



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ  
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ  
ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΜΕ  
ΒΡΑΔΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. Κ.Π. ΤΣΑΓΚΑΡΑΚΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΤΣΑΜΑΝΔΟΥΡΑΣ ΝΙΚΟΣ  
ΡΕΒΕΝΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστίες εκφράζονται στον Dr. K.P. Tsagarakis και στον Dr. I.E. Karellakis για τη βιβλιογραφία τη τεχνική υποστήριξη και τις κριτικές παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστίες εκφράζονται στους καθηγητές και στη γραμματεία της Σχολής Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Τεχνολογία Α.Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

1.1	Ιστορία της ελιάς	1
1.2	Παραγωγή ελαιόλαδου	2
1.3	Παραγωγή υγρών αποβλήτων ελαιολιπιδίων	3
1.4	Δομή της Πτυχιακής Εργασίας	6

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

2.1	Τύποι αποβλήτων: Γενική περιγραφή	7
2.2	Επεξεργασία ελαιόκαρπου και παραγόμενα απόβλητα	8
2.2.1	Παραγωγή επιτραπέζιας ελιάς	8
2.2.2	Παραγωγή ελαιόλαδου	10
2.3	Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	17
2.4	Ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας	18
2.5	Πλεονεκτήματα των φυσικών συστημάτων	20
2.6	Αντικείμενα και χαρακτηριστικά των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας	24
2.7	Τοπικά συστήματα	25
2.8	Βραδεία εφαρμογή	26
2.9	Τύποι συστημάτων βραδείας εφαρμογής	29
2.10	Μέθοδοι επεξεργασίας	31
2.10.1	Διαχείριση Αποβλήτων	31
2.10.2	Μηχανικοί μέθοδοι επεξεργασίας	33
2.10.3	Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας	36
2.10.4	Φυσικοχημικές μέθοδοι επεξεργασίας	41
2.11	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	49
2.12	Νομοθεσία	52

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

3.1	Ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας	56
3.2	Τύποι και χαρακτηριστικά των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας	57
3.2.1	Βραδεία εφαρμογή	58

3.2.2	Ταχεία διήθηση ή εφαρμογή	61
3.2.3	Συστήματα επιφανειακής ροής	63
3.3	Συστήματα βραδείας εφαρμογής	64
3.4	Μηχανισμοί απομάκρυνσης ρυπαντικών συστατικών σε συστήματα βραδείας εφαρμογής	65
3.5	Τύποι συστημάτων βραδείας εφαρμογής	68
3.6	Σχεδιασμός συστημάτων βραδείας εφαρμογής	70
3.7	Εκτίμηση και επιλογή της θέσης της εγκατάστασης	72
3.8	Επιλογή της φυτικής βλάστησης	75
3.8.1	Οδηγίες για την επιλογή της φυτικής βλάστησης	76
3.8.2	Χαρακτηριστικά της φυτικής βλάστησης	77

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

4.1	Εισαγωγή	78
4.1.1	Βραδεία Εφαρμογή	78
4.1.2	Ταχεία Διήθηση	80
4.1.3	Επιφανειακή Ροή	81
4.2	Πειραματικό Σχεδιάγραμμα	82
4.2.1	Κατασκευή συστήματος	83
4.2.2	Λειτουργία	86
4.2.3	Διαδικασία δειγματοληψίας	89
4.2.4	Υδραυλικό φορτίο	90
4.2.5	Ισορροπία ύδατος	94
4.3	Μετρήσεις	95

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

5.1	Συμπεράσματα	96
-----	--------------	----

## **Συντομεύσεις**

BOD (Biological Oxygen Demand)

COD (Chemical Oxygen Demand)

DW (Dry Weight)

EC (Electrical Conductivity)

ET (Evapotranspiration)

HLR (Hydraulic Loading Rate)

In-P (Inorganic Phosphorus, measured as Filterable Reactive Phosphorus)

KCl (Potassium Chloride)

NaCl (Sodium Chloride)

NaOH (Sodium Hydroxide)

NH<sub>3</sub> (Ammonia)

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Ammonium)

NO<sub>2</sub> (Nitrogen dioxide)

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Nitrate)

OF (Overland Flow)

OMW (Olive Mill Wastewater)

Org-N (Organic Nitrogen)

Org-P (Organic Phosphorus)

RI (Rapid Infiltration)

SR (Slow Rate)

SSU (Saybolt Universal Seconds)

SAT (Soil Aquifer Treatment)

TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)

TN (Total Nitrogen)

TP (Total Phosphorus)

Σ.Β.Ε. (Σύστημα Βραδείας Εφαρμογής)

Υ.Α.Ε. (Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείων)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 Ιστορία της ελιάς

Η ελιά είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη ζωή των ανθρώπων της Μεσογείου. Από αρχαιοτάτων χρόνων εμφανίζεται στους μύθους, στις παραστάσεις και στην ιστορία των λαών της. Η ελιά αποτελούσε ανέκαθεν σύμβολο ευημερίας, ειρήνης, γονιμότητας και ευφορίας. Για να καταλάβουμε πόσο πολύτιμο είναι το δένδρο αυτό για τον άνθρωπο, αρκεί να σκεφτούμε ότι οι Ολυμπιονίκες κέρδιζαν ένα στεφάνι ελιάς. Η ελιά, όπως αναφέρει ο μύθος, ήταν το δώρο της θεάς Αθηνάς στους κατοίκους της πόλης της Αθήνας, οι οποίου σε ένδειξη ευγνωμοσύνης έδωσαν το όνομα της θεάς στην πόλη τους. Το δένδρο της ελιάς εμφανίστηκε στην περιοχή της Μεσογείου χιλιάδες χρόνια πριν και από εκεί εξαπλώθηκε στις γύρω χώρες. Στην Κρήτη η καλλιέργεια της ελιάς ξεκίνησε γύρω στο 3500 π.Χ., ενώ οι αρχαίοι Έλληνες άλειφαν το σώμα τους και τα μαλλιά τους με λάδι ελιάς, για περιποίηση και υγεία. Πολλά ελληνικά και ρωμαϊκά γραπτά αναφέρονται στην ελιά και τον ευεργετικό της ρόλο. Αναφορές στην ελιά βρίσκονται τόσο στη Βίβλο όσο και στο Κοράνι.

Η καλλιέργεια της ελιάς υπολογίζεται ότι ξεκίνησε πριν από 7.000 χρόνια. Οι Ρωμαίοι βοήθησαν να εξαπλωθεί η ελιά στις περιοχές της απέραντης αυτοκρατορίας τους. Μετά το 16ο αιώνα, οι Ευρωπαίοι έφεραν την ελιά στο Νέο Κόσμο και άρχισε η καλλιέργειά της στην Καλιφόρνια, στο Μεξικό, στο Περού, στη Χιλή και στην Αργεντινή. Σήμερα η καλλιέργεια της ελιάς έχει επεκταθεί σε πολλές περιοχές του κόσμου, όπου οι κλιματολογικές συνθήκες είναι τόσο ευνοϊκές όσο αυτές που επικρατούν στις μεσογειακές χώρες. Οι κυριότερες χώρες στην παραγωγή ελιάς είναι η Ισπανία, η Ιταλία, η Ελλάδα, η Τυνησία, το Μαρόκο, η Πορτογαλία η Συρία και η Αλγερία. Το δέντρο καλλιεργείται επίσης στη Γαλλία, στη Γιουγκοσλαβία στην Κύπρο, στην Αίγυπτο, στο Ισραήλ, στη Λιβύη, στην Ιορδανία, στο Λίβανο, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αυστραλία. Το λάδι δεν χρησιμοποιείται πλέον για άναμα εκτός από θρησκευτικούς σκοπούς και για την παρασκευή φαρμάκων και καλλυντικών.



Εικόνα 1.1 Το δέντρο της ελιάς

## 1.2 Παραγωγή ελαιόλαδου

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η συγκομιδή του καρπού και η διαδικασία παραγωγής του λαδιού μπορεί να έγινε πιο εύκολη, αλλά στην ουσία ο τρόπος παραμένει ο ίδιος ανά τους αιώνες: Μάζεμα του καρπού: ο καρπός μαζεύεται από το Νοέμβριο έως και το Μάρτιο, δηλαδή έξι με οχτώ μήνες μετά την εμφάνιση της ανθοφορίας του δένδρου. Για την παραγωγή της καλύτερης ποιότητας λαδιού, ο καρπός πρέπει να μαζεύεται όταν αλλάζει το χρώμα του, τότε δηλαδή που υπάρχει η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λάδι και η καλύτερη γεύση. Μολονότι έχουν κάνει την εμφάνισή τους μηχανές, το μάζεμα του καρπού γίνεται στις περισσότερες χώρες με τον παραδοσιακό τρόπο: με τα χέρια. Οι εργάτες τινάζουν τα κλαδιά με ραβδιά, αφού απλώσουν πανιά ή δίχτυα για τη συλλογή του καρπού, και συγκεντρώνουν τον καρπό σε τσουβάλια. Σε κάποιες περιοχές, δεν κάνουν ούτε αυτό, αλλά περιμένουν τον καρπό να ωριμάσει και να πέσει μόνος του από το δένδρο (όπως στην Κέρκυρα). Βέβαια, το λάδι αυτό δεν είναι πολύ καλής ποιότητας. Όταν μαζευτεί ο καρπός, πρέπει να μεταφερθεί στο ελαιοτριβείο όσο γίνεται πιο γρήγορα (1-2 μέρες). Αυτό συμβαίνει, γιατί αν αφεθεί ο καρπός οι ελιές αρχίζουν να αλλοιώνονται (επέρχεται ζύμωση). Επεξεργασία του καρπού: για να πάρουμε το λάδι, ο καρπός συνθλίβεται με μηχανικά μέσα. Τα παλιά χρόνια, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν μεγάλους πέτρινους τροχούς για να συνθλίψουν τον καρπό και να πάρουν το λάδι του. Σήμερα οι ελιές μπαίνουν σε μηχανές με ανοξείδωτους τροχούς, αφού πρώτα πλένονται και

διαχωρίζονται από τα φύλλα, και στη συνέχεια πολτοποιούνται και συμπιέζονται. Προστίθεται νερό στον πολτό και, αφού περάσει από μηχανές που φιλτράρουν τυχόν ιζήματα, το νερό και το λάδι διαχωρίζονται. Η διαδικασία είναι φυσική χωρίς να προστίθενται άλλα υλικά (πέρα από το νερό). Το ελαιόλαδο είναι στην πραγματικότητα το μόνο είδος λαδιού που μπορεί να φαγωθεί, όπως βγαίνει από τον καρπό. Όπως και το καλό κρασί, έτσι και κάθε ποικιλία ελαιόλαδου κρίνεται από τη γεύση, το χρώμα, το άρωμα και την οξύτητά του. Κάθε είδος ελαιόλαδου είναι μοναδικό αφού είναι προϊόν εντελώς συγκεκριμένων συνθηκών (έδαφος, κλίμα, τύπος και ηλικία ελαιόδεντρων, εποχή που μαζεύτηκε ο καρπός και επεξεργασία του). Το χρώμα του είναι βασικά πράσινο, αλλά οι αποχρώσεις του πολλές. Η γεύση μπορεί να είναι έντονη ή απαλότερη, ακόμα και λίγο καυτερή. Όταν γίνεται σωστά η επεξεργασία του ελαιόλαδου, διατηρεί πλήρως το άρωμα, τις βιταμίνες και τη γεύση του καρπού από τον οποίο προήλθε.



Εικόνα 1.2 Τίναγμα κλαδιών



Εικόνα 1.3 Συλλογή ελιάς

### 1.3 Παραγωγή υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Κατά την κατεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με την παραγωγή ελαιολάδου παράγεται και μία σειρά παραπροϊόντων. Αυτά είναι ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί



με τον ελαιόκαρπο και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, που είναι γνωστά ως "λιοζούμι", "κατσίγαρος" ή "μούργα".

Ο κατσίγαρος συνίσταται από το υδατικό κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου και από το νερό που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις παραγωγής του λαδιού στο ελαιουργείο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα, που περιέχει μία σειρά από ουσίες όπως σάκχαρα, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα, πολυαλκοόλες, πολυφαινόλες και υπολείμματα ελαίου. Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί και η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του στο υψηλό ρυπαντικό φορτίο και στο σκούρο χρώμα του. Εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει, είναι πιθανόν να δημιουργήσει ευτροφικά φαινόμενα σε περιπτώσεις που καταλήγει σε αποδέκτες με μικρή ανακυκλοφορία νερών (κλειστούς θαλάσσιους κόλπους, λίμνες κ.τ.λ). Από τα συστατικά που περιέχονται στον κατσίγαρο, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι από τη μία πλευρά προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι των φυτών και αποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες ομάδες μικροοργανισμών, ενώ από την άλλη είναι υπεύθυνες για τη συντήρηση της ποιότητας του λαδιού στο χρόνο (χαμηλή οξύτητα) ως φυσικό συντηρητικό.

Η βιομηχανία ελαιολάδου παράγει μεγάλες ποσότητες αποβλήτων και υποπροϊόντων, περίπου 35 kg στερεών αποβλήτων (ακατέργαστη ελαιοπυρήνα) και 100 λίτρα υγρών αποβλήτων (απόνερα) δημιουργούνται κατά την επεξεργασία 100 kg ελαιόκαρπου. Τέτοιες ποσότητες υποπροϊόντων έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον.

Η εξαγωγή ελαιολάδου πραγματοποιείται σήμερα με το παραδοσιακό σύστημα ασυνεχούς λειτουργίας (κλασικός μύλος) ή με το πιο πρόσφατο φυγοκεντρικό σύστημα συνεχούς λειτουργίας (φυγοκεντρικός μύλος). Και οι δύο μέθοδοι παράγουν δύο ειδών απόβλητα, στερεά και υγρά. Το μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργείται από τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, τα οποία έχουν μεγάλο όγκο και ρυπογόνο δράση, με BOD (Biological Oxygen Demand - Βιολογική Απαίτηση Οξυγόνου) 20.000-35.000 mg/L, COD (Chemical Oxygen Demand, Χημική Απαίτηση Οξυγόνου) 20.000-35.000

mg/L και αρκετά χαμηλό pH (4-6). Το οργανικό περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων είναι πολύ υψηλό, εάν αναλογιστεί κανείς ότι η μέση περιεκτικότητα μιας συνηθισμένης εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού είναι 400-800 mg/L. Τα υγρά απόβλητα, ή όπως αλλιώς λέγονται «μαύρο νερό», είναι τοξικά και προκαλούν μεγάλα προβλήματα στις περιοχές καλλιέργειας των ελαιόδενδρων σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Η συνολική παραγωγή υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα είναι περίπου 1.500.000 τόνοι ετησίως, ενώ ο αριθμός των ελαιοτριβείων ανέρχεται σε 3.500 περίπου.



Εικόνα 1.4  
Αναβατόριο



Εικόνα 1.5  
Διαχωριστήρας



Εικόνα 1.6  
Δεξαμενή επεξεργασίας  
Υ.Α.Ε.

Επειδή η παραγωγή του ελαιολάδου είναι μία φυσική διαδικασία, πρέπει να σημειωθεί ότι ο κατσίγαρος δεν περιέχει άλλες ουσίες που είναι ιδιαίτερα τοξικές, όπως τα βαρέα μέταλλα και οι συνθετικές οργανικές ενώσεις. Το υψηλό οργανικό φορτίο του κατσίγαρου σε συνάρτηση με την παρουσία των πολυφαινολών δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεση του στο περιβάλλον, αλλά καθιστά αναγκαία την πρότερη επεξεργασία του. Για την επεξεργασία και διάθεση του κατσίγαρου έχουν δοκιμαστεί διάφορες μέθοδοι σε εργαστηριακή και πραγματική κλίμακα. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί μία ολοκληρωμένη οικονομικά βιώσιμη και αποδοτική μέθοδος επεξεργασίας έτσι ώστε να δώσει λύση στο πρόβλημα των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, αλλά έχουν εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές κατά περίπτωση

που παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα τεχνικής ή οικονομικής φύσεως και δεν έχουν επιλύσει ικανοποιητικά το πρόβλημα

#### **1.4 Δομή της Πτυχιακής Εργασίας**

Στο 2ο Κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, πως παράγονται τα Υ.Α.Ε. , γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, υφιστάμενες μεθόδους επεξεργασίας περιβαλλοντικές επιπτώσεις και νομοθετικό πλαίσιο.

Στο 3ο Κεφάλαιο αναφέρονται γενικά τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας.

Στο 4ο Κεφάλαιο αναφέρονται για Σ.Β.Ε. 3ου τύπου, μεθοδολογία, ημερομηνίες εργασιών, προσμετρήσεις και σχεδιασμό πειράματος.

Στο 5ο Κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα του πειράματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 Τύποι αποβλήτων: Γενική περιγραφή

Η αύξηση της παραγωγής ελαιοκάρπου συμβαδίζει με την αύξηση του όγκου των αποβλήτων και των υποπροϊόντων, προκαλώντας σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι ποσότητες και η σύνθεση των αποβλήτων ποικίλλουν αρκετά και επηρεάζονται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Το είδος της επεξεργασίας
- Την ποικιλία των καρπών
- Το μέγεθος της καλλιεργούμενης έκτασης
- Τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων
- Το χρόνο συγκομιδής και το στάδιο ωριμότητας
- Το κλίμα και τις καιρικές συνθήκες

Ένα μεσαίου μεγέθους ελαιοτριβείο έχει δυναμικότητα περίπου 10 – 20 τόνους ελαιόκαρπου / ημέρα και η παραγωγή υγρών αποβλήτων υπολογίζεται σε 0,4 m<sup>3</sup>/τόνο επεξεργασμένου καρπού περίπου. Ο μέσος όρος του όγκου των υγρών αποβλήτων σε ημερήσια βάση ανέρχεται μέχρι 8 m<sup>3</sup>.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα υγρά απόβλητα είναι το κύριο μέρος των αποβλήτων κατά την επεξεργασία του ελαιόκαρπου. Στις περιοχές επεξεργασίας της επιτραπέζιας ελιάς και του ελαιολάδου, τα απόβλητα που προέρχονται από την βιομηχανία αντιπροσωπεύουν σχεδόν τα  $\frac{3}{4}$  της συνολικής παραγωγής αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στις μεγάλες ποσότητες νερού που είναι απαραίτητες στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του καρπού, καθώς επίσης και για την πλύση του εξοπλισμού της μονάδας, ο οποίος πλένεται μέχρι 3 φορές ημερησίως. Για ένα μέσης δυναμικότητας ελαιοτριβείο η μέση απαίτηση νερού για την πλύση του εξοπλισμού υπολογίζεται σε 0,07 L/kg καρπού περίπου. Αυτό σημαίνει ότι για μία ποσότητα 100.000 kg καρπών την ημέρα, η μέση ζήτηση νερού μόνο για το πλύσιμο του εξοπλισμού είναι 7.000 λίτρα.

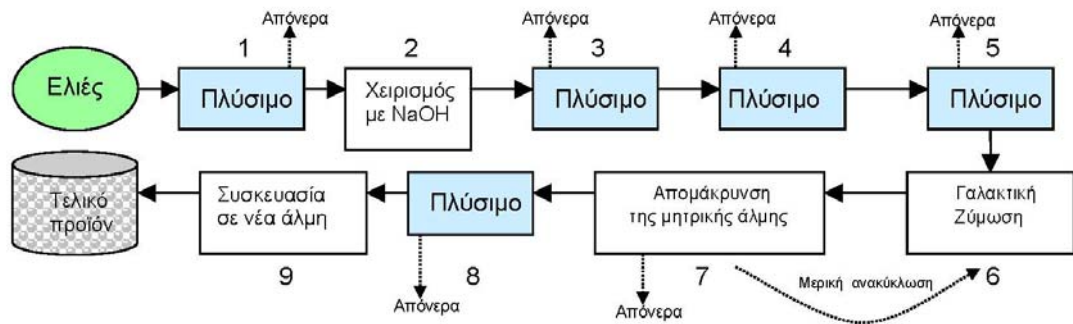
Τα απόβλητα περιέχουν στερεά και υγρά συστατικά. Η αναλογία μεταξύ ελαίου, ύδατος και στερεών συστατικών εξαρτάται κυρίως από την πρώτη ύλη, την τεχνολογία επεξεργασίας και τον τύπο του τελικού προϊόντος. Το στάδιο ωριμότητας επηρεάζει τη σύνθεση του προϊόντος και των αποβλήτων. Ένας καρπός με μέσο βάρος 8,4 g, περιέχει 7 g νερό, 0,57 g έλαιο, 0,47 g υδατάνθρακες, 0,2 g φυτικές ίνες, 0,08 g πρωτεΐνες, 0,083 g ανόργανα άλατα και 0,03 g βιταμίνες. Η περιεκτικότητα σε νερό μειώνεται με την ωρίμανση (από πράσινη σε μαύρη ελιά) μέχρι 2 g ενώ αυξάνεται η περιεκτικότητα του ελαίου

Το νερό του αλεσμένου ελαιόκαρπου περιέχει μέταλλα όπως άζωτο, σίδηρο, κάλιο και επίσης οργανικά συστατικά όπως σάκχαρα, οργανικά οξέα, πηκτίνη και πολυφαινόλες. Όλα αυτά τα συστατικά αυξάνουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων και οι απλές εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού δεν είναι σε θέση να απομακρύνουν τα ρυπογόνα αυτά συστατικά από τα υγρά απόβλητα. Τιμές COD 80-200 g/L και BOD 50-100 g/L δεν είναι σπάνιες σε υγρά απόβλητα από την επεξεργασία του ελαιόκαρπου. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε μια μέση μονάδα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων οι τιμές COD και BOD κυμαίνονται μεταξύ 400 και 800 mg/L. Επιπλέον, το κύριο φορτίο των αποβλήτων από την επεξεργασία του ελαιόκαρπου επικεντρώνεται σε μια μικρή χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια του έτους (από Νοέμβριο μέχρι Φεβρουάριο).

## **2.2 Επεξεργασία ελαιόκαρπου και παραγόμενα απόβλητα**

### **2.2.1 Παραγωγή επιτραπέζιας ελιάς**

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την επεξεργασία της επιτραπέζιας ελιάς, κοινό σημείο των οποίων είναι το τελικό στάδιο της διαδικασίας που περιλαμβάνει τη ζύμωση. Η συνηθέστερη μέθοδος για την παραγωγή επιτραπέζιων ελιών(ιδίως πράσινων) είναι η λεγόμενη Ισπανική μέθοδος. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει διαγραμματικά την παραγωγή αυτού του εμπορικού τύπου:



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας πράσινου ελαιόκαρπου με την Ισπανική μέθοδο.

Από τα συνολικά εννέα στάδια της επεξεργασίας του καρπού, τα πέντε αφορούν πλύσιμο και τη δημιουργία υγρών αποβλήτων. Είναι απαραίτητα τρία πλυσίματα μετά την επεξεργασία με το καυστικό νάτριο (6-10 ώρες), έτσι ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια του αλκάλειου από τη σάρκα του καρπού. Το καυστικό νάτριο υδρολύει την ελευρωπαΐνη, που είναι υπεύθυνη για την πικρή γεύση των καρπών) σε δύο επιμέρους συστατικά την υδροξυτυροσόλη και το γλυκοζίτη του ελενολικού οξέος. Το καυστικό νάτριο ξεπικρίζει τις ελιές και η ζύμωση διασφαλίζει τη διάχυση της υδροξυτυροσόλης και του ελενολικού οξέως από τη σάρκα του καρπού στο υγρό μέσο της ζύμωσης (άλμη). Η ζύμωση είναι ανάλογη με εκείνη άλλων λαχανικών (π.χ. αγγούρι) και οφείλεται σε γαλακτικά βακτήρια (*Lactobacillus plantarum* και *Lactobacillus pentosus*). Η συνολική διάρκεια ζύμωσης κυμαίνεται από 100-200 ημέρες.

Μια τυπική σύσταση των υγρών αποβλήτων κατά την επεξεργασία της επιτραπέζιας ελιάς παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1. Εντούτοις, η σύνθεση των χαρακτηριστικών μπορεί να παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με την ποικιλία της ελιάς, τη μέθοδο συγκομιδής, κλπ. Για την επεξεργασία 1 kg επιτραπέζιων ελιών απαιτούνται περίπου 1,2 λίτρα νερού. Η ετήσια παραγωγή επιτραπέζιας ελιάς στην ΕΕ αντιστοιχεί σε ποσό μεγαλύτερο των 750.000 τόνων υγρών αποβλήτων που πρέπει να επεξεργαστούν πριν διατεθούν σε κάποιον αποδέκτη.

Πίνακας 2.1: Κύρια χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από τις επιτραπέζιες ελιές.

Χαρακτηριστικό	NaOH & Νερό πλύσης	Άλμη
pH	9 -13	4
NaOH (g/L)	1,1-1,5	-
NaCl (g/L)	-	6-10
Ελεύθερη οξύτητα (g γαλακτικού οξέως /L)	-	6-15
Πολυφαινόλες (g tannic acid/L)	4,1-6,3	5-7
COD (g O <sub>2</sub> /L)	23-28	10-20
BOD (g O <sub>2</sub> /L)	15-25	9-15
Διαλυτά οργανικά στερεά (g/L)	30-40	10-20

### 2.2.2 Παραγωγή ελαιολάδου

Η παραγωγή ελαιολάδου εντοπίζεται σε τρία σημεία:

I. Ελαιοτριβεία, που επεξεργάζονται ελιές και παράγουν ελαιόλαδο, υγρά και στερεά απόβλητα

II. Εγκαταστάσεις εξευγενισμού (ραφιναρίες), όπου το μη κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση ελαιόλαδο υποβάλλεται σε ειδική επεξεργασία

III. Πυρηνελαιουργεία, όπου ο ελαιοπυρήνας υποβάλλεται σε επεξεργασία και εξάγεται το πυρηνέλαιο

Η επεξεργασία του ελαιολάδου μπορεί να διαιρεθεί στα παρακάτω βήματα:

➤ Παραλαβή του καρπού:

Μετά τη συγκομιδή οι ελιές παραδίδονται στις μεταποιητικές μονάδες για επεξεργασία το ταχύτερο δυνατόν. Η μεταφορά τους γίνεται σε πλαστικά τελάρα (κλούβες) με οπές αερισμού ή πλαστικούς σάκους. Σε περίπτωση που χρειάζεται να αποθηκευτεί ο καρπός θα πρέπει να είναι για μικρό χρονικό διάστημα σε χώρο με καλό αερισμό.

➤ Πλύσιμο

Οι ελιές τοποθετούνται αρχικά στη χοάνη παραλαβής ελαιόκαρπου και στη συνέχεια με μεταφορική ταινία οδηγούνται στο αποφυλλωτήριο, όπου απομακρύνονται τα φύλλα και άλλα φερτά υλικά. Ακολουθεί πλύσιμο για την απομάκρυνση ξένων υλών (σκόνη, χώμα, κλπ). Το νερό μπορεί να ανακυκλωθεί μετά από κατακρήμνιση των στερεών συστατικών ή διήθηση. Απαιτούνται περίπου 100 - 120 λίτρα νερού για την πλύση 1000 kg ελαιόκαρπου. Μετά το πλύσιμο ακολουθεί η άλεση του καρπού σε ελαιόμυλο ή σπαστήρα.

➤ Σπάσιμο – άλεση ελαιόκαρπου

Στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία η άλεση του καρπού γίνεται με κυλινδρικές μυλόπετρες. Στις σύγχρονες μονάδες χρησιμοποιούνται μεταλλικοί μύλοι, σφυρόμυλοι και σπαστήρες με οδοντωτούς δίσκους. Εάν οι ελιές που υποβάλλονται σε επεξεργασία είναι παγωμένες ή πολύ ξηρές, προστίθεται μια μικρή ποσότητα νερού (100 - 150 λίτρα ανά 1000 kg καρπού).

➤ Μάλαξη

Μετά την άλεση, η ελαιοζύμη αναμιγνύεται στο μαλακτήρα μετά την προσθήκη ζεστού νερού. Η μάλαξη αποτελεί βασικό στάδιο της επεξεργασίας και συντελεί στη συνένωση των μικρών ελαιοσταγονιδίων σε μεγαλύτερες σταγόνες λαδιού. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας η ελαιοζύμη θερμαίνεται στους 28-30°C. Στο μαλακτήρα προστίθεται νερό μέχρι και 100% της ποσότητας της ελαιοζύμης, πριν την εξαγωγή του ελαιολάδου σε διφασικό ή τριφασικό φυγοκεντρικό σύστημα.

➤ Παραλαβή του ελαιολάδου

Η παραδοσιακή μέθοδος της πίεσης και η διαδικασία των τριών φάσεων παράγουν το παρθένο ελαιόλαδο και δύο τύπους αποβλήτων: τα υγρά απόβλητα (κατσίγαρος) και τα στερεά απόβλητα (ελαιοπυρήνας). Η παραδοσιακή μέθοδος είναι μια ασυνεχής διαδικασία (batch type process) που διαφοροποιείται σε δύο φάσεις με τη πίεση των αλεσμένων καρπών. Η υγρή φάση (μίγμα νερού/λαδιού) διαχωρίζεται αργότερα προκειμένου να ληφθεί το ελαιόλαδο. Υπολογίζεται ότι από 1.000 kg καρπού παράγονται περίπου 350 kg ελαιοπυρήνα (περιεκτικότητα σε υγρασία ~25%) και περίπου 450 kg υγρά απόβλητα (απόνερα). Εντούτοις, αν και είναι πιο οικολογική, η τεχνική αυτή



είναι ασυνεχής, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα για τη σύγχρονη βιομηχανία.

Η 3-φασική διαδικασία είναι μια συνεχής διαδικασία (continuous process) που έχει αντικαταστήσει την παραδοσιακή μέθοδο. Οι αλεσμένες ελιές τοποθετούνται σε ένα 3-φασικό φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (decanter), όπου τα διαφορετικά μέρη (ελαιόλαδο, απόνερα, ελαιοπυρήνας) διαχωρίζονται με την επίδραση της φυγοκέντρου δυνάμεως. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι μεγάλες ποσότητες ύδατος που απαιτούνται και συνεπώς η παραγωγή σημαντικού όγκου υγρών αποβλήτων που προκαλούν ρύπανση. Υπολογίζεται ότι από 1.000 kg καρπό, παράγονται 500 kg ελαιοπυρήνα (περιεκτικότητα σε υγρασία ~50%) και 1.200 kg υγρά απόβλητα.

Το 1992 ένα νέο συνεχές σύστημα εμφανίστηκε στην αγορά, το 2-φασικό σύστημα (επίσης ονομαζόμενο και "οικολογικό σύστημα"). Σε αυτήν τη διαδικασία δεν προστίθεται επιπλέον νερό στην ελαιοζύμη. Τα τελικά προϊόντα της επεξεργασίας είναι το ελαιόλαδο και η ελαιοπυρήνα στην οποία έχουν ενσωματωθεί τα απόνερα (υγρή ελαιοπυρήνα). Κατά την επεξεργασία 1.000 kg καρπού παράγονται 800 περίπου kg αποβλήτων. Κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η δύσκολη διαχείρισή τους λόγω του υψηλού ποσοστού υγρασίας μεγαλύτερου του 70% ενώ στο 3-φασικό είναι μικρότερη ίση του 40% υγρασίας.

