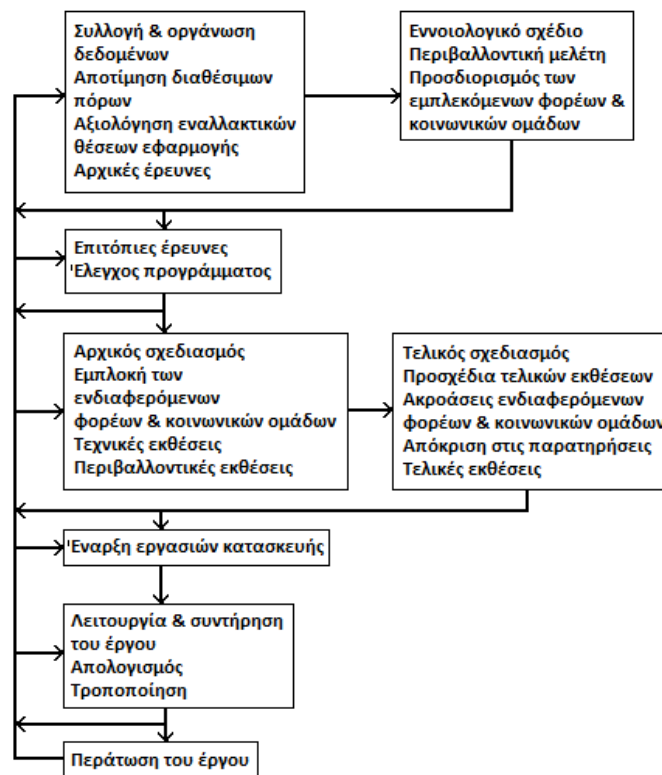
Ο προσδιορισμός της ικανότητας διήθησης της περιοχής εφαρμογής του συστήματος SAT, καθώς και των υπόλοιπων εμπλεκόμενων εδαφικών παραμέτρων, οφείλει να συντελείται με μετρήσεις πεδίου για τον ακριβή σχεδιασμό του έργου και την περαιτέρω αποδοτική και ασφαλή λειτουργία του. Επιπλέον, η δυνατότητα ελέγχου της ροής των ανακτημένων αποβλήτων (κατόπιν της κατείδυσής τους στο υπέδαφος) προϋποθέτει τη γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών και του καθεστώτος ροής του νερού στη περιοχή εφαρμογής του Τ.Ε.

Συνήθως, παράλληλα με τα κύρια έργα Τ.Ε. κατασκευάζονται και δευτερεύοντα με στόχο (ASCE, 1987):

- Την εκτροπή του νερού από την πηγή παροχέτευσης.
- Τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού.
- Τη μεταφορά του νερού στην περιοχή εφαρμογής του συστήματος Τ.Ε.
- Τον έλεγχο και τη συντήρηση της συνεχούς ροής του νερού μέσα στην έκταση της κατάκλυσης.
- Τη λειτουργία και τη διατήρηση των εγκαταστάσεων σε ασφαλή επίπεδα.

✦ Τη μεταφορά της περίσσειας ( από τη διαδικασία Τ.Ε.) νερού πίσω στην πηγή τροφοδοσίας.

Η διαδικασία διαχείρισης ενός συστήματος Τ.Ε. από τη φάση σχεδιασμού έως τις εργασίες συντήρησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.




Σχήμα 6.2: Η ροή των εργασιών για την υλοποίηση ενός έργου Τ.Ε. (ASCE, 2001)


## 6.2. Τα μορφολογικά, λιθοστρωματογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της χερσονήσου της Πρέβεζας

Η χερσόνησος της Πρέβεζας διαβρέχεται περιμετρικά από θάλασσα με εξαίρεση την περιοχή της Αρχαίας Νικόπολης, η οποία συνδέει τη χερσόνησο με την ηπειρωτική χώρα. Οι ενότητες που συστήνουν τη μορφολογία της χερσονήσου περιλαμβάνουν (Νικολάου και Σμυρνιώτης, 2008):

✦ **Τη νότια και κεντρική περιοχή:** Ο όρμος Βαθύ διαχωρίζει τις περιοχές της Αρχαίας Νικόπολης, του Μύτικα, του Καλαμιτσίου, του Ελαιώνα, της Πρέβεζας και του Παντοκράτορα στα δυτικά από τις περιοχές Νεοχώρι-Άγιος Θωμάς-Σκαφιδάκι και του ακρωτηρίου Λασκάρας στα ανατολικά. Στη δυτική ενότητα, διαμορφώνεται ένα πολύ ήπιο ανάγλυφο, με μικρές εδαφικές κλίσεις και χαμηλά υψόμετρα (20m), ενώ η γεωμορφολογία της ανατολικής ενότητας περιλαμβάνει έντονο ανάγλυφο (ιδιαίτερα στις ασβεστολιθικές περιοχές) και υψόμετρα έως 150m.

✦ **Την ακτογραμμή:** Το είδος των γεωλογικών σχηματισμών, η στρωματογραφία και η διαβρωσιγενής δραστηριότητα καθορίζουν τη γεωμορφολογία των ακτών. Το βόρειο όριο της παράκτιας περιοχής της Πρέβεζας αποτελεί ο υδροκρίτης του Αχέροντα ποταμού, ενώ το ανατολικό ο αντίστοιχος του Λούρου. Τα κυριότερα υδατορέματα αυτής της περιοχής είναι:

 **Το ρέμα Αρέθονα (ή Αρέθουα, Καραβοκύρης κ.α., 2011):** Η λεκάνη του αναπτύσσεται στο φλύσχη της περιοχής Εκκλησιές δυτικά του Ζαλόγγου, έχει σημαντική έκταση (περίπου 35km<sup>2</sup>) και εκφορτίζεται στην παραλία της Καστροσυκιάς.

 **Το ρέμα Χειμαδιού:** Η ανάπτυξή του γίνεται σε νεογενείς σχηματισμούς (κροκαλοπαγή και αμμοψαμμίτες), στο μεγαλύτερο μήκος του παρουσιάζει μόνιμη ροή και αποστραγγίζει την περιοχή Ριζά-Χειμαδιό.

Οι προσχωσιγενείς εδαφικοί σχηματισμοί και η μικρή απόσταση από τη θάλασσα διαμορφώνουν το ανάλογο επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο (μικροί κλάδοι ακανόνιστης μορφής). Ροή νερού στα ρέματα και στα αυλάκια αποστράγγισης παρατηρείται αποκλειστικά κατά τη διάρκεια των έντονων κατακρημνισμάτων. Η απορροή εμφανίζεται αυξημένη στις περιοχές όπου κυριαρχούν σχηματισμοί με υψηλό συντελεστή κατείσδυσης (ιλυώδεις καστανέρυθροι άμμοι), ενώ σε περιοχές όπου το γεωλογικό προφίλ απαρτίζεται από αργιλικά υλικά με μικρό συντελεστή κατείσδυσης δημιουργούνται εκτάσεις με λιμνάζοντα νερά κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου. Πιο αναλυτικά:

- **Οι περιοχές που βρίσκονται ανατολικά της εθνικής οδού Πρέβεζας-Ιωαννίνων αποστραγγίζονται στον όρμο Βαθύ.**

- **Οι περιοχές που βρίσκονται δυτικά του δρόμου και μέχρι την εθνική οδό Πρέβεζας-Ηγουμενίτσας αποστραγγίζονται στο ρέμα Καρυδάς.**

- **Η περιοχή της Αρχαίας Νικόπολης, καθώς και οι περιοχές δυτικά της εθνικής οδού Πρέβεζας-Ηγουμενίτσας, αποστραγγίζονται στο Ιόνιο Πέλαγος.**

Το κλίμα της χερσονήσου ρυθμίζεται από τη γειτνίαση με τη θάλασσα, όπως έχει προαναφερθεί, και χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό έως θαλάσσιο. Ο χειμώνας είναι ήπιος, οι βροχοπτώσεις έντονες, οι χιονοπτώσεις και οι παγετοί εμφανίζονται με πολύ χαμηλή συχνότητα, ενώ επικρατεί σημαντική ηλιοφάνεια. Αναλυτικά κλιματολογικά δεδομένα θα παρουσιαστούν στο Υποκεφάλαιο 6.5. της εργασίας.

### 6.3. Η υδρογεωλογία της περιοχής-ενδιαφέροντος

#### **6.3.1. Το υδροφόρο σύστημα της χερσονήσου της Πρέβεζας**

Το κοκκώδες υδροφόρο σύστημα της χερσονήσου της Πρέβεζας εκτείνεται από το Λούρο ποταμό στα ανατολικά έως την ακτογραμμή του Ιονίου Πελάγους στα δυτικά και συνορεύει με το εγκάρσιο ρήγμα Ζηρού στα βόρεια, το οποίο ανακόπτει τα ανθρακικά αντίκλινα της Ιόνιας Ισοπικής Ζώνης (Δασκαλοπούλου, 2012). Η λιθοστρωματογραφική δομή της Ιόνιας Ζώνης εμφανίζεται βόρεια της χερσονήσου έως τα Θεσπρωτικά όρη και το Ζάλογγο, νοτιοανατολικά στα Ακαναρνικά όρη, αλλά και ανατολικά στη χερσόνησο Λασκάρας, ενώ η στρωματογραφική διαδοχή από τη βάση της σειράς και διεύθυνση προς τα άνω κατέχεται από ((Νικολάου, 2005 και 2011, Νικολάου και Σμυρνιώτης, 2008, Νικολάου και Αντωνιάδης, 2010):

- **Τη σειρά των εβαποριτών, δηλαδή γύψους και τριαδικά λατυποπαγή.**
- **Την ανθρακική σειρά των ασβεστολιθικών σχηματισμών (από το ανώτερο Τριαδικό μέχρι το ανώτερο Ηώκαινο).**
- **Την κλαστική σειρά του αδιαίρετου φλύσχη (από το ανώτερο Ηώκαινο έως το Ακουιτάνιο).**

Το λιθολογικό προφίλ της υπόλοιπης έκτασης της χερσονήσου απαρτίζεται από ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, δηλαδή των τελευταίων 25 εκατομμυρίων χρόνων του Καινοζωικού αιώνα με μεγάλο πάχος στρώσεων, άνω του 1km (Παυλίδης, 2012). Οι σχηματισμοί αποτέθηκαν μετά την ορογενετική φάση του Τριτογενούς (τελική πτύχωση των αλπικών σχηματισμών) και το σχηματισμό των Ελληνίδων οροσειρών (Παυλίδης, 2012). Επιπροσθέτως, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για τη δημιουργία υδροφόρων συστημάτων. Συγκεκριμένα (Σχήμα 6.3):

- ✦ Η περιοχή Μιχαλιτσίου-Αρχαγγέλου στα βόρεια καλύπτεται από συνεκτικά κροκαλοπαγή, ασβεστολιθικές και κερατολιθικές κροκάλες, ψαμμίτες και αργίλους (γκρι και αμμούχες) μικρού πάχους.

- ✦ Η βορειοδυτική πλευρά (περιοχή Ριζά-Καστροσυκιάς) περιλαμβάνει παλαιότερα νεογενή ιζήματα (κυανότεφρες αργίλους σε ορισμένα σημεία πλαστικές που περιέχουν στρώσεις κρυσταλλικής γύψου πάχους έως 5m) του Ανώτερου Μειόκαινου, που υπόκεινται των ανωπλειοκαινικών-κατωπλειστοκαινικών σχηματισμών.

- ✦ Η νοτιοανατολική περιοχή Αρχαγγέλου-Ζέφυρου-Ωροπού, Καναλίου και Αγίου Θωμά εμφανίζει κυρίως λευκότεφρες μάργες, αργιλόμαργες, θαλάσσιες άμμους, αμμούχες αργίλους και κροκαλοπαγή.

- ✦ Η θαλάσσια αναβαθμίδα της Πρέβεζας στην περιοχή Μύτικα-Καλαμιτσίου-Παντοκράτορα αποτελείται από ιλυώδεις και αμμούχους αργίλους, άμμους (λεπτόκοκκες κιτρινωπές και αργιλούχες με κόκκους χρωμίτη), χάλικες, αργίλους, μάργες και κατά μήκος των ακτών ψαμμίτη.

- ✦ Η περιοχή ΒΙΠΕ-Μπάλτες πλησίον του όρμου Βαθύ, των Λουτρών και της λιμνοθάλασσας Μάζωμα κυριαρχείται από αργιλικά ιζήματα με προσμίξεις σκουρόχρωμου οργανικού υλικού.

- ✦ Οι κοίτες των ρεμάτων και οι εκβολές των χειμάρρων υπόκεινται αλλούβιων σχηματισμών.

Η τεκτονική δραστηριότητα παρουσιάζεται έντονη σε περιοχές όπου έχουν διαμορφωθεί ρήγματα (ακρωτήρι Λασκάρας, Μιχαλίτσι, Καναλάκι, οικισμός Νικόπολης, από Πρέβεζα έως Λούτσα και από Καστροσυκιά έως Βράχο). Καλύπτοντας συνολική έκταση 175km<sup>2</sup>, με μήκος 28km, πλάτος 8km, πάχος 10m, αποθηκευτικότητα (S) από 5 έως 10% και μέσα ετήσια ανανεώσιμα αποθέματα 78 εκατομμύρια m<sup>3</sup> το υδροφόρο σύστημα (Σχήμα 6.4) ανάγεται στις Προστατευόμενες Περιοχές για πόσιμο νερό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κωδικός GR0514, χάρτης GR05\_PA\_A7\_GW και Κωδικός GR500140, Καραβοκύρης κ.α., 2011) (Νικολάου, 2011).



**Ολόκαινο(α):** σύγχρονες αποθέσεις: ασύνδετα υλικά από κροκάλες ποικίλου μεγέθους χαλίκια, άμμοις, αργιλοαμμόδη υλικά, αργίλους και πηλούς



**Μέσο-ανώτερο Πλειστόκαινο(θαλάσσια αναβαθμίδα Πρέβεζας):** γλυβάδες αμμοίχοι άργιλοι λεπτόκοκκοι κτιρινικοί άμμοι χαλίκια, άργιλοι και μάργες.



**Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο(λιμναία - υφάλμυρα και θαλάσσια ιζηματα:** εναλλαγές λευκότερων μαργών, αργιλομαργών, θαλάσσιων άμμων, αμμώχων αργίλων και κροκαλοπαγίων.



**Τριαδικό-Ηόκαινο:** ανθρακική σειρά της Ιονίου ζώνης

**Σχήμα 6.3:** Απόσπασμα από το γεωλογικό χάρτη ΙΓΜΕ 1/50.000-Φύλλο Βόνιτσα όπου οριοθετείται η περιοχή ενδιαφέροντος (Νικολάου και Σμυρνιώτης, 2008)



Η ροή των υπόγειων νερών συντελείται από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ενώ υφίστανται και ροές με κατεύθυνση νότια-νοτιοανατολική προς βόρεια-βορειοδυτική και ανατολική-βορειοανατολική προς δυτική-νοτιοδυτική.

Εξετάζοντας παραμέτρους του υδρολογικού ισοζυγίου συμπεραίνεται ότι η μέση ετήσια τροφοδοσία του συστήματος, η οποία συντελείται από κατακρημνίσματα και μεταγγίσεις από άλλα υδροφόρα συστήματα, ανέρχεται στα 40 εκατομμύρια  $m^3$  (δυνατά αποθέματα), ενώ οι μέσες ετήσιες απολήψεις ξεπερνούν σημαντικά τα 5 εκατομμύρια  $m^3$ , τα οποία αξιοποιούνται ιδιαιτέρως για κάλυψη αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών. Στο μεγαλύτερο τμήμα του συστήματος, το υδρολογικό ισοζύγιο κρίνεται ως πλεονασματικό. Εξαιρεση αποτελεί η περιοχή του κάμπου της Πρέβεζας στο νοτιότερο άκρο της χερσονήσου όπου η γειτνίαση με τη θάλασσα και η υπέρμετρη άντληση υπόγειων νερών για άρδευση καθιστά το σύστημα επιρρεπές σε φαινόμενα υφαλμύρισης (Καραβοκύρης κ.α., 2011). Επιπροσθέτως, σε περιοχές όπου τα αδρόκοκκα υλικά εναλλάσσονται με αργιλικά, η επαναπλήρωση των αντλούμενων ποσοτήτων υπόγειων νερών κρίνεται δυσχερής (Καραβοκύρης κ.α., 2011). Το φρεάτιο υδροφόρο σύστημα είναι ευάλωτο στη ρύπανση από διάφορες πηγές και κυρίως σε νιτρορύπανση εξαιτίας της γεωργικής δραστηριότητας και του μικρού βάθους ανάπτυξης του (Νικολάου, 2011). Σύμφωνα με την ΚΥΑ 20419/2522/2001 (ΦΕΚ 1212Β/18.09.2001, συμπλήρωση της οικ. ΚΥΑ 19652/1906/1999 «Προσδιορισμός των νερών που υφίστανται νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης-Κατάλογος ευπρόσβλητων ζωνών, σύμφωνα με τις Παραγράφους 1 και 2 αντίστοιχα του Άρθρου 4 της υπ' αριθμόν 16190/1335/1997 ΚΥΑ (Β' 519) αυτής»), οι περιοχές που αναγνωρίστηκαν ως ρυπασμένες είναι ο κάμπος Θεσσαλονίκης-Πέλλας-Ημαθίας (συμπεριλαμβανομένου και του Ν. Κιλκίς), η λεκάνη του Στρυμόνα και η πεδιάδα Άρτας-Πρέβεζας (Γκούμα, 2011).

Η υδρολιθολογία και η στρωματογραφία των εδαφικών σχηματισμών σε συνδυασμό με την κατακρήμνιση επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές ιδιότητες του υδρολογικού συστήματος και προσδιορίζουν τη γεωμετρία, το υδραυλικό καθεστώς, την αποθηκευτικότητα, αλλά και τη μορφή της υδροστατικής επιφάνειας των υδροφόρων συστημάτων. Αναφορικά με την περατότητα οι γεωλογικοί σχηματισμοί της χερσονήσου διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

✦ **Δελταϊκά κροκαλοπαγή:** Ο σχηματισμός υψηλής υδροπερατότητας της λοφώδους περιοχής Καλαμιτσιού-Κούκου (υψόμετρα από 100 έως 150m) τροφοδοτεί μέσω πλευρικών μεταγγίσεων τα υπόγεια νερά της πεδιάδας της Πρέβεζας και δημιουργεί αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα στην περιοχή της χερσονήσου (λ.χ. στη ΒΙΠΕ). Σε γενικές γραμμές και για τους κοκκώδεις σχηματισμούς στον κάμπο Άρτας-Πρέβεζας, ο συντελεστής υδροπερατότητας (K) λαμβάνει τιμές από  $10^{-4}$  έως  $10^{-6} m/s$ . Ειδικότερα στην περιοχή της χερσονήσου η αντίστοιχη τιμή είναι  $10^{-5} m/sec$  και ο συντελεστής μεταβιβαστικής ικανότητας (T) κυμαίνεται μεταξύ των  $10^{-3}$  έως  $10^{-6} m^2/s$ .

✦ **Εναλλαγές λιμναίων, υφάλμυρων και θαλάσσιων αποθέσεων:** Η μεγάλη λιθολογική ανομοιογένεια των γεωλογικών σχηματισμών προκαλεί σημαντική διακύμανση της υδροπερατότητας στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση. Η επαλληλία αδιαπέρατων σχηματισμών και σχηματισμών υψηλής υδροπερατότητας διαμορφώνει φρεάτιο υδροφόρο σύστημα και ένα βαθύτερο αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα.

✦ **Θαλάσσια αναβαθμίδα Πρέβεζας:** Η περιοχή ΒΙΠΕ-Καλαμιτσίου χαρακτηρίζεται επίσης από λιθολογική ανομοιογένεια και συμπερασματικά ετερογένεια όσον αφορά στην υδροπερατότητα των σχηματισμών. Το υδροφόρο σύστημα περιλαμβάνει φρεάτιο υδροφόρο σύστημα με ελεύθερη ανώτερη επιφάνεια (φρεάτιο ή υπόγειο ορίζοντα, Νάνου-Γιάνναρου, 2007), ο οποίος παρουσιάζεται σε βάθος από 2 έως 12,6m, τροφοδοτείται απευθείας από την εδαφική επιφάνεια μέσω του φρεάτιου ορίζοντα και έχει πάχος από 1,3 έως περίπου 5m. Το βαθύτερο υπό μερική πίεση αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα έχει πάχος μεταξύ 1,1 έως 4,9m. Η μέση ετήσια διακύμανση της υδροστατικής επιφάνειας ανέρχεται σε 10m (0,9m στη γεώτρηση GPRE308, 9,39m στη γεώτρηση 0539), ενώ η κατείσδυση του βρόχινου νερού εκτιμάται σε ποσοστό 18% επί της βροχόπτωσης. Όσον αφορά στις υδραυλικές παραμέτρους του συστήματος, ο συντελεστής υδροπερατότητας (K) λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $3,6 \times 10^{-5}$  έως  $7,3 \times 10^{-4}$  m/sec.

Το δίκτυο των γεωτρήσεων, που αξιοποιείται στην εργασία, έχει εγκατασταθεί το έτος 2007 (Μάιος έως Ιούνιος) στη ΒΙΠΕ Πρέβεζας, η οποία αποτελεί την περιοχή μελέτης της διατριβής, από το ΙΓΜΕ στο πλαίσιο της Υδρογεωλογικής Μελέτης «Σχετικά με την Επίδραση του Ορύγματος του Αποχετευτικού Αγωγού της ΒΙΠΕ Πρέβεζας στις Υδρογεωλογικές Συνθήκες της Περιοχής» (Νικολάου και Σμυρνιώτης, 2008). Το δίκτυο (Σχήμα 6.6) περιλαμβάνει γεωτρήσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περιοχή ενδιαφέροντος βάθους 10m η καθεμιά και αρίθμηση, η οποία ακολουθεί τη σειρά διάνοιξής τους. Η επιλογή της θέσης των γεωτρήσεων σχετίζεται με τη χάραξη διόδου του αποχετευτικού αγωγού. Συγκεκριμένα, οι γεωτρήσεις διανοίχτηκαν 200m εκατέρωθεν του ορύγματος του αγωγού. Αναλυτικά δεδομένα των γεωγραφικών συντεταγμένων των γεωτρήσεων παρατίθενται στον Πίνακα 6.1. Ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει τη στάθμη των υπόγειων νερών στην περιοχή, όπως αυτή καταγράφηκε στις γεωτρήσεις παρακολούθησης.



**Σχήμα 6.6:** Το δίκτυο των γεωτρήσεων ελέγχου της περιοχής ενδιαφέροντος



**Πίνακας 6.1:** Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των γεωτρήσεων ελέγχου των υπόγειων νερών της χερσονήσου της Πρέβεζας σε WGS84 (Νικολάου και Σμυρνιώτης, 2008 με επεξεργασία του συγγραφέα)

Γεώτρηση	X	Y	Γεώτρηση	X	Y
Γ1	38.981294	20.722468	Γ19	38.981355	20.709897
Γ2	38.982392	20.722406	Γ20	38.983116	20.712320
Γ3	38.983017	20.721280	Γ21	38.981859	20.714363
Γ5	38.980047	20.721371	Γ22	38.981859	20.714363
Γ6	38.980830	20.721347	Γ23	38.981339	20.711271
Γ7	38.979200	20.719749	Γ25	38.980213	20.712846
Γ8	38.980255	20.719481	ΓΠ1	38.981705	20.716240
Γ9	38.980378	20.718402	ΓΠ2	38.981546	20.721152
Γ10	38.983248	20.719873	ΓΒ1	38.981256	20.710236
Γ11	38.982075	20.720135	ΓΒ2	38.980714	20.722345
Γ12	38.981022	20.717599	ΓΒ3	38.979849	20.721992
Γ13	38.979692	20.717372	ΓΒ4	38.980339	20.719569
Γ15	38.983153	20.716484	ΓΒ6	38.979470	20.719736
Γ16	38.980230	20.716019	ΓΒ7	38.982777	20.711793
Γ18	38.981452	20.714624	-	-	-

**Πίνακας 6.2:** Οι μέσες τιμές του βάθους ανάπτυξης της στάθμης του φρεατίου και του αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος στη χερσονήσο της Πρέβεζας (Νικολάου και Σμυρνιώτης, 2008)

Γεώτρηση / Πηγάδι	Μέση στάθμη υγρής περιόδου (μηνών Μαΐου-Ιουνίου) 2007 (βάθος από το έδαφος σε m)	Μέση στάθμη ξηράς περιόδου (μηνών Ιουλίου-Νοεμβρίου) 2007 (βάθος από το έδαφος σε m)	Φρεάτιο υδροφόρο σύστημα		Αρτεσιανό υδροφόρο σύστημα	
			Βάθος ανάπτυξης της υδροστατικής στάθμης από το έδαφος (m)	Βάθος ανάπτυξης του αδιαπέρατου δαπέδου από το έδαφος (m)	Βάθος ανάπτυξης της οροφής από το έδαφος (m)	Βάθος ανάπτυξης του δαπέδου από το έδαφος (m)
Γ1	3,35	4,42	-	-	4,30	10,00
Γ2	2,44	3,79	2,00	5,20	-	-
Γ3	2,93	3,76	-	-	4,20	7,00
Γ4	3,12	4,11	3,00	5,00	7,20	9,70
Γ5	4,51	6,58	3,80	6,70	9,50	-
Γ6	4,70	5,36	-	-	4,30	5,20
Γ7	1,89	3,02	2,00	7,10	-	-
Γ8	3,99	5,37	3,90	7,80	-	-
Γ9	4,40	-	4,10	8,50	-	-
Γ10	2,43	3,51	4,70	7,70	8,20	9,30
Γ11	1,32	2,83	-	-	7,00	9,80
Γ12	4,26	4,44	-	-	8,50	9,80
Γ13	7,48	8,39	6,70	Δεν	-	-

				συναντήθηκε		
Γ14	2,79	3,91	4,70	Δεν συναντήθηκε	-	-
Γ15	5,64	5,94	5,40	6,70	7,80	8,70
Γ16	-	-	3,40	4,70	5,30	7,50
Γ17	12,79	14,76	12,60	Δεν συναντήθηκε	-	-
Γ18	3,33	4,02	3,30	6,20	8,40	Δεν συναντήθηκε
Γ19	7,53	5,48	4,90	7,90	-	-
Γ20	3,19	3,89	3,40	5,00	8,40	Δεν συναντήθηκε
Γ21	4,57	5,03	3,90	5,00	-	-
Γ22	4,29	4,50	4,00	6,20	-	-
Γ23	4,60	5,23	4,50	9,60	-	-
Γ24	2,29	4,02	-	-	6,20	9,70
Γ25	5,60	6,25	4,00	8,00	-	-
ΓΠ1*	Στατική στάθμη: 2,72m					
ΓΠ2*	Στατική στάθμη: 3,63m					
ΓΠ3*	Στατική στάθμη: 4,05m					
ΓΠ4*	-					

ΓΠ1, ΓΠ2, ΓΠ3, ΓΠ4\*: Παλαιότερες ερευνητικές δημόσιες γεωτρήσεις της ΕΤΒΑ ΒΙΠΕ, στις οποίες έγιναν μετρήσεις της στάθμης του φρεατίου και του αρτεσιανού υδροφόρου συστήματος.

### 6.3.2. Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της χερσονήσου της Πρέβεζας

Η πετρολογική και ορυκτολογική ανομοιομορφία της χερσονήσου της Πρέβεζας καθορίζει και τις χημικές ιδιότητες των υπόγειων νερών. Συνοπτικά παρατηρούνται:

- ✦ **Νερά με υψηλή περιεκτικότητα ανθρακικών και πλευρικές μεταγγίσεις καρστικών νερών στη βόρεια περιοχή της χερσονήσου.**

- ✦ **Νερά με αυξημένη περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ) στις περιοχές όπου απαντώνται γύψοι.**

- ✦ **Νερά με σημαντικές περιεκτικότητες χλωρίου (Cl) και νατρίου (Na) στις παράκτιες περιοχές λόγω φαινομένων υφαλμύρισης:** Από στοιχεία πηγαδιών παρατήρησης στην περιοχή Καλαμιτσίου-Μύτικα-ΒΙΠΕ κατά μήκος της ακτογραμμής του Ιονίου Πελάγους, καταγράφονται σημαντικές τιμές χλωριόντων ( $Cl^-$ ) από 110 έως 750mg/L. Στο χερσαίο τμήμα, που γειτνιάζει με τον Αμβρακικό Κόλπο, οι περιεκτικότητες σε χλώριο (Cl) κυμαίνονται από 140 έως 400mg/L.

- ✦ **Νερά με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ( $NO_3^-$ ) στον κάμπο της Πρέβεζας, οι οποίες κυμαίνονται από 50 έως 200mg/L και αποδίδονται στις συστηματικές καλλιέργειες σε θερμοκήπια / Σημαντική περιεκτικότητα σε αμμώνιο ( $NH_4^+$ ):** Από δεδομένα γεωτρήσεων ελέγχου πριν από το έτος 2004, επισημαίνεται ότι η περιεκτικότητα των νιτρικών ( $NO_3^-$ ) στο φρεατίο υδροφόρο σύστημα κυμαίνεται από 111 έως 210mg/L. Σε μεταγενέστερη μελέτη (Καραβοκύρης κ.α., 2011), αναφέρονται συγκεντρώσεις νιτρικών ( $NO_3^-$ ) από 100 έως 200mg/L τόσο στο

φρεάτιο όσο και στα βαθύτερα αρτεσιανά υδροφόρα συστήματα (γεώτρηση GPRE309: 94mg/L, γεώτρηση GPRE311: 120mg/L, γεώτρηση GPRE314: 84 mg/L). Σημειώνεται ότι το ανώτατο επιτρεπτό όριο της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) για το πόσιμο νερό είναι 50mg/L. Στο πλαίσιο της ίδιας μελέτης, η χημική κατάσταση των νερών της χερσονήσου χαρακτηρίζεται ως κακή όσον αφορά τη ρύπανση από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, αλλά και την υφαλμύριση (Νικολάου, 2005). Επιπροσθέτως, θεωρείται ότι το υπόγειο υδατικό σύστημα βρίσκεται σε υπερεκμετάλλευση για κάλυψη κυρίως των αρδευτικών αναγκών (Νικολάου, 2005). Στο πλαίσιο επικαιροποίησης και συμπλήρωσης του καταλόγου των ευπρόσβλητων ζωνών που συντάσσεται σε εφαρμογή των διατάξεων της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ περί νιτρορύπανσης γεωργικής προέλευσης και με την ΚΥΑ 20419/2522/18-9-2001 (ΦΕΚ 1212Β/14-9-2001) συμπεριλήφθηκε στον κατάλογο η πεδιάδα Άρτας-Πρέβεζας με υποχρέωση εφαρμογής του σχετικού προγράμματος δράσης, το οποίο καθορίστηκε από την ΚΥΑ Η.Π. 50981/2308 (ΦΕΚ 1895 Β 29-12-2006) (Καραβοκύρης κ.α., 2011).

✦ **Νερά οξυανθρακικού τύπου στα κοκκώδη του πεδινού τμήματος Άρτας-Πρέβεζας:** Είναι ο πλέον διαδεδομένος τύπος νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου και από αυτά καλύπτονται στο μεγαλύτερο ποσοστό οι υδρευτικές ανάγκες. Πρόκειται για νερά καρστικών και προσχλωσιγενών υδροφόρων συστημάτων. Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) κυμαίνονται από 200 έως 700 mg/l. Στα υπόγεια νερά, ισχύουν οι σχέσεις:

☞ Ανθρακικό οξύ ( $\text{HCO}_3^-$ ) > Θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^-$ ) > Χλώριο (Cl) και

☞ Ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) > Ιόντα μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) > Ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ).

Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει τις μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές των σημαντικότερων υδροχημικών χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος στη χερσονήσο της Πρέβεζας. Οι τιμές αντλήθηκαν από την Υδρογεωλογική Μελέτη σχετικά με το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (05) στο πλαίσιο του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης, Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα, Έργου «Καταγραφή και Αποτίμηση των Υδρογεωλογικών Χαρακτήρων των Υπόγειων Νερών και των Υδροφόρων Συστημάτων της Χώρας (7.3.2.1.), Υποέργου 2 «Επικαιροποίηση Στοιχείων Υπόγειων Νερών Ηπείρου (Υ.Δ. 05)» (Νικολάου και Αντωνιάδης, 2010).

**Πίνακας 6.3:** Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά του κοκκώδους υδροφόρου συστήματος της χερσονήσου της Πρέβεζας (Νικολάου και Αντωνιάδης, 2010)

Παράμετρος	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	928	1134	897
pH	7,9	8,1	7,7
Ολική σκληρότητα ( $\text{mg}/\text{L CaCO}_3$ )	419	517	380
Θερμοκρασία νερού ( $^{\circ}\text{C}$ )	15	17	12,9
Χλωριόντα (Cl) ( $\text{mg}/\text{L}$ )	79	109	47
Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )	35	275	17

(mg/L)			
Αμμωνιακά ιόντα (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/L)	<0,26	6,5	<0,26

Στη συνέχεια (Πίνακας 6.4) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά ποιότητας (ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw), pH, θερμοκρασία, ιόντα χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) και νατρίου (Na<sup>+</sup>), νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)) των υπόγειων νερών από τις γεωτρήσεις ελέγχου της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι μετρήσεις αντλήθηκαν από την Υδρογεωλογική Μελέτη «Σχετικά με την Επίδραση του Ορύγματος του Αποχετευτικού Αγωγού της ΒΙΠΕ Πρέβεζας στις Υδρογεωλογικές Συνθήκες της Περιοχής» (Νικολάου και Σμυρνήτης, 2008). Ο Πίνακας 6.5 παρουσιάζει συγκεντρωτικά στοιχεία της χημικής ανάλυσης του νερού των γεωτρήσεων στο πλαίσιο της ίδιας μελέτης.

**Πίνακας 6.4:** Οι τιμές των βασικών ποιοτικών παραμέτρων των υπόγειων νερών στη χερσόνησο της Πρέβεζας (Νικολάου και Σμυρνήτης, 2008)

Γεώτρηση / Πηγάδι	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw) (μS/cm στους 25°C)	Θερμοκρασία (°C)	pH	Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L)	Ιόντα νατρίου (Na <sup>+</sup> ) (mg/L)	Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	Ολική σκληρότητα (°F)
Γ1	1.111	14,0 έως 15,6	7,36	75,0	52,0	120,0	48
Γ2	1.089	14,5 έως 15,3	7,26	97,0	57,0	2,5	46
Γ3	1.540	14,6 έως 15,2	7,42	188,0	124,0	43,0	55
Γ4	1.117	14,2 έως 15,1	7,53	110,0	86,9	23,0	-
Γ5	790	14,2 έως 15,0	7,49	55,0	30,0	14,0	36
Γ6	851	14,2 έως 15,0	7,60	83,0	46,0	2,5	33
Γ7	2.970	14,8 έως 15,1	7,48	509,0	285,0	9,0	98
Γ8	1.222	14,5 έως 15,4	7,67	122,0	82,0	70,0	47
Γ9	751	14,5 έως 15,3	7,57	27,0	25,0	60,0	34
Γ10	947	14,6 έως 15,3	7,66	100,0	62,0	42,0	35
Γ11	4.220	14,5 έως 15,0	7,62	860,0	634,0	17,0	81
Γ12	1.004	16,0 έως 17,0	7,75	125,0	55,0	2,5	40
Γ13	650	16,0 έως 16,8	7,65	37,0	22,0	45,0	29
Γ14	614	16,0 έως 16,7	7,55	60,0	52,0	24,0	20
Γ15	683	16,0 έως 16,3	7,65	26,0	29,0	42,0	30
Γ16	-	-	-	-	-	-	-
Γ17	972	16,4 έως 16,2	7,65	41,0	27,0	125,0	45
Γ18	1.050	17,5 έως 16,2	7,51	88,0	50,0	45,0	45
Γ19	1.423	17,4 έως 16,7	7,52	174,0	85,0	126,0	52
Γ20	921	15,8 έως 16,5	7,61	77,0	43,0	53,0	37
Γ21	799	17,4 έως 16,3	7,64	45,0	41,0	36,0	33
Γ22	861	17,4 έως 16,1	7,59	61,0	27,0	75,0	39
Γ23	1.046	17,5 έως 16,3	7,65	98,0	68,0	95,0	38
Γ24	1.193	14,1 έως 15,4	7,25	134,0	52,0	12,0	50
Γ25	1.086	16,1 έως 16,7	7,51	187,0	57,0	55,0	39

ΓΠ1*	1.097	14,2 έως 15,2	7,38	75,0	50,0	55,0	46
ΓΠ2*	992	17,5 έως 16,4	7,39	72,0	40,0	65,0	43
ΓΠ3*	818	17,5 έως 16,4	7,50	63,0	31,0	13,0	37
ΓΠ4*	-	-	-	-	-	-	-

ΓΠ1, ΓΠ2, ΓΠ3, ΓΠ4\*: Παλαιότερες ερευνητικές δημόσιες γεωτρήσεις της ΕΤΒΑ ΒΙΠΕ, στις οποίες έγιναν μετρήσεις παραμέτρων ποιότητας των υπόγειων νερών.

**Πίνακας 6.5:** Η περιεκτικότητα των υπόγειων νερών της χερσονήσου της Πρέβεζας σε ανιόντα και κατιόντα (Νικολάου και Σμυρνώτη, 2008)

Γεώτρηση / Πηγάδι	Συνολικά περιεχόμενα κατιόντα (meq/L)	Συνολικά περιεχόμενα ανιόντα (meq/L)	Γεώτρηση / Πηγάδι	Συνολικά περιεχόμενα κατιόντα (meq/L)	Συνολικά περιεχόμενα ανιόντα (meq/L)
Γ1	12,02	12,23	Γ16	-	-
Γ2	11,70	11,91	Γ17	10,34	10,58
Γ3	16,36	16,29	Γ18	11,20	11,37
Γ4	12,05	11,90	Γ19	14,23	14,41
Γ5	8,36	8,19	Γ20	9,30	9,52
Γ6	8,60	8,42	Γ21	8,39	8,62
Γ7	32,02	32,46	Γ22	9,12	9,27
Γ8	13,11	13,30	Γ23	10,73	10,99
Γ9	8,04	8,23	Γ24	12,38	12,66
Γ10	9,68	9,89	Γ25	10,45	10,58
Γ11	43,97	44,55	ΓΠ1*	11,71	11,95
Γ12	10,47	10,59	ΓΠ2*	10,32	10,58
Γ13	6,79	6,96	ΓΠ3*	8,72	8,94
Γ14	6,26	6,08	ΓΠ4*	-	-
Γ15	7,40	7,50			

ΓΠ1, ΓΠ2, ΓΠ3, ΓΠ4\*: Παλαιότερες ερευνητικές δημόσιες γεωτρήσεις της ΕΤΒΑ ΒΙΠΕ, στις οποίες έγινε χημική ανάλυση δειγμάτων νερού.

#### 6.4. Τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής της ΕΕΛ Πρέβεζας

Η ΜΕΛ (βιολογικός καθαρισμός) του Δήμου Πρέβεζας λειτουργεί από το 2001 στη ΒΙΠΕ της ομώνυμης πόλης παράγοντας 7000m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων σε ημερήσια βάση. Η λειτουργία της στηρίζεται στη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού με βιολογική απομάκρυνση αζώτου (N) και φωσφόρου (P), η οποία ισοδυναμεί με δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η κατασκευή της ΕΕΛ, καθώς και των αγωγών ομβρίων και ακαθάρτων νερών, εντάχθηκε από το 1996 στο έργο «Αποχέτευση και Βιολογικός Καθαρισμός Πρέβεζας», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το 1<sup>ο</sup> Ταμείο Συνοχής με το συνολικό ποσό των 9.275.000 ευρώ.

Τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα της πόλης της Πρέβεζας και των γειτονικών της οικισμών συγκεντρώνονται σε αντλιοστάσια (Φωτογραφία 6.1), στη συνέχεια προωθούνται στις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού μέσω υπόγειων

αποχετευτικών αγωγών και, αφού λάβει χώρα ο καθαρισμός τους, παροχετεύονται στη θάλασσα του Ιονίου Πελάγους.

Κάθε αντλιοστάσιο αποτελείται από δύο έως 4 εμβυθιζόμενες αντλίες υγρών αποβλήτων. Ο συντονισμός της λειτουργίας των αντλιών συντελείται με διαρκή έλεγχο της στάθμης των υγρών αποβλήτων στους θαλάμους από κεντρικό ελεγκτή.



**Φωτογραφία 6.1:** Το αντλιοστάσιο υγρών αποβλήτων της ΕΕΛ Πρέβεζας

Οι εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού καταλαμβάνουν έκταση 24 στρεμμάτων και περιλαμβάνουν (Επίσημος δικτυακός τόπος ΔΕΥΑΠ):

✦ **Έργο εισόδου:** Στη μονάδα αυτή, εισέρχονται μέσω των αποχετευτικών αγωγών τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα και υπόκεινται σε πρωτοβάθμια επεξεργασία. Η απομάκρυνση των ολικών στερεών (TS), των λιπών και της άμμου επιτυγχάνεται σε δύο παράλληλες και πανομοιότυπες ροές καθαρισμού, οι οποίες αποτελούνται από εσχάρα και δεξαμενή εξάμμωσης.

✦ **Σταθμό βοθρολυμάτων (Φωτογραφία 6.2):** Η ύπαρξη του σταθμού βοθρολυμάτων απαιτείται εξαιτίας της διαφορετικής σύστασης των βοθρολυμάτων. Βυτιοφόρα οχήματα τροφοδοτούν τη ΜΕΛ με βοθρολύματα, όπου λαμβάνει χώρα προεπεξεργασία τους, πριν οδηγηθούν στο έργο εισόδου. Η εισροή οδηγείται αρχικά σε εγκατάσταση εξάμμωσης-λιποσυλλογής και εν συνεχεία σε αντλιοστάσιο, όπου διατηρείται υπό συνθήκες αερισμού για χρονικό διάστημα 3 έως 4 ημερών.



**Φωτογραφία 6.2:** Ο σταθμός βοθρολυμάτων της ΕΕΛ Πρέβεζας

✦ **Δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας:** Το σύστημα απαρτίζεται από δύο όμοιες και παράλληλες ροές επεξεργασίας. Η κάθε ροή περιλαμβάνει μια ανοξική δεξαμενή, όπου πραγματοποιείται η διεργασία της απονιτροποίησης, μια αναερόβια για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου (P) και μια αερόβια (Φωτογραφία 6.3) για την αφαίρεση των οργανικών ενώσεων.



**Φωτογραφία 6.3:** Η δεξαμενή αερισμού της ΕΕΛ Πρέβεζας

✚ **Σταθμούς χημικής κατακρήμνισης φωσφόρου (P):** Οι σταθμοί έχουν εγκατασταθεί κατάντη των δεξαμενών αερισμού. Μέχρι σήμερα, βρίσκονται σε αδράνεια, διότι η απομάκρυνση του φωσφόρου (P) με βιολογική διεργασία θεωρείται ικανοποιητική.

✚ **Δύο δεξαμενές καθίζησης (Φωτογραφία 6.4) :** Στο συγκεκριμένο χώρο, συγκεντρώνεται η ενεργός ιλύς, που καθιζάνει, και ταυτόχρονα επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός της από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Στη συνέχεια, η λάσπη είτε μεταφέρεται στο αντλιοστάσιο RAS, ώστε να επανακυκλοφορήσει στο σύστημα είτε οδηγείται στο αντλιοστάσιο WAS, από όπου αντλείται προς τη γραμμή αφυδάτωσής της.



**Φωτογραφία 6.4:** Η δεξαμενή καθίζησης της ΕΕΛ Πρέβεζας

✚ **Χλωρίωση:** Η εκροή των δεξαμενών καθίζησης υπόκειται σε απολύμανση με χλώριο (Cl) σε μαιάνδρικές δεξαμενές (Φωτογραφία 6.5). Κατόπιν, τα ανακτημένα υγρά απόβλητα διατίθενται στον τελικό αποδέκτη. Ύστερα από την απολύμανση, η παροχή εξόδου μετράται μέσω ενός αγωγού Parshall, ενώ τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ελέγχονται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με δειγματολήπτη (Φωτογραφία 6.6), ο οποίος είναι εγκατεστημένος σε ένα κίосκι πλησίον της θέσης χλωρίωσης.

✚ **Δεξαμενές ομογενοποίησης:** Στις μονάδες αυτές, οδηγείται η ιλύς των δεξαμενών καθίζησης, ώστε να ομογενοποιηθεί υπό συνθήκες αερισμού. Το χρονικό διάστημα, που παραμένει στις δεξαμενές, διαρκεί από 3 έως 4 ημέρες.

✚ **Σταθμό αφυδάτωσης ιλύος:** Στη θέση αυτή, πραγματοποιείται διαδοχικά η πάχυνση και η αφυδάτωση της ιλύος, αφού υποστεί ομογενοποίηση. Η πάχυνση επιτυγχάνεται μέσω μηχανικού παχυντή (Φωτογραφία 6.7) και προσθήκη

πολυηλεκτρολύτη, ενώ η αφυδάτωση με ταινιοφιλτροπρέσσα (Φωτογραφία 6.8) επίσης με μηχανική μέθοδο.



**Φωτογραφία 6.5:** Το κανάλι χλωρίωσης της ΕΕΛ Πρέβεζας



**Φωτογραφία 6.6:** Το κιόσκι του δειγματολήπτη της ΕΕΛ Πρέβεζας



**Φωτογραφία 6.7:** Ο παχυντής ιλύος της ΕΕΛ Πρέβεζας



**Φωτογραφία 6.8:** Η ταινιοφιλτροπρέσσα της ΕΕΛ Πρέβεζας



Η αφυδατωμένη λύς μεταφέρεται με φορτηγά οχήματα στα σημεία διάθεσής της ή περαιτέρω επεξεργασίας της. Τα υπολείμματα από τη διεργασία αφυδάτωσης οδηγούνται στην είσοδο του βιολογικού καθαρισμού.

✦ **Κτίριο διοίκησης / Χημείο / Συνεργείο:** Το κτίριο διοίκησης του βιολογικού καθαρισμού συστεγάζεται με το χημείο, όπου πραγματοποιείται η χημική ανάλυση δειγμάτων των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Από την άλλη πλευρά, το συνεργείο είναι υπεύθυνο για τη συντήρηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Η παρακολούθηση της λειτουργίας της ΕΕΛ επιτυγχάνεται με σύστημα ενόργανης επίβλεψης και τηλεελέγχου (PLC-SCADA), το οποίο καταγράφει διαρκώς κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου τις τιμές των σημαντικότερων παραμέτρων της ΕΕΛ (λ.χ. παροχή οξυγόνου (O<sub>2</sub>), ποσότητα εκρέοντων αποβλήτων).

Οι μέσες ετήσιες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6. Όλες οι τιμές πληρούν τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/1997 σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων για ανάγκες Τ.Ε. υπόγειων νερών, οι οποίες έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο IV της παρούσας εργασίας (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)<25mg/L, Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)<125mg/L, Αιωρούμενα στερεά (SS)<35mg/L).

**Πίνακας 6.6:** Οι ποιοτικές παράμετροι της εκροής της ΕΕΛ Πρέβεζας (ΔΕΥΑΠ, 2013)

Παράμετρος	Περιεκτικότητα (mg/L)	Όριο της ΚΥΑ 145116/354/8-3-2011 (mg/L)
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5)	2	25
Αιωρούμενα στερεά (SS)	19 έως 21	35
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	50	125
Ολικό άζωτο (TN)	8,5	-
Ολικός φώσφορος (TP)	0,9	-
Αμμωνιακό άζωτο (NH <sub>4</sub> -N)	0.064 mg/l	-
Νιτρώδες άζωτο (NO <sub>2</sub> -N)	0.02 mg/l	-
Νιτρικό άζωτο (NO <sub>3</sub> -N)	6.36 mg/l	<5, 5 έως 30 ή >30 (αναλόγως των περιορισμών στην άρδευση)
pH	6,97	6,5 έως 8,5 (αδιάστατο)
Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> )	1649 mg/l	<100, 100 έως 350 ή >350 (αναλόγως των περιορισμών στην άρδευση)
Σίδηρος (Fe)	0 mg/l	3
Χαλκός (Cu)	0 mg/l	0,2
Ψευδάργυρος (Zn)	0.08 mg/l	2
Κάδμιο (Cd)	0 mg/l	0,01
Ολικό Χρώμιο (Cr)	0 mg/l	0,1
Νικέλιο (Ni)	0 mg/l	0,2

Μόλυβδος (Pb)	0 mg/l	0,1
Υδράργυρος (Hg)	0 mg/l	0,002
Λίπη-Έλαια	0 mg/l	-
Υδρογονάνθρακες	0 mg/l	-
Υπολειμματικό χλώριο (Cl)	0.54 mg/l	-
Ολικά κολοβακτηρίδια (TC)	10000/100ml	-
Κοπρανώδη (ή περιττωματικά) κολοβακτηρίδια (FC)	10000/100ml	-
<i>Escherichia coli</i>	0	200/100ml
Εντερόκοκκοι	1100/100ml	-
Στρεπτόκοκκοι κοπράνων	0	-

## 6.5. Κλιματολογικά δεδομένα για τη χερσόνησο της Πρέβεζας

Στην ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου της Πρέβεζας, έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν μετεωρολογικοί σταθμοί της ΕΜΥ καθώς και άλλων φορέων (λ.χ. σε Κέρκυρα, Ιωάννινα, Άρτα, Λευκάδα). Τα δεδομένα, που θα παρατεθούν στο παρόν υποκεφάλαιο της εργασίας, αποτελούν προϊόν επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων από το μετεωρολογικό σταθμό SV6GMQ (κωδικός: 16643, πλάτος: N38°57'28'', μήκος: E20°45'04'', υψόμετρο: 15m) της ΕΜΥ για την περίοδο από το έτος 1971 έως σήμερα. Ο σταθμός είναι εγκατεστημένος στο κέντρο της πόλης της Πρέβεζας σε μικρή χιλιομετρικά απόσταση (περίπου 6km) από τη ΒΙΠΕ, που αποτελεί την περιοχή μελέτης της εργασίας. Επίσης παρατίθενται στοιχεία από το τέταρτο Κεφάλαιο «Υφιστάμενη Κατάσταση Περιβάλλοντος» της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων στο πλαίσιο του έργου «Μελέτη Έργων Συλλογής, Μεταφοράς και Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Ζαλόγγου», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Περιφέρεια Ηπείρου.

Η παράθεση κλιματολογικών στοιχείων (κυρίως βροχομετρικών) στο πλαίσιο της εργασίας λαμβάνει χώρα, διότι το ύψος κατακρημνισμάτων ανά έτος και η χωροχρονική μεταβολή τους επηρεάζουν το υδραυλικό φορτίο, το οποίο με τη σειρά του διαμορφώνει τη δίαιτα των υδροφόρων συστημάτων (υπόγειες απορροές, αποθέματα νερού). Η χρονική μεταβλητότητα του υδραυλικού φορτίου αποτελεί μέτρο της ανισορροπίας μεταξύ του Τ.Ε. και της εκφόρτισης των υδροφόρων συστημάτων. Επιπλέον, το υδραυλικό φορτίο χρησιμοποιείται ως παράμετρος άμεσης μέτρησης στην αξιοποίηση των υπόγειων νερών, ενώ ταυτόχρονα σε καρστικά συστήματα και παράκτια υδροφόρα συστήματα, οι διακυμάνσεις του υδραυλικού φορτίου επενεργούν στην ποιότητα των υπόγειων νερών.

Ο Πίνακας 6.7 παρουσιάζει τα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα λειτουργίας του μετεωρολογικού σταθμού της Πρέβεζας (1971 έως 2013), ενώ ο Πίνακας 6.8 τις αντίστοιχες τιμές της περιόδου 1997 έως 2007 από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΙΓΜΕ Πρέβεζας (Υψόμετρο: 12m, N385839,3, E204433,6, X (ΕΓΣΑ'87)217669, Y (ΕΓΣΑ'87)4319049).

**Πίνακας 6.7:** Τα μηνιαία ύψη υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου της ΕΜΥ για το χρονικό διάστημα 1971-2013 (ΕΜΥ, 2013)

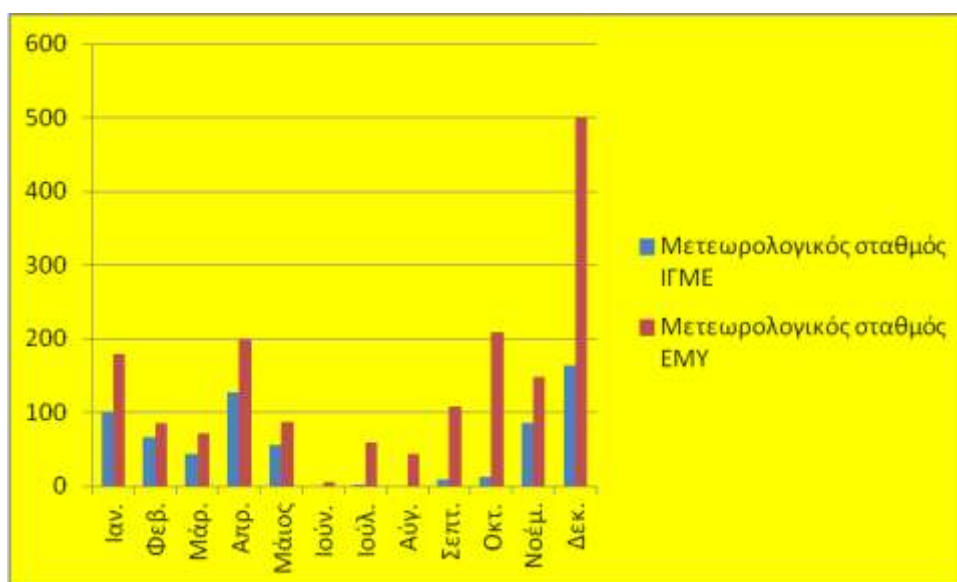
Έτος	Ιαν.	Φεβρ.	Μάρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιουλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
1971	63,8	184,8	212,1	19,3	68,1	1,6	9,5	13	90,6	119,8	196,1	98,4
1972	106,6	158,6	51,8	80,9	36,6	*	16,4	69,3	51,2	278,5	9,3	39,6
1973	184,5	203,1	210,6	46,3	3	27,1	15,9	26,1	88,8	151,2	139,9	138
1974	84,7	174,7	94,8	125,3	17,7	0,6	6,6	20,1	163,8	166,8	162,2	92,9
1975	27,4	76,9	90,4	11,7	22,5	7,8	0,7	11,1	*	240,4	97,9	54
1976	83,7	55,8	61,3	60,6	34,3	31,2	65,2	28,8	8,6	146,1	274,9	82,3
1977	85,7	55,3	13,8	35	11,6	*	0	14,8	123,5	9,2	212,6	127,7
1978	188,1	158,7	69,4	127,7	20,9	4,8	*	4	55,4	89,8	111,2	108,9
1979	107,1	180,5	54,7	98,1	54,4	17	5,6	14,1	1,4	109,2	230,9	149,3
1980	141,3	79,7	96,1	48,2	75,1	21,2	*	12	0	174,8	178,8	152
1981	87,4	113,1	35,1	34,3	52,4	3,6	*	3,6	64,6	146,5	155,5	165,4
1982	27	82,9	103,3	95,7	34,9	3	*	0	11,1	142	346,3	208,1
1983	53	74,5	54,4	8,2	17	59,8	1,2	17,2	105,6	44,7	104,3	190,5
1984	169,6	136,4	67,6	54	42,8	*	*	*	30,3	15,6	133,1	59,8
1985	220,6	41,9	105	43,6	26,7	*	*	7,3	20,3	46,8	316,8	32,9
1986	177	220,3	47,4	26,4	34,4	14,1	31	*	30,4	139,8	81,3	117,2
1987	197,7	93,5	168,4	48,1	93,9	44,5	1,6	25,7	*	58,4	336,4	62,8
1988	61,6	109	68	26,8	1,6	9,8	*	6,7	16,1	185,9	205,4	72,9
1989	0,7	21,3	20	107	74,9	12	28,4	7,2	46,8	119,3	100,5	33,9
1990	0,6	41,1	*	94,7	25,1	*	*	21,2	39,1	78,6	147	309,8
1991	37,2	160,7	46,5	102	87	7,7	27,9	0	27,1	27,6	91,3	58,4
1992	22,3	6,7	158,6	136,5	19,8	1,1	0	*	16,5	40	103,4	234,7
1993	38,6	68,8	84,9	45,6	23,9	0	*	0	34,7	20,9	233,3	127,8
1994	127,4	142,6	12	68,9	24,2	0	0	21,5	9,2	169,8	193,7	190,4
1995	214,5	43,4	104,1	32,4	9,4	0,2	2,7	70	79,7	0,6	188,7	167,7
1996	73,9	179,2	92,3	40,8	21,6	4	*	19,9	103	137,2	191,1	145,8
1997	39,6	30	38,3	85,7	1,6	6,4	0,8	6,1	3,5	83,4	124,4	270,8
1998	77,8	129,7	34,1	16,2	19,8	0,5	0	0,1	68,1	67,2	134,3	171,5
1999	85,1	251	59,6	43,4	3,1	2,2	*	5	37,1	93,5	149,3	195,9
2000	35	65	7,6	6,8	7,2	0,1	19,8	4,2	21,2	68,3	159,1	112,1
2001	100,8	66,3	44,4	128,2	56,5	*	0,5	*	8,7	12	86,1	164,4
2002	79,3	18,7	27,6	70,1	30,8	6,4	59,4	44,1	99,3	197,7	61,6	336,6
2003	216,9	93,5	33,9	37,9	36,1	6,9	*	40,9	59,4	174	81,1	125,2
2004	127,3	31,4	119,4	35,4	21,8	5,5	21,7	*	41,2	65,1	323,5	155,2
2005	167,8	146,1	88,1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2006	95,7	133,7	82,7	58,6	2,6	3,8	1,4	89	168,6	39	70,6	141,2
2007	35,2	61,6	63,1	35,7	49,9	17,7	*	*	54,2	123,2	162,2	91,3
2008	50,1	25,1	120,1	28	2,5	12,5	1,6	*	89,8	72,5	130,4	156,2
2009	284,8	123,2	147,5	84,9	7,8	54,7	*	0,8	44,3	136,6	101,6	119,1
2010	100,3	114	56,9	26,5	73,3	12,1	0,4	*	76,1	332,2	210,3	85,4
2011	71,4	52,1	79,6	26,4	48,4	17	*	*	71,9	107	*	202
2012	68,7	178,8	252,3	142,6	60,2	8,6	*	*	3	97	176	489,4
2013	444,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

**Πίνακας 6.8:** Τα μηνιαία ύψη υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του ΙΓΜΕ για το χρονικό διάστημα 1997-2007 (Νικολάου και Σμυρνώτης, 2008)

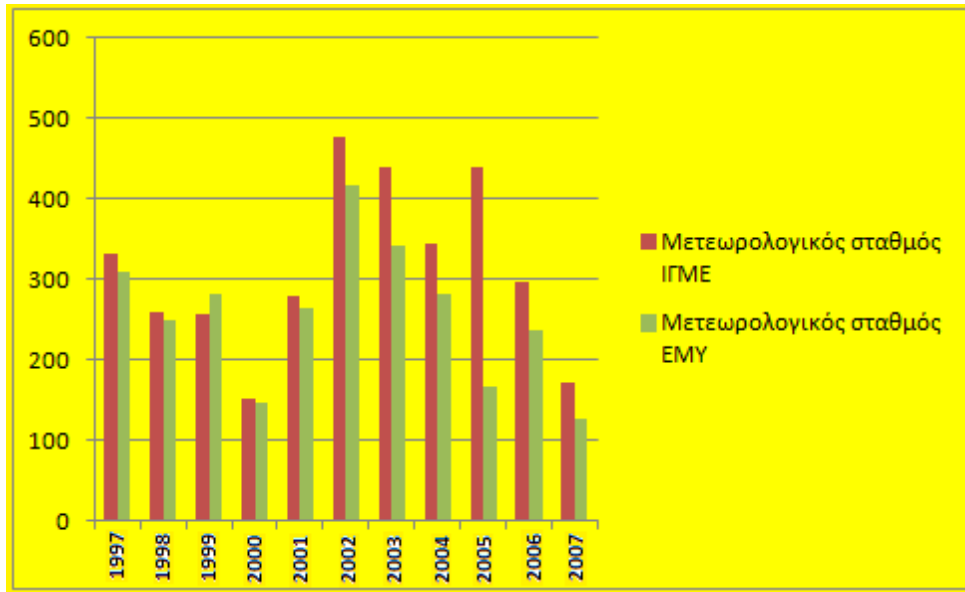
Έτος	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
1997	101,0	23,6	47,5	60,3	0	46,0	0	0	0	0	147,1	230,6
1998	74,4	156,6	0	25,4	0	0	0	0	90,0	25,7	266,3	186,0
1999	0	193,7	152,4	42,3	0	0	0	0	48,5	77,4	212,0	256,2
2000	0	102,2	21,1	14,5	0,9	0	15,3	0	25,2	94,5	200,2	150,4
2001	92,0	52,1	42,1	124,8	58,7	0	0	0	6,7	26,5	132,8	187,4
2002	141,0	20,7	24,7	85,5	12,5	17,2	32,0	43,2	90,2	198,5	68,2	335,5
2003	218,0	142,0	20,0	57,8	55,0	0	0	130,3	0	229,5	21,5	221,5
2004	135,2	37,0	136,5	41,5	18,0	25,5	0	0	63,5	77,0	252,5	210,0
2005	178,7	214,6	123,0	13,0	0	0	0	0	93,2	129,7	139,0	260,6
2006	147,6	187,0	154,3	32,5	39,5	16,0	0	56,0	89,0	13,0	159,0	150,0
2007	57,0	87,0	65,0	45,8	70,0	24,0	0	0	29,3	73,2	145,8	115,0

Τα Σχήματα 6.7 και 6.8 παρουσιάζουν συσχετίσεις του ύψους βροχόπτωσης στη χερσόνησο της Πρέβεζας από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ και του ΙΓΜΕ για το χρονικό διάστημα μεταξύ του 1997 έως του 2007.

Τα Σχήματα 6.9 και 6.10 παρουσιάζουν δεδομένα μέσου ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης, σχετικής υγρασίας και άλλων καιρικών χαρακτηριστικών στο διάστημα από το 1971 έως το 1996, ο Πίνακας 6.9 παρουσιάζει τη μηνιαία συχνότητα εμφάνισης της νηνεμίας και των ανέμων ανά κατεύθυνση, ενώ ο Πίνακας 6.10 τη θερμοκρασία και τις νεφώσεις ανά μήνα για το ίδιο χρονικό διάστημα.