➤ Καθαρισμός του ελαιολάδου

Τα στερεά σωματίδια (τεμαχίδια σάρκας, φλοιού, θρύμματα πυρηνόξυλου, κλπ) που βρίσκονται διαλυμένα στην υγρή φάση, το βάρος των οποίων υπολογίζεται σε ποσοστό 0,5-1% επί του συνολικού βάρους της υγρής φάσης, απομακρύνονται με τη χρήση παλινδρομικά κινούμενων κόσκινων (κόσκινα απολάσπωσης). Ακολουθεί ο τελικός διαχωρισμός του ελαιολάδου από τα φυτικά υγρά με τη χρήση φυγοκεντρικών ελαιοδιαχωριστήρων.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές επεξεργασίες για την παραλαβή του ελαιολάδου: η παραδοσιακή, η 3-φασική και η 2-φασική. Οι διάφορες επεξεργασίες διαφέρουν σημαντικά στον όγκο και τη σύνθεση των αποβλήτων που παράγουν. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των τριών διαδικασιών:

Πίνακας 2.2: Σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών αποβλήτων από τις διάφορες επεξεργασίες παραγωγής ελαιολάδου

	Παραδοσιακή	3 Φάσεων	2 Φάσεων
Στερεό υπόλειμμα (kg/tn καρπού)	330	500	800
Υγρά απόβλητα (L/tn καρπού)	600	1200	250
Φυτικό νερό των υγρών αποβλήτων(%)	94	90	99
BOD υγρών αποβλήτων (g/L)	100	80	10
Πολυφαινόλες στα υγρά απόβλητα (mg/L)	203	164	200
Δείκτης Πικρότητας	1,4	0,5	-

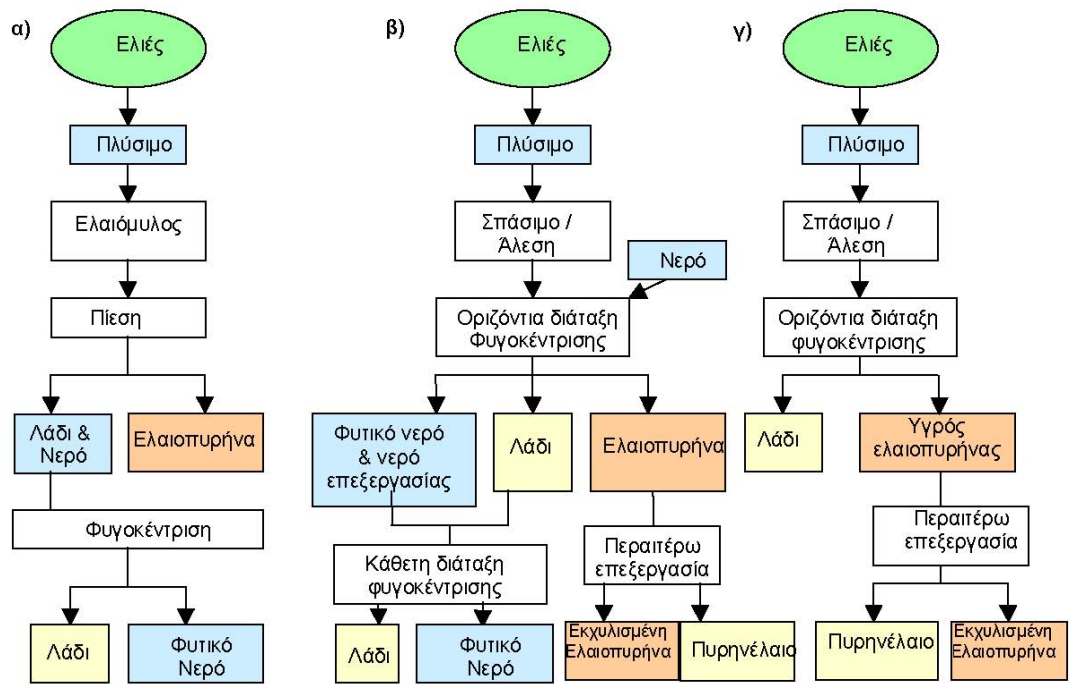
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το 2-φασικό σύστημα δημιουργεί μεγαλύτερο όγκο στερεού υπολείμματος, παράγει όμως μικρότερα ποσά υγρών αποβλήτων και χαμηλότερες τιμές BOD. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι η περιεκτικότητα του ελαιολάδου σε πολυφαινόλες είναι μικρότερη στο τριφασικό σύστημα λόγω των υψηλών ποσών προστιθέμενου νερού. Τέλος, το ελαιολάδο που προκύπτει από τη διφασική επεξεργασία είναι υψηλής ποιότητας και σταθερό στην οξείδωση.

Γενικά, η ευρωπαϊκή βιομηχανία ελαιολάδου καταναλώνει πάνω από 8.000.000 τόνους νερού, ενώ παράγονται περισσότεροι από 4.600.000 τόνοι υγρών αποβλήτων και 6.800.000 τόνοι στερεών αποβλήτων (πυρήνα). Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις διαφορές στην απόδοση των διάφορων επεξεργασιών σε σύγκριση με την απαίτηση ύδατος και την παραγωγή αποβλήτων.

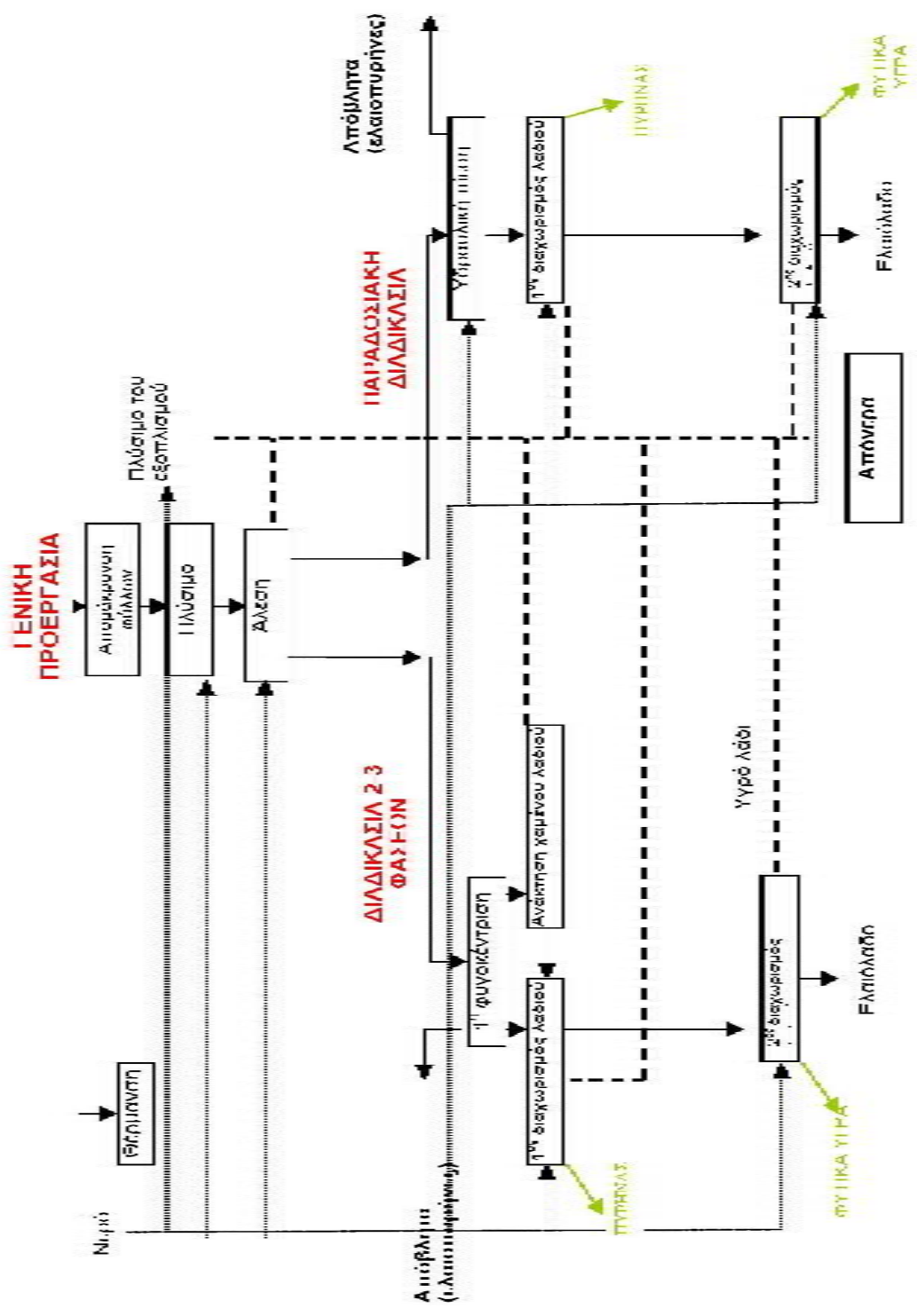
Πίνακας 2.3: Αποδοτικότητα επεξεργασίας – κατανάλωση νερού – παραγόμενα απόβλητα

	E	I	EL	P
Ποσότητα ελαιολάδου (L/kg καρπού)				
Παραδοσιακό σύστημα (πίεση)	n.d.	0,20	0,21	0,22
3-φασικό σύστημα	n.d.	0,13	0,21	0,2
2-φασικό σύστημα	0,194	0,19	0,20	0,2
Εξαγωγή πυρήνα	n.d.	0,02	n.d.	n.d.
Ποσότητα νερού (L/kg καρπού)				
Παραδοσιακό σύστημα (πίεση)	n.d.	0,1-0,2	0-0,5	0,47
3-φασικό σύστημα	n.d.	0,6-0,7	n.d.	0,85
2-φασικό σύστημα	0,1	n.d.	n.d.	0,14
Στερεά απόβλητα (kg/kg καρπού)				
Παραδοσιακό σύστημα (πίεση)	n.d.	0,3-0,35	0,35-0,46	0,43
3-φασικό σύστημα	n.d.	0,55-0,6	0,32-0,35	0,53
2-φασικό σύστημα	0,775	0,70-0,8	0,8	0,79
Υγρά απόβλητα (L/kg καρπού)				
Παραδοσιακό σύστημα (πίεση)	n.d.	0,4-0,45	0,92 (0,75-0,85)	0,85
3-φασικό σύστημα	n.d.	0,70-0,8	1,67 (3,0-3,5)	1,15
2-φασικό σύστημα	n.d.	n.d.	n.d.	0,18

E-Ισπανία, I-Ιταλία, EL-Ελλάδα, P-Πορτογαλία; n.d.-δεν υπάρχουν δεδομένα



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα ροής των 3 διαφορετικών διαδικασιών παραγωγής ελαιολάδου: α) Παραδοσιακή, β) 3-φασική, γ) 2-φασική.



Σχήμα 2,3 Διάγραμμα ροής για παραδοσιακά 2-φασικά και 3-φασικά ελαιοτριβεία

### 2.3 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Όπως είναι γνωστό, διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλοεπίδραση του νερού, εδάφους, ατμόσφαιρας και μικροοργανισμών. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών, στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Οι διεργασίες αυτές είναι οι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας όπως είναι: η καθίζηση, η φίλτρανση, η μεταφορά αερίων, η προσρόφηση, η ιονική εναλλαγή, η χημική κατακρήμνιση, η χημική οξείδωση και αναγωγή και η βιολογική μετατροπή και αποδόμηση ή άλλες που είναι μοναδικές, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξείδωση και η πρόσληψη από τα φυτά (Αγγελάκης, 1994). Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες επεξεργασίας συμβαίνουν με "φυσικές" ταχύτητες και τείνουν να συμβαίνουν περισσότερες από μια συγχρόνως και σε ένα "οικο-αντιδραστήρα", σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα που συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς αντιδραστήρες εν σειρά ή δεξαμενές και με υψηλότερες ταχύτητες (Metcalf and Eddy, Inc., 1991 και Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας αποτελούν κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας για μικρούς οικισμούς ή ομάδες κατοικιών, όπου η κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση συμβατικών μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων είναι ασύμφορη οικονομικά. Σήμερα, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται επιτυχώς για την επεξεργασία διαφόρων τύπων υγρών αποβλήτων (αστικών, κτηνοτροφικών, γεωργικών και βιομηχανικών) σε πολλές περιοχές του κόσμου υπό διαφορετικές κλιματικές και άλλες συνθήκες.

Γενικά, φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ονομάζονται αυτά που η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, χημικές, βιολογικές ή συνδυασμό τους, που συμβαίνουν στο περιβάλλον έδαφος-απόβλητο-(φυτό) (Αγγελάκης, 1989). Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες (Metcalf and Eddy, Inc., 1991), όπως είναι οι παρακάτω:

Τα Γήινα και/ή Εδαφικά Συστήματα. Αυτά βασίζονται στο έδαφος ή σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Μετά την εφαρμογή προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους, επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία τους δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, που συμβαίνουν στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής των αποβλήτων πρέπει να είναι συμβατά με τις φυσικοχημικές ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων εδαφών και των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών. Τέτοια συστήματα είναι: (α) τα τοπικά, (β) τα βραδείας εφαρμογής (Slow Rate: SR), (γ) τα ταχείας διήθησης (Rapid Infiltration: RI), (δ) τα επιφανειακής ροής (Overland Flow: OF), και (ε) οι συνδυασμένοι τύποι.

Τα Συστήματα Υδροχαρών Φυτών. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στα υδροχαρή φυτά. Τέτοια συστήματα είναι: οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι και τα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

Οι Διάφοροι Τύποι Τεχνητών Λιμνών. Τα συστήματα αυτά συνήθως συνδυάζουν αναερόβια και αερόβια επεξεργασία και αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε τεχνητές λίμνες.

#### **2.4 Ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας**

Για ιστορικούς λόγους, αναφέρεται ότι στη Μινωική εποχή είχε επιτευχθεί σημαντική πρόοδος σε αντικείμενα της υδραυλικής υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα εφαρμογής τους σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις πριν 4.500 περίπου έτη (Angelakis and Spyridakis, 1996). Σε πολλές πόλεις της εποχής εκείνης σώζονται ακόμη σήμερα εγκαταστάσεις αποχέτευσης και διάθεσης υγρών αποβλήτων, που προκαλούν το θαυμασμό για την τελειότητα κατασκευής και λειτουργίας τους. Ουσιαστικά, η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας χρονολογείται από τη δεκαετία του 1880. Τότε στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ και άλλες χώρες αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε η "γεωργική εκμετάλλευση-λυμάτων" (sewage farming), που έγινε ευρύτατα γνωστή, ως η πρώτη προσπάθεια ελέγχου και περιορισμού της υδατικής ρύπανσης. Στο πρώτο ήμισυ του εικοστού αιώνα, αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν, είτε με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας, είτε με: α) ειδικές γεωργικές

εκμεταλλεύσεις, όπου τα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή, β) άρδευση διαφόρων περιβαλλόντων και κοινοχρήστων χώρων, και γ) εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Αυτά τα συστήματα επεξεργασίας, έχουν επικρατήσει κυρίως στις δυτικές και νότιες πολιτείες των ΗΠΑ, όπου η αξία του νερού των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα πρόσθετο πλεονέκτημα (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Πίνακας 2.4 Ταξινόμηση μονάδων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ (Αγγελάκης και Τσομπάνογλου, 1995; ASCE and Water Envir. Feder., 1992; and US.EPA, 1988).

Τύπος συστήματος	Αριθμός μονάδων
Απορριπτικά ή τοπικά εδαφικά συστήματα	20910 <sup>α</sup>
Τεχνητών λιμνών	7607 <sup>β</sup>
Βασιζόμενα σε εφαρμογή από έδαφος	1225
α) Βραδείας εφαρμογής (βραδείας διήθησης, άρδευσης, και άλλα)	
β) Ταχείας διήθησης (Soil Aquifer Treatment, SAT)	350
γ) Επιφανειακής ροής	
Υγροβιότοποι	140
α) Επιφανειακής ροής	
β) Υποεπιφανειακής ροής	
Υδροχαρών φυτών	20
α) Συστήματα με επί πλέοντα φυτά	
β) Συστήματα με βυθισμένα φυτά	
<sup>α</sup> Πρόκειται κυρίως για συστήματα σε κατοικίες. <sup>β</sup> Απαιτείται συμπληρωματικά επεξεργασία και έλεγχος.	



Στις ΗΠΑ, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε αρχικά, η βασική τεχνογνωσία των φυσικών συστημάτων. Ο αριθμός των δημοτικών επιχειρήσεων στις ΗΠΑ, που χρησιμοποιούν φυσικά συστήματα επεξεργασίας αυξήθηκε από 304 το 1940 σε 571 το 1972, που εξυπηρετούσαν πληθυσμό 6,6 εκατομμυρίων περίπου. Πιο πρόσφατες εκτιμήσεις των μονάδων φυσικών συστημάτων που υπάρχουν στις ΗΠΑ δίδονται στον Πίνακα 2.4.

Το ενδιαφέρον για τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, που βασίζονται στο έδαφος έχει αναθεωρηθεί ως αποτέλεσμα της έμφασης που αποδίδεται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, της ανακύκλησης των θρεπτικών στοιχείων και την χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Συγχρόνως άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτό οδήγησε στην ισότιμη αναγνώριση της, ως τεχνικής διαχείρισης στο τομέα της μηχανικής υγρών αποβλήτων (Metcalf and Eddy, Inc., 1991).

Οι πιο πρόσφατες κατακτήσεις στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, είναι οι τεχνητοί υδροβιότοποι επιφανειακής και υποεπιφανειακής ροής. Η εφαρμογή των τεχνητών υδροβιότοπων αναπτύχθηκε από την ανάγκη ανάδειξης και χρήσης των φυσικών υδροβιότοπων σε συνδυασμό με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από άλλα φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Επίσης, συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών εφαρμόστηκαν αρχικά για αναβάθμιση εκροών τεχνητών λιμνών επεξεργασίας και σταθεροποίησης.

## **2.5 Πλεονεκτήματα των φυσικών συστημάτων**

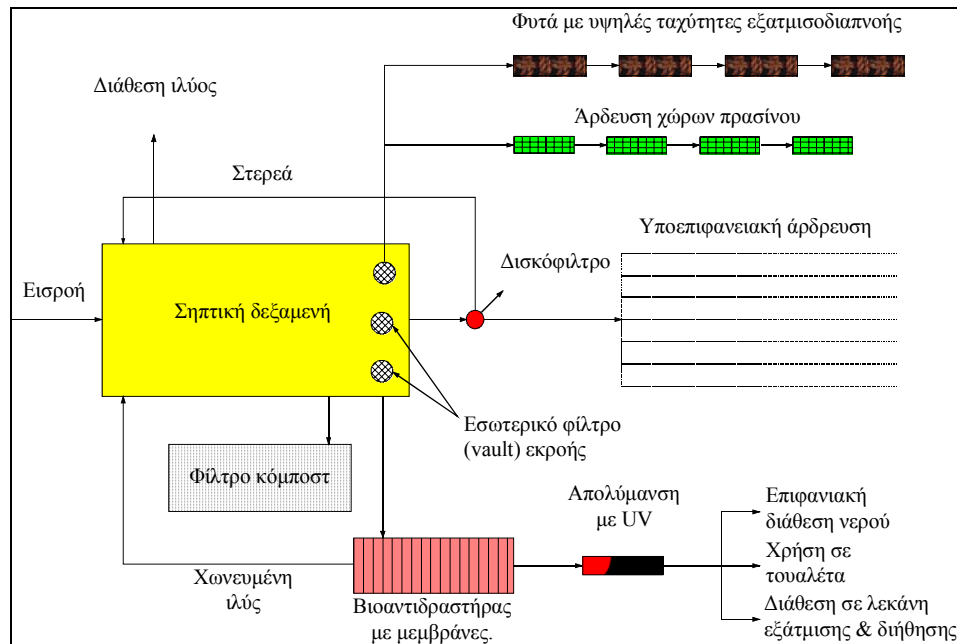
Όπως προαναφέρθηκε η τεχνογνωσία της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με μικρά αποκεντρωμένα συστήματα, σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση των εκροών τους σε γεωργικές χρήσεις, έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια σε πολλές προηγμένες χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ (νοτιοδυτικές πολιτείες). Ιδιαίτερα, οι εξελίξεις και η τεχνογνωσία σε θέματα φυσικών συστημάτων έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα για εφαρμογή των συστημάτων αυτών σε μικρούς οικισμούς (μέχρι 10.000 ι.κ.).

Τα συστήματα αυτά εντάσσονται πλήρως στη νέα νοοτροπία επιστροφής στα απλά, αποτελεσματικά συστήματα, συμβατά με φυσικές διεργασίες, χωρίς πολύπλοκους και ενεργοβόρους μηχανισμούς. Τέτοια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και το κόστος λειτουργίας τους είναι συνήθως μικρό. Επίσης, χαρακτηρίζονται από απλότητα και συμβατότητα με το φυσικό περιβάλλον. Τέλος, τα κλιματολογικά δεδομένα περιοχών της Μεσογείου, ευνοούν μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης φυσικών συστημάτων, καθώς και ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων κυρίως για άρδευση.

Γενικά τα συμβατικά συστήματα είναι υψηλού κατασκευαστικού και λειτουργικού κόστους, αντιμετωπίζουν συχνά λειτουργικά προβλήματα και είναι ενεργοβόρα, κυρίως κατά την εφαρμογή τους σε μικρούς σχετικά Ο.Τ.Α. (Tsagarakis *et al.*, 2000). Αντίθετα, τα φυσικά συστήματα προτιμούνται από τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, εξαιτίας: (α) της απλότητας τους, (β) του χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων καθώς, και των μικρών απαιτήσεων τους σε ενέργεια, και (γ) της δυνατότητας συμβολής τους στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος και στη δημιουργία χώρων αναψυχής. Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει τα έργα εισόδου των αποβλήτων (κανάλια, αντλιοστάσια, κ.λ.π.). Ακολουθεί προεπεξεργασία με μηχανικές αυτοκαθαριζόμενες σχάρες και διεργασίες αμμοσυλλογής-λιποσυλλογής σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις (δεξαμενές). Τα υγρά απόβλητα στη συνέχεια υπόκεινται σε πρωτοβάθμια επεξεργασία, όπως σε δεξαμενή Imhoff ή σηπτική δεξαμενή. Η προεπεξεργασία αυτή είναι αναγκαία, ώστε να μειωθεί σε κάποιο βαθμό το ρυπαντικό φορτίο, να ελαχιστοποιηθούν προβλήματα στη μεταφορά και τροφοδοσία των δεξαμενών ή των χώρων φυτικής βλάστησης, που καταλήγουν σε εναποθέσεις στις σωληνώσεις και άλλα και βέβαια να αποφευχθεί η συσσώρευσή τους στις θέσεις λειτουργίας και στις διεργασίες απομάκρυνσης των ρυπαντικών φορτίων (Crites, 1994 and Metcalf and Eddy, 1991).

Ο Tchobanoglous (1999) έχει εισαγάγει το σχέδιο της πολλαπλής ποιότητας στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Με σκοπό τη μεγιστοποίηση του οφέλους της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων

είναι φανερό ότι θα πρέπει να θεωρούνται διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας (Σχήμα 2.4). Αυτά τα επίπεδα θα πρέπει να βασίζονται στο BOD, στα TSS και στο μικροβιακό φορτίο και φυσικά στην επιδιωκόμενη χρήση και γενικά διαχείριση των εκροών των αποβλήτων.



Σχήμα 2.4 Σχέδιο πολλαπλής ποιότητας, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και επαναχρησιμοποίησης εκροών (Tchobanoglous, 1999)

Οι σχετικά μικροί ρυθμοί εφαρμογής υδραυλικών φορτίων συνδυαζόμενοι με την παρουσία βλάστησης σ' ένα ενεργό εδαφικό οικοσύστημα παρέχουν στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υψηλότερο δυναμικό επεξεργασίας από τα άλλα συστήματα επεξεργασίας.

Πίνακας 2.5 Σύγκριση χαρακτηριστικών θέσης και σχεδιασμού των εναλλακτικών φυσικών συστημάτων επεξεργασίας (Metcalf and Eddy, 1991, Crites *et al.*, 2000 και Angelakis, 2001)

Χαρακτηριστικά	SR1	SR2	RI	OF	Εφαρμογή υγροβιότοπου	Επιπέδων υδρόβιο φυτό
Βαθμός	20% καλλιεργούμενες και 40% μη καλλιεργ. θέσεις		Μη κρίσιμο	2 έως 8%	0,2%	0,4-0,5%
Υδραυλική αγωγιμότητα	Μέτρια		Ταχεία	Μικρή	Μέτρια	Μη εφαρμόσιμο
Βάθος υπόγειου ορίζοντα (m)	>3		1 κατά της διάρκεια εφαρμογής 1,5-3,1 κατά τη διάρκεια της ξήρανσης	Μη κρίσιμο	Μη κρίσιμο	Μη κρίσιμο
Κλίμα	Χειμερινή αποθήκευση σε ψυχρά κλίματα		Μη κρίσιμο	Μη κρίσιμο	Εξαρτάται από τη βλάστηση	Εξαρτάται από τη βλάστηση
Τεχνικές εφαρμογής	Εκτοξευτήρας ή επιφανειακή <sup>β</sup>		Συνήθως επιφανειακή	Εκτοξευτήρας ή επιφανειακή	Εκτοξευτήρας ή επιφανειακή	Επιφανειακή
Ρυθμοί φορτίου BOD (kg/στρ.·d)	0,3-1,1		4,5-18,0	5,5-2,25	<11	2-50
Ρυθμός υδραυλικού φορτίου (m/yr)	1,5-3,0	2-7	6,1-91,5	7,3-56,7	5,5-18,3	5,5-18,3
Απαιτούμενη έκταση (στρ./10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d) <sup>α</sup>	200-600	60-200	40-60	65-48	20-70	2-7
Ελάχιστη απαιτούμενη προεπεξεργασία	Πρωτοβάθμια καθίζηση <sup>γ</sup>		Πρωτοβάθμια καθίζηση	Εσχάρωση	Πρωτοβάθμια καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση
Διάθεση εφαρμοζόμενης εκροής	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση		Κυρίως διήθηση	Επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή και μικρή διήθηση	Εξατμισοδιαπνοή, διήθηση και απορροή	Μερική εξατμισοδιαπνοή
Βλάστηση	Απαιτείται		Προαιρετική <sup>δ</sup>	Απαιτείται <sup>ε</sup>	Απαιτείται	Απαιτείται

<sup>α</sup> Η έκταση δεν περιλαμβάνει ουδέτερη ζώνη, δρόμους και άλλους κοινόχρηστους χώρους.

<sup>β</sup> Περιλαμβάνει αυλάκια και τομές εδάφους.

<sup>γ</sup> Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και τον τύπο της φυτικής βλάστησης.

<sup>δ</sup> Μερικές φορές χρησιμοποιείται χορτοτάπητας.

<sup>ε</sup> Χρησιμοποιούνται υδρο-ανεκτικοί χορτοτάπητες.

## 2.6 Αντικείμενα και χαρακτηριστικά των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας

Όλοι οι τύποι των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας προϋποθέτουν συνήθως προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων, με κάποιο μηχανικό τρόπο. Η ελάχιστη προεπεξεργασία που συνιστάται είναι η εσχάρωση και/ή πρωτοβάθμια καθίζηση, με σκοπό την απομάκρυνση στερεών, που θα μπορούσαν να προξενήσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο. Η ανάγκη για πιο υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία εξαρτάται από τα αντικείμενα και τους σκοπούς του συστήματος και τους σχετικούς κανονισμούς, που ισχύουν σε κάθε δεδομένη περίπτωση. Σημειώνεται ότι, η ικανότητα όλων σχεδόν των φυσικών συστημάτων για επεξεργασία ιλύος υγρών αποβλήτων είναι περιορισμένη. Γι' αυτό το λόγο, τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται και να διαχειρίζονται με δεδομένη αυτή την προϋπόθεση.

Πίνακας 2.6 Σύγκριση της αναμενόμενης ποιότητας εκροής με φυσικά συστήματα (Metcalf and Eddy, 1991)

Συστατικό	Τιμή (mg/L)					
	SR <sup>a</sup>		RI <sup>b</sup>		OF <sup>γ</sup>	
	Μέσος όρος	Μέγιστη	Μέσος όρος	Μέγιστη	Μέσος όρος	Μέγιστη
BOD	<2	<5	2	<5	10	<15
TSS	<1	<5	2	<5	15	<25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<0.5	<2	0.5	<2	1	<3
TN	3	<8	10	<20	5	<8
TP	<0.1	<0.3	1	<5	4	<6

<sup>(a)</sup> Διήθηση πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής διαμέσου 1,5 m βάθους εδάφους.

<sup>(b)</sup> Διήθηση πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής διαμέσου 4,5 m βάθους εδάφους.

<sup>(γ)</sup> Απορροή συνεχιζόμενης εφαρμογής αστικού υγρού αποβλήτου πάνω από 45 m κλίσης.

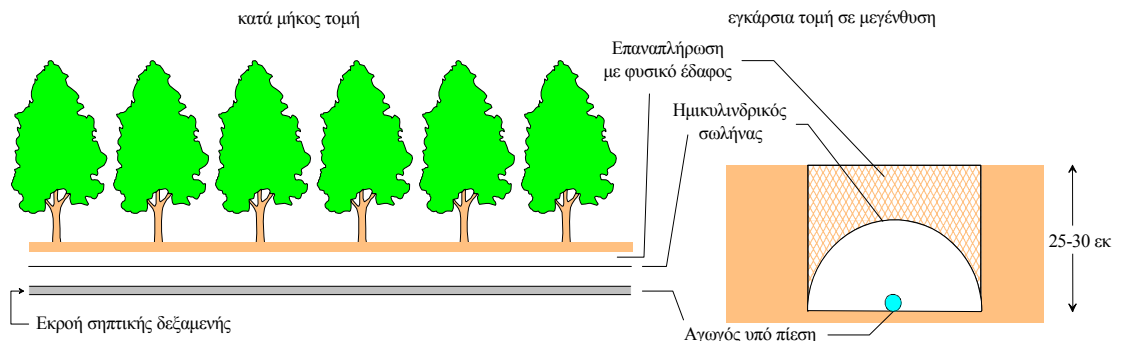
Μια σύγκριση των χαρακτηριστικών των βασικών τύπων των φυσικών συστημάτων δίδεται στον Πίνακα 2.5. Επίσης, ο προσδοκώμενος βαθμός επεξεργασίας των συστημάτων αυτών δίδεται στον Πίνακα 2.6. Λεπτομέρειες σχετικές με την αξιολόγηση της θέσης, την απαιτούμενη προεπεξεργασία και το σχεδιασμό φυσικών συστημάτων αναφέρονται και συζητούνται στη συνέχεια.