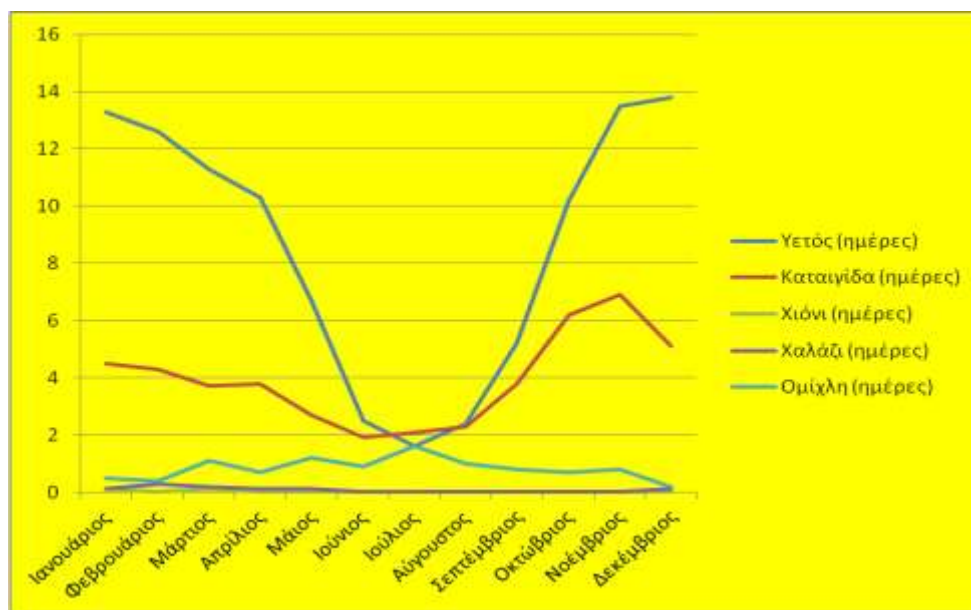
**Σχήμα 6.7:** Συσχέτιση των μηνιαίων υψών υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου της ΕΜΥ και το μετεωρολογικό σταθμό του ΙΓΜΕ για το χρονικό διάστημα 1997-2007 (Νικολάου και Σμυρνώτης, 2008, ΕΜΥ, 2013)



**Σχήμα 6.8:** Συσχέτιση των ετήσιων υψών υετού στη χερσόνησο της Πρέβεζας από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου της EMY και το μετεωρολογικό σταθμό του IGME για το χρονικό διάστημα 1997-2007 (Νικολάου και Σμυρνώτης, 2008, EMY, 2013)



**Σχήμα 6.9:** Η μηνιαία διακύμανση της σχετικής υγρασίας στη χερσόνησο της Πρέβεζας για το χρονικό διάστημα 1971-1996 (Σιαμόπουλος, 2012)



**Σχήμα 6.10:** Η μηνιαία διακύμανση διάφορων καιρικών χαρακτηριστικών στη χερσόνησο της Πρέβεζας για το χρονικό διάστημα 1971-1996 (Σιαμόπουλος, 2012)

**Πίνακας 6.9:** Η μηνιαία συχνότητα εμφάνισης (%) της νηνεμίας και του ανέμου ανά κατεύθυνση για το χρονικό διάστημα 1971-1996 (Σιαμόπουλος, 2012)

Μήνας	B	BA	A	NA	N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	Νηνεμία
Ιανουάριος	10,259	34,356	9,42	5,022	2,979	4,022	4,118	2,743	27,081
Φεβρουάριος	8,785	28,11	9,256	6,614	4,586	5,637	7,948	3,537	25,527
Μάρτιος	7,29	20,985	7,343	5,891	5,05	10,811	16,042	4,436	22,152
Απρίλιος	5,03	13,815	4,23	4,575	5,02	17,391	22,112	4,587	23,24
Μάιος	4,535	13,328	3,762	1,773	3,955	18,474	27,493	4,309	22,371
Ιούνιος	4,275	11,895	1,799	0,699	2,31	22,134	34,073	5,087	17,728
Ιούλιος	3,602	12,514	1,796	0,463	1,376	24,243	32,649	4,633	18,724
Αύγουστος	4,882	13,601	2,333	0,506	1,593	22,535	31,804	4,312	18,434
Σεπτέμβριος	5,997	16,639	3,621	1,889	2,476	17,317	28,015	4,998	19,048
Οκτώβριος	8,083	24,152	7,577	4,707	4,632	10,137	14,393	4,568	21,751
Νοέμβριος	9,11	29,987	7,988	5,044	5,034	5,255	7,054	4,509	26,019
Δεκέμβριος	10,228	37,61	8,595	5,044	3,82	3,85	3,495	2,496	24,862

**Πίνακας 6.10:** Η θερμοκρασία και οι νεφώσεις ανά μήνα για το χρονικό διάστημα 1971-1996 (Σιαμόπουλος, 2012)

Μήνας	Θερμοκρασία (°C)					Νέφωση		
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη	Απολύτως μέγιστη	Απολύτως ελάχιστη	Αραιή νέφωση 0 έως 1,5/8	Μέση νέφωση 1,6/8 έως 6,4/8	Πυκνή νέφωση 6,5/8 έως 8/8
Ιανουάριος	9,4	13,1	6,1	20,0	-3,6	6,6	17,4	7,0
Φεβρουάριος	10,2	13,8	6,5	24,4	-2,0	6,1	14,6	7,6
Μάρτιος	12,2	15,9	7,9	26,4	-1,4	6,1	19,0	5,9

Απρίλιος	15,0	18,4	10,3	28,8	3,6	5,3	19,9	4,8
Μάιος	19,0	22,5	14,0	33,0	6,2	7,9	20,7	2,4
Ιούνιος	22,8	26,2	17,5	36,2	11,0	15,5	14,2	0,3
Ιούλιος	25,0	28,7	19,5	36,4	13,8	24,1	6,8	0,1
Αύγουστος	25,4	29,4	20,0	37,4	13,0	23,9	7,0	0,1
Σεπτέμβριος	22,8	26,8	17,8	34,6	10,0	17,7	12,0	0,3
Οκτώβριος	18,8	22,8	14,6	33,0	4,4	11,4	16,6	3,0
Νοέμβριος	13,9	17,8	10,6	25,2	0,6	7,8	15,9	6,3
Δεκέμβριος	10,6	14,3	7,5	21,0	-0,6	6,6	16,5	7,8

Από τη μελέτη των πινάκων και των διαγραμμάτων, προκύπτουν συμπερασματικά οι ακόλουθες διαπιστώσεις:

✦ **Οι πλέον ξηροί μήνες στη χερσόνησο της Πρέβεζας είναι ο Ιούνιος και ο Ιούλιος (μέσα μηνιαία ύψη υετού 12,2 και 12,7mm αντίστοιχα), ενώ υγρότερος αποδεικνύεται ο Νοέμβριος (μέσο μηνιαίο ύψος υετού 162,8mm).**

✦ **Η ακραία μέγιστη τιμή βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα των 42 ετών (1971-2013) παρατηρείται το Δεκέμβριο του 2012:** Το μηνιαίο ύψος υετού το μήνα αυτό έφτασε τα 489,4mm. Αξιοσημείωτο είναι και το ύψος υετού τον Ιανουάριο του αμέσως επόμενου έτους (444,8mm).

✦ **Αξιοσημείωτα ύψη βροχής κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών σημειώνονται τον Αύγουστο:** Τα έτη 1972 και 1975 έχουν καταγραφεί ύψη υετού περίπου 70mm, ενώ το έτος 2006 το ύψος βροχόπτωσης ανήλθε στα 89mm.

✦ **Η υγρασία κυμαίνεται από 69,4% έως 74,8% κατά τη διάρκεια του έτους.**

✦ **Οι χιονοπτώσεις εμφανίζονται με πολύ χαμηλή συχνότητα, ενώ συνήθως παρατηρούνται από τον Ιανουάριο έως το Μάρτιο.**

✦ **Οι χαλαζοπτώσεις έχουν επίσης πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης.**

✦ **Επικρατούν οι Βορειοανατολικοί και οι Δυτικοί άνεμοι μέτριας έντασης (2 έως 4Beaufort) με συχνότητα εμφάνισης 21,4% και 19,7% αντίστοιχα.**

✦ **Η νηνεμία εμφανίζεται αρκετά συχνά (22,16%).**

✦ **Η θερμοκρασία δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις με μέσο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος 16°C. Θερμότερος μήνας αποδεικνύεται ο Αύγουστος (25,4°C) και ψυχρότερος ο Ιανουάριος (9,4°C).**

Τα συμπεράσματα αυτά αποτελούν θεμελιώδεις παρατηρήσεις για την εκτίμηση των διακυμάνσεων των τιμών φυσικού εμπλουτισμού των περιοχών, στην έκταση των οποίων αναπτύσσονται τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα, που εξετάζονται στη διατριβή.

## 6.6. Ενδεικτική πρόταση εγκατάστασης συστήματος SAT στη ΒΙΠΕ Πρέβεζας

Ο αρχικός σχεδιασμός ενός ενδεικτικού πιλοτικού συστήματος SAT στη χερσόνησο της Πρέβεζας προϋποθέτει σε πρώτη φάση την επιλογή της πλέον κατάλληλης θέσης εγκατάστασης του προτεινόμενου έργου. Τα βασικότερα κριτήρια τα οποία συνυπολογίζονται για τη λήψη της σχετικής απόφασης είναι εδαφοτεχνικά (λ.χ. ήπιες κλίσεις εδαφικής επιφάνειας), υδρογεωλογικά (όπως

ακόρεστη ζώνη ικανού πάχους κάτω από τον πυθμένα των λεκανών Τ.Ε.), αλλά και οικονομικά. Ο οικονομικός παράγοντας πολλές φορές αποδεικνύεται και καθοριστικός για την υλοποίηση του έργου, διότι το κόστος απαλλοτρίωσης, που πιθανόν να απαιτηθεί για την εξασφάλιση επαρκούς έκτασης δημόσιας και ιδιωτικής γης για τη χωροθέτηση των λεκανών διήθησης, πιθανόν να κρίνεται απαγορευτικό. Επιπροσθέτως, το οικονομικό κόστος μεταφοράς της επεξεργασμένης εκροής της ΕΕΛ, που θα αξιοποιηθεί ως νερό Τ.Ε., οφείλει να είναι συμφέρον επιδιώκοντας η θέση εγκατάστασης του συστήματος Τ.Ε. να βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τη ΜΕΛ (Ντελή-Ιμπραχίμ, 2012). Αναφορικά με το κριτήριο της ύπαρξης ακόρεστης ζώνης κατάλληλου πάχους υποκείμενης των λεκανών Τ.Ε., οι κανονισμοί της Πολιτείας της Καλιφόρνια και των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής προτείνουν το βάθος της στάθμης του φρεάτιου υδροφόρου συστήματος να είναι κατ' ελάχιστο 3m κάτω από τον πυθμένα των λεκανών. Κατά τον τρόπο αυτό, πραγματοποιούνται όλες οι απαραίτητες (φυσικές, χημικές, βιολογικές) διεργασίες επεξεργασίας του νερού υποβαθμισμένης ποιότητας, που αξιοποιείται ως νερό Τ.Ε. και απομακρύνονται οι περιεχόμενοι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Εξάιρεση στην απαίτηση της ύπαρξης ακόρεστης ζώνης ελάχιστου πάχους 3m αποτελούν τα bank infiltration systems, όπως στην Ολλανδία και την Ουγγαρία, στα οποία οι απαιτούμενες διεργασίες λαμβάνουν χώρα ελεγχόμενα κάτω από τη στάθμη των υπόγειων νερών (Επίσημος δικτυακός τόπος της IGRAC). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από μια διάταξη γεωτρήσεων σε μικρή απόσταση και παράλληλα με την κοίτη ενός επιφανειακού υδατορεύματος. Η άντληση των γεωτρήσεων αυτών ταπεινώνει τη στάθμη του νερού κοντά στο υδατόρευμα εξαναγκάζοντας το νερό να εισέλθει στο υδροφόρο σύστημα, το οποίο βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με το υδατόρευμα. Η δίοδος του νερού από το σύστημα κοίτη ποταμού-υδροφόρο σύστημα απομακρύνει τους διαλυμένους και αιωρούμενους ρυπαντές, καθώς επίσης και τα ανεπιθύμητα μικρόβια από το νερό, μέσω παρόμοιων διεργασιών με αυτών που συντελούνται στην περίπτωση των συστημάτων SAT.

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, προτείνεται η εγκατάσταση δύο συστημάτων SAT-το ένα εκ' των δύο εφεδρικό-ούτως ώστε να μην ανακόπτεται ο Τ.Ε. των υπόγειων νερών σε περιπτώσεις βλάβης ή εργασιών συντήρησης και καθαρισμού στο ένα σύστημα. Συγκεκριμένα, το πρώτο σύστημα προτείνεται ενδεικτικά να εγκατασταθεί νοτιοδυτικά της ΕΕΛ Πρέβεζας σε απόσταση περίπου 300m από αυτή και πλησίον των γεωτρήσεων Γ1, Γ5 και Γ6, ενώ η εφεδρική εγκατάσταση προτείνεται να χωροθετηθεί δυτικά του βιολογικού καθαρισμού σε απόσταση περίπου 1km από αυτόν και πλησίον των γεωτρήσεων 19, 20 και 21 (Σχήμα 6.11) συνεκτιμώντας:

✦ **Τα στοιχεία του Πίνακα 6.2 όσον αφορά στη στάθμη του φρεάτιου υδροφόρου συστήματος στην περιοχή ενδιαφέροντος:** Οι γεωτρήσεις 1,5,6, 19, 20, και 21, στις οποίες τα υπόγεια νερά κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου συναντώνται σε βάθος 3,35, 4,51, 4,70, 7,53, 3,19, και 4,57 αντίστοιχα ικανοποιούν την απαίτηση ύπαρξης ακόρεστης ζώνης ελάχιστου πάχους 3m.

✦ **Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της χερσονήσου της Πρέβεζας:** Από τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα 6.3) παρατηρείται ότι η υποψήφια περιοχή εγκατάστασης των δύο συστημάτων (δηλ. οι γεωτρήσεις 1, 5, 6, 19, 20, 21) βρίσκεται σε περιβάλλον αποθέσεων του Μέσου-ανώτερου Πλειόκαινου, όπου



επικρατούν ιλυώδεις αμμούχοι άργιλοι, άργιλοι, λεπτόκοκκες κιτρινωπές άμμοι, χάλικες και μάργες, δηλαδή κατάλληλο εδαφικό υλικό, ώστε να εξασφαλίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός διήθησης του νερού Τ.Ε. προς το υδροφόρο σύστημα (5mm/hr). Επιπροσθέτως, οι ήπιες κλίσεις της εδαφικής επιφάνειας (<5%), οι οποίες διαμορφώνουν μια σχεδόν οριζόντια έκταση, μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη ενός συστήματος SAT.



**Σχήμα 6.11:** Θέση των επιλεγόμενων γεωτρήσεων σε σχέση με την ΕΕΛ Πρέβεζας

Συγκεκριμώντας:

✦ **Τη διεθνή βιβλιογραφία:** Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας περιγράφηκαν οι σημαντικότερες μέθοδοι Τ.Ε., τα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ανά την υφήλιο, αλλά και παρατέθηκαν οι προδιαγραφές των διεθνών κανονισμών σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας σε έργα Τ.Ε. των υπόγειων νερών,

✦ **Την προϋπάρχουσα εμπειρία από την εφαρμογή συστημάτων SAT ανά τον κόσμο:** Στο Υποκεφάλαιο 5.1. της εργασίας περιγράφηκαν εν συντομία μερικά έργα Τ.Ε. που έχουν υλοποιηθεί στην Ελλάδα, αλλά και στο εξωτερικό,

✦ **Την εμπειρία του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης (που αποτελεί το προηγούμενο ίδρυμα σπουδών μου) σε θέματα Τ.Ε. των υπόγειων νερών (Πλιάκας, 1998, Πλιάκας και Διαμαντής, 1998, Πλιάκας κ.α., 1999 και 2001, Ρλιάκας et al, 2001, 2003, 2005 και 2011),**

✦ **Το μαθηματικό τύπο προκαταρκτικής διαστασιολόγησης των λεκανών διήθησης (Υποκεφάλαιο 6.1.):** Λαμβάνοντας ως ενδεικτική υδραυλική αγωγιμότητα για την περιοχή ενδιαφέροντος την τιμή των  $I=1,5\text{m}/\text{ημέρα}$ , δηλαδή μια τιμή που αντιστοιχεί στις λεπτόκοκκες άμμοις (Πίνακας 5.1), αλλά και μέση ημερήσια παροχή εξόδου της ΕΕΛ την τιμή των  $Q=7000\text{m}^3$ , τότε σε μια πολύ γενική πρώτη προσέγγιση, η ελάχιστη απαιτούμενη εδαφική επιφάνεια για την εγκατάσταση των λεκανών Τ.Ε. υπολογίζεται περίπου σε  $A=7000/1,5\text{m}^2= 4700\text{m}^2$  ( $I=Q/A$ ). Όπως έχει προαναφερθεί (Κεφάλαιο V), το ύψωμα Τ.Ε. οφείλει να διατηρείται χαμηλότερα από

τον πυθμένα των δεξαμενών διήθησης ώστε να μην ελαττώνει το ρυθμό κατείδυσης του νερού στο υδροφόρο σύστημα. Για το λόγο αυτό προτιμώνται διαδοχικές λεκάνες ή μια διαμήκης στενή λεκάνη σε σχέση με τις τετράγωνες ή κυκλικές ίδιας εδαφικής κάλυψης και ίδιου υδραυλικού φορτίου, οι οποίες διαμορφώνουν υψηλά υβώματα. Τέλος, κατασκευάζονται συνήθως ρηχές λεκάνες με βάθος νερού περίπου 0,5m, ώστε να αποφεύγεται η απόφραξη των εδαφικών πόρων του πυθμένα τους,

Προτείνεται το κάθε έργο T.E. (A SAT, B SAT) στη χερσόνησο της Πρέβεζας για την αντιμετώπιση της υφαλμύρισης να συνίστανται από (Σχήμα 6.14):

**Την κατασκευή στεγανής δεξαμενής καθαρών, η οποία θα υποδέχεται τα ανακτημένα απόβλητα από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού και η οποία οφείλει να διαστασιοποιηθεί με κατάλληλη υδραυλική μελέτη (διαστάσεις πυθμένα, βάθος, χωρητικότητα).**

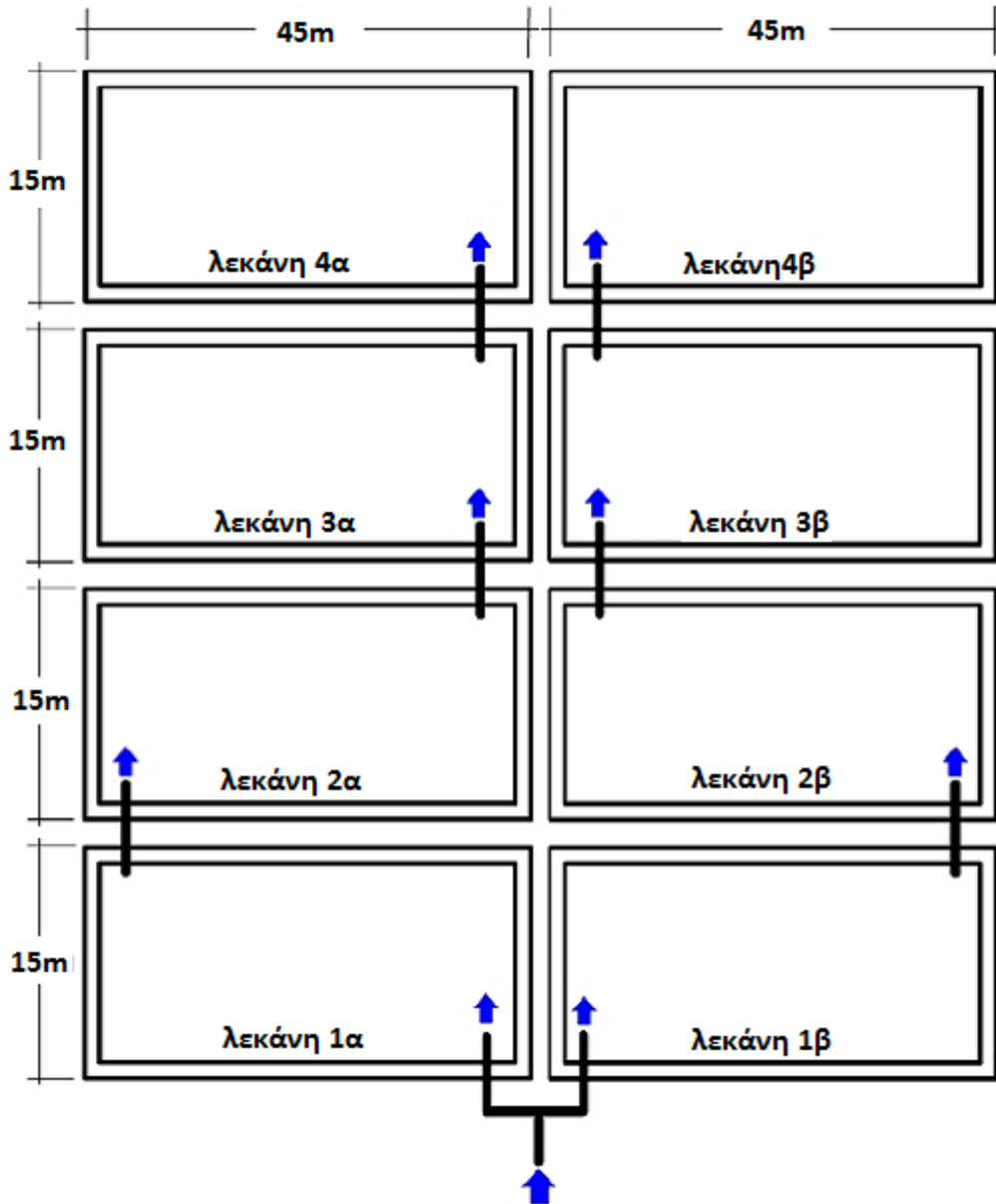
✦ **Εκσκαπτικές εργασίες για τη διαμόρφωση 2 συστημάτων ρηχών λεκανών T.E. 1 και 2, με 4 επιμήκεις λεκάνες το καθένα με προτεινόμενες διαστάσεις επιφάνειας 15m×45m και βάθους από 50 έως 80cm:** Οι προτεινόμενες διαστάσεις αντιστοιχούν σε υπερδιαστασιοποιημένα συστήματα SAT, διότι συνολικά μπορούν να υποδεχθούν 10400m<sup>2</sup> (5400m<sup>2</sup> ανά σύστημα) σε σχέση με τα 4700m<sup>2</sup> που οφείλει να υποδέχεται το κάθε σύστημα T.E. και έχουν προκύψει από τους υπολογισμούς. Επειδή διανύουμε ως χώρα περίοδο οικονομικής κρίσης, οι διαστάσεις επιφάνειας των λεκανών διήθησης μπορούν να περιοριστούν έως τα 15×40m. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το κάθε σύστημα T.E. μπορεί να υποδεχτεί 4800m<sup>2</sup>.

✦ **Επίστρωση του πυθμένα των λεκανών με χαλίκι ή μεσόκοκκη άμμο διαμορφώνοντας στρώση πάχους 0,10 έως 0,20cm.**

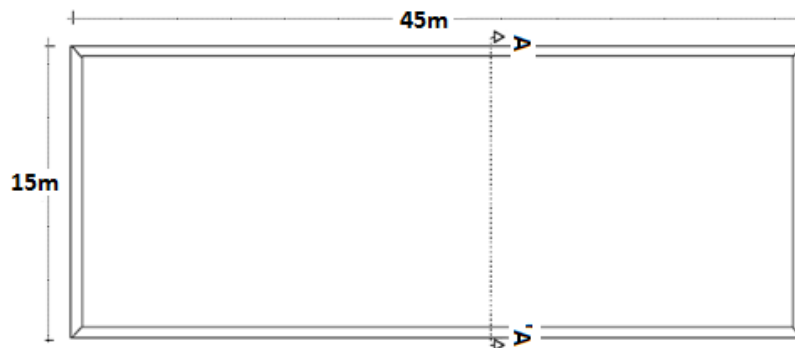
✦ **Τη σύνδεση της δεξαμενής με τις λεκάνες, αλλά και τις λεκάνες που απαρτίζουν το κάθε ένα από τα δύο συστήματα μεταξύ τους μέσω αγωγών για τη διοχέτευση του νερού.**

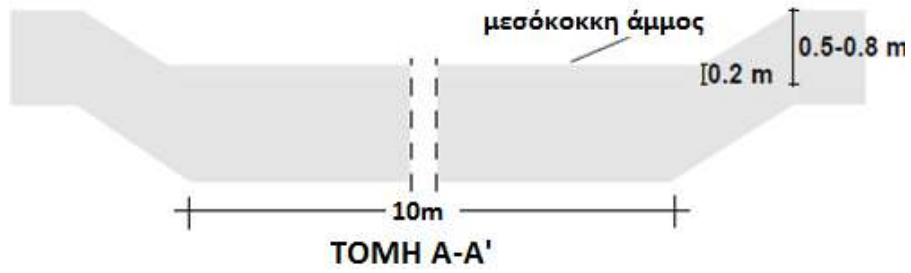
✦ **Την ανόρυξη γεωτρήσεων και εγκατάσταση πιεζομέτρων για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας του T.E. τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.**

Το Σχήμα 6.12 παρουσιάζει ένα σκαρίφημα διάταξης και διαστάσεων του προτεινόμενου συστήματος SAT, το Σχήμα 6.13 την κάτοψη και τομή μιας λεκάνης T.E. του συστήματος, ενώ το Σχήμα 6.14 χάρτη με τις υποψήφιες θέσεις T.E. (A και B) σε υπόβαθρο Google Earth 2012.



Σχήμα 6.12: Σκαρίφημα διάταξης και διαστάσεων του ενδεικτικά προτεινόμενου συστήματος SAT





**Σχήμα 6.13:** Κάτοψη και τομή μιας λεκάνης διήθησης του προτεινόμενου συστήματος SAT



**Σχήμα 6.14:** Οι υποψήφιες θέσεις εγκατάστασης των προτεινόμενων στο πλαίσιο της εργασίας συστημάτων SAT σε υπόβαθρο Google Earth 2012

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII: Συμπεράσματα-Διαχειριστικές προτάσεις

Στην εποχή μας, η γενικευμένη ρύπανση του περιβάλλοντος, η αξιοσημείωτη μείωση των φυσικών πόρων, οι δυσμενείς εξελίξεις στο κλίμα, τα οικονομικά, κοινωνικά και παραγωγικά αδιέξοδα, η παραγωγή τεχνικών έργων σε πλαίσιο διαπλεκόμενων συμφερόντων στους σχετικούς μειοδοτικούς διαγωνισμούς, ο ανελέης ανταγωνισμός στα πεδία της παιδείας, της επιστήμης, της έρευνας, της τεχνολογίας που αντικαθιστά τη δημιουργική άμιλλα-προβλήματα τα οποία επισημαίνονται σε συνέδρια, ημερίδες, επιστημονικές ανακοινώσεις, θέσεις παγκόσμιων φορέων κ.α.-αναδεικνύουν επιτακτικά την ανάγκη διαφοροποίησης του στρεβλού έως τώρα μοντέλου ανάπτυξης και διαμόρφωσης μιας κοινά αποδεκτής διεπιστημονικής και ολοκληρωμένης θεωρίας για την «ανάπτυξη». Η θεωρία αυτή οφείλει να συνάδει με την πολυδιάστατη και ολοκληρωμένη φύση της φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας την οποία η «ανάπτυξη» καλείται να επηρεάσει «θετικά» σε όλα τα επίπεδα (Ρόκος, 2005, Δεληγιάννης, 2011).

Υπό το πρίσμα της επιδίωξης μιας ολοκληρωμένης ανάπτυξης ως μιας νέας «καλύτερης» ισορροπίας κοινωνικών και ανθρώπινων σχέσεων και συστημάτων χρήσεων γης, παραγωγής, απασχόλησης, διανομής και κατανάλωσης, σύμφωνα με τις αξίες και τις επιλογές των δυνάμεων που βρίσκονται στην εξουσία, όπως αυτές συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν στο φυσικό περιβάλλον με τη συγκεκριμένη κάθε φορά κοινωνική δυναμική και τη μέση κοινωνική συνείδηση (Ρόκος, 2005), η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση αποτελούν βασικές μορφές διαχείρισης φυσικών διαθεσίμων και το νερό δεν είναι δυνατό να εξαιρεθεί από αυτές.

Η επαναχρησιμοποίηση νερού υποβαθμισμένης ποιότητας από ΕΕΛ ως νερού Τ.Ε. προωθείται τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η διαρκής παραγωγή υγρών αποβλήτων ισοδυναμεί με μια διαρκή πηγή νερού, η οποία πιθανόν να καλύψει κάθε είδους υδατικής κατανάλωσης (αρδευτική, βιομηχανική, τουριστική, ακόμη και υδρευτική υπό αυστηρές συνθήκες). Η ελάχιστη ικανή ποσότητα για την επίτευξη μιας άνετης διαβίωσης εκτιμάται στο επίπεδο των 2000m<sup>3</sup> ανά άτομο ανά έτος (Postel, 1992 και 1993), ενώ η κρίσιμη τιμή ετήσιας παροχής γλυκού νερού ανά άτομο ανέρχεται στα 1000m<sup>3</sup> (Falkenmark και Lindh, 1993). Ο Τ.Ε. των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορες μεθόδους, οι οποίες περιλαμβάνουν την κατασκευή τεχνικών έργων, την κατάκλυση με νερό ή τη μεταβολή των φυσικών συνθηκών της περιοχής ενδιαφέροντος και αποτελεί ουσιώδη τεχνική ενίσχυσης της φυσικής τροφοδότησης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με επιφανειακά νερά και κατά συνέπεια δελεαστική πρόταση στην αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας και της υφαλμύρισης.

Τα συστήματα SAT αποτελούν την πλέον διαδεδομένη μέθοδο Τ.Ε., η οποία αξιοποιεί ανακτημένα υγρά απόβλητα. Στα συστήματα αυτά, η θωράκιση των ποιοτικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και των πηγών πόσιμου νερού ενάντια στην προσβολή τους με νερά ακατάλληλης ποιότητας μπορεί να εξασφαλιστεί με τη σχεδιασμένη άντληση του νερού Τ.Ε. από το υδροφόρο σύστημα μέσω γεωτρήσεων, των οποίων η θέση έχει προκαθοριστεί.

Όσον αφορά τις ωφέλειες ή τις επιζήμιες επιπτώσεις που μπορεί να ανακύψουν στις περιπτώσεις Τ.Ε. με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, η αποτίμηση καθορίζεται πρωτίστως από την προέλευση των αποβλήτων, δηλαδή την παροχή τους και κυρίως το βαθμό καθαρισμού που αυτά έχουν υποστεί. Η τριτοβάθμια εκροή δεσπόζει ως η ιδανικότερη πηγή νερού Τ.Ε. σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες αποβλήτων. Βέβαια, το οικονομικό κόστος, που σχετίζεται με τα συστήματα τριτοβάθμιου καθαρισμού, κρίνεται αποθαρρυντικός παράγοντας για τη χρήση της ανάλογης εκροής.

Επιπλέον, ρυθμιστική παράμετρο για την ομαλή διεξαγωγή του Τ.Ε. αποτελεί το είδος του εδάφους. Το πλέον κατάλληλο εδαφικό προφίλ οφείλει να προσδιορίζεται από υψηλή διηθητική ικανότητα και σημαντική ικανότητα συγκράτησης ανεπιθύμητων συστατικών-ρυπαντών.

Σε σχέση με τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία, οι αρνητικές επιπτώσεις από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν εμφανίζονται αυξημένες σε σχέση με αυτές εξαιτίας της χρήσης νερού υφιστάμενων πηγών. Περιοριστικό σχετικό παράγοντα αποτελεί μόνο το γεγονός ότι ορισμένες χημικές ουσίες δεν συνεκτιμώνται στον προσδιορισμό της ποιότητας του πόσιμου νερού.

Στην Ελλάδα, η ΚΥΑ 145116, η οποία θέτει τις βάσεις για την προώθηση της ασφαλούς αξιοποίησης των εκροών ΕΕΛ, ανακαλεί τη μέχρι τις μέρες μας έλλειψη ενός ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου.