## **2.7 Τοπικά συστήματα**

Απ' αυτά, τα κυριότερα είναι τα γνωστά συστήματα εδαφικής διάθεσης με τάφρους ή ορθότερα υποεπιφανειακής διάθεσης. Όπως είναι γνωστό, η τελική επεξεργασία και διάθεση των εκροών σηπτικών δεξαμενών (ή άλλων μονάδων επεξεργασίας) ολοκληρώνεται, συνήθως, δια μέσου υπεδάφιας διάθεσης-απορρόφησης. Ένα τέτοιο σύστημα, συνήθως αποτελείται από σειρές μικρών τάφρων (βάθους 0,9-1,5 m), που περιέχουν πορώδες μέσο (χαλίκια μικρού μεγέθους). Το μέσο αυτό χρησιμοποιείται για να: (α) διατηρείται η δομή των τάφρων στο χώρο διάθεσης, (β) επιτυγχάνεται μερική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, (γ) διανέμει τις εκροές στις εδαφικές επιφάνειες φίλτρανσης, και (δ) επιτυγχάνεται προσωρινή αποθήκευση σε περίπτωση μη πλήρωσης του μέσου με υγρά, κατά τη διάρκεια συνθηκών αιχμής στην παροχή.

Οι εκροές της σηπτικής δεξαμενής εφαρμόζονται στο χώρο διάθεσης δια μέσου διαλείπουσας διήθησης ή με περιοδική δοσομετρία χρησιμοποιώντας αντλίες ή δοσομετρικά σιφώνια. Δυστυχώς, η συνήθης συμβατική σχεδίαση τέτοιων τάφρων, δεν αξιοποιεί τις δυνατότητες επεξεργασίας μέσω του εδάφους, επειδή το βάθος διάθεσης των υγρών αποβλήτων ευρίσκεται κάτω από την περιοχή της μέγιστης βακτηριακής δραστηριότητας. Οι νέες προτάσεις σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων προβλέπουν τη χρήση πολύ αβαθών τάφρων χωρίς απαραίτητα την προσθήκη χαλικιών (Σχήμα 2.5). Η εκροή της σηπτικής δεξαμενής οδηγείται στην τάφρο με διάτρητο αγωγό μικρής διατομής κάτω από ανεστραμμένη ημισωλήνα. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνει το επίπεδο επεξεργασίας όσον αφορά την απομάκρυνση των BOD, SS και φωσφορικών και νιτρικών. Αναφέρεται ότι, η υιοθέτηση τέτοιων πολύ

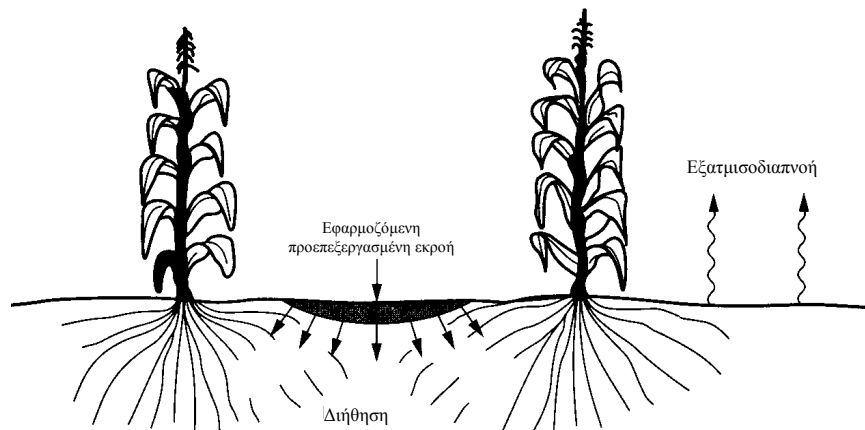
αβαθών τάφρων είχε προταθεί από το 1915 (Lumsden *et al.*, 1915). Γενικά, όμως όλα τα τοπικά (εδαφικά) συστήματα θα πρέπει να βασίζονται στην εφαρμογή των αποβλήτων σε αβαθείς αύλακες (βάθους μέχρι 30 cm) και αν είναι δυνατόν με κλειστά συστήματα για τον καλύτερο έλεγχο των οσμοαερίων.



Σχήμα 2.5 Τυπικό επιφανειακό σύστημα εδαφικής εφαρμογής

## 2.8 Βραδεία εφαρμογή

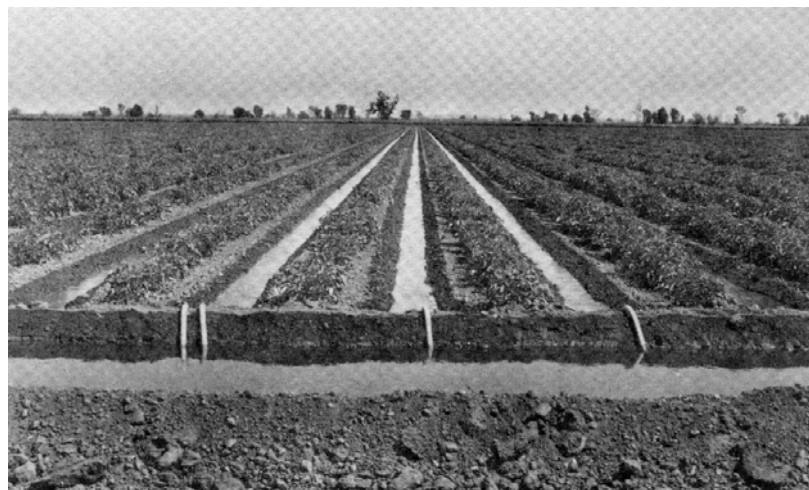
Η βραδεία εφαρμογή αποτελεί το επικρατέστερο σήμερα φυσικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αυτό συνοπτικά, περιλαμβάνει την ελεγχόμενη εφαρμογή του προεπεξεργασμένου αποβλήτου, σε έδαφος με φυτική βλάστηση, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του και παράλληλα την ικανοποίηση εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης (Αγγελάκης, 1989).



Σχήμα 2.6 Σχηματική παράσταση συστήματος επεξεργασίας SR

Το εφαρμοζόμενο απόβλητο είτε καταναλώνεται δια μέσου της εξατμισοδιαπνοής ή διηθείται και κατεισδύει στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς (Σχήμα 2.6).

Τα συστήματα SR συνδυάζουν την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των εκροών των θεωρούμενων αποβλήτων. Έτσι, τέτοια συστήματα σε αγροτικές περιοχές μπορούν να συμβάλλουν στη συστηματική επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων για άρδευση, γεγονός που επηρεάζει αποφασιστικά την προστασία και εξοικονόμηση υδατικών πόρων σε τέτοιες περιοχές. Επίσης, η αναβάθμιση του περιβάλλοντος με τη δημιουργία χώρων πρασίνου μπορεί να συνδυασθεί με την ανάπτυξη φυσικών συστημάτων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους κυριότερους τύπους των φυσικών συστημάτων και κυρίως σ' αυτούς που έχουν εφαρμογή στην λεκάνη της Μεσογείου.



Εικόνα 2.1 Εφαρμογή προεπεξεργασμένων εκροών με αυλάκια (Αγγελάκης, και Tchobanoglous, 1995)

Οι προεπεξεργασμένες εκροές μπορούν να εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους με όλες τις γνωστές μεθόδους καταιονισμού ή επιφανειακής άρδευσης, όπως είναι: λεκάνες, αυλάκια και στάγδην (Εικόνα 2.1). Κάθε πιθανή επιφανειακή απορροή συνήθως συλλέγεται και επανα-εφαρμόζεται στο σύστημα. Η επεξεργασία του αποβλήτου διενεργείται καθώς αυτό διηθείται στο έδαφος. Σε πολλές περιπτώσεις το απόβλητο κατεισδύει στον



υποκείμενο υπόγειο υδροφόρο, αλλά είναι δυνατόν να συναντηθεί με επιφανειακό νερό ή και ακόμη να ανακτηθεί με διάφορα στραγγιστικά έργα και να ανακυκλωθεί για αύξηση της απόδοσης του συστήματος ή για να επαναχρησιμοποιηθεί.

Πίνακας 2.7 Γενικές πληροφορίες συστημάτων SR (Crites and Tchobanoglous, 1998)

Τοποθεσία	Φυτό	Έτος λειτουργίας	Παροχή (ML/d)	Υδρ. φορτίο (m/yr)
Coleman, Texas	Γρασίδι Βερμούδας	1930	1,5	1,7
Dickinson, North Dakota	Γρασίδι γένους <i>Bromus</i>	1957	5,7	0,6
Fremont, Michigan	Τριφύλλι, βρώμη, βρίζα	1975	1,1	2,6
Hart, Michigan	Δασική βλάστηση, γρασίδι	1974	2,6	2,4
Kennett Square, Pennsylvania	Δασική βλάστηση	1973	0,2	2,1
Kerman, California	Τριφύλλι, ζαχαρότευτλα, κριθάρι, βρώμη, βαμβάκι, αμυγδαλιές	1976	1,9	0,1
Lake of Pines, California	Δασική βλάστηση, Βοσκή	1978	2,3	2,6
Ravenna, Michigan	Γρασίδι	1969	0,3	1,2
Santa Anna, Texas	Τριφύλλι και βοσκή	1966	0,6	0,9
Snoqualmie Pass, Washington	Δασική βλάστηση	1983	4,2	2,7
Sweetwater, Texas	Βοσκή, βρώμη, σιτάρι	1958	3,8	1,2
Wayland, Michigan	Τριφύλλι	1971	0,9	1,1
West Dover, Vermont	Δασική βλάστηση	1975	6,1	1,7
Winters, Texas	Γρασίδι Βερμούδας, γρασίδι του Σουδάν	1924	1,9	4,0
Wolfboro, New Hampshire	Δασική βλάστηση	1976	1,1	1,3

Η ταχύτητα εφαρμογής του αποβλήτου, δηλαδή το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής (ύψος νερού ανά μονάδα επιφάνειας) και η επιλογή και η διαχείριση της φυτικής βλάστησης, αποτελούν βασικά στοιχεία σχεδιασμού του συστήματος. Η εφαρμογή του υγρού αποβλήτου στο έδαφος μπορεί να γίνει με μια ποικιλία μεθόδων, όπως είναι οι επιφανειακές μέθοδοι (λεκάνες, αύλακες και άλλες) ή με καταιονισμό. Για την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών στο έδαφος, επιβάλλεται η μη συνεχής εφαρμογή του αποβλήτου σε αυτό. Οι ενδιάμεσοι κύκλοι εφαρμογής κυμαίνονται συνήθως από 4-10 ημέρες. Η σχετικά βραδεία εφαρμογή του αποβλήτου, σε συνδυασμό με την παρουσία της φυτικής βλάστησης και την ενδογενή δυναμικότητα του εδαφικού οικοσυστήματος, δημιουργούν υψηλό δυναμικά επεξεργασίας (Αγγελάκης, 1994).

Στις Η.Π.Α. λειτουργούν σήμερα περισσότερα από 1,200 τέτοια συστήματα. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στις ακόλουθες φάσεις: (α) Επιλογή φυτικής βλάστησης, (β) προσδιορισμό επιπέδου προεπεξεργασίας, (γ) σύστημα εφαρμογής, (δ) υδραυλικό φορτίο, (ε) απαιτούμενη έκταση εφαρμογής, (ζ) αποθηκευτικές απαιτήσεις, και (η) απαιτούμενη συνολικά έκταση. Γενικές πληροφορίες των συστημάτων SR στις Η.Π.Α. δίδονται στον Πίνακα 2.7.

## **2.9 Τύποι συστημάτων βραδείας εφαρμογής**

Τα συστήματα διάθεσης-επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βραδεία εφαρμογή τους στο έδαφος ταξινομούνται σε διάφορους τύπους. Οι κυριότεροι τύποι συστημάτων SR είναι τρεις, που αναφέρονται παρακάτω. Βασικά στοιχεία σχεδιασμού των τριών αυτών τύπων συστημάτων SR αναφέρονται στον Πίνακα 2.8.

**Τύπος 1.** Ο υπολογισμός του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής των υγρών αποβλήτων βασίζεται στην ικανοποίηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της δεδομένης καλλιέργειας και άλλων απωλειών και/ή αναγκών (βαθιάς διήθησης, έκπλυσης και άλλων). Ένα τέτοιο σύστημα σε πειραματικό επίπεδο που εγκαταστάθηκε το έτος 2000 στο κτήμα Σκαλανίου του

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στο Ηράκλειο φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Σημειώνεται ότι στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται τέσσερα διαφορετικά είδη φυτικής βλάστησης και εφαρμόζονται εκροές σηπτικής δεξαμενής με κλειστό σύστημα εφαρμογής για την αποφυγή οσμοαερίων και άλλων οχλήσεων.

Πίνακας 2.8 Σύγκριση χαρακτηριστικών τοποθεσίας και σχεδίασης εναλλακτικών φυσικών συστημάτων βραδείας εφαρμογής (Angelakis, 2001)

Χαρακτηριστικό	Τύπος 1	Τύπος 2	Τύπος 3
Κλίση	20% καλλιεργούμενες και 40% μη καλλιεργούμενες θέσεις		
Υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους	Μέτρια		
Βάθος εδάφους (m)	>0,6		
Βάθος υπόγειου υδροφορέα	0,6 – 3,1		
Κλιματικές συνθήκες	Αποθήκευση σε ψυχρά κλίματα		
Τεχνική εφαρμογή υδρ. φορτίου	Με καταιονισμό ή επιφανειακά <sup>α</sup>		
Ρυθμός φορτίου BOD (kg/στρ.·d)	0,3-1,1		
Ρυθμός υδραυλικού φορτίου (m/yr)	1,5-3,0	2-7	10-15
Απαιτούμενη έκταση (στρ./ $(10^3 \text{ m}^3/\text{d})$ ) <sup>β</sup>	200-600	60-200	25-35
Ελάχιστο επίπεδο προεπεξεργασίας	Πρωτοβάθμια καθίζηση <sup>γ</sup>		
Τελική διάθεση εφαρμοζόμενου υδραυλικού φορτίου	Εξατμισοδιαπνοή και φιλτράρισμα		
Ανάγκη για βλάστηση	Απαιτείται		
Υπόγειο στραγγιστικό δίκτυο	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται	Απαιτείται
<sup>α</sup> Περιλαμβάνει εφαρμογή με αυλάκια. <sup>β</sup> Η έκταση δεν περιλαμβάνει ουδέτερη ζώνη, δρόμους και άλλους κοινόχρηστους χώρους. <sup>γ</sup> Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και τον τύπο της φυτικής βλάστησης.			



(α)



(β)

Εικόνα 2.2 Σύστημα SR 1<sup>ου</sup> τύπου εγκατεστημένο στο κτήμα του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Σκαλάκι Ηρακλείου): (α) αμέσως μετά τη φύτευση, (β) ένα έτος αργότερα.

**Τύπος 2.** Σε αυτό τον τύπο η επεξεργασία του απόβλητου βασίζεται στην εφαρμογή στο έδαφος του μέγιστου ρυθμού υδραυλικού φορτίου στη μικρότερη δυνατή έκταση, διασφαλίζοντας την οριακή ανάπτυξη της χρησιμοποιούμενης καλλιέργειας και/ή φυτικής βλάστησης. Το υδραυλικό φορτίο υπολογίζεται με βάση την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους ή το φορτίο του αζώτου.

**Τύπος 3.** Αυτός ονομάζεται σύστημα υψηλού ρυθμού εφαρμογής και βασίζεται στη λειτουργία του ως εδαφικού φίλτρου και συλλογή των επεξεργασμένων εκροών με στραγγιστικό δίκτυο, που τοποθετείται υποεπιφανειακά σε βάθος 0,5-1,0 m, ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους. Το εφαρμοζόμενο υδραυλικό φορτίο σε ένα τέτοιο τύπο είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των τύπων 1 και 2.

## 2.10 Μέθοδοι επεξεργασίας

### 2.10.1 Διαχείριση Αποβλήτων

Από τα απόβλητα που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία των επιτραπέζιων ελιών και του ελαιολάδου, οι φαινολικές και οργανικές ουσίες, που είναι υπεύθυνες για τις υψηλές τιμές BOD και COD, θεωρούνται οι πιο προβληματικές κατά την επεξεργασία (Annesini, 1983).

Το γεγονός αυτό σχετίζεται με τη χαμηλή συγκέντρωση αζώτου και την υψηλή συγκέντρωση αργά διασπώμενων ενώσεων (πχ τανίνες). Τα υγρά

απόβλητα των ελαιοτριβείων (Υ.Α.Ε.) έχουν υψηλό οργανικό περιεχόμενο και θα υπέθετε κανείς ότι είναι πλήρως βίο-διασπώμενα, όμως μερικά συστατικά όπως οι πολυφαινόλες και τα λιπίδια αποσυντίθενται με βραδύτερο ρυθμό από άλλους τύπους αποβλήτων, π.χ. από την επεξεργασία ζάχαρης. Η αποδοτική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων απαιτεί γρήγορη και πλήρη βιοδιάσπαση των ρύπων με οικονομική λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας.

Η μεγάλη ποικιλομορφία των συστατικών απαιτεί διαφορετικές τεχνολογίες και μεθόδους για την εξάλειψη ή την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιδράσεων στο περιβάλλον. Μερικές μέθοδοι για την επεξεργασία των υγρών και στερεών αποβλήτων από την παραγωγή ελαιολάδου παρουσιάζονται παρακάτω. Αρχικά, οι μέθοδοι αυτοί στοχεύουν στη μείωση του οργανικού περιεχομένου και του όγκου των αποβλήτων. Στη πράξη, συνδυάζονται συχνά μεταξύ τους, δεδομένου ότι τα αποτελέσματά τους παρουσιάζουν διαφορές.

Η αερόβια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι αποτελεσματική μόνο εάν το οργανικό περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό (πχ ο λόγος BOD/COD < 1 g/L) (26), ενώ η αναερόβια επεξεργασία είναι αποδοτική σε περίπτωση υψηλού οργανικού φορτίου (λόγος BOD/COD > 1 g/L). Επομένως η υψηλή συγκέντρωση οργανικών και ανόργανων συστατικών καθιστά ακατάλληλη την άμεση επεξεργασία με την χρήση αερόβιων και αναερόβιων μεθόδων. Συχνά είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί συνδυασμός διαφορετικών διαδικασιών για αποτελεσματική επεξεργασία.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της Μεσογείου. Τα υγρά απόβλητα που παράγονται κατά την επεξεργασία της επιτραπέζιας ελιάς και του ελαιολάδου χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό και ανόργανο φορτίο, που καθιστά δύσκολη την επεξεργασία τους. Η ρυπαντική ικανότητα των υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία της ελιάς είναι εκατό φορές μεγαλύτερη από τα αστικά απόβλητα. Ο απλούστερος τρόπος διάθεσης (που εφαρμόζεται σήμερα στην Ιταλία) είναι η εφαρμογή τους στο έδαφος, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα λόγω της τοξικής επίδρασης των πολυφαινολών και της ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Μόνο το νερό από το

πλύσιμο του ελαιόκαρπου μετά την παράδοσή του στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, επειδή έχει χαμηλό οργανικό φορτίο.

Μέχρι τώρα δεν υπάρχει καμιά τεχνολογικά και οικονομικά βιώσιμη λύση. Γενικά η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων μπορεί να διακριθεί σε τρία μέρη ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας:

Πίνακας 2.9 Κύριες τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ελαιουργείων.

Μηχανική επεξεργασία	Καθίζηση, μηχανικός διαχωρισμός, επίπλευση, εσχαρισμός
Βιολογική επεξεργασία	Διάθεση στο έδαφος, εξάτμιση σε ανοικτές δεξαμενές, επεξεργασία ενεργού ιλύος, αναερόβια επεξεργασία
Φυσικοχημική επεξεργασία	Κατακρήμνιση, κροκίδωση, επίπλευση, οξείδωση/αναγωγή, προσρόφηση, αποτέφρωση, εξάτμιση, διαχωρισμός με μεμβράνες

Η μηχανική και φυσική επεξεργασία διαχωρίζει τα υγρά απόβλητα σε διαλυτά και μη-διαλυτά συστατικά, με αποτέλεσμα τη μείωση του οργανικού περιεχομένου κατά 40-60%.

### 2.10.2 Μηχανικοί μέθοδοι επεξεργασίας

#### Διήθηση (Filtration)

Η διήθηση είναι μια από τις παλαιότερες μεθόδους για την απομάκρυνση των στερεών από τα υγρά απόβλητα. Τα στερεά περιλαμβάνουν άργιλο και ιλύ, οργανική ουσία, ιζήματα από άλλες επεξεργασίες, σίδηρο, μαγγάνιο και μικροοργανισμούς. Ο διαχωρισμός γίνεται με τη βοήθεια πορώδους υλικού που συγκρατεί τα στερεά και επιτρέπει τη διέλευση της υγρής φάσης. Τα φίλτρα μπορεί να είναι στρώματα άμμου, αμμοχάλικου ή ενεργού άνθρακα που βοηθούν στην αφαίρεση και των πιο μικρών μορίων. Η διήθηση καθαρίζει το νερό και ενισχύει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.

Μπορεί να εφαρμοστεί μόνη της ή σε συνδυασμό με άλλη τεχνολογία επεξεργασίας. Η διήθηση μπορεί να γίνει είτε φυσικά (με βαρύτητα), είτε βεβιασμένα με εφαρμογή πίεσης στην πλευρά εισόδου ή με εφαρμογή κενού στην πλευρά εξόδου των αποβλήτων. Συνήθως, η διήθηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των στερεών υλικών από τα υγρά απόβλητα που μπορεί να εμποδίσουν την περαιτέρω επεξεργασία (πχ φράξιμο σωλήνων). Η διήθηση για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα βασίζεται στις μεθόδους διαχωρισμού μεμβρανών.

### **Επίπλευση (Flotation)**

Η επίπλευση είναι μια μηχανική μέθοδος διαχωρισμού των αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα. Η χρήση ενός αερίου στο σύστημα, όπως αέρα ή αζώτου, διευκολύνει το διαχωρισμό. Η αρχή της μεθόδου είναι απλή. Το αέριο διοχετεύεται υπό πίεση στα απόβλητα σχηματίζοντας λεπτές φυσαλίδες και προσροφάται στην επιφάνεια των στερεών, μειώνοντας το ειδικό βάρος και διευκολύνοντας το διαχωρισμό. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες όπως:

I. Ουσίες που προκαλούν αφρισμό (foaming chemicals). Η δημιουργία αφρού σταθεροποιεί τις φυσαλίδες και τον αφρό στην επιφάνεια της δεξαμενής. Σε διαφορετική περίπτωση, εάν σταματήσει ο σχηματισμός φυσαλίδων και αφρού, τα αιωρούμενα στερεά θα κατακρημνιστούν.

II. Ουσίες που καθιστούν τα αιωρούμενα στερεά υδρόφοβα. Με τη χρήση των ουσιών αυτών, τα αιωρούμενα στερεά προσκολλώνται ευκολότερα στις φυσαλίδες του αέρα και κινούνται προς την επιφάνεια. Αυτοί οι χημικοί παράγοντες καλούνται επίσης συλλέκτες (collectors).

III. Μερικοί ρυθμιστικοί παράγοντες όπως ρυθμιστές pH, ουσίες που προκαλούν κροκίδωση, κλπ.

Εφαρμόζονται διάφοροι τύποι επίπλευσης, οι όποιοι διαφέρουν κυρίως στον τρόπο που παράγονται οι φυσαλίδες. Η Επίπλευση με Διαλελυμένο Αέρα (Dissolved AIR Flotation) είναι η ευρύτερη μέθοδος που εφαρμόζεται λόγω της αποτελεσματικότητας στην απομάκρυνση μεγάλου εύρους στερεών. Μέχρι τώρα η επίπλευση χρησιμοποιούνταν μόνο σε πειραματικό στάδιο για

την επεξεργασία των αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Η επίπλευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση της πολύ λεπτής φάσης ελαίου (γαλάκτωμα) στα απόβλητα, αλλά η εφαρμογή παραμένει οριακή λόγω της χαμηλής αναλογίας δαπάνη/όφελος.

Ορισμένα ερευνητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι δυνατό να αφαιρεθεί η λιγνίνη και τα πολυμερή της λιγνίνης από τα υγρά απόβλητα με διήθηση. Τα συστατικά αυτά μπορεί να διασπαστούν στη συνέχεια από κάποιους μύκητες (π.χ. *Actinobacteria*), που χρησιμοποιούν την λιγνίνη ως θρεπτικό υπόστρωμα.

### **Καθίζηση (Sedimentation)**

Η καθίζηση στηρίζεται στην μεγαλύτερη πυκνότητα των μορίων από αυτή του νερού για την απομάκρυνσή τους από την υδατική φάση. Η διαδικασία μπορεί να είναι φυσική (κατακρήμνιση λόγω βαρύτητας) ή εξαναγκασμένη (σε φυγοκεντρικό διαχωριστή ή κυκλώνα).

Μετά από την αφαίρεση των ογκωδών στερεών, τα υγρά απόβλητα ρέουν στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, όπου η ταχύτητα ροής μειώνεται και τα αιωρούμενα υλικά βυθίζονται στον πυθμένα της δεξαμενής. Σε αυτό το στάδιο απομακρύνεται το 50% περίπου των διαλυμένων στερεών και το 35% του BOD. Επίσης, τα συστατικά που επιπλέουν όπως το έλαιο συλλέγονται από την επιφάνεια των δεξαμενών. Το υλικό που καθιζάνει (πρωτοβάθμια ιλύς) συλλέγεται σε μια χοάνη και οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία. Μερικές φορές χρησιμοποιείται ασβέστης για τον έλεγχο των ανεπιθύμητων οσμών.

### **Απολίπωση**

Πριν την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στο σύστημα βιολογικού καθαρισμού, θα πρέπει πρώτα να απομακρυνθεί η λιπαρή φάση με τη χρήση παγίδας λιπών, δεδομένου ότι εμποδίζουν τη ομαλή λειτουργία των βιολογικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Παράγοντας αποφασιστικής σημασίας για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος



απολίπωσης είναι το μέγεθος των ελαιοσταγονιδίων. Όσο μεγαλύτερα είναι τα σταγονίδια, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση τους να σχηματίσουν ένα φιλμ ελαίου στην επιφάνεια του νερού, για την απομάκρυνση του οποίου χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές, οι απολιπωτές (oil skimmer). Οι συσκευές αυτές είναι ιμάντες ή δίσκοι από χάλυβα ή πλαστικό που βυθίζονται συνεχώς στα υγρά απόβλητα. Το έλαιο προσκολλάται στην υδρόφιλη φάση και στη συνέχεια απομακρύνεται από την επιφάνεια.

Στην περίπτωση που τα σταγονίδια του ελαίου είναι πολύ μικρά ή η συγκέντρωση του ελαίου είναι χαμηλή, χρησιμοποιούνται οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές ή διαχωριστές βαρύτητας.

### **2.10.3 Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας**

#### **Λίμνες Εξάτμισης (Evaporation Lagoons)**

Οι λίμνες εξάτμισης είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Αποτελεί ικανοποιητική τεχνική για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με μικρό ρυπαντικό φορτίο. Οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας βασίζονται στη δράση μικροοργανισμών που αποικοδομούν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων σε απλούστερα, αβλαβή και ενεργειακά σταθερότερα προϊόντα. Το κύριο μειονέκτημα των λιμνών εξάτμισης είναι οι μεγάλες επιφάνειες που απαιτούνται και η μεγάλη περίοδος επεξεργασίας που διαρκεί περισσότερο από 60 ημέρες.

Σήμερα οι λίμνες εξάτμισης χρησιμοποιούνται για "αποθήκευση" και εξάτμιση του ύδατος, ενώ παράλληλα έχουμε και διαχωρισμό των στερεών από την υγρή φάση με καθίζηση. Το μέγιστο ποσοστό εξάτμισης μπορεί να φθάσει σε τιμές  $1\text{m}^3$  ανά  $1\text{m}^2$  κατά τη διάρκεια ενός μήνα. Μετά την εξάτμιση των υγρών αποβλήτων, τα στερεά που απομένουν χρησιμοποιούνται ως λίπασμα.

Οι λίμνες εξάτμισης είναι απλές εφαρμογές, χαμηλού κόστους, αλλά υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εάν η μόνωση της λεκάνης δεν είναι σωστή ή εάν υπάρξει κάποια διαρροή. Κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη δυσοσμία που αναδύεται από τα υγρά απόβλητα, η οποία είναι αντιληπτή σε μεγάλη απόσταση. Ο ρυθμός

εξάτμισης εξαρτάται από το κλίμα και μπορεί να διαρκέσει μερικές εβδομάδες. Στο τέλος της διαδικασίας παραμένει μια ελαιούχος και υγρή λάσπη.

### **Μέθοδος Ενεργού Ιλύος (Activated Sludge)**

Οι πρώτες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δημιουργήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1930. Κύριος σκοπός τότε ήταν η απομάκρυνση των μη διαλυτών στερεών (π.χ. άμμος, περιττώματα). Τα διαλυμένα συστατικά (οργανικές ενώσεις, άζωτο, και φωσφόρος) απορρίπτονταν στα ποτάμια. Τα αποτελέσματα ήταν τοξικά και δημιούργησαν συνθήκες ευτροφισμού στους υδατικούς αποδέκτες. Η πρώτη βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων επικεντρώθηκε στην αποικοδόμηση των οργανικών πηγών άνθρακα.

Σήμερα, η κατάσταση έχει αλλάξει ριζικά και τα πρότυπα ποιότητας στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι πολύ υψηλά. Η μέθοδος εστιάζεται στη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, λόγω της χαμηλότερης λειτουργικής δαπάνης και της υψηλότερης αποδοτικότητας σε σύγκριση με τη χημική επεξεργασία).

Η μέθοδος της ενεργούς ιλύος είναι η περισσότερο διαδεδομένη βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων στον κόσμο. Η βιομάζα αποτελείται από βακτήρια, που είναι υπεύθυνα για τη διαδικασία αποικοδόμησης και πρωτόζωα που τρώνε τα βακτήρια. Η διαδικασία αυτή της βιοκένωσης (biocenosis) καλείται ενεργή υλής.

Η διαδικασία αποικοδόμησης οδηγεί στην παραγωγή υψηλών ποσοτήτων ιλύος, διοξείδιο του άνθρακα και νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ). Η ιλύς ανακυκλώνεται μερικώς στη δεξαμενή αερισμού και το πλεόνασμα θα πρέπει να υποβληθεί σε κάποια επεξεργασία πριν διατεθεί για περαιτέρω χρήση.