Η εργασία επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης της εκροής του βιολογικού καθαρισμού Πρέβεζας για τον Τ.Ε. του υπόγειου υδροφόρου συστήματος στη χερσόνησο της Πρέβεζας. Η ΕΕΛ λειτουργεί από το 2001 στη ΒΙΠΕ Πρέβεζας και μέχρι σήμερα η δευτεροβάθμια εκροή της διατίθεται ελεύθερα στη θάλασσα του Ιονίου Πελάγους μέσω αποχετευτικού αγωγού. Η πρόταση, που παρουσιάζεται στην εργασία, είναι η διοχέτευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε δύο συστήματα λεκανών διήθησης (το ένα εξ' αυτών εφεδρικό) για την προστασία του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της περιοχής από την υφαλμύριση. Η προδιαστασιολόγηση των προτεινόμενων συστημάτων συνεκτιμά τις προδιαγραφές της ελληνικής ΚΥΑ με τίτλο «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις - ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5», καθώς και τους κανονισμούς, οδηγίες, συστάσεις, προτάσεις και προδιαγραφές διεθνών υπηρεσιών, οργανισμών, επιτροπών κ.α. Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης εγκατάστασης των δύο εγκαταστάσεων Τ.Ε. βασίστηκε στα ακόλουθα γενικά κριτήρια, τα οποία εφαρμόζονται στις περιπτώσεις πιλοτικών συστημάτων SAT:

- **Κατάλληλη υδρογεωλογία.**
- **Ελάχιστο αποδεκτό βάθος ακόρεστης ζώνης 3m.**
- **Ελάχιστος αποδεκτός ρυθμός διήθησης του νερού Τ.Ε. στην ακόρεστη ζώνη περίπου 5mm/hr.**
- **Μικρή κλίση της εδαφικής επιφάνειας (<5%).**

Η σωστή και απρόσκοπτη λειτουργία των συστημάτων οφείλει να συνάδει με συγκεκριμένες διαχειριστικές προτάσεις, οι οποίες θα πρέπει να εφαρμοστούν στην περίπτωση του ενδεχόμενου σχεδιασμού μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων και πιο ειδικά του υπόγειου δυναμικού της περιοχής μελέτης (Στεργίου, 2009, Πλιάκας, 2012):

✦ Υδραυλική-διαχειριστική μελέτη, με την οποία θα ορισθεί το ποσοστό της εκροής που προορίζεται για τον Τ.Ε. του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της χερσονήσου της Πρέβεζας και το αντίστοιχο που προορίζεται για άρδευση καλλιεργειών, στην περίπτωση κατά την οποία ο σχεδιασμός προβλέπει επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων αποβλήτων για τις δύο χρήσεις.

✦ Ολοκληρωμένη μελέτη σκοπιμότητας της εφαρμογής Τ.Ε. του υπόγειου υδροφόρου συστήματος με σύστημα SAT αξιοποιώντας την εκροή του βιολογικού καθαρισμού Πρέβεζας.

✦ Επιλογή τελικής θέσης των λεκανών διήθησης συνυπολογίζοντας εδαφοτεχνικά, υδραυλικά, υδρογεωλογικά, οικονομοτεχνικά και κοινωνικά κριτήρια και κατόπιν επιλύσεως ζητημάτων που αφορούν σε απαλλοτριώσεις ιδιωτικών εκτάσεων για την εξασφάλιση επαρκούς έκτασης εγκατάστασης των σχετικών έργων και που πιθανόν να ανακύψουν.

✦ Διεξοδική και συστηματική διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα της περιοχής χωροθέτησης των έργων Τ.Ε. και λεπτομερής γεωτεχνική μελέτη (λ.χ. στρωματογραφία, μηχανικές παράμετροι, υδραυλική αγωγιμότητα) του εδαφικού υλικού της ακόρεστης ζώνης του υδροφόρου συστήματος, το οποίο υπόκειται των λεκανών διήθησης.

✦ Υδρολογική μελέτη στην ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου της Πρέβεζας και προσδιορισμός του ισοζυγίου των επιφανειακών και των υπόγειων νερών.

✦ Μεθοδικός και τακτικός (1 έως 2 φορές σε εβδομαδιαία βάση) έλεγχος των σχετικών με τις εργασίες Τ.Ε. ποιοτικών χαρακτήρων (Αιωρούμενα στερεά (SS), Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), Δείκτης SAR, Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC), Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), Παθογόνοι μικροοργανισμοί, Οργανικές ενώσεις, Βαρέα μέταλλα, Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), Θρεπτικά συστατικά (N, P) κ.ο.κ.) της εκροής του βιολογικού καθαρισμού της Πρέβεζας, ώστε να ικανοποιούνται τα θεσμοθετημένα κριτήρια της Ελλάδας και άλλων χωρών, οι οδηγίες-διατάξεις οργανισμών και φορέων, τα πρότυπα της διεθνούς βιβλιογραφίας και λαμβάνοντας υπόψη τη διεθνή εμπειρία από αντίστοιχες εφαρμογές ανά τον κόσμο.

✦ Καθημερινός έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και της συγκέντρωσης βιομάζας στις δεξαμενές αερισμού, της καθιζησιμότητας της ιλύος, του δείκτη SVI, της πυκνότητας της ιλύος, αφού υποστεί πάχυνση και αφυδάτωση, τόσο με αυτόματους μετρητές όσο και με δειγματοληψίες (έλεγχος της ορθής λειτουργίας των οργάνων).

✦ Σχεδιασμός και έλεγχος της λειτουργίας πιλοτικού συστήματος λεκανών διήθησης.

✦ Ιχνηθέτηση του χρησιμοποιούμενου νερού Τ.Ε. με κατάλληλους ιχνηθέτες (λ.χ. ραδιοϊσότοπο τρίτιο) αξιολογώντας ανάλογες τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί σε ανάλογες εφαρμογές, ώστε να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά και το δυναμικό στο χώρο και το χρόνο καθεστώς των υπόγειων νερών.

✦ Αποτίμηση της αποτελεσματικότητας του πιλοτικού έργου.

✦ Υδρογεωλογική διερεύνηση της διαδρομής της χρησιμοποιούμενης εκροής με κατάλληλους ιχνηθέτες (λ.χ. ισότοπα).

✦ Εγκατάσταση νέου δικτύου γεωτρήσεων παρακολούθησης ή επιλογή κατάλληλων υφιστάμενων γεωτρήσεων για την παρακολούθηση των εμπλουτισμένων νερών.

- Καθορισμός των κατάλληλων ποιοτικών χαρακτηριστικών των ανανεωμένων νερών τα οποία θα ελέγχονται.
- Εργασίες συντήρησης των έργων Τ.Ε., όπως η αντιμετώπιση του φαινομένου απόφραξης των εδαφικών πόρων.
- Καθορισμός των χρήσεων (λ.χ. άρδευση εκτάσεων, πυρόσβεση, καθαρισμός οδών και πεζοδρομίων, βιομηχανική χρήση ως νερό ψύξης, συντήρηση πάρκων, πρανών αυτοκινητόδρομων, συντριβανιών, εγκαταστάσεων αναψυχής κ.ο.κ.) των ανανεωμένων νερών με διερεύνηση του αποκλεισμού της αξιοποίησης ποσοτήτων για ύδρευση.
- Πρόταση εφαρμογής μόνιμων εγκαταστάσεων Τ.Ε.
- Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων των συστημάτων Τ.Ε. και των συνοδών τεχνικών παρεμβάσεων στη χερσόνησο της Πρέβεζας.
- Διαβούλευση, η οποία να εξασφαλίζει τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων, με στόχο τη διερεύνηση ενδεχόμενων κοινωνικών αντιδράσεων αναφορικά με την αποδοχή των χρήσεων των ανανεωμένων νερών.
- Λήψη των απαραίτητων μέτρων προστασίας στους χώρους των σχετικών εγκαταστάσεων.
- Πιθανή εφαρμογή μεθόδων απορρύπανσης (Παράρτημα Δ): Η ευρύτερη περιοχή, όπου προτείνεται ενδεικτικά η εγκατάσταση των συστημάτων SAT, κρίνεται ευάλωτη σε νιτρορύπανση (Κεφάλαιο 6). Προς αποφυγή της έκλυσης ανεπιθύμητων συστατικών στα υπόγεια νερά, αφού εφαρμοστεί το νερό Τ.Ε., πιθανόν να απαιτείται η εφαρμογή μεθόδων απορρύπανσης του εδάφους.



## Παράρτημα Α

Το κύριο πρόβλημα των συστημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για τον Τ.Ε. των υπόγειων νερών είναι η απόφραξη των πόρων της επιφάνειας διηθήσεως (πυθμένας λεκάνης, τοιχώματα τάφρων, διεπιφάνειες μεταξύ γεωτρήσεων Τ.Ε. και υδροφόρου συστήματος). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μείωση του ρυθμού διείσδυσης του νερού Τ.Ε. στα υπόγεια νερά (Bouwer, 2002).

Το νερό Τ.Ε. οφείλει να έχει υποστεί επεξεργασία στη λεκάνη κατακράτησης του ιζήματος, ώστε να μην περιέχει αιωρούμενα στερεά (SS) και να παρεμποδίζεται η απόφραξη των εδαφικών πόρων (Muckel, 1959, Schiff, 1955, Oaksford, 1985). Κατά τους Huismann και Olsthoorn (1983), η πλήρωση των εδαφικών πόρων οφείλεται σε φυσικές, βιολογικές και χημικές διεργασίες οι οποίες περιλαμβάνουν (Bouwer, 2002, Διαμαντής και Πλιάκας, 2012):

- ✦ **Τη συσσώρευση αιωρούμενων στερεών (SS) στους πόρους του υδροφόρου συστήματος:** Ο πηλός, τα σωματίδια λάσπης, τα κύτταρα φυκών και μικροοργανισμών, καθώς και οι βιοκροκίδες ιλύος, που περιέχονται στα υγρά απόβλητα, πληρώνουν τους εδαφικούς πόρους μέσω φυσικής διεργασίας.

- ✦ **Την καθίζηση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) που προέρχονται από αργιλικούς σχηματισμούς:** Η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) σε ένα ορισμένο βάθος, δημιουργεί μια λεπτή υπόγεια αποφρακτική στρώση πάχους μερικών mm (λ.χ. βιοφίλμ, λεπτή άργιλος, στρώσεις λάσπης) έως dm (ιζηματογενείς αποθέσεις). Η φυσική καθίζηση και συγκέντρωση των στερεών αυτών αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία ως φαινόμενο «wash out-wash in». Η χημική καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ), της γύψου ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), του φωσφορικού άλατος και άλλων χημικών ενώσεων προκαλείται από αύξηση του pH. Η αύξηση αυτή με τη σειρά της οφείλεται στη δράση αλγών, τα οποία αφαιρούν το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) από το νερό για να μπορέσουν να φωτοσυνθέσουν.

- ✦ **Τη βιολογική συσσωμάτωση αποσαθρωμένου εδάφους όταν το νερό Τ.Ε. δεν είναι κατάλληλης ποιότητας.**

- ✦ **Τη βιολογική ανάπτυξη αλγών και βακτηρίων στο νερό Τ.Ε. ή την επιφάνεια διήθησης όταν περιέχεται υψηλό ποσοστό θρεπτικών ουσιών (N, P) στο νερό Τ.Ε.**

- ✦ **Την ανάπτυξη αερίων ή τη μεταφορά τους από τη ροή καθώς το νερό διέρχεται μέσω των διάκενων:** Τα βακτήρια, που είτε προϋπάρχουν στο νερό Τ.Ε. είτε σχηματίζονται αφού αυτό διατεθεί σε ένα σύστημα Τ.Ε., είναι υπεύθυνα και για την παραγωγή ορισμένων αερίων, όπως το άζωτο (N) και το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), τα οποία πληρώνουν τους εδαφικούς πόρους, ενώ παράλληλα συσσωρεύονται κάτω από τις αποφρακτικές στρώσεις δημιουργώντας ένα επιπλέον εμπόδιο στη διήθηση του νερού Τ.Ε. Επίσης, σχηματισμός αερίων λαμβάνει χώρα κάτω από λεκάνες διήθησης, σε τάφρους και σε πηγάδια, όταν το νερό Τ.Ε. περιέχει διαλυμένο ή εγκλωβισμένο αέρα ή (και) όταν αυτό είναι ψυχρότερο από το υδροφόρο σύστημα. Σε αυτήν την περίπτωση, το νερό Τ.Ε. θερμαίνεται με τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία αέρα, ο οποίος μειώνει την υδραυλική αγωγιμότητα. Τέλος, παραγωγή αέρα μπορεί να εμφανιστεί σε περιπτώσεις όπου μειώνεται η πίεση του νερού Τ.Ε.

Σε γενικές γραμμές η απόφραξη των εδαφικών πόρων λόγω βιολογικών διεργασιών είναι εντονότερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Επιπροσθέτως, η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει καίρια τις εργασίες Τ.Ε., επειδή ρυθμίζει το ιξώδες του νερού Τ.Ε. Είναι γνωστό πως η ταχύτητα διήθησης του νερού Τ.Ε. είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ιξώδες αυτού. Κατ' αυτόν τον τρόπο, σε περιοχές όπου παρατηρείται σημαντικό θερμοκρασιακό εύρος (μεταξύ χειμώνα και θέρους) υφίστανται ανάλογες μεταβολές του ρυθμού διήθησης. Το χειμώνα παρατηρείται μικρότερος ρυθμός (περίπου ο μισός) από τον αντίστοιχο του καλοκαιριού. Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός ενός συστήματος Τ.Ε. με συγκεκριμένη χωρητικότητα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την τιμή του ιξώδους που επικρατεί κατά την χειμερινή περίοδο.

Η ακριβής επίδραση των παραγόντων που προαναφέρθηκαν στο ρυθμό διήθησης του νερού Τ.Ε. είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προσδιορισθεί επακριβώς. Για το λόγο αυτό, συχνά εγκαθίσταται ένα πιλοτικό σύστημα ενός δικτύου λεκανών διήθησης (20X20m τουλάχιστον για ένα χρόνο).

Το φαινόμενο της απόφραξης εμφανίζεται με υψηλότερη συχνότητα σε εφαρμογές των λεκανών κατάκλισης για αγροτική χρήση και λιγότερο για αστική. Στην τελευταία περίπτωση, χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα νερού Τ.Ε., το οποίο συνήθως έχει υποστεί υψηλή επεξεργασία, διότι διατίθεται σε υψηλή τιμή πώλησης. Κατά την αγροτική χρήση του Τ.Ε., όμως, υφίσταται εκμετάλλευση μεγάλων ποσοτήτων νερού Τ.Ε., οι οποίες αποφέρουν κατ' αναλογία μικρό κέρδος και η εξασφάλιση ικανοποιητικών ρυθμών διήθησης συντελείται μέσω της αξιοποίησης των πλέον οικονομικών μεθόδων. Κατά τους Huisman και Olsthoorn (1983) οι μέθοδοι επεξεργασίας του νερού Τ.Ε. είναι οι ακόλουθες:

✦ **Μηχανική επεξεργασία στην περίπτωση που το νερό προέρχεται από ποταμό, ώστε να μειωθεί η θολότητά του:** Αρχικά, απομακρύνεται το 75% των περιεχόμενων ιζημάτων μέσω απλής καθίζησης σε χρονικό διάστημα 4hr. Στη συνέχεια, αυξάνει η απόδοση της καθίζησης με προσθήκη πηκτικών ή θρομβωτικών χημικών.

Η εφαρμογή της μεθόδου προ-καθίζησης είναι ιδιαίτερως σημαντική όταν υπάρχει απαίτηση χρήσης νερού Τ.Ε. το οποίο προέρχεται από υδατορεύματα μεταβλητής ροής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μεγάλες ποσότητες νερού θα πρέπει να συγκρατηθούν, όταν τα υδατορεύματα παρουσιάζουν αυξημένη ροή. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάζονται βαθύτερες λεκάνες Τ.Ε. και συνεπώς αποθηκεύεται μεγαλύτερος όγκος πλημμυρικού νερού, το οποίο στη συνέχεια αξιοποιείται για την επαναπλήρωση υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.

Είναι γνωστό ότι το πλημμυρικό νερό μεταφέρει με τη ροή του μεγάλη ποσότητα ιζημάτων και φερτών υλών, οι οποίες κατακάθονται στις βαθιές λεκάνες διήθησης. Σύμφωνα με το νόμο του Stokes, τα αδρότερα υλικά βρίσκονται στο κατώτερο μέρος της ιζηματογενούς στρώσης, ενώ τα λεπτότερα στο ανώτερο. Το γεγονός αυτό μειώνει σημαντικά το ρυθμό διήθησης, ιδιαίτερα όταν έχουμε επαναλαμβανόμενες εισροές λασπώδους νερού στη λεκάνη. Αυτού του είδους οι εισροές οδηγούν στο σχηματισμό πολυεπίπεδων αποφρακτικών στρώσεων.

Ο καλύτερος τρόπος αξιοποίησης του πλημμυρικού νερού, το οποίο προορίζεται για Τ.Ε. υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, είναι η συγκράτηση και η αποθήκευσή του σε βαθιές λεκάνες ή υδραγωγεία στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί η προ-καθίζηση. Βέβαια, σε αυτήν την περίπτωση, ο ρυθμός διήθησης παραμένει χαμηλός. Στη συνέχεια, το επεξεργασμένο νερό μπορεί να διοχετευθεί σε λεκάνες

Τ.Ε., οι οποίες θα πρέπει να έχουν αφενός μικρό βάθος και αφετέρου να έχουν αποξηρανθεί και καθαριστεί (Bouwer και Rice, 2001).

✦ **Χημική επεξεργασία και σταθεροποίηση με πολυφωσφορικά άλατα, ώστε να αποφευχθεί η συσσωμάτωση του σιδήρου (Fe), του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>) και άλλων συστατικών:** Επιπροσθέτως, λαμβάνει χώρα απολύμανση του νερού, διότι οι οργανικές ενώσεις, που συχνά περιέχονται σε αυτό, αντιδρούν με το χλώριο (Cl) και παράγουν τριχλωρομεθάνιο. Τα καθαρά υπόγεια νερά επίσης δεν είναι απαλλαγμένα από οργανικά οξέα (σε συγκεντρώσεις 0,2 έως 0,7mg/L) και υπόκεινται σε χλωρίωση, όταν προορίζονται για αστική χρήση, χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερος κίνδυνος για το σχηματισμό τριχλωρομεθάνιου.

✦ **Χλωρίωση προς αποφυγή της ανάπτυξης αλγών στην επιφάνεια των λεκανών και μικροβίων στον πυθμένα της λεκάνης:** Κατά τους Price et al. (1965), εάν το νερό Τ.Ε. προέρχεται από ποταμό, πρέπει να χλωριώνεται και πριν εισαχθεί στις λεκάνες να προστίθεται στη μάζα του θειικός χαλκός (CuSO<sub>4</sub>). Στη Γερμανία, η αντιμετώπιση των αλγών συντελείται με την προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου (KMnO<sub>4</sub>) στις λεκάνες (Schmidt και Meyer, 1989).

✦ **Μηχανική επεξεργασία του εδάφους (λ.χ. όργωμα) ώστε να αυξηθεί το πορώδες του:** Παρά την επεξεργασία του νερού Τ.Ε. η εμφάνιση αποφρακτικής στρώσης υπερκείμενης του εδάφους του υδροφόρου συστήματος δεν μπορεί να αποτραπεί. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην ανάπτυξη αλγών και άλλων αυτότροφων βακτηρίων, τη διοχέτευση σκόνης στις λεκάνες Τ.Ε. ή την εκδήλωση άλλων παραγόντων. Τα υλικά που συστήνουν την αποφρακτική στρώση οφείλουν να απομακρύνονται στο τέλος μιας περιόδου αποξήρανσης, ώστε να συνεχιστεί η αποδοτική λειτουργία του συστήματος Τ.Ε. Η απομάκρυνση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μηχανικών μέσων (λ.χ. ξυστρών, front-end φορτωτών, ισοπεδωτών) ή χειροκίνητα με την βοήθεια τσουγκρανών. Έπειτα το χώμα θα πρέπει να σκαλιστεί ή να οργωθεί. Το σκάλισμα και το όργωμα του εδάφους πρέπει να συνοδεύονται από μια διαδικασία λείανσης και ελαφράς συμπίεσης αυτού. Για την πραγματοποίησή της χρησιμοποιείται πάσσαλος ή κάποιο άλλο αντικείμενο το οποίο είτε κυλιέται είτε σέρνεται στην εδαφική επιφάνεια. Κατά αυτόν τον τρόπο αποτρέπεται η κίνηση των μικροσωματιδίων και η συσσώρευση αυτών στην υποκείμενη αδιατάρακτη εδαφική στρώση κατά την επόμενη περίοδο κατάκλυσης. Σε κάθε περίπτωση, αποφεύγεται η λειτουργία μηχανών μεγάλου βάρους μέσα στις λεκάνες διήθησης, διότι συντελείται συμπύκνωση του εδάφους και φραγή των πόρων του, ειδικά όταν αυτό είναι υγρό.

Όταν το έδαφος είναι λεπτόκοκκο, το φαινόμενο της απόφραξης εμφανίζεται σχετικά εύκολα. Σε αυτή την περίπτωση, ο πυθμένας και τα πρανή της λεκάνης κατασκευάζονται με επένδυση από μια στρώση μεσόκοκκης άμμου πάχους 0,5m, η οποία θα πρέπει να αντικαθίσταται κάθε χρόνο.

Το χονδρόκοκκο υλικό της επικάλυψης δημιουργεί μεγάλους πόρους οι οποίοι διευκολύνουν την κυκλοφορία του νερού Τ.Ε. και παρεμποδίζουν την εμφάνιση του φαινομένου της απόφραξης, καθώς τα αιωρούμενα στερεά (SS) διέρχονται από τα διάκενα. Όταν το υδροφόρο σύστημα παρουσιάζει ανομοιογένεια μέχρι την εδαφική επιφάνεια και υπόκειται ενός λιγότερο περατού σχηματισμού, η εκσκαφή πρέπει να φτάνει σε μεγάλο βάθος για την επίτευξη πλήρους διήθησης των αιωρούμενων στερεών (SS).

Από την άλλη πλευρά, οι τοίχοι αντιστήριξης κατασκευάζονται με σκοπό να δημιουργηθούν μεγαλύτερες κλίσεις πρανών και να παρεμποδιστεί η προσβολή του υδροφόρου συστήματος από τη διείσδυση υφάλμυρου νερού.

✦ **Φυτική επεξεργασία του εδάφους:** Το αυτοφυές γρασίδι παγιδεύει τα αιωρούμενα στερεά (SS) του νερού Τ.Ε., ενώ το ριζικό σύστημα της βλάστησης αυξάνει το πορώδες του εδάφους.

✦ **Χημική επεξεργασία του εδάφους με άλατα ασβεστίου (Ca) για την αποφυγή της αποσύνθεσης αργιλικών ουσιών και χρήση ρυθμιστικών εδάφους** ώστε να επιτυγχάνεται σταθερός βαθμός συσσωμάτωσης και να αυξάνεται το πορώδες.

✦ **Προσθήκη οργανικών υλικών (λ.χ. υπολείμματα εκκοκκιστικής μηχανής βαμβακιού, πριονίδι, τριφύλλι) στο έδαφος με στόχο την ενίσχυση της μικροβιακής δράσης.**

**Εφαρμογή διαδοχικών περιόδων Τ.Ε. και αποξήρανσης (λ.χ. για το καλοκαίρι, προτείνεται 3 εβδομάδες κατάκλυσης και 1 αποξήρανσης, ενώ για το χειμώνα, 3 εβδομάδες κατάκλυσης και 3 αποξήρανσης):** Τα διαστήματα της αποξήρανσης συμβάλλουν στην καταστροφή των μικροοργανισμών, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν απόφραξη των πόρων, στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης υδρόβιας βλάστησης, η οποία συντηρεί ορισμένα έντομα (κουνούπια, σκνίπες) στο πεδίο του Τ.Ε., στην αύξηση της διήθησης του νερού διαμέσου της στρώσης ιλύος, η οποία έχει σχηματιστεί στον πυθμένα των λεκανών, στην αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων και στην απομάκρυνση από τον άνεμο των σωματιδίων τα οποία έχουν αποφράξει τους πόρους.

Όταν το νερό Τ.Ε. διαθέτει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά (SS) και χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά, η αποξήρανση και ο καθαρισμός των λεκανών διήθησης πραγματοποιούνται ορισμένες μόνον φορές κατά τη διάρκεια του έτους. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το έδαφος αποτελείται από λεπτόκοκκα υλικά ή είναι πετρώδες, ο έλεγχος του φαινομένου της απόφραξης των πόρων μπορεί να αποτελέσει πραγματικά μία πρόκληση. Επίσης, όταν το νερό Τ.Ε. είναι λασπώδες ή χαμηλής ποιότητας, η αποξήρανση και ο καθαρισμός των λεκανών πιθανόν να απαιτούνται μετά από κάθε περίοδο κατάκλυσης, δηλαδή πρακτικά ξήρανση και καθαρισμό σε διάστημα μερικών ημερών μετά την κατάκλυση.

Η ετήσια συχνότητα των καθαρισμών ισούται με το ρυθμό Τ.Ε. ή είναι διπλάσια από αυτόν, όταν ο τελευταίος μετριέται σε m/ημέρα (Huisman και Olsthoorn, 1983).

## Παράρτημα Β

Πίνακας Ι: Οι τιμές της  $F(\alpha, \beta)$  για διάφορες τιμές των  $\alpha$  και  $\beta$  (Διαμαντής και Πλιάκας, 2012)

$\alpha/\beta$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26
0,02	0,0041	0,0073	0,0101	0,0125	0,0146	0,0184	0,0216	0,0243	0,0267
0,04	0,0073	0,0135	0,0188	0,0236	0,0278	0,0353	0,0416	0,0470	0,0518
0,06	0,0101	0,0188	0,0266	0,0335	0,0398	0,0509	0,0602	0,0684	0,0754
0,08	0,0125	0,0236	0,0335	0,0425	0,0508	0,0652	0,0776	0,0884	0,0978
0,10	0,0146	0,0278	0,0398	0,0508	0,0608	0,0786	0,0939	0,1072	0,1188
0,14	0,0184	0,0353	0,0509	0,0652	0,0786	0,1025	0,1232	0,1414	0,1573
0,18	0,0216	0,0416	0,0602	0,0776	0,0939	0,1232	0,1490	0,1716	0,1916
0,22	0,0243	0,0470	0,0684	0,0884	0,1072	0,1414	0,1716	0,1984	0,2222
0,26	0,0267	0,0518	0,0754	0,0978	0,1188	0,1573	0,1916	0,2222	0,2494
0,30	0,0288	0,0559	0,0817	0,1060	0,1290	0,1714	0,1094	0,2433	0,2737
0,34	0,0306	0,0596	0,0871	0,1133	0,1391	0,1839	0,2251	0,2621	0,2954
0,38	0,0322	0,0628	0,0920	0,1197	0,1461	0,1949	0,2391	0,2789	0,3147
0,42	0,0377	0,0657	0,0963	0,1254	0,1532	0,2048	0,2515	0,2938	0,3320
0,46	0,0349	0,0683	0,1001	0,1305	0,1595	0,2135	0,2626	0,3071	0,3474
0,50	0,0361	0,0705	0,1035	0,1350	0,1650	0,2212	0,2724	0,3189	0,3612
0,54	0,0371	0,0725	0,1065	0,1389	0,1700	0,2281	0,2812	0,3295	0,3735
0,58	0,0380	0,0743	0,1091	0,1425	0,1744	0,2343	0,2890	0,3389	0,3844
0,62	0,0387	0,0759	0,1115	0,1456	0,1783	0,2397	0,2959	0,3472	0,3941
0,66	0,0394	0,0773	0,1136	0,1484	0,1718	0,2445	0,3020	0,3547	0,4027
0,70	0,0401	0,0785	0,1154	0,1509	0,1849	0,2488	0,3075	0,3612	0,4104
0,74	0,0406	0,0796	0,1117	0,1531	0,1876	0,2526	0,3123	0,3671	0,4172
0,78	0,0411	0,0806	0,1185	0,1550	0,1900	0,2559	0,3166	0,3722	0,4232
0,82	0,0415	0,0814	0,1198	0,1567	0,1921	0,2589	0,3203	0,3768	0,4286
0,86	0,0419	0,0822	0,1209	0,1582	0,1940	0,2615	0,3237	0,3808	0,4333
0,90	0,0422	0,0828	0,1219	0,1595	0,1957	0,2638	0,3266	0,3844	0,4374
0,94	0,0425	0,0834	0,1228	0,1607	0,1971	0,2658	0,3292	0,3875	0,4411
0,98	0,0428	0,0839	0,1236	0,1617	0,1984	0,2676	0,3314	0,3902	0,4442
1,00	0,0429	0,0842	0,1239	0,1622	0,1990	0,2684	0,3324	0,3914	0,4457
1,20	0,0437	0,0858	0,1263	0,1654	0,2030	0,2740	0,3396	0,4001	0,4558
1,40	0,0441	0,0866	0,1275	0,1669	0,2049	0,2767	0,3431	0,4043	0,4608
1,80	0,0444	0,0871	0,1283	0,1680	0,2062	0,2785	0,3454	0,4071	0,4641
2,00	0,0444	0,0871	0,1284	0,1681	0,2064	0,2787	0,3457	0,4075	0,4645
2,20	0,0444	0,0872	0,1284	0,1682	0,2065	0,2788	0,3458	0,4076	0,4646
2,50	0,0444	0,0872	0,1284	0,1682	0,2065	0,2788	0,3458	0,4077	0,4647
3,00	0,0444	0,0872	0,1284	0,1682	0,2065	0,2789	0,3458	0,4077	0,4647

**Συνέχεια του Πίνακα I**

α/β	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62
0,02	0,0288	0,0306	0,0322	0,0337	0,0349	0,0361	0,0371	0,0380	0,0387
0,04	0,0559	0,0596	0,0628	0,0657	0,0683	0,0705	0,0725	0,0743	0,0759
0,06	0,0817	0,0871	0,0920	0,0963	0,1001	0,1035	0,1065	0,1091	0,1115
0,08	0,1060	0,1133	0,1197	0,1254	0,1305	0,1350	0,1389	0,1425	0,1456
0,10	0,1290	0,1381	0,1461	0,1532	0,1595	0,1650	0,1700	0,1744	0,1783
0,14	0,1714	0,1839	0,1941	0,2048	0,2135	0,2212	0,2281	0,2343	0,2397
0,18	0,2094	0,2251	0,2391	0,2515	0,2626	0,2724	0,2812	0,2890	0,2959
0,22	0,2433	0,2621	0,2789	0,2938	0,3071	0,3189	0,3295	0,3389	0,3472
0,26	0,2737	0,2954	0,3147	0,3320	0,3474	0,3612	0,3735	0,3844	0,3941
0,30	0,3009	0,3252	0,3470	0,3665	0,3839	0,3995	0,4134	0,4257	0,4368
0,34	0,3252	0,3520	0,3761	0,3976	0,4169	0,4341	0,4495	0,4633	0,4756
0,38	0,3470	0,3761	0,4022	0,4256	0,4466	0,4654	0,4823	0,4973	0,5108
0,42	0,3665	0,3976	0,4256	0,4508	0,4734	0,4937	0,5119	0,5281	0,5427
0,46	0,3839	0,4169	0,4466	0,4734	0,4975	0,5161	0,5385	0,5559	0,5715
0,50	0,3995	0,4341	0,4654	0,4937	0,5191	0,5420	0,5626	0,5810	0,5975
0,54	0,4134	0,4495	0,4823	0,5119	0,5385	0,5626	0,5842	0,6036	0,6209
0,58	0,4257	0,4633	0,4973	0,5281	0,5559	0,5810	0,6036	0,6238	0,6420
0,62	0,4368	0,4756	0,5108	0,5427	0,5715	0,5975	0,6209	0,6420	0,6609
0,66	0,4466	0,4865	0,5227	0,5556	0,5854	0,6122	0,6364	0,6582	0,6778
0,70	0,4553	0,4962	0,5334	0,5672	0,5977	0,6254	0,6503	0,6728	0,6929
0,74	0,4630	0,5048	0,5429	0,5774	0,6087	0,6371	0,6627	0,6857	0,7064
0,78	0,4699	0,5125	0,5513	0,5865	0,6185	0,6475	0,6736	0,6972	0,7184
0,82	0,4760	0,5192	0,5587	0,5946	0,6272	0,6567	0,6834	0,7074	0,7291
0,86	0,4813	0,5252	0,5653	0,6017	0,6348	0,6648	0,6920	0,7165	0,7386
0,90	0,4860	0,5305	0,5711	0,6080	0,6416	0,6721	0,6996	0,7245	0,7469
0,94	0,4902	0,5351	0,5762	0,6136	0,6476	0,6784	0,7063	0,7316	0,7543
0,98	0,4938	0,5392	0,5807	0,6184	0,6528	0,6840	0,7123	0,7378	0,7608
1,00	0,4955	0,5410	0,5827	0,6206	0,6552	0,6865	0,7150	0,7406	0,7638
1,20	0,5070	0,5540	0,5969	0,6362	0,6719	0,7044	0,7339	0,7605	0,7846
1,40	0,5127	0,5603	0,6039	0,6438	0,6801	0,7132	0,7432	0,7704	0,7949
1,80	0,5165	0,5645	0,6086	0,6489	0,6856	0,7190	0,7494	0,7769	0,8018
2,00	0,5169	0,5651	0,6092	0,6495	0,6863	0,7198	0,7502	0,7778	0,8027
2,20	0,5171	0,5653	0,6094	0,6497	0,6865	0,7200	0,7505	0,7781	0,8030
2,50	0,5172	0,5653	0,6095	0,6498	0,6867	0,7202	0,7506	0,7782	0,8032
3,00	0,5172	0,5654	0,6095	0,6499	0,6867	0,7202	0,7506	0,7782	0,8032