Βελτιώσεις στην επεξεργασία των αποβλήτων οδήγησαν στην τροποποίηση της μεθόδου από μια δεξαμενή αερόβιας επεξεργασίας, σε ένα συνδυασμό δεξαμενών που περιλαμβάνουν αερόβιες, ανοξικές (anoxic, δηλ. συνθήκες όπου το διαλυμένο οξυγόνο είναι μεταξύ 0-0,5 ppm) και αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες απομακρύνουν ανόργανα στοιχεία όπως το

άζωτο και ο φωσφόρος. Για να γίνουν κατανοητές αυτές οι διαδικασίες, θα πρέπει να αναφερθούν σύντομα μερικά βασικά στοιχεία.

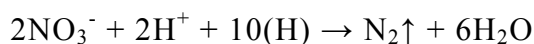
### **Απομάκρυνση Αμμωνιακού Αζώτου**

Οι αζωτούχες ενώσεις όπως η αμμωνία, τα νιτρώδη και νιτρικά άλατα προκαλούν το φαινόμενο του ευτροφισμού και είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία. Η απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα χωρίζεται σε δύο φάσεις: νιτροποίηση (nitrification) και απονιτροποίηση (denitrification). Αυτό οδηγεί στην οξείδωση της οργανικής ουσίας καθώς επίσης και στην αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη, και τέλος σε οξείδια του αζώτου και αέριο άζωτο.

Η νιτροποίηση πραγματοποιείται σε έντονα οξειδωτικές συνθήκες και περιλαμβάνει δύο στάδια:

1. Μετατροπή των αμμωνιακών ιόντων σε νιτρώδη με τη δράση νιτροβακτηρίων του γένους Nitrosomonas:  $\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
2. Μετατροπή των νιτρωδών ιόντων σε νιτρικά με τη δράση νιτροβακτηρίων του γένους nitrobact  $\text{NO}_2^- + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

Η απονιτροποίηση είναι το δεύτερο στάδιο στην απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα, κατά το οποίο οι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν την απαραίτητη ενέργεια για την αναπαραγωγή τους από την αναγωγή των νιτρικών σε αέριο άζωτο. Για την αναγωγή των νιτρικών σε άζωτο απαιτείται οπωσδήποτε μία πηγή άνθρακα που μπορεί να προέρχεται από τις διαλυτές οργανικές ενώσεις των ακατέργαστων αποβλήτων. Η ακόλουθη σχέση παρουσιάζει αυτήν τη διαδικασία:



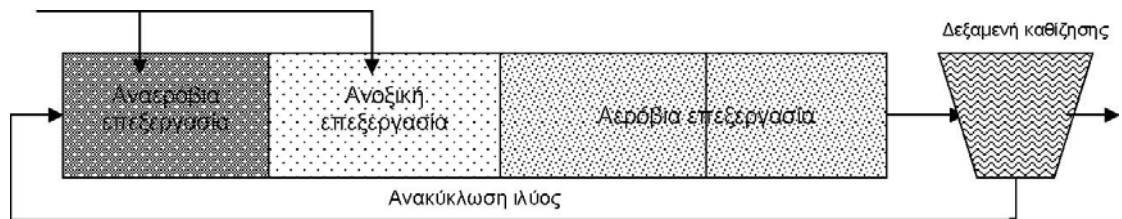
### **Απομάκρυνση Φωσφόρου**

Ο φωσφόρος είναι σε μεγαλύτερο βαθμό υπεύθυνος για τη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού, συγκριτικά με το άζωτο, προκαλώντας σημαντική

αύξηση στην πληθυσμιακή πυκνότητα των αλγών. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στους υδατικούς αποδέκτες και η θανάτωση των υδρόβιων οργανισμών. Κατά τη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων, ένα μέρος του στοιχείου αυτού ενσωματώνεται στη κυτταρική βιομάζα ως απαραίτητο συστατικό της δομής της, ενώ η περίσσεια μπορεί να απομακρυνθεί είτε με βιολογική διεργασία είτε με χημική καθίζηση. Σήμερα συμβαίνει συχνά να απομακρύνεται ο φωσφόρος από τα υγρά απόβλητα με χημική διεργασία (καθίζηση), χρησιμοποιώντας χημικά πρόσθετα  $\text{Ca(OH)}_2$  και  $\text{FeCl}_3$ . Ο φωσφόρος καταβυθίζεται είτε ως άλας ασβεστίου ή άλας σιδήρου. Τα ιζήματα παραλαμβάνονται είτε στην πρωτογενή είτε στη δευτερογενή λάσπη. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι το αυξημένο κόστος, λόγω της χημικής επεξεργασίας, ενώ παράλληλα παράγονται υψηλά ποσά κατακρημνισμένης λάσπης, η οποία πρέπει να απορριφθεί.

### Γενική περιγραφή της μεθόδου

Εισαγωγή αποβλήτων



Απονιτροποίηση ση $\text{PO}_4^{3-}$ έξοδος	Διατροφικό stress για το <i>Acinetobacter</i>	Νιτροποίηση, αφομοίωση οργ. ύλης Αμμωνιοποίηση, $\text{PO}_4^{3-}$ είσοδος
---	---	---

Σχήμα 2.7: Διάγραμμα ροής με μερικές σημαντικές λειτουργίες στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Η μέθοδος της ενεργούς υλύος περιλαμβάνει τη χρήση διαφορετικών μικροοργανισμών όπως βακτήρια, νηματοειδή βακτήρια, πλεντάζωα ή τριχόποδα (rotifers), πρωτόζωα και φύκη (algae). Είναι σημαντικό κατά τη διαδικασία της ενεργούς υλύος η υπάρχουσα μικροχλωρίδα να σχηματίζει συσσωματώματα, τα οποία καθιζάνουν εύκολα, δημιουργώντας διαυγή απόβλητα με χαμηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών. Για την επιτυχία της μεθόδου είναι επίσης σημαντικό να γνωρίζουμε τους τύπους βακτηρίων και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Πρόσφατα, βιο-αντιδραστήρες μεμβρανών (MBRs), με εξωτερική ή εσωτερική μονάδα μικρο-διήθησης (microfiltration) και υπερδιήθησης (ultrafiltration) αρχίζουν να αποτελούν ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση στα συμβατικά συστήματα της ενεργούς υλύος. Τα συστήματα αυτά είναι συμπαγή (αποφεύγοντας τη δεξαμενή καθίζησης), υψηλής απόδοσης (με συγκεντρώσεις λάσπης 2-3 φορές μεγαλύτερες από τα συμβατικά συστήματα) και ικανά για επεξεργασία υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων με υψηλό COD.

Αυτή η μέθοδος (ενεργός υλύς) χρησιμοποιείται για υγρά απόβλητα με  $BOD < 3000 \text{ mg/L}$  και χρησιμοποιείται ως δεύτερο στάδιο για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων, μόλις δηλαδή μειωθεί το υψηλό BOD ( $20.000-35.000 \text{ mg/L}$ ) που αντιστοιχεί στα απόβλητα αυτά.

Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τους ρύπους στα απόβλητα ως θρεπτικό υπόστρωμα, οξειδώνοντάς τους σε  $CO_2$  και παράλληλα δημιουργούν νέα βιομάζα (ή λάσπη). Η ενεργός υλύς αξιοποιείται συνήθως για την αφαίρεση διαλυμένων κολλοειδών ρύπων από τα υγρά απόβλητα που βρίσκονται σε χαμηλή συγκέντρωση. Υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων στα υγρά απόβλητα και αργές κινητικές απομάκρυνσης των ρύπων, καθιστούν τη μέθοδο το ακατάλληλη για άμεση επεξεργασία και αποτελεσματική απομάκρυνση των πολυφαινολών και χρωστικών ουσιών (τανίνες).

### **Αναερόβια επεξεργασία (Anaerobic treatment)**

Η αναερόβια επεξεργασία αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου από ιδιαίτερα μολυσμένα υγρά

απόβλητα. Πραγματοποιείται από βακτήρια που δεν χρειάζονται οξυγόνο για την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων από τα υγρά απόβλητα. Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται όμως με βραδύτερο ρυθμό, επειδή αυτοί οι μικροοργανισμοί έχουν χαμηλότερη μεταβολική δραστηριότητα αποικοδόμησης από ότι οι αερόβιοι, με αποτέλεσμα η αναερόβια επεξεργασία να είναι περισσότερο ευαίσθητη από την αερόβια μέθοδο. Η αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων εφαρμόζεται όλο και περισσότερο επειδή επιτρέπει την ανάκτηση σημαντικής ποσότητας μεθανίου για χρήση ως πηγή ενέργειας. Επιπλέον, κατά την αναερόβια επεξεργασία παράγονται σημαντικά μικρότερες ποσότητες ιλύος (λάσπης). Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων είναι κατάλληλα για αναερόβια επεξεργασία, καθώς το ρυπαντικό φορτίο αποτελείται από οργανικές και διαλυτές ενώσεις, όπως σάκχαρα, πηκτίνη, κ.λ.π. Όμως η παραγωγή μεθανίου (methanogenesis) συχνά παρεμποδίζεται στη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις COD και BOD (πάνω από 7 g/L), η παρουσία πολυφαινολών και λιπαρών ξέων στα υγρά απόβλητα προκαλούν αστάθεια στο μεταβολισμό των μικροοργανισμών και συμβάλλουν στη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων.

Εάν το οργανικό και ανόργανο φορτίο των αποβλήτων δεν είναι υψηλό, είναι δυνατόν η επεξεργασία να γίνει σε εγκαταστάσεις αστικών λυμάτων. Η επεξεργασία με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος έχει μεγάλη ικανότητα αφαίρεσης COD και BOD (έως και 80 - 85% του ολικού φορτίου), αλλά μόνο εάν ο ρυθμός λειτουργίας είναι της τάξεως των 2-4 g/L ανά ημέρα.

#### **2.10.4 Φυσικοχημικές μέθοδοι επεξεργασίας**

Η αποτελεσματική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων περιλαμβάνει την κατάλληλη προ-επεξεργασία με μεθόδους όπως η διήθηση, η συσσωμάτωση (flocculation) και το φιλτράρισμα. Με την επιλογή του καλύτερου χημικού παράγοντα (πολυηλεκτρολύτη) για συσσωμάτωση, είναι δυνατό να αποβληθεί σημαντικό ποσοστό κolloειδών σωματιδίων από τα υγρά απόβλητα, τα οποία θα αφαιρεθούν στη συνέχεια με ένα φίλτρο άμμου (sand-bed). Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει διήθηση μέσω μεμβρανών που

εξασφαλίζει συνολική μείωση του οργανικού φορτίου κατά 95%. Η μέθοδος αυτή βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και θα μπορούσε να αποτελέσει μια μελλοντική λύση.

### **Διαχωρισμός με μεμβράνες (Membrane separation)**

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την απομάκρυνση αιωρούμενων, κολλοειδών και διαλυμένων ουσιών από τα υγρά απόβλητα. Χρησιμοποιείται μια ημιπερατή ή πορώδης μεμβράνη, η οποία λειτουργεί σαν φυσικό φράγμα μέσω του οποίου οι ουσίες είτε περνούν είτε παρακρατούνται ανάλογα με το μέγεθός τους. Η δομή και τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης καθορίζουν τη φύση του διαχωρισμού. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των διαδικασιών διήθησης με μεμβράνες είναι η εφαρμογή πίεσης, η οποία αναγκάζει το διάλυμα να περάσει μέσω της πορώδους μεμβράνης και να επιτευχθεί εκλεκτικός διαχωρισμός. Η διαπερατότητα εξαρτάται από το μέγεθος των μορίων και των πόρων των μεμβρανών.

Τα συστήματα διαχωρισμού με μεμβράνες μπορεί να διαχωρίσουν σε:

- \* Στερεά από αέρια
- \* Αέρια από υγρά
- \* Στερεά από υγρά
- \* Υγρά από υγρά
- \* Αέρια από αέρια
- \* Διαλυμένα ή κολλοειδή υλικά από υγρά

Η τεχνολογία των μεμβρανών χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση (concentration), τον καθαρισμό (purification) και την κλασματοποίηση (fractionation) και είναι αποτελεσματική για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση πρώτων υλών, προϊόντων και νερού. Εφαρμόζεται για τη συγκέντρωση των υγρών στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων.

Γενικά, ο διαχωρισμός με μεμβράνες διακρίνεται ανάλογα με το μέγεθος των πόρων σε:



Μικροδιήθηση (Microfiltration)  
(συγκρατεί βακτήρια)

Υπερδιήθηση (Ultrafiltration)  
(συγκρατεί πρωτεΐνες, αιωρούμενα στερεά)

Νανοδιήθηση (Nanofiltration)  
(συγκρατεί σάκχαρα)

Αντίστροφη ώσμωση (Reverse osmosis) (συγκρατεί άλατα)

Πριν το διαχωρισμό με μεμβράνες είναι απαραίτητο ένα στάδιο προ-φιλτραρίσματος ώστε να αφαιρεθούν τα μεγάλα αιωρούμενα στερεά. Έχει υποστηριχτεί ότι η τεχνολογία των μεμβρανών επιτρέπει το διαχωρισμό ουσιών υψηλής προστιθέμενης αξίας από τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων (π.χ. πολυφαινόλες), αλλά μέχρι σήμερα δεν υπάρχει καμία δεν υπάρχει καμία μονάδα που να αξιοποιεί τα υγρά απόβλητα προς την κατεύθυνση αυτή. Ο διαχωρισμός με μεμβράνες δεν είναι κατάλληλος για υγρά απόβλητα υψηλού ρυπαντικού φορτίου από την παραγωγή ελαιολάδου, γιατί δημιουργούν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία των μεμβρανών λόγω φραξίματος των πόρων και φαινομένων συσσωμάτωσης και προσρόφησης, γεγονός που συμβάλλει στη δημιουργία ενός στρώματος γλοιώδους υφής στην επιφάνεια των μεμβρανών.

Τα λιπαρά οξέα, που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, μπορούν επίσης να μειώσουν την απόδοση του συστήματος των μεμβρανών. Τα λιπαρά οξέα μπορούν να φράξουν τους πόρους και να μειώσουν τη ροή διαμέσου των μεμβρανών, λόγω της ικανότητάς τους να προσροφώνται στις υδρόφοβες επιφάνειες, όπως αυτές των μεμβρανών. Η τεχνολογία των μεμβρανών είναι αποτελεσματική στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων μόνο όταν το υψηλό ρυπαντικό φορτίο έχει μειωθεί προηγουμένως με άλλες μηχανικές ή βιολογικές μεθόδους. Η τεχνολογία αυτή



είναι υψηλού κόστους για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων.

Ένα αποτελεσματικό σύστημα διήθησης που χρησιμοποιεί μεμβράνη είναι η νανοδιήθηση (nanofiltration). Η νανοδιήθηση είναι μια μέθοδος φιλτραρίσματος που χρησιμοποιεί μεμβράνες για να διαχωρίσει διαφορετικά ρευστά ή ιόντα. Δεν είναι τόσο αποτελεσματική μέθοδος όπως η αντίστροφη όσμωση, αλλά απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να εκτελέσει το διαχωρισμό. Η νανοδιήθηση είναι αποτελεσματική για το διαχωρισμό σακχάρων, δισθενών αλάτων, βακτηρίων, πρωτεϊνών, σωματιδίων, χρωστικών ουσιών και άλλων συστατικών που έχουν μοριακό βάρος μεγαλύτερο από 1000 daltons. Η νανοδιήθηση και η αντίστροφη όσμωση επηρεάζονται από το φορτίο των προς επεξεργασία σωματιδίων. Έτσι, σωματίδια με μεγαλύτερο φορτίο είναι πιθανότερο να απορριφθούν. Η μέθοδος της διήθησης δεν είναι αποτελεσματική για οργανικές ουσίες μικρού μοριακού βάρους, όπως η μεθανόλη.

Πίνακας 2.10 Παροχή και διαπερατές παράμετροι

Συστατικό	Είσοδος	Έξοδος	Απόρριψη (%)
Βακτήρια (No/mL)1080100	108	0	100
Αιωρούμενα στερεά (mg/L)1.0900100	1.090	0	100
COD (mg/L)	8.950	705	92
BOD (mg/L)	5.970	500	92
Έλαιο/λίπος (mg/L)1500100	150	0	100
Διαλυτά στερεά (mg/L)1500100	150	0	100

Συνδυασμός συστήματος νανοδιήθησης με εξατμιστή «κύματος» (flash evaporator), μειώνει τον όγκο των υγρών αποβλήτων κατά 75%. Η υγρή φάση που εξέρχεται από το σύστημα επαναχρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας για να μειώσει τη δαπάνη του χρησιμοποιούμενου ύδατος. Μερικές πειραματικές εγκαταστάσεις διαχωρίζουν τα λιπαρά οξέα από τα

υγρά απόβλητα με υπερδιήθηση. Το σύστημα ανακτά περίπου 900 kg λιπαρά οξέα /ημέρα με δαπάνη περίπου 1 €/ kg ανακτημένου προϊόντος.

### **Αποτέφρωση (Incineration)**

Η αποτέφρωση είναι η καταστροφή του οργανικού περιεχομένου των αποβλήτων παρουσία αέρα σε υψηλή θερμοκρασία, που συνοδεύεται από πλήρη εξάτμιση του ύδατος. Η επεξεργασία αυτή είναι αποτελεσματική για τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε οργανική ουσία. Όσο υψηλότερο είναι το οργανικό περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων (οργανική ουσία τουλάχιστον 10%), τόσο αποτελεσματικότερη είναι η τεχνολογία αποτέφρωσης σε σύγκριση με την μηχανική-βιολογική επεξεργασία. Ο φούρνος ρευστοποιημένης κλίνης (fluid bed oven) ή οι θάλαμοι στατικής αποτέφρωσης (static incineration chambers) χρησιμοποιούνται γενικά για αποτέφρωση των υγρών αποβλήτων, ενώ οι θάλαμοι αποτέφρωσης με περιστροφικούς σωλήνες (rotary tube ovens) χρησιμοποιούνται για συνδυασμένη αποτέφρωση στερεών και υγρών αποβλήτων.

Τα υγρά απόβλητα ψεκάζονται στο θάλαμο αποτέφρωσης υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων μέσω ειδικών ακροφυσίων, επιτυγχάνοντας έτσι την καλύτερη ανάμιξη με τον θερμό αέρα. Η θερμοκρασία αποτέφρωσης κυμαίνεται από 650°C μέχρι 1600°C περίπου. Το ιξώδες των υγρών αποβλήτων είναι εξαιρετικής σημασίας, επειδή ενεργεί ως υπόστρωμα (feed) και θα πρέπει να είναι μικρότερο από 10.000 SSU (Saybolt Universal Seconds). Ως μέτρο σύγκρισης αναφέρουμε ότι ιξώδες 10.000 SSU αντιστοιχεί στο ιξώδες του μελιού, ενώ τα φυτικά έλαια έχουν ιξώδες 200 SSU περίπου.

Όλοι οι τύποι αποτεφρωτήρων μπορεί να λειτουργήσουν σε καθεστώς πυρόλυσης και μειωμένου οξυγόνου. Το κυριότερο πρόβλημα είναι η σχηματιζόμενη τέφρα και τα καυσαέρια, η διαχείριση των οποίων είναι δαπανηρή.

## **Εξάτμιση και απόσταξη (Evaporation and Distillation)**

Αυτές οι μέθοδοι επεξεργασίας συμπυκνώνουν το οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων καθώς επίσης και της μη-πτητικές διαλυμένες ουσίες με εξάτμιση. Η ενέργεια για την εξάτμιση προέρχεται από θερμότητα καύσης ή από φυσική πηγή (ήλιος). Το μειονέκτημα αυτών των διαδικασιών σχετίζεται με την επεξεργασία και τη διάθεση των προϊόντων που προκύπτουν, όπως η διάθεση των ημιστερεών υπολειμμάτων. Τα υπολείμματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή, αλλά η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω της πικρής γεύσης και της υψηλής περιεκτικότητας σε κάλιο.

Είναι γνωστό ότι τα στερεά υπολείμματα έχουν υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο που χρησιμοποιείται συχνά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το νερό που εξατμίζεται μπορεί να συμπυκνωθεί και χρησιμοποιείται στη γραμμή επεξεργασίας της μεταποιητικής μονάδας. Ο συμπυκνωμένος ατμός από την έξοδο της τουρμπίνας μεταφέρεται στο λέβητα και χρησιμοποιείται ως κινητήριος δύναμη για τις μηχανές. Μετά την απομάκρυνση του νερού (ξήρανση), το στερεό υπόλειμμα μπορεί να αποτεφρωθεί και να συμβάλει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή το συμπύκνωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα. Η αποδοτικότητα της εξάτμισης υπολογίζεται στο 50% των ολικών διαλυμένων στερεών.

Η μέθοδος της απόσταξης εφαρμόζεται για ιδιαίτερα μολυσμένα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων ή αλατούχα απόβλητα από βιομηχανίες ψαριών ή κρέατος ή για την αναγέννηση ιοντο-ανταλλακτικών ρητινών. Το συμπυκνωμένο στερεό υλικό που προκύπτει από την εξάτμιση μπορεί να καεί και να παρέχει θερμική ενέργεια στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Όμως η καύση απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία των αερίων που δημιουργούνται. Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι το συμπύκνωμα από την απόσταξη το οποίο δεν είναι από καθαρό νερό και περιέχει κλάσματα πτητικών λιπαρών οξέων και αλκοολών. Αυτές οι ενώσεις είναι υπεύθυνες για τις υψηλές τιμές COD (πάνω από 3 g COD/L) και απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία του συμπυκνώματος πριν από τη διάθεσή του.

## **Συσσωμάτωση (Flocculation)**

Η συσσωμάτωση αναφέρεται στη χημική αποσταθεροποίηση των κολλοειδών διασπορών εξαιτίας της προσθήκης κατάλληλων ηλεκτρολυτών, οι οποίοι μειώνουν το φορτίο των κολλοειδών σωματιδίων, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ηλεκτροστατικές απωστικές δυνάμεις και τα κολλοειδή τεμαχίδια να σχηματίζουν μεγαλύτερα συσσωματώματα τα οποία καθιζάνουν ως ίζημα.

Η παράγοντες που ευνοούν τη συσσωμάτωση είναι η βαθμίδα (gradient) ταχύτητας, ο χρόνος και το pH. Ο χρόνος και η ταχύτητα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την κροκίδωση-συσσωμάτωση των σωματιδίων. Επιπλέον το pH είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην απομάκρυνση των κολλοειδών. Συχνά είναι απαραίτητη η προσθήκη ενός χημικού αντιδραστηρίου (πολυ-ηλεκτρολύτη) που ονομάζεται κροκιδωτικό μέσο που προάγει τη συσσωμάτωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για την επεξεργασία των αποβλήτων σφαγείων, οι διαλυτές κολλοειδείς ουσίες αφαιρούνται με συνδυασμό συσσωμάτωσης-κροκίδωσης.

Δυστυχώς αυτή η διαδικασία δεν είναι πολύ αποδοτική για τη μείωση των ρύπων στο Υ.Α.Ε. Τα περισσότερα οργανικά συστατικά του Υ.Α.Ε. είναι δύσκολο να κατακρημνιστούν, όπως τα σάκχαρα ή τα πτητικά οξέα. Είναι κατάλληλο μόνο για την αφαίρεση των υπόλοιπων ανασταλμένων στερεών μετά από τη βιολογική επεξεργασία.

## **Καθίζηση (Precipitation)**

Η μέθοδος της καθίζησης χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των διαλυμένων ουσιών από τα απόβλητα, με την προσθήκη ενός χημικού παράγοντα που ευνοεί τη συσσωμάτωση των σωματιδίων, παρεμποδίζοντας τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις που τα κρατούν χωριστά. Υπάρχουν τέσσερα βασικά στάδια στη διαδικασία: ρύθμιση pH, συσσωμάτωση, διαύγαση και διήθηση. Η καθίζηση είναι μέθοδος απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου από τα απόβλητα υπό μορφή στερεού ιζήματος. Το ίζημα εμφανίζεται μόνο όταν το διάλυμα είναι υπερκορεσμένο. Υπερκορεσμός σημαίνει ότι ένα διάλυμα περιέχει περισσότερες διαλυμένες ουσίες από εκείνες που θα μπορούσαν να βρίσκονται διαλυμένες. Η μέθοδος

αυτή είναι πολύ χρήσιμη στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, όπου μια χημική αντίδραση μπορεί να δημιουργήσει ένα στερεό ίζημα από το διάλυμα, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να απομακρυνθεί με φιλτράρισμα, φυγοκέντριση ή να χωριστεί διαφορετικά από την υγρή φάση.

### **Οξείδωση/Ανανωγή και Αποτοξικοποίηση (Oxidation/Reduction and Detoxification)**

Μια μεγάλη ποικιλία συστατικών των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων τοξικών ουσιών, μπορεί να καταστραφεί ή να αποτοξινωθεί μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Η χημική οξείδωση χρησιμοποιεί οξειδωτικά μέσα όπως το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) ή το χλώριο για να μειωθεί το COD και BOD και για να απομακρυνθεί τόσο το οργανικό όσο και το οξειδούμενο ανόργανο ρυπαντικό φορτίο. Η διαδικασία οξείδωσης ενισχύεται όταν εφαρμόζονται τα οξειδωτικά μέσα σε συνδυασμό με υπεριώδη ακτινοβολία.

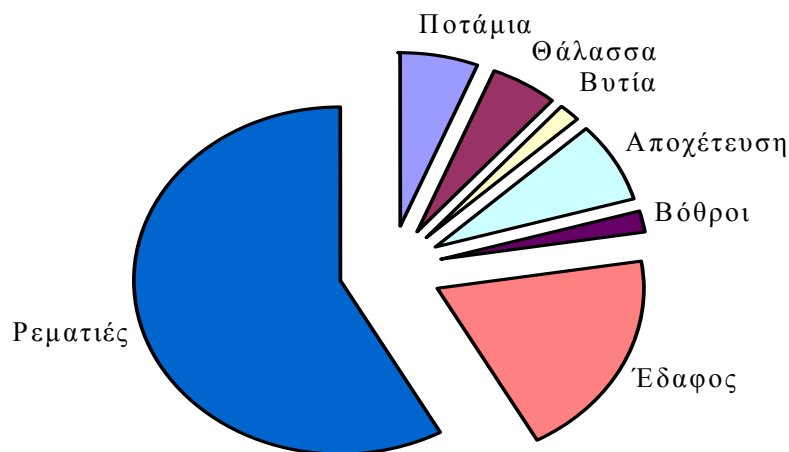
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σπάνια για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων οξειδωτικών μέσων που χρειάζονται για την επεξεργασία του υψηλού οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Μετά την οξείδωση, οι χημικές ουσίες παραμένουν στην υδατική φάση και είναι αδύνατο να επεξεργαστούν περαιτέρω βιολογικά.

### **Προσρόφηση (Adsorption)**

Η προσρόφηση είναι η φυσική σύνδεση αερίων ή διαλυμένων ουσιών στην επιφάνεια των στερεών, ιδιαίτερα σε πορώδη στερεά. Χρησιμοποιείται κυρίως ενεργός άνθρακας ως παράγοντας προσρόφησης. Η προσρόφηση εφαρμόζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων: εξάλειψη οσμών, χρώματος ή γεύσης, ανάκτηση διαλυτών, καθαρισμός υγρών αποβλήτων, απομάκρυνση τοξικών ουσιών από τα απόβλητα, όπως φυτοφάρμακα, φαινόλες κλπ.

## 2.11 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Μολονότι η παραγωγή ελαιολάδου ήταν κατά πολύ χαμηλότερη στο παρελθόν, ο αριθμός των ελαιοτριβείων ήταν υπερδιπλάσιος (πάνω από 6.500), αφού η τότε γνωστή τεχνολογία περιορίζε τη δυναμικότητά τους, αλλά και το περιορισμένο ή/και ανύπαρκτο οδικό δίκτυο δεν επέτρεπε την εύκολη διακίνηση του ελαιοκάρπου.



Σχήμα 2.8 Κατάσταση διάθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων στην Ελλάδα

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανεξέλεγκτης διάθεσης: (α) ρύπανση επίγειων και υπόγειων υδάτινων πόρων και της θάλασσας, (β) εκδήλωση τοξικών φαινομένων στην υδρόβια πανίδα, (γ) ζημιές σε γεωργικές καλλιέργειες λόγω της έντονης φυτοτοξικότητάς τους, (δ) αισθητική υποβάθμιση ακτών ιδιαίτερου κάλλους και μεγάλης τουριστικής αξίας, (ε) ενοχλήσεις κατοίκων αστικών κέντρων λόγω έκλυσης δύσοσμων εκπομπών.

Οι φαινολικές ενώσεις και οι λιπαρές ουσίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον διότι: (α) περιορίζουν το φάσμα και τη δράση των μικροοργανισμών εκείνων που θα μπορούσαν να εγκατασταθούν και να αποδομήσουν τα άλλα συστατικά, (β) προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι φυτών καθώς και έναντι πολλών ευαίσθητων υδρόβιων ζωϊκών ειδών, (γ) βιοαποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες, σχετικά ολιγάριθμες ομάδες μικροοργανισμών. Στα θετικά

των ΥΑΕ, είναι ότι δεν περιέχουν ενώσεις υψηλού περιβαλλοντικού κινδύνου, ούτε βαρέα μέταλλα, αμίαντο, ή μη βιοαποδομήσιμες συνθετικές οργανικές ενώσεις.

Μετά από εφαρμογή των ΥΑΕ στο έδαφος, συμπεραίνεται ότι αυτά προσφέρουν ένα εκλεκτικό και πλούσιο θρεπτικό υπόστρωμα, στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν εξειδικευμένοι, και από εδαφολογικής απόψεως, μικροοργανισμοί, οι οποίοι διαθέτουν την ικανότητα: (α) να χρησιμοποιούν τα οργανικά συστατικά των ΥΑΕ σαν πηγή ενέργειας, και κατά συνέπεια να τα αποδομούν, (β) να δεσμεύουν μοριακό άζωτο από την ατμόσφαιρα και να σχηματίζουν αζωτούχες ενώσεις διαθέσιμες τελικά για τα φυτά, (γ) να σχηματίζουν μεγάλες ποσότητες ιξώδους υλικού το οποίο ευνοεί το σχηματισμό σταθερών εδαφικών συσσωμάτων, (δ) να παράγουν αυξίνες ευνοϊκές για την ανάπτυξη των φυτών, (ε) οι μικροβιακοί πληθυσμοί που επικρατούν ανταγωνίζονται με επιτυχία εδαφογενή παθογόνα του ριζικού συστήματος.

Η εφαρμογή των ΥΑΕ στο έδαφος συνεπάγεται την ενεργοποίηση των αζωτοδεσμευτικών πληθυσμών του εδάφους και την προοδευτική μείωση της φυτοτοξικότητας (η διάρκεια και η ένταση της φυτοτοξικότητας του υλικού μειώνονται ταχύτερα σε εδάφη που έχουν δεχθεί στο παρελθόν ανάλογους χειρισμούς με κατσίγαρο. Συνολικά εφαρμόστηκαν 50Kg/στρ. με αποτέλεσμα να αποδειχτεί ότι ο κατσίγαρος έχει ευεργετική επίδραση στη γονιμότητα του εδάφους.

Οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στο υπόστρωμα που τους προσφέρει ο κατσίγαρος, λόγω των εξωπολυσακχαριδίων που παράγουν σε μεγάλη αφθονία, είναι εξαιρετικά αποτελεσματικοί στην αύξηση της σταθερότητας των εδαφικών συσσωματωμάτων.

Τα ΥΑΕ βελτιώνουν μακροπρόθεσμα τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και συμβάλουν στην αύξηση της επισχετικής ικανότητας του εδάφους έναντι εδαφογενών παθογόνων μυκήτων του ριζικού συστήματος των φυτών. Δηλαδή, προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής συστήματος βιολογικού ελέγχου παθογόνων μυκήτων εδάφους.

Προτείνει την ανάπτυξη ενός πρωτότυπου συστήματος το οποίο επιτρέπει την εγκατάσταση και δράση ενός αμοιβαία συμβατού μικτού μικροβιακού

πληθυσμού, ανάλογο με αυτόν που επικρατεί στο έδαφος με τη διαδικασία του εμπλουτισμού, μέσω του οποίου είναι δυνατή η μετατροπή του αποβλήτου σε οργανικό λίπασμα (έχει δοκιμαστεί στην Καλαμάτα).

Βασικά αίτια της σημερινής επιδείνωσης του προβλήματος στο επίπεδο Κρήτης είναι: (α) η αύξηση των παραγόμενων ΥΑΕ ανά μονάδα βάρους επεξεργαζόμενου ελαιοκάρπου, λόγω της διάδοσης των φυγοκεντρικών, (β) η θεαματική αύξηση της παραγωγής ελαιολάδου, η οποία από 28χιλ.τ. το 1956 αυξήθηκε σε 80χιλ.τ. το 1990, (γ)η χαρακτηριστική μείωση των βροχοπτώσεων, με αποτέλεσμα να γίνει εντονότερο το πρόβλημα και (δ) η σχεδόν πλήρης ανυπαρξία εγκαταστάσεων οποιασδήποτε μορφής για τον χειρισμό και την κατά κάποιο τρόπο ελεγχόμενη απόρριψη των ΥΑΕ.

Οι παράγοντες που ασκούν σοβαρό ρόλο στην προσαρμοστικότητα και καταλληλότητα των διάφορων μεθόδων στο επίπεδο της Κρήτης είναι: ο όγκος και ο ρυθμός παραγωγής ΥΑΕ, η περίοδος παραγωγής, το έδαφος, το κλίμα και η φυτοκάλυψη της περιοχής που παράγονται.

Για την διαχείριση ή τον έλεγχο των ΥΑΕ ενδιαφέρει ο όγκος των ΥΑΕ όχι σε επίπεδο νομού αλλά σε επίπεδο του ελαιουργείου ή μιας ομάδας ελαιουργείων που παρουσιάζουν δυνατότητες φυσικής συγκέντρωσης των αποβλήτων τους. Η χωροταξική διάταξη και το ανάγλυφο της Κρήτης διευκολύνει σε αρκετές περιπτώσεις την με φυσική ροή συγκέντρωση των ΥΑΕ των ελαιουργείων που βρίσκονται στις λεκάνες απορροής ορισμένων χειμάρρων αν η συγκέντρωση αυτή βοηθά από την άποψη της συγκέντρωσης κάποιου σημαντικού όγκου αποβλήτων ώστε να είναι οικονομικότερη κάποια μέθοδος βιολογικού καθαρισμού ή παραγωγής υποπροϊόντων.

Η γειτνίαση των ελαιουργείων από ελαιώνες αποτελεί τον κανόνα στην περιοχή της Κρήτης. Επομένως η οποιαδήποτε μέθοδος διαχείρισης που θα προκαλεί μικρή ή μεγάλη απόρριψη στο περιβάλλον δεν πρέπει να αγνοεί το γεγονός αυτό. Βασικό εμπόδιο για εφαρμογή των ΥΑΕ στους ελαιώνες είναι η φυτοτοξικότητα που παρουσιάζουν τα ΥΑΕ μετά την παραγωγή τους. Επομένως, η εξεύρεση κάποιας μεθόδου διαχείρισης που θα αποτρέπει την φυτοτοξική δράση των αποβλήτων θα δώσει την ευκαιρία της εφαρμογής τους υπό μορφή χειμερινής άρδευσης στους ελαιώνες.



Η εφαρμογή ΥΑΕ σε αμπελώνες, που λόγω χειμερίου λήθαργου δεν κινδυνεύουν από φυτοτοξικότητα, δίδει αρκετά καλές ενδείξεις κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις.

## **2.12 Νομοθεσία**

Οι ευρωπαϊκές πολιτικές και οι εθνικές νομοθεσίες έχουν εφαρμοστεί σχετικά με την επεξεργασία υγρών αποβλήτων των ευρωπαϊκών οδηγιών υποχρεώνουν τα κράτη μέλη της ΕΕ για να επιβάλουν τις πολιτικές στην εθνική νομοθεσία.

### **Προσέγγιση της ΕΕ**

Η κύρια αναφορά στα δημοτικά απόβλητα αποχέτευσης δόθηκε στην οδηγία 271/91 για ‘αστική επεξεργασία υγρών αποβλήτων’ (ΕΕ, 1991) (αυτό τροποποιήθηκε αργότερα από την οδηγία 15/98). Ο στόχος αυτής της οδηγίας ήταν να προστατευθεί το περιβάλλον από τα δυσμενή αποτελέσματα των απαλλαγών του αστικού απόβλητου ύδατος και του απόβλητου ύδατος από τους βιομηχανικούς τομείς της αγροτροφικής βιομηχανίας.

Αυτή η οδηγία, μεταξύ των άλλων, δήλωσε ότι οι απαλλαγές του βιοδιασπάσιμου βιομηχανικού απόβλητου ύδατος από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς που δεν μπαίνουν στις αστικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας απόβλητου ύδατος πριν απαλλάσσονται στη λήψη των υδάτων πρέπει να υπόκεινται στις κατάλληλες απαιτήσεις. Επίσης, η ανακύκλωση της λάσπης που προκύπτει από την επεξεργασία απόβλητου ύδατος πρέπει να ενθαρρυνθεί αν και είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η λήψη των υδάτων και της διάθεσης της λάσπης για να εξασφαλίσει ότι το περιβάλλον προστατεύεται οποιαδήποτε δυσμενή αποτελέσματα. Τέλος, οι πληροφορίες για τη διάθεση του απόβλητου ύδατος και της λάσπης τίθενται στην διάθεση του κοινού υπό μορφή περιοδικών εκθέσεων.

Κατά συνέπεια, τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων πρέπει να απελευθερωθούν για να επιτρέψουν τα λαμβάνοντα ύδατα που έχουν ανταποκριθεί στα σχετικά ποιοτικά πρότυπα και τις παροχές που απαιτούνται από τις Κοινοτικές οδηγίες.

Όσον αφορά στα επεξεργασμένα απόβλητα αποχέτευσης, η οδηγία δήλωσε ότι το επεξεργασμένο απόβλητο ύδωρ πρέπει να επαναχρησιμοποιηθεί όποτε κατάλληλος. Οι διαδρομές διάθεσης πρέπει να ελαχιστοποιήσουν τα δυσμενή αποτελέσματα στο περιβάλλον.

Μια συγκεκριμένη νεκρή γραμμή στο άρθρο 13 της οδηγίας απαίτησε ότι: Τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίσουν ότι από 31 το βιοδιασπάσιμο βιομηχανικό απόβλητο ύδωρ Δεκεμβρίου 2000 από τις εγκαταστάσεις που ανήκουν στους βιομηχανικούς τομείς που απαριθμούνται στο παράρτημα ΙΙΙ που δεν μπαίνει στις αστικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας απόβλητου ύδατος πριν απαλλάξει την λήψη των υδάτων, πρέπει, πριν από την απαλλαγή, να τηρήσει τους όρους που καθιερώνονται στους προηγούμενους κανονισμούς ή/και τη συγκεκριμένη έγκριση από την αρμόδια αρχή ή το κατάλληλο σώμα, όσον αφορά όλες τις απαλλαγές από τις εγκαταστάσεις που αντιπροσωπεύουν 4.000 ΕΚ ή περισσότερων. Μεταξύ των 11 βιομηχανικών τομέων του αναφερθέντος παραρτήματος είναι αυτή της κατασκευής των φρούτων και των φυτικών προϊόντων.

Σύμφωνα με την οδηγία σχετικά με τη παραχθείσα λάσπη, τα τελευταία πρέπει να επαναχρησιμοποιηθεί όποτε είναι κατάλληλη. Οι διαδρομές διάθεσης πρέπει να ελαχιστοποιήσουν τα δυσμενή αποτελέσματα στο περιβάλλον.

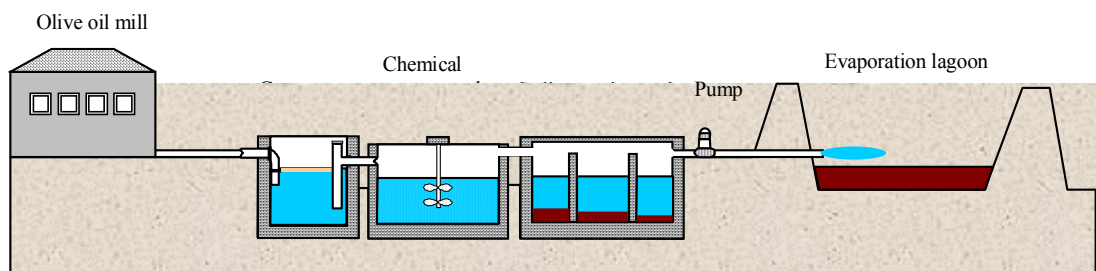
### **Ελληνική προσέγγιση**

Οι γενικές αρχές σχετικά με την επεξεργασία υγρών αποβλήτων άρχισαν σε Ν.1650/86 'Για την προστασία του περιβάλλοντος' (κυβερνητικό περιοδικό 160/Α/86). Η δράση ρύθμισης υγείας αριθ. Ε1b/221/65 (Υπουργείο Δημόσιας Υγείας, 1965) εστιάζει στο ζήτημα της διάθεσης των επεξεργασμένων αποβλήτων αποχέτευσης. Επιπλέον, η 271/91 οδηγία της ΕΕ εκδόθηκε πλήρως από την ελληνική νομοθεσία στη 5673/400/97 υπουργική απόφαση σχετικά με τους περιορισμούς και τους όρους που απαιτήθηκαν για την επεξεργασία των δημοτικών απόβλητων υδάτων (Υπουργείο Δημόσιας Υγείας, 1997).

Ακόμα παρέμειναν οι ανεπάρκειες και οι αδυναμίες σε αυτά τα μέτρα που λήφθηκαν για τη διάθεση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Η ελληνική

νομοθεσία έδωσε την πρόσθετη αρχή στα νομαρχιακά διαμερίσματα. Κάτω από την αρμοδιότητα της Νο.95209/16-11-94 υπουργικής απόφασης 'Ικανότητας για την έγκριση των περιβαλλοντικών συνθηκών για ορισμένα προγράμματα Τοπικό Νομαρχιακό Συμβούλιο' (ΦΕΚ 871-23/1194).

Κάθε νομαρχιακό διαμέρισμα ήταν σε θέση να εγκρίνει τη λειτουργία ενός ελαιοτριβείου υποκείμενου στην περιβαλλοντική επίδραση των εγκαταστάσεων στα ζητήματα όπως: το σύστημα επεξεργασίας, διαστασιολογώντας τη θέση και το σχεδιάγραμμα του αντλιοστασίου. Άλλες αρχές, παραδείγματος χάριν, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Φυσικού Προγραμματισμού και Δημόσιων Έργων, το Υπουργείο Γεωργίας, το Υπουργείο Δημόσιας Υγείας, το τμήμα υγιεινής σε κάθε νομαρχιακό διαμέρισμα συν άλλα, εμπλέκονται επίσης στην εξασφάλιση ότι τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων υποβάλλονται στην κατάλληλη επεξεργασία.



Σχήμα 2.9 Χαρακτηριστικό διάγραμμα ροής του διοικητικού Υ.Α.Ε. σχεδίου

Έχει υπολογιστεί ότι έως το 1987 στην Κρήτη, εκ του παραχθέντος τότε 80-90% των συνολικών Υ.Α.Ε ξεφορτώθηκαν ανεξέλεγκτα στους εφήμερους ποταμούς (Voreadou, 1994). Από τότε, οι τοπικές δημόσιες αρχές απαγόρευσαν την ανεξέλεγκτη διάθεση στους οργανισμούς ύδατος και υποχρέωσαν τους ιδιοκτήτες των μύλων για να κατασκευάσουν τις μονάδες επεξεργασίας (υποχρεωτικές από το 1987) και τις λιμνοθάλασσες εξάτμισης (υποχρεωτικές από το 1993) (Karellakis *et al*, 2002). Υ.Α.Ε. αμέσως μετά από την παραγωγή πρέπει να περάσει μέσω της μονάδας επεξεργασίας (αφαίρεση λιπών, αναμιγνύοντας με το ασβέστιο και την ιζηματογένεση) και πρέπει έπειτα να απαλλαχθεί στις λιμνοθάλασσες εξάτμισης (Σχήμα 2.9). Και οι δύο προτεινόμενες μονάδες περιλαμβάνουν τις χαμηλές δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας και συντήρησης (O&M) που δεν απαιτούν την

απασχόληση του ειδικευμένου προσωπικού. Σε περιπτώσεις παραβίασης του νόμου οι αρμόδιες αρχές είναι η αστυνομία λιμένων, στην οποία κατηγορίες ενάντια ΟΜ είναι ανώνυμος και το τμήμα υγείας, το οποίο ανήκει στις τοπικές αρχές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας

Φυσικά συστήματα επεξεργασίας καλούνται τα συστήματα τα οποία με ελεγχόμενη εφαρμογή των εκροών υγρών αποβλήτων στο έδαφος, επιτυγχάνουν επιθυμητό βαθμό επεξεργασίας των εφαρμοζόμενων αποβλήτων μέσω φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο σύστημα "φυτό - έδαφος -υγρό".

Τα φυσικά συστήματα εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος διακρίνονται σε:

- βραδείας εφαρμογής (SR),
- ταχείας εφαρμογής ή διήθησης (RI) και
- επιφανειακής ροής (OF).

Επίσης, στα φυσικά συστήματα εκροών υγρών αποβλήτων συγκαταλέγονται οι υδροβιότοποι (φυσικοί και τεχνητοί) και τα συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών. Η ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υποστηρίζεται ότι έχει τις ρίζες της στη μινωική εποχή, κατά την οποία γίνονταν εφαρμογή υγρών απόβλητων στο έδαφος με σκοπό την άρδευση και την επεξεργασία τους. Ουσιαστικά η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας με τη μορφή "γεωργία λυμάτων" χρονολογείται στην Ευρώπη από το 1840 και στις ΗΠΑ από το 1870, ως μία πρώτη προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης . Στις ΗΠΑ ο αριθμός των δημοτικών επιχειρήσεων οι οποίες διαθέτουν φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αυξήθηκε από 304 το 1940, σε 571 το 1972 και σε 1365 το 1992. Στην Ελλάδα λειτουργούν 238 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων από τις οποίες οι 24 είναι φυσικά συστήματα.

### 3.2 Τύποι και χαρακτηριστικά των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας

Για την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος, ανεξάρτητα από τον τύπο του συστήματος επεξεργασίας, συνιστάται ελάχιστη επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει εσχάρωση και/ή πρωτοβάθμια καθίζηση με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο. Η ανάγκη για υψηλότερου επιπέδου προεπεξεργασίας εξαρτάται από τις προδιαγραφές της εκροής από το φυσικό σύστημα επεξεργασίας και από τους σχετικούς κανονισμούς κατά περίπτωση.

Πίνακας 3.1. Σύγκριση χαρακτηριστικών επιλογής θέσης φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Χαρακτηριστικά	Βραδεία εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή
Τύποι εδαφών	Αργιλοπηλώδη-αμμοπηλώδη	Αργιλοπηλώδη-αμμοπηλώδη	Αργιλώδη-ιλυοπηλώδη
Κλίση εδάφους	<15% σε καλλιεργημένα εδάφη <40% σε ακαλλιέργητα	<10% μόνο για τη αποφυγή αναχωμάτων	Τελική κλίση 1-8%
Βάθος εδάφους (m)	>0,6	>1,5	>0,3
Υδραυλική Αγωγιμότητα (mm/h)	Βραδεία -μετρίως ταχεία (1,5-500)	Ταχεία (>50)	Πολύ βραδεία - μετρίως βραδεία (<5,0)
Βάθος ως τον υδροφόρο ορίζοντα(m)	0,6-1	6,0 <sup>α</sup>	Δε θεωρείται Κρίσιμο <sup>β</sup>
Κλιματικές συνθήκες (προσυγκέντρωση-αποθήκευση)	Μόνο σε περιόδους ψύχους και ισχυρών βροχών	Όχι (πιθανές τροποποιήσεις σε περιόδους ψύχους)	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους

<sup>α</sup> Σε περιπτώσεις υδροφόρων σχηματισμών σε μικρά βάθη θα πρέπει να εγκαθίστανται κατάλληλα συστήματα στράγγισης

<sup>β</sup> Σε εδάφη με υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα πρέπει να θεωρούνται πιθανές επιδράσεις σε υπόγειους υδροφορείς

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας έχουν πολύ περιορισμένη ικανότητα για επεξεργασία ιλύος υγρών αποβλήτων.

Στους πίνακες που ακολουθούν γίνεται μία συγκριτική παρουσίαση ανάμεσα στους τρεις τύπους φυσικών συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων στο έδαφος η οποία περιλαμβάνει: τα χαρακτηριστικά της θέσης της εγκατάστασης (Πίνακας 3.1), τα τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού των φυσικών συστημάτων (Πίνακας 3.2) και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών των επεξεργασμένων αποβλήτων (Πίνακας 3.3).

### **3.2.1 Βραδεία εφαρμογή**

Η βραδεία εφαρμογή αποτελεί τον παλαιότερο και πιο ευρύτερα διαδεδομένο τύπο φυσικού συστήματος επεξεργασία στο έδαφος. Το εφαρμοζόμενο υγρά απόβλητο σε έδαφος με φυτική βλάστηση χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης ή διηθείται και κατεισδύει στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς (Σχήμα 3.1). Οι κύριοι παράγοντες σχεδιασμού για ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής είναι το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής και η επιλογή και διαχείριση της φυτικής βλάστησης. Τα υγρά απόβλητα εφαρμόζονται στο έδαφος με ποικιλία μεθόδων, όπως είναι οι επιφανειακές (λεκάνες, αύλακες κ.α.) ή με καταιονισμό. Σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος αποτελεί η επικράτηση ακόρεστων συνθηκών στο έδαφος. Για το σκοπό αυτό επιβάλλεται η μη συνεχής εφαρμογή του αποβλήτου στο έδαφος, αλλά η εφαρμογή του με ενδιάμεσους κύκλους 4-10 ημερών.

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος της βραδείας εφαρμογής συνίσταται σε τρεις παράγοντες: τον αργό σχετικά ρυθμό εφαρμογής, την παρουσία της φυτικής βλάστησης και την ενδογενή δυνατότητα του εδαφικού οικοσυστήματος. Οι επιδιωκόμενοι σκοποί της βραδείας εφαρμογής, εκτός από την επεξεργασία του αποβλήτου, αποτελούν το οικονομικό όφελος με την εφαρμογή νερού και θρεπτικών στοιχείων σε φυτικές καλλιέργειες, η εξοικονόμηση άλλων πηγών νερού με την αντικατάστασης τους από εκροές προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η αύξηση των χώρων πρασίνου.

Πίνακας 3.2. Τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

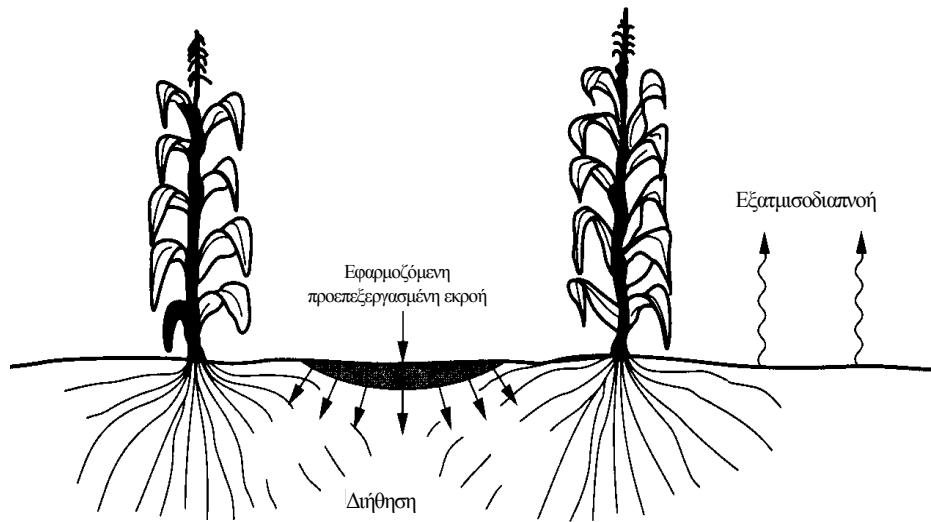
Χαρακτηριστικά	Βραδεία εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή
Επιδιωκόμενοι σκοποί	Δευτεροβάθμια ή προωθημένη επεξεργασία και μηδενική εκροή	Δευτεροβάθμια ή προωθημένη επεξεργασία ή εμπλουτισμός υδροφόρων	Δευτεροβάθμια ή προωθημένη επεξεργασία και μηδενική εκροή
Τεχνική εφαρμογής	Καταιονισμός ή επιφανειακά <sup>α</sup>	Συνήθως επιφανειακά	Καταιονισμός ή επιφανειακά
Υδραυλικό φορτίο (m/έτος)	0,61-6,10	6,0-90,0	7,3-56,7
Απαιτούμενη επιφάνεια (στρ/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d)	60-590	4-60	6,5-48,1
Ελάχιστη προεπεξεργασία	Πρωτοβάθμια επεξεργασία (καθίζηση) <sup>β</sup>	Πρωτοβάθμια επεξεργασία (καθίζηση) <sup>β</sup>	Πρωτοβάθμια επεξεργασία (εσχάρωση)
Διάθεση αποβλήτου (κύριοι διεργαστικοί μηχανισμοί)	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση - κατείδυση	Κυρίως διήθηση - κατείδυση και διαπνοή	Κυρίως επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή
Φυτική βλάστηση <sup>γ</sup>	Αναγκαία	Προαιρετική	Αναγκαία

<sup>α</sup> Σε αυτές περιλαμβάνονται όλες οι μέθοδοι επιφανειακής άρδευσης (αυλάκια, λεκάνες κ.α.)

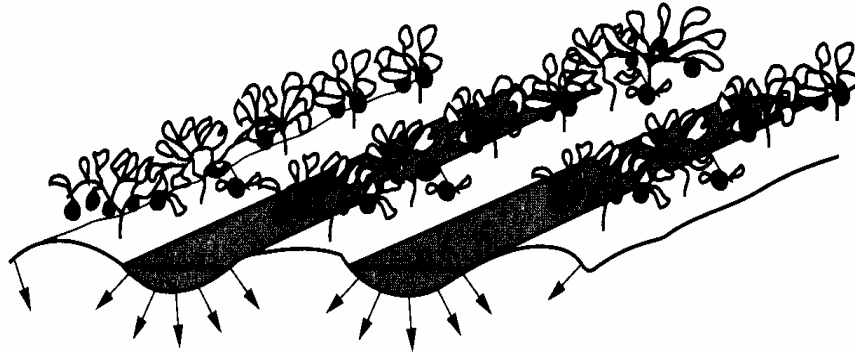
<sup>β</sup> Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και το είδος της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης

<sup>γ</sup> Για λόγους δημόσιας υγείας δε χρησιμοποιούνται συνήθως φυτά που η παραγωγή τους καταναλώνεται άμεσα από τον άνθρωπο

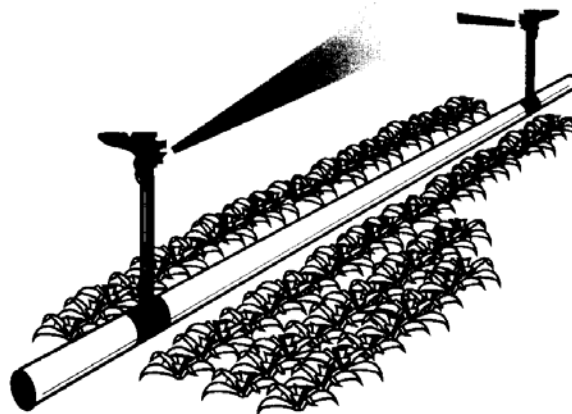




α)



β)



γ)

Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση συστήματος βραδείας εφαρμογής: α) υδραυλική ροή, β) επιφανειακή εφαρμογή και γ) εφαρμογή με καταιονισμό

Πίνακας 3.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με γήινα φυσικά συστήματα<sup>α</sup>

Συστατικό	Βραδεία εφαρμογή <sup>β</sup>		Ταχεία διήθηση <sup>γ</sup>		Επιφανειακή ροή <sup>δ</sup>	
	Υψηλότερη δυνατή	Μέσος όρος	Υψηλότερη δυνατή	Μέσος όρος	Υψηλότερη δυνατή	Μέσος όρος
BOD	<5	<2	<10	5	<15	10
Αιωρούμενα στερεά	<5	<1	<5	2	<20	10
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<2	<0,5	<2	0,5	<8	<4
Ολικό -N	<8	3	<20	10	<10	5
Ολικό-P	<0,3	<0,1	<5	1	<6	4
Κολοβακτηρίδια (No/100 cm <sup>3</sup> )	<10	0	<200	10	<200	200

<sup>α</sup> Όλες οι μονάδες μέτρησης αναφέρονται σε mg/lit, εκτός όπου αναγράφονται διαφορετικές

<sup>β</sup> Κατείδυση μέχρι 1,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής υπό ακόρεστες συνθήκες

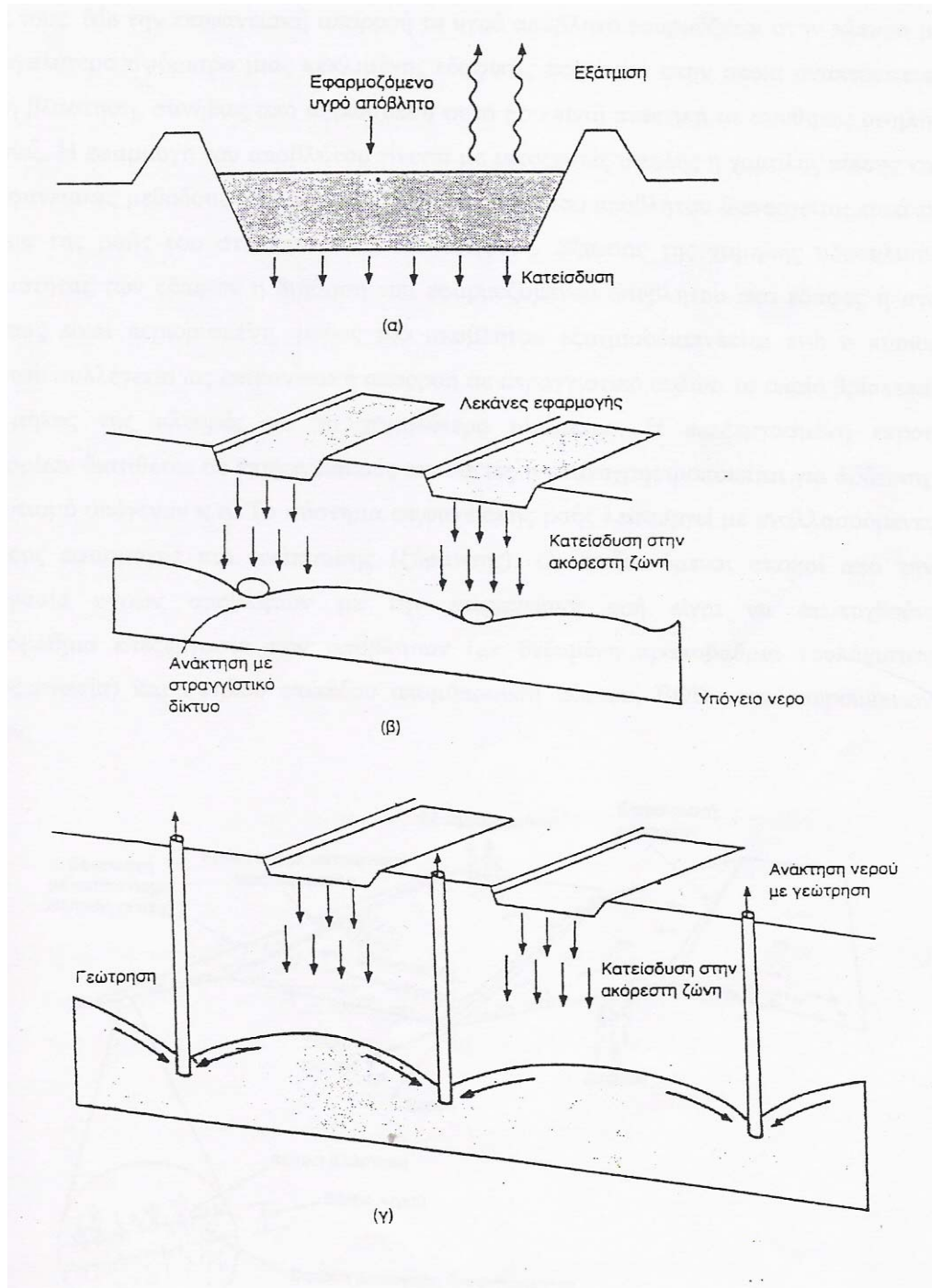
<sup>γ</sup> Κατείδυση μέχρι 4,5m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής. Για μεγαλύτερα βάθη κατείδυσης έχουν διαπιστωθεί ακόμη υψηλότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά τουλάχιστον σε ότι αφορά το φώσφορο και τα κολοβακτήρια

<sup>δ</sup> Απορροή αστικού υγρού αποβλήτου με κλίση 45 m περίπου

### 3.2.2 Ταχεία διήθηση ή εφαρμογή

Η εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος επιτυγχάνεται με αβαθείς επιφανειακές λεκάνες διήθησης ή με εκτοξευτές υψηλής ταχύτητας και γίνεται σε περιοδική βάση (Σχήμα 3.2). Η συνεχής φόρτιση του εδάφους με απόβλητα δρα ανασταλτικά στη λειτουργία του συστήματος επειδή μειώνει την ταχύτητα διήθησης και δεν επιτρέπει αερόβια επεξεργασία του εφαρμοζόμενου αποβλήτου στο έδαφος. Η φυτική βλάστηση δεν είναι απαραίτητη εκτός από την περίπτωση που η εφαρμογή του αποβλήτου γίνεται με εκτοξευτήρες. Συνεπώς, η εξατμισοδιαπνοή είναι πολύ περιορισμένη και επειδή η εφαρμογή γίνεται με μεγάλες ταχύτητες οι απώλειες λόγω εξάτμισης

είναι μικρές, με αποτέλεσμα το υγρό απόβλητο να κατεισδύει στο έδαφος, όπου λαμβάνει χώρα η περαιτέρω επεξεργασία του και να εμπλουτίζει τον υπόγειο υδροφόρο.