**Συνέχεια του Πίνακα I**

α/β	0,66	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,94	0,98
0,02	0,0394	0,0401	0,0406	0,0411	0,0415	0,0419	0,0422	0,0425	0,0428
0,04	0,0773	0,0785	0,0796	0,0806	0,0814	0,0822	0,0828	0,0834	0,0839
0,06	0,1136	0,1154	0,1171	0,1185	0,1198	0,1209	0,1219	0,1228	0,1236
0,08	0,1484	0,1509	0,1531	0,1550	0,1567	0,1582	0,1595	0,1606	0,1617
0,10	0,1818	0,1849	0,1876	0,1900	0,1921	0,1940	0,1957	0,1971	0,1984
0,14	0,2445	0,2488	0,2526	0,2559	0,2589	0,2615	0,2638	0,2658	0,2676
0,18	0,3020	0,3075	0,3123	0,3166	0,3203	0,3237	0,3266	0,3292	0,3314
0,22	0,3547	0,3612	0,3671	0,3722	0,3768	0,3808	0,3844	0,3875	0,3902
0,26	0,4027	0,4104	0,4172	0,4232	0,4286	0,4333	0,4374	0,4411	0,4442
0,30	0,4466	0,4553	0,4630	0,5699	0,5760	0,4813	0,4860	0,4902	0,4938
0,34	0,4865	0,4962	0,5048	0,5125	0,5192	0,5252	0,5305	0,5351	0,5392
0,38	0,5227	0,5334	0,5429	0,5213	0,5587	0,5653	0,5711	0,5762	0,5807
0,42	0,5556	0,5672	0,5774	0,5865	0,5946	0,6017	0,6080	0,6136	0,6184
0,46	0,5854	0,5977	0,6087	0,6185	0,6272	0,6348	0,6416	0,6476	0,6528
0,50	0,6122	0,6254	0,6371	0,6475	0,6567	0,6648	0,7721	0,6784	0,6840
0,54	0,6364	0,6503	0,6627	0,6736	0,6834	0,6920	0,6996	0,7063	0,7123
0,58	0,6482	0,6728	0,6857	0,6972	0,7074	0,7165	0,7245	0,7316	0,7378
0,62	0,6778	0,6929	0,7064	0,7784	0,7291	0,7386	0,7469	0,7543	0,7608
0,66	0,7953	0,7110	0,7250	0,7375	0,7486	0,7584	0,7671	0,7748	0,7816
0,70	0,7110	0,7272	0,7417	0,7546	0,7660	0,7762	0,7852	0,7932	0,8002
0,74	0,7250	0,7414	0,7566	0,7698	0,7816	0,7921	0,8014	0,8096	0,8168
0,78	0,7375	0,7546	0,7698	0,7834	0,7956	0,8063	0,8159	0,8243	0,8317
0,82	0,7486	0,7660	0,7816	0,7956	0,8080	0,8190	0,8288	0,8374	0,8450
0,86	0,7584	0,7762	0,7921	0,8063	0,8190	0,8302	0,8402	0,8491	0,8569
0,90	0,7671	0,7852	0,8014	0,8159	0,8288	0,8402	0,8504	0,8594	0,8674
0,94	0,7748	0,7932	0,8096	0,8243	0,8374	0,8491	0,8594	0,8686	0,8767
0,98	0,7816	0,8002	0,8168	0,8317	0,8450	0,8569	0,8674	0,8767	0,8849
1,00	0,7846	0,8034	0,8201	0,8351	0,8485	0,8604	0,8710	0,8803	0,8886
1,20	0,8064	0,8259	0,8434	0,8591	0,8731	0,8855	0,8966	0,9064	0,9151
1,40	0,8171	0,8370	0,8549	0,8710	0,8853	0,8980	0,9094	0,9195	0,9284
1,80	0,8243	0,8445	0,8627	0,8789	0,8935	0,9065	0,9180	0,9282	0,9373
2,00	0,8252	0,8454	0,8636	0,8799	0,8945	0,9075	0,9191	0,9294	0,9384
2,20	0,8255	0,8458	0,8640	0,8803	0,8949	0,9079	0,9195	0,9298	0,9389
2,50	0,8257	0,8460	0,8642	0,8805	0,8951	0,9081	0,9197	0,9300	0,9391
3,00	0,8257	0,8460	0,8642	0,8805	0,8951	0,9081	0,9197	0,9300	0,9391

**Συνέχεια του Πίνακα I**

α/β	1,00	1,20	1,40	1,80	2,00	2,20	2,50	3,00
0,02	0,0429	0,0437	0,0441	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444
0,04	0,0842	0,0858	0,0866	0,0871	0,0871	0,0872	0,0882	0,0882
0,06	0,1239	0,1263	0,1275	0,1283	0,1284	0,1284	0,1284	0,1284
0,08	0,1622	0,1654	0,1669	0,1680	0,1681	0,1682	0,1682	0,1682
0,10	0,1990	0,2030	0,2049	0,2062	0,2064	0,2065	0,2065	0,2065
0,14	0,2684	0,2740	0,2777	0,2785	0,2787	0,2788	0,2788	0,2788
0,18	0,3224	0,3396	0,3431	0,3454	0,3457	0,3454	0,3454	0,3454
0,22	0,3914	0,4001	0,4043	0,4071	0,4075	0,4076	0,4077	0,4077
0,26	0,4457	0,4558	0,4608	0,4641	0,4645	0,4646	0,4647	0,4647
0,30	0,4955	0,5070	0,5127	0,5165	0,5159	0,5171	0,5172	0,5172
0,34	0,5410	0,5540	0,5603	0,5645	0,5651	0,5653	0,5653	0,5654
0,38	0,5827	0,5969	0,6039	0,6086	0,6092	0,6094	0,6095	0,6095
0,42	0,6206	0,6362	0,6438	0,6489	0,6495	0,6497	0,6498	0,6499
0,46	0,6552	0,6719	0,6801	0,6856	0,6863	0,6865	0,6867	0,6867
0,50	0,6865	0,7044	0,7132	0,7190	0,7198	0,7200	0,7202	0,7202
0,54	0,7150	0,7379	0,7432	0,7494	0,7502	0,7505	0,7506	0,7506
0,58	0,7406	0,7605	0,7704	0,7799	0,7778	0,7781	0,7782	0,7782
0,62	0,7638	0,7846	0,7949	0,8018	0,8027	0,8030	0,8032	0,8032
0,66	0,7846	0,8064	0,8171	0,8243	0,8252	0,8255	0,8257	0,8257
0,70	0,8034	0,8259	0,8370	0,8445	0,8454	0,8458	0,8460	0,8460
0,74	0,8201	0,8434	0,8549	0,8627	0,8636	0,8640	0,8642	0,8642
0,78	0,8351	0,8591	0,8710	0,8789	0,8799	0,8803	0,8805	0,8805
0,82	0,8485	0,8731	0,8853	0,8935	0,8945	0,8949	0,8951	0,8951
0,86	0,8604	0,8855	0,8980	0,9065	0,9075	0,9079	0,9081	0,9081
0,90	0,8710	0,8966	0,9093	0,9180	0,9191	0,9195	0,9187	0,9187
0,94	0,8803	0,9064	0,9195	0,9282	0,9294	0,9298	0,9300	0,9300
0,98	0,8886	0,9151	0,9284	0,9373	0,9384	0,9389	0,9391	0,9391
1,00	0,8924	0,9191	0,9324	0,9414	0,9426	0,9430	0,9432	0,9433
1,20	0,9191	0,9472	0,9614	0,9709	0,9722	0,9726	0,9728	0,9729
1,40	0,9324	0,9614	0,9759	0,9858	0,9871	0,9875	0,9878	0,9878
1,80	0,9414	0,9709	0,9858	0,9959	0,9972	0,9972	0,9879	0,9980
2,00	0,9426	0,9722	0,9871	0,9972	0,9985	0,9990	0,9992	0,9934
2,20	0,9430	0,9726	0,9875	0,9977	0,9990	0,9995	0,9997	0,9998
2,50	0,9432	0,9728	0,9878	0,9979	0,9992	0,9997	1,000	1,000
3,00	0,9433	0,9729	0,9878	0,9980	0,9993	0,9998	1000	1000



## Παράρτημα Γ

**Πίνακας II:** Οι τιμές της  $W(u)$  για τιμές του  $u$  στο διάστημα  $10^{-15}$ -9,9 (United States Geological Survey, 1962)

N/u	$N \times 10^{-15}$	$N \times 10^{-14}$	$N \times 10^{-13}$	$N \times 10^{-12}$	$N \times 10^{-11}$	$N \times 10^{-10}$	$N \times 10^{-9}$	$N \times 10^{-8}$	N
1,0	33,9616	31,6590	29,3564	27,0538	24,7512	22,4486	20,1460	17,8435	0,2194
1,1	33,8662	31,5637	29,2611	26,9585	24,6559	22,3533	20,0507	17,7482	0,1860
1,2	33,7792	31,4767	29,1741	26,8715	24,5689	22,2663	19,9637	17,6611	0,1584
1,3	33,6992	31,3966	29,0940	26,7914	24,4889	22,1863	19,8837	17,5811	0,1355
1,4	33,6251	31,3225	29,0199	26,7173	24,4147	22,1122	19,8096	17,5070	0,1162
1,5	33,5561	31,2535	28,9509	26,6483	24,3458	22,0432	19,7406	17,4380	0,1000
1,6	33,4916	31,1890	28,8864	26,5838	24,2812	21,9786	19,6760	17,3735	0,08631
1,7	33,4309	31,1283	28,8258	26,5232	24,2206	21,9180	19,6154	17,3128	0,07465
1,8	33,3738	31,0712	28,7686	26,4660	24,1634	21,8608	19,5583	17,2557	0,06471
1,9	33,3197	31,0171	28,7145	26,4119	24,1094	21,8068	19,5042	17,2016	0,05620
2,0	33,2684	30,9658	28,6632	26,3607	24,0581	21,7555	19,4529	17,1503	0,04890
2,1	33,2196	30,9170	28,6145	26,3119	24,0093	21,7067	19,4041	17,1015	0,04261
2,2	33,1731	30,8705	28,5679	26,2653	23,9628	21,6602	19,3576	17,0550	0,03719
2,3	33,1286	30,8261	28,5235	26,2209	23,9183	21,6157	19,3131	17,0106	0,03250
2,4	33,0861	30,7835	28,4809	26,1783	23,8758	21,5732	19,2706	16,9680	0,02844
2,5	33,0453	30,7427	28,4401	26,1375	23,8349	21,5323	19,2298	16,9272	0,02491
2,6	33,0060	30,7035	28,4009	26,0983	23,7957	21,4931	19,1905	16,8880	0,02185
2,7	32,9683	30,6657	28,3631	26,0606	23,7580	21,4554	19,1528	16,8502	0,01918
2,8	32,9319	30,6294	28,3268	26,0242	23,7216	21,4190	19,1164	16,8138	0,01686
2,9	32,8968	30,5943	28,2917	25,9891	23,6865	21,3839	19,0813	16,7788	0,01482
3,0	32,8629	30,5604	28,2578	25,9552	23,6526	21,3500	19,0474	16,7449	0,01305
3,1	32,8302	30,5276	28,2250	25,9224	23,6198	21,3172	19,0146	16,7121	0,01149
3,2	32,7984	30,4958	28,1932	25,8907	23,5880	21,2855	18,9829	16,6803	0,01013
3,3	32,7676	30,4651	28,1625	25,8599	23,5573	21,2547	18,9521	16,6495	0,008939
3,4	32,7378	30,4352	28,1326	25,8300	23,5274	21,2249	18,9223	16,6197	0,007891
3,5	32,7088	30,4062	28,1036	25,8010	23,4985	21,1959	18,8933	16,5907	0,006970
3,6	32,6806	30,3780	28,0755	25,7729	23,4703	21,1677	18,8651	16,5625	0,006160
3,7	32,6532	30,3506	28,0481	25,7455	23,4429	21,1403	18,8377	16,5351	0,005448
3,8	32,6266	30,3240	28,0214	25,7188	23,4162	21,1136	18,8110	16,5085	0,004820
3,9	32,6006	30,2980	27,9954	25,6928	23,3902	21,0877	18,7851	16,4825	0,004267
4,0	32,5753	30,2727	27,9701	25,6675	23,3649	21,0623	18,7598	16,4572	0,003779
4,1	32,5506	30,2480	27,9454	25,6428	23,3402	21,0376	18,7351	16,4325	0,003349
4,2	32,5265	30,2239	27,9213	25,6187	23,3161	21,0136	18,7110	16,4084	0,002969
4,3	32,5029	30,2004	27,8978	25,5952	23,2926	20,9900	18,6874	16,3884	0,002633
4,4	32,4800	30,1774	27,8748	25,5722	23,2696	20,9670	18,6644	16,3619	0,002336
4,5	32,4575	30,1549	27,8523	25,5497	23,2471	20,9446	18,6420	16,3394	0,002073
4,6	32,4355	30,1329	27,8303	25,5277	23,2252	20,9226	18,6200	16,3174	0,001841
4,7	32,4140	30,1114	27,8088	25,5062	23,2037	20,9011	18,5985	16,2959	0,001635

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

4,8	32,3929	30,0904	27,7878	25,4852	23,1826	20,8800	18,5774	16,2748	0,001453
4,9	32,3723	30,0697	27,7672	25,4646	23,1620	20,8594	18,5568	16,2542	0,001291
5,0	32,3521	30,0495	27,7470	25,4444	23,1418	20,8392	18,5366	16,2340	0,001148
5,1	32,3323	30,0297	27,7271	25,4246	23,1220	20,8194	18,5168	16,2142	0,001021
5,2	32,3129	30,0103	27,7077	25,4051	23,1026	20,8000	18,4974	16,1948	0,0009086
5,3	32,2939	29,9913	27,6887	25,3861	23,0835	20,7809	18,4783	16,1758	0,0008086
5,4	32,2752	29,9726	27,6700	25,3674	23,0648	20,7622	18,4596	16,1571	0,0007198
5,5	32,2568	29,9542	27,6516	25,3491	23,0465	20,7439	18,4413	16,1387	0,0006409
5,6	32,2388	29,9362	27,6336	25,3310	23,0285	20,7259	18,4233	16,1207	0,0005708
5,7	32,2211	29,9185	27,6159	25,3133	23,0108	20,7082	18,4056	16,1030	0,0005085
5,8	32,2037	29,9011	27,5985	25,2959	22,9934	20,6908	18,3882	16,0856	0,0004532
5,9	32,1866	29,8840	27,5814	25,2789	22,9763	20,6737	18,3711	16,0685	0,0004039
6,0	32,1698	29,8672	27,5646	25,2620	22,9595	20,6569	18,3543	16,0517	0,0003601
6,1	32,1533	29,8507	27,5481	25,2455	22,9429	20,6403	18,3378	16,0352	0,0003211
6,2	32,1370	29,8344	27,5318	25,2293	22,9267	20,6241	18,3215	16,0189	0,0002864
6,3	32,1210	29,8184	27,5158	25,2133	22,9107	20,6081	18,3055	16,0029	0,0002555
6,4	32,1053	29,8027	27,5001	25,1975	22,8949	20,5923	18,2898	15,9872	0,0002279
6,5	32,0898	29,7872	27,4846	25,1820	22,8794	20,5768	18,2742	15,9717	0,0002034
6,6	32,0745	29,7719	27,4693	25,1667	22,8641	20,5616	18,2590	15,9564	0,0001816
6,7	32,0595	29,7569	27,4543	25,1517	22,8491	20,5465	18,2439	15,9414	0,0001621
6,8	32,0446	29,7421	27,4395	25,1369	22,8343	20,5317	18,2291	15,9265	0,0001448
6,9	32,0300	29,7275	27,4249	25,1223	22,8197	20,5171	18,2145	15,9119	0,0001293
7,0	32,0156	29,7131	27,4105	25,1079	22,8053	20,5027	18,2001	15,8976	0,0001155
7,1	32,0015	29,6989	27,3963	25,0937	22,7911	20,4885	18,1860	15,8834	0,0001032
7,2	31,9875	29,6849	27,3823	25,0797	22,7771	20,4746	18,1720	15,8694	0,00009219
7,3	31,9737	29,6711	27,3685	25,0659	22,7633	20,4608	18,1582	15,8556	0,00008239
7,4	31,9601	29,6575	27,3549	25,0523	22,7497	20,4472	18,1446	15,8420	0,00007364
7,5	31,9467	29,6441	27,3415	25,0389	22,7363	20,4337	18,1311	15,8286	0,00006583
7,6	31,9334	29,6308	27,3282	25,0257	22,7231	20,4205	18,1179	15,8153	0,00005886
7,7	31,9203	29,6178	27,3152	25,0126	22,7100	20,4074	18,1048	15,8022	0,00005263
7,8	31,9074	29,6048	27,3023	24,9997	22,6971	20,3945	18,0919	15,7893	0,00004707
7,9	31,8947	29,5921	27,2895	24,9869	22,6844	20,3818	18,0792	15,7766	0,00004210
8,0	31,8821	29,5795	27,2769	24,9744	22,6718	20,3692	18,0666	15,7640	0,00003767
8,1	31,8697	29,5671	27,2645	24,9619	22,6594	20,3568	18,0542	15,7516	0,00003370
8,2	31,8574	29,5548	27,2523	24,9497	22,6471	20,3445	18,0419	15,7393	0,00003015
8,3	31,8453	29,5427	27,2401	24,9375	22,6350	20,3324	18,0298	15,7272	0,00002699
8,4	31,8333	29,5307	27,2282	24,9256	22,6230	20,3204	18,0178	15,7152	0,00002415
8,5	31,8215	29,5189	27,2163	24,9137	22,6112	20,3086	18,0060	15,7034	0,00002162
8,6	31,8098	29,5072	27,2046	24,9020	22,5995	20,2969	17,9943	15,6917	0,00001936
8,7	31,7982	29,4957	27,1931	24,8905	22,5879	20,2853	17,9827	15,6801	0,00001733
8,8	31,7868	29,4842	27,1816	24,8790	22,5765	20,2739	17,9713	15,6687	0,00001552
8,9	31,7755	29,4729	27,1703	24,8678	22,5652	20,2626	17,9600	15,6574	0,00001390
9,0	31,7643	29,4618	27,1592	24,8566	22,5540	20,2514	17,9488	15,6462	0,00001245
9,1	31,7533	29,4507	27,1481	24,8455	22,5429	20,2404	17,9378	15,6352	0,00001115

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

9,2	31,7424	29,4398	27,1372	24,8346	22,5320	20,2294	17,9268	15,6243	0,000009988
9,3	31,7315	29,4290	27,1264	24,8238	22,5212	20,2186	17,9160	15,6135	0,000008948
9,4	31,7208	29,4183	27,1157	24,8131	22,5105	20,2079	17,9053	15,6028	0,000008018
9,5	31,7103	29,4077	27,1051	24,8025	22,4999	20,1973	17,8948	15,5922	0,000007185
9,6	31,6998	29,3972	27,0946	24,7920	22,4895	20,1869	17,8843	15,5817	0,000006439
9,7	31,6894	29,3868	27,0843	24,7817	22,4791	20,1765	17,8739	15,5713	0,000005771
9,8	31,6792	29,3766	27,0740	24,7714	22,4688	20,1663	17,8637	15,5611	0,000005173
9,9	31,6690	29,3664	27,0639	24,7613	22,4587	20,1561	17,8535	15,5509	0,000004637

**Συνέχεια του Πίνακα II**

N/u	$N \times 10^{-7}$	$N \times 10^{-6}$	$N \times 10^{-5}$	$N \times 10^{-4}$	$N \times 10^{-3}$	$N \times 10^{-2}$	$N \times 10^{-1}$	N
1,0	15,5409	13,2383	10,9357	8,6332	6,3315	4,0379	1,8229	0,2194
1,1	15,4456	13,1430	10,8404	8,5379	6,2363	3,9436	1,7371	0,1860
1,2	15,3586	13,0560	10,7534	8,4509	6,1494	3,8576	1,6595	0,1584
1,3	15,2785	12,9759	10,6734	8,3709	6,0695	3,7785	1,5889	0,1355
1,4	15,2044	12,9018	10,5993	8,2968	5,9955	3,7054	1,5241	0,1162
1,5	15,1354	12,8328	10,5303	8,2278	5,9266	3,6374	1,4645	0,1000
1,6	15,0709	12,7683	10,4657	8,1634	5,8621	3,5739	1,4092	0,08631
1,7	15,0103	12,7077	10,4051	8,1027	5,8016	3,5143	1,3578	0,07465
1,8	14,9531	12,6505	10,3479	8,0455	5,7446	3,4581	1,3089	0,06471
1,9	14,8990	12,5964	10,2939	7,9915	5,6906	3,4050	1,2649	0,05620
2,0	14,8477	12,5451	10,2426	7,9402	5,6394	3,3547	1,2227	0,04890
2,1	14,7989	12,4964	10,1938	7,8914	5,5907	3,3069	1,1829	0,04261
2,2	14,7524	12,4498	10,1473	7,8449	5,5443	3,2614	1,1454	0,03719
2,3	14,7080	12,4054	10,1028	7,8004	5,4999	3,2179	1,1099	0,03250
2,4	14,6654	12,3628	10,0603	7,7579	5,4575	3,1763	1,0762	0,02844
2,5	14,6246	12,3220	10,0194	7,7172	5,4167	3,1365	1,0443	0,02491
2,6	14,5854	12,2828	9,9802	7,6779	5,3776	3,0983	1,0139	0,02185
2,7	14,5476	12,2450	9,9425	7,6401	5,3400	3,0615	0,9849	0,01918
2,8	14,5113	12,2087	9,9061	7,6038	5,3037	3,0261	0,9573	0,01686
2,9	14,4762	12,1736	9,8710	7,5687	5,2687	2,9920	0,9309	0,01482
3,0	14,4423	12,1397	9,8371	7,5348	5,2349	2,9591	0,9057	0,01305
3,1	14,4095	12,1069	9,8043	7,5020	5,2022	2,9273	0,8815	0,01149
3,2	14,3777	12,0751	9,7726	7,4703	5,1706	2,8965	0,8583	0,01013
3,3	14,3470	12,0444	9,7418	7,4395	5,1399	2,8668	0,8361	0,008939
3,4	14,3171	12,0145	9,7120	7,4097	5,1102	2,8379	0,8147	0,007891
3,5	14,2881	11,9855	9,6830	7,3807	5,0813	2,8099	0,7942	0,006970
3,6	14,2599	11,9574	9,6548	7,3526	5,0532	2,7827	0,7745	0,006160
3,7	14,2325	11,9300	9,6274	7,3252	5,0259	2,7563	0,7554	0,005448
3,8	14,2059	11,9033	9,6007	7,2985	4,9993	2,7306	0,7371	0,004820
3,9	14,1799	11,8773	9,5748	7,2725	4,9735	2,7056	0,7194	0,004267
4,0	14,1546	11,8520	9,5495	7,2472	4,9482	2,6813	0,7024	0,003779
4,1	14,1299	11,8273	9,5248	7,2225	4,9236	2,6576	0,6859	0,003349

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

4,2	14,1058	11, 8032	9,5007	7,1985	4,8997	2,6344	0,6700	0,002969
4,3	14,0823	11, 7797	9,4771	7,1749	4,8762	2,6119	0,6546	0,002633
4,4	14,0593	11, 7567	9,4541	7,1520	4,8533	2,5899	0,6397	0,002336
4,5	14,0368	11, 7342	9,4317	7,1295	4,8310	2,5684	0,6253	0,002073
4,6	14,0148	11, 7122	9,4097	7,1075	4,8091	2,5474	0,6114	0,001841
4,7	13,9933	11, 6907	9,3882	7,0860	4,7877	2,5268	0,5979	0,001635
4,8	13,9723	11, 6697	9,3671	7,0650	4,7667	2,5068	0,5848	0,001453
4,9	13,9516	11, 6491	9,3465	7,0444	4,7462	2,4871	0,5721	0,001291
5,0	13,9314	11,6289	9,3263	7,0242	4,7261	2,4679	0,5598	0,001148
5,1	13,9116	11,6091	9,3065	7,0044	4,7064	2,4491	0,5478	0,001021
5,2	13,8922	11,5896	9,2871	6,9850	4,6871	2,4306	0,5362	0,0009086
5,3	13,8732	11,5706	9,2681	6,9659	4,6681	2,4126	0,5250	0,0008086
5,4	13,8545	11,5519	9,2494	6,9473	4,6495	2,3948	0,5140	0,0007198
5,5	13,8361	11,5336	9,2310	6,9289	4,6313	2,3775	0,5034	0,0006409
5,6	13,8181	11,5155	9,2130	6,9109	4,6134	2,3604	0,4930	0,0005708
5,7	13,8004	11,4978	9,1953	6,8932	4,5958	2,3437	0,4830	0,0005085
5,8	13,7830	11,4804	9,1779	6,8758	4,5785	2, 3273	0,4732	0,0004532
5,9	13,7659	11,4633	9,1608	6,8588	4,5615	2, 3111	0,4637	0,0004039
6,0	13,7491	11,4465	9,1440	6,8420	4,5448	2, 2953	0,4544	0,0003601
6,1	13,7326	11,4300	9,1275	6,8254	4,5283	2, 2797	0,4454	0,0003211
6,2	13,7163	11,4138	9,1112	6,8092	4,5122	2, 2645	0,4366	0,0002864
6,3	13,7003	11,3978	9,0952	6,7932	4,4963	2, 2494	0,4280	0,0002555
6,4	13,6846	11,3820	9,0795	6,7775	4,4806	2, 2346	0,4197	0,0002279
6,5	13,6691	11,3665	9,0640	6,7620	4,4652	2, 2201	0,4115	0,0002034
6,6	13,6538	11,3512	9,0487	6,7467	4,4501	2, 2058	0,4036	0,0001816
6,7	13,6388	11,3362	9,0337	6,7317	4,4351	2, 1917	0,3959	0,0001621
6,8	13,6240	11,3214	9,0189	6,7169	4,4204	2, 1779	0,3883	0,0001448
6,9	13,6094	11,3608	9,0043	6,7023	4,4059	2, 1643	0,3810	0,0001293
7,0	13,5950	11,2924	8,9899	6,6879	4,3916	2, 1508	0,3738	0,0001155
7,1	13,5808	11,2782	8,9757	6,6737	4,3775	2, 1376	0,3668	0,0001032
7,2	13,5668	11,2642	8,9617	6,6598	4,3636	2, 1246	0,3599	0,00009219
7,3	13,5530	11,2504	8,9479	6,6460	4,3500	2, 1118	0,3532	0,00008239
7,4	13,5394	11,2368	8,9343	6,6324	4,3364	2, 0991	0,3467	0,00007364
7,5	13,5260	11,2234	8,9209	6,6190	4,3231	2, 0867	0,3403	0,00006583
7,6	13,5127	11,2102	8,9076	6,6057	4,3100	2, 0744	0,3341	0,00005886
7,7	13,4997	11,1971	8,8946	6,5927	4,2970	2, 0623	0,3280	0,00005263
7,8	13,4868	11,1842	8,8817	6,5798	4,2842	2, 0503	0,3221	0,00004707
7,9	13,4740	11,1714	8,8689	6,5671	4,2716	2, 0386	0,3163	0,00004210
8,0	13,4614	11,1589	8,8563	6,5545	4,2591	2, 0269	0,3106	0,00003767
8,1	13,4490	11,1464	8,8439	6,5421	4,2468	2, 0155	0,3050	0,00003370
8,2	13,4367	11,1342	8,8317	6,5298	4,2346	2, 0042	0,2996	0,00003015
8,3	13,4246	11,1220	8,8195	6,5177	4,2226	1, 9930	0,2943	0,00002699
8,4	13,4126	11,1101	8,8076	6,5057	4,2107	1, 9820	0,2891	0,00002415
8,5	13,4008	11,0982	8,7957	6,4939	4,1990	1, 9711	0,2840	0,00002162

Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και ανάπτυξη των ορεινών περιοχών

8,6	13,3891	11,0865	8,7840	6,4822	4,1874	1, 9604	0,2790	0,00001936
8,7	13,3776	11,0750	8,7725	6,4707	4,1759	1, 9498	0,2742	0,00001733
8,8	13,3661	11,0635	8,7610	6,4592	4,1646	1, 9393	0,2694	0,00001552
8,9	13,3548	11,0523	8,7497	6,4480	4,1534	1, 9290	0,2647	0,00001390
9,0	13,3437	11,0411	8,7386	6,4368	4,1423	1,9187	0,2602	0,00001245
9,1	13,3326	11,0300	8,7275	6,4258	4,1313	1,9087	0,2557	0,00001115
9,2	13,3217	11,0191	8,7166	6,4148	4,1205	1,8987	0,2513	0,000009988
9,3	13,3109	11,0083	8,7058	6,4040	4,1098	1,8888	0,2470	0,000008948
9,4	13,3002	10,9976	8,6951	6,3934	4,0992	1,8791	0,2429	0,000008018
9,5	13,2896	10,9870	8,6845	6,3828	4,0887	1,8695	0,2387	0,000007185
9,6	13,2791	10,9765	8,6740	6,3723	4,0784	1,8599	0,2347	0,000006439
9,7	13,2688	10,9662	8,6637	6,3620	4,0681	1,8505	0,2308	0,000005771
9,8	13,2585	10,9559	8,6534	6,3517	4,0579	1,8412	0,2269	0,000005173
9,9	13,2483	10,9458	8,6433	6,3416	4,0479	1,8320	0,2231	0,000004637

## Παράρτημα Δ

Η προστασία από τη ρύπανση και η απορρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από γεωτεχνικής άποψης. Η «προστασία» αναφέρεται στις ενέργειες, που λαμβάνουν χώρα, ώστε να περιοριστεί η επέκταση ήδη υφιστάμενης ρύπανσης σε άλλες περιοχές, λ.χ. μέσω της μεταφοράς του ρύπου με τα υπόγεια νερά. Η «απορρύπανση» αφορά στη λήψη όλων των απαιτούμενων μέτρων με σκοπό να αποκατασταθούν φυσικά συστήματα, που έχουν ήδη ρυπανθεί. Βέβαια, η πλήρης αποκατάσταση κρίνεται αδύνατο να επιτευχθεί.