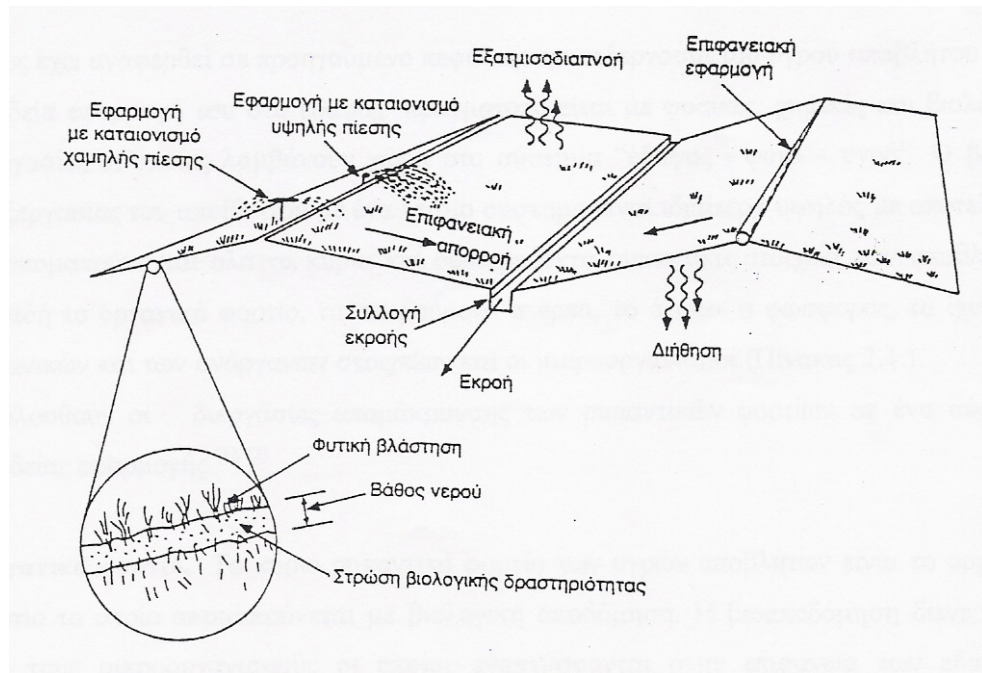
Σχήμα3.2. Σχηματική απεικόνιση συστήματος ταχείας διήθησης: α) υδραυλική ροή, β) ανάκτηση με στραγγιστικό δίκτυο και γ) ανάκτηση με γεωτρήσεις

Οι επιδιωκόμενοι σκοποί της ταχείας διήθησης, εκτός από την επεξεργασία του αποβλήτου, αποτελούν παράλληλα ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων, η ανάκτηση νερού για άλλες χρήσεις, η ενίσχυση επιφανειακών πηγών νερού και η προσωρινή αποθήκευση νερού. Ο εμπλουτισμός με εκροές επεξεργασμένων αποβλήτων από σύστημα ταχείας εφαρμογής υπόγειων υδροφορέων, οι οποίοι γειτνιάζουν με παραθαλάσσιες περιοχές, επιδρά προστατευτικά στον κίνδυνο υφαλμύρωσης τους, σχηματίζοντας προστατευτική ζώνη μεταξύ του θαλάσσιου και του φυσικού (γλυκού) νερού του υδροφορέα. Τα συστήματα ταχείας διήθησης ή εφαρμογής ονομάζονται επίσης SAT.

### **3.2.3 Συστήματα επιφανειακής ροής**

Οι ΗΠΑ ήταν πρωτοπόρες στα φυσικά συστήματα επιφανειακής ροής αλλά περισσότερο αναπτύχθηκαν από την Campell Soup Company στο Παρίσι και στο Τέξας. Το σύστημα επιφανειακής ροής προσαρμόζονται και είναι αποτελεσματικά σε εδάφη με μικρή έως μέτρια υδραυλική αγωγιμότητα και σχετικά αδιαπέρατες στρώσεις σε κάποιο βάθος τους. Με την επιφανειακή απορροή το υγρό απόβλητο εφαρμόζεται στην πλευρά με το μεγαλύτερο υψόμετρο μιας κεκλιμένης εδαφικής επιφάνεια στην οποία αναπτύσσεται φυτική βλάστηση, συνήθως από αγρωστώδη φυτά που είναι ανεκτικά σε συνθήκες υψηλής υγρασίας. Η εφαρμογή του αποβλήτου γίνεται με εκτοξευτές υψηλής ή χαμηλής πίεσης και με επιφανειακές μεθόδους (Σχήμα 3.3). Η επεξεργασία του αποβλήτου διενεργείται κατά τη διάρκεια της ροής του στη επιφάνεια του εδάφους. Εξαιτίας της χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας των εδαφών η διήθηση του εφαρμοζόμενου αποβλήτου στο έδαφος ή στο υπέδαφος είναι περιορισμένη, μέρος του αποβλήτου εξατμιοδιαπνέεται ενώ ο κύριος όγκος του συλλέγεται ως επιφανειακή απορροή σε στραγγιστικό αυλάκι το οποίο βρίσκεται κατά μήκος της πλευράς με το χαμηλότερο υψόμετρο. Η επεξεργασμένη εκροή υδροφορέων διατίθεται σε επιφανειακούς αποδέκτες ή επαναχρησιμοποιείται για άρδευση, εμπλουτισμό υπόγειων κ.α. Το σύστημα επιφανειακής ροής λειτουργεί με

εναλλασσόμενες περιόδους εφαρμογής και ανάπαυσης (ξήρανσης). Οι επιδιωκόμενοι σκοποί από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με την επιφανειακή ροή είναι να επιτευχθούν: δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων (με δεδομένη πρωτοβάθμια τουλάχιστον προεπεξεργασία) και υψηλού επιπέδου απομάκρυνση αζώτου, BOD και αιωρούμενων στερεών.



Σχήμα 3.3. Σχηματική παράσταση διεργασιών συστήματος επιφανειακής ροής

### 3.3 Συστήματα βραδείας εφαρμογής

Συγκριτικά με τους άλλους τύπους γήινων συστημάτων επεξεργασίας, στα συστήματα βραδείας εφαρμογής επιτυγχάνεται υψηλότερου επιπέδου επεξεργασία του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου. Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής ελέγχεται η επιφανειακή απορροή, η οποία οφείλεται στην εφαρμογή του αποβλήτου στο έδαφος, αλλά η απορροή που οφείλεται στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις αφήνεται ελεύθερη, εκτός αν πρόκειται για πλημμυρική απορροή. Όταν ο ρυθμός υδραυλικού φορτίου εφαρμογής κυμαίνεται σε τυπικές τιμές (1-2 m/yr), τότε το μεγαλύτερο ποσοστό του εφαρμοζόμενου αποβλήτου χρησιμοποιείται για την κάλυψη των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών των φυτών, με επακόλουθο η τεχνολογία

της βραδείας εφαρμογής του αποβλήτου στο έδαφος να προσομοιάζει με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού.

Τα φυτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των εκροών υγρών αποβλήτων στο έδαφος με το σύστημα της βραδείας εφαρμογής ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Γεωργικά συστήματα
- Χλωροτάπητες
- Δασικά συστήματα

### **3.4 Μηχανισμοί απομάκρυνσης ρυπαντικών συστατικών σε συστήματα βραδείας εφαρμογής**

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου με τη βραδεία εφαρμογή του στο έδαφος πραγματοποιείται με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο σύστημα "έδαφος - φυτό - υγρό". Ο βαθμός επεξεργασίας του αποβλήτου με ένα τέτοιο σύστημα είναι ιδιαίτερα υψηλός με αποτέλεσμα να απομακρύνονται όλα τα κύρια και δευτερεύοντα ρυπαντικά στοιχεία των αποβλήτων, δηλαδή το οργανικό φορτίο, τα αιωρούμενα στερεά, το άζωτο, ο φώσφορος, τα ίχνη των οργανικών και των ανόργανων στοιχείων και οι μικροοργανισμοί (Πίνακας 3.4.). Ακολουθούν οι διεργασίες απομάκρυνσης των ρυπαντικών φορτίων σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής.

**Οργανικό φορτίο.** Το κύριο ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων είναι το οργανικό φορτίο το οποίο απομακρύνεται με βιολογική αποδόμηση. Η βιοαποδόμηση διενεργείται από τους μικροοργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται στην επιφάνεια των εδαφικών σωματιδίων και στη φυτική βλάστηση. Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής σχεδιάζονται και λειτουργούν υπό αερόβιες συνθήκες, δηλαδή η αποδόμηση του οργανικού φορτίου γίνεται με αερόβιους μικροοργανισμούς. Η αερόβια επεξεργασία είναι πιο ταχεία και πλήρης και σχέση με την αναερόβια βιοαποικοδόμηση και ταυτόχρονα περιορίζονται οι δυσάρεστες οσμές που προκαλεί η τελευταία.

Σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής το οργανικό φορτίο και ιδιαίτερα τα αδιάλυτα οργανικά απομακρύνονται στα πρώτα 1-2 cm του εδάφους. Η διήθηση και η προσρόφηση είναι πρωταρχικές διεργασίες για τη μείωση του οργανικού φορτίου αλλά η βακτηριδιακή οξείδωση τους είναι ο τελικός διεργασιακός μηχανισμός απομάκρυνσης τους. Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής είναι αποτελεσματικά ακόμα και στις περιπτώσεις που τα εφαρμοζόμενα φορτία είναι μεγαλύτερα από 50 kg BOD/στρ. d.

Πίνακας 3.4. Απομάκρυνση BOD, αζώτου και φωσφόρου σε συστήματα βραδείας εφαρμογής

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	BOD (mg/l)		Ολικό N (mg/l)		Ολικός P (mg/l)	
	Εφαρμ.	Διηθ.	Εφαρμ.	Διηθ.	Εφαρμ.	Διηθ.
Dickinson, ND	42	<1	11,8	3,9	6,9	0,05
Hanover, NH						
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	101	1,4	28,9	9,5	7,1	0,03
Δευτεροβάθμια επεξεργασία	36	1,2	26,9	7,3	7,1	0,03
Muskegon, MI	34	1,3	8,2	2,5	3,8	0,10
Roswell, NM	43	<1	66,2	10,7	8	0,39
Yarmouth, MA	85	<2	30,8	1,8	12	0,04

**Αιωρούμενα στερεά.** Ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών στο σύστημα βραδείας εφαρμογής είναι η διήθηση, το φιλτράρισμα στο έδαφος, στο υπέδαφος ή σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Ο κύριος όγκος των στερεών απομακρύνεται κοντά στην εδαφική επιφάνεια και σε πολύ μικρό βάθος του εδάφους. αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τείνει να μειώνεται η διηθητική ικανότητα του εδάφους γι αυτό τα φυσικά συστήματα βραδείας εφαρμογής στο έδαφος θα πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν με κριτήριο διατήρηση της αρχικής ταχύτητας διήθησης του εδάφους.

**Άζωτο.** Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης του αζώτου στο σύστημα βραδείας εφαρμογής είναι η πρόσληψη του από τις ρίζες των φυτών και στη συνέχεια η περιοδική συγκομιδή και απομάκρυνση της φυτικής βλάστησης και η απονιτροποίησή του (μετατροπή σε αέριο  $N_2$ ). Η αποτελεσματικότητα της πρόσληψης του αζώτου από τα φυτά εξαρτάται από το είδος τους, την παραγωγή τους και τη συχνότητα καθώς και το ρυθμό συγκομιδής του υπέργειου τμήματος τους. Άλλοι μηχανισμοί απομάκρυνσης του αζώτου είναι η συγκράτηση του στο έδαφος κυρίως με μορφή αμμωνιακών ιόντων και η εξάχνωση, δηλαδή η μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου σε αέρια αμμωνία. Το νιτρικό άζωτο φέρει αρνητικό φορτίο, δεν συγκρατείται με αντιδράσεις εναλλαγής και έτσι όταν δεν απομακρυνθεί με πρόσληψη από τη φυτική βλάστηση ή απονιτροποίηση καταλήγει μέσω της κατείσδυσης του νερού στους υπόγειους υδροφορείς. Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής εξαιτίας της σημαντικής κατείσδυσης του νερού η μεταφορά του νιτρικού αζώτου στους υπόγειους υδροφορείς μπορεί να καταστεί επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία. Συνεπώς τα συστήματα βραδείας εφαρμογής, τα οποία βρίσκονται πάνω από υδροφορείς των οποίων το νερό χρησιμοποιείται ως πόσιμο, θα πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται ο αναγκαίος βαθμός απομάκρυνσης νιτρικών από την εκροή κατείσδυσης (συγκέντρωση νιτρικών μικρότερη από 10 mg/l), εξασφαλίζοντας την προστασία των υπόγειων υδροφορέων.

**Φωσφόρος.** Οι κύριοι διεργασιακοί μηχανισμοί απομάκρυνσης του φωσφόρου στο σύστημα βραδείας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι η χημική κατακρήμνιση και η προσρόφηση ενώ μικρότερες ποσότητες φωσφόρου μπορούν να απομακρυνθούν με πρόσληψη από τα φυτά (20-25 % του συνολικά απομακρυνόμενου φωσφόρου). Γενικά η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης του φωσφόρου είναι πολύ υψηλή και εξαρτάται κυρίως από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και πολύ λιγότερο από τη συγκέντρωση του φωσφόρου. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό που διηθείται σε βαθύτερα στρώματα είναι συνήθως μικρότερη από 0,1 mg/l.



**Ίχνη οργανικών.** Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των ιχνών οργανικών από τα εφαρμοζόμενα υγρά απόβλητα σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής είναι η φωτοδιάσπαση, η εξάχνωση, η προσρόφηση και οι διάφορες βιοδιασπάσεις και αποδομήσεις. Η συνεισφορά του κάθε μηχανισμού απομάκρυνσης εξαρτάται κάθε φορά από τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες και των ρυθμό εφαρμογής των αποβλήτων.

**Ίχνη ανόργανων στοιχείων.** Η απομάκρυνση των ανόργανων στοιχείων και κυρίως των μετάλλων, σε ένα σύστημα βραδείας διενεργείται με προσρόφηση, χημική κατακρήμνιση, ιοντοανταλλαγή και εμπλοκή και σε μικρότερο βαθμό με πρόσληψη τους από τις ρίζες των φυτών. Από αυτές η προσρόφηση στη στερεά φάση του εδάφους είναι η αποτελεσματικότερη με συνέπεια εδάφη λεπτόκοκκα και οργανικά με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο, οξείδια μετάλλων και οργανική ουσία έχουν πολύ μεγαλύτερη ικανότητα απομάκρυνσης μετάλλων από άλλα εδάφη όπως αμμώδη. Τέλος, η βραδεία εφαρμογή υγρών αποβλήτων στο έδαφος θεωρείται η αποτελεσματικότερη στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο επεξεργασίας με φυσικά συστήματα.

**Μικροοργανισμοί.** Οι κύριοι διεργασιακοί μηχανισμοί απομάκρυνσης των βακτηρίων και των παρασίτων περιλαμβάνουν την καθίζηση, τη προσρόφηση, την ακτινοβολία, την ξήρανση, την εμπλοκή, τις ανταγωνιστικές επιδράσεις, τη φυσική φθορά και γενικά την έκθεση τους σε διάφορες αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι ιοί απομακρύνονται μόνο με φυσική φθορά και καταστροφή τους. Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής που χρησιμοποιούνται αμμοπηλώδη έως αργιλοπηλώδη εδάφη, επιτυγχάνεται πλήρης απομάκρυνση μικροοργανισμών κατά τη μεταφορά της εκροής του υγρού αποβλήτου σε βάθος τουλάχιστον 1,5 m

### **3.5 Τύποι συστημάτων βραδείας εφαρμογής**

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν κατατάσσονται στους ακόλουθους τρεις τύπους:

- **Άρδευσης**

Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής τύπου άρδευσης, το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής βασίζεται στη ικανοποίηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών των φυτών και των λοιπών απωλειών του συστήματος εφαρμογής . Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στην εφαρμογή της μικρότερης δυνατής ποσότητας αποβλήτου στη μέγιστη δυνατή επιφάνεια ή στην παραγωγή καλλιεργούμενου προϊόντος υψηλής αγοραστικής αξίας. Συνεπώς πρόκειται για συστήματα που με την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος εκτός της ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών της φυτικής βλάστησης προάγουν και την περαιτέρω επεξεργασία του αποβλήτου.

- **Διήθησης**

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής τύπου διήθησης, αντικειμενικός σκοπός τους έχουν τη διάθεση και την επεξεργασία των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων και το ύψος της εφαρμοζόμενης εκροής των αποβλήτων είναι μεγαλύτερων από τις αρδευτικές ανάγκες της χρησιμοποιούμενης φυτικής βλάστησης. Το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής βασίζεται είτε στην υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους ή στο φορτίο του αζώτου. Ο σχεδιασμός των συστημάτων βραδείας εφαρμογής τύπου διήθησης στηρίζεται στο βέλτιστο ρυθμό υδραυλικού φορτίου εφαρμογής με σκοπό τη μεγιστοποίηση της εφαρμοζόμενης εκροής στην ελάχιστη επιφάνεια.

- **Εξειδικευμένα**

Τα εξειδικευμένα συστήματα βραδείας εφαρμογής χρησιμοποιούνται όταν η εκροή των υγρών αποβλήτων περιέχει κάποιο τοξικό ή επικίνδυνο συστατικό. Έτσι, για το σχεδιασμό συστημάτων τέτοιου τύπου απαιτούνται ειδικές μετρήσεις και προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας.

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής τύπου άρδευσης προσαρμόζονται κυρίως ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές ενώ αντίθετα τα συστήματα τύπου διήθησης προσαρμόζονται σε υγρές περιοχές. Συγκριτικά στοιχεία σχεδιασμού των δύο τύπων συστημάτων βραδείας εφαρμογής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.5. Σύγκριση παραμέτρων σχεδιασμού συστημάτων βραδείας εφαρμογής τύπου άρδευσης και διήθησης

Στοιχεία σχεδιασμού	Συστήματα βραδείας εφαρμογής	
	Άρδευσης	Διήθησης
Τεχνική εφαρμογής υδραυλικού φορτίου	Καταιονισμός ή επιφανειακές μέθοδοι	Καταιονισμός ή επιφανειακές μέθοδοι
Υδραυλικό φορτίο εφαρμογής (m/yr)	0,60-2,00	1,70-6,00
Απαιτούμενη επιφάνεια, στρ/(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d) <sup>α</sup>	170-550	56-200
Ελάχιστη προεπεξεργασία <sup>β</sup>	Πρωτοβάθμια καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση
Διάθεση εφαρμοζόμενης εκροής αποβλήτου	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση-κατείδυση	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση-κατείδυση
Φυτική βλάστηση	Απαιτείται	Απαιτείται

<sup>α</sup> Δεν περιλαμβάνονται: ουδέτερη ζώνη, δρόμοι, αναχώματα κλπ

<sup>β</sup> Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και το είδος της φυτικής βλάστησης

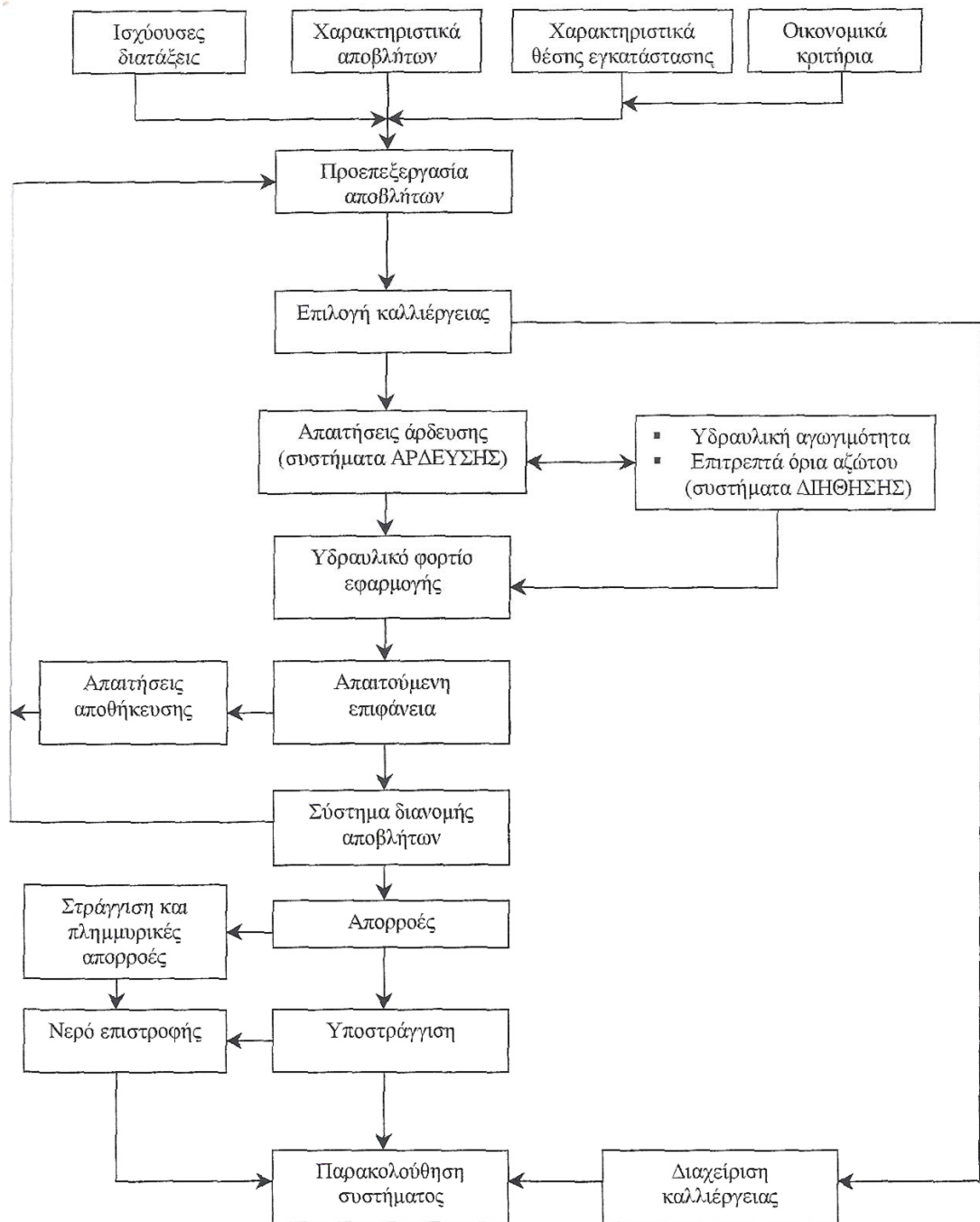
### 3.6 Σχεδιασμός συστημάτων βραδείας εφαρμογής

Για το σχεδιασμό των συστημάτων βραδείας διήθησης είναι απαραίτητα τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων, οι κανονιστικές απαιτήσεις και τα ποιοτικά κριτήρια της εφαρμοζόμενης εκροής και τα χαρακτηριστικά της θέσης της εγκατάστασης. Ο σχεδιασμός των συστημάτων βραδείας εφαρμογής περιλαμβάνει δύο φάσεις; την προκαταρκτική και του λεπτομερούς σχεδιασμού.

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής τύπου άρδευσης, στον προκαταρκτικό σχεδιασμό περιλαμβάνονται: ο προσδιορισμός του επιπέδου επεξεργασίας, η επιλογή της φυτικής βλάστησης, ο προσδιορισμός του υδραυλικού φορτίου, η επιλογή της μεθόδου εφαρμογής του υδραυλικού φορτίου, ο προσδιορισμός της απαιτούμενης έκτασης και του απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης και ο προσδιορισμός των απαιτήσεων παρακολούθησης και ελέγχου. Για το σχεδιασμό των συστημάτων βραδείας εφαρμογής τύπου διήθησης στα

παραπάνω στάδια του προκαταρκτικού σχεδιασμού προστίθεται και ο προσδιορισμός της απαιτούμενης ταχύτητας διήθησης.

Το διάγραμμα ροής του σχεδιασμού των συστημάτων βραδείας επεξεργασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4. Διάγραμμα ροής σχεδιασμού συστήματος βραδείας επεξεργασίας

Όταν ολοκληρωθεί ο προκαταρτικός σχεδιασμός γίνονται οικονομικές προσδιορίζονται τα κόστη κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης και γίνονται οικονομικές συγκρίσεις με άλλα εναλλακτικά συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων.

Ο λεπτομερής σχεδιασμός των συστημάτων βραδείας εφαρμογής των αποβλήτων στο έδαφος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των θέσεων και των επιμέρους τμημάτων του συστήματος και τους αναλυτικούς υπολογισμούς του συστήματος διανομής και διενεργείται όπως για τα συμβατικά συστήματα άρδευσης οπότε καλύπτεται από την αντίστοιχη βιβλιογραφία.

### **3.7 Εκτίμηση και επιλογή της θέσης της εγκατάστασης**

Τα χαρακτηριστικά της θέσης, η οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό και τη διαχείριση του συστήματος. Καθοριστικοί παράγοντες οι οποίοι συνεκτιμούνται στην επιλογή της θέσης του συστήματος βραδείας εφαρμογής είναι:

- η τοπογραφία (κλίση εδάφους, ανάγλυφο, πλημμυρικές συνθήκες)
- τα φυσικά, χημικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους,
- η γεωλογία της θέσης της εγκατάστασης,
- η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα,
- οι χρήσεις γης.

Τα κυριότερα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας της θέσης εγκατάστασης ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6, είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, το βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και η ύπαρξη ή μη αδιαπέρατης στρώσης. Στα συστήματα τύπου διήθησης το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής επηρεάζεται περισσότερο από την κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα, υπό κορεσμένες συνθήκες, της πιο αδιαπέρατης στρώσης του εδάφους.

Πίνακας 3.6. Χαρακτηριστικά και κριτήρια επιλογής θέσης συστημάτων βραδείας εφαρμογής

Χαρακτηριστικά	Επιθυμητή	Λιγότερο επιθυμητή	Ακατάλληλη
Έδαφος			
pH	5,5-8,4	5,2-5,5	<5,2 >8,4
Εναλλακτικότητα νατρίου (%)	<5	5-10	>10 <sup>α</sup>
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	<4	4-8	>8
Υδραυλική αγωγιμότητα(cm/h)	0,5-5,0	0,15-0,5 5-15	<0,15
Βάθος μέχρι τον υδροφορέα (m)	>1,5	0,6-1,5 <sup>β</sup>	<0,6
Κλίση(%)	0-2	2-15	>15 <sup>γ</sup>
Χρήση γης	Γεωργική	Χαμηλής πυκνότητας	Αστική/ Βιομηχανική <sup>δ</sup>
Υδρολογία	Χωρίς κίνδυνο πλημμύρας	Μειωμένο κίνδυνο πλημμύρας	Αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας

<sup>α</sup> >για χονδρόκοκκα εδάφη

<sup>β</sup> Απαιτείται υποεπιφανειακή στράγγιση

<sup>γ</sup> >30% για δασικές εκτάσεις

<sup>δ</sup> Σε εκτάσεις υψηλής δημόσιας προσπέλασης (περιβάλλοντες χώροι, golfs κ.α.) απαιτείται υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία

Έτσι, εδάφη μέσης υδραυλικής αγωγιμότητας (5-50 mm/h), δηλαδή εδάφη μέσης δομής, είναι τα καταλληλότερα για συστήματα βραδείας εφαρμογής επειδή εξισορροπούν το ποσοστό της κατακρατούμενης από το έδαφος εκροής του υγρού αποβλήτου με το ποσοστό της στραγγιζόμενης εκροής.

Εδάφη μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως τα λεπτόκοκκα, αργιλώδη εδάφη και εδάφη με αδιαπέρατες υποεπιφανειακές στρώσεις προσφέρουν πολύ υψηλό δυναμικό επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αλλά απαιτούν μικρά

υδραυλικά φορτία εφαρμογής και η διαχείριση τους και κυρίως αυτή της φυτικής βλάστησης παρουσιάζει δυσκολίες. Αντίθετα, χαλικώδη αμμώδη εδάφη έχουν συνήθως μεγάλες υδραυλικές αγωγιμότητες με αποτέλεσμα να μπορούν μέσα από αυτά να κατεισδυσουν μεγάλες ποσότητες εκροής και να δεχθούν υψηλά φορτία εφαρμογής. Όμως, σε τέτοιου είδους εδάφη η συγκράτηση της υγρασίας είναι περιορισμένη και δημιουργεί προβλήματα στη διαχείριση της φυτικής βλάστησης.

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής θα πρέπει να εγκαθίστανται σε θέσεις με επαρκές βάθος εδάφους μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα ή την αδιαπέρατη στρώση. Επαρκές θεωρείται το βάθος εκείνο που επιτρέπει την κατακράτηση από το έδαφος των ρυπαντικών συστατικών του υγρού αποβλήτου, τη δράση των βακτηρίων και την ανάπτυξη των ριζών.

Έτσι, για επαρκή επεξεργασία των υγρών αποβλήτων απαιτείται ένα ελάχιστο βάθος εδάφους 0,9 έως 1,2 Γη, αλλά σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται βαθύρριζα φυτά είναι αναγκαίο ένα μεγαλύτερο βάθος. Για μικρότερα βάθη εδάφους μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα και την αδιαπέρατη στρώση απαιτείται υποεπιφανειακή στράγγιση.

Εδάφη με πολύ υψηλό ή χαμηλό pH (όξινα ή αλκαλικά) και εδάφη με πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι περιοριστικά για την ανάπτυξη πολλών φυτικών ειδών. Επίσης, η υψηλή επί τοις εκατό εναλλακτικότητα του νατρίου μειώνει την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Τέτοιες περιπτώσεις αντιμετωπίζονται με χρήση εδαφοβελτιωτικών για διορθωτικές επεμβάσεις σε ορισμένα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, σε συνδυασμό βέβαια με το αν οι παραπάνω ενέργειες είναι οικονομικά συμφέρουσες καθώς και με επιλογή φυτικών ειδών ανεκτικών στις δεδομένες εδαφικές συνθήκες.

Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής οι κλίση του εδάφους πρέπει να είναι μικρότερη από 15% για τα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη φυτών. Κλίσεις εδάφους μέχρι και 20% μπορούν να χρησιμοποιούνται για είδη που δεν απαιτούν κατεργασία του εδάφους, όπως οι διάφορες βοσκές που εξαρτώνται από το είδος της εκμετάλλευσης. Επίσης, λοφώδεις, δασικές εκτάσεις με κλίσεις έως και 40% μπορούν να αρδεύονται επιτυχώς με καταιονισμό.

Τέλος, μία θέση θεωρείται κατάλληλη για ένα σύστημα βραδεία εφαρμογής όταν δεν υπόκεινται σε κίνδυνο πλημμύρων και η δημόσια προσπέλαση σε αυτή είναι ελεγχόμενη. Σε περίπτωση που η δημόσια προσπέλαση δεν είναι ελεγχόμενη, όπως είναι τα αρδευόμενα πάρκα, golfs, πρανή εθνικών δρόμων και διάφοροι χώροι αθλοπαιδιών απαιτείται υψηλού επιπέδου απολύμανση των εκροών με σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας.

### **3.8 Επιλογή της φυτικής βλάστησης**

Η επιλογή της φυτικής βλάστησης αποτελεί το βασικότερο στάδιο μελέτης και σχεδιασμού ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων επειδή η επιλογή της επηρεάζει το επίπεδο προεπεξεργασίας, το σύστημα διανομής του αποβλήτου στο έδαφος και το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής.

Η φυτική βλάστηση απομακρύνει τα ρυπαντικά φορτία, μειώνει τη διάβρωση του εδάφους, διατηρεί ή αυξάνει το ρυθμό διήθησης και μπορεί να παράγει εισόδημα.

Τα κυριότερα κριτήρια για την επιλογή της φυτικής βλάστησης είναι:

- Η ανεκτικότητα στη εδαφική υγρασία και οι εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες
- Οι ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά
- Η-προσαρμογή στις εδαφικές συνθήκες
- Η εποχή ανάπτυξης και οι ανάγκες σε λίθαργο
- Η ευαισθησία και η ανεκτικότητα της σε τοξικά μέταλλα και άλατα
- Η χρησιμοποίηση των θρεπτικών στοιχείων και η αποτελεσματικότητα ανάκτησης τους
- Η σταθερότητα του οικοσυστήματος
- Ο βαθμός συγκομιδής

Στην επιλογή της φυτικής βλάστησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τυχόν θέσπιση ειδικών περιοριστικών κριτηρίων εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος για την άρδευση φυτικών ειδών. Επίσης,



καθοριστικές για την επιλογή της καλλιέργειας μπορεί να αποδειχθούν οι συμβουλές των γεωπόνων και των γεωργών, οι οποίοι γνωρίζουν τις τοπικές συνθήκες.

### **3.8.1 Οδηγίες για την επιλογή της φυτικής βλάστησης**

Τα συστήματα τύπου διήθησης σχεδιάζονται ώστε να ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη έκταση εφαρμόζοντας τη μέγιστη υδραυλική φόρτιση. Έτσι, στα συστήματα τύπου διήθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν φυτά που έχουν υψηλές αζωτούχες ανάγκες, ικανοποιητική ανεκτικότητα στην εδαφική υγρασία και σε διάφορα άλλα συστατικά των υγρών αποβλήτων, υψηλές εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες και περιορισμένες διαχειριστικές ανάγκες.

Τέτοια φυτά είναι τα πολυετή κτηνοτροφικά, διάφορα είδη μεγάλης καλλιέργειας καθώς και δενδρώδη είδη. Αγρωστώδη που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε συστήματα βραδείας εφαρμογής τύπου διήθησης είναι: το κεχρί, η δακτυλίδα, η ήρα (πολυετής και ιταλική), η αγριάδα, λιβαδικά αγρωστώδη, η φεσκούτα και το καλαμώδες γρασίδι. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας κατάλληλα για συστήματα τύπου διήθησης είναι ο αραβόσιτος, το σόργο, η κριθή και άλλα είδη σιτηρών.

Ακόμη, σε περιοχές με μεγάλης διάρκειας περιόδους ανάπτυξης, όπως η Καλιφόρνια, η επιλογή διπλής φυτικής βλάστησης (χειμώνας - καλοκαίρι) αποτελεί ένα άριστο τρόπο για την αύξηση του προερχόμενου από την καλλιέργεια εισοδήματος καθώς επίσης και για την αύξηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών και της πρόσληψης φορτίου αζώτου από το σύστημα της καλλιέργειας.

Αντίστοιχα, τα πιο κατάλληλα δενδρώδη είδη είναι συγκαλλιέργεια διαφόρων ειδών σκληρού ξύλου και πεύκης. Επίσης δυνατά είδη για τέτοια συστήματα είναι το ξυλώδες βαμβάκι, τα υβρίδια λεύκης, η λευκή πεύκη, η κινέζικη πετελέα, ο ευκάλυπτος, η κερασιά, η συκομορέα, η αειθαλής μελία, η κουτσουπιά, η χαρουπιά και η ιτέα.

Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής τύπου άρδευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ευρύτερη κλίμακα φυτικών ειδών εξαιτίας των μικρότερων υδραυλικών φορτίων εφαρμογής και της επικράτησης

ανεκτικότερων συνθηκών υγρασίας στο έδαφος. Έτσι, επιπρόσθετα στα φυτικά είδη των συστημάτων τύπου διήθησης στα συστήματα τύπου άρδευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα σχεδόν τα είδη βοσκής, όπως τα ψυχανθή (μηδική και ετήσιο τριφύλλι), τα περισσότερα είδη μεγάλης καλλιέργειας όπως το βαμβάκι, η σόγια και τα διάφορα είδη σιτηρών, ορισμένα δενδρώδη όπως τα εσπεριδοειδή, τα μηλοειδή και το αμπέλι.

### **3.8.2 Χαρακτηριστικά της φυτικής βλάστησης**

Τα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να διαθέτει η φυτική βλάστηση η οποία θα χρησιμοποιηθεί σε συστήματα βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος είναι τα ακόλουθα:

1. Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων
2. Ανεκτικότητα στην υγρασία
3. Εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες
4. Ανεκτικότητα στην αλατότητα
5. Ανεκτικότητα στην ειδική τοξικότητα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

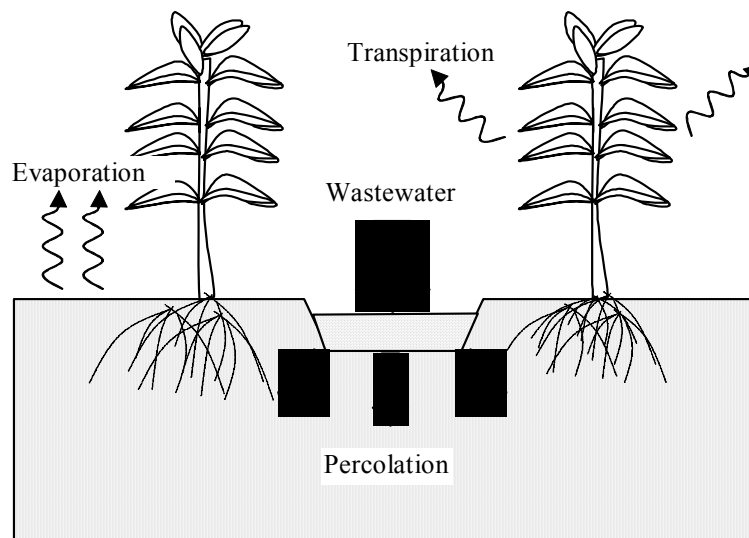
### 4.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου στο έδαφος είναι η παλαιότερη πρακτική διάθεσης αποβλήτων, όπως αναφέρεται από τον ρωμαίο συγγραφέα Varro Marcus Terentius (ca 116-27 BC) που είχε παρατηρήσει ότι όπου τα ΥΑΕ έρεαν επάνω στη γη, το έδαφος γινόταν άγονο (Niaounakis and Chalvadakis, 2004). Το παλαιότερο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων στο έδαφος που τεκμηριώνεται στη λογοτεχνία εμφανίζεται να είναι αυτό στο Bunzlau, της Γερμανία, ενώ στις ΗΠΑ το πρώτο σύστημα άρδευσης λυμάτων κατασκευάστηκε στην Augusta, Maine (EPA, 1979). Αρχικά, γινόταν καλλιέργεια λυμάτων καλλιεργώντας και έγινε σχετικά γνωστό ως η πρώτη προσπάθεια να ελεγχθεί η ρύπανση των υδάτων (Metcalf and Eddy, 1991). Έτσι, η επεξεργασία εδάφους ορίζεται ως η ελεγχόμενη εφαρμογή του απόβλητου ύδατος επάνω στην επιφάνεια εδάφους για να επιτύχει έναν σχεδιασμένο βαθμό επεξεργασίας μέσω των φυσικών, χημικών, και βιολογικών διαδικασιών με την εγκατάσταση φυτού-χώμα-ύδατος να παραμένουν στα φυσικά ποσοστά τους, χωρίς πρόκληση οποιωνδήποτε δυσμενών αποτελεσμάτων στο περιβάλλον (Crites and Tchobanoglous, 1998). Υπάρχουν τρεις διαδικασίες επεξεργασίας εδάφους: (α) βραδείας εφαρμογής (SR), (β) ταχείας διήθησης (RI), και (γ) επιφανειακής ροής (OF). Αυτοί οι τίτλοι έχουν επιλεγεί για να απεικονίσουν το ποσοστό μετακίνησης ύδατος και την πορεία ροής μέσα στη διαδικασία.

#### 4.1.1 Βραδεία Εφαρμογή

Η βραδεία εφαρμογή είναι η παλαιότερη και κυρίαρχη φυσική διαδικασία επεξεργασίας που χρησιμοποιείται σήμερα (EPA, 2002). Η επεξεργασία εδάφους με βραδεία εφαρμογή ορίζεται ως η ελεγχόμενη εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του έδαφος (σχέδιο 4.1). Το εφαρμοσμένο υγρό απόβλητο είτε καταναλώνεται μέσω του εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration ET) είτε διηθείται κάθετα και οριζόντια μέσω των εδαφοτομών. Η επεξεργασία εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους και τα

υγρά απόβλητα διατίθενται μέσω του φυτού και του εδάφους στην εγκατάσταση.



Σχήμα 4.1 Υδραυλική ροή για τη διαδικασία βραδείας εφαρμογής (που ξανασχεδιάστηκε από Metcalf and Eddy, 1991).

Υπάρχουν τρεις τύποι συστημάτων βραδείας εφαρμογής, όπως εξηγούνται στον πίνακα 4.1 (Angelakis *et al*, 2001):

- Τύπος 1. Η περιοχή εδάφους είναι βασισμένη στον περιοριστικό παράγοντα σχεδίου, ο οποίος μπορεί να είναι είτε η εδαφολογική διαπερατότητα είτε το ποσοστό φόρτωσης ενός συστατικού απόβλητου ύδατος (Crites and Tchobanoglous, 1998).
- Τύπος 2. Ο υπολογισμός του υδραυλικού ποσοστού φόρτωσης (HLR) είναι βασισμένος στην εξατμισοδιαπνοή (ET) των εγκαταστάσεων (Tzanakakis and Angelakis, 2001).
- Τύπος 3. Αυτός ο τύπος θεωρεί το χώμα ως φίλτρο, με τα υγρά απόβλητα αποχέτευσης αυτού του συστήματος να συλλέγονται κάτω από την επιφάνεια ενός δικτύου σωλήνων σε βάθος 1.0-1.5 m (Gardner *et al*, 2000).

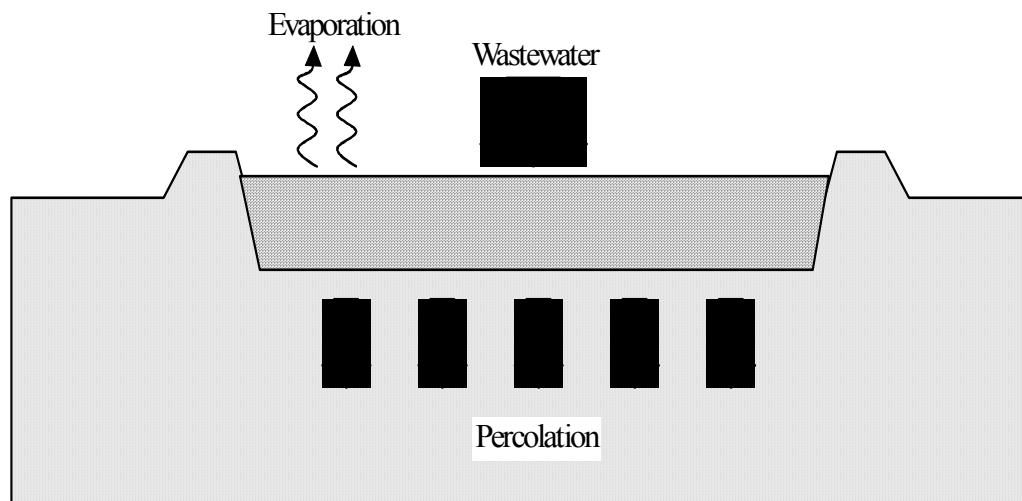
Πίνακας 4.1. Σύγκριση των χαρακτηριστικών περιοχών και τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού εναλλακτικών συστημάτων βραδείας εφαρμογής προσγειώνονται τα συστήματα επεξεργασίας (Metcalf and Eddy, 1991; Reed et al., 1995; Reed and Crites, 1984; Crites et al., 2000; Angelakis, 2001).

Χαρακτηριστικό	Τύπος 1	Τύπος 2	Τύπος 3
Κλίση	20% σε καλλιεργημένες και 40% στις ακαλλιεργητες θέσεις		
Βάθος υπόγειου υδροφορέα (μ)	0,6 - 3	0,6 - 3	> 3
Κλιματικές συνθήκες	Αποθήκευση σε ψυχρά κλίματα		
Τεχνικές εφαρμογής υδρ. φορτίου	Με καταιονισμό ή επιφανειακά α		
Ρυθμός φορτίου BOD5 (kg/στρ.·d)	50-200		
Ρυθμός υδραυλικού φορτίου (m/yr)	2-7	0.5-5.0	10-15
Απαιτούμενη έκταση [στρ./( $10^3\text{m}^3/\text{d}$ )] β	5.5-18.5	12-73	2.5-3.5
Ελάχιστες προδιαγραφές επεξεργασίας	Αρχική ιζηματογένεση γ		
Διάθεση εφαρμοζόμενου υδραυλικού φορτίου	Εξατμισοδιαπνοή και φιλτράρισμα		
Ανάγκη για βλάστηση	Απαραίτητη		
Υπόγειο στραγγιστικό δίκτυο	Μη απαιτούμενο	Μη απαιτούμενο	Απαιτούμενο
<p>α περιλαμβάνει εφαρμογή με αυλάκια.</p> <p>β η έκταση δεν περιλαμβάνει ουδέτερη ζώνη, δρόμους και άλλους κοινόχρηστους χώρους.</p> <p>γ εξαρτάται από τη χρήση εκροής και τον τύπο της φυτικής βλάστησης.</p>			

#### 4.1.2 Ταχεία Διήθηση

Στα συστήματα ταχείας διήθησης, το υγρό απόβλητο εφαρμόζεται είτε με πλημμύρα είτε, με ένα πρόγραμμα καταιονισμού, σε ρηχές λίμνες που κατασκευάζονται στις βαθιές και διαπερατές λεκάνες με ιδιαίτερα πορώδες χώμα (σχέδιο 4.2 EPA, 2003). Επειδή το υδραυλικό φορτίο (HLR) είναι

σχετικά υψηλό (τουλάχιστον ένα μέγεθος υψηλότερο απ' ότι για τα συστήματα βραδείας εφαρμογής), οι απώλειες εξάτμισης είναι ένα μικρό μέρος του εφαρμοσμένου υγρού απόβλητου και το μεγαλύτερο μέρος του εφαρμοσμένου υγρού απόβλητου διηθείται μέσω των εδαφοτομών, όπου η επεξεργασία εμφανίζεται μέσω των βιολογικών, χημικών, και φυσικών αλληλεπιδράσεων στην λεκάνη, με τα κοντινά στρώματα επιφάνειας να είναι οι πιο ενεργές ζώνες. Συγκριτικά με τα συστήματα βραδείας εφαρμογής, έχουν τη χαμηλότερη δυνατότητα επεξεργασίας, λόγω της χαμηλότερης ικανότητας διατήρησης των διαπερατών χωμάτων και του σχετικά υψηλότερου υδραυλικού ποσοστού φόρτωσης (Metcalf and Eddy, 1991).



Σχήμα 4.2. Υδραυλική διάβαση για διαδικασία ταχείας διήθησης (που ξανασχεδιάζεται από Metcalf and Eddy, 1991).

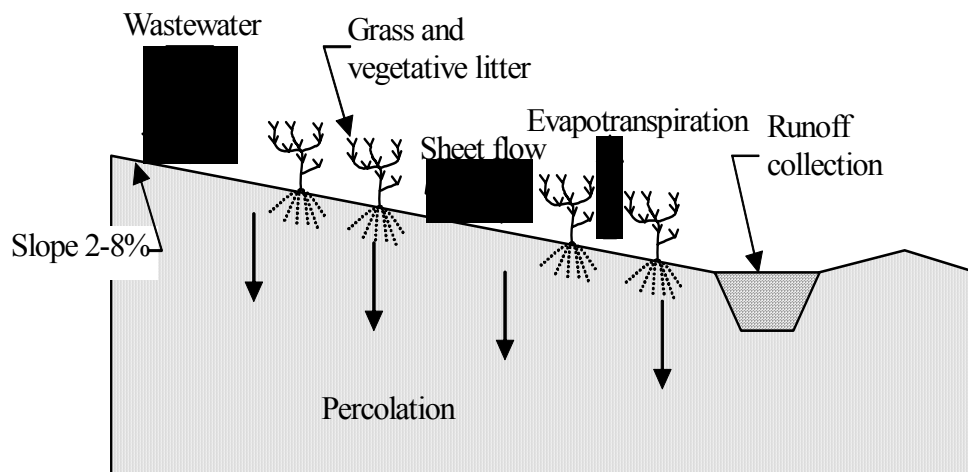
#### 4.1.3 Επιφανειακή Ροή

Είναι η ελεγχόμενη εφαρμογή του υγρού απόβλητου στα σχετικά στεγανά χώματα σε κεκλιμένα εδάφη καλυμμένα με χλόη (Σχήμα 4.3). Η επεξεργασία εμφανίζεται όταν τα εφαρμοζόμενα υγρά απόβλητα αλληλεπιδρούν με το χώμα, τη βλάστηση, και τις αυξήσεις της βιολογικής επιφάνειας. Μια μικρή μερίδα του εφαρμοσμένου υγρού απόβλητου μπορεί να χαθεί μέσω του φιλτραρίσματος και ενός μεγαλύτερου μέρους των εξατμισοδιαπνοών, αλλά η σημαντικότερη μερίδα συλλέγεται στις τάφρους. Έναντι των άλλων δύο διαδικασιών, το υδραυλικό φορτίο (HLR) είναι υψηλότερο από τα συστήματα

βραδείας εφαρμογής (SR) και σχετικά παρόμοιο με τα συστήματα ταχείας διήθησης (RI) (Panoras and Pias, 1999).

#### 4.2 Πειραματικό Σχεδιάγραμμα

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εφαρμόζονται σήμερα ευρέως σε μικρούς οικισμούς. Μία κατηγορία τέτοιων συστημάτων βασίζονται στην ελεγχόμενη εφαρμογή στο έδαφος προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Εδώ περιγράφεται η κατασκευή ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής, ο τρόπος λειτουργίας, το υδραυλικό φορτίο, και η διαδικασία δειγματοληψίας.



Σχήμα 4.3 Υδραυλική διάβαση για της διαδικασία (redesigned from Crites et al., 2000).

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στον πειραματικό χώρο του εθνικού ιδρύματος αγροτικής έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) στο Σκαλάκι, δίπλα σε δύο κατασκευασμένες λεκάνες υγροβιότοπων. Ο πειραματικός αγρός περιλαμβάνει τη δεξαμενή αποθήκευσης, και το σύστημα βραδείας εφαρμογής SR. Οι δαπάνες κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος βραδείας εφαρμογής καλύφθηκαν από τη διαχείριση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων χρησιμοποιώντας τα συστήματα επεξεργασίας εδάφους, κοινά προγράμματα έρευνας Ελλάδας-Τουρκίας και τεχνολογίας, το 2002-2005 Γενική γραμματεία έρευνας και ανάπτυξης, του ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης. Ο συνδιευθυντής ήταν ο καθ. Α.Ν. Αγγελάκης.

#### 4.2.1 Κατασκευή συστήματος

Το σύστημα βραδείας εφαρμογής τύπου 3 που κατασκευάστηκε, υπάρχει υποεπιφανειακό σύστημα συλλογής αποξηράνσεων, στο οποίο εφαρμόστηκε το μέγιστο υδραυλικό φορτίο. Η περιοχή που καλύπτεται από το σύστημα βραδείας εφαρμογής είναι 165 m<sup>2</sup> (11 μ x 15 μ). Η κατασκευή του συστήματος βραδείας εφαρμογής άρχισε στις 7 Απριλίου 2003, εκείνη την ημέρα, τα χωματουργικά έργα πραγματοποιήθηκαν για να ισοπεδώσουν τον πειραματικό αγρό και για να εγκαταστήσουν ένα σύστημα αποξηράνσεων σε ένα βάθος από 120 εκατ. έως 135 εκατ. (για να επιτύχει μια κλίση 1,5%) με κατεύθυνση ανατολικά προς δυτικά.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνες 4.1. Προετοιμασία του πειράματος: (α) Ο σωλήνας στράγγισης (β) το αμμοχάλικο (d=8 χιλ.) κάλυψε το σωλήνα περιφερειακά σε μια ακτίνα 20 εκατ. (γ) η έκταση κατά τη διάρκεια της ανασκαφής και (δ) μια τάφρος μετά από την ανασκαφή.

Μετά από την ανασκαφή των τάφρων, το αδρανές υλικό (d=8 χιλ.) τοποθετήθηκε ως υπόστρωμα στο κατώτατο σημείο, προκειμένου να



τοποθετηθεί το σύστημα διοχέτευσης ( $d=60$  χιλ.) και να αποφευχθεί η πιθανή δυσλειτουργία της διοχετεύσεως (αντίστροφη κλίση ή πιθανό ράγισμα του σωλήνα)

Μετά από την εγκατάσταση του σωλήνα, το αδρανές υλικό τοποθετήθηκε επίσης επάνω από του, προκειμένου να αποφευχθεί η απόφραξη του σωλήνα από τα υλικά αργίλου και έπειτα το ανασκαμμένο χώμα. Μια καλή εικόνα της εγκατάστασης των σωλήνων παρουσιάζεται στις εικόνες 4.1. και 4.2.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνες 4.2. Εγκατάσταση του συστήματος διοχέτευσης: (α) υπόστρωμα αμμοχάλικου (β) τοποθέτηση σωλήνων (γ) τοποθέτηση χώματος επάνω από το σωλήνα και (δ) μια δεξαμενή συλλογής.

## Προμετρήσεις

### 1. Εκσκαφές αυλακιών

$$\text{Όγκος ανά τρέχον μέτρο: } V = 1 \times 0,3 \times 1,35 \text{ m}^3 \rightarrow \quad V = 0,41 \text{ m}^3$$

$$\text{Συνολικός όγκος: } V_{\text{tot}} = 7 \times 11 \times 0,41 \text{ m}^3 \rightarrow \quad V_{\text{tot}} = 31,57 \text{ m}^3$$

### 2. Όγκος αποψίλλωσης:

$$V = 0,30 \times 15 \times 11 \text{ m}^3 \rightarrow \quad V = 49,5 \text{ m}^3$$

### 3. Σκύρα κάλυψης αγωγού

$$\text{Όγκος ανά τρέχον μέτρο: } V = (1 \times 0,45 \times 0,3) \text{ m}^3 - (3,14 \times 0,2^2 / 4) \text{ m}^3 \rightarrow$$

$$V = 0,10 \text{ m}^3$$

$$\text{Συνολικός όγκος: } V_{\text{tot}} = 7 \times 11 \times 0,104 \text{ m}^3 \rightarrow \quad V_{\text{tot}} = 8,01 \text{ m}^3$$

### 4. Σωλήνες

$$\text{Κεντρικός αγωγός εφαρμογής, } d = 50 \text{ cm:} \quad \text{Μήκος } L = 40,00 \text{ m}$$

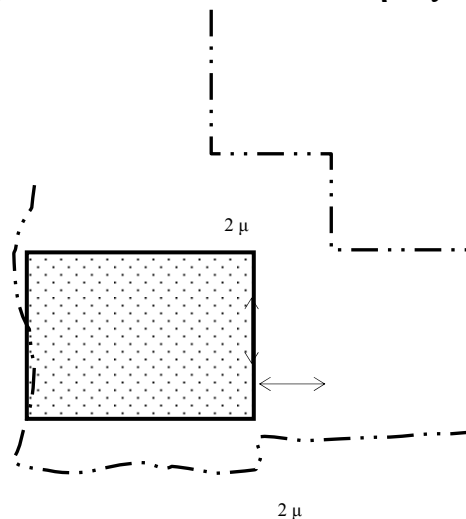
$$\text{Πλευρικοί αγωγοί εφαρμογής: } d = 20 \text{ cm:} \quad \text{Μήκος } L = 66,00 \text{ m}$$

$$\text{Αγωγοί στραγγίσεως, } d = 60 \text{ cm:} \quad \text{Μήκος } L = 77,00 \text{ m}$$

$$\text{Σωλήνα τύπου spraggeti, } d = 10 \text{ cm:} \quad \text{Μήκος } L = 9,60 \text{ m}$$

$$\text{Πλαστικός ημισωλήνας, } d = 200 \text{ cm:} \quad \text{Μήκος } L = 60,00 \text{ m}$$

Τοπογραφικό διάγραμμα



Πειραματικός  
αγρός



Μετά από την εγκατάσταση του συστήματος διοχέτευσης, ένα τρακτέρ άλεσε το χώμα σε ένα βάθος 30 εκατ., για να λάβει μια ομοιομορφία η επιφάνεια. Κατόπιν, στο βόρειο μέρος του αγρού οι κυκλικές τρύπες σκάφτηκαν για να τοποθετήσουν τα δέντρα (Εικόνα 4.3.α). Στο σύνολο, 50 δέντρα ευκαλύπτων, που παραδόθηκαν από το δασικό γραφείο επιθεώρησης Χανίων Κρήτης, φυτεύτηκαν στο έδαφος. Αυτό το σύστημα για λόγους απλότητας αναφέρεται ως SR1 σύστημα. Τρία δέντρα στη δυτική και τρία στην ανατολική πλευρά του πειραματικού αγρού έχουν φυτευτεί επίσης την ίδια μέρα για λόγους σύγκρισης (δέντρα ελέγχου). Για λόγους σύγκρισης, η νότια πλευρά χρησιμοποιήθηκε χωρίς φυτά. Αυτό το σύστημα από τώρα και στο εξής αναφέρεται ως SR2 σύστημα και χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει το ρόλο των εγκαταστάσεων στη γενική απόδοση. Η άποψη του αγρού μετά από τη φύτευση παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3.β Το τελικό σχεδιάγραμμα του πειραματικού αγρού παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4.



(α)



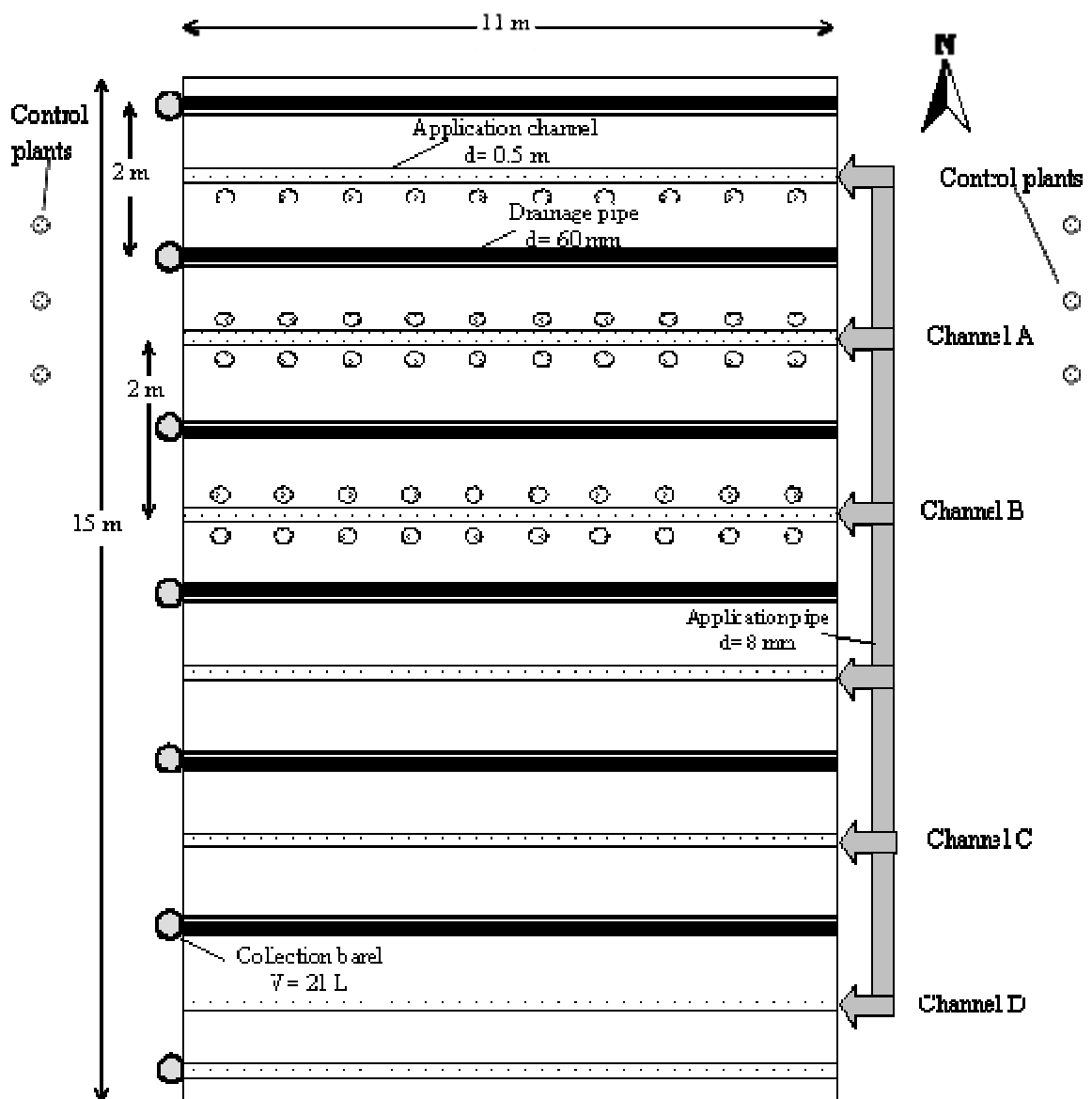
(β)

Εικόνα 4.3. (α) κατά τη διάρκεια φυτεύματος και (β) γενική άποψη του πειραματικού αγρού στο τέλος της φάσης κατασκευής.