Η απαίτηση για υλοποίηση δράσεων προστασίας και απορρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων νερών έχει κοινωνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές κ.α. πτυχές και πηγάζει συνήθως από (Καββαδάς και Πανταζίδου, 2007):

- **Τον κίνδυνο που πιθανόν να ενέχει ο βαθμός ρύπανσης μιας περιοχής για τη δημόσια υγεία.**

- **Τη διαπίστωση ότι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος χαρακτηρίζεται ως «μη αποδεκτή»:** Το τελευταίο διάστημα, η αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση των κοινωνικών φορέων έχει επιβάλλει αυστηρότερα όρια στο χαρακτηρισμό μιας περιοχής αναφορικά με το βαθμό περιβαλλοντικής υποβάθμισής της. Ως ακολούθως, τα συστήματα τα οποία οφείλουν να αποκατασταθούν έχουν παρουσιάσει σημαντική αύξηση. Ακόμη και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο βαθμός ρύπανσης δεν εμπερικλείει κινδύνους για τη δημόσια υγεία, μπορεί να υφίσταται η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος.

- **Την ανάγκη αύξησης της εμπορικής αξίας των ακινήτων μιας περιοχής.**

- **Την ανάγκη ανάπτυξης μιας περιοχής μέσω της χωροθέτησης τεχνικών έργων ή παραγωγικών μονάδων, λ.χ. οικισμών, βιομηχανιών κ.ο.κ.:** Στην κατηγορία αυτή μπορούν να υπαχθούν και οι περιπτώσεις όπου διατίθενται μεν «καθαροί» χώροι για ανάπτυξη, ωστόσο το κόστος τους υπερβαίνει το μικτό κόστος ανάπτυξης, δηλαδή το άθροισμα του κόστους αγοράς και απορρύπανσης, άλλων χώρων στους οποίους επιβάλλεται η λήψη μέτρων απορρύπανσης. Ως «καθαρός» χώρος ορίζεται ένα περιβάλλον, το οποίο χρησιμοποιείται ειδικά στα πεδία της επιστημονικής έρευνας και παραγωγής και έχει ένα χαμηλό επίπεδο περιβαλλοντικών ρύπων, όπως σκόνη, αερομεταφερόμενα μικρόβια, αιωρούμενα σωματίδια και χημικούς υδρατμούς. Συγκεκριμένα, ένας «καθαρός» χώρος έχει ένα ελεγχόμενο επίπεδο ρύπανσης που προσδιορίζεται από τον αριθμό σωματιδίων ανά  $m^3$  σε ένα διευκρινισμένο μέγεθος σωματιδίων (<http://www.sigmahellas.gr/index.php?lang=1&thecatid=6&thesubcatid=254>).

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται η καταλληλότερη ανά περίπτωση τεχνική περιβαλλοντικής αποκατάστασης περιλαμβάνουν (Καββαδάς και Πανταζίδου, 2007, Βουδούρης, 2012):

- **Τη φύση, τη συγκέντρωση και την ποσότητα του ρυπαντή.**

- **Το είδος της πηγής ρύπανσης (λ.χ. σημειακή, με διάχυση, διαρκής, παροδική κ.α.).**

- **Το πάχος της ακόρεστης ζώνης.**

- **Το πάχος της κορεσμένης ζώνης.**

- **Το οικονομικό κόστος.**

■ **Τη διαθέσιμη τεχνολογία και τεχνογνωσία.**

■ **Τις εκτιμήσεις του σχεδιασμού για τη μελλοντική αξιοποίηση της γης.**

Η πρόληψη της ρύπανσης αποτελεί την πλέον αποτελεσματική και λιγότερο δαπανηρή μέθοδο αντιμετώπισης της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Επίσης, καίριο ζήτημα για τη διαχείριση της ρύπανσης είναι η λήψη άμεσων μέτρων περιορισμού της από τη στιγμή που έχει διαπιστωθεί, ώστε να μην προκληθούν μη αναστρέψιμες βλάβες στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα.

Σε γενικές γραμμές, η απομάκρυνση των υγρών ρυπαντών που είναι ελαφρύτεροι από το νερό και δεν αναμειγνύονται με αυτό (Light Non-Aqueous Phase Liquids, LNAPLs) είναι σχετικά απλή. Από την άλλη πλευρά, ρυπαντές, όπως τα βαριά πετρελαιοειδή, οι χλωριομένοι διαλύτες και τα εντομοκτόνα, που είναι βαρύτεροι από το νερό και καταβυθίζονται χωρίς να υπάρχει ανάμειξη με αυτό (Dense Non-Aqueous Phase Liquids, DNAPLs) δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν εύκολα. Ρυπαντές θεωρούνται οι υδρογονάνθρακες, οι αλκοόλες, τα υγρά καύσιμα, οι εστέρες, οι αιθέρες, οι νιτροαρωματικές ενώσεις, οι αλογονωμένες αρωματικές και αλιφατικές ενώσεις, το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το κάδμιο (Cd), ο ψευδάργυρος (Zn), ο μόλυβδος (Pb) και ο υδράργυρος (Hg).

Ο ρυθμός εξάπλωσης της ρύπανσης καθορίζεται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά (το πορώδες και το συντελεστή υδροπερατότητας), την παρουσία μικροοργανισμών, την παρουσία αργιλικών φακών κτλ.

Η αρχική ενέργεια επιλογής της μεθόδου απορρύπανσης είναι η επιτόπια παρακολούθηση (site monitoring). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού και αέρα με τις οποίες εκτιμώνται οι ιδιότητες (φυσικές και χημικές) των ρυπαντών.

Η πλέον απλή και μια οικονομική «μέθοδος» περιβαλλοντικής αποκατάστασης θεωρείται η αναφερόμενη χαρακτηριστικά ως «μηδενική λύση». Η συγκεκριμένη τεχνική προβλέπει τη σταδιακή εξουδετέρωση ή εξάλειψη του ρυπαντικού φορτίου μέσω φυσικών μηχανισμών, όπως η βιολογική αποδόμηση, η αραιώση, η εξάτμιση, η προσρόφηση στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών κ.α. Ωστόσο, η ευαισθησία των φυσικών μηχανισμών εξασθένησης στις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, pH) που μειώνει την αξιοπιστία της αποτελεσματικότητάς τους και η βραδεία δράση τους καθιστούν τη μηδενική λύση όχι και τόσο ελκυστική επιλογή.

Η εκσκαφή του ρυπασμένου εδάφους και απόρριψή του σε ελεγχόμενους αποδέκτες έχει αποδειχτεί αποτελεσματική τεχνική αποκατάστασης σε συγκεκριμένες περιπτώσεις εντοπισμένης ρύπανσης και περιορισμένης σε μικρό χώρο. Το πρόβλημα, που δημιουργείται όμως με την εφαρμογή της, είναι ο προσδιορισμός κατάλληλου χώρου επαρκούς χωρητικότητας για τη διάθεση του χύματος που έχει αφαιρεθεί και συλλεχθεί και η μετέπειτα διαχείρισή του με σύγχρονα ακριβά συστήματα προστασίας από την εξάπλωση της ρύπανσης (λ.χ. στεγάνωση του πυθμένα, συλλογή και απομάκρυνση του υγρού στραγγίσματος, κάλυψη). Επιπλέον νομικοί περιορισμοί ως προς τη δυνατότητα μεταφοράς του ρυπαντικού φορτίου, που έχει αφαιρεθεί, από ορισμένους μόνο οδούς, το αρκετά υψηλό κόστος της μεθόδου ιδιαίτερος στις περιπτώσεις που απαιτείται η αφαίρεση μεγάλου όγκου χύματος, η απλή μετάθεση του προβλήματος σε άλλη θέση και όχι η ουσιαστική αντιμετώπισή του αποτελούν καίρια μειονεκτήματα της μεθόδου. Η

επαναπλήρωση της εκσκαφής γίνεται με το επεξεργασμένο εδαφικό υλικό ή από υγιές υλικό μεταφερόμενο από αλλού.

Ένα προσωρινό μέτρο αντιμετώπισης της ρύπανσης αποτελεί η επιβολή περιορισμών στην πρόσβαση και χρήση της ρυπασμένης περιοχής από το κοινό μέσω περίφραξης, εγκατάστασης προειδοποιητικών πινακίδων κτλ.

Ως «μέθοδοι ενεργητικής απορρύπανσης» αναφέρονται οι τεχνικές αποκατάστασης που περιλαμβάνουν την απομάκρυνση των ρυπαντών ή την επεξεργασία τους επιτόπου. Οι βασικότερες εξ' αυτών αναλύονται ακολούθως (Καββαδάς και Πανταζίδου, 2007, Βουδούρης, 2012):

✦ **Μέθοδοι απορρύπανσης της ακόρεστης εδαφικής ζώνης:**

📖 **Βιολογική αποκατάσταση μέσω της αποδόμησης των οργανικών ρύπων, είτε επιτόπου είτε μετά από εκσκαφή και αναμόχλευση (Bio-remediation):** Η μέθοδος χρησιμοποιείται εδώ και αρκετές δεκαετίες στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων, ενώ η εφαρμογή της στην απορρύπανση του εδάφους και των υπόγειων νερών είναι πρόσφατη. Κατά την τελευταία δεκαετία, εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH), πτητικές οργανικές ενώσεις (BTEX), χλωριούχους οργανικούς ρυπαντές (τετραχλωράνθρακας, PCP, PCBs) κ.α. Βασίζεται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών από μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες) και την τελική μετατροπή τους σε αβλαβή συστατικά για τα φυσικά συστήματα. Σε αυτό το σημείο, επισημαίνεται ότι τα ενδιάμεσα προϊόντα της αποδόμησης μπορεί να είναι εξίσου ή και περισσότερο επιβλαβή από τους αρχικούς ρυπαντές. Κατά σηνέπεια, θα πρέπει να επιδιώκεται η πλήρης αποδόμηση των ρυπαντών ώστε να εξουδετερωθεί η βλαπτική τους επίδραση. Οι μικροοργανισμοί παράγουν ένζυμα (πρωτεΐνες), τα οποία έχουν καταλυτική δράση και αποδομούν τους οργανικούς ρυπαντές. Η τέλεια αποδόμηση παράγει ως τελικά προϊόντα ανόργανες ουσίες, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και νερό (H<sub>2</sub>O), ενώ η ατελής παράγει μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), νιτρικά και θειικά άλατα. Οι ικανές συνθήκες για την αποτελεσματική αποδόμηση περιλαμβάνουν:

- Την παρουσία μικροοργανισμών, οι οποίοι παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα για την κατανάλωση του συγκεκριμένου ρυπαντή.

- Την παρουσία οργανικών ουσιών οι οποίες αποδίδουν την απαιτούμενη ενέργεια με την αποσύνθεσή τους, ώστε να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί.

- Την παρουσία θρεπτικών συστατικών για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το κάλιο (K).

- Την παρουσία ατόμων ή ριζών που υποδέχονται τα ηλεκτρόνια, τα οποία απελευθερώνονται κατά την οξείδωση των οργανικών ουσιών.

- Την παρουσία κατάλληλων συνθηκών περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, pH, απουσία τοξικών χημικών ενώσεων) για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Ο ρυθμός της βιοαποδόμησης ακολουθεί τον εκθετικό νόμο:

$$C = C_0 \times e^{-at}, \text{ όπου}$$


C: η συγκέντρωση μετά χρόνο t


C<sub>0</sub>: η αρχική συγκέντρωση





a: η σταθερά διάσπασης, η οποία ισούται με  $a=0,693/t_{1/2}$ , όπου  $t_{1/2}$  είναι ο χρόνος ημιζωής.

Η βιολογική επεξεργασία ευνοείται με αερισμό της ακόρεστης εδαφικής ζώνης (βιοαερισμό).

 **Έκπλυση του εδάφους με χημικές ουσίες (Soil washing, chemical extraction, leaching):** Η μέθοδος προϋποθέτει την εφαρμογή στο ρυπασμένο έδαφος νερού υπό πίεση, το οποίο περιέχει οξέα, βάσεις ή απορρυπαντικά, ώστε να διαλυθούν ή να διασπαστούν οι ρυπαντές. Κατά τη διάρκεια της τεχνικής, το έδαφος αναμοχλεύεται και οι ρύποι αποβάλλονται. Το νερό που προκύπτει μετά την έκπλυση περιέχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο και οφείλει να υποστεί επεξεργασία για να μπορέσει να ανακυκλωθεί. Άλλο ένα πρόσθετο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αυξημένη επικινδυνότητα διαφυγής του νερού στο υπέδαφος και επέκτασης της ρύπανσης. Τέλος, το ρόλο του νερού μπορεί να έχουν οργανικοί διαλύτες, οι οποίοι όμως είναι εύφλεκτοι, τοξικοί κ.α.

 **Θερμική επεξεργασία είτε επιτόπου είτε μετά από μεταφορά σε ειδικούς κλιβάνους όπου επιβάλλεται απλή θέρμανση (heating), καύση (incineration) ή επεξεργασία με ατμό (Steam stripping):** Οι πτητικοί ρύποι (πετρελαιοειδή, κυανιούχες ουσίες, πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις, αμίαντος) απομακρύνονται με την επεξεργασία του εδάφους σε υψηλή θερμοκρασία σε κλιβάνους. Η μέθοδος έχει βρει εφαρμογή και στην αντιμετώπιση της ρύπανσης από PCBs. Εάν η θερμοκρασία του κλιβάνου αυξηθεί σημαντικά, προκαλείται καύση των ρυπαντών. Σε κάθε περίπτωση η θέρμανση πρέπει να γίνεται ελεγχόμενα και προσεκτικά, ώστε να μην παραχθούν δηλητηριώδη αέρια (διοξίνες) και η ρύπανση να μεταφερθεί στην ατμόσφαιρα. Επιτόπια θερμική απορρύπανση μπορεί επίσης να συντελεστεί με διοχέτευση υπέρθερμου ατμού στο έδαφος μέσω γεωτρήσεων (steamstripping). Έτσι, οι πτητικοί ρυπαντές εξατμίζονται και συλλέγονται με αναρρόφηση από διαφορετικές γεωτρήσεις, ενώ οι ευδιάλυτοι ρυπαντές διαλύονται στο νερό του ατμού και απομακρύνονται σε σύστημα αποστράγγισης. Στην τελευταία περίπτωση βέβαια ευνοείται περισσότερο η ατμοσφαιρική ρύπανση.

 **Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (Vacuum extraction) ή απλού αερισμού (Soil venting):** Η απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης είναι μια τεχνική που αναπτύχθηκε πρόσφατα για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από πτητικούς υδρογονάνθρακες (ελαφρά πετρελαιοειδή) της μερικώς κορεσμένης εδαφικής ζώνης. Περιλαμβάνει τη διάνοιξη γεωτρήσεων στη συγκεκριμένη στρώση και την εφαρμογή αναρρόφησης, η οποία προκαλεί την εξάτμιση των πτητικών υδρογονανθράκων. Στη συνέχεια, οι ρυπαντές συλλέγονται μαζί με τον αέρα, που αναρροφάται. Συνήθως, τα εδάφη με αδρομερή υλικά (χάλικες) θεωρούνται περισσότερο κατάλληλα για την εφαρμογή της μεθόδου, διότι έχουν υψηλή αγωγιμότητα και μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα υποπίεση σε σημαντική περιοχή περιμετρικά της γεώτρησης. Αναγκαία συνθήκη για την ορθή εφαρμογή της μεθόδου είναι η απαίτηση απομόνωσης της μερικώς κορεσμένης εδαφικής ζώνης από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Για το λόγο αυτό, η εδαφική επιφάνεια καλύπτεται με συνθετική μεμβράνη. Η υποπίεση δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάτω από τη στάθμη των υπόγειων νερών, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται μόνο η επιφάνεια του υδροφόρου συστήματος.

 **Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων:** Η τεχνική προβλέπει τη χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλής συχνότητας για την εξαέρωση πτητικών

υδρογονανθράκων. Το έδαφος θερμαίνεται σε θερμοκρασίες 150°C για δύο εβδομάδες και υπόκειται σε εξαέρωση.

■ **Μέθοδοι απορρύπανσης υπόγειων υδροφόρων συστημάτων:**

**Βιολογική αποκατάσταση μέσω της αποδόμησης των οργανικών ρύπων (Bio-remediation):** Η μέθοδος ανήκει στις μη συμβατικές τεχνικές επιτόπιας αποκατάστασης και βασίζεται στη δράση μικροοργανισμών (βακτηρίων και μυκήτων), οι οποίοι αποδομούν οργανικές ουσίες. Στις μέρες μας, τυγχάνει αποδοχής συνήθως για την απορρύπανση από υδρογονάνθρακες. Η ευαισθησία του ρυπαντή στη βιοαποδόμηση από μικροοργανισμούς που ενδημούν ή εισάγονται στο ρυπασμένο υδροφόρο σύστημα, το είδος και η πυκνότητα των μικροοργανισμών, περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η τοξικότητα και το pH, είναι τα κριτήρια που καθορίζουν εάν η εφαρμογή της μεθόδου θα αποδειχτεί αποτελεσματική. Οι μικροοργανισμοί παράγουν ένζυμα τα οποία έχουν καταλυτική δράση και αποικοδομώντας τους οργανικούς ρύπους εκλύουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), νερό (H<sub>2</sub>O), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), νιτρικά και θειικά άλατα. Η αερόβια βιοαποδόμηση των οργανικών ρυπαντών προϋποθέτει την εισαγωγή αέρα μέσω γεωτρήσεων μεγάλου βάθους και με σκοπό να είναι περισσότερο αποτελεσματική συνδυάζεται με άλλες μεθόδους απορρύπανσης. Όταν υπάρχει ανθρωπογενής επίδραση στη δράση των μικροοργανισμών, όπως με την τεχνητή δημιουργία συνθηκών που εξασφαλίζουν το υπόβαθρο ανάπτυξης της μικροβιακής κοινότητας και παροχή ενέργειας, η μέθοδος χαρακτηρίζεται ως «μηχανική βιοαποκατάσταση» (engineered bioremediation). Στην αντίθετη περίπτωση, ονομάζεται ειδική βιοαποκατάσταση (intrinsic bioremediation). Η μηχανική μέθοδος εξελίσσεται ταχύτερα από την ειδική. Μειονέκτημα της βιολογικής αποκατάστασης είναι η απόφραξη των γεωτρήσεων, όταν υπάρχει εστιακή συγκέντρωση των μικροοργανισμών. Η απόφραξη αντιμετωπίζεται είτε με την εισαγωγή πρωτόζωων, τα οποία εξολοθρεύουν τους μικροοργανισμούς, είτε με χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου σε αντικατάσταση του οξυγόνου.

📷 **Μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων και αιωρούμενων ρυπαντών (Pump and treat):** Τα υπόγεια νερά, που έχουν αναμειχθεί με διαλυμένους ρυπαντές, αντλούνται και οδηγούνται σε μονάδα επεξεργασίας, όπου συνήθως λαμβάνει χώρα προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (C). Στη συνέχεια, είτε επανεισάγονται στο υδροφόρο σύστημα είτε διατίθενται στο έδαφος ή σε γειτνιάζον υδατόρευμα. Ο προσδιορισμός της θέσης των γεωτρήσεων άντλησης συνοπολογίζει την ταχύτητα ροής των υπόγειων νερών, το πάχος και τη μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου συστήματος, τον προκαθορισμένο αριθμό των συνολικών γεωτρήσεων και τέλος την παροχή άντλησης ανά γεώτρηση. Η πλέον αποτελεσματική διάταξη των γεωτρήσεων άντλησης-έγχυσης είναι η κεντροαξονική, η οποία προϋποθέτει τη διάνοιξη 1 γεώτρησης άντλησης και 2 έγχυσης εκατέρωθεν αυτής σε ευθεία γραμμή και σε ίσα διαστήματα.

📷 **Μέθοδος άντλησης επιπλέοντων ρυπαντών, όπως ελαφρών πετρελαιοειδών (Free product recovery):** Η τεχνική αξιοποιεί το σύστημα διπλής άντλησης του ρυπαντή που επιπλέει (dual pump free product recovery). Τα ρυπασμένα υπόγεια νερά αντλούνται μέσω γεώτρησης, σχηματίζεται ένας κώνος πτώσης της υπόγειας στάθμης, ο ρυπαντής λόγω της υδραυλικής κλίσης που διαμορφώνεται οδεύει προς τη γεώτρηση και στη συνέχεια αντλείται από

διαφορετική αντλία. Η τεχνική ενέχει τον κίνδυνο ρύπανσης του υδροφόρου συστήματος στο συνολικό του πάχος.

**Αφαίρεση πτητικών ρυπαντών με εφαρμογή υποπίεσης (Vacuum extraction)/Αεροδιαχωρισμός (Air stripping):** Πτητικοί ρυπαντές θεωρούνται η βενζίνη, οι πτητικοί υδρογονάνθρακες κ.α. Στο χρησιμοποιούμενο σύστημα (αεροδιαχωριστή) διοχετεύεται αέρας με φυσητήρα και οι πτητικές ουσίες εξατμίζονται, σύμφωνα με το νόμο του Henry. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεταφορά της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.

**Αεροδιασπορά (Air sparging):** Στην αεροδιασπορά, ο αέρας διαβιβάζεται από έναν αεροσυμπιεστή μέσα από κατακόρυφο αγωγό στην κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου, σε σχέση με τις υπόλοιπες, είναι η ταυτόχρονη επίτευξη απορρύπανσης της κορεσμένης και ακόρεστης ζώνης.

**Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος (Electroreclamation):** Στην πλειονότητα των περιπτώσεων ρύπανσης με βαρέα μέταλλα, λαμβάνει χώρα φυσική αποκατάσταση μέσω προσρόφησης των ιόντων των μετάλλων στην επιφάνεια αργιλικών ορυκτών. Όταν όμως επιλεγεί η εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης μέσω ηλεκτροδίων, τα ιόντα των μετάλλων κατευθύνονται προς τα άνω και συλλέγονται.

**Χημική επεξεργασία:** Η τεχνική ανήκει στις μεθόδους αποκατάστασης που εφαρμόζονται στο πεδίο, όμως μια πιθανή αποτυχία της θα σήμαινε ότι πέρα από την αφαίρεση των ρυπαντών που επιδιωκόταν αρχικά, θα έπρεπε να αφαιρεθούν και οι χημικές ενώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί.

**Εδαφική διάθεση των λυμάτων:** Η τεχνική έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο V της εργασίας.

**Πίνακας III:** Μέθοδοι απορρύπανσης των υδροφόρων συστημάτων και του εδάφους (Βουδούρης, 2012)

Τεχνική	Επιδιωκόμενο αποτέλεσμα
Έλεγχος της πηγής ρύπανσης με μείωση του όγκου του ρυπαντή και φυσικοχημική εξουδετέρωσή του	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ελαχιστοποίηση ή πρόληψη της ρύπανσης των υδροφόρων συστημάτων</li> <li>■ Μείωση του όγκου του ρυπαντή ή εξουδετέρωση του του χαρακτήρα του (φυσικού ή χημικού)</li> </ul>
Συστήματα υδρογεωτρήσεων: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Συστοιχίες ρηχών γεωτρήσεων</li> <li>■ Βαθείς γεωτρήσεις</li> <li>■ Υδραυλικός φραγμός</li> <li>■ Σύνθετα συστήματα</li> <li>■ Συστήματα αφαίρεσης μη αντιδρώντων ρυπαντών (υδρογονανθράκων)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Έλεγχος της υδραυλικής κλίσης (και συνεπώς της υπόγειας ροής) με άντληση ή έγχυση νερού</li> <li>■ Απόληψη του μολυσμένου νερού και του επιπλέοντος ρυπαντή (υδρογονάνθρακα)</li> </ul>
Συστήματα σύλληψης (interception systems): <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Στραγγιστήρια (συλλεκτήρια συστήματα στραγγιδίων-στραγγιστήρια εκτόνωσης)</li> <li>■ Τάφρος συλλογής με άντληση ή με ροή λόγω βαρύτητας</li> </ul>	Τα συστήματα σύλληψης είναι εκσκαφές στην κορεσμένη ζώνη εξοπλισμένες με αγωγό. Η εκσκαφή μπορεί να είναι ανοιχτή (interceptor trench) ή με πληρωτικό υλικό (χαλίκι) πάνω από τον αγωγό (collector drain). Οι ανοιχτές εκσκαφές μπορεί να είναι ενεργές (άντληση) ή παθητικές (βαρυτική ροή). Προσομοιώνονται με συστοιχίες γεωτρήσεων άντλησης, που δημιουργούν έναν εκτεταμένο κώνο

	κατάπτωσης στο συνολικό μήκος της εκσκαφής.
Έλεγχος των επιφανειακών νερών (φυσική εξουδετέρωση, επένδυση, αποχέτευση και συνδυασμός)	Ελαχιστοποίηση των αφίξεων επιφανειακών νερών και της κατείσδυσης μέσω αποχέτευσης, επένδυσης-στεγανοποίησης και εξουδετέρωσης του ρυπαντή με προσρόφηση
Φραγμοί (στεγανοί): <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Πασσαλοσανίδες</li> <li>■ Κουρτίνες στεγανοποίησης</li> <li>■ Διαφράγματα από υδαρές υλικό</li> </ul>	Διοχέτευση υλικού μικρής υδροπερατότητας στο υπέδαφος, όπως πασσαλοσανίδες (άμεση στεγανοποίηση), τσιμεντενέσεις, διοχέτευση ενέματος σε πηγάδια ή τάφρους (απαιτείται περίοδος στερεοποίησης)
Επιτόπια επεξεργασία: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Χημική</li> <li>■ Βιολογική</li> </ul>	Εισαγωγή στο υπέδαφος υλικών που προκαλούν ή ενισχύουν το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων, που ακινητοποιούν ή απομακρύνουν το ρυπαντή ή δημιουργούν περιβάλλον ευνοϊκό για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, που χρησιμοποιούν το ρυπαντή ως πηγή ενέργειας
Επεξεργασία των υπόγειων νερών στην επιφάνεια ή στο υπέδαφος	Αεροδιαχωρισμός οργανικών ρυπαντών, αεροδιασπορά, βιοαπορρύπανση, προσρόφηση από ενεργό άνθρακα, χημική καθίζηση για την αφαίρεση των μετάλλων και των ανόργανων ρυπαντών

Οι τεχνικές περιορισμού της επέκτασης της ρύπανσης περιλαμβάνουν (Καβαβάδας και Πανταζίδου, 2007, Βουδούρης, 2012):

■ **Εγκιβωτισμό (διαφράγματα) (Containment):** Τα διαφράγματα κατασκευάζονται υπόγεια ή επιφανειακά ώστε να λειτουργούν ως φραγμός στη κατείσδυση του βρόχινου νερού. Συνήθως, κατασκευάζονται από στεγανοποιητικά υλικά (μπετονίτη, τσιμέντο), από σιδερένιους πασσάλους ή από γεωμεμβράνες. Αρχικά, συλλέγονται δείγματα μέσω γεωτρήσεων, που έχουν διανοιχτεί σε διαφορετικά βάθη, και οριοθετείται η ρυπασμένη ζώνη. Η τεχνική περιλαμβάνει τα συστήματα κάλυψης της εδαφικής επιφάνειας, τα περιμετρικά κατακόρυφα διαφράγματα, τα οριζόντια διαφράγματα βάσης, τα συστήματα σταθεροποίησης του εδάφους που έχει ρυπανθεί με χημικές (τσιμέντο, άσβεστο, πολυμερή, ασφαλτικά κλπ) ή με θερμικές μεθόδους (vitrification).

■ **Αναστροφή της κίνησης των υπόγειων νερών:** Στόχος της μεθόδου είναι ο περιορισμός της διαφυγής των ρυπασμένων νερών προς υδάτινους αποδέκτες ή της αραίωσης των ρύπων. Για το λόγο αυτό, ρυθμίζεται η στάθμη μέσω γεωτρήσεων άντλησης και έγχυσης.

■ **Σταθεροποίηση του εδάφους (Soil stabilization, solidification):** Το ρυπασμένο έδαφος στερεοποιείται με τη προσθήκη κατάλληλου υλικού (τσιμέντου, ασβέστου, συνθετικών ουσιών, ασφαλτικών υλικών). Το κονίαμα που προκύπτει έχει χαμηλή υδροπερατότητα, εμποδίζει την κίνηση των υπόγειων νερών και κατά συνέπεια την εξάπλωση της ρύπανσης.

## Η νιτρορύπανση των υπόγειων νερών και οι μέθοδοι αντιμετώπισής της

Το άζωτο (N) εντοπίζεται στο υδάτινο περιβάλλον με τη μορφή αμμωνίας (NH<sub>3</sub>), νιτρικών (NO<sub>3</sub>), νιτρώδων (NO<sub>2</sub>), οργανικών συμπλόκων και ως αέριο. Η νιτρορύπανση των υπόγειων και των επιφανειακών νερών, δηλαδή τιμές της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου (NO<sub>3</sub>-N) μεγαλύτερες από 1mg/L, αποτελεί ένα πολυδιάστατο φαινόμενο, το οποίο αποδίδεται πρωτίστως σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Κύριες πηγές προέλευσης των νιτρικών του εδάφους είναι η υπέρμετρη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων σε εργασίες του γεωργικού παραγωγικού τομέα, όπως του νιτρικού καλίου (KNO<sub>3</sub>) και του νιτρικού αμμωνίου (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), η ανεξέλεγκτη διάθεση κοπριάς των κτηνοτροφικών μονάδων, καθώς και η εκτεταμένη χρήση βόθρων για τη συλλογή των οικιακών υγρών αποβλήτων. Οι περισσότερες αζωτούχες ενώσεις τείνουν να μετατραπούν σε νιτρικά άλατα, όταν βρεθούν σε υδάτινα οικοσυστήματα.

Τα νιτρικά χαρακτηρίζονται από υψηλή διαλυτότητα και ευκολία μετακίνησης μέσα στο έδαφος. Συμπερασματικά, καθίσταται αντιληπτό το γεγονός ότι εύκολα μπορούν να απολήξουν σε επιφανειακά υδατορεύματα και υπόγεια υδροφόρα συστήματα και να ρυπάνουν το νερό.

Απόρροια της νιτρορύπανσης των επιφανειακών νερών αποτελεί και το φαινόμενο του ευτροφισμού, ενώ υπόγεια νερά, τα οποία έχουν ρυπανθεί από νιτρικά, μπορούν να έχουν επιζήμια δράση για τη δημόσια υγεία και την υγεία των ζώων, στις περιπτώσεις όπου το υδροφόρο σύστημα αντλείται για ύδρευση. Οι επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να είναι (Ζαραμπούκα, 2011):

✦ **Βραχυπρόθεσμες:** Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό έχουν αποδειχτεί υπεύθυνες για πρόκληση σοβαρών ασθενειών ακόμη και θανάτων. Στα βρέφη, τα νιτρικά μετατρέπονται σε νιτρώδη και η διαδικασία αυτή επηρεάζει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο. Η ασθένεια εκδηλώνεται με δυσκολία στην αναπνοή και κυανό χρωμα στο δέρμα.

✦ **Μακροπρόθεσμες:** Η μακροχρόνια έκθεση σε συγκεντρώσεις νιτρικών ανώτερες από τις μέγιστες ανεκτές μπορεί να προκαλέσει διούρηση, αύξηση των αμυλωδών αποθέσεων και αιμορραγία της σπλήνας.