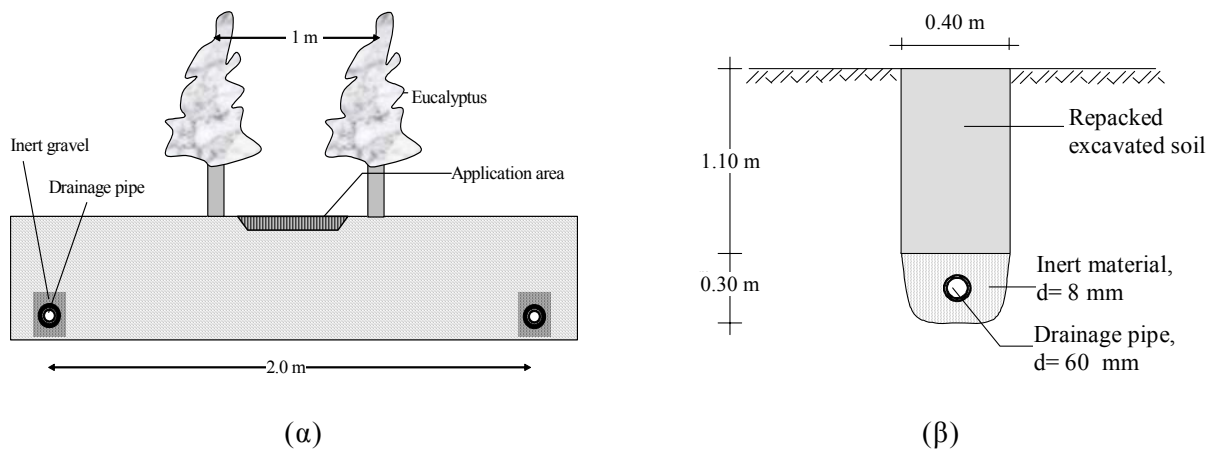
#### 4.2.2 Λειτουργία

Το 2003, το σύστημα SR1 χρησιμοποιήθηκε για την σταθεροποίηση και ανάπτυξη των δέντρων των ριζών τους, και για την πειραματική βελτίωση. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, 2003, το SR1 ποτίστηκε τρεις φορές με το γλυκό νερό. Λόγω της όξινης φύσης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, η πιθανή φόρτωση του οδήγησε στην εξασθένιση των νέων φυτών. Μια άλλη

εξεταζόμενη πτυχή ήταν η βελτιστοποίηση της λειτουργικής θέσης, στην οποία ο ρόλος των тенσιομέτρων σε βάθη 30 εκατ. και 60 εκατ. έχει ερευνηθεί (Εικόνα 4.4). Σκοπός αυτής της πρακτικής ήταν να διαποτιστεί το χώμα με το γλυκό νερό και να περιμένει έπειτα έως ότου εμφανίστηκε η φυσική ξήρανση του χώματος. Δεδομένου ότι οι ανάγκες επίδρωσης ήταν πολύ περιορισμένες κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου, έναντι του υδραυλικού ποσοστού φόρτωσης που εφαρμόστηκε, παρατηρήθηκε ότι το χώμα ήταν ξηρό μέσα σε 15-20 ημέρες στην επιφάνεια λόγω της εξάτμισης, αλλά στα βαθύτερα στρώματα η ξηρότητα εμφανίστηκε μετά από 45-65 ημέρες



Σχήμα 4.4 Το σχεδιάγραμμα του πειραματικού αγρού: κάτοψη αγρού



Σχήμα 4.5. Το σχεδιάγραμμα του πειραματικού αγρού: (α) διατομή και (β) αυλάκι.



Εικόνα 4.4. (α) Τενσιόμετρα που τοποθετήθηκαν σε βάθος 30 εκατ. και 60 εκατ. και (β) ένα νεκρό δέντρο λόγω της επίδρασης τοξικότητας εμφανίστηκαν από τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων κατά την εφαρμογή.

Λόγω της πηλώδους περιεκτικότητας σε άργιλο του χώματος, αυτή η υγρή-ξηρά πρακτική ανακύκλωσης έχει οδηγήσει σε ρωγμές στην επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 4.5γ). Η μείωση όγκου αργίλου οδήγησε στο αποτέλεσμα να υπάρχει καθίζηση της εδαφολογικής επιφάνειας και η εμφάνιση των ρωγμών διακένωσης (Oostindie and Bronswijk, 1995). Τα υγρά απόβλητα επομένως μεταφέρθηκαν γρήγορα και ανεπεξέργαστα στα βαρέλια συλλογής. Αυτή η επίδραση καλείται ροή παράκαμψης και ορίζεται ως η ροή του ελεύθερου ύδατος κατά μήκος των πόρων και μέσω μιας ακόρεστης εδαφολογικής μήτρας (Oygarden *et al*, 1997).

Το 2003, μόνο δύο εφαρμογές υγρού απόβλητων ελαιοτριβείων εμφανίστηκαν. Το 2004, δέκα εφαρμογές υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων χρειάστηκαν. Άρχισαν στις 30 Απριλίου, και σταμάτησαν στις 28 Οκτωβρίου.

Όπως αναπτύσσονταν τα δέντρα, μια παρόμοια υγρού-ξηρού πρακτική ανακύκλωσης εξετάστηκε μετά από την πρώτη εφαρμογή και διαπιστώθηκε ότι η κατάσταση δεν ήταν σημαντικά διαφορετική από το πρώτο έτος. Επομένως, η ανά δεκαπενθήμερο εφαρμογή των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων προτιμήθηκε. Ακόμη και σε εκείνη την περίπτωση, η ροή παράκαμψης ήταν αιτία για την απώλεια σημαντικών ποσοτήτων υγρών απόβλητων ελαιοτριβείων και το θάνατο μερικών δέντρων, δεδομένου ότι οι διαβάσεις ροής να έχουν μεταφέρει υγρά απόβλητων ελαιοτριβείων άμεσα στο σύστημα ρίζας τους (Εικόνα 4.4β). Μια προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι απώλειες περιέλαβε τη συμπίεση του αγρού εφαρμογής πριν από την εφαρμογή υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων.

#### **4.2.3 Διαδικασία δειγματοληψίας**

Η υψηλή συγκέντρωση COD στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων απαίτησε ότι ένα χαμηλότερο φορτίο πρέπει να εφαρμοστεί στο σύστημα βραδείας εφαρμογής. Επομένως, δεν ήταν εφικτό να επιτευχθεί ο πλήρης εδαφολογικός κορεσμός. Αυτό τεκμηριώθηκε καλά από το σύστημα σωληνώσεων με το οποίο τα απόβλητα συλλέχθηκαν μόνο μία φορά. Προκειμένου να προπελασθεί αυτή η κατάσταση, οι δειγματοληπτικές συσκευές εδάφους εγκαταστάθηκαν σε βάθος (120 εκατ.).

Για να μετρηθεί και να αξιολογηθεί η μόλυνση στα διάφορα βάθη, εγκαταστάθηκαν δειγματοληπτικές συσκευές εδάφους στα 15 εκατ., στα 30 εκατ., και στα 60 εκατ. (εικόνα 4.5α). Εγκαταστάθηκαν ανά ομάδες (δειγματοληπτικές συσκευές όλων των βαθών) σε διάφορες θέσεις γύρω από τα κανάλια. Στην αρχή του πειράματος (Σεπτέμβριος, 2003) μόνο 8 δειγματοληπτικές συσκευές χρησιμοποιήθηκαν, ενώ μέχρι το τέλος του πειράματος εγκαταστάθηκαν 25 ακόμη βαθμιαία σε διάφορα βάθη. Μερικοί από αυτές δεν λειτούργησαν, πιθανόν λόγω του ραγίσματος του κεραμικού υλικού που περιγράφηκε.

Οι δειγματοληπτικές συσκευές εδάφους πριν και μετά από την εγκατάστασή τους στο έδαφος παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.5α. Η διαδικασία που ακολουθείται κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5β. Σε κάθε εφαρμογή των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων ακολουθήθηκε μια μικρή περίοδος αποχής περιμένοντας την

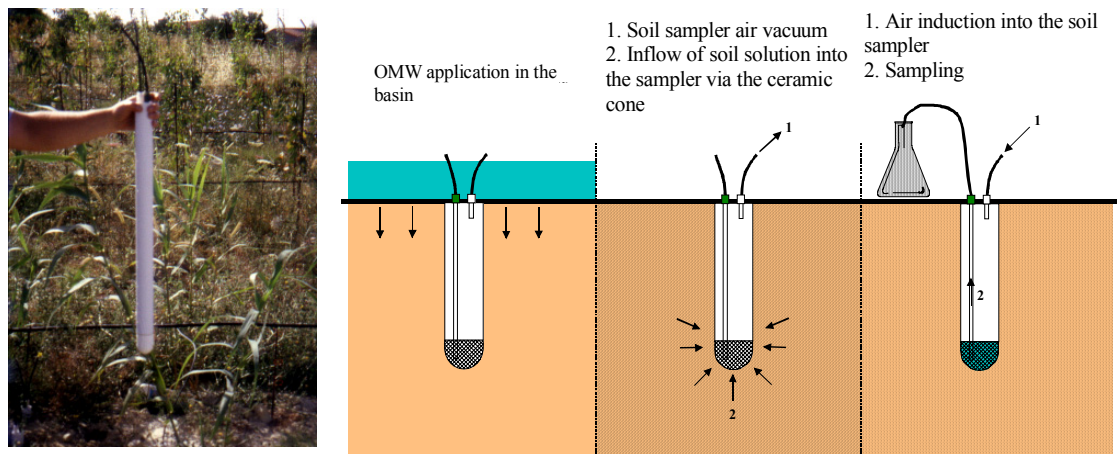
χρονική περίοδο έως ότου είχε διηθηθεί ολόκληρος ο παραπόταμος μέσω της εδαφοτομής και ο αγρός εφαρμογής να εμφανιζόταν ξηρός. Κατόπιν, με τη χρησιμοποίηση μιας αντλίας, ο αέρας μέσα στη δειγματοληπτική συσκευή εδάφους αφαιρέθηκε. Λόγω της διαφορετικής δυνατότητας ύδατος μέσα και έξω από στη δειγματοληπτική συσκευή, το νερό έτεινε να κινηθεί, μέσω του κεραμικού υλικού προς το κατώτατο σημείο, μέχρι να επιτευχθεί μέσα στη δειγματοληπτική συσκευή μια ισορροπία μεταξύ του χώματος και της δειγματοληπτικής συσκευής. Έπειτα από περίπου 12 ώρες, συλλέχθηκε ο αέρας που προήλθε από το κοντό λαστιχένιο σωλήνα της δειγματοληπτικής συσκευής και το δείγμα εδάφους που προήλθε από τον άλλο μακρύ λαστιχένιο σωλήνα.

Πρέπει να αναφερθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις στο εγκαταστημένο σύστημα η ποσότητα των συλλεχθέντων δειγμάτων ήταν πολύ μικρή και, επομένως, η ανάλυση για μερικά ή για όλες τις παραμέτρους δεν ήταν εφικτή. Δεδομένου ότι αυτή η επίδραση δεν παρατηρήθηκε SR2, μπορεί να αποδοθεί ενδεχομένως στις ανάγκες εφίδρωσης των δέντρων. Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε για αυτήν την διαδικασία καθώς επίσης και τα μπουκάλια δειγματοληψίας παρουσιάζονται στην εικόνα 4.5δ

#### **4.2.4 Υδραυλικό φορτίο**

Η φόρτωση με υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων χρειάστηκε να γίνει σε τέσσερα κανάλια (σχήμα 4.4α), τα οποία ισοπεδώθηκαν προκειμένου να επιτευχθεί μία ενιαία εφαρμογή: στα κανάλια Α και Β τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων χρησιμοποιήθηκαν με το σύστημα SR1, ενώ στα κανάλια Γ και Δ το SR2 σύστημα. Τα κανάλια στα σύνορα και μεταξύ των δύο τομέων (SR1 και SR2) δεν συμπεριλήφθηκαν, δεδομένου ότι η πιθανή δειγματοληψία από αυτά τα κανάλια να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα, λόγω της πλευρικής μετακίνησης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων.

Η χαρακτηριστική οργανική φόρτωση που συστήνεται για τα συστήματα SR είναι 50-500 kg BOD/στρ·d (Angelakis and Tchobanoglous, 1995; Crites et al., 2000). Η αναλογία COD /BOD στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων είναι περίπου 2.5. Επομένως, η προαναφερθείσα αξία είναι 125-1250 kg COD/στρ·d.

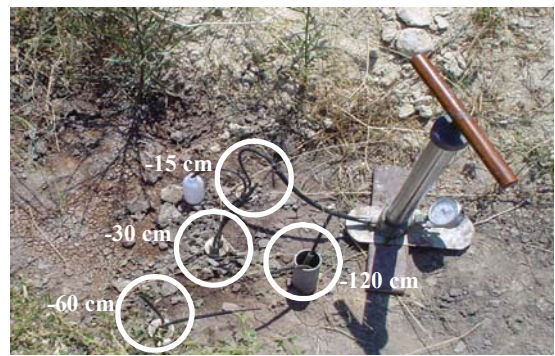


(α)

(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 4.5 Δειγματοληπτική συσκευή εδάφους: (α) πριν την τοποθέτηση της στο έδαφος (β) διαδικασία δειγματοληψίας (γ) μετά από την εγκατάσταση και (δ) κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Το σχέδιο φόρτωσης στο σύστημα SR τέθηκε με τα ελάχιστα διαστήματα, δηλ. εφαρμογή ανά δεκαπενθήμερο (Gardner *et al*, 2000). Η μέση συγκέντρωση COD ήταν 23.218 mg/L. Το φορτίο που εφαρμόζεται στον πειραματικό αγρό προέρχεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\frac{Q \cdot C}{T \cdot A} \leq 1,250 \frac{kgCOD}{ha \cdot d}$$

όπου,

Q: Όγκος φόρτωσης (m<sup>3</sup>)

C: Συγκέντρωση COD = 23,22 kg/m<sup>3</sup>

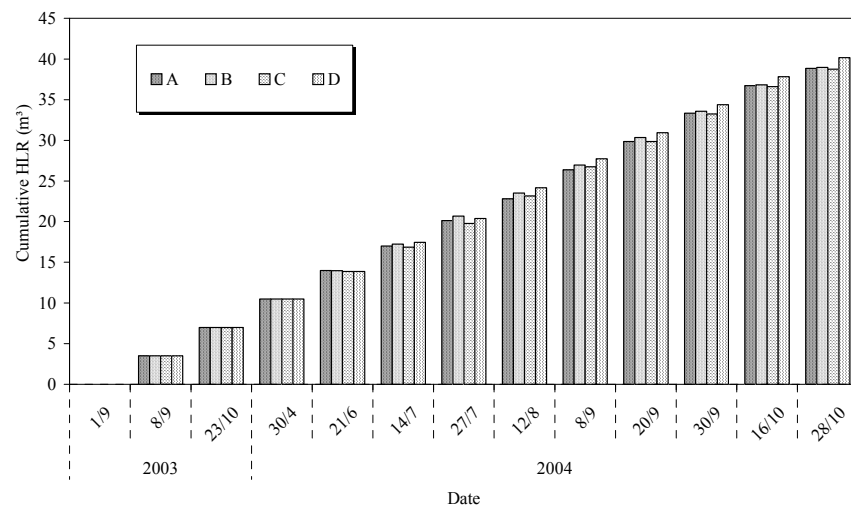
T: Χρονικό διάστημα = 15 d

A: Εμβαδόν αγρού = 0.0165 στρ

ha: 10 στρ.



Επομένως, ο όγκος Q που εφαρμόστηκε στα τέσσερα κανάλια του πειραματικού αγρού ήταν 13,33 m<sup>3</sup>. Gardner et al (2000) και ενεργοποιήθηκε ένα παρόμοιο SR σύστημα ακόμη και κατά τη διάρκεια μεγάλων βροχοπτώσεων και χαμηλής περιόδου εξατμισοδιαπνοής. Εντούτοις, προκειμένου να ερευνηθεί ο ρόλος των δέντρων στη θρεπτική λήψη, ήταν προτιμητέο να ενεργοποιηθεί το σύστημα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου των δέντρων (άνοιξη και καλοκαίρι). Το φορτίο που εφαρμόζεται και στα δύο SR συστήματα παρουσιάζεται στο πίνακα 4.1



Πίνακας 4.1 Υδραυλικό φορτίο στα τέσσερα κανάλια. Τα κανάλια A και B είναι με τα δέντρα.

#### 4.2.5 Υδατικό Ισοζύγιο

Σε τέτοια μαζικά συστήματα επεξεργασίας, είναι πολύ δύσκολο να διευθυνθεί ένα μαζικό υδατικό ισοζύγιο. Οι διάφορες παράμετροι περιλαμβάνονται, όπως οι πλευρικές απώλειες, που αλλάζουν το πορώδες μεταξύ του αγρού που διυλίζουν, οι οποίες έχουν επιπτώσεις στη γενική ακρίβεια μιας πιθανής μαζικής ισορροπίας ύδατος. Επιπλέον, ο στόχος αυτού του συστήματος βραδείας εφαρμογής είναι να θεωρηθεί το χώμα ως φίλτρο, με μια επόμενη συλλογή αποβλήτων αποχέτευσης. Δεδομένου ότι οι δειγματοληπτικές συσκευές χρησιμοποιήθηκαν αντί του συστήματος αποξηράνσεων για τη συλλογή αποβλήτων, ήταν πολύ δύσκολο να μετρηθεί αυτό το φορτίο. Επομένως, το μαζικό υδατικό ισοζύγιο δεν διευθύνθηκε. Η χρήση των λυσιμέτρων σε ένα πείραμα εργαστηρίου-κλίμακας θα μπορούσε

να είναι αποδοτικότερη, όπως σε εκείνη την περίπτωση θα ήταν ευκολότερο να ερμηνευτεί η εισροή και η εκροή του

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εξατμισοδιαπνοή και οι απώλειες εξάτμισης για αυτό το πείραμα ήταν διαθέσιμες. Οι τιμές εξατμισοδιαπνοής λήφθηκαν από έναν κοντινό πειραματικό χώρο του κ. Τζανακάκη (2005), που έτρεξε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής SR-2, για την ίδια φυτεία με παρόμοια αύξηση της φυτεία αυτού του πειράματος, ενώ οι απώλειες εξάτμισης υπολογίστηκαν με την χρήση μιας συσκευής εξάτμισης. Σύμφωνα με τις τιμές η μέση εξατμισοδιαπνοή και η μέση εξάτμιση είχαν απώλειες για το 2004, 6,65 και 4,97 mm/d, αντίστοιχα.

#### **4.3 Μετρήσεις**

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να ερευνηθεί η επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής επεξεργασίας εδάφους που αποτελείται από δύο τομείς: ο πρώτος τομέας φυτεύτηκε(α) με τον ευκάλυπτο *Camaldulensis* και (β) ο δεύτερος τομέας ελέγχου (χωρίς οποιοδήποτε φυτό). Ο τομέας εφαρμογής του αγρού των δύο συστημάτων βραδείαςεφαρμογής είναι 165 m<sup>2</sup>. Η συγκέντρωση COD ήταν 23.218 mg/L και στους δύο τομείς. Καθώς το υδραυλικό φορτίο ήταν 1.250 kg COD/στρ. d, το φορτίο που εφαρμόστηκε στον αγρού ανά δεκαπενθήμερο ήταν 13,33 m<sup>3</sup>. Τα δείγματα εδάφους συλλέχτηκαν στα ±0 cm (ακατέργαστων υγρών απόβλητων ελαιοτριβείων), -15 cm, -30 cm, -60 cm, και -120 cm. βάθους μέσω της εδαφοτομής (πίνακας 4.2). Η παραγωγή βιομαζών ξηρού βάρους (DW) και η θρεπτική λήψη από το φυτευμένο αγρό παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.2 Μέση σύνθεση. των ακατέργαστων δειγμάτων εδάφους υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων και του χώματος στα διάφορα βάθη (όλες οι τιμές είναι σε mg/L, εκτός από το pH ή αν αναγράφονται).

Parameter		Raw OMW	SR plant-soil system				Control soil SR system			
		(±0 cm)	15 cm	30 cm	60 cm	120 cm	15 cm	30 cm	60 cm	120 cm
pH	Average	6.22	7.56	7.35	7.27	7.38	7.50	7.32	7.10	7.07
	(± SD)	1.02	0.42	0.36	0.33	0.31	0.39	0.40	0.36	0.32
EC (dS/m)	Average	7.15	6.41	5.83	6.19	5.49	5.36	5.27	4.03	3.74
	(± SD)	0.89	1.27	1.34	0.96	1.22	1.17	1.25	1.20	0.93
COD	Average	21,862	1,490	1,304	1,220	1,143	1,580	1,214	1,125	1,001
	(± SD)	11,781	1,137	1,108	817.97	563.72	1,485	1,148	1,036	936
NH <sub>3</sub>	Average	17.61	5.95	4.28	4.00	4.61	6.27	3.88	3.33	3.67
	(± SD)	8.09	5.29	4.26	2.79	2.11	5.00	3.12	2.73	3.12
TKN	Average	167.76	24.35	25.90	23.59	27.56	20.76	16.22	9.94	12.35
	(± SD)	76.56	8.54	12.42	10.03	6.88	8.03	9.00	6.00	4.42
Org-N	Average	150.15	18.73	19.33	19.17	22.60	15.22	11.74	7.65	9.28
	(± SD)	73.89	9.54	11.13	8.27	7.31	7.73	8.35	4.86	4.15
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Average	2.11	2.16	2.12	2.20	2.14	2.36	2.22	2.39	2.22
	(± SD)	0.54	0.11	0.21	0.38	0.10	1.11	0.31	0.81	0.12
TN	Average	169.87	26.51	28.20	25.70	29.67	22.90	17.31	12.63	14.57
	(± SD)	76.44	8.53	12.62	10.04	6.94	8.02	9.29	5.78	4.41
TP	Average	55.49	7.65	6.68	5.53	4.77	6.78	4.49	4.70	2.37
	(± SD)	44.55	5.19	6.14	2.75	2.05	4.94	3.26	5.63	2.88
In-P	Average	21.47	3.88	2.71	3.49	3.15	3.20	2.24	1.68	0.32
	(± SD)	13.31	1.56	1.82	1.81	2.14	1.65	1.71	1.48	0.18
Org-P	Average	34.01	2.61	2.36	2.08	3.13	3.86	2.33	1.81	1.70
	(± SD)	28.82	2.23	1.92	1.79	2.55	4.21	2.76	2.04	2.35
Total phenols	Average	1,386	198.41	198.01	256.21	377.06	178.90	135.44	137.31	116.99
	(± SD)	492.52	107.12	131.49	171.48	218.42	114.04	154.51	134.92	115.24

Πίνακας 4.3 Παραγωγή βιομάζας DW και θρεπτική λήψη

	Year	Κορμός (Kg/ha)	Κλαδιά (Kg/ha)	Φύλλα (Kg/ha)	Σύνολο (Kg/ha)
DW	2003	1,677	993.36	2,500	5,170
	2004	10,391	5,389	6,994	22,774
TKN	2003	19.64	13.77	101.20	134.61
	2004	51.89	31.50	134.74	218.13
TP	2003	1.69	0.92	6.02	8.63
	2004	6.81	5.14	8.45	20.40

Με βάση την ανάλυση των δειγμάτων, τα εξής μπορούν να προέλθουν από την εφαρμογή υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στους δύο τομείς των συστημάτων βραδείας εφαρμογής:

- Και στα δύο συστήματα βραδείας εφαρμογής, η αύξηση στο pH των δειγμάτων εδάφους ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε βάθος 0-15 εκατ., έτσι ώστε να έχει επιπτώσεις σε πολλές από τις φυσικοχημικές αντιδράσεις που εμφανίστηκαν.

- Η αλατότητα μειώθηκε σημαντικά με το βάθος, ενώ οι επαναλαμβανόμενες εφαρμογές των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων έχουν οδηγήσει στην αυξανόμενη συσσώρευση αλάτων σε όλα τα βάθη.

- Η διήθηση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στην επιφάνεια του εδάφους οδήγησε στη παγίδευση των περισσοτέρων από τα TSS σε εκείνο το στρώμα, ενισχύοντας κατά συνέπεια την αποδοτικότητα αφαίρεσης COD και των δύο συστημάτων βραδείας εφαρμογής.

- Η υψηλή συγκέντρωση TP, και TN, και των συνολικών φαινολών στα δείγματα εδάφους του αγρού με τα δέντρα, έναντι του αγρού ελέγχου, μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στο στρώμα απορριμάτων που παρατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους και εν μέρει στη μειωμένη περιβαλλοντική και θερμοκρασιακή εδαφολογική λύση, με αποτέλεσμα την μείωση του ποσοστού αντιδράσεων μετασχηματισμού.

Με το να λάβουμε υπόψη αυτό το τύπο υγρού απόβλητου, που απαιτεί περισσότερες από μια συμβατικές τεχνολογίες επεξεργασίας για να υιοθετηθεί, η διασκορπισμένη θέση ενός μεγάλου αριθμού μικρών ελαιοτριβείων, και οι κλιματολογικοί όροι στις χώρες καλλιέργειας ελιών, που ευνοούν την ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας, τη μελέτη του αποκαλύπτουν ότι τα συστήματα βραδείας εφαρμογής μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, που παράγει την άριστη ποιότητα των αποβλήτων στο δευτεροβάθμιο επίπεδο επεξεργασίας.

## Κεφάλαιο 5

### 5.1 Συμπεράσματα

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ειδικότερα τα συστήματα βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος έχουν αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ (ΝΔ Πολιτείες) εξαιτίας:

- της απλότητας τους,
- του χαμηλού -συγκριτικά- κόστους κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων και των μικρών ενεργειακών απαιτήσεων,
- της απαίτησης για προστασία του περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων πρασίνου και αναψυχής.

Ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής περιλαμβάνει την ελεγχόμενη εφαρμογή του αποβλήτου σε έδαφος με φυτική βλάστηση με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία του και την ικανοποίηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης. Έτσι, το εφαρμοζόμενο απόβλητο είτε καταναλώνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής ή διηθείται και κατεισδύει σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς, ενώ η τυχόν επιφανειακή απορροή συνήθως συλλέγεται και επαναεφαρμόζεται στο σύστημα.

Με βάση τη μέχρι σήμερα τεχνογνωσία για τα συστήματα βραδείας εφαρμογής, τα επιτυγχάνόμενα επίπεδα επεξεργασίας των εκροών υγρών αποβλήτων και λαμβάνοντας υπόψη τα κλιματολογικά δεδομένα της ΝΑ Ελλάδας, τα οποία ευνοούν μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης των φυσικών συστημάτων, κρίνεται ότι τέτοιου είδους συστήματα μπορούν να εξυπηρετήσουν ικανοποιητικά τις ανάγκες των μικρών οικισμών (μέχρι 5.000 ι.κ.). Παράλληλα, η επαναχρησιμοποίηση προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση στα συστήματα βραδείας εφαρμογής, επιτυγχάνει περαιτέρω επεξεργασία τους και συμβάλλει καθοριστικά στην προστασία και εξοικονόμηση υδατικών πόρων και στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexiou, G.E., Tsagarakis, K.P., Hadjinikolaou, N. and Mara, D.D. (1999). Waste stabilisation pond systems in Greece: current design practices. *Presented in the Fourth International Specialist Conference on Waste Stabilisation Ponds: Technology and the Environment*. Marrakech, 20-23 April 1999.
- Angelakis, A.N. and Spyridakis, S.V. (1996). The status of water resources in Minoan times - A preliminary study. In: *Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region* (A. Angelakis and A. Issar, Eds.). Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191...
- ASCE and Water Envir. Feder. (1992). Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. *WFF Manual and Report on Engineering Practice* No 76, Vol. 1, Ch. 13, Alexandria, VA 22314-1994.
- CEC (1991). Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC) *Official Journal of the European Communities*, L135/40 (30 May).
- Crites, R. and Tchobanoglous, G. (1998) *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB and McGraw-Hill, New York, USA.
- Kapellakis, I.E., Tsagarakis, K.P., Avramaki, Ch., Crowther, J., and Hytiris, N. (2002). Potential for Olive Mill Wastewater Reuse: The Case of Messara Basin in Crete. *Proc. of IWA-Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region*, (A.N. Angelakis et al., Eds). Iraklion, Greece, 26-29 September 2002, 1: 515-524.
- Lumsden, L.L., Stiles, C.W. and Freeman, A.W. (1915). Safe disposal of Human Excreta at Unsewered Homes. *Public Health Bulletin No.68*. US Public Health Service. Washington DC: Government Printing Office.
- Mara, D.D. and Pearson, H.W. (1998). *Design Manual for Waste Stabilisation Ponds in Mediterranean Countries*. Leeds: Lagoon Technology International.
- Metcalf and Eddy, Inc. (1991). "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill. Inc. New York, NY, Ch. 13.
- Niaounakis, M. and Chalvadakis, C.P. (2004). *Olive Mill Waste Management. Literature Review and Patent Survey*. Typothito-George Dardanos. Athens, Greece, pp. xiv, 430.
- Tchobanoglous, G. (1987). Aquatic plant systems for wastewater treatment: Engineering considerations. In: (K.R. Reedy and W.H. Smith Eds.), *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*, *Magnolia Publishing*, pp. 27-48.
- Tchobanoglous, G. and Angelakis, A.N. (1996). Technologies for Wastewater Treatment Appropriate for Reuse: Potential for Applications in Greece. *Water*

*Soil and Techn.* 30 (10-11): 17-26.

Tsagarakis, K.P. (1999). The Treatment of Municipal Wastewater in Greece. PhD Thesis. University of Leeds, School of Civil Engineering, Leeds.

Tsagarakis, K.P., Mara, D.D., Horan, N.J. and Angelakis, A.N. (2000). Small Municipal Wastewater Treatment Plants in Greece. *Water Sci. and Techn.* 41(01): 41-48.

US. EPA. (1981). Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater, EPA 625/1-81-013, US. EPA. Cincinnati, OH, October 1981a.

US. EPA. (1988). Design Manual for Constructed and Floating Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, US. EPA 625/1-88-022, Cincinnati, OH, September 1988.

Αγγελάκης, Α.Ν. (1995). Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Τεχνικά Χρονικά

Αγγελάκης, Α.Ν. και Τσομπάνογλου, Γ. (1995). Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επεξεργασία και Διάθεση Εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Μπαλής, Κ., Χατζηπαυλίδης, Ι, Φλουρή, Φ. Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείων. Πρακτικά Διεθνούς Σεμιναρίου. ΓΕΩΤΕΕ, Διεθνές Συμβούλιο Ελαιολάδου. Χανιά 9-10 Μαΐου 1991