Το ανώτερο επιτρεπτό όριο της συγκέντρωσης των νιτρικών, που έχει καθοριστεί από την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία, ώστε η χρήση του νερού ως πόσιμου να μην κρίνεται απαγορευτική, είναι τα 50mg/L. Ωστόσο, υφίσταται σοβαρός προβληματισμός ακόμη και για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 25mg/L, όταν το υδροφόρο σύστημα χρησιμοποιείται για ύδρευση για σημαντικά χρονικά διαστήματα. Στην Ελλάδα, έχουν χαρακτηριστεί ως «ευπρόσβλητες ζώνες σε νιτρορύπανση» αρκετές περιοχές (Ανατολική και Δυτική Θεσσαλία συμπεριλαμβανομένου και ενός τμήματος του Νομού Φθιώτιδας, Κωπαϊδικό πεδίο, Λεκάνη Πηνειού-Ηλείας, πεδιάδα Θεσσαλονίκης-Πέλλας-Ημαθίας συμπεριλαμβανομένου και του Νομού Κιλκίς, λεκάνη Στρυμόνα συμπεριλαμβανομένης και της λίμνης Κερκίνης, πεδιάδα Άρτας-Πρέβεζας, Αργολικό πεδίο), στις οποίες τα επίπεδα νιτρικών και νιτρώδων υπερβαίνουν τα μέγιστα αποδεκτά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, όσον αφορά το συνολικό άζωτο γεωργικής και κτηνοτροφικής προέλευσης των αγροτικών εκτάσεων της Ευρωπαϊκής

Ένωσης, αυτό ανέρχεται στα 18 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Σε γενικές γραμμές, η συγκέντρωση των νιτρικών ( $\text{NO}_3$ ) λαμβάνει χαμηλή τιμή, όταν παρεμβάλλεται αργιλικό στρώμα στην ακόρεστη εδαφική ζώνη, ενώ ελαττώνεται συναρτησί του βάθους κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Συνήθως, οι υδροφόροι ορίζοντες μικρού βάθους ρυπαίνονται από νιτρικά ( $\text{NO}_3$ ) σε μεγαλύτερο βαθμό από τους βαθύτερους. Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) στον αγρό με το γρασίδι χωρίς λίπανση δεν υπερβαίνει την τιμή των 6mg/L. Αντίθετα, στους αγρούς που λιπαίνονται η συγκέντρωση υπερβαίνει τα 10 mg/L.

Η αντιμετώπιση της νιτρορύπανσης είναι συνήθως μακροχρόνια. Ο χρόνος απορρύπανσης εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο νερό, το πάχος και το πορώδες του υδροφόρου συστήματος και την κατείσδυση. Η Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία προβλέπουν (Ζαραμπούκα, 2011, Βουδούρης, 2012):

- ✦ Τον προσδιορισμό των υδάτινων συστημάτων, τα οποία είναι επιρρεπή σε ευτροφισμό.
- ✦ Την εφαρμογή προγραμμάτων ορθής γεωργικής πρακτικής με σκοπό τον περιορισμό του αζώτου που καταλήγει στο νερό.
- ✦ Την κατάλληλη επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων.
- ✦ Την παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών.

Η απονίτρωση επιδιώκεται μέσω (Ζαραμπούκα, 2011, Βουδούρης, 2012):

- ✦ **Φυσικής απονίτρωσης:** Η φυσική απονίτρωση αφορά κυρίως τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης και περιλαμβάνει διακοπή ή περιορισμό της χρήσης των λιπασμάτων. Οι κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής (ΚΥΑ 16190/1335/97, ΦΕΚ 519B/25-6-1997) προβλέπουν την εφαρμογή κανόνων σχετικών με τον προσδιορισμό των χρονικών διαστημάτων κατά τα οποία δεν ενδείκνυται η λίπανση, τη χρήση λιπασμάτων σε κεκλιμένη εδαφική επιφάνεια ή σε κορεσμένα εδάφη πλησίον υδατορευμάτων, καθώς και την κατάρτιση σχεδίων λίπανσης ανά αγρόκτημα και την τήρηση αρχείων για τη χρήση των λιπασμάτων και τις χρήσεις γης. Για τις περιοχές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως «ευπρόσβλητες ζώνες», σύμφωνα με την ΚΥΑ 19562/1906/99 (ΦΕΚ 1575B/5-8-1999), ο σχεδιασμός στοχεύει στην αποκατάσταση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων ή τη μείωση της επέκτασης της ρύπανσης σε άλλες περιοχές μέσω της κίνησης του νερού. Ο χρόνος απορρύπανσης καθορίζεται από την αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ( $\text{NO}_3$ ), το πάχος και το πορώδες του υδροφόρου ορίζοντα και την κατείσδυση. Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$t = -t_r / \ln(C/C_0), \text{ όπου}$$

$t_r$ : ο χρόνος παραμονής του ρύπου στον υδροφόρο ορίζοντα ( $t_r = D \times n/l$ , όπου  $D$ : το πάχος του υδροφόρου συστήματος,  $n$ : το πορώδες,  $l$ : η κατείσδυση, δηλαδή ο ετήσιος εμπλουτισμός του υδροφόρου συστήματος)

$C_0$ : η αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων

$C$ : η συγκέντρωση απορρύπανσης (~15 mg/L) σε χρόνο  $t$  μετά τη διακοπή της λίπανσης.

- ✦ **Ιοντοανταλλαγής:** Το νερό διηθείται μέσω συνθετικών ρητινών και λαμβάνει χώρα ιοντοανταλλαγή μεταξύ των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) και χλωριόντων ( $\text{Cl}^-$ ). Πιο

συγκεκριμένα, το νερό διαπερνά μια ημιπερατή μεμβράνη, στην οποία συγκρατούνται τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ). Συνήθως, εφαρμόζεται η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης, ώστε να επιτευχθεί αφαλάτωση και απονίτρωση. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η απόφραξη των μεμβρανών.

✦ **Ηλεκτροδιάλυση:** Τα ιόντα διέρχονται επιλεκτικά μέσω ημιπερατών μεμβρανών κατόπιν εφαρμογής ηλεκτρικής τάσης.

✦ **Χημικής απονίτρωσης:** Η μέθοδος περιλαμβάνει την προσθήκη αργιλίου (Al) στο υδατικό διάλυμα, που περιέχει νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), και την πραγματοποίηση διαδοχικών χημικών αντιδράσεων, οι οποίες παράγουν ως προϊόντα αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) ή ελεύθερο άζωτο ( $\text{N}_2$ ). Στην περίπτωση κατά την οποία παράγεται αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), λαμβάνει χώρα και αεροδιαχωρισμός και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

✦ **Βιολογικής απονίτρωσης:** Η μέθοδος χρησιμοποιεί μικροοργανισμούς, οι οποίοι καταναλώνουν το άζωτο (N) για την ανάπτυξή τους. Επίσης, μπορεί να δημιουργηθεί βιομάζα από φύκη, τα οποία αξιοποιούν τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) ως τροφή.

## Πηγές πληροφοριών

### Βιβλιογραφία

- Abd-Elhami H., Javadi A. (2008). An investigation into control of saltwater intrusion considering the effects of Climate Change and sea level rise. 20<sup>th</sup> Saltwater Intrusion Meeting. School of Engineering Computing and Mathematics. University of Exeter. Exeter, United Kingdom. p. 2-3.
- Abdel-Jawad M., Ebrahim S., Al-Tabtabaei M., Al-Shammari S. (1999). Advanced technologies for municipal wastewater purification: Technical and economic assessment. *Desalination*.
- Allan J.A. (1996). Overall perspectives on countries and regions. In: Rogers, P., Lydon, P. (Eds.). *Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- Allan J.A. (1999). A convenient solution. *The UNESCO Courier*. February.
- Allan J.A. (2003). Virtual water-the water, food, and trade nexus: useful concept or misleading metaphor? *Water Int.* 28. 4–11.
- Alley W. M. (2003). Desalination of ground water: Earth science perspectives: United States Geological Survey Fact Sheet 075-03. Available at <http://water.usgs.gov/pubs/fs/fs075-03/>.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (1987). *Ground water management*. 3<sup>rd</sup> Edition. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. No 40. New York.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2001). *Standard guidelines for Artificial Recharge of ground water*. Environmental and Water Resources Institute. EWRI/ASCE 34-01. Virginia.
- Angelakis A.N., Bontoux L. (2001). Wastewater reclamation and reuse in European countries. *Water Policy*.
- Angelakis A.N., Marecos do Monte M.H.F., Bontoux L., Asano T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: Need for guidelines. *Wat. Res.*
- Angelakis A.N., Spyridakis S.V. (1996). Eds. *The Status of water resources in Minoan times: A preliminary study. Diachronic climatic impacts on water resources with emphasis on Mediterranean region*. Heidelberg. Germany. Springer-Verlag.
- Anthonisen A.C., Loehr R.C., Prakasam T.B.S., Srinath E.G. (1976). Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *J. WPCF*. p. 24, 835-852.
- Argo D.G., Cline N.M. (1985). Groundwater Recharge operations at Water Factory 21, Orange County, California. In *Artificial Recharge of ground water*. T. Asano ed. Boston, Mass. Butterworth.
- Aronovici V.S., Schneider A.D., Jones O.R. (1972). Basin Recharge of the Ogallala aquifer. *Proceedings Irrigation and Drainage Division Journal*. V. 98 (IR1).
- Aronson D.A., Seaburn G.E. (1974). Appraisal and operating efficiency of Recharge basins on Long Island, New York, in 1969. United States Geological Survey. Water-Supply. Paper No. 2001-D. Washington.
- Asano T. (ed.) (1985). *Artificial Recharge of ground water*. Butterworth Publ. Boston. MA.



- Asano T. (ed) (1985). Artificial Recharge of ground water. Section III. Ground water Recharge Operations. Butterworth. London.
- Back W., Freeze R.A. (1983). Chemical hydrogeology: Benchmark papers in geology. 73. Hutchinson Ross Publication Company. Stroudsburg. Pa. p. 416.
- Baier D.C., Wesner G.W. (1971). Reclaimed waste for ground water Recharge. Water Resources Bulletin. V. 7(5).
- Barlow P. (2003). Ground water in freshwater-saltwater environments of the Atlantic coast. Ministry of Interior of the United States of America. Geological Survey. Reston. Virginia. p. 1-2, 7, 32.
- Basu A.R., Jacobsen S.B., Poreda R.J., Dowling C.B., Aggarwal P.K. (2001). Large ground water strontium flux to the oceans from the Bengal basin and the marine strontium isotope record: Science. V. 293. p. 1470-1473.
- Baumann P. (1965). Technical development in ground water Recharge. Advances in Hydrosience. V.T. Chow Ed. V. 2. p. 209-279. Academic Press. New York.
- Bajwa M.S., Josan A.S. (1989). Effect of alternating sodic and non-sodic irrigation on build up of sodium in soil and crop yield in northern India. Exp. Agric. 25.
- Bear J. (1979). Hydraulics of ground water. McGraw-Hill. New York. p. 569.
- Beddington J. (2012). The water footprint of New Zealand's goods and services. March 22, 2012.
- Bianchi W.C. (1978). Artificial ground water Recharge. In: Irrigation Drainage and Flood Control State-of-the Art. No. 1. International Commission on Irrigation and Drainage.
- Bianchi W.C., Muckel D.C. (1970). Ground water Recharge hydrology. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Pub. No. 41-161. p. 62.
- Bianchi W.C., Nightingale H.I., Mc Cormick R.L. (1978). Fresno, California, subsurface drain collector: Deep well Recharge system. American Water Works Association Journal. V. 70 (8).
- Bittinger M.W., Trelease F.J. (1965). The development and dissipation of a ground water mound. Trans. Amer. Soc. Agric. Engrs. V. 8.
- Bixio D., Thoeys C., De Koningb J., Joksimovich D., Savicc D., Wintgensd T., Melind T. (2006). Wastewater reuse in Europe. Elsevier. Desalination 187 (2006) 89-101. Received: 15 November, 2004. Accepted: 29 April, 2005. Presented at the International Conference on Integrated Concepts on Water Recycling. Wollongong. NSW. Australia. 14-17 February 2005.
- Bize J., Bourguet L., Lemoine J. (1972). L' Alimentation Artificielle des nappes souterraines. Εκδόσεις Masson et Cie. Paris.
- Bouwer H. (1962). Analyzing ground water mounds by resistance network. Journal Irrigation and Drainage Division. Am. Soc. Civil Eng. 88 (IR 3).
- Bouwer H. (1978). Ground water hydrology. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Bouwer H. (1982). Design considerations for earth linings for seepage control. Ground Water 20 (5).
- Bouwer H. (1985a). Waste water Recharge. Seminar on artificial recharge of ground water. Central Ground Water Board. Ahmedabad.

- Bouwer H. (1985b). Renovation of wastewater with rapid infiltration land treatment systems. Artificial Recharge of ground water. Edited by Asano T. Butterworth Publ.
- Bouwer H. (1989). Estimating and enhancing groundwater Recharge. In: Shanna ML (ed) Groundwater Recharge. Balkema. Rotterdam.
- Bouwer H. (1989). Systems for Artificial Recharge of ground water. Proceedings of the International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water. August 23-27, 1988. California. Publ. by ASCE. New York.
- Bouwer H. (1991). Role of ground water Recharge in treatment and storage of wastewater for reuse. Water Science and Technology. Volume 24. Number 9. Oxford.
- Bouwer H. (1993). From sewage farm to zero discharge. European Water Poll. Contr. 3 (1).
- Bouwer H. (1995a). Artificial Recharge: Issues and future. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Artificial Recharge of ground water. Publ. by ASCE. New York.
- Bouwer H. (1995b). Issues in Artificial Recharge. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. International Association on Water Quality. Iraklio. Crete. October 17-20, 1995.
- Bouwer H. (1996). Issues of Artificial Recharge. Water Sci. and Technology. 33 (10-11).
- Bouwer H. (1996). Discussion of Bouwer and Rice slug test review articles. Ground Water.
- Bouwer H. (1999). Artificial Recharge of ground water: Systems design and management. In: Mays LW (ed) Hydraulic Design Handbook. McGraw-Hill. New York.
- Bouwer H. (2002). Artificial Recharge of ground water: Hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal 10:121-142. DOI 10.1007/s10040-001-0182-4. Received: January 5, 2001. Accepted: July 2, 2001. Published online: January 26, 2002.
- Bouwer H., Rice R.C. (1984a). Renovation of wastewater at the 23<sup>rd</sup> Avenue rapid infiltration project. Phoenix. Arizona. J Water Pollut Contr Fed 56 (1).
- Bouwer H., Rice R.C. (1984b). Hydraulic properties of stony vadose zones. Ground Water 22 (6).
- Bouwer H., Rice R.C. (2001). Capturing flood waters for Artificial Recharge of ground water. Proc 10<sup>th</sup> Biennial Symp. on Artificial Recharge of Ground Water. Tucson. Arizona. Hydrological Society.
- Bouwer H., Ludke J., Rice R.C. (2001). Sealing pond bottoms with muddy water. J. Ecol. Eng. 18 (2).
- British Geological Survey (2002). The effectiveness of Artificial Recharge of ground water: A review. Commercial Report CR/02/108N. Keyworth. Nottingham.
- Brown D.L., Silvey W.D. (1977). Artificial Recharge to a freshwater-sensitive brackishwater sand aquifer. Norfolk. Virginia. United States Geological Survey. Prof. Paper 939. p. 53.
- Brown G.Jr., Deacon R. (1972). Economic optimization of a single-cell aquifer. Water Resources Research. V. 8(3).
- Bruington A.E., Seares F.D. (1965). Operating a sea water barrier project. J. of the irrigation and drainage division. ASCE. V. 91. No. IR1. Proc. Paper 4264.
- Buchan S. (1958). Replenishment of aquifers by artificial methods. In: Symposium on ground water. Calcuta. India. 1955. Pub. 4. Central Board of Geophysics.

- Bull R.J., Gerba C., Trussell R.R. (1990). Evaluation of the health risks associated with disinfection. *Critical reviews in environmental control*. 20. p. 77-113.
- Burnett B., Chanton J., Christoff J., Kontar E., Krupa S., Lambert M., Moore W., O'Rourke D., Paulsen R., Smith C., Smith L., Taniguchi M. (2002). Assessing methodologies for measuring ground water discharge to the ocean. *Eos*. V. 83. No. 11. p. 117-123.
- Burt O. (1970). Ground water storage control under institutional restrictions. *Water Resources Research*. V. 6 (6).
- Butler J.J.Jr. (1997). *The design performance and analysis of slug tests*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- California Department of Water Resources (1970). Oxnad basin experimental extraction type barrier. *Bulletin 147-6*. September.
- Carney D., Farrington J. (1998). *Natural resource management and institutional change*. Routledge Research. ODI Development Policy Studies.
- Carr R. (2005). WHO Guidelines for safe wastewater use: More than just numbers. *Irrigation and Drainage*. Irrig. and Drain. 54: S103-S111. Geneva. Switzerland.
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *Value of Water Research Report Series No. 13*. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft. The Netherlands.
- Church, T.M. (1996). An underground route for the water cycle: *Nature*. V. 380. No. 6575. p. 579-580.
- Clothier B. (2009). Water footprint as pressing as carbon dioxide emissions. *New Zealand Herald*. Auckland. New Zealand. September, 2009.
- Committee on Ground Water (1961). Recharge and withdrawal. In: *ASCE Manual of Engineering Practice*. No. 40.
- Committee on Ground Water Recharge, United States National Research Council (1994). *Ground water Recharge using waters of impaired quality*. ISBN: 0-309-57741-1. Water Science and Technology Board. Commission on Geosciences Environment and Resources. National Academy Press. Washington. D.C. p. 2-7, 51, 208, 211-257, 260, 269.
- Connorton B.J., McIntosh P. (1995). EUREAU survey on Artificial Recharge. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water*. Florida.
- Crites R., Tsobanoglous G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*, WCB. McGraw-Hill.
- Cummings R.G. (1970). Some extensions of the economic theory of exhaustible resources. *Western Journal of Economics*. V. 7(3).
- Cummings R.G. (1971). Optimum exploitation of ground water reserves with saltwater intrusion. *Water Resources Research*. V. 7 (6).
- Cummings R.G. (1974). *Interbasin water transfers: A case study in Mexico*. Baltimore. Johns Hopkins University Press.

- David R., Pyne G. (1994). Artificial Recharge developments in the United States. Ground water: Drought pollution and management. Peene and Watts (eds). Balkema. Rotterdam.
- Dinesh Kumar M., Ankit Patel, Ravindranath R., Singh O.P. (2008). Chasing a Mirage: Water harvesting and Artificial Recharge in naturally water-scarce regions. Economic and Political Weekly. Vol. 43 No. 35. August 30-September 5, 2008.
- Dvoracek M.J., Scott V.H. (1963). Ground water flow characteristics influenced by Recharge pit geometry. American Society of Agricultural Engineers Transactions. V. 6(3).
- Esmail O.J., Kimbler O.K. (1967). Investigation of the technical feasibility of storing fresh water in saline aquifers. Water Resources Research. V. 15 (5).
- European Environment Agency (EEA) (2005). European environment outlook. EEA Report No. 4/2005. ISSN 1725-9177. Copenhagen.
- Falkenmark M., Lindh G. (1993). Water and economic development. In: Gleick, P.H. (Ed.). Water in Crisis. Oxford University Press. New York.
- Farrington J., Turton C, James A.J. (1999). Participatory watershed development: Challenges for the twenty-first century. New Delhi. OUP.
- Fischler F. (2001). Η εκ των κάτω προσέγγιση. Το Leader και το ευρωπαϊκό πρότυπο αγροτικής ανάπτυξης. Κεφάλαιο IV.
- Flörke M., Alcamo J. (2004). European outlook on water use. Final Report. Center of Environmental Systems Research. University of Kassel. October 1, 2004.
- Franson J.W. (1989). Evaluating potential artificial recharge projects. Proceedings of the International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water. August 23-27, 1988. California. Publ. by ASCE. New York.
- Frederick K.D., Major D.C. (1997). Climate Change and water resources. Kluwer Academic Publishers. July 23, 1997. Netherlands.
- Friedler E. (2001). Water reuse-an integral part of water resources management: Israel as a case study. Water Policy 3 (2001) 29-39. Received: 13 June, 2000. Received in revised form: 15 October, 2000. Accepted: 13 November, 2000. Israel.
- Frijlink M.J., Abee T., Laanbroek H.J., Wietse de Boer, Konings W.N. (1992). The bioenergetics of ammonia and hydroxylamine oxidation in *Nitrosomonas europaea* at acid and alkaline pH. Volume 157. Issue 2. January, 1992.
- Frycklund C. (1998). Artificial recharge of ground water. Balkema. Rotterdam.
- Gale I., Neumann I., Calow R., Moench M. (2002). The effectiveness of Artificial Recharge of ground water: A review. Groundwater systems and water quality programme. Phase 1. Final report CR/02/108N. British Geological Survey. Natural Environment Research Council. Institute of Social and Environmental Transition. Katmandu. Nepal.
- GAO Ai-hua (2008). Mechanism and engineering application of mendable Carrousel 2000 oxidation ditch. Abstract. Beijing Sound Environmental Group. Beijing 101102. China.

- Glover R.E. (1964). Ground water movement. United States Bureau of Reclamation. Eng. Monogr. 31. p. 67.
- Goldberg E.D., Broecker W.S., Gross M.G., Turekian K.K. (1971). Marine chemistry in radioactivity in the marine environment. Washington. D.C. National Academy of Sciences. D. p. 137-146.
- Grady C.P.L.Jr., Lim H.C. (1980). Biological wastewater treatment. Marcel Dekker. New York.
- Gray N.F. (1990). Activated sludge: Theory and practise. Oxford University Press. New York.
- Grundiltzm C., Dalhammar G. (2000). Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *Nitrosomonas* and *Nitrobacter*. Department of Biotechnology. Royal Institute of Technology (KTH). Received: May 20, 1999. Accepted in revised form: April 17, 2000. Stockholm. Sweden. p. 436.
- Hantush M.S. (1967). Growth and decay of ground water mounds in response to uniform percolation. Water Resources Research. V.3(4).
- Hao X., Doddema H.J., Groenestijn W. (1997). Conditions and mechanisms affecting simultaneous nitrification and denitrification in a Pasveer oxidation ditch. Bioresource Technology.
- Harpaz Y. (1971). Artificial ground water Recharge by means of wells in Israel. Proceedings Hydraulics Division Journal. V. 97 (HY12).
- Haskell E.E.Jr., Bianchi W.C. (1965). Development and dissipation of ground water mounds beneath square recharge basins. Jour. Amer. Water Works Assoc. V. 57.
- Hauser V.L., Lotspeich F.B. (1967). Artificial ground water Recharge through wells. Journal of Soil and Water Conservation. V. 22 (1).
- Henze M., Dupont R., Grau P., De La Sota A. (1993). Rising sludge in secondary settlers due to denitrification. Water Res.
- Hoekstra A.Y., Hung P.Q. (2003). Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In: Hoekstra, A.Y. (Ed.). Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. December 12–13, 2002. Delft. The Netherlands.
- Huisman L., Olsthoorn T.N. (1983). Artificial ground water Recharge. Delft University of Technology. Pitman Publ. Boston.
- Idury R.M. (1992). Nitrification and denitrification in the activated sludge process. A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree master of science. Rice University. University Microfilms International (U.M.I.). Order Number 1348971. Huston. Texas. June, 1991.
- Iglesias R.E. (2009). Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains. INNOVA-MED CONFERENCE «Water Reclamation and Reuse». 8-9 October, 2009. Girona. Spain.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1996a). The science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1996b). Impacts adaptations and mitigation of Climate Change: Scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Israelson O.W. (1950). Irrigation principles and practices. New York. Wiley. Chap. 6.
- Johannes R.E. (1980). The ecological significance of the submarine discharge of ground water: Marine ecology progress series. V. 3. p. 365-373.
- Jördening H.J., Buchholz K. (2008). 24 Fixed Film Stationary Bed and Fluidized Bed Reactors. Published online: March 20, 2008. p. 494-506. Germany.
- Karant K.R. (1987). Ground water assessment. Development and management. Tata McGraw- Hill Publishing Company Limited. New Delhi. Artificial Recharge.
- Kayser R. (2005). Activated sludge process. p. 90-95.
- Kazmann R.G. (1948). River infiltration as a source of ground water supply. Trans. Amer. Soc. Civil Engrs. V. 113.
- Keller G. (1933). Grundwasserperrau [Ground water barriers]. Die Bautechnik. V. 11 (2).
- Kelly T.E. (1967). Artificial Recharge at Valley City. Ground Water. V. 5 (2).
- Kinder C. (1998). The population explosion: Causes and consequences. Yale-New Haven Teachers Institute. July 2, 1998.
- Klaer F.H.Jr. (1953). Providing large industrial water supplies by induced infiltration. Min. Engrng. V. 5.
- Kumar A., Kimbler O.K. (1970). Effect of dispersion gravitational segregation and formation stratification on the recovery of fresh water stored in saline aquifers. Water Resources Research. V. 6.
- Latorre M. (2002). Design optimisation of SWRO plants for irrigation. In: Proceedings of the International Desalination Association's World Congress on Desalination and Water Reuse. March 8-13, 2002. Manama. Bahrain.
- Lazarou A. (2006). Country report: Greece. Conference of the Water Directors of the Euro-Mediterranean and Southeastern European countries. 6-7 November, 2006. Athens.
- Leahy P.P., Martin M. (1993) Geohydrology and simulation of ground water flow in the northern Atlantic coastal plain aquifer system. United States Geological Survey. Professional paper. 1404-K. p. 81.
- Lewandowski Z. (1987). Behaviour of biological reactors in the presence of toxic compound. Water Res. p. 147-153.
- Li D.H., Ganczarczyk J.J. (1990). Structure of activated sludge flocs. Biotechnol. Bioeng.
- Lihola H. (1989). Artificial Recharge in Finland. Proceedings of the International Symposium on Artificial Recharge of ground water. August 23-27, 1988. California. Publ. by ASCE. New York.
- Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program (1997). Activated sludge operational strategies for nitrogen removal. Module 2. SUNY Farmingdale. February 12-13, 1997. New York. p. 4, 6, 8, 14, 19, 22, 42.

- Long Island Sound Nitrogen Removal Training Program (1997). Fixed film operational strategies. Module 4. SUNY Farmingdale. February 12-13, 1997. New York. p. 5, 10, 17, 24, 25, 26, 27, 28.
- Malamis S., Andreadakis A., Mamais D. (2005). The potential of Membrane Bioreactors for wastewater treatment. 1<sup>st</sup> International Conference on Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse. Nicosia. September 15-16, 2005. p. 3, 7, 12, 14, 20.
- Marecos do Monte H. (2010). Water reuse in Portugal: Regulations and practice. I Conferencia Internacional de la Asociacion Espanola de Reutilizacion Sostenible del Agua. 19-20 Oct. 2010. Madrid.
- Marino M.A. (1975a). Artificial ground water Recharge I. Circular recharging area. J. Hydrol. 125. p. 201-208.
- Marino M.A. (1975b). Artificial ground water Recharge II. Rectangular recharging area. J. Hydrol. 26. p. 29-37.
- Mariolakos I. (2007). Water resources management in the framework of sustainable development. Elsevier. Science Direct. Desalination 213 (2007) 147-151. Received: February 3, 2006. Revised Accepted: May 3, 2006. Presented at the International Conference on new water culture of South East European countries-AQUA 2005. 21-23 October, 2005. Athens.
- Mariolakos I., Fountoulis I., Spyridonos E., Andreadakis E., Kapourani E. (2002). A multi-parametric approach of water management in the frame of sustainable development. In: Proc. of 3<sup>rd</sup> Intl. Forum of Athens. Water Supply and Sewerage Company. Hydrorama 2002. March 21-22, 2002. Athens.
- Mariolakos I., Lekkas S., Alexopoulos A., Papadopoulos T., Fountoulis I., Schneider H., Alexopoulos I., Badekas I., Spyridonos E., Mariolakos D., Andreadakis E. (1999). Hydrogeological study for the application of the Artificial Recharge of the kartsic aquifers in the Ypereia (Larisa Pref.)-Orfana (Karditsa Pref.) region. Unpublished report. Ministry of Agriculture. Dept. of Hydrology-Geology. University of Athens. Faculty of Geology. Dept. of Dynamic-Tectonic and Applied Geology.
- McDonald M.G., Harbaugh A.W. (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground water flow model. United States Geological Survey. Book 6.
- McWhorter D.B., Brookman J.A. (1972). Pit Recharge influenced by subsurface spreading. Ground Water. V. 10 (5).
- Meinzer O.E. (1946). General principles of Artificial ground water Recharge. Economic Geology. V. 41 (3).
- Metcalf E. (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse. Edition 4 revised by Tchobanoglou G., Burton F., Stensel D. McGraw-Hill.
- Moore W.S. (1996). Large ground water inputs to coastal waters revealed by 226Ra enrichments: Nature. V. 380. No. 6575. p. 612-614.
- Moore W.S. (1999). The subterranean estuary-A reaction zone of ground water and sea water: Marine chemistry. V. 65. p. 111-125.

- Muckel D.C. (1958). Artificial Recharge in relation to ground water storage. In: Annual Conference on water for Texas. College station. Texas. Water Research and Information Center.
- Muckel D.C. (1959). Replenishment of ground water supplies by artificial means. United States Department of Agriculture. Technical bulletin. No. 1195.
- Muckel D.C., Schiff L. (1955). Replenishing ground water by spreading. United States Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture.
- National Ground Water Association of Oklahoma (2005). Ground water quality and desalination questions: NGWA report.
- Nellor M.H., Baird R.B., Smyth J.R. (1984). Health effects study-final report. NTIS. No. PB-84191-568 County Sanitation Districts of Los Angeles County. Whittier. California.
- Nightingale H.I., Bianchi W.C. (1977). Environmental aspects of water spreading for ground water Recharge. United States Department of Agriculture. Technical bulletin. No. 1568. Agric. Research Service.
- Nyhuis G. (1985). Beitrag zu den möglichkeiten der abwasserbehandlung bei abwässern mit erhöhten stickstoffkonzentrationen. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover 61.
- Oaksford E.T. (1985). Artificial recharge: Methods hydraulics and monitoring. Artificial Recharge of ground water. Edited by Asano T. Butterworth Publishers. Chapter 4.
- Oklahoma Comprehensive Water Plan (OCWP) (2010). Marginal quality water: Issues and recommendations. Water Resources Board. The Water Agency. Supplemental Report. September, 2010. Oklahoma.
- Oregon Dept. of Human Services, Oregon Dept. of Environmental Quality, Oregon Dept. of Water Resources (2008). Aquifer Storage & Recovery and Artificial Recharge in the State of Oregon. A one-day Symposium. 28 February, 2008. Convened by OSU Institute for Water and Watersheds and Oregon Water Resources Department. LaSells Stewart Center. Oregon State University. Corvallis.
- Overseas Development Administration (ODA) (1995). A guide to social analysis for projects in developing countries. Overseas Development Administration. HMSO.
- Pearce F. (2004). Sea change for drinking water. New Sci. 22. 10 July.
- Pescod M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47. FAO. Rome.
- Pettyjohn W.A. (1968). Design and construction of a dual Recharge system at Minot, North Dakota. Ground Water. V. 6 (4).
- Pettyjohn W.A. (1981). Introduction to Artificial ground water Recharge. NWWA/EPA-600/2-81-236. Robert S.K. Environmental Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency. Ada. Oklahoma.



- Pintó C.T. (2012). Συνεταιρισμοί και ανάπτυξη των γεωργικών προϊόντων διατροφής. Γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής (Γνωμοδότηση Πρωτοβουλίας). Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. C299/45-48. 4 Οκτωβρίου, 2012.
- Pliakas F.K., Diamantis I., Kallioras A., Petalas C. (2003). Environmental effects of a proposed ground water Artificial Recharge project in Vafeika plain area of Xanthi region in Thrace, Greece. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Ecological Protection of the planet Earth. Bio-Environment and Bio-Culture. Sofia. Bulgaria. June 5-8, 2003.
- Pliakas F.K., Diamantis I., Petalas C. (2001). Saline water intrusion and ground water Artificial Recharge in East delta of Nestos river. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology. University of the Aegean. Dept. of Environmental Studies and Global Nest. Ermoupolis. Syros. September 3-6, 2001. Vol. 2.
- Pliakas F.K., Petalas C., Diamantis I., Kallioras A. (2005). Modeling of ground water Artificial Recharge by reactivating an on old stream bed. Water Resources Management. Springer. Vol. 13. No 9.
- Pliakas F.K., Kallioras A., Diamantis I., Stergiou M. (2011). Ground water Recharge using a Soil Aquifer Treatment (SAT) system in NE Greece. Advances in the research of aquatic environment. Environmental Earth Sciences. Springer. Vol. 1.
- Postel S. (1992). Last oasis: Facing water scarcity. Worldwatch Institute. Washington. D.C.
- Postel S. (1993). Water and agriculture. In: Gleick, P.H. (Ed.). Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press. Oxford.
- Postel S. (1997). Last Oasis: Facing water scarcity. New York. W.W. Norton and Co.
- Price D., Hart D.H., Foxworthy B.L. (1965). Artificial Recharge in Oregon and Washington, 1962. United States Geological Survey. Water-Supply. Paper 1594-C.
- Prince K. (1982). Stream augmentation at Fosters Brook. Long Island. New York. A hydraulic feasibility study. United States Geological Survey. Water-Supply. Paper No. 2208.
- Public Works Research Institute (1980). Principles and effect of underground piping. Japan.
- Qadir M., Sharma B.R., Bruggeman A., Choukr-Allah R., Karajeh F. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. Agricultural Water Management 87 (2007) 2-22. Accepted: 21 March 2006. Published on line: 24 May 2006.
- Ratnaparkhi T.G. (1978). Underground bunds for Artificial Recharge. In: R.N. Athavale (Ed). Proceedings of Indo-German Workshop. Padmanagar. Secunderabad. India: National Geophysical Research Institute.
- Reed J.E., Deutsch M., Wutala S.W. (1966). Induced Recharge of an artesian glacial-drift aquifer at Kalamazoo, Michigan. United States Geological Survey. Water- Supply. Paper No. 1594-D.
- Reed S.C., Crites R.W., Middlebrooks E.J. (1995). Natural systems for waste management and treatment. Edition 2. McGraw-Hill. Inc. New York.
- Reilly T.E., Goodman A.S. (1985). Quantitative analysis of saltwater-freshwater relationships in groundwater systems: A historical perspective. Journal of Hydrology. V. 80. p. 125-160.

- Abdel Wahaab R., El-Din Omar M. (2011). Wastewater Reuse in Egypt: Opportunities and challenges. Holding Company for Water and Wastewater. 22-24 May, 2011. Dubai. United Arab Emirates.
- Rijsberman F.R. (2006). Water scarcity: fact or fiction? *Agric. Water Manage.* 80, 5-22.
- Roscoe Moss Company (1990). Handbook of ground water development. Published by John Wiley and Sons. New York.
- Ru Y., Jinno K., Hosokawa T., Nakagawa K. (2001). Study on effect of subsurface dam in coastal seawater intrusion. 1<sup>st</sup> International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modelling and Management (Morocco).
- Sakthivadivel R. (2007). The ground water Recharge movement in India. Chapter 10. p. 195-210. CAB International 2007. The agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development (M. Giordano and K.G. Villholth). Tamil Nadu. India.
- Samaras P., Tsiroidis V., Petala M., Sakellaropoylos G.P. (2002). Wastewater reuse-Pilot Artificial Recharging of aquifers through direct injection and irrigation for seawater intrusion control within the framework of integrated and sustainable water management. Workshop of CPERI. Aristotle University of Thessaloniki and Chemical Process Engineering Research Institute. Thessaloniki.
- Schicht R.J. (1971). Feasibility of Recharging treated sewage effluent into a deep sandstone aquifer. *Ground Water.* V. 9 (6).
- Schiff L. (1955). The status of water spreading for ground water replenishment. *American Geophysical Union Transactions.* V. 36 (6).
- Schmidt W., Meyer R. (1989). Status and experiences made in the Artificial Recharge of ground water in the Federal Republic of Germany. Proceedings of the International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water. August 23-27, 1988. California. Publ. by ASCE. New York.
- Scott V.H., Aron G. (1967). Aquifer recharge efficiency of wells and trenches. *Ground Water.* V. 5 (3).
- Sedlak R. (1991). Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: Principles and practice. Edition 2. The Soap and Detergent Association. New York.
- Simmons G.M.Jr. (1992). Importance of submarine ground water discharge (SGWD) and seawater cycling to material flux across sediment/water interfaces in marine environments. *Marine Ecology Progress Series.* V. 84. p. 173-184.
- Singh G. (2008). Biodegradation of organic compounds using Fluidized Bed Reactor. A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Technology in Chemical Engineering. Department of Chemical Engineering. National Institute of Technology. Rourkela. p. 13-16.
- Todd D.K. (1974). Salt-water intrusion and its control. *Water Technology/Resources. Journal of American Water Works Association.* 66 (3). p. 180-187.
- Todd D.K. (1980). Ground water hydrology. John Willey and Sons. New York.
- Todd D.K., Mays L.W. (2005). Ground water hydrology. Edition 3. John Wiley and Sons. Inc. New York.

- Tyagi N.K., Sharma D.P. (2000). Disposal of drainage water: recycling and reuse. In: Proceedings of the Eighth ICID Drainage Workshop. Vol. 3. January 31–February 4, 2000. New Delhi. India.
- United Nations Department of Economics and Social Affairs (1975). Ground water storage and Artificial Recharge. ST/ESA/13. New York.
- United States Bureau of Reclamation (BOR) (2003). Desalting handbook for planners-3rd Edition: U.S. Bureau of Reclamation Desalination Research and Development Program Report No. 72. July, 2003.
- United States Department of Agriculture (1967). Ground water Recharge. Soil Conservation Service. Engineering Division. Technical Release. No. 36.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1977). Design procedures for dissolved oxygen control of activated sludge processes. EPA-600/2-77-032. Environmental Protection Technology Series. Municipal Environment Research Laboratory. Office of Research and Development. Cincinnati. Ohio 45268. June, 1977. p. 10, 23.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1981). Design manual for land treatment of municipal wastewater. EPA 625/1-81-501. US EPA. CERL. Cincinnati. Ohio.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1999). Free Water Surface Wetlands for wastewater treatment: A technology assessment. EPA 832-S-99-002. Office of Water (4204). June, 1999. Phoenix. Arizona. p. 1-1, 1-2, 1-3.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2002). Nitrification. Office of Water (4601M). Office of Ground Water and Drinking Water. Standards and Risk Management Division. Prepared by AWWA with assistance from Economic and Engineering Services. Inc. August 15, 2002. Washington. p. 3, 10.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2012). 2012 Guidelines for water reuse. EPA/600/R-12/618. September, 2012. Washington.
- United States Environmental Protection Agency (EPA), Office of Groundwater and Drinking Water (4601) (1999). The Class V underground injection control study. Volume 20 «Salt water intrusion barrier Wells». EPA/816-R-99-014t. September 30, 1999. p. 10-14, 15-16.
- United States Geological Survey (1962). Theory of aquifer tests. Water Supply Paper. No. 1536-E. Denver. p. 96-97.
- United States Geological Survey (1999). The quality of our nation's water: Nutrients and pesticides. United States Geological Survey Circular 1225. p. 82.
- United States National Oceanic and Atmospheric Administration (1998). Population distribution density and growth in State of the Coast. Report: National Oceanic and Atmospheric Administration. Accessed: February 15, 2000.
- United States National Research Council (2000). Clean coastal waters: Understanding and reducing the effects of nutrient pollution. Washington. D.C. National Academy Press. p. 405.

- Ujang Z. (2005). Activated sludge system: SBR EA and conventional plants. Lecture. Institute of Environmental and Water Resource Management (IPASA). Universiti Teknologi. Malaysia. WET Program on Bioprocess Engineering. UTM City Campus. Kuala Lumpur. p. 10-19, 25, 31, 34, 35.
- Valliant J. (1964). Artificial Recharge of surface water to the Ogallala formation in the High Plains of Texas. *Ground Water*. V. 2 (2).
- Van Schilfgaarde J. (1994). Irrigation-a blessing or a curse. *Agric. Water Manage.* 25.
- Vertessy R.A., Hatton T.J., Benyon R.G., Dawes W.R. (1996). Long-term growth and water balance predictions for a mountain ash (*Eucalyptus regnans*) forest catchment subject to clear-felling and regeneration. *Tree Physiology*. Vol. 16.
- Vaux H.J.Jr. (1985). Economic aspects of ground water Recharge. *Artificial Recharge of Groundwater*. Edited by Asano T. Butterworth Publishers. Chapter 5.
- Walton W.C. (1970). *Ground water resource evaluation*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Warner J.W., Molden D., Chehata M., Sunada D.K. (1989). Mathematical analysis of Artificial Recharge from basins. *Water Resources. Bul.* 125. p. 401-411.
- Water Pollution Control Federation (WPCF) (1989). *Water reuse manual of practice SM-3*. Edition 2. Washington.
- Whetstone G.A. (1956). Artificial Recharge through tunnels. *American Water Works Association Journal*. V. 48 (11).
- Wilson L.G. (1985). An overview of Artificial Recharge methods. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> Symposium on Artificial Recharge in Arizona*.
- World Bank, *World Development Report* (1992). *Development and the environment*. Oxford. University Press.
- Zimmer D., Renault D. (2003). Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results. In: Hoekstra, A.Y. (Ed.). *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. 12–13 December, 2002. Delft. Value of Water Research Report Series No. 12. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft. The Netherlands.
- Αβραμίδου Ε. (2007). Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη». Νοέμβριος, 2007. Θεσσαλονίκη. σελ. 7, 15-17.
- Αγγελάκης Α.Ν. (1989). Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά.
- Αγγελάκης Α.Ν, Τσομπάνολγου Γ. (1996). Υγρά απόβλητα. Πανεπ. Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο. Κρήτη.
- Αλμπανέλλης Φ. (2007). Αξιολόγηση συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μικρής δυναμικότητας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Περιβάλλοντος. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική». Μυτιλήνη. σελ. 8-12, 15-16, 28, 31-42.

- Ανδρεαδάκης Α. (2012). Βιολογική επεξεργασία με σύστημα βιομεμβράνων. Διδακτικές σημειώσεις. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων». Μάθημα «Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων». Αθήνα.
- Αραβώσης Κ., Κούγκολος Α., Λέγκας Κ., Μάκκας Α., Πατσής Κ. (2003). Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών απόβλητων με τη χρήση της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. Ερευνητικές Εργασίες.
- Βαφειάδης Π., Πανώρας Α. (1996). Μελέτη Τεχνητού Εμπλουτισμού των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής Ριζού-Πετραίας-Αρσενίου, Ν. Πέλλας. Εκδόσεις ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων Σίνδου Θεσσαλονίκης.
- Βουδούρης Κ. (2012). Εδαφική διάθεση των υγρών αποβλήτων. Κεφάλαιο 8. Διδακτικές σημειώσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γεωλογίας. Μάθημα «Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων (ΧΥΤΑ)». σελ. 199-215.
- Βουδούρης Κ. (2012). Προστασία και απορρύπανση των υπόγειων υδροφορέων. Κεφάλαιο 9. Διδακτικές σημειώσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γεωλογίας. Μάθημα «Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων (ΧΥΤΑ)».
- Βουδούρης Κ., Σμπόρας Σ.Π. (2012). Τεχνητός Εμπλουτισμός. Διδακτικές σημειώσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γεωλογίας. Μάθημα «Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου Νερού».
- Βουτυράκης Μ. (2004). Περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη. 2 Σεπτεμβρίου, 2004.
- Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα», Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2004). Προστασία υπόγειων υδροφορέων από υφαλμύρωση μέσω Εμπλουτισμού με επεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα και ανάπτυξη εργαλείων και τεχνολογιών για τη βιώσιμη διαχείριση των ιλύων από μονάδες καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων-SMILES. Ερευνητικό πρόγραμμα για την περίοδο 2004-2007. Δράση 1. Ενότητα εργασίας 2. ΣΠ-ΦΠ-38.
- Γεωργίου Α. (1991). Εμπλουτισμός από τον υδατοφράκτη και εντατική εκμετάλλευση του υδροφορέα Γερμασόγειας. Σύνδεσμος Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου. Δελτίο 6. σελ. 149-173. Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου.
- Γκούμα Α. (2011). Υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος σύμφωνα με τα οριζόμενα στην Οδηγία 2000/60/ΕΚ. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων». Αθήνα. Φεβρουάριος, 2011. σελ. 252, 282-283.
- Γκράτζιου Μ. (2005). Αξιολόγηση Κόστους Μονάδων Επεξεργασίας Λυμάτων. Heleco, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Γκράτζιου Μ. (2005). Εναλλακτικές προτάσεις για τη διαχείριση υγρών αποβλήτων του Ν. Καρδίτσας.
- Δασκαλοπούλου Κ. (2012). Η λιθοστρωματογραφική μελέτη και η αναγνώριση των περιβαλλόντων ιζηματογένεσης των ιζημάτων του Αμβρακικού κόλπου. Πτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γενικής και Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής. Εργαστήριο Ιζηματολογίας. Πάτρα. σελ. 20-21.

- Δεληγιάννης Κ. (2011). Η Ανακύκλωση στην κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης. Λάρισα.
- Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ.Κ. (2012). Διαχείριση υδατικών πόρων: Διαχείριση του Εμπλουτισμού των υπόγειων νερών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Θεσσαλονίκη. σελ. 2-40, 61-62, 67-144.
- Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ.Κ., Τζεβελέκης Θ. (1994). Τεχνητός Εμπλουτισμός με επαναδραστηριοποίηση αδρανοποιημένων κοιτών: Μια πρώτη προσέγγιση. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. November 24-28, 1993. Πάτρα. σελ. 107-118.
- Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ.Κ., Πεταλάς Χ. (1999). Εφαρμογή Τεχνητού Εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Βαφέικων του Νομού Ξάνθης. Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου. 12-14 Νοεμβρίου, 1999. Λευκωσία. Κύπρος. σελ. 81-96.
- Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ.Κ. (2013). Ειδικά θέματα εφαρμοσμένης υδρογεωλογίας: Διαχείριση του εμπλουτισμού των υπόγειων νερών. Διδακτικές σημειώσεις 2012-2013. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Υδραυλική Μηχανική». Ξάνθη. σελ. 6-40, 56, 61-69, 90-106, 113-118.
- Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ.Κ., Καλλιώρας Α. (2013). Ειδικά θέματα εφαρμοσμένης υδρογεωλογίας: Παράκτιοι υδροφόροι-Θαλάσσια διείσδυση. Διδακτικές σημειώσεις 2012-2013. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Υδραυλική Μηχανική». Ξάνθη. σελ. 12, 18, 87-90.
- Δίκτυο Μεσόγειος SOS (2009). Εξοικονόμηση νερού: Ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα για τα σχολεία της Νότιας Ευρώπης.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) (2013). Πρωτογενή μετεωρολογικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Ακτίου για το χρονικό διάστημα 1971-2013.
- Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ) (2011). Οι περιβαλλοντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα. Ιούνιος, 2011. Έκδοση Τράπεζας της Ελλάδος. Αθήνα. σελ. 546.
- Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ), Βουδούρης Κ. (2009). Εφαρμογή Τεχνητού Εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων: Μια πρόκληση για το μέλλον. Παγκόσμια Ημέρα για το Νερό. 20 Μαρτίου, 2009. σελ. 3.
- Ζαραμπούκα Α. (2011). Άρθρο για τη νιτρορύπανση. 6 Δεκεμβρίου, 2011. Ηλεκτρονική Εφημερίδα των Τρικάλων.
- Θάνος Μ. (1994). Παρατηρήσεις-συμπεράσματα από πείραμα Τεχνητού Εμπλουτισμού υδροφόρων στο Αργολικό πεδίο. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συνεδρίου της Ελληνικής Υδρογεωλογίας. Τόμος Α. σελ. 119-134.
- Καβαβάς Μ., Πανταζίδου Μ. (2007). Τεχνολογίες απορρύπανσης και προστασίας. Κεφάλαιο 8. Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής. Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Έκδοση 12. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Σεπτέμβριος, 2007.

- Καλλέργης Γ. (1986). Εφαρμοσμένη υδρογεωλογία. Τόμοι Α και Β. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.
- Καλλέργης Γ. (2000). «Διαχείριση» ή «σοφή χρήση» των υπόγειων νερών: Προβλήματα αξιοποίησης των υπόγειων νερών με μακρόχρονη προοπτική. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Γεωλογίας. Εργαστήριο Υδρογεωλογίας-Τεχνικής Γεωλογίας. Ρίο. Πάτρα. Ελληνική Επιτροπή για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων.
- Καλλέργης Γ. (2001). Εφαρμοσμένη-περιβαλλοντική υδρογεωλογία. Τόμοι Α, Β και Γ. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.
- Καραβίτης Χ., Lucinda: Land care in desertification affected areas from science towards application (2005). Η χρήση του νερού στην Ευρώπη.
- Καραβοκύρης Γ. και Συν/τες Σύμβουλοι Μηχ/κοι Α.Ε., Περλέρος Β., ENVECO-Ανώνυμη Εταιρεία Προστασίας και Διαχείρισης του Περιβάλλοντος, Αντζουλάτος Γ., ΕΠΕΜ-Εταιρεία Περιβαλλοντικών Μελετών Α.Ε., ΟΜΙΚΡΟΝ-Οικονομικές και Αναπτυξιακές Μελέτες Ε.Π.Ε., Κωνσταντινίδης Ηλ., Τσεκούρας Γ., Κοτζαγεώργης Γ., Γκάργκουλας Ν. (2011). Κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, κατ'εφαρμογή του Ν. 3199/2003 και του Π.Δ. 51/2007: Έκθεση επισκόπησης σημαντικών θεμάτων διαχείρισης νερών-Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Διεύθυνση Υποστήριξης και Ανάπτυξης. Οκτώβριος, 2011. σελ. 15, 23, 30, 33-35, 37, 63, 65, 67, 71.
- Καραμούζης Δ.Ν. (2006). Μικρά αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων. Αναπτυξιακό Συνέδριο Νομού Δράμας.
- Κατσογιάννης Α. (2001). Βιολογική απομάκρυνση αζώτου και προσαρμοσμένη βελτιστοποίηση της νιτροποίησης σε αντιδραστήρα διαλείποντος έργου με περιοδική λειτουργία. Διδακτορική Διατριβή υποβληθείσα στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Φεβρουάριος, 2001.
- Κοκολάκης Μ. (2013). Φλέβα νερού από «ομιχλοπαγίδες» ενέργειας. Επίσημος δικτυακός τόπος της εφημερίδας «Έθνος». 18 Μαΐου, 2013.
- Κορδούτης Κ. (2006). Διερεύνηση της συμπεριφοράς των ουσιών *Nonylphenol*, *Bisphenol A* και *Triclosan* κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Περιβάλλοντος. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική». Μυτιλήνη. Λέσβος. Νοέμβριος, 2006. σελ. 7-16.
- Κρομμύδας Δ. (2005). Βιολογική απομάκρυνση του αζώτου από υγρά απόβλητα με παράκαμψη της παραγωγής νιτρικών. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Βιολογίας. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στις Επιστήμες του Περιβάλλοντος. Πάτρα. σελ. 11-14, 18, 36-37.

- Κωνσταντίνου Κ. (1995). Αποστράγγιση ομβρίων υδάτων και Τεχνητός Εμπλουτισμός μέσω πηγαδιών: Παράδειγμα από την περιοχή Κοκκινοχωρίων-Κύπρος. 3<sup>ο</sup> Υδρογεωλογικό Συνέδριο. 3-5 Νοεμβρίου, 1995. Ηράκλειο. Κρήτη.
- Λαγούδη Ε. (2012). Διαχείριση λυμάτων στις ορεινές περιοχές: Η περίπτωση του Δίστρατου Κόνιτσας. Βιβλίο «Η Συμβολή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη του Δήμου Κόνιτσας». Βιβλιοθήκη Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ημερίδα «Η συμβολή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη του Δήμου Κόνιτσας». Συνεδριακή αίθουσα Δημαρχείου Κόνιτσας. Κόνιτσα. 14 Ιουλίου, 2012.
- Μαλλιάρου Χ. (2000). Περιβάλλον ρύπανση τεχνικές αντιρρύπανσης αέρια υγρά και στερεά απόβλητα. Εκδόσεις Μεταίχμιο. Αθήνα.
- Μελίδης Π. (2011). Διεργασίες βιολογικής αφαίρεσης αζώτου. Κεφάλαιο 2.
- Μιμίκου Μ.Α. (2012). Διδακτικές σημειώσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων». Μάθημα «Διαχείριση Υδατικών Πόρων». Αθήνα.
- Μίσσα Β. (2005). Μελέτη της επίδρασης λιπών και λιπαρών οξέων στη λειτουργία συστημάτων ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Ελληνική περίληψη. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Μπαντής Σ., Μανωλοπούλου Σ., Δημάδη Α. (2012). Υπόγειο νερό. Διδακτικές σημειώσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας. Μάθημα «Τεχνική Γεωλογία II».
- Νάνου-Γιάνναρου Α. (2007). Υδραυλική και υδρολογία υπόγειων νερών. Σεπτέμβριος, 2007. σελ. 37.
- Νικολάου Ε. (2011). Ήπειρος: Το πλουσιότερο Υδατικό Διαμέρισμα της Ελλάδας. Εισήγηση. Περιφερειακή Μονάδα Ηπείρου του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία. Ιωάννινα. Ιούλιος, 2011. σελ. 17, 26.
- Νικολάου Ε. (2005). Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού δυναμικού της Ηπείρου-Διαχειριστικές προτάσεις. Εισήγηση. Περιφερειακή Μονάδα Ηπείρου του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Πρέβεζα. Ιούνιος, 2005. σελ. 6-7.
- Νικολάου Ε., Αντωνιάδης Δ. (2010). Υδρογεωλογική Μελέτη: Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (05). Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Διεύθυνση Υδρογεωλογίας. Περιφερειακή Μονάδα Ηπείρου. Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα. Έργο «Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας (7.3.2.1). Υπόεργο 2 «Επικαιροποίηση στοιχείων υπόγειων νερών Ηπείρου (Υ.Δ. 05)». Πρέβεζα. σελ. 21-22, 42, 53, 67-68, 130-132, 183, 185, 190, 198.
- Νικολάου Ε., Σμυρνιώτης Χ. (2008). Υδρογεωλογική Μελέτη: Σχετικά με την επίδραση του ορύγματος του αποχετευτικού αγωγού της ΒΙΠΕ Πρέβεζας στις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής.



- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Περιφερειακή Μονάδα Ηπείρου. Διεύθυνση Υδρογεωλογίας. Έργο «Σύμβαση ΕΤΒΑ ΒΙΠΕ Α.Ε.-ΙΓΜΕ». Πρέβεζα.
- Νουτσόπουλος Κ. (2012). Αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων. Διδακτικές σημειώσεις. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων». Μάθημα «Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων μικρής κλίμακας». Αθήνα. σελ. 16-20, 22.
- Νουτσόπουλος Κ. (2012). Τεχνητοί υγροβιότοποι. Διδακτικές σημειώσεις. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων». Μάθημα «Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων μικρής κλίμακας». Αθήνα. σελ. 1-4, 6, 14, 20.
- Νουτσόπουλος Κ. (2012). Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων: Διάθεση λυμάτων στο άδαφος. Διδακτικές σημειώσεις. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων». Μάθημα «Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων μικρής κλίμακας». Αθήνα. σελ. 1-3, 7-9, 12-13, 29, 32-33, 35.
- Νουτσόπουλος Κ. (2012). Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων: Τεχνητές λίμνες. Διδακτικές σημειώσεις. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων». Μάθημα «Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων μικρής κλίμακας». Αθήνα. σελ. 1-2, 6-13, 21, 33, 45, 47-48.
- Νταρακάς Ε. (2010). Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Διδακτικές σημειώσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.
- Ντελή-Ιμπραχίμ Μ. (2012). Εμπλουτισμός των υπόγειων νερών με τη χρήση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας: Ενδεικτική σχετική πρόταση στο Ν. Ξάνθης. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδραυλικών Έργων. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Υδραυλική Μηχανική». Ξάνθη. σελ. 79-85.
- Παπαβασιλείου Μ. (2007). Μεταβολές ανόργανου αζώτου σε εδαφικά συστήματα: Ο ρόλος των βακτηρίων *Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Ιούnius, 2007. Πάτρα.
- Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α. (2009). Οδηγίες ανακύκλωσης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα. Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων. Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης. Δεκέμβριος, 2009. Λάρισα.
- Παυλίδης Σ. (2012). Γεωλογία Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γεωλογίας. Μάθημα «Νεοτεκτονική». Θεσσαλονίκη.
- Πλιάκας Φ.Κ. (1998). Έρευνα επί των κατάλληλων μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε ετερογενείς υδροφορείς αλλουβιακών σχηματισμών: Εφαρμογές σε υδροφορείς του πεδινού τμήματος

- Ξάνθης. Διδακτορική Διατριβή. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Υποβλήθηκε στις 29 Ιανουαρίου, 1998. Ξάνθη.
- Πλιάκας Φ.Κ. (2012). Έρευνες και προτάσεις διαχείρισης εμπλουτισμού των υπόγειων νερών σε πεδινές περιοχές της Αν. Μακεδονίας με έμφαση στα παράκτια πεδία. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής. Ημερίδα «Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων στην Ανατολική Μακεδονία». 2 Ιουλίου, 2012. σελ. 4-5, 10, 15, 27, 67-69.
- Πλιάκας Φ.Κ., Διαμαντής Ι. (1995). Διερεύνηση εφαρμογής Τεχνητού Εμπλουτισμού σε υδροφορείς πεδινού τμήματος της λεκάνης Βιστωνίδας (Ξάνθης). Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (Ε.Γ.Ε.) και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου. 3-5 Νοεμβρίου, 1995. Ηράκλειο. Κρήτη.
- Πλιάκας Φ.Κ., Διαμαντής Ι. (1998). Ο Τεχνητός Εμπλουτισμός των υπόγειων νερών και εφαρμογές του στην Ελλάδα και το διεθνή χώρο. Τεχνικά Χρονικά. σελ. 65-70. Επιστημονική Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας του 1998. Σειρά Ι. Τόμος 18. Τεύχος 1. σελ. 66-67.
- Πλιάκας Φ.Κ., Διαμαντής Ι. (1999). Εφαρμογές Τεχνητού Εμπλουτισμού σε ετερογενείς υδροφορείς αλλουβιακών πεδίων. Η περίπτωση του πεδινού τμήματος Ξάνθης. Πρακτικά Ημερίδας που διοργάνωσε η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας με θέμα «Τεχνητός Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων» στην Ξάνθη. 28 Μαΐου, 1999.
- Πλιάκας Φ.Κ., Διαμαντής Ι., Πεταλάς Χ. (1999). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την προτεινόμενη εφαρμογή Τεχνητού Εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων περιοχής Ορφανού Καβάλας. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology. University of the Aegean. Dept. of Environmental Studies and Global Nest. Pythagorion. Samos. August 30-September 2, 1999. Vol. C.
- Πλιάκας Φ.Κ., Διαμαντής Ι., Πεταλάς Χ., Πανίλας Σ. (2001). Διερεύνηση δυνατότητας εφαρμογής Τεχνητού Εμπλουτισμού των υδροφόρων πεδινών τμημάτων του Ν. Ροδόπης στη Θράκη: Μια πρώτη προσέγγιση. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Geological Society of Greece. Athens. September 26-28, 2001. Vol. 5.
- Ρόκος Δ. (2005). Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη για έναν ειρηνικό και καλύτερο κόσμο. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας, Ίδρυμα Ανάπτυξης του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας. Αθήνα. σελ. 2, 9.
- Σαμπατακάκης Π. (2010). Τα υπόγεια νερά στην Ελλάδα, το σήμερα και οι προοπτικές για το μέλλον. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). 29 Ιουνίου, 2010.
- Σιαμόπουλος Γ. (2012). Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Κεφάλαιο 4 «Υφιστάμενη κατάσταση περιβάλλοντος». Έργο «Μελέτη έργων συλλογής, μεταφοράς και επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Ζαλόγγου».
- Σουέρεφ Κ. (2003). Υδάτινες σχέσεις 2: Το νερό πηγή ζωής και έμπνευσης. Εκδόσεις University Studio Press. Θεσσαλονίκη.

- Στάμου Α. (1995). Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα.
- Στεργίου Μ. (2009). Εμπλουτισμός των υπόγειων νερών με τη χρήση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας: Ενδεικτική σχετική πρόταση στη Ν. Πέραμο του Ν. Καβάλας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής. Ξάνθη. σελ. 109-115.
- Στουρνάρας Γ., Νάστος Π., Γιόζας Γ., Ευελπίδου Ν., Βασιλάκης Ε., Παρτσινέβελου Σ., Ηλιόπουλος Β. (2011). Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του Ελλαδικού χώρου. Τράπεζα της Ελλάδος. Ευρωσύστημα. σελ. 3-9, 55. Ιούνιος, 2011.
- Σύνοδος Πρυτάνεων και Προέδρων (1996). Το Ελληνικό περιβάλλον. Διοικούσες Επιτροπές Ελληνικών Πανεπιστημίων. Εκδόσεις Σαββάλα. Αθήνα.
- Σωτηράκης Ι. (2005). Εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων: Μέθοδος προσκολλημένης βιομάζας και τεχνητοί υγρότοποι-Τριτοβάθμια επεξεργασία. Διαχείριση υγρών αποβλήτων με αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας. 14-15 Οκτωβρίου, 2005. Καρδίτσα.
- Τασούλα Α. (2007). Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων. Τεχνικά Χρονικά.
- Τσέβης Α. (2001). Σύνθεση και χαρακτηρισμός του οξειδίου του τιτανίου. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα.
- Τσιμέκας Γ. (2011). Ανάκτηση φωσφόρου από αστικά υδατικά απόβλητα με τη χρήση ρευστοποιημένης κλίνης. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα.
- Φλέσσια Γ.Α. (2006). Βιολογική απομάκρυνση του αζώτου από υγρά απόβλητα μέσω παράκαμψης της παραγωγής νιτρικών σε αντιδραστήρα SBR. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Χημικών Μηχανικών. Ιούλιος, 2006. Πάτρα.
- Χαρτζουλάκης Κ., Μπερτάκη Μ. (2009). Ορθολογική διαχείριση του νερού άρδευσης: Αναγκαιότητα για αειφόρο αγροτική ανάπτυξη. ΕΘΙΑΓΕ. Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών. Πρακτικά 23<sup>ου</sup> Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. Τεύχος Α. Χανιά. Κρήτη.
- Χατζημπίρος Κ. (2007). Οικολογία: Οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος. Έκδοση Γ' Αναθεωρημένη-Επαυξημένη. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα. σελ. 108-109.
- Χολέβα Ε. (2007). Η γνώμη των κατοίκων του Δήμου Νέσσωνας για το πόσιμο νερό. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας. Πτυχιακή Εργασία. Αθήνα. σελ. 6, 12, 25.

## Δικτυακοί τόποι

Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης-Αποχέτευσης Πρέβεζας (ΔΕΥΑΠ):

<http://www.deyaprevezas.gr/index.php/biologikos-katharismos>

Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.):

[http://www.elinyae.gr/el/item\\_details.jsp?cat\\_id=2703&item\\_id=8839](http://www.elinyae.gr/el/item_details.jsp?cat_id=2703&item_id=8839)

IGRAC:

<http://www.un-igrac.org/publications/187/>

Περιφερειακή Ενότητα Πρέβεζας-Περιφέρεια Ηπείρου:

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

Τεχνικό Επιμελητήριο Λάρισας:

<http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής:

<http://ypeka.plexscape.com/>

<http://www.ecotec.gr/article.php?ID=262>

<http://www.anatoliki.gr/Life/index.htm/>

[http://www.polieco.com/el/drenaggio\\_e\\_dispersione/](http://www.polieco.com/el/drenaggio_e_dispersione/)

<http://www.fao.org/docrep/005/Y3796E/y3796e07.htm>

[http://portal.environment.gr/extra/macgurublog\\_menu/macgurublog.php?uid=12&gpf=70](http://portal.environment.gr/extra/macgurublog_menu/macgurublog.php?uid=12&gpf=70